

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เกิดขึ้นจาก
เครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ



นายรัช จีวบุญชู

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATIONS OF SIMULATION MODEL TO MINIMIZE GAS EMISSIONS
FROM EQUIPMENT IN RAILWAY CONSTRUCTION PROCESSES

Mr. Tawat Jewbunchu



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ
โดย	นายธวัช จิวบุญชู
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ เพียรสุภาพ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ เพียรสุภาพ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)

ธวัช จีวบุญชู : การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ (APPLICATIONS OF SIMULATION MODEL TO MINIMIZE GAS EMISSIONS FROM EQUIPMENT IN RAILWAY CONSTRUCTION PROCESSES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. วัชรเพียรสุภาพ, 182 หน้า.

การก่อสร้างทางรถไฟมีการใช้เครื่องจักรจำนวนมากซึ่งส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ก๊าซเหล่านี้ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน งานวิจัยในอดีตพยายามศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในการก่อสร้างทางรถไฟ แต่งานวิจัยดังกล่าวยังขาดการวิเคราะห์รายละเอียดในระดับกระบวนการซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการปรับปรุงขั้นตอน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์วิเคราะห์และออกแบบกระบวนการก่อสร้างเพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ โดยกระบวนการประกอบด้วยกิจกรรมก่อสร้างคันทางรถไฟและก่อสร้างระบบราง

การจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟร่วมกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องพบ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษรวม 52,923 กิโลกรัมต่อกิโลเมตร งานคันทางรถไฟมีสัดส่วนมากที่สุดประมาณ 64.64% รองลงมาเป็นงานหินโรยทาง 24.28% งานวางระบบราง 6.60% งานยกราง-อัดหินให้ได้ระดับ 4.48% โดยผลการวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจำแนกตามเครื่องจักรพบรถบรรทุกในงานคันทางรถไฟมีสัดส่วนของค่าการปล่อยมากถึง 33.60% ของปริมาณทั้งหมด และหากจำลองสถานการณ์กระบวนการขนย้ายดินโดยให้เครื่องจักรทำงานเต็มประสิทธิภาพและมีจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ (รถบรรทุก 10 คัน รถตัก 1 คัน) สามารถลด CO₂ emission ในกระบวนการดังกล่าวจากเดิมประมาณ 5,824 กก./กม. หรือเทียบเป็นคาร์บอนเครดิตได้ 1,107 บาท/กม.

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์สามารถช่วยวิเคราะห์กระบวนการก่อสร้างพร้อมทั้งออกแบบทางเลือกสถานการณ์สำหรับลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยปรับปรุงข้อจำกัดของการจัดสรรทรัพยากรและการหาค่าที่เหมาะสมในกระบวนการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5870343921 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: GAS EMISSION / RAILWAY CONSTRUCTION PROCESSES / EQUIPMENT / SIMULATION MODEL

TAWAT JEWBUNCHU: APPLICATIONS OF SIMULATION MODEL TO MINIMIZE GAS EMISSIONS FROM EQUIPMENT IN RAILWAY CONSTRUCTION PROCESSES.
ADVISOR: ASST. PROF. VACHARA PEANSUPAP, Ph.D., 182 pp.

The railway construction utilizes several kinds of equipment, resulting in gas emissions. The releases of emissions can affect both environment and human health. Many previous studies attempted to explore gas emissions in railway construction but they did not analyze gas emissions at the construction process level, which causes the limitations of process improvement. This research aims to apply simulation model for analysis and design construction process to minimize emissions from equipment operation that comprises of track bed and track panel.

The simulation model of the railway construction process presents that total emissions are equal to 52,923 kg/km. The percentage of emissions is found at 64.40, 24.28, 6.60, and 4.48 from track bed, bottom ballast, track panel and rails settling respectively. The categorization of emissions from equipment viewpoint found that trucks in track bed process have a higher proportion of emissions around 33.60 %. Design earthmoving process such as adjustment of equipment to full operation and allocation of resources related with the quantity of material and other resources (10 Trucks and 1 Loader) by the simulation model. The result shows that CO₂ emission from earthmoving process can be reduced approximately 5,824 kg/km. or 1,107 Baht/km. carbon credit.

The simulation model can be applied to analyze and design railway construction process that reduces emissions. It can also help to allocate resource and optimize the construction process.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และเสนอแนะแนวทางในการทำงาน ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว และรองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร ที่ได้กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้เขียนสำนึกในพระคุณของบิดา มารดา ที่ได้รับการสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ขอสำนึกในพระคุณของศูนย์โครงการก่อสร้าง การรถไฟแห่งประเทศไทย ที่มีโอกาสในการศึกษาเรียนรู้ และขอสำนึกในพระคุณของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้เขียน

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการบริษัท Italian-Thai Development โครงการ Single Rail Transfer Operator (SRTO) ที่ได้ให้เวลาและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จ

คุณงามความดีและคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบให้เป็นสิ่งตอบแทนต่อผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ฑ
สารบัญตาราง.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 ปัญหาของงานวิจัย.....	3
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ.....	6
2.1.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas; GHG).....	6
2.1.2 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)	9
2.1.3 ประเภทการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	9
2.1.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	10
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษใน กระบวนการก่อสร้าง.....	10
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานก่อสร้างแต่ละ ประเภท	12

2.2.2	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้าง.....	16
2.2.3	ขั้นตอนการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	19
2.2.4	การออกแบบแนวทางลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	19
2.3	กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ.....	20
2.3.1	ลักษณะการก่อสร้างทางรถไฟ.....	20
2.3.2	กระบวนการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	22
2.3.3	ความแตกต่างของงานวิจัยเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้างทางรถไฟและ งานอื่นๆ.....	28
2.4	การวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากเครื่องจักรงานก่อสร้าง ...	29
2.4.1	ฐานข้อมูล NONROAD Model	29
2.4.2	ฐานข้อมูล OFFROAD Model	32
2.4.3	ฐานข้อมูล Lewis’s Model.....	33
2.4.4	Road Construction Emission Model	34
2.4.5	URBEMIS Model.....	34
2.4.6	วิธีประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Discrete Event Simulation, DES)	35
2.4.7	วิธีประเมินวัฏจักร (Life Cycle Assessment; LCA)	36
2.5	กรอบแนวคิดในการวิจัยและกระบวนการ	42
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล	45
3.1	ลักษณะงานวิจัย.....	45
3.2	การออกแบบงานวิจัย	45
3.3	การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
3.4	การเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการก่อสร้าง	47
3.4.1	การสังเกตและสำรวจข้อมูล (Observe Input Data).....	47

3.4.2 องค์ประกอบของข้อมูล	48
3.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง	49
3.5.1 การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของข้อมูลเวลาการทำงาน	49
3.5.2 การวิเคราะห์ค่า Emissions Factor ของเครื่องจักร.....	53
3.5.3 การวิเคราะห์อัตราส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor)	54
3.6 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model)	55
3.6.1 การออกแบบกระบวนการก่อสร้าง.....	55
3.6.2 ระบบการจำลองสถานการณ์ (Simulation System)	55
3.6.3 Discrete Event Simulation (DES).....	57
3.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์วิเคราะห์ค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	61
3.7.1 การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ	62
3.7.2 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Simphony.NET.....	62
3.7.3 การเปรียบเทียบค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ	67
3.7.4 การออกแบบกระบวนการก่อสร้างโดยประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์หาแนว ทางการลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	68
บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษใน กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ	69
4.1 ลักษณะของกรณีศึกษา: การก่อสร้างทางรถไฟในโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งผู้โดยสารทาง รถไฟที่ท่าเรือแหลมฉบัง	69
4.1.1 ข้อมูลโครงการ	70
4.1.2 การเตรียมการของงานก่อสร้างทางรถไฟ	72
4.1.3 งานดินคั่นทางรถไฟ (Embankment)	73
4.1.4 งานระบบรางรถไฟ (Track)	74
4.2 แนวคิดการพัฒนาแบบจำลอง	77

4.3 การพัฒนากรอบแนวคิดของการจำลอง (Conceptual Modeling)	79
4.3.1 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานสร้างคันทางรถไฟ (Track Bed).....	80
4.3.2 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานสร้างหินโรยทางชั้นแรก (Bottom Ballast).....	82
4.3.3 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานวางระบบราง (Track work).....	84
4.3.4 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานก่อสร้างชั้นหินโรยทางและระบบรางให้ ได้ระดับ	86
4.4 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง (Input Modeling Analysis).....	88
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องจักรในกิจกรรมก่อสร้าง.....	89
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่า Emission Factor ของเครื่องจักรในกิจกรรมก่อสร้างทางรถไฟ ..	92
4.4.3 ผลการวิเคราะห์ค่า Load Factor (LF) ของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้าง	93
4.4.4 ข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับเป็นพารามิเตอร์นำเข้าสู่แบบจำลองเพื่อประมาณค่า ก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	95
4.5 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Symphony.NET	97
4.5.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET	97
4.5.2 Modeling Element	98
4.5.3 การเขียนฟังก์ชัน/สูตร/โค้ด ในโปรแกรม Symphony.NET	102
4.6 การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษใน กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ	103
4.6.1 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟชั้นพื้นทาง (Track Bed)	104
4.6.2 แบบจำลองกระบวนการสร้างหินโรยทางชั้นแรก (Bottom Ballast).....	106
4.6.3 กระบวนการก่อสร้างระบบราง (Track Panels).....	107
4.6.4 กระบวนการก่อสร้างงานชั้นหินโรยทางและความมั่นคงของทาง (Tracks Settling)	108
4.7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์แบบจำลอง Emissions.....	110

4.7.1 พิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification).....	110
4.7.2 ตรวจสอบข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง (Input Data Validation)	112
4.7.3 ตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Validate and Analysis Model Output)	112
4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อย Emissions จากแบบจำลองสถานการณ์.....	116
4.8.1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจกและมลพิษด้วยแบบจำลองสถานการณ์	116
4.8.2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการทำงานของเครื่องจักร	118
4.8.3 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างจำแนกตาม เครื่องจักร	119
4.8.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์และอัตราการทำงานเฉลี่ย	122
4.9 สรุปการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการ ก่อสร้างทางรถไฟ	123
บทที่ 5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษใน กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ	124
5.1 การออกแบบทางเลือกของสถานการณ์ (Alternative Scenarios Designs).....	125
5.2 แนวทางการลดค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ (Track Bed).....	125
5.2.1 การปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการขนส่งดินในปัจจุบัน	126
5.2.2 การพิจารณาปรับลดความล่าช้าจำนวนเที่ยวการขนส่งดินของรถบรรทุก	128
5.2.3 พิจารณาภาพรวมของโครงการ	132
5.3 แนวทางการลดค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างชั้นหินโรยทาง	133
5.4 แนวทางการลดค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างงานระบบราง	134
5.4.1 การเพิ่มจำนวนรถวางหมอน	134
5.4.2 ทางเลือกการปรับวิธีการทำงาน	135

5.5 แนวทางการลดค่า Emission ในกระบวนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างงานระบบรางให้ได้ระดับ.....	136
5.6 ทางเลือกด้านอื่นๆ นอกเหนือจากงานวิจัย	136
5.6.1 ทางเลือกด้านปรับปรุงการดำเนินงาน	136
5.6.2 การเลือกเครื่องยนต์ที่มีค่ามลพิษต่ำ (Low Emission Engine).....	138
5.3.2 ทางเลือกด้านเทคโนโลยี.....	138
5.3.2 ทางเลือกด้านเชื้อเพลิง	139
5.7 สรุปทางเลือกในการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ	139
5.7.1 พิจารณาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ.....	139
5.7.2 พิจารณาวิธีการทำงานที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน.....	140
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	141
6.1 สรุปผลการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ.....	141
6.1.1 พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง	142
6.1.2 กระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ.....	142
6.1.3 กระบวนการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรก.....	143
6.1.4 กระบวนการก่อสร้างระบบราง.....	143
6.1.5 กระบวนการก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ	144
6.2 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	145
6.2.1 พิจารณาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ.....	145
6.2.2 วิธีการทำงานที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน.....	145
6.3 ข้อจำกัดงานวิจัย.....	146
6.4 ข้อเสนอแนะการวิจัยในอนาคต	146
รายการอ้างอิง	148

ภาคผนวก	153
ภาคผนวก ก.....	153
ภาคผนวก ข.....	163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	182



สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 แนวโน้มของก๊าซเรือนกระจก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก 2016).....	7
รูปที่ 2.2 วัฏจักรของโครงการ (Project Life Cycle).....	11
รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างทางรถไฟ.....	21
รูปที่ 2.4 การใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ.....	23
รูปที่ 2.5 การใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างระบบราง.....	24
รูปที่ 2.6 การใช้เครื่องจักรกลกระบวนการก่อสร้างชั้นหินโรยทาง.....	24
รูปที่ 2.7 หน้าจอการทำงานของ Road Construction Emission Model.....	34
รูปที่ 2.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	43
รูปที่ 3.1 การออกแบบงานวิจัย.....	46
รูปที่ 3.2 การจำลองสถานการณ์ (Simulation) (Chung. 2004).....	47
รูปที่ 3.3 เวลาการทำงานของเครื่องจักรในไซต์งานก่อสร้าง.....	49
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเวลาทำงาน.....	50
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการหาค่า Emission Factor จากฐานข้อมูล NONROAD Model.....	54
รูปที่ 3.6 ระบบการจำลองกระบวนการก่อสร้าง.....	55
รูปที่ 3.7 การจำแนกประเภทแบบจำลอง (Simulation Model Classification).....	56
รูปที่ 3.8 Time - Advance Mechanism.....	58
รูปที่ 3.9 ผังการทำงานของ Discrete-Event Simulation.....	60
รูปที่ 3.10 กรอบแนวคิดการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางลดค่าก๊าซเรือน กระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ.....	61
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองและการนำเข้าข้อมูล.....	66
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างรายงานผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET.....	67
รูปที่ 4.1 กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งตู้สินค้าทางรถไฟที่ท่าเรือแหลมฉบัง.....	70

รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างทางและมิติในการก่อสร้างทางรถไฟ.....	70
รูปที่ 4.3 แนวเส้นทางก่อสร้างทางรถไฟจากสถานีรถไฟแหลมฉบัง-ท่าเรือแหลมฉบัง	71
รูปที่ 4.4 ลักษณะการกองดินของการสร้างคันทางรถไฟ	73
รูปที่ 4.5 เครื่องจักรขณะทำงานเทกองดิน ล้มกองดิน เกลี่ยและบดอัดแน่นดิน	74
รูปที่ 4.6 ลักษณะการทำงานเครื่องจักรงานวางระบบราง (Track Panels).....	76
รูปที่ 4.7 ลักษณะการก่อสร้างงานหินโรยทางชั้นที่ 2 และการปรับระดับรางให้มั่นคง.....	77
รูปที่ 4.8 แนวทางการพัฒนาแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่า Emissions	78
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบในระบบการเกิดขึ้นของเหตุการณ์ (Banks 2005)	80
รูปที่ 4.10 แผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานสร้างคันทางรถไฟ	82
รูปที่ 4.11 แผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานลงหินโรยทางชั้นแรก	84
รูปที่ 4.12 แผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานวางระบบราง	86
รูปที่ 4.13 แผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ..	88
รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเวลากิจกรรมการทำงานในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ....	89
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการหาค่าการกระจายตัวของงานขนส่งหินโรยทาง 1.....	90
รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของโปรแกรม Simphony.NET.....	98
รูปที่ 4.17 การจัดลำดับความสัมพันธ์ในแบบจำลอง.....	104
รูปที่ 4.18 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ	106
รูปที่ 4.19 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรก	107
รูปที่ 4.20 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างระบบราง	108
รูปที่ 4.21 แบบจำลองการก่อสร้างชั้นหินโรยทางและความมั่นคงของทาง	109
รูปที่ 4.22 การเขียนคำอธิบาย Model Element และ Coding.....	111
รูปที่ 4.23 ตรวจสอบการ Run Controller (IRC) หรือ Debug.....	111
รูปที่ 4.24 การตรวจสอบ Graphical Interfaces	112

รูปที่ 4.25 ปริมาณ Gas Emission จำแนกตามสถานการณ์ก่อสร้างทางรถไฟ.....	117
รูปที่ 4.26 สัดส่วนปริมาณ Gas Emissions ตามสถานการณ์ก่อสร้างทางรถไฟ.....	117
รูปที่ 4.27 เป็นตัวอย่างค่าการปล่อย CO ₂ emission ตามเวลาการจำลอง	118
รูปที่ 4.28 ค่า CO ₂ emissions จากกระบวนการทำงานจำแนกตามเครื่องจักร	119
รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบการคำนวณค่า CO ₂ emissions จากอัตราการทำงานเฉลี่ยและการจำลองสถานการณ์	122
รูปที่ 5.1 แนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	124
รูปที่ 5.2 เส้นทางการขนส่งดินจากที่เก็บกองไปยังสถานที่ก่อสร้าง.....	126
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO ₂ emissions.....	126
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลผลิตและเปอร์เซ็นต์การใช้งานเครื่องจักร	127
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO ₂ emissions ต่อกิโลเมตร	128
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO ₂ emissions.....	129
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลผลิตและเปอร์เซ็นต์การใช้งานเครื่องจักร	129
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและต้นทุน CO ₂ emissions ต่อกิโลเมตร	130
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของเครื่องจักรและค่า CO ₂ emissions ตามระยะทางก่อสร้าง	132
รูปที่ 5.10 รอบเวลาการทำงานของรถบรรทุก (นาทื) เมื่อระยะทางการก่อสร้างเพิ่ม	133
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้งานกับค่า CO ₂ emissions.....	134
รูปที่ 5.12 การลด CO ₂ emissions โดยปรับขนาดอุปกรณ์ยึดจับหมอน.....	135
รูปที่ 5.13 ค่า CO ₂ emission จากวิธี Lewis และ NONROAD	137

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของมลพิษทางอากาศ (Pan 2011).....	12
ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่ศึกษาการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในวัฏจักรของโครงการก่อสร้าง	13
ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์การปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกจากงานวิจัยต่าง	18
ตารางที่ 2.4 แนวทางการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้าง	20
ตารางที่ 2.5 ข้อมูลทางเทคนิคเครื่องจักรกลงานทางรถไฟ	22
ตารางที่ 2.6 ชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างรถไฟทางคู่.....	25
ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของโมเดลที่ใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ	38
ตารางที่ 3.1 รูปแบบทั่วไปของการกระจายตัวทางทฤษฎี.....	52
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบแบบจำลอง (Model Element).....	63
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเครื่องจักรกลที่ใช้ในการก่อสร้างทางรถไฟ.....	72
ตารางที่ 4.2 ปริมาณงานและข้อมูลในการก่อสร้างทางรถไฟระยะทาง 1 กิโลเมตร.....	73
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบแบบจำลอง DES ของงานก่อสร้างดินคันทางรถไฟ.....	81
ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบที่ใช้ในแบบจำลอง DES ของงานลงหินโรยทางชั้นแรก.....	83
ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบที่ใช้ในแบบจำลอง DES ของงานวางระบบราง.....	85
ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบที่ใช้ในแบบจำลอง DES ของงานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง.....	87
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบการกระจายตัวของแต่ละกิจกรรม.....	91
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรงานก่อสร้างทางรถไฟ.....	93
ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่า Load Factor ของเครื่องจักรตามสภาวะการทำงาน	94
ตารางที่ 4.10 รายละเอียดของ ทรัพยากร อัตราการทำงาน สำหรับการจำลองกระบวนการก่อสร้าง	96
ตารางที่ 4.11 คำอธิบาย Modeling Element ใน Symphony.NET.....	99
ตารางที่ 4.12 สูตรเบื้องต้นที่ใช้กำกับในการจำลองสถานการณ์	102

ตารางที่ 4.13 ผลการตรวจสอบความถูกต้องและการวิเคราะห์แบบจำลอง.....	115
ตารางที่ 4.14 ระยะเวลาการก่อสร้างทางรถไฟเฉลี่ยต่อกิโลเมตร	116
ตารางที่ 4.15 ผลการจำลองค่า Gas Emissions จากเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ	120
ตารางที่ 5.1 ต้นทุนที่ลดได้จากการปรับปรุงการทำงานของรถบรรทุกต่อกิโลเมตร	131
ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบ CO ₂ emission การปรับเพิ่มจำนวนเครื่องจักรวางหมอน.....	135



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันการก่อสร้างด้านโครงสร้างพื้นฐานกำลังขยายตัวอย่างต่อเนื่องตามยุทธศาสตร์พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคมของไทย พ.ศ. 2558-2565 โดยการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการคมนาคม สร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจ สร้างโอกาสในการเป็นศูนย์กลางการขนส่งในอาเซียน รวมทั้งเชื่อมการเดินทางและขนส่งกับประเทศเพื่อนบ้าน การก่อสร้างทางรถไฟเป็นส่วนหนึ่งซึ่งอยู่ในแผนงานพัฒนาโครงข่ายรถไฟระหว่างเมือง ประกอบด้วย การก่อสร้างรถไฟทางคู่และทางสายใหม่ โดยเหตุผลที่ต้องก่อสร้างรถไฟทางคู่ก็เพราะต้องการเพิ่มความจุของทาง ลดเวลาในการเดินทาง ลดอุบัติเหตุทางถนน รองรับปริมาณผู้โดยสารและสินค้าที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีโครงการปรับปรุงทางรถไฟและโครงการอื่นๆ อีกหลายโครงการ (การรถไฟแห่งประเทศไทย 2558)

โครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่มักเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการดำเนินกิจกรรมซึ่งแบ่งได้ 3 สาเหตุหลักคือ การผลิตและจัดเตรียมวัสดุ การขนส่งวัสดุ และการใช้เครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้าง (Chang and Kendall 2011) โดยการศึกษาพบแหล่งกำเนิดก๊าซจากกระบวนการผลิตและจัดเตรียมวัสดุ เช่น Ma, Sha et al. (2016) พบว่าในโครงการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์กระบวนการผสมแอสฟัลต์เป็นสาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและ Krezo, Mirza et al. (2016) พบว่ากระบวนการการผลิตหินโรยทาง ราง และหมอนในโครงการก่อสร้างทางรถไฟมีส่วนสำคัญต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น ต่อไปด้านการขนส่งวัสดุ เช่น Ahn, Pan et al. (2010) พบว่าการขนส่งดินรกรทุกเป็นส่วนสำคัญในการเกิดก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น สุดท้ายการใช้เครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้าง เช่น Sandanayake, Zhang et al. (2015) พบว่ากระบวนการขุด-ตักวัสดุมีส่วนสำคัญต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยกระบวนการเหล่านี้มีการใช้เครื่องจักรจำนวนมากในการดำเนินงาน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนและส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญ ปัจจุบันมีงานวิจัยพยายามศึกษาในหลายๆ ด้าน โดยมลพิษที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการก่อสร้างประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และอนุภาคหรือควันดำ (PM) โดยพบว่าการทำงานของเครื่องจักรงานก่อสร้างมีการปล่อยก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

และสุขภาพของมนุษย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซพิษที่ส่งผลกระทบต่อระบบการหายใจ เป็นต้น โดยหากสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องจักรในช่วงการก่อสร้างลง 10% จะส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ประมาณ 5% (Truitt 2009) ดังนั้นการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการก่อสร้างจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา

การประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานก่อสร้าง ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมักทำในช่วงการออกแบบ การก่อสร้าง การใช้งานและการซ่อมบำรุง ในช่วงการออกแบบเป็นการประมาณโดยสถาปนิกและวิศวกรเพื่อออกแบบโครงการก่อสร้างให้สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงการดำเนินงาน ด้วยการเลือกวัสดุและการวางแผนการใช้เครื่องจักร โดย Tang, Cass et al. (2013) ทำการศึกษาหาแนวทางการจัดการก๊าซเรือนกระจกในช่วงวางแผนโครงการโดยดูความสัมพันธ์ระหว่างงบประมาณ ระยะเวลาโครงการและอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในช่วงการก่อสร้างเป็นการประมาณค่าที่เกิดจากกิจกรรมระหว่างก่อสร้าง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการ เช่น การผลิตวัสดุ การขนส่งวัสดุ การก่อสร้าง เป็นต้น ส่วนในช่วงการใช้งานเป็นการประมาณค่า Emissions ในกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การซ่อมบำรุง การทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งช่วงการใช้งานทำให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซเยอะที่สุด โดยการแสดงผลการของก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจะแสดงเป็นอัตราการปล่อยมลพิษ (Emission Rate) ที่ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การปล่อยมลพิษของเครื่องจักร (Emission Factor) ซึ่งแสดงในรูปมวลของมลพิษที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยปริมาณการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงหรือต่อเวลาการทำงานของเครื่องจักร (Ahn, Pan et al. 2010)

อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ศึกษาการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ช่วงการก่อสร้างในปัจจุบันมีจำนวนไม่มาก เนื่องจากการประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในขั้นตอนการก่อสร้างมีระยะเวลายาวนานเมื่อเทียบกับช่วงการใช้งาน แต่การประมาณค่าในช่วงดังกล่าวก็มีความน่าสนใจและจำเป็นต้องศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่มักมีความซับซ้อนและมีความแตกต่างกันของการก่อสร้างในแต่ละขั้นตอน ทำให้จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรจำนวนมากในการดำเนินงานก่อสร้างและยังจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีโอกาสเกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ จากเหตุดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องทำการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีข้อมูลในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปรับปรุงพัฒนาการก่อสร้างโดยมองที่ระดับกระบวนการซึ่งจะทำให้ทราบถึงแนวทางและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ทราบว่า การปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ส่งผลอย่างไร เพื่อเสนอแนวทางป้องกันและลดการเกิดผลกระทบต่อไป

1.2 ปัญหาของงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าขั้นตอนของการการก่อสร้างเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาพยายามศึกษาในขั้นตอนต่างๆของการก่อสร้าง ซึ่งการศึกษาในระดับกระบวนการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเครื่องจักรและการขนส่งวัสดุพบว่ามียุ่จำนวนไม่มากและไม่ครอบคลุมทุกชนิดของงานก่อสร้างรวมทั้งกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ ซึ่งเป็นงานที่มีความแตกต่างจากงานก่อสร้างทั่วไป คือ ลักษณะโครงสร้างทางเป็นแบบมีหินโรยทาง (Ballast) ประกอบด้วยโครงสร้างส่วนล่าง ได้แก่ Subgrade Sub-Ballast และโครงสร้างส่วนบน ได้แก่ หินโรยทาง หมอนคอนกรีต รางและอุปกรณ์ยึดเหนี่ยว (เงิน บัญชี 2554)

การก่อสร้างทางรถไฟมีลักษณะของพื้นที่ก่อสร้างเป็นระยะทางยาวตามภูมิประเทศ การขนส่งวัสดุอุปกรณ์และการเข้าออกต้องใช้ทางรถไฟเดิมเป็นหลัก มีการใช้เครื่องจักรจำนวนมาก โดยการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนของทางเครื่องจักรที่นำมาใช้เป็นชนิดพิเศษ มีกำลังสูง มีการใช้มันเชื้อเพลิงเป็นส่วนในการขับเคลื่อน เช่น รถอัดหิน (Tamping) รถจักร (Locomotive) เป็นต้น ในงานโครงสร้างส่วนล่าง Subgrade Sub-Ballast เครื่องจักรที่ใช้มีลักษณะใกล้เคียงกับการก่อสร้างงานดินทั่วไปแต่การดำเนินงานต่างกันจากลักษณะเฉพาะของงาน ดังนั้นจากลักษณะความซับซ้อนของการก่อสร้างและการใช้เครื่องจักรข้างต้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาและประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้างทางรถไฟ

สำหรับแนวทางในการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ จากงานวิจัยที่ผ่านมา มี 2 วิธี คือ การตรวจวัดด้วยเครื่องมือชนิดพิเศษจะมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งนิยมทำเพื่อจัดเก็บฐานข้อมูลหรือวัดค่าในช่วงดำเนินการ เช่น Ma, Sha et al. (2016) ใช้เครื่องมือชนิดอินฟราเรดวัดปริมาณการเกิดมลพิษของการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์ (Asphalt Pavement) และ Heidari and Marr (2015) ใช้ PEMS ติดตั้งที่เครื่องจักรเพื่อวัดปริมาณการปล่อยมลพิษ เป็นต้น ส่วนการประมาณค่าการปล่อยมลพิษโดยใช้โมเดลนิยมกระทำเพื่อใช้วางแผนการดำเนินงานของกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งปัจจุบันมีหลายโมเดลที่มีการจัดเก็บฐานข้อมูลของเครื่องจักรโดยแยกเป็นงานแต่ละประเภทไว้ เช่น NONROAD Model , OFFROAD Model เป็นต้น

การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษโดยใช้โมเดลที่เป็นฐานข้อมูล ในฐานข้อมูลประกอบด้วยค่า Emission Factor ของเครื่องจักรสำหรับงานประเภทนั้นๆ ซึ่งค่าเหล่านี้ได้จากการทดสอบเครื่องจักรในห้องทดลองและมีการวัดค่าจริงจากสนามโดยใช้เครื่องมือ PEMS แสดงผลใน

หน่วยมวลของก๊าซต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ หรือมวลของก๊าซต่อระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งในอดีตที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่ใช้ฐานข้อมูลศึกษา เช่น Sandanayake, Zhang et al. (2015) ได้ทำการศึกษาเรื่องปริมาณการปล่อยมลพิษในกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะโดยใช้ NONROAD Model หาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Emission Factor) ของเครื่องจักรแต่ละชนิดที่ใช้ดำเนินการกิจกรรมและนำไปประมาณค่าอัตราการปล่อยมลพิษ (Emission rate) โดยโมเดลเหล่านี้มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถแสดงการทำงานของเครื่องจักรได้ทุกสถานะสภาพการทำงานตามกระบวนการก่อสร้างจริง เช่น เวลาเครื่องจักรกำลังทำงาน (Working time) เวลาที่เครื่องจักรว่างงาน (Idle Time) ทำให้ระยะเวลาการทำงานคลาดเคลื่อน เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยของ Ahn, Pan et al. (2010) ประยุกต์ใช้การจำลองเวลาการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดิน (Earthmoving) พบว่าการประมาณค่าอัตราการปล่อยก๊าซมีความแม่นยำมากขึ้นเนื่องจากระยะเวลาการทำงานมีความถูกต้อง ซึ่งแนวคิดนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าการปล่อยมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟได้

จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนของการก่อสร้างนั้นมีความสำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ อย่างไรก็ตามเพื่อให้มีการตระหนักถึงความสำคัญ จำเป็นต้องมีการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษรวมทั้งการวิเคราะห์ในระดับกระบวนการ ซึ่งการคำนวณในอดีตมองถึงภาพรวมในระดับโครงการและรายละเอียดในกระบวนการก่อสร้าง ในขณะที่ระดับกระบวนการก่อสร้างจะทำให้ทราบถึงแนวทางการพัฒนาปรับปรุง โดยจากงานวิจัยและโมเดลที่ผ่านมายังไม่ครอบคลุมในส่วนของกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟและไม่สามารถนำมาปรับใช้กับการก่อสร้างทางรถไฟในประเทศไทยได้ เนื่องจากความแตกต่างกันในด้าน ขั้นตอนก่อสร้าง กระบวนการการทำงานของเครื่องจักร สภาพพื้นที่ทำงาน ความชำนาญของบุคลากรและลักษณะเฉพาะของงานก่อสร้าง ซึ่งการประมาณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษของโครงการก่อสร้างทางรถไฟมีความสำคัญต่อการวางแผนการใช้เครื่องจักร การหาแนวทางในการป้องกันเพื่อลดมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาโครงการก่อสร้างทางรถไฟในอนาคตเพื่อส่งเสริมให้การก่อสร้างมีการบริหารจัดการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) สำหรับออกแบบกระบวนการก่อสร้างเพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ โดยแนวทางออกแบบกระบวนการก่อสร้างได้แก่วิธีการทำงานที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน และจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงานและสัมพันธ์กับทรัพยากรอื่นๆ โดยในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์รองคือ การพัฒนา

แบบจำลองสถานการณ์สำหรับวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อนำข้อมูลไปออกแบบกระบวนการและสนับสนุนวัตถุประสงค์หลัก

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือ สร้างแบบจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟสำหรับประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยใช้กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งผู้โดยสารทางรถไฟที่ท่าเรือแหลมฉบัง มุ่งเน้นศึกษาในส่วนของกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่มีการใช้เครื่องจักรในการทำงาน ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจากภาคสนามซึ่งประกอบด้วย การก่อสร้างคันทางรถไฟ (Track Bed) ซึ่งเป็นกิจกรรมงานดิน ได้แก่ ชั้นดินพื้นทาง (Subgrade) ชั้นรองหินโรยทาง (Sub-Ballast) และงานโครงสร้างทางส่วนบนที่เป็นกิจกรรมงานระบบราง (Track Panel) ได้แก่ กิจกรรมหินโรยทางชั้นแรก กิจกรรมวางหมอน กิจกรรมวางรางและเครื่องประกอบราง ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง จากนั้นประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อหาแนวทางลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างที่มีการใช้เครื่องจักรดำเนินงาน

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก่อสร้างรวมทั้งในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟและแนวทางในการประมาณค่า
2. เก็บข้อมูลกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟจากกรณีศึกษาโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งผู้โดยสารทางรถไฟที่ท่าเรือแหลมฉบัง
3. นำข้อมูลกระบวนการทำงานของเครื่องจักรสร้างกรอบแนวคิดการเกิดเหตุการณ์ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟโดยใช้หลักการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (DES)
4. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากกระบวนการก่อสร้างเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์นำเข้าสู่แบบจำลอง (Input Modeling) ประกอบด้วยข้อมูลรูปแบบการกระจายตัวของระยะเวลากิจกรรม (Distribution) ข้อมูลค่า Emission Factor และข้อมูลสัดส่วนกำลังของเครื่องจักรที่ใช้งาน (Load Factor) ของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่พิจารณา
5. สร้างแบบจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟตามกรอบแนวคิดร่วมกับพารามิเตอร์นำเข้าสู่แบบจำลองเพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

6. ประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากเครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ จากนั้นเสนอแนวทางในการลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

7. สรุปผลการวิจัย ปัญหาที่พบ ข้อจำกัด แนวทางแก้ไข และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถใช้แบบจำลองสถานการณ์ประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่สอดคล้องกับกรณีศึกษา

2. สามารถใช้แบบจำลองสถานการณ์ในวิเคราะห์ในรายละเอียดของกระบวนการก่อสร้าง วางแผนการดำเนินงานของเครื่องจักรในงานก่อสร้างทางรถไฟหรืองานที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเพื่อหาแนวทางลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

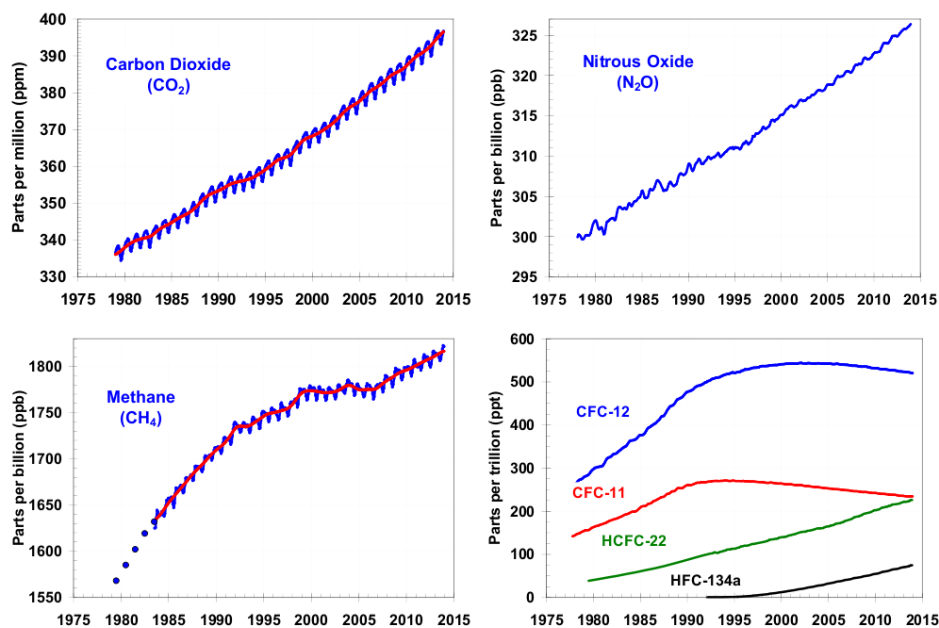
บทนี้จะกล่าวเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานก่อสร้างแต่ละประเภท รวมทั้งการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อดูลักษณะการทำงานที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ วิธีการวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ปัจจัยที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกและมลพิษเพื่อหาข้อสรุปที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับงานก่อสร้างทางรถไฟ จากนั้นนำแนวคิดมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษรวมทั้งแนวทางการลดปริมาณก๊าซดังกล่าวต่อไป

2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ

ปัจจุบันมีการให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากสถานการณ์ของโลกมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น จนทำให้น้ำแข็งที่อยู่ขั้วโลกละลาย โดยสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ เช่น มลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม การตัดไม้ทำลายป่า การทำเกษตรกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน ควันจากท่อไอเสีย เป็นต้น การกระทำที่ปล่อยอากาศเสียเหล่านี้ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษออกสู่อากาศ (Greenhouse Gases Emission)

2.1.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas; GHG)

ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซที่ห่อหุ้มโลกไว้ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวัน แล้วค่อยๆ คายพลังงานความร้อนออกมาในตอนกลางคืน ทำให้อุณหภูมิในบรรยากาศของโลกค่อยๆ เปลี่ยนแปลง ซึ่งถ้าหากไม่มีก๊าซเหล่านี้อยู่ในชั้นบรรยากาศ จะทำให้อุณหภูมิโลกในตอนกลางวันนั้นร้อนจัดและในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด ปัจจุบันก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีจากการทำกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ทั้งในภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่งผลให้มีการดูดซับปริมาณรังสีความร้อนไว้ในบรรยากาศมากเกินไปจนสมดุล ผลที่ตามมาคือทำให้บรรยากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลกและสิ่งมีชีวิตพื้นผิวโลกเกิดเป็นปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) หรือภาวะโลกร้อน (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก 2016)



รูปที่ 2.1 แนวโน้มของก๊าซเรือนกระจก (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก 2016)

ศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจกโลก (World Data Centre for Greenhouse Gases) ได้สรุปก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญและที่เกี่ยวข้องดังนี้ (WDCGG 2008)

2.1.1.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 4 ในอากาศ รองจากไนโตรเจน ออกซิเจนและ อาร์กอน โดยระดับของคาร์บอนไดออกไซด์มีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ โดยปัจจุบันมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น การหายใจของสิ่งมีชีวิต หรือการเผาไหม้ของสารประกอบอินทรีย์ เป็นต้น

2.1.1.2 ก๊าซมีเทน (CH_4)

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแก๊สธรรมชาติ การปล่อยแก๊สจากหลุมฝังกลบขยะ มีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีความสำคัญต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับสองรองจากคาร์บอนไดออกไซด์

2.1.1.3 ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O)

ก๊าซไนตรัสออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสีและไม่ติดไฟ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญซึ่งปัจจุบันมีระดับสูงขึ้นทั่วโลก

2.1.1.4 ฮาโลคาร์บอน (HC)

ฮาโลคาร์บอนเป็นสารประกอบคาร์บอนที่รวมตัวกับ ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน หรือ ไอโอดีน ฮาโลคาร์บอน ที่ประกอบด้วยคลอรีน เช่น คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs), ไฮโดรคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (HCFCs), คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4), เมทิลคลอโรฟอร์ม (CH_2Cl_2) และรวมกับโบรมีน ที่เรียกว่า ฮาลอน (Halon) ซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการทำลายชั้นโอโซน

2.1.1.5 โอโซน (O_3)

โอโซนเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีส่วนสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและการแผ่รังสีความร้อนของโอโซนในระดับพื้นดินคือส่วนประกอบที่อยู่ในหมอกควัน (Smog) และอากาศร้อนทั่วไป ปัจจุบันมีอยู่ในระดับพื้นดินมากขึ้นจนอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

2.1.1.6 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส แต่มีความเป็นพิษอย่างร้ายแรง เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน โดยเฉพาะเครื่องยนต์สันดาปภายใน คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจกแต่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนผสมของก๊าซเรือนกระจก

2.1.1.7 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x , NO และ NO_2)

ไนโตรเจนออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆในอุณหภูมิสูง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ของรถยนต์ โรงไฟฟ้า อุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจกแต่มีส่วนทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซเรือนกระจกตัวอื่นๆ ที่สำคัญโดยการทำปฏิกิริยากับอนุภาคไฮดรอกซิล กล่าวคือ เมื่อมี NO_x , CO และ HC จะถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดโอโซน (O_3) ในชั้นใกล้ผิวโลก ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตัวหนึ่งที่มีผลต่อสมดุลการแผ่รังสีของโลกและทำให้เกิด OH อีกครั้งซึ่งมีศักยภาพในการเกิดออกซิเดชันในบรรยากาศและนำไปสู่การเป็นกรด

2.1.1.8 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจกแต่เป็นสารตั้งต้นของละอองกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ในบรรยากาศซึ่งละอองกรดซัลฟูริกนี้เกิดจากการเปลี่ยน จากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาเป็นอนุภาคโดยปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นแหล่งเกิดฝนกรดและตะกอนกรดที่สำคัญ

จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่าก๊าซเหล่านี้สามารถออกเป็น 2 ชนิดคือ ก๊าซเรือนกระจก (GHG) และก๊าซที่ไม่ใช่ก๊าซเรือนกระจก (Non-GHG) หรือเป็นพวงมณฑลพิษที่ส่งเสริมให้เกิดก๊าซเรือนกระจกแต่ไม่ได้มีผลโดยตรง ในปัจจุบันการปล่อยก๊าซเหล่านี้มีแนวโน้มที่สูงขึ้นจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ จึงได้มีการแนวทางในการแสดงข้อมูลของก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมเหล่านั้นเรียกว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์

2.1.2 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint)

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ หมายถึงก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์หรือบริการตลอดวัฏจักรชีวิต (Product Life Cycle) ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง การประกอบชิ้นส่วน การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน (Disposal) โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ Equivalence) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่มาจากปฏิกิริยาโตเกียวในเดือนธันวาคมของปี 1997 ซึ่งเป็นความพยายามที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปัจจุบันหลายๆ หน่วยงานได้จัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรมีการคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF) โดยนำไปใช้ทั้งในลักษณะประเมินการใช้ทรัพยากรในองค์กรโดยอ้างอิงกับค่ามาตรฐานของ EF ที่มีอยู่และอาจต้องคำนวณหาค่า EF เพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีฐานข้อมูล (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก 2016)

2.1.3 ประเภทการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) แบ่งการปล่อยของก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 3 ประเภทคือ

2.1.3.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct GHG Emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงเป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมโดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักรกล การใช้น้ำมันหุงต้ม การขนส่ง การรั่วไหลของก๊าซจากอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น

2.1.3.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อมจากการใช้พลังงาน (Indirect GHG Emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อมจากการใช้พลังงานเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากผลที่ตามมาของกิจกรรม เช่น การซื้อเชื้อเพลิงมาใช้ในองค์กร พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน เป็นต้น

2.1.3.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อมจากด้านอื่นๆ (Other Indirect GHG Emission)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อมจากด้านอื่นๆ เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกเหนือจากประเภทที่ 1, 2 ได้แก่ วัสดุสำนักงาน การหุงต้ม เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้จะเน้นศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟซึ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงเป็นหลัก

2.1.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นอยู่กับ 2 ตัวแปรหลัก คือ ข้อมูลกิจกรรมและค่าการปล่อย โดยการคำนวณปริมาณจะแสดงออกมาในหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ equivalent)

2.1.4.1 ข้อมูลกิจกรรม (Activity Data)

ข้อมูลกิจกรรม คือปริมาณการใช้พลังงานหรือกระบวนการที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปล่อยออกมา เช่น ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น โดยแสดงออกมาเป็นหน่วยการใช้งาน

2.1.4.2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor, EF)

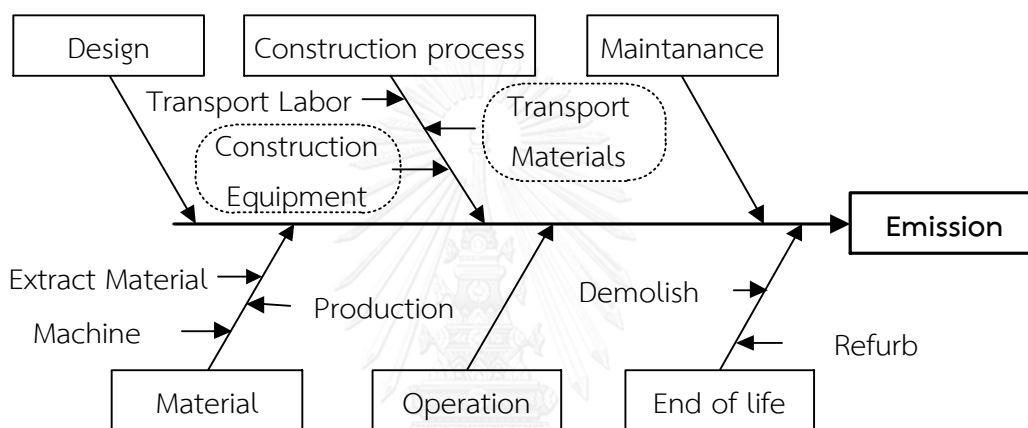
ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหนึ่งหน่วยกิจกรรม เช่น EF ของน้ำมันคิดเป็นกรัมต่อลิตร , EF ของรถบรรทุกคิดเป็นกรัมต่อระยะทางกิโลเมตร เป็นต้น

โดยผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกที่กล่าวมาข้างต้น ได้มีกลุ่มประเทศอุตสาหกรรมทำข้อตกลงสนธิสัญญาภูมิอากาศโลกหรือที่เรียกว่าพิธีสารโตเกียว กำหนดพันธกรณีผูกพันต่อประเทศอุตสาหกรรมให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อให้มีการตระหนักการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจำนวน 6 ชนิด ประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) ไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) ซึ่งได้ตั้งเป้าหมายการลด GHG ให้ควบคุมไว้ที่ระดับของปี 1990 เป็นปีฐาน โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้าง

งานวิจัยที่ศึกษาการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้างสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกศึกษาวัฏจักรของโครงการดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย ช่วงผลิตและจัดหาวัสดุ ช่วงดำเนินการก่อสร้าง ช่วงใช้งาน ช่วงซ่อมบำรุง และช่วงสิ้นอายุการใช้งาน โดยนิยมใช้วิธีการประเมินวัฏจักร (Life Cycle Assessment , LCA) ในการวิเคราะห์และติดตามปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ซึ่งถือเป็นการวิเคราะห์ในระดับโครงการ (Project Level) เช่น (Barandica, Fernández-Sánchez et al. 2013) ใช้วิธี LCA ประเมินก๊าซเรือนกระจกจากโครงการก่อสร้างถนน

โดยแสดงผลเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นต่อระยะทางเป็นกิโลเมตร นอกจากนี้ Guggemos and Horvath (2005) ใช้ LCA เป็นเครื่องมือตัดสินใจการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในโครงการก่อสร้างอาคาร เป็นต้น ในขณะที่การศึกษาของกลุ่มที่สอง เป็นการศึกษาก๊าซเรือนกระจกในระดับกระบวนการก่อสร้าง (Process Level) โดยสามารถศึกษาถึงลงไปในระดับกระบวนการที่ละเอียดขึ้น (Micro Level) โดยการวิเคราะห์มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการขนส่งเครื่องจักรและวัสดุ การดำเนินการของเครื่องจักรในกระบวนการที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยผลของการวิเคราะห์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน ช่วงวางแผนการดำเนินงานในช่วงเริ่มโครงการได้ (Ahn, Pan et al. 2010)



รูปที่ 2.2 วัฏจักรของโครงการ (Project Life Cycle)

กระบวนการก่อสร้างในปัจจุบันมีการใช้ยานพาหนะและเครื่องจักรกลหนักมาใช้สนับสนุนการดำเนินงานก่อสร้างภาคสนาม ซึ่งเครื่องจักรในงานก่อสร้างเป็นระบบเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง โดยเครื่องจักรแต่ละชนิดจะมีรอบการทำงาน (Duty Cycle) อายุการใช้งานของเครื่องจักร และลักษณะงานที่ใช้เครื่องจักรในการดำเนินงานที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการขับเคลื่อนของระบบเครื่องยนต์ในเครื่องจักรทำให้เกิดปล่อยมลพิษออกสู่อากาศ โดยมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรประกอบด้วยส่วน 2 ส่วน คือ ก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ส่วนก๊าซเรือนกระจก (GHG) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ส่วนมลพิษประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และ อนุภาคหรือควันดำ (PM) (Apif and Phil 2013, Heidari and Marr 2015) ซึ่งก๊าซมลพิษเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกและยังส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบของมลพิษทางอากาศ (Pan 2011)

ก๊าซ	ผลกระทบ
CO ₂	เป็นองค์ประกอบหลักของก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน
NO _x	สามารถสร้างมลพิษทางอากาศ (Photochemical) หมอกควัน โอโซนและฝนกรด ที่เป็นอันตรายต่อการทำงานของปอด ทำให้เกิดปัญหาระบบทางเดินหายใจ
HC	สามารถสร้างโอโซนซึ่งทำให้ร่างกายเสี่ยงต่อการติดเชื้อ
CO	เป็นก๊าซพิษ ลักษณะเป็นหมอกควัน ส่งผลกระทบต่อทางเดินหายใจ
PM	มีผลร้ายทำให้เกิด โรคหอบหืดและปัญหาทางเดินหายใจอื่น ๆ เช่น PM _{2.5} เพิ่มจำนวนของการเสียชีวิตเนื่องจากโรคหัวใจและหลอดเลือดและระบบทางเดินหายใจและโรคมะเร็งปอด; PM ₁₀ ยังมีผลต่อการเจ็บป่วยทางเดินหายใจ

หมายเหตุ : PM_{2.5} หมายถึง อนุภาคที่เส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร และ PM₁₀ หมายถึง อนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 10 ไมโครเมตร

การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในโครงการก่อสร้างหลายๆ ประเภทในแต่ละช่วงของโครงการมีการใช้วิธีประมาณค่าที่แตกต่างกัน เช่น การใช้วิธีประเมินวัฏจักรโครงการ การใช้แบบจำลองช่วยคาดการณ์ การใช้ฐานข้อมูลสำหรับการประมาณค่า เป็นต้น ซึ่งผลของการวิเคราะห์แสดงค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยที่นำไปวิเคราะห์และการเลือกใช้วิธีประมาณค่าที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุด

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานก่อสร้างแต่ละประเภท

การก่อสร้างเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก โดยการก่อสร้างประกอบด้วยโครงการต่างๆ เช่น งานอาคาร งานถนน งานดิน และงานทางรถไฟซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ เป็นต้น โดยโครงการเหล่านี้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่างกันขึ้นอยู่กับช่วงวัฏจักรโครงการก่อสร้างตั้งแต่ช่วงการออกแบบ ช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง ช่วงกระบวนการก่อสร้าง ช่วงใช้งานและซ่อมบำรุง และช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งาน ซึ่งมีกลุ่มงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาในช่วงต่างๆ ของโครงการสามารถสรุปดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่ศึกษาการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในวัฏจักรของโครงการก่อสร้าง

ช่วงโครงการ	งานอาคาร	งานถนน	งานดิน	งานรถไฟ
1.ช่วงการออกแบบ	A			
2.ช่วงการผลิตวัสดุก่อสร้าง	A,B	D,E,F,G		L
3.ช่วงกระบวนการก่อสร้าง				
3.1 การใช้เครื่องจักรกลก่อสร้าง	B,C	D,F,G	H,I,J	L
3.2 การขนส่งวัสดุ เครื่องจักร	B	D,F,G		L
4.ช่วงใช้งานและซ่อมบำรุง		G		K
5.ช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งาน	B			

หมายเหตุ A. (Hong, Shen et al. 2015) B. (Guggemos and Horvath 2005) C. (Sandanayake, Zhang et al. 2015) D. (Wang, Duan et al. 2015) E. (Ma, Sha et al. 2016) F. (Wei, Lin et al. 2013) G. (Barandica, Fernández-Sánchez et al. 2013) H. (Apif and Phil 2013) I. (Hong-xian and Zhen 2010) J. (Ahn, Pan et al. 2010) K. (Krezo, Mirza et al. 2016) L.(Chang and Kendall 2011)

2.2.1.1 งานก่อสร้างอาคารสูง (High-rise buildings construction)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการก่อสร้างอาคารมีการศึกษาอยู่หลายวิธี ได้แก่ การศึกษาในประเทศจีนโดยใช้วิธีตามคู่มือ ISO 14064-1:2006 ซึ่งแบ่งการประมาณค่าตามชนิดของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือ การปล่อยทางตรงและทางอ้อม ผลการศึกษาพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงมากที่สุดนี้เกิดจากการใช้ไฟฟ้าในการก่อสร้างอาคารและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมเกิดจากกระบวนการผลิตวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง โดยงานวิจัยเสนอแนะให้แก้ไขปัญหาดังกล่าวในช่วงการออกแบบ ซึ่งผู้ออกแบบสามารถเลือกกระบวนการผลิตวัสดุและเทคโนโลยีที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลให้ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ (Hong, Shen et al. 2015) ในขณะที่ยังงานวิจัยที่สองศึกษาด้วยการวิเคราะห์วัฏจักร (Life Cycle Assessment; LCA) โดยผลการการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธี LCA พบว่าเครื่องจักรมีส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 50% ของปริมาณทั้งหมด (Guggemos and Horvath 2005) นอกจากนี้มีงานวิจัยที่เน้นศึกษาการวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับกระบวนการก่อสร้าง Sandanayake, Zhang et al. (2015) ศึกษาและพัฒนาารูปแบบการวัดปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะในงานอาคารสูงโดยใช้วิธีของสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency; US. EPA) พบว่าอัตราการปล่อยมลพิษ (Emission Rate) จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้เครื่องจักรในงานแต่ละประเภท ซึ่ง

พบว่าในส่วนองงานเสาเข็มเจาะการทำงานของเครื่องเจาะเสาเข็ม (Piling Rig) และการทำงานของรถปั๊มคอนกรีต (Concrete Pumping Truck) มีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด

2.2.1.2 งานก่อสร้างถนน (Road Construction)

การศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกงานก่อสร้างถนนมักประยุกต์ใช้วิธีการประเมินวัฏจักร (Life-Cycle Assessment, LCA) เพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนของโครงการ ซึ่งในการก่อสร้างประกอบด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับงาน เช่น งานดินพื้นทาง, งานปูผิวจราจร, งานสะพาน, และงานอุโมงค์ เป็นต้น

ในงานก่อสร้างถนนแอสฟัลต์ (Pavement Construction) เป็นส่วนที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดของโครงการก่อสร้าง ซึ่งส่วนมากมักเกิดขึ้นในขั้นตอนผลิตวัสดุมากที่สุด รองลงมาเป็นขั้นตอนการก่อสร้าง และขั้นตอนการขนส่งวัสดุ (Wang, Duan et al. 2015) นอกจากนี้ในมีการใช้เครื่องมือวัด GHG Sensor ซึ่งสามารถวัดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการและแสดงผลออกมาในหน่วย ppm และ CO₂ เทียบเท่าต่อระยะทางถนน ผลการศึกษาพบว่าในกระบวนการผสมแอสฟัลต์มีค่าการปล่อยก๊าซมากที่สุด (Ma, Sha et al. 2016) ในงานสร้างถนนคอนกรีตผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกพบว่ามีความใกล้เคียงกัน โดยในขั้นตอนการเตรียมวัสดุและผสมคอนกรีตเกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด รองลงมาคือ ช่วงการดำเนินการก่อสร้างและการขนส่ง (Wei, Lin et al. 2013) ส่วนในขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างในกิจกรรมงานดินมีส่วนสำคัญมากที่สุด ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร (Barandica, Fernández-Sánchez et al. 2013)

2.2.1.3 งานดิน (Earthwork)

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้างงานดินพบว่าเป็นการศึกษาในระดับการทำงานของเครื่องจักรเป็นหลัก เนื่องจากงานดินเป็นงานขนาดใหญ่มีการใช้เครื่องจักรในการดำเนินงานจำนวนมาก ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ คำนวณจากปัจจัยที่สำคัญของเครื่องจักรเช่น อัตราการทำงาน อัตราการใช้ น้ำมัน ค่า Emission Factor เป็นต้น จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยความแม่นยำในการประมาณค่าขึ้นอยู่กับการประมาณระยะเวลาการทำงาน (Duration) อัตราการทำงาน (Production Rate) และสถานะของเครื่องจักร (State) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามีการหาปริมาณก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจริงด้วยเครื่องมือ PEMS และการใช้โมเดลที่เก็บรวบรวมฐานข้อมูลไว้ใช้ประมาณค่า เช่น NONROAD Model ,Lewis's Model เป็นต้น นอกจากนี้มีการประยุกต์ใช้โมเดลการจำลองเหตุการณ์ (Discrete Event Simulation) เข้ามาเป็นส่วนเสริมความแม่นยำของการประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

การประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษมีการประยุกต์ใช้เครื่องมือในการประมาณค่า เช่น Apif and Phil (2013) พัฒนาโมเดลที่ใช้ประมาณค่าอัตราการทำงาน ระยะเวลา อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณการปล่อยมลพิษจากกิจกรรมงานดิน โดยการพัฒนา Multiple Linear Regression (MLR) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณการขุดเพื่อจำลองการอัตราการขุด จากนั้นนำไปประมาณค่าร่วมกับ EPA's NONROAD ซึ่งใช้สำหรับหาค่า Emission Factor ของเครื่องจักรโดย ผลการศึกษาพบว่าอัตราการใช้น้ำมันและการปล่อยมลพิษจะแปรผันตรงกับความลึก ในการขุดและขนาด Bucket จะแปรผกผันกับอัตราการปล่อยมลพิษ ซึ่งการใช้ Bucket ขนาดโตจะทำให้ลดการปล่อยเนื่องจากมีอัตราการทำงานที่สูงขึ้น นอกจากนี้ Hong-xian and Zhen (2010) วิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดินในงานก่อสร้างอาคาร โดยใช้ DES Model ร่วมกับโมเดลที่เป็นฐานข้อมูลพบว่าหากมีฐานข้อมูลของเครื่องจักรที่ถูกต้องจะทำให้การประมาณค่ามีความแม่นยำและถูกต้องมากขึ้นซึ่งตรงกับงานวิจัยของ (Ahn, Pan et al. 2010) ที่พบว่าในการประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษโดยเลือกใช้ค่า Emission Factor จากฐานข้อมูลมีส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำ เช่น ฐานข้อมูล NONROAD Model และ Lewis's Model เป็นต้น โดยเครื่องจักรงานดินที่มีส่วนสำคัญต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือ รถดันดิน (Bulldozer) รถขุดตัก (Excavator) และรถบรรทุก (Truck)

2.2.1.4 งานทางรถไฟ (Railway)

ในงานก่อสร้างทางรถไฟการเกิดก๊าซเรือนกระจกจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางรถไฟซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างแบบมีหินโรยทางและไม่มีหินโรยทาง Chang and Kendall (2011) ศึกษาในการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงในแคลิฟอร์เนียพบว่าก่อสร้างคันทางรถไฟชนิดหินโรยทางมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าชนิดที่ไม่ใช่หินโรยทางหรือเป็นทางยกระดับ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากกระบวนการผลิตวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น หินโรยทาง ราง หมอน เป็นต้น รองลงมาเป็นการขนส่งวัสดุและการทำงานของเครื่องจักร นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างดินตัด-ถมเป็นแหล่งสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งผลการศึกษาเป็นแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Krezo, Mirza et al. (2016) ที่วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโครงการปรับปรุงทางรถไฟ โดยผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนการผลิตวัสดุส่งผลต่อการปล่อยก๊าซมากที่สุด นอกจากนี้มีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น สภาพสถานที่ก่อสร้าง เป็นต้น

งานก่อสร้างแต่ละประเภทมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยขั้นตอนการก่อสร้างประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญคือ กระบวนการผลิตและจัดเตรียมวัสดุในงานก่อสร้าง และการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งแต่ละงานมีการมุ่งเน้นศึกษากระบวนการทำงานที่ต่างกัน แนวทางการประมาณค่ามีการเลือกใช้เครื่องมือที่ต่างกันขึ้นอยู่กับระดับที่สนใจ ได้แก่

การประเมินก๊าซเรือนกระจกในระดับโครงการสามารถใช้วิธีประเมินวัฏจักรในช่วงต่างๆของโครงการ ซึ่งพบว่าขั้นตอนการผลิตและจัดเตรียมวัสดุสำหรับการก่อสร้างมีค่าการปล่อยมากที่สุด รองลงมาเป็น ขั้นตอนการก่อสร้างและการขนส่ง ในขณะที่การประเมินก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการก่อสร้าง การทำงานของเครื่องจักร การขนส่งวัสดุ เป็นแหล่งสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งตรงกับงานวิจัยที่สนใจศึกษาในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟจึงสามารถนำแนวคิดเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ได้ อย่างไรก็ตามในกระบวนการก่อสร้างยังมีปัจจัยด้านต่างๆ ที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ค่าการปล่อยโดยขอกกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้าง

จากงานวิจัยในอดีตวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานก่อสร้าง ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการประมาณค่า นอกจากนี้ปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์ยังขึ้นอยู่กับระดับของกลุ่มตัวอย่างการศึกษา เช่น ระดับโครงการ ระดับกระบวนการ เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้จะศึกษาในระดับกระบวนการก่อสร้าง จึงขอยกตัวอย่างปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับกระบวนการก่อสร้างซึ่งประกอบด้วยดังนี้

1. ปัจจัยด้านกิจกรรมที่ดำเนินการ ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะการทำงานและเครื่องจักรในการก่อสร้าง เช่น งานขุด งานเคลื่อนย้ายวัสดุ เป็นต้น ซึ่งแต่ละงานมีการใช้เครื่องจักรในการดำเนินการต่างชนิดกัน ซึ่งการดำเนินงานที่ต่างกันส่งผลต่อชนิดของวัสดุ ปริมาณวัสดุและชนิดของเครื่องจักร

2. ปัจจัยด้านสภาพพื้นที่ก่อสร้างและสภาพอากาศ ได้แก่ ระยะทางขนส่ง สภาพถนน ความชัน ความต้านทานการเคลื่อนที่ เป็นต้น

3. ปัจจัยด้านความชำนาญของคนงาน เช่น การผ่านฝึกอบรม ประสบการณ์ เป็นต้น

4. ปัจจัยด้านเครื่องจักร บอกถึงคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องจักร เช่น ประเภทเครื่องจักรที่ใช้ อัตรากำลัง (HP) รุ่นปีที่ผลิตเครื่องจักร ชนิดของเครื่องยนต์ ความเร็วรอบ (RPM) เป็นต้น

5. ปัจจัยด้านสถานะทำงานของเครื่องจักร (State) เช่น จอดติดเครื่อง (Idle) ทำงาน (Working) เร่งเครื่องเต็มกำลัง (Accelerated) เป็นต้น ซึ่งสถานะของเครื่องจักรขึ้นอยู่กับสภาพการทำงาน (Condition) โดยพบว่าเครื่องจักรใช้กำลังสูงในช่วงทำงานต่อเนื่องและลดเมื่อมีการรอกอย นอกจากนั้นสถานะทำงานของเครื่องจักรยังส่งผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยต้องวิเคราะห์ค่าสัดส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักรต่อชั่วโมงการใช้งานรวมด้วย (Load Factor)

6. ปัจจัยด้านการปล่อยก๊าซ (Emission Factor) ขึ้นอยู่กับรอบการทำงานเครื่องจักรแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จากการปล่อยไอเสียจากเครื่องจักร เป็นปริมาณการปล่อยมลพิษต่ออัตราการใช้น้ำมัน (กรัม/ลิตร) หรืออัตราการปล่อยมลพิษต่อระยะเวลา (กรัม/ชั่วโมง) หรืออัตราการปล่อยมลพิษต่อกำลังม้า-ระยะเวลา (กรัม/HP-ชั่วโมง) โดยค่าการปล่อยดังกล่าวมีการคำนวณเป็นตารางเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลเช่น NONROAD Model, Lewis's Model เป็นต้น

7. ปัจจัยด้านระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักร (Duration) โดยปกติเครื่องจักรมีการทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ จะมีช่วงการทำงาน (Non-Idle) และรอคอยหรือจอดพัก (Idle) ตามขั้นตอนการทำงาน โดยระยะเวลาการดำเนินงานทั้งหมด (Total Time) = Non-Idle Time + Idle Time

8. ปัจจัยด้านประสิทธิภาพการทำงาน (Operation Equipment Efficiency) คือ เวลาที่เครื่องจักรทำงานในหนึ่งชั่วโมง (min/hr.) โดยจะแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทำงานจริงเครื่องจักรไม่ได้ใช้เวลาทำงานเต็ม 100% เช่น มีการพักของคนงาน การติดต่อประสานงาน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เกิดจากการวางแผนและควบคุมการดำเนินการ ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานมีผลต่อการประมาณค่าการปล่อยมลพิษในกระบวนการก่อสร้าง

จากการศึกษาพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในช่วงกระบวนการก่อสร้างมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ประกอบด้วยหลายปัจจัย จึงได้สรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งแต่ละงานวิจัยใช้ในการวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่ใช้วิเคราะห์การปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกจากงานวิจัยต่าง

งานวิจัย	1	2	3	4	5	6	7	8
1. ปัจจัยภายนอก								
1.1 กิจกรรม	●	●	●	●	●	●	●	●
1.2 ระยะเวลา	●		●	●	●	●	●	●
1.3 สภาพพื้นที่ก่อสร้าง					●	●	●	●
1.4 สภาพอากาศ					●			
1.5 ความชำนาญแรงงาน					●			
2. ปัจจัยจากเครื่องจักรกล								
2.1 ชนิด/โมเดล/กำลัง	●	●	●	●	●	●	●	●
2.2 อายุ/การเสื่อมสภาพ								
2.3 เวลา/อัตราการทำงาน (min./hr.)	●	●	●	●	●	●	●	●
2.4 อัตราการใช้น้ำมัน			●	●	●		●	●
2.5 สถานการณ์ทำงาน (State)		●	●	●	●	●		●
2.6 ประสิทธิภาพการทำงาน				●	●			
2.7 Load Factor			●	●	●			●
2.8 Emission Factor	●	●	●	●	●	●	●	●
2.9 จำนวนเครื่องจักร	●			●		●		
3. ปัจจัยด้านวัสดุ/การขนส่ง								
3.1 ปริมาณวัสดุ	●	●	●	●		●	●	
3.2 ระยะทางขนส่ง	●	●	●	●				

หมายเหตุ 1. (Hong-xian and Zhen 2010) 2. (Ahn, Pan et al. 2010) 3. (Yi, Gwak et al. 2016) 4. (Ahn and Lee 2013) 5. (Lewis, Leming et al. 2012) 6. (Sandanayake, Zhang et al. 2015) 7. (Apif and Phil 2013) 8. (Heidari and Marr 2015)

จากงานวิจัยในอดีตปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษเหล่านี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในงานวิจัยนี้ได้ เนื่องจากการศึกษาในกระบวนการก่อสร้างเช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้งานวิจัยในอดีตยังมีการพัฒนาฐานข้อมูลของเครื่องจักร จากการวัดข้อมูลจริงในสนามและทดสอบในห้องทดลอง โดยปัจจัยเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเก็บข้อมูลจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลและนำไปเป็นพารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลองเพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษต่อไป

2.2.3 ขั้นตอนการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

การประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษสามารถอธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์ในระหว่างออกแบบและก่อสร้างโดยมีแนวทางดังนี้ (Fsitaliane 2011)

1. นิยามขอบเขต ขั้นแรกให้คำนิยามขอบเขตของการใช้งาน ที่ครอบคลุมขั้นตอนการออกแบบและการก่อสร้างไปจนถึงการส่งมอบงาน

2. ระบุประเภทและแหล่งที่มา เช่น เครื่องจักรกลในงานก่อสร้าง การขนส่งทางรถบรรทุก เรือ รถไฟ โรงงานวัสดุก่อสร้าง โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ เป็นต้น

3. วิเคราะห์หาปริมาณแหล่งกำเนิด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมและการใช้ทรัพยากรในโครงการ เช่น ปริมาณคอนกรีตที่ใช้กับปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล เป็นต้น

4. การวิเคราะห์ปัจจัยการปล่อย เป็นการกำหนดแหล่งที่มาของการปล่อย โดยใช้แหล่งที่มาอย่างเป็นทางการและได้รับการยอมรับและมีการปรับปรุงเป็นประจำทุกปี

5. การหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ข้อมูลกิจกรรม ทรัพยากรที่ใช้และปัจจัยในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนำข้อมูลไปคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

การวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างที่เกิดจากเครื่องจักรกลงานก่อสร้างนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของเครื่องจักร ค่า Emission Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิดซึ่งสามารถคำนวณได้จากฐานข้อมูล เช่น NONROAD Model, OFFROAD Model, Lewis's Model , PEMS เป็นต้น โดยความแม่นยำในการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจะขึ้นอยู่กับการคาดการณ์อัตราการใช้งาน (Utilization) สัดส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor) และผลผลิตภาพการทำงานของเครื่องจักร (Productivity)

2.2.4 การออกแบบแนวทางลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษถือเป็นสิ่งสำคัญซึ่งสามารถทำต่อเนื่องจากการวิเคราะห์ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ การควบคุมกระบวนการทำงานภายในไซต์งานก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพทำให้สามารถลดการเกิดมลพิษทางอากาศจากการก่อสร้างได้ โดยมีงานวิจัยในอดีตสนับสนุนการศึกษาว่าการวางแผนการใช้เครื่องจักรและการเลือกใช้เครื่องจักรให้เหมาะสมกับงานสามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในช่วงการก่อสร้างได้มากกว่า 10% เช่น การลดเวลาสูญเปล่าหรือเวลารอคอย (Idle Time) การเปลี่ยนเครื่องจักรให้มีกำลังต่ำลง เป็นต้น (Sandanayake, Zhang et al. 2015) นอกจากนี้รายงานของ National Construction Sector Lead US.EPA ประเมินโอกาสที่จะลดมลพิษในงานก่อสร้างจากกิจกรรมต่างๆ โดยสรุปตารางที่ 2.4

ซึ่งแนวทางที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกและมลพิษได้มากที่สุดในช่วงการก่อสร้างคือ การลดเวลารอคอยหรือเวลาที่สูญเสีย (Truitt 2009)

ตารางที่ 2.4 แนวทางการลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้าง

ด้านเครื่องจักร	ด้านวัสดุ	ด้านอื่นๆ
การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำมัน	รีไซเคิลหรือนำกลับมาใช้ใหม่	การออกแบบ
การเพิ่มอายุการใช้งาน	การปรับปรุงกระบวนการขนส่งให้ดีขึ้น	การวางแผนขั้นตอนงานก่อสร้าง
การลดเวลารอคอย (Idle Time)	การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม	การเลือกไซต์งาน
การปรับปรุงกำลังเครื่องยนต์		การขนส่งคนงาน
การฝึกอบรมคนขับ		
การเลือกเครื่องจักรให้เหมาะสม		

จากการศึกษาในอดีตแสดงให้เห็นถึงแนวทางที่ดีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ แต่อย่างไรก็ตามแนวทางการลดดังกล่าวในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงอาจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยในการปล่อยก๊าซด้วย ซึ่งงานก่อสร้างแต่ละชนิดมีแนวทางที่แตกต่างกัน การหาแนวทางการลดจึงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ในกระบวนการก่อสร้าง เช่น กิจกรรมที่ทำ คุณสมบัติของเครื่องจักร ลักษณะการทำงานของเครื่องจักร สภาพพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น

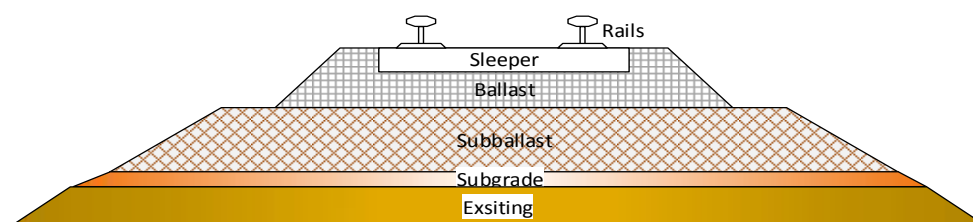
2.3 กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการอธิบายลักษณะของการก่อสร้างทางรถไฟ ส่วนที่สองจะอธิบายถึงกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ และสุดท้ายจะอธิบายถึงความแตกต่างของงานก่อสร้างทางรถไฟและงานก่อสร้างอื่นๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องศึกษาในงานวิจัยนี้

2.3.1 ลักษณะการก่อสร้างทางรถไฟ

การก่อสร้างทางรถไฟที่มีระยะทางยาวตามแนวเส้นทางที่ออกแบบไว้ โดยจะแบ่งการก่อสร้างเป็นช่วงๆ ซึ่งมักผ่านพื้นที่หลายภูมิภาคที่มีความแตกต่างกัน การเข้าออกพื้นที่ก่อสร้างส่วนมากต้องใช้ทางรถไฟเดิมเป็นหลัก เนื่องจากบางพื้นที่อยู่ห่างจากถนนหลัก ลักษณะการก่อสร้างจึงต้องปรับตามลักษณะโครงการ

ลักษณะของโครงสร้างทางรถไฟสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ โครงสร้างทางแบบมีหินโรยทางและแบบไม่มีหินโรยทาง โดยในประเทศไทยการก่อสร้างทางรถไฟส่วนใหญ่เป็นลักษณะแบบมีหินโรยทาง ซึ่งโครงสร้างของทางประกอบด้วย 2 ส่วน คือโครงสร้างส่วนล่าง (Sub-Structure) เป็นส่วนของคันทางรถไฟซึ่งต้องทำการก่อสร้างให้ได้รูปทรงตามแบบมาตรฐานประกอบด้วย ชั้นรองพื้นทาง (Sub ballast) , ชั้นพื้นทาง (Subgrade) และโครงสร้างส่วนบน (Super-Structure) ประกอบด้วย หินโรยทาง (Ballast) หมอนรองราง (Sleeper) เครื่องยึดเหนี่ยว (Fastening) และรางรถไฟ (Rails) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (เจน บุญชื้อ 2554)



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างทางรถไฟ

2.3.1.1 งานโครงสร้างส่วนล่าง

โครงสร้างส่วนล่างเป็นส่วนที่สร้างขึ้นเป็นคันทางรถไฟประกอบด้วยชั้นรองพื้นทาง (Sub ballast) , ชั้นพื้นทาง (Subgrade) งานเหล่านี้เป็นส่วนที่สำคัญหลักในการก่อสร้างทางรถไฟ เนื่องจากการดำเนินงานดังกล่าวกระทำในช่วงต้นโครงการ มูลค่าของงานก่อสร้างในขั้นตอนนี้สูงประมาณ 5% ของค่าก่อสร้างทั้งโครงการ นอกจากนั้นยังเป็นส่วนที่รับการกระจายน้ำหนักรจากโครงสร้างส่วนบนจึงต้องการมาตรฐานในการก่อสร้างที่มีคุณภาพ ซึ่งในกระบวนการก่อสร้างมีการนำเครื่องจักรหนักจำนวนมากเข้ามาใช้ในกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดิน กระบวนการบดอัดแน่นคันทาง เพื่อก่อสร้างคันทางรถไฟให้ได้ตามมาตรฐาน และมีความมั่นคงแข็งแรง

2.3.1.2 งานโครงสร้างส่วนบน

งานในส่วนนี้เป็นการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนของทาง ตั้งแต่หินโรยทาง (Ballast) ไปจนถึงราง (Rails) โดยงานโครงสร้างส่วนบนเป็นงานหลักในการก่อสร้างทางรถไฟ เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้ในการเดินรถไฟ งานส่วนนี้มีมูลค่าในการก่อสร้างสูงประมาณ 21% ของค่าก่อสร้างทั้งโครงการ เป็นงานที่ดำเนินการต่อจากงานคันทางรถไฟ นอกจากนั้นในด้านความแข็งแรงงานส่วนนี้เป็นการก่อสร้างเพื่อรับน้ำหนักการกระจายตัวของแรงจากขบวนรถไฟที่มีลักษณะเป็นแบบไดนามิกส์ มีความจำเป็นต้องก่อสร้างให้มีความมั่นคงแข็งแรง ซึ่งในกระบวนการก่อสร้างเครื่องจักรที่นำมาใช้งานเป็นเครื่องจักรชนิดพิเศษ มีกำลังสูง เครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และนำมาใช้ในเฉพาะงานก่อสร้างทาง

รถไฟเป็นหลัก โดยเครื่องจักรที่เคยนำมาใช้ในโครงการที่ผ่านมามีข้อมูลทางเทคนิคซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลทางเทคนิคเครื่องจักรกลงานทางรถไฟ

ลำดับ	เครื่องจักร	รุ่น	ข้อมูลด้านเชื้อเพลิง			
			HP	ประสิทธิภาพ	Factor	การใช้น้ำมัน (ลิตร/ชม.)
1	Tamping - Plain	09-16 CAT	315	80%	0.0631	15.90
2	Tamping - Switch	08-16 3S	315	80%	0.0653	16.46
3	Ballast Regulator	PBR400R	180	80%	0.0740	10.66
4	Track Stabilizer	DGS 62N	275	80%	0.1278	28.12
5	Utility Track Vehicle	UTV	1200	80%	0.1982	190.27

จากข้อมูลพบว่าการดำเนินการก่อสร้างทางรถไฟประกอบด้วย งานดินคันทางรถไฟและงานระบบราง ซึ่งแต่ละงานมีการนำเครื่องจักรเข้ามาดำเนินการเป็นจำนวนมาก ซึ่งการใช้เครื่องจักรในงานก่อสร้างทางรถไฟพบว่ามีภาระระบุไว้รายการจำเพาะทางเทคนิคของการก่อสร้างทางรถไฟ (Technical Specification) ว่าผู้รับจ้างจะต้องจัดให้มีเครื่องจักรเพียงพอในงานก่อสร้างทางรถไฟ โดยสามารถสรุปรายละเอียดไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการก่อสร้างและลักษณะการใช้งาน โดยการใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างมีส่วนสำคัญในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกิจกรรมต่างๆ ทั้งส่วนที่เป็นกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟและงานระบบรางโดยรายละเอียดจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.3.2 กระบวนการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

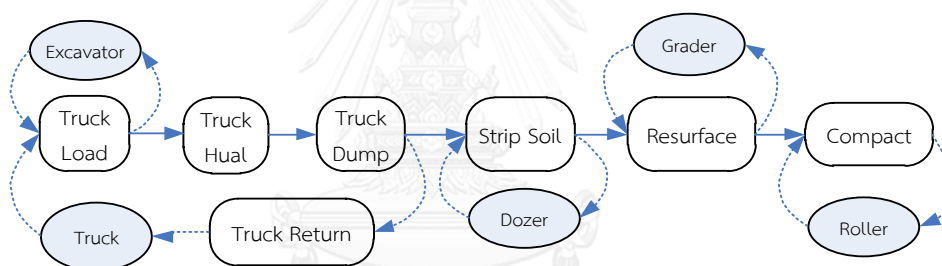
กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ โดยจากการเก็บมูลจากการรถไฟฯ พบว่ากระบวนการก่อสร้างทางรถไฟประกอบด้วยงานหลัก 2 ส่วนหลัก คือ กิจกรรมการก่อสร้างคันทางรถไฟและกิจกรรมการก่อสร้างระบบราง ซึ่งในกิจกรรมดังกล่าวประกอบด้วยกระบวนการก่อสร้างมีขั้นตอนที่ซับซ้อนตั้งแต่การขนย้ายวัสดุมายังตำแหน่งที่จะก่อสร้าง การนำวัสดุลงไปเตรียมไว้ในทาง การก่อสร้างในทาง การตรวจสอบความสมบูรณ์ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยในการทำงาน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการก่อสร้าง

2.3.2.1 กิจกรรมการก่อสร้างคันทางรถไฟ (Track bed)

กิจกรรมก่อสร้างคันทางรถไฟประกอบด้วยกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดินและการกระบวนการเกลี่ย-บดอัดดินแน่นเพื่อสร้างชั้นดินขึ้นเป็นคันทาง

กระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดินจะประกอบไปด้วยการขุดดินจากบ่อขุดดินด้วยรถขุด (Excavator) แล้วตักดินใส่ท้ายบรรทุก (Loading) จากนั้นรถบรรทุกจะใช้เวลาขนส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางและสภาพทาง (Hauling) ไปยังสถานที่ก่อสร้างจากนั้นรถบรรทุกจะเทดินออกจากท้ายบรรทุก (Dumping) เมื่อเสร็จก็จะเดินทางกลับ (Return) เพื่อมารับดินใหม่จะทำงานซึ่งจะเป็นรอบการทำงานของรถบรรทุก (Truck Cycle Time)

เมื่อเทดินจากท้ายรถบรรทุก รถดันดิน (Bulldozers) จะทำการกระจายดินออกเป็นกองๆ (Spreading) ต่อไปรถเกลี่ย (Grader) จะทำการล้มนกองดินแล้วเกลี่ยปรับระดับดิน (Grading) จากนั้นเริ่มทำการการบดอัดดิน (Compaction) ซึ่งรอบการบดอัดดินจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในดินโดยนำดินตัวอย่างไปทดสอบเพื่อหาค่าการบดอัด กระบวนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ

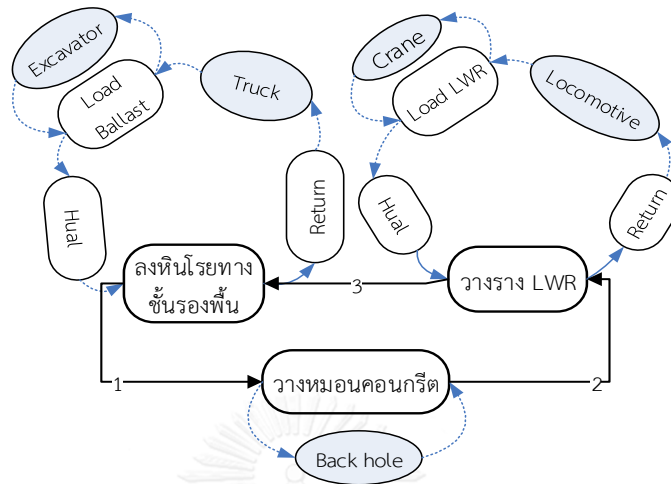
2.3.2.2 กิจกรรมการก่อสร้างระบบราง (Track Work)

กิจกรรมก่อสร้างระบบรางประกอบด้วยกระบวนการลงหินโรยทางชั้นแรก กระบวนการก่อสร้างระบบรางและกระบวนการก่อสร้างระบบรางให้มั่นคง

กระบวนการลงหินโรยทางชั้นแรกเป็นการดำเนินการก่อสร้างต่อจากงานสร้างคันทางรถไฟ กระบวนการประกอบด้วย การขนส่งวัสดุและการนำไปลงในทาง ในการขนส่งหากมีทางรถไฟเดิมจะใช้ตู้บรรทุกของรถไฟแต่หากอยู่ห่างจากทางรถไฟเดิมจะใช้รถบรรทุกแทน จากนั้นเป็นการลงหินโรยทางชั้นรองพื้นและทำการบดอัดหินประมาณ 1-2 รอบ

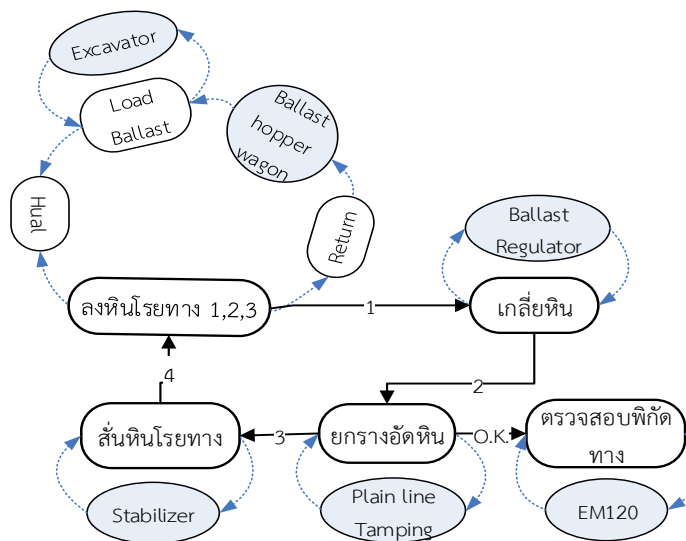
กระบวนการก่อสร้างระบบรางประกอบด้วย การวางหมอน วางรางและติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยว ซึ่งมีการนำเครื่องจักรหนักเข้ามาทำงาน เช่น รถขุด-ตัก เครน หัวรถจักร เป็นต้น กระบวนการ

ก่อสร้างจะมีความสัมพันธ์กับงานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง โดยกระบวนการทำงานจริงจะมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพ ซึ่งมีกระบวนการทำงานเบื้องต้นดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการก่อสร้างระบบราง

กระบวนการก่อสร้างระบบรางให้มั่นคงเป็นการก่อสร้างในส่วนหนึ่งของโครงสร้างทางส่วนบนในชั้นหินโรยทางโดยมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องจากงานวางระบบราง กระบวนการก่อสร้างประกอบด้วย การขนส่งหินโรยทางจากที่เก็บกองและนำมาโรยลงยังพื้นที่ก่อสร้างโดยการขนส่งสามารถใช้ทางรถไฟได้ ขั้นตอนการทำงานหลักประกอบด้วย การลงหิน การเกลี่ยหิน การยกรางอัดหิน การสั่นหินและการตรวจสอบสภาพทาง ซึ่งลักษณะการทำงานจะเป็นรอบดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยแต่ละขั้นตอนมีเครื่องจักรเข้ามาเกี่ยวข้องกับการทำงาน เช่น รถตัก ,รถบรรทุก ,รถสั่นหินโรยทาง (Stabilizer) ,รถอัดหินโรยทาง (Tamping) ,รถเกลี่ยหินโรยทาง (Ballast Regulator) เป็นต้น



รูปที่ 2.6 การใช้เครื่องจักรกลกระบวนการก่อสร้างชั้นหินโรยทาง

จากกระบวนการก่อสร้างงานดั่งที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าการใช้เครื่องจักรกลจำนวนมากในการก่อสร้างทางรถไฟซึ่งประกอบด้วยงานหลัก 2 ส่วนคือ การเคลื่อนย้ายหรือขนส่งวัสดุ และการทำงานในกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งจากงานวิจัยในอดีตได้มีข้อสรุปว่าเครื่องจักรเป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ดังนั้นงานก่อสร้างทางรถไฟจึงเกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างได้ในลักษณะเช่นเดียวกันและมีความจำเป็นในการศึกษากระบวนการดังกล่าว

ตารางที่ 2.6 ชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างรถไฟทางคู่

งาน	เครื่องจักร	คำอธิบาย
งานเคลื่อนย้ายมวลดิน	รถขุดดิน (Excavators) 	<u>ลักษณะ</u> : เป็นเครื่องจักรกลมีทั้งประเภทตีนตะขาบและล้อ ยางที่มีแขนยกแขนต่อ บังก็แบบตักเข้าหาตัวรถ <u>การใช้งาน</u> : โดยเครื่องจักรดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างดั่งนี้ การเคลื่อนย้ายวัสดุโดยการขุดและตักแล้วเคลื่อนย้ายไป การตัดทางบนไหล่เขา การขุดวางท่อระบายน้ำ การขุด-ตักแหล่งวัสดุ เป็นต้น
	รถบรรทุกดิน (Dum Trucks) 	<u>ลักษณะ</u> : ตัวกระบะจะติดตั้งระบบไฮดรอลิคเพื่อใช้ยกกระบะขึ้น-ลงเพื่อเทวัสดุออกที่ด้านท้าย <u>การใช้งาน</u> : ใช้ในการขนย้ายดินหรือวัสดุอื่น ๆ ไปยังที่ที่กำหนดไว้
งานสร้างคันทาง	รถดันดิน (Bulldozers) 	<u>ลักษณะ</u> : เป็นเครื่องจักรกลประเภทตีนตะขาบที่ติดตั้งใบมีดอยู่ที่ด้านหน้า สามารถใช้ระบบไฮดรอลิคยกหรือกดใบมีดในระดับที่ต้องการ <u>การใช้งาน</u> : ใช้ในการเปิดหน้าดิน ปรับพื้นที่ดันดินการตัดทางบนไหล่เขา การขุดดิน การล้มต้นไม้ การเคลื่อนย้ายวัสดุ การรวมกองวัสดุและการล้มกองวัสดุ เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างรถไฟทางคู่ (ต่อ)

งาน	เครื่องจักร	คำอธิบาย
งานสร้างคันทาง	รถเกรดดิน (Grader) 	<p><u>ลักษณะ</u> : รถเกลี่ยจะเป็นเครื่องจักรกลล้ออย่างแบบ ขับเคลื่อนด้วยตัวเอง</p> <p><u>การใช้งาน</u> : ใช้ในงาน เกลี่ย และตบแต่งผิว ปรับระดับพื้นที่ที่ต้องการความละเอียด การกระจายกองวัสดุ โดยการเลื่อนใบมีดออกด้านข้างแล้วเข้าไปดันให้กองวัสดุกระจายออกทีละน้อยยกใบมีดขึ้นเพื่อจะเกลี่ยวัสดุด้านหน้าของใบมีดให้กระจายออก ใช้ปรับระดับพื้นที่ขรุขระปรับระดับ ทำโดยการชูดผิวพื้นเดิมไปไว้ด้านข้างจากนั้นเกลี่ยและปรับให้ระดับ</p>
	รถบดอัดดิน (Rollers) 	<p><u>ลักษณะ</u> :</p> <p><u>การใช้งาน</u> : เป็นเครื่องจักรกลที่ใช้ในการบดอัดดินพื้นทางรถไฟในชั้นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทาง เป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่จะเพิ่มความหนาแน่นหรือความต้านทานของดิน โดยพยายามไม่ให้มีช่องว่างของอากาศแทรกอยู่ และขับไล่น้ำให้ออกไปจากช่องว่างเหล่านั้น เพื่อให้พื้นดินเกิดความมั่นคงสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น</p>
งานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง	รถโรยหิน (Ballast Hopper Wagon) 	<p><u>ลักษณะ</u> : ใช้หัวรถจักร (Utility Track Vehicle) เป็นตัวลากจูงรถขนส่งหินโรยทางซึ่งจะต้องมีกำลังสูงในการฉุดลาก</p> <p><u>การใช้งาน</u> : เป็นรถที่บรรทุกหิน (Ballast) เพื่อไปโรยบริเวณทางที่จะดำเนินการก่อสร้าง เป็นรถขนส่งหินโรยทางโดยเฉพาะสามารถเทหินได้ทั้งด้านข้างและด้านล่างตัวรถ</p>
งานวางระบราง	รถวางราง (Track Laying) 	<p><u>ลักษณะ</u> : เป็นตัวบรรทุกรางที่ตัดแปลงขึ้นโดยใช้หัวรถจักรเป็นตัวกำลังในการลากจูง</p> <p><u>การใช้งาน</u> : เป็นรถที่นำรางเชื่อมยาวมาจาก Depot นำไปวางในทางที่จะทำการติดตั้ง โดยจะบรรทุกบนตู้รถไฟและใช้หัวรถจักรลากตู้ที่บรรทุก</p>

ตารางที่ 2.6 ชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างรถไฟทางคู่ (ต่อ)

งาน	เครื่องจักร	คำอธิบาย
งานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง	<p>รถอัดหิน (Ballast Tamping)</p> 	<p><u>ลักษณะ</u> : เป็นรถที่ใช้เพื่อเป็นการอัดหินโรย มีชุดยกวาง ดัดแนวราง และอัดหิน</p> <p><u>การใช้งาน</u> : ทำการอัดหินเพื่อให้หินเข้าได้ท้องหมอนรอง รางโดยชุดอัดหินโรยทางจะทำงานโดยการยก กดลง แล้วอัดหินเข้าโดยจะมีการสั่นตัวTamp และชุดดัดแนวรางช่วยจัดแนวให้ตรงและได้ระดับทำให้ทางรถไฟมีสภาพมั่นคง</p>
งานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง	<p>รถสั่นหิน (Ballast Stabilizer)</p> 	<p><u>ลักษณะ</u> : เป็นเครื่องจักรที่มีชุดสั่นหินในตัว</p> <p><u>การใช้งาน</u> : ทำการสั่นหินเพื่อเป็นการทำให้หินเรียงตัว แน่นขึ้นเนื่องจากระหว่างทำการโรยหินระหว่างหินจะมีช่องว่าง โดยจะทำหลังจากมีการอัดหินและปรับระดับของทางเรียบร้อยแล้ว เป็นการเพิ่มความแข็งแรงของชั้นหิน และทำให้มีสภาพมั่นคงมากขึ้น</p>
งานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง	<p>รถเกลี่ยหิน (Ballast Regulation)</p> 	<p><u>ลักษณะ</u> : เป็นเครื่องจักรที่มีชุดเกลี่ยหินโดยสามารถปรับ ใบเกลี่ยตามลักษณะโครงสร้างทาง</p> <p><u>การใช้งาน</u> : ใช้เพื่อการเกลี่ยหินไม่ให้หินกองในบริเวณนั้น มากเกินไป ให้หินกระจายจนถึงหัวหมอน รวมทั้งปรับให้ หินเข้ารูปทรงตามมาตรฐานของทาง โดยส่วนมาจะใช้ ร่วมกับรถอัดหิน</p>
งานวางระบบราง	<p>เครื่องเชื่อมรางรถไฟ (Rail Welding)</p> 	<p><u>ลักษณะ</u> : เป็นรถที่มีสามารถเชื่อมรางในทางรถไฟ มีชุด เชื่อมติดอยู่กับรถ</p> <p><u>การใช้งาน</u> : ใช้เชื่อมรางสองเส้นเข้าด้วยกัน โดยเป็นชนิด เชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt) สามารถให้ตัวรถวิ่งบนรางขยับ ไปเชื่อมตามจุดต่างๆได้</p>
งานวางระบบราง	<p>รถตรวจสอบสภาพทาง (Track Record Car)</p> 	<p><u>ลักษณะ</u> : เป็นรถบันทึกลักษณะทางเรขาคณิตของทาง รถไฟ มีชุดล้อวัดและกล้องตรวจสอบสภาพทาง</p> <p><u>การใช้งาน</u> : เป็นรถบันทึกสภาพทางหลังจากดำเนินการ ก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว โดยทำการวัดมิติต่างๆ ของขนาด ทางให้ตรงตามข้อกำหนดจำเพาะทางเทคนิค</p>

2.3.3 ความแตกต่างของงานวิจัยเกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกในงานก่อสร้างทางรถไฟและงานอื่นๆ

ลักษณะของงานก่อสร้างทางรถไฟมีความแตกต่างจากงานโครงการอื่นๆ ได้แก่ งานอาคาร งานถนน และงานดิน ซึ่งพบว่าในงานก่อสร้างทางรถไฟมีปัจจัยที่แตกต่างกันอยู่ ได้แก่ ลักษณะของโครงการ โครงสร้างทาง เทคนิคและวิธีการก่อสร้างในกระบวนการก่อสร้าง การใช้วัสดุ การใช้เครื่องจักร ลักษณะพื้นที่

ความแตกต่างด้านโครงการก่อสร้าง เนื่องจากการก่อสร้างทางรถไฟเป็นลักษณะของงานโครงสร้างพื้นฐาน มีมูลค่าในการก่อสร้างสูง ใช้ระยะเวลาการดำเนินโครงการมากเมื่อเทียบกับโครงการอื่นๆ จึงต้องมีการจัดสรรทรัพยากรและวางแผนการดำเนินงานที่ดี นอกจากนี้ยังมีโอกาสที่การดำเนินงานจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านมลพิษทางอากาศจากการใช้ทรัพยากร

ความแตกต่างด้านโครงสร้างทาง เนื่องจากทางรถไฟมีลักษณะโครงสร้างที่เฉพาะ แตกต่างจากโครงสร้างทางของถนนในด้านต่างๆ เช่น มิติทางเรขาคณิต วัสดุทาง เครื่องจักรกลก่อสร้าง เป็นต้น

ความแตกต่างกันในด้านเทคนิคและกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ ได้แก่ กระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดิน กระบวนการสร้างคันทาง กระบวนการก่อสร้างชั้นหินโรยทาง กระบวนการก่อสร้างระบบรางและกระบวนการก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ เนื่องจากการใช้ทรัพยากรและวิธีการดำเนินงานที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องจักร คนงาน เป็นต้น ถึงแม้ว่าในกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดินและการสร้างคันทางจะมีเทคนิคการก่อสร้างคล้ายกับการก่อสร้างถนนแต่ยังคงมีปัจจัยการดำเนินงานด้านอื่นๆ ที่แตกต่าง เช่น ข้อกำหนดวัสดุ ปริมาณวัสดุ เครื่องจักร ขั้นตอนการก่อสร้าง เป็นต้น

โดยจากความแตกต่างดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงต้องการทราบถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในแต่ละส่วนของการก่อสร้างทางรถไฟซึ่งได้จำแนกไว้แล้วข้างต้น โดยการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าลักษณะของงานที่แตกต่างกันในโครงการก่อสร้างจะส่งผลให้ค่าการปล่อยก๊าซแตกต่างกัน (Wang, Duan et al. 2015)

ดังนั้นในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟสามารถสรุปแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจกได้จาก 2 สาเหตุคือ จากกระบวนการขนส่งหรือเคลื่อนย้ายวัสดุและการดำเนินการของเครื่องจักรในระหว่างกระบวนการก่อสร้าง ได้แก่ กระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดิน กระบวนการบดอัดคันทาง กระบวนการก่อสร้างชั้นหินโรยทาง กระบวนการก่อสร้างระบบรางและกระบวนการก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ ซึ่งกระบวนการก่อสร้างดังกล่าวมีการใช้เครื่องจักรในการทำงานและเป็นสาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟจึงมีความ

จำเป็น ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ รวมทั้งการ ออกแบบกระบวนการก่อสร้างเพื่อหาแนวทางในการลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ดังกล่าวต่อไป

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากเครื่องจักรงานก่อสร้าง

กระบวนการก่อสร้างประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ โดยกิจกรรมก่อสร้างบางชนิดจำเป็นต้องใช้ เครื่องจักรกลหนัก ซึ่งเครื่องจักรกลหนักในงานดังกล่าวถือเป็นแหล่งสำคัญในการปล่อยมลพิษทาง อากาศที่เป็นมลพิษและส่งผลให้เกิดก๊าซเรือนกระจก โดยการวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือน กระจกและมลพิษจากการทบทวนงานวิจัยสามารถสรุปได้ 7 แบบดังนี้

2.4.1 ฐานข้อมูล NONROAD Model

NONROAD Model เป็นวิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในอากาศที่ถูก พัฒนาโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency; U.S. EPA) โดย EPA ทำหน้าที่กำหนดนโยบาย ข้อกฎหมาย และระเบียบ ปฏิบัติต่าง ๆ มีหน้าที่หลักรับผิดชอบดูแลสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของคน เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหา ที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมของโลก ปัจจุบัน EPA พัฒนาสูตรสำหรับคำนวณค่า Emissions ของ เครื่องจักรที่ไม่ได้อยู่บนถนนทั่วไป (NONROAD) โดยวิธีการคำนวณถูกออกแบบมาใช้สำหรับ ประมาณค่าการปล่อยก๊าซ CO₂, NO_x, HC, CO, PM และ SO_x สำหรับเครื่องจักรชนิดต่างๆ ดัง สมการที่ 1 โดยผู้ใช้ต้องเลือกประเภทอุตสาหกรรม ชนิดเครื่องจักร ชนิดน้ำมัน ค่ากำลังแรงม้า (Engine Power) ปีของเครื่องจักร การทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้ต้องเปิดตารางค่ากำลัง แรงม้า และปีของเครื่องจักร เพื่อหาชั้น (Tier) ของเครื่องจักร ซึ่งจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าของ การปล่อยก๊าซร่วมกับเวลาการทำงานของเครื่องจักร (Operating Time) สภาพการทำงานเครื่องจักร (Load Factor) และค่า Emission Factor ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการประมาณค่า (US.EPA 2010)

$$\text{Emission (g)} = \text{Engine Power (hp)} \times \text{Operating Hour (hr)} \times \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

$$\text{Emission Factor (g/hp-hr)} \times \text{Load Factor}$$

$$\text{Fuel Use (gal)} = \text{Engine Power (HP)} \times \text{Operating Hour (hr)} \times \text{BFSC} \times \text{TAF} \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

ในการคำนวณค่า Emission Factor ของก๊าซชนิดต่างๆ ตามสูตรของ US.EPA ประกอบด้วย ข้อมูลที่จำเป็นดังต่อไปนี้

2.4.1.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องจักร

รุ่นหรือโมเดลของเครื่องจักร อายุ กำลัง ชนิดเชื้อเพลิง ฟังก์ชันการใช้งานกำลังของเครื่องจักร (Engine power) หาได้จากข้อจำเพาะทางเทคนิค (Specification) ของเครื่องจักรนั้น

2.4.1.2 ชั่วโมงการทำงาน (Operating Hours)

หาได้จากแผนการดำเนินงานในกิจกรรมก่อสร้างหรือข้อมูลในอดีต โดยทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์กระบวนการทำงานของเครื่องจักรและเวลาทั้งหมดที่เครื่องจักรทำงานจริง

2.4.1.3 Emission Factors (EF)

Emissions Factor คือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซและมลพิษแต่ละชนิด ซึ่งมีการคำนวณที่แตกต่างกัน ตามสูตรการคำนวณของ US.EPA ที่ได้จัดทำไว้ คือ

1. Emission Factors ของ HC, CO, PM, NO_x ของเครื่องจักรโดยจะขึ้นอยู่กับ Steady-State Emission Factor (EF_{ss}) ซึ่งเป็นตัวที่บอกโมเดล กำลังและเทคโนโลยีของเครื่องจักร ,แฟกเตอร์การเสื่อมสภาพ (Deterioration Factor; DF) เป็นตัวบอกเทคโนโลยีและอายุของเครื่องจักร , ปัจจัยการปรับชั่วคราว (Transient Adjustment Factor ;TAF) ซึ่งปรับเปลี่ยนตามชนิดของเครื่องจักร เป็นตัวบอกความแตกต่างในสภาพแวดล้อม โดยเครื่องจักรได้ทำการทดสอบที่สถานะคงตัว (Steady-State Test)

$$EF_{adj} (HC, CO, NO_x) = EF_{ss} \times TAF \times DF \quad (\text{สมการที่ 2.3})$$

โดยที่

EF_{adj} = ค่า Emission Factor ที่ใช้ในโมเดล ที่ได้รับการปรับแล้ว (g/hp-hr)

EF_{ss} = zero-hour, steady-state emission factor (g/hp-hr)

TAF = Transient Adjustment Factor

DF = Deterioration Factor

2. Emission Factors ของ PM ขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำมันที่เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ โดยปรับเพิ่มจากสมการที่ 3

$$EF_{adj} (PM) = EF_{ss} \times TAF \times DF \times S_{PMadj} \quad (\text{สมการที่ 2.4})$$

โดยที่

S_{PMadj} = Emission Factor ของ PM ที่ทำการปรับการเปลี่ยนแปลงของซัลเฟอร์ในน้ำมันแล้ว
(g/hp-hr)

3. Emission Factors ของ CO_2 ขึ้นอยู่กับค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องจักร (Brake Specific Fuel Consumption; BSFC) สามารถคำนวณการปล่อยได้ตามสมการ

$$EF (CO_2) = (BFSC \times 453.6 - HC) \times 0.87 \times \frac{44}{12} \quad (\text{สมการที่ 2.5})$$

โดยที่

EF_{CO_2} = ค่า Emission Factor ของ CO_2 (g/hp-hr)

BFSC = ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องจักร (lb/hp-hr)

453.6 = แฟกเตอร์แปลงหน่วย จาก pons เป็น grams

HC = เป็นตัวปรับการใช้ไฮโดรคาร์บอน (g/hp-hr)

0.87 = สัดส่วนของคาร์บอนในน้ำมันดีเซล

44/12 = อัตราส่วน CO_2 ต่อมวลของคาร์บอน

2.4.1.4 Load Factor

Load Factor คือตัวชี้วัดค่าเฉลี่ยสัดส่วนของค่ากำลังเครื่องจักรที่ใช้ โดยการทำงานของเครื่องยนต์จะปรับเปลี่ยนตามความเร็ว น้ำหนัก อัตรากำลังซึ่งมีผลต่อการดำเนินงานของเครื่องจักรที่สถานะ จอดอยู่ (Idle) สภาพบรรทุกบางส่วน (Partial Load Condition) และการดำเนินงานชั่วคราว (Transient Operation) โดยใน NONROAD ที่เป็นเครื่องยนต์ดีเซลจำแนก Load Factor 3 ส่วน คือ Hi LF = 0.59, Lo LF = 0.21, 7-Cycle Average = 0.43

ปัจจุบันการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเครื่องจักรประเภท NONROAD ถูกพัฒนาเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณ โดยโปรแกรมจะมีข้อมูลเครื่องจักรแต่ละชนิดเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลจำนวน 260 ชนิด ครอบคลุมตั้งแต่ ปี ค.ศ.1970 ถึง ปี ค.ศ. 2050 ซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้งโครงการที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหลายปี โปรแกรมจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก (US.EPA 2005)

1. Graphical User Interface (GUI) เป็นส่วนที่ใช้ใส่ข้อมูลและดูข้อมูลจากรายงานที่ผ่านมา ข้อมูลที่ใส่ประกอบด้วย

2. Core Model เป็นส่วนที่อ่านค่าจากการป้อนข้อมูลแล้วคำนวณค่าการปล่อยมลพิษ (Emission) ซึ่งสูตรที่ใช้เป็นวิธีของ US. EPA ตามสูตรด้านล่างนี้ และเมื่อคำนวณเสร็จจะส่งต่อข้อมูลไปรายงานผล

3. Reporting Utility (RU) เป็นส่วนที่รายงานผลจาก Core Model ซึ่งจะส่งต่อไปที่ฐานข้อมูล (Access)

2.4.2 ฐานข้อมูล OFFROAD Model

OFFROAD Model เป็นโปรแกรมนี้ถูกพัฒนาโดย California Air Resource Board (CARB) เพื่อประมาณค่า Emission จากแหล่งที่เกิดในรัฐแคลิฟอร์เนีย เป็นการรวบรวมแหล่งการปล่อยมลพิษจากงานประเภทต่างๆ โดยการคำนวณจากเทคโนโลยีของเครื่องจักร เงื่อนไขของการปล่อยมลพิษ โดยโปรแกรมใช้ข้อมูลในปี 2000 เป็นฐานและสามารถใช้ได้กับเครื่องจักรได้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1970-2040 ที่มีการจัดทำไว้สำหรับแต่ละประเทศ โดยโมเดลสามารถใช้ประมาณค่าการปล่อยก๊าซไอเสียจำพวก HC, CO₂, NO_x, CO₂ และ PM ซึ่งรองรับเครื่องจักร 94 ชนิด ใน 17 ประเภทงานเช่น งานก่อสร้างและเหมืองแร่ การเกษตร งานขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น องค์ประกอบที่ใช้ในโมเดลนี้ประกอบด้วยประเภทน้ำมันที่ใช้ ชนิดของเครื่องจักร กำลังของเครื่องจักร (HP) ชั่วโมงการทำงาน และตำแหน่งที่ตั้ง เป็นต้น โดยโมเดลดังกล่าวมีการจัดทำเป็นตารางฐานข้อมูลเป็นรายปี ซึ่งการคำนวณหาค่าการปล่อยมลพิษสามารถอ้างอิงได้จากสมการด้านล่างนี้ (CARB 2010)

$$E(t/d) = EF \times Pop. \times Avg. Hp \times LF \times Activity \quad (\text{สมการที่ 2.6})$$

โดยที่

$E(t/d)$ = ค่าการปล่อย Emission (Tons/day)

EF = ค่า Emission Factor (g/hp-hr)

Pop = จำนวนเครื่องจักร

$Avg.Hp$ = อัตรากำลังเฉลี่ยสูงสุดของเครื่องจักร

LF = Load Factor

$Activity$ = เวลาทำงานของเครื่องจักรประจำปี (hr/yr)

OFFROAD Model จะประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักคือ

1. Population กลุ่มของเครื่องจักรทั้งใหม่และเก่าตามปีของเครื่องจักรที่กระจายตัว ตั้งแต่ ค.ศ. 1970 – 2040 โดยจะมี Factor ในการจัดกลุ่มปีของเครื่องจักร โดยจะแบ่งตามประเภทอุตสาหกรรม
2. Activity ภายในจะเป็นข้อมูลที่ต้องการเป็นประจำในรายสัปดาห์ รายเดือนหรือรายปี ประกอบด้วย ชั่วโมงการทำงานต่อปี (Operate Hours), Load Factors, ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องจักร (Brake-Specific Fuel Consumption, BSFC) โดยปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงคำนวณโดยวิธีสมมูลคาร์บอน, ชนิดของเชื้อเพลิง, ชนิดของเครื่องจักร (Engine type) , กลุ่มกำลังเครื่องจักร (HP)
3. Emissions Factor จะขึ้นอยู่กับรุ่นของโมเดลเครื่องจักร (Model Year), ชนิดของเชื้อเพลิง และกำลัง โดยจะปรับไปตามรอบการทำงานของเครื่องจักร ซึ่ง Emission Factor สามารถคำนวณได้ดังสูตรนี้

$$EF = ZH + dr \times CHrs \quad (\text{สมการที่ 2.7})$$

โดยที่

EF = ค่า Emission Factor (g/hp-hr)

ZH = ค่า zero-hour emission rate หรือเมื่อเครื่องจักรอยู่ในสภาพใหม่ (g/hp-hr)

Dr = อัตราการเสื่อม (Deterioration rate) จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้งาน (g/hp-hr²)

CHrs = จำนวนชั่วโมงสะสมของเครื่องจักร

2.4.3 ฐานข้อมูล Lewis's Model

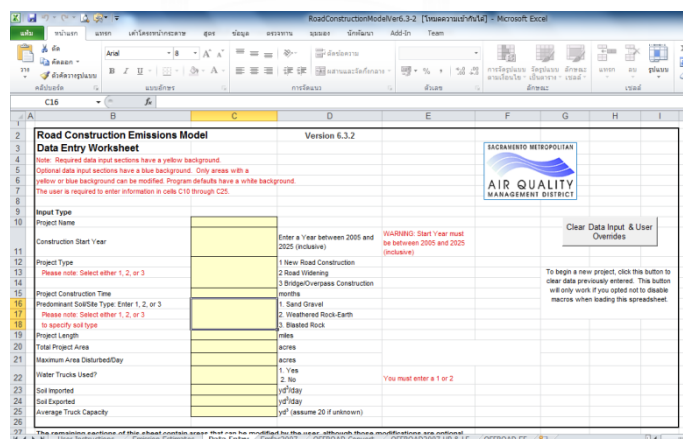
Lewis (2009) ศึกษาการคำนวณอัตราการใช้น้ำมันและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากเครื่องจักรกลางก่อสร้าง 34 ชนิด ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซล โดยงานวิจัยทำการเก็บข้อมูลการปล่อยก๊าซจากทำงานจริงในภาคสนาม โดยการติดเครื่องมือวัดแล้วนำข้อมูลที่เก็บได้จากเครื่องมือวัดมาพัฒนาเป็นค่า Emission Factor ของเครื่องจักรนั้น ๆ ซึ่งโมเดลของ Lewis จะเน้นการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยค่าอัตราการใช้น้ำมันของเครื่องจักรในรอบการทำงาน (Duty Cycle) แทนวิธีการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากจำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งโมเดลมีสมมติฐานที่ว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรจะมีผลต่ออัตราการใช้น้ำมันหรือการปล่อยก๊าซ CO₂ และแบ่งการทำงานของเครื่องจักรออกเป็น 10 โหมด ตามสถานะของเครื่องจักร เช่น โหมด 1 หมายถึง Empty Load จนถึง โหมด 10 หมายถึง Full Load เป็นต้น ซึ่งรอบการทำงานของเครื่องยนต์จะขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องจักร (Horse Power, HP) และเวลาที่ใช้ไปในการทำงาน

แต่ละโหมด โดยสามารถแสดงข้อมูลในรูปของอัตราการปล่อยมลพิษต่อหน่วยการใช้เชื้อเพลิง (g/gal) ซึ่งถือได้ว่าเป็นฐานข้อมูลที่ดีและมีความแม่นยำมากขึ้น (Lewis, Leming et al. 2012)

นอกจากนั้น Lewis ได้ทำการวิจัยต่อเพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในขณะที่เครื่องจักรรอคอย (Idle) โดยใช้สัดส่วนการใช้น้ำมันที่สถานะ Idle ต่อ Non-Idle ดังนั้นทำให้ค่า Emissions ที่ได้มีความละเอียดโดยขึ้นอยู่กับเครื่องและกิจกรรม จากงานวิจัยที่พบ Lewis ได้มีการทำวิจัยและพัฒนาข้อมูลของเครื่องจักรในหลายลักษณะงานและยังคงดำเนินการอยู่จึงทำให้มีข้อจำกัดด้านเครื่องจักร

2.4.4 Road Construction Emission Model

California Air Resource Board ได้พัฒนา Spreadsheet สำหรับการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศในงานก่อสร้างถนน ซึ่งสามารถคำนวณและแสดงค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษเป็นรายวัน โดยเน้นโครงการก่อสร้างถนนที่ประกอบด้วย 4 ช่วงกิจกรรมหลักคือ ช่วงงานปรับพื้นที่ ถางป่าขุดตอ (Clearing & Grabbing) ช่วงงานขุด-ตัก ขนย้ายดิน และเกลี่ยปรับพื้นที่ (Excavation/ Hauling/Grading) ช่วงงานก่อสร้างระบบระบายน้ำ ชั้นพื้นทาง สิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (Drainage/Sub-Grade/Utilities) และช่วงงานผิวถนน (Road Surface) โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในแต่ละกิจกรรมจากอัตราการทำงานของเครื่องจักร (Production Rate) ซึ่งหาได้จากค่าเฉลี่ยของโครงการในอดีต และค่า Emission Factor จากฐานข้อมูลของ OFFROAD 2007 และ EMFAC 2007 (SMAQMD 2016)



รูปที่ 2.7 หน้าจอการทำงานของ Road Construction Emission Model

2.4.5 URBEMIS Model

เป็นการพัฒนาโมเดลโดย California Air Resources Board โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยอัตราการทำงานของเครื่องจักรจากการพัฒนาและแก้ปัญหาจากข้อมูลโครงการในอดีต และค่า Emission

Factor จาก OFFROAD และ EMFAC แล้วนำมาพัฒนาเป็นโมเดลทำให้ผู้ใช้งานสะดวกและยังเพิ่มช่วงของโครงการก่อสร้าง สามารถใช้ในการประมาณค่ามลพิษที่เกิดจากการพัฒนาพื้นที่และโครงการ เช่น การก่อสร้างอาคาร ในโมเดลสามารถระบุขั้นตอนของการก่อสร้างเพิ่มเติมได้ โดยในโมเดลประกอบด้วยช่วงการก่อสร้างที่สามารถประมาณค่าการปล่อยจากกิจกรรมในขั้นตอนเหล่านี้ (Urbemis 2007)

1. งานรื้อย้าย (Demolition)
2. งานปรับพื้นที่ก่อสร้าง (Mass Site Grading)
3. งานปรับพื้นดิน (Fine Site Grading)
4. งานขุดร่องดิน (Trenching)
5. งานก่อสร้างอาคาร (Building Construction)
6. งานแอสฟัลต์ (Asphalt)
7. งานฉาบผิว ทาสี (Coating)

2.4.6 วิธีประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Discrete Event Simulation, DES)

แบบจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือที่สามารถจำลองกระบวนการและคำนวณระยะเวลาการทำงานในแต่ละกิจกรรมได้ดี โดยการใช้ข้อมูลทางสถิติเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ โดยจะทำการเก็บรวบรวมเวลาจากกระบวนการทำงานก่อสร้างเพื่อหาค่าการกระจายตัวของข้อมูลแล้วนำไปสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของระบบจริง นอกจากนั้นแบบจำลองดังกล่าวสามารถแสดงผลของกิจกรรมที่ซ้ำกันๆ และยังสามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลองให้เหมาะกับเหตุการณ์ ซึ่งเหมาะกับลักษณะงานก่อสร้างทางรถไฟ

การสร้างแบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษระหว่างกระบวนการก่อสร้างองค์ประกอบของโมเดลในการคำนวณจะถูกวิเคราะห์จากการทำงานของเครื่องจักรจากการจำลองสถานการณ์ร่วมกับค่า Emission Factor Hong-xian and Zhen (2010) พบว่าการใช้แบบจำลองร่วมกับค่า Emission Factor ที่ดีทำให้การประมาณค่ามีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยในส่วนการคำนวณจะมีพารามิเตอร์ที่ต้องใส่เข้าไปประกอบด้วย กำลังของเครื่องจักร (HP) ชนิดของเครื่องจักร (Type) อายุของเครื่องจักร (Engine Age) รอบการทำงานของเครื่องจักร (Duty Cycle) องค์ประกอบเหล่านี้จะไปหาค่า Emission Factor จากฐานข้อมูล เช่น NONROAD Model, OFFROAD Model ,งานวิจัยของ Lewis เป็นต้น เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองสถานการณ์และดู

ผลลัพธ์จากแบบจำลองจากการใช้งานเครื่องจักร สถิติของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากเครื่องจักร เวลารอคอย (Waiting Time) และความยาวของคิว (Queue Length)

จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาพบว่า DES Model ถูกนำมาใช้ประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในช่วงการเตรียมแผนงานสำหรับการใช้งานเครื่องจักร (Pre-Planning) โดยงานวิจัยในอดีตกล่าวถึงข้อดีในการประยุกต์ใช้แบบจำลองเหตุการณ์เพื่อการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษดังนี้ (Ahn, Pan et al. 2010)

1. DES Model สามารถแสดงผลทางสถิติที่มีความเชื่อถือในการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการดำเนินกิจกรรมของเครื่องจักร โดยภายในโมเดลประกอบด้วย การดำเนินงานที่มีทรัพยากร (Resource) การสุ่มของเหตุการณ์ และระยะเวลาของกิจกรรม ซึ่งความน่าเชื่อถือของข้อมูลขึ้นกับค่าการกระจายตัวของข้อมูล (Distribution) ซึ่งได้จากการสังเกตและเก็บรวบรวมข้อมูล (Observation) เช่น อัตราการทำงาน เวลาการดำเนินงาน เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลอง (Model) ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ นอกจากนี้สามารถประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการทำงานของเครื่องจักรในระดับที่ละเอียดมากขึ้นโดยประมาณค่าร่วมกับค่า Emission Factor ของเครื่องจักร
2. DES Model สามารถเปรียบเทียบการดำเนินงานในสถานการณ์ต่างๆ ที่มีแหล่งข้อมูลต่างกัน มีค่าของตัวแปรได้หลายค่า เช่น จำนวนรถบรรทุกในงานเคลื่อนย้ายมวลดิน โดยมีลักษณะการสุ่มของเหตุการณ์และระยะเวลาที่เกิดขึ้น
3. DES Model สามารถกำหนดเป้าหมายการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในแต่ละขั้นตอน เนื่องจากมีรูปแบบขึ้นอยู่กับเวลาการปล่อยก๊าซในโครงการ

2.4.7 วิธีประเมินวัฏจักร (Life Cycle Assessment; LCA)

LCA เป็นเทคนิคที่รวบรวมข้อมูล Input และ Output ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีนี้เน้นที่การปล่อย CO₂ emissions และใช้ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการก่อสร้างตลอดอายุ (Life Cycle) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในงานก่อสร้างถนนและงานอาคารซึ่งประเมินการปล่อยตั้งแต่เริ่มจนจบโครงการซึ่งประกอบด้วยช่วง การผลิตวัสดุ การก่อสร้าง การใช้งาน การซ่อมบำรุง การรื้อถอนเมื่อสิ้นอายุ ซึ่งแต่ละช่วงใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน (Guggemos and Horvath 2005)

- 1.) ช่วงกระบวนการผลิตวัสดุและช่วงใช้งานจะใช้วิธี EIO-LCA เป็นวิธีที่ใช้ระบบสมดุล Input = Output ทรัพยากรที่ใส่เข้าไปในระบบและข้อมูลของสิ่งแวดล้อมที่แสดงออกมามีปริมาณที่เท่ากัน และมีผลกระทบเป็นห่วงโซ่

2) ช่วงการก่อสร้างใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการก่อสร้างที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม (CEDST) เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงาน การปล่อยมลพิษและของเสีย ประเมินและเปรียบเทียบทางเลือกของกระบวนการในขั้นตอนการก่อสร้าง

3) ช่วงการซ่อมบำรุงและช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งานใช้โมเดล PROCESS ของวิศวกรโครงการ โดยการเขียนเป็นแผนภาพกระบวนการที่เป็นผลิตภัณฑ์หรือการใช้บริการ

โดยสรุปวิธีประเมินวิศวกรนิยมใช้ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับโครงการก่อสร้างมากกว่าระดับกระบวนการ

จากวิธีการเหล่านี้การวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (Emissions) ในกระบวนการก่อสร้างสามารถใช้หลักการของ NONROAD ,OFFROAD และ Lewis เป็นวิธีที่สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณค่า Emission Factor สำหรับเครื่องจักรแต่ละชนิด ซึ่งมีข้อจำกัดคือ การประมาณค่า Emissions ด้วยวิธี NONROAD ,OFFROAD จะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้งานของเครื่องจักร การประมาณค่าระยะเวลากิจกรรมการทำงาน และค่า Emission Factor ซึ่งระบุเป็นกลุ่มเครื่องจักรโดยไม่ได้เฉพาะเจาะจง ส่วนวิธี Lewis ได้ปรับปรุงข้อจำกัดของวิธี NONROAD โดยการให้รายละเอียดค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรแต่อย่างไรก็ตามวิธี Lewis มีข้อจำกัดของเครื่องจักรบางชนิดที่ต้องการนำไปใช้ ต่อมาเป็นวิธี Road Construction Emission Model และ URBEMIS Model เป็นวิธีที่เน้นการประมาณค่า emissions ในลักษณะเฉพาะของโครงการ โดยพิจารณาอัตราการทำงานของเครื่องจักรจากข้อมูลในอดีตและยังคงใช้ฐานข้อมูลค่า Emission Factor จาก NONROAD, OFFROAD ต่อมาการประยุกต์ใช้ DES สามารถประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษได้แม่นยำกว่าเนื่องจากการจำลองเหตุการณ์จากข้อมูลจริง วิธีนี้จึงได้ระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักรที่ถูกต้องโดยการวิเคราะห์ต้องใช้ร่วมกับฐานข้อมูลค่า Emission Factor ที่มีความน่าเชื่อถือ สุดท้ายวิธีประเมินวิศวกร (LCA) วิธีนี้เหมาะกับการวิเคราะห์ค่า emissions ในระดับโครงการซึ่งมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถให้รายละเอียดของกระบวนการที่เกิดการปล่อย emissions โดยจากวิธีการวิเคราะห์เหล่านี้สามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีได้ดังแสดงในตารางที่ 2.7

จากข้อจำกัดของวิธีการที่นำเสนอ วิธีการวิเคราะห์ค่า emissions ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟจึงนำวิธีเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อนำข้อดีมาใช้พร้อมทั้งลดข้อจำกัด คือประยุกต์ใช้ Discrete-Event Simulation ร่วมกับค่า Emissions Factor ด้วยวิธี NONROAD และค่าสัดส่วน CO₂ emissions idle ต่อ Non-Idle ด้วยวิธี Lewis

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของโมเดลที่ใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

โมเดล	ข้อดี	ข้อจำกัด
NONROAD Model	<ol style="list-style-type: none"> 1. นิยมใช้ในการคำนวณ พัฒนาโดย US.EPA ซึ่งเป็นองค์กรที่ดูแลด้านสิ่งแวดล้อม มีสูตรและวิธีการคำนวณเฉพาะ 2. แบ่งชั้น (Tier) ของเครื่องจักรออกเป็น 4 ระดับ ตามปีที่ผลิตและกำลังเครื่องจักร มีฐานข้อมูลเครื่องจักร 260 ชนิดครอบคลุมตั้งแต่ ค.ศ. 1970-2050 แบ่งตามหมวดอุตสาหกรรม 3. ในโมเดลมีฐานข้อมูลเฉพาะของเครื่องจักร เช่น Emission Factor , Load Factor ที่ขึ้นอยู่กับชนิด กำลัง และอายุของเครื่องจักร 4. สามารถใช้ค่า Emission Factor เป็นฐานข้อมูลในการประมาณค่าหรือพัฒนาแบบจำลองต่อไป 5. มีการพัฒนาโปรแกรม NONROAD Model ขึ้นมาใช้งานทำให้สะดวกมากขึ้น 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่สามารถแสดงการรอบทำงานจริงของเครื่องจักรได้เนื่องจากทำการวัดในห้องทดลอง เช่น Idling , Full load เป็นต้น 2. ค่า Load Factor ใช้เป็นของกลุ่มเครื่องจักรหรือตัวแทนของแต่ละชนิด โดยจำแนก เป็น 3 คือ ประเภท Lo LF , Hi LF , 7-cycle avg. 3. อัตราการทำงานของเครื่องจักรมาจากการประมาณค่าที่ไม่ละเอียด เช่น ค่าเฉลี่ยในอดีต ค่าเฉลี่ยจากผู้ใช้งาน เป็นต้น 4. การแบ่งกลุ่มของเครื่องจักร (Tier) ทำให้ข้อมูลอาจจะมีคลาดเคลื่อน
OFFROAD Model	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีเครื่องจักร 94 ชนิดในงาน 17 ประเภทงาน สามารถใช้งานครอบคลุม ค.ศ.1970-2040 2. สามารถใช้ค่า Emission Factor เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณหรือพัฒนาร่วมกับโปรแกรมอื่นเช่นเดียวกับ NOROAD Model 3. มีสูตรการคำนวณให้ใช้เฉพาะและมีฐานข้อมูลของเครื่องจักร 4. มีการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาใช้งานทำให้สะดวกมากขึ้น 5. ใช้ข้อมูลอัตราการใช้ น้ำมันและชั่วโมงการทำงานในรอบปีจากการเก็บสถิติ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่สามารถแสดงรอบการทำงานจริงของเครื่องจักรได้ เหมือนกับ NONROAD Model 2. อัตราการทำงานของเครื่องจักรมาจากการประมาณค่าที่ไม่ละเอียด เช่น ค่าเฉลี่ยในอดีต ค่าเฉลี่ยจากผู้ใช้งาน เป็นต้น

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของโมเดลที่ใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (ต่อ)

โมเดล	ข้อดี	ข้อจำกัด
Lewis's Model	<ol style="list-style-type: none"> 1. เก็บข้อมูลจริงในสนามโดย PEMS ด้วยอัตราการใช้น้ำมัน แบ่งการทำงานเป็น 10 สถานะ ใช้สัดส่วนน้ำมันแปลงเป็นค่า Emission Factor ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากขึ้น 2. มีฐานข้อมูลค่า Emission Factor สำหรับเครื่องจักร 7 ชนิดได้แก่ Backhoes, Bulldozers, Excavators, Graders, Trucks, Track Loaders, Wheel Loaders 3. คิดสัดส่วนของค่า Idling กับ Working ของอัตราการปล่อย Emission จากเครื่องจักร 4. คำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องจักรในการปล่อย Emission 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้ประสิทธิภาพการทำงานจากการก่อสร้างทั่วไป ซึ่งไม่สามารถเป็นตัวแทนของการทำงานจริง เช่นทั่วไปกำหนดประสิทธิภาพที่ 88% ที่เหลือเป็นเวลาหยุดงาน
Road Construction Emission Model	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถใช้งานง่ายเนื่องจากมีการสร้างเป็น Spreadsheet. 2. สามารถประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษได้เป็นรายวัน 3. เหมาะสำหรับงานโครงการก่อสร้างถนนและงานที่มีลักษณะคล้ายกัน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องใช้ฐานข้อมูลค่า Emission Factor ของโมเดลอื่น ได้แก่ OFFROAD และ EMFAC 2. ใช้เฉพาะงานก่อสร้างถนนและยังไม่ครอบคลุมทุกกิจกรรม 3. อัตราการทำงาน of เครื่องจักรมาจากการประมาณค่าที่ไม่ละเอียด เช่น ค่าเฉลี่ยจากโครงการในอดีต ค่าเฉลี่ยจากผู้ใช้งาน เป็นต้น
URBEMIS Model	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้กับโครงการเกี่ยวกับการพัฒนาพื้นที่ เช่น ก่อสร้างอาคาร 2. สามารถเพิ่มขั้นตอนการก่อสร้างในโมเดลได้ 3. ผู้ใช้สามารถใช้งานได้สะดวกเนื่องจากจัดทำไว้เฉพาะสำหรับงานนั้น 	<ol style="list-style-type: none"> 1. จำกัดเฉพาะกิจกรรมที่ได้จัดทำไว้ 2. จำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลของ OFFROAD และ EMFAC 3. อัตราการทำงาน of เครื่องจักรมาจากการประมาณค่าที่ไม่ละเอียด เช่น ค่าเฉลี่ยจากโครงการในอดีต ค่าเฉลี่ยจากผู้ใช้งาน เป็นต้น

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของโมเดลที่ใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (ต่อ)

โมเดล	ข้อดี	ข้อจำกัด
Road construction emission model	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถใช้งานง่ายเนื่องจากมีการสร้างเป็น Spreadsheet. 2. สามารถประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษได้เป็นรายวัน 3. เหมาะสำหรับงานโครงการก่อสร้างถนนและงานที่มีลักษณะคล้ายกัน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องใช้ฐานข้อมูลค่า Emission Factor ของโมเดลอื่น ได้แก่ OFFROAD และ EMFAC 2. ใช้เฉพาะงานก่อสร้างถนนและยังไม่ครอบคลุมทุกกิจกรรม 3. อัตราการทำงานของเครื่องจักรมาจากการประมาณค่าที่ไม่ละเอียด เช่น ค่าเฉลี่ยจากโครงการในอดีต ค่าเฉลี่ยจากผู้ใช้งาน เป็นต้น
URBEMIS Model	<ol style="list-style-type: none"> 1. ใช้กับโครงการเกี่ยวกับการพัฒนาพื้นที่ เช่น ก่อสร้างอาคาร 2. สามารถเพิ่มขั้นตอนการก่อสร้างในโมเดลได้ 3. ผู้ใช้สามารถใช้งานได้สะดวกเนื่องจากจัดทำไว้เฉพาะสำหรับงานนั้น 	<ol style="list-style-type: none"> 1. จำกัดเฉพาะกิจกรรมที่ได้จัดทำไว้ 2. จำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลของ OFFROAD และ EMFAC 3. อัตราการทำงานของเครื่องจักรมาจากการประมาณค่าที่ไม่ละเอียด เช่น ค่าเฉลี่ยจากโครงการในอดีต ค่าเฉลี่ยจากผู้ใช้งาน เป็นต้น
Life Cycle Assessment	<ol style="list-style-type: none"> 1. เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 2. เหมาะสำหรับการศึกษาในระดับโครงการ 3. สามารถใช้ประเมินตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดโครงการ 4. สามารถระบุผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากด้านวัสดุและการก่อสร้าง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่เหมาะสำหรับการประเมินในระดับกระบวนการ 2. นิยมใช้ประเมินก๊าซเรือนกระจกอย่างเดียว ไม่รวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรกล 3. การออกแบบกระบวนการก่อสร้างเพื่อหาแนวทางการลด

ตารางที่ 2.7 ข้อดีและข้อจำกัดของโมเดลที่ใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (ต่อ)

โมเดล	ข้อดี	ข้อจำกัด
DES Model	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถแสดงผลทางสถิติที่น่าเชื่อถือในการประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษของเครื่องจักรกลในแต่ละกิจกรรม 2. สามารถคำนวณระยะเวลาของกิจกรรมได้แม่นยำโดยเฉพาะในโครงการขนาดใหญ่และการก่อสร้างมีความซับซ้อนส่งผลให้การประมาณค่ามีความถูกต้อง 3. สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลโดยการสุ่มเหตุการณ์และระยะเวลา 4. สามารถรวมเอา Emission Factor สำหรับกิจกรรมของเครื่องจักรและอัตราการใช้งานของเครื่องจักรมาประมาณค่า Emission โดย $Emission = Emission\ Factor \times Duration$ 5. สามารถเปรียบเทียบสถานการณ์ของการดำเนินงานต่างๆ โดยการเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสมที่สุด เช่น ในกิจกรรมเคลื่อนย้ายมวลดินสามารถปรับเปลี่ยนจำนวนรถบรรทุก 6. สามารถใช้จำลองโครงการที่มีเหตุการณ์เกิดขึ้นเป็นลำดับและซ้ำๆกัน 7. สามารถที่จะจำลองได้ง่ายเนื่องจากมีการตั้งค่าตัวแปรไว้ในโมเดล 8. DES สามารถจำลองคุณสมบัติของเครื่องจักร และสามารถตั้งค่าองค์ประกอบได้ตามความต้องการ 9. สามารถกำหนดเป้าหมายในการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษของโครงการโดยขึ้นกับเวลา 	<ol style="list-style-type: none"> 1. การใช้งานของ Emission Factor ใน DES Model อาจจะทำให้เกิดผลกระทบจากการตัดสินใจของผู้ใช้ 2. การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการกระจายตัวของข้อมูลในการสร้างแบบจำลองทำได้ยาก 4. ไม่ได้ใช้ประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยเฉพาะแต่เป็นการเพิ่มความแม่นยำและสะท้อนค่าที่เกิดจากกระบวนการทำงานจริง โดยต้องใช้ร่วมกับค่า Emission Factor ของเครื่องจักร

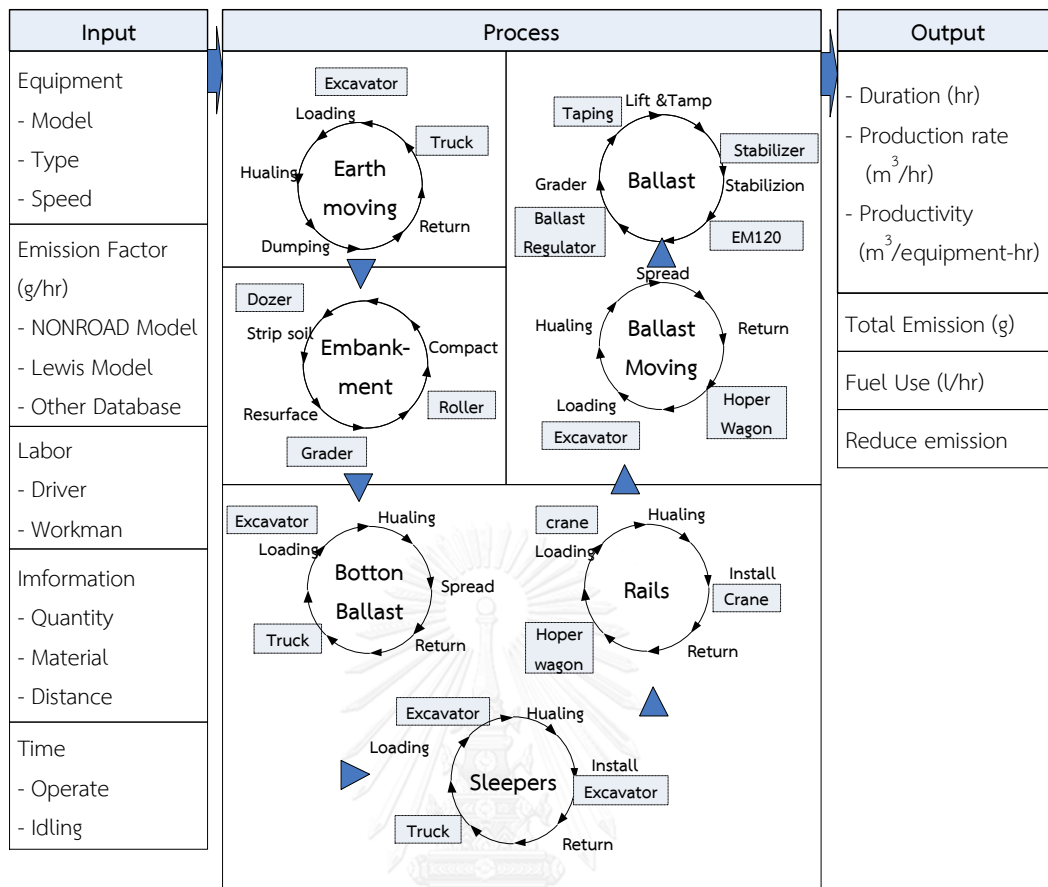
2.5 กรอบแนวคิดในการวิจัยและกระบวนการ

กรอบแนวคิดในงานวิจัยนี้เริ่มจากดำเนินการทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (Emissions) กระบวนการก่อสร้างที่มีนัยสำคัญต่อค่า Emissions และวิธีการวิเคราะห์ค่า Emissions โดยนำข้อมูลเหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ จากนั้นผู้วิจัยจะนำผลการวิเคราะห์ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟหาแนวทางการลดค่า Emissions

จากบทวนงานวิจัยในอดีตพบว่าการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการก่อสร้างในหลายๆ ด้านแต่ยังไม่ครอบคลุมกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของการก่อสร้าง รวมทั้งมีแนวโน้มที่ส่งผลต่อการปล่อย emissions จากการทำงานของเครื่องจักร นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในอดีตมีข้อดีและข้อจำกัดที่ต่างกัน เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของกระบวนการก่อสร้างและข้อมูลแล้วพบว่าการวิเคราะห์ค่า emissions ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟสามารถประยุกต์ใช้วิธี Discrete-Event Simulation ร่วมกับวิธี NONROAD และ Lewis รวมทั้งข้อมูลจากกระบวนการก่อสร้างจริง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. Discrete-Event simulation สำหรับการจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้าง
2. NONROAD สำหรับการคำนวณค่า Emission Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด
3. Lewis's Model สำหรับสัดส่วนค่า CO₂ emissions ที่สถานการณ์รอคอย (Idle) และการทำงาน (Non-Idle)
4. การสำรวจภาคสนาม สำหรับค่าสัดส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor) ระยะเวลาการทำงานของกิจกรรม กระบวนการก่อสร้างและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการก่อสร้างทางรถไฟซึ่งจะช่วยให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้นจากการจำลองกระบวนการทำงานของเครื่องจักรร่วมกับพารามิเตอร์สำหรับนำเข้าแบบจำลอง โดยมีกรอบแนวคิดในการวิจัยดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟประกอบด้วย โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟจากกรณีศึกษา จากนั้นวิเคราะห์พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลองประกอบด้วย ค่า Emission Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด รูปการกระจายตัวของระยะเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอน ค่าสัดส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor) และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับเป็นพารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง จากนั้นสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างโดยใช้หลักการ Discrete-Event Simulation ประกอบด้วยกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดิน กระบวนการเกลี่ย-บดอัดคันทาง กระบวนการก่อสร้างหินโรยทาง กระบวนการก่อสร้างระบบรางและกระบวนการก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ เพื่อเป็นตัวแทนของกระบวนการทำงานจริง จากนั้นทำการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อวิเคราะห์ค่าอัตราการทำงาน ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ รวมทั้งผลลัพธ์อื่นๆ ที่ได้จากการจำลอง จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าการปล่อย Emission ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ เพื่อนำข้อมูลไปออกแบบกระบวนการก่อสร้างเพื่อหาแนวทางในการลดค่าการ

ปล่อย Emissions โดยประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อไป 2.6
สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการวิเคราะห์ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการก่อสร้างจะขึ้นอยู่กับกับค่า Emission Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิดซึ่งมีรูปแบบการคำนวณค่าจากวิธีต่างๆ เช่น NONROAD, OFFROAD และ Lewis เป็นต้น โดยความถูกต้องในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับการประมาณค่าอัตราการใช้งานเครื่องจักร (Utilization) อัตราการทำงาน (Production Rate) และระยะเวลาการทำงาน (Operate Hour) ของเครื่องจักรนั้นๆ ซึ่งปัจจุบันพบว่าการศึกษาในระดับกระบวนการก่อสร้างยังไม่ครอบคลุมกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟและไม่สามารถนำวิธีที่มีอยู่มาใช้ได้โดยตรง ซึ่งจำเป็นต้องประยุกต์ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์ร่วมกับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ได้จากวิธี NONROAD, Lewis และการเก็บข้อมูลภาคสนาม ในขณะที่งานวิจัยนี้จะศึกษาการวิเคราะห์ค่าปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ โดยมุ่งเน้นศึกษาในระดับกระบวนการก่อสร้างประกอบด้วยการใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้าง กระบวนการขนส่งวัสดุ ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่สำคัญ จากนั้นประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ออกแบบกระบวนการก่อสร้างเพื่อหาแนวทางลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยวิธีการดำเนินการวิจัยจะขอกล่าวในบทถัดไป



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินวิจัย ลักษณะงานวิจัย การออกแบบงานวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย เวลาการทำงานในขั้นตอนการก่อสร้าง ค่า Emissions Factor สัดส่วนกำลังของเครื่องจักรที่ใช้งาน (Load Factor) และการวิเคราะห์กระบวนการก่อสร้างด้วยเพื่อหาค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษด้วยแบบจำลองสถานการณ์ Discrete-Event Simulation (DES) รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยแสดงตัวอย่างลักษณะของโปรแกรมที่นำมาใช้ในการจำลองของงานวิจัยนี้ เพื่อให้เห็นถึงขั้นตอนที่ละเอียดในการทำวิจัยหลังจากที่ได้แสดงกรอบของงานวิจัยไปแล้ว

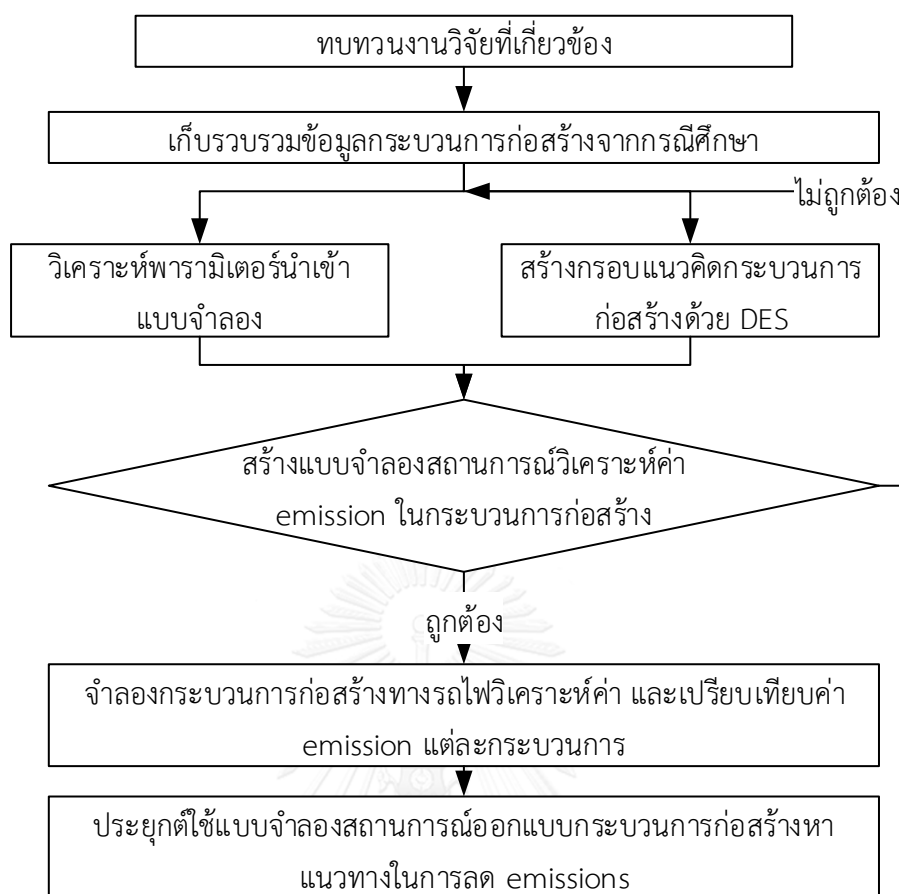
3.1 ลักษณะงานวิจัย

ลักษณะของงานวิจัยสามารถแบ่งตามเกณฑ์คุณลักษณะของข้อมูลได้ 2 ประเภท คือ การวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ส่วนในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณเนื่องจากเหตุผลดังนี้

1. งานวิจัยนี้ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟและนำข้อมูลมาออกแบบกระบวนการก่อสร้างเพื่อการแนวทางการลดโดยใช้การจำลองสถานการณ์
2. เป็นงานวิจัยที่ข้อมูลอยู่ในลักษณะของตัวเลขตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลองค่าการกระจายตัวของข้อมูล การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองและการใช้ตัวเลขในการวิเคราะห์หาแนวทางการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ
3. ต้องใช้วิธีทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาค่าการกระจายตัวที่เหมาะสมทางทฤษฎี เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง

3.2 การออกแบบงานวิจัย

การออกแบบงานวิจัยในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยการออกแบบงานวิจัยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังแผนภูมิในรูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนการดำเนินการต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 การออกแบบงานวิจัย

1. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้าง หากสาเหตุที่เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญ ปัจจัยในการประมาณค่า พิจารณากระบวนการที่ส่งผลต่อการเกิดรวมทั้งวิธีที่ใช้ในการประมาณค่าในปัจจุบัน เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้
2. เก็บรวบรวมข้อมูล โดยการลงเก็บข้อมูลในสนาม สังเกตและบันทึกกระบวนการก่อสร้าง และข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง
3. วิเคราะห์พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลองประกอบด้วย ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการทำงาน ค่า Emission Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิดและอัตราส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor)
4. สร้างกรอบแนวคิดแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟโดยประยุกต์ใช้ Discrete-Event simulation
5. จำลองสถานการณ์วิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษของแต่ละกระบวนการก่อสร้าง

6. เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ พิจารณา ส่วนที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ เพื่อออกแบบแนวทางในการลดและแก้ปัญหา

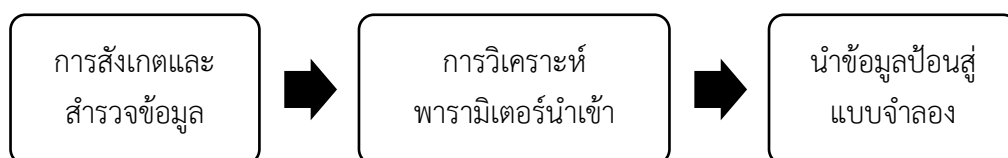
7. ออกแบบแนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยการจำลองสถานการณ์ กระบวนการที่สามารถปรับปรุงได้ และพิจารณาแนวโน้มที่เกิดขึ้น

3.3 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบถึงกระบวนการก่อสร้างที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยทบทวนจากงานวิจัยที่ศึกษาในกระบวนการก่อสร้างเพื่อดูกิจกรรมในกระบวนการก่อสร้างที่ทำการประมาณค่า ปัจจัยในกระบวนการก่อสร้างที่ใช้วิเคราะห์ วิธีการหรือโมเดลที่ใช้วิเคราะห์ค่าก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการก่อสร้าง นอกจากนี้ในงานวิจัยยังศึกษากระบวนการทำงานงานเครื่องจักรในการก่อสร้างทางรถไฟที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากข้อมูลในวารสาร หนังสือวิศวกรรมรถไฟเบื้องต้น สัญญาจ้างก่อสร้างทางรถไฟ และการสัมภาษณ์จากผู้มีประสบการณ์ในงานก่อสร้างทางรถไฟ เพื่อเป็นการอ้างอิงและใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัยนี้ต่อไป โดยรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการก่อสร้าง

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่ยากขั้นตอนหนึ่งในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลการใช้เครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างทางรถไฟเชื่อมต่อกับท่าเรือแหลมฉบัง (SRTO) ในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรี ซึ่งปัจจุบันอยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้าง โดยในส่วนนี้ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเริ่มจากขั้นตอนการสังเกตและสำรวจข้อมูล จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้นำใส่ในแบบจำลองเพื่อเป็นตัวแทนของกระบวนการก่อสร้างจริง



รูปที่ 3.2 การจำลองสถานการณ์ (Simulation) (Chung, 2004)

3.4.1 การสังเกตและสำรวจข้อมูล (Observe Input Data)

ในการสำรวจเพื่อการเก็บข้อมูลภาคสนามของกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟมีแนวทางในการสำรวจ 2 วิธีคือ การสัมภาษณ์จากเจ้าหน้าที่การรถไฟฯ ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง ผู้ควบคุมเครื่องจักร (Operator Estimate) ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นการกระจายแบบ Triangular Distribution และ

วิธีที่สองใช้วิธีการสังเกต จดบันทึก และบันทึกวิดีโอของกระบวนการก่อสร้าง (Direct Observation) โดยพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและกระบวนการทำงานของการก่อสร้างจริง โดยการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยพิจารณาถึงธรรมชาติของกระบวนการและวัตถุประสงค์ในการวัด โดยจำนวนการวัดโดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ประมาณ 25- 30 ตัวอย่าง หรือใช้การคำนวณจำนวนตัวอย่างข้อมูลจากสมการดังนี้สมการที่ 3.1

$$N = \frac{K^2}{S^2} \times p(1-P) \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

โดยที่

N คือ จำนวนข้อมูลที่สังเกต

K คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น

S คือ ค่าจำกัดสัมบูรณ์ที่ผิดพลาด

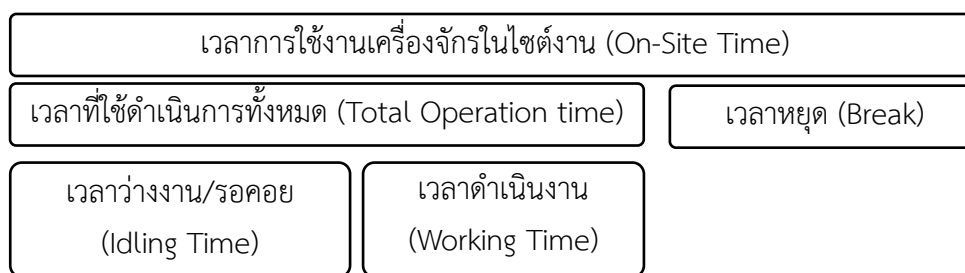
P คือ โอกาสที่การสำรวจไม่สามารถมองเห็นได้

3.4.2 องค์ประกอบของข้อมูล

องค์ประกอบในการเก็บข้อมูลกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ กิจกรรมก่อสร้างคันทางรถไฟ (Track Bed) ประกอบด้วยกระบวนการขนส่งวัสดุและการบดอัดดินแน่น ต่อมาเป็นกิจกรรมก่อสร้างระบบราง (Track Panel) ประกอบด้วยกระบวนการวางระบบราง (Track Work) กระบวนการก่อสร้างระบบรางให้มั่นคง (Rails Settling) โดยกระบวนการเหล่านี้มีการใช้เครื่องจักรที่เป็นสาเหตุหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน 2 ส่วน คือ การใช้เครื่องจักรในกิจกรรมการก่อสร้าง และการใช้ในการขนส่งวัสดุก่อสร้าง โดยในขั้นตอนการสำรวจจะพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของสถานที่ก่อสร้างได้แก่ ชื่อโครงการ ลักษณะงาน ระยะทางที่ดำเนินการก่อสร้าง สภาพอากาศ สภาพพื้นที่
2. ข้อมูลของกิจกรรมก่อสร้าง ได้แก่ ชื่อกิจกรรม ปริมาณงาน ระยะทางในการก่อสร้างหรือการขนส่ง
3. ข้อมูลทั่วไปของเครื่องจักรได้แก่ ชื่อ โมเดล กำลังของเครื่องจักร ปีที่ผลิต อายุของเครื่องจักร อัตราการใช้ น้ำมัน

4. ข้อมูลเวลาทำงานของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ ซึ่งเป็นเวลาการทำงานของเครื่องจักรในสถานะ Idling และ Working มีหน่วยเป็นนาที ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักร โดยในการเก็บข้อมูลจะพิจารณาข้อมูลเวลาในส่วนที่เครื่องจักรดำเนินการทั้งหมดจะไม่พิจารณาส่วนที่เครื่องจักรหยุดงาน ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งข้อมูลเวลาการทำงานนี้มีความสำคัญเนื่องจากต้องนำมาวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของเวลาในทางสถิติ



รูปที่ 3.3 เวลาการทำงานของเครื่องจักรในไซต์งานก่อสร้าง

5. ข้อมูลแรงงาน ได้แก่ จำนวนคน ประสบการณ์ทำงานพนักงานขับเครื่องจักร

นำข้อมูลเหล่านี้ไปสร้างเป็นแบบฟอร์มสำรวจข้อมูลภาคสนามเบื้องต้นได้ดังตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ก. ซึ่งเป็นแนวทางในการเก็บข้อมูล รวมทั้งสอบถามจากผู้ปฏิบัติงานการใช้เครื่องจักร ผู้ควบคุมงาน โดยในการเก็บข้อมูลจริงจะปรับเปลี่ยนข้อมูลตามลักษณะการทำงานนั้นๆ ซึ่งส่วนมากจะเป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเวลาการทำงานของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการก่อสร้าง โดยการสำรวจและเก็บข้อมูลจะพิจารณาถึงประเด็นต่างๆ เช่น ความแน่นอนของข้อมูล หน่วยของเวลาที่วัดความเป็นกลางของข้อมูล การหยุดชะงักของกระบวนการ เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของข้อมูลต่อไป

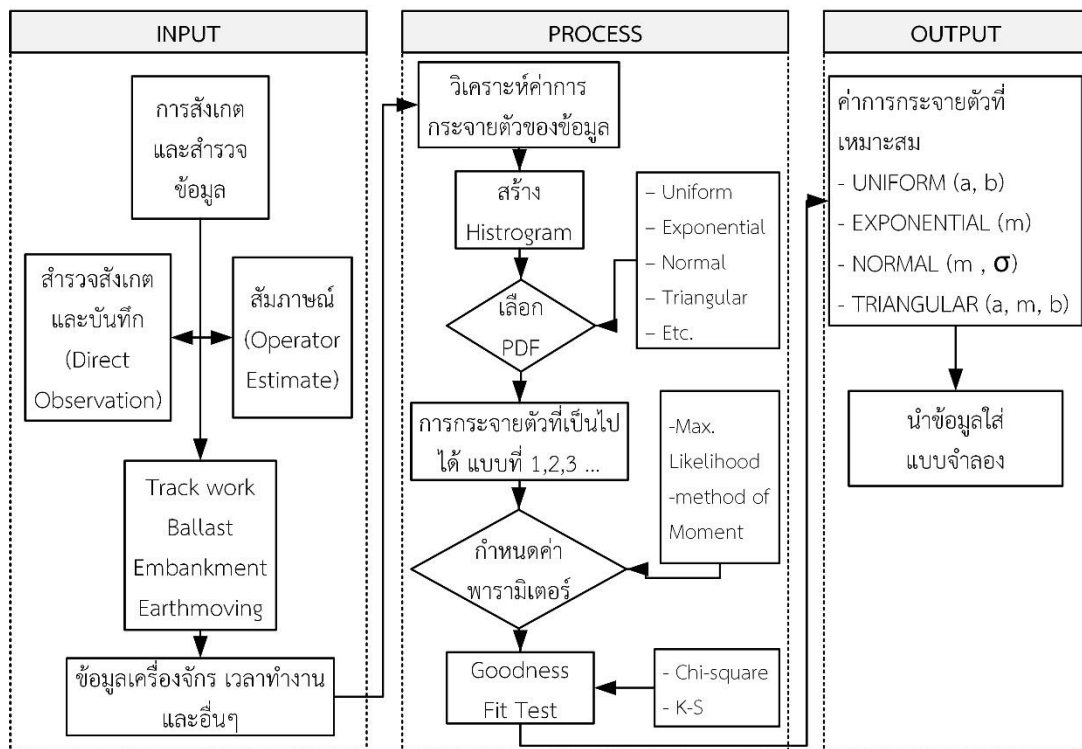
3.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง

พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลองเป็นข้อมูลที่ได้รวบรวมจากกรณีศึกษาและนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์เหล่านี้ประกอบด้วย ระยะเวลาการทำงานในขั้นตอนการก่อสร้าง (Duration Task) ข้อมูลค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด ข้อมูลสัดส่วนกำลังของเครื่องจักรที่ใช้งาน (Load Factor) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของข้อมูลเวลาการทำงาน

การนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกตและเก็บรวบรวมมาวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลมีหลายวิธี ซึ่งการหาค่าทำได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยในการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับการควบคุมการวิเคราะห์ผล ซึ่งวัตถุประสงค์ของการหาการกระจายตัวของข้อมูลเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ใน

รูปการกระจายตัวทางทฤษฎี (Theoretical Distribution) เป็นการแสดงในเทอมของคณิตศาสตร์ เนื่องจากการเก็บข้อมูลเป็นเพียงการเก็บกลุ่มตัวอย่างเท่านั้น ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญของของงานวิจัย มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและต้องใช้เวลาในการดำเนินงานโดยสามารถสรุปวิธีการดำเนินงานเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจากรูปเป็นการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมของแต่ละกระบวนการมาวิเคราะห์การกระจายตัวที่เหมาะสมและได้ผลลัพธ์เป็นพารามิเตอร์รูปแบบการกระจายตัวของระยะเวลาแต่ละงาน (Duration Task)



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเวลาทำงาน

3.5.1.1 รูปแบบการกระจายตัวทางทฤษฎี

การนำข้อมูลที่สังเกตมาระบุการกระจายตัวทางทฤษฎีจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ โดยการกระจายตัวทางทฤษฎีทั่วไปประกอบด้วยดังนี้ (Mielke 2010)

1) การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution)

มักเขียนอยู่ในรูป UNIFORM (a, b) เป็นค่าของข้อมูลในช่วงที่เป็นไปได้ ซึ่งข้อมูลประกอบด้วยเวลาขั้นต่ำและสูงสุดของกระบวนการ โดยค่าแต่ละค่าที่ได้จากการสังเกตจะมีแนวโน้มความน่าจะเป็นในการเกิดที่เท่ากัน การกระจายตัวของแบบนี้เป็นได้ทั้ง Discrete และ Continuous สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์การกระจายของข้อมูลได้ 2 ค่า คือ a แทน ค่าที่น้อยที่สุด และ b แทนค่าที่มากที่สุด

การกระจายตัวแบบนี้สามารถใช้สร้างแบบจำลองได้โดยไม่ต้องตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับสมมติฐานของข้อมูล

2) การกระจายตัวแบบเอกโพเนนเชียล (Exponential Distribution)

มักเขียนอยู่ในรูป EXPONENTIAL (m) ใช้สร้างโมเดลที่เป็นช่วงเวลาสำหรับวัตถุ (Entities) ที่เข้ามาในระบบ มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นการสุ่มของการเข้ามาและออกไปของระบบในช่วงเวลาหนึ่ง

3) การกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

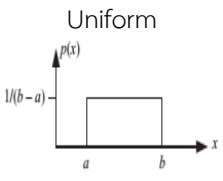
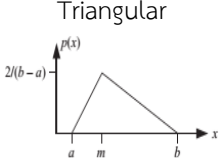
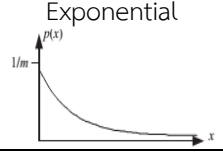
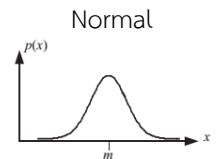
มักเขียนอยู่ในรูป NORMAL(m, σ) ใช้แสดงความแปรปรวนของปริมาณค่าเฉลี่ยข้อมูลที่สนใจ แสดงให้เห็นถึงการกระจายของตัวแปรสุ่มจำนวนมาก (Random Variable) การกระจายตัวมีลักษณะสมมาตรประกอบด้วย 2 พารามิเตอร์ คือ mean (m) แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดซึ่งข้อมูลจริงจะมีค่ามากกว่าและน้อยกว่าค่านี้ได้ ส่วนค่า Standard Deviation (σ) แทนค่าความแปรปรวนของการกระจาย ลักษณะกราฟการกระจายตัวจะเป็นรูประฆังคว่ำ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงอยู่ในรูป Standard Normal หรือ Z Distribution $x=(m \pm \sigma)$ สามารถใช้ตารางช่วยในการคำนวณได้

4) การกระจายตัวแบบสามเหลี่ยม (Triangular Distribution)

มักเขียนอยู่ในรูป TRIANGULAR (a, m, b) ใช้กับการกระจายของข้อมูลซึ่งมีเหตุการณ์ไม่แน่นอนแต่สามารถประมาณค่า สูงสุด ต่ำสุด และค่าที่เกิดบ่อยๆ ได้ ซึ่งเป็นการแสดงว่าเมื่อทำกิจกรรมที่ซ้ำกันหลายๆ ครั้ง เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมค่าสูงสุดและต่ำสุดจะไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ การใช้วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลมากแต่จำเป็นต้องรู้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 โดยสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์การกระจายของข้อมูลได้คือ a แทนค่าต่ำสุด m แทนค่าฐานนิยม b แทนค่าสูงสุด ซึ่งในทางปฏิบัติอาจถามจากผู้มีประสบการณ์ ได้ เช่น เวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต เวลาเดินทาง เวลาให้บริการลูกค้า เป็นต้น

เพื่อให้สามารถเข้าใจได้มากขึ้นจึงขอสรุปลักษณะการกระจายตัวทางทฤษฎีของข้อมูลโดยทั่วไปไว้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปแบบทั่วไปของการกระจายตัวทางทฤษฎี

รูปแบบ	Probability Density Function (PDF)	Mean & Variance
Uniform 	$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$M = \frac{a+b}{2}$ $Var = \frac{(b-a)^2}{12}$
Triangular 	$p(x) = \begin{cases} \frac{2}{(b-a)(m-a)}(x-a), & a \leq x \leq m \\ \frac{2}{(b-a)(m-a)}(b-x), & m \leq x \leq b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$M = \frac{a+m+b}{3}$ $Var = \frac{a+m+b-ma-ab-mb}{18}$
Exponential 	$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{m} e^{-x/m}, & x > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$	$M = m$ $Var = m^2$
Normal 	$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-m)^2/2\sigma^2}, -\infty \leq x \leq \infty$	

3.5.1.2 การระบุการกระจายตัวทางทฤษฎีที่เหมาะสมของตัวอย่างข้อมูล (Fitting a Theoretical Distribution to Sample Data)

ขั้นตอนการระบุการกระจายตัวทางทฤษฎีที่เหมาะสมของตัวอย่างข้อมูลประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ (Mielke 2010)

1. สร้างฮิสโตแกรม (Histogram)

สร้างฮิสโตแกรมสำหรับตัวอย่างข้อมูลเวลาการทำงานแล้วเปรียบเทียบกับ Probability Density Functions (PDF) ของรูปแบบการกระจายตัวทางทฤษฎี เพื่อช่วยให้สามารถเลือกแบบการกระจายได้ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลดังกล่าว

2. กำหนดค่าพารามิเตอร์การกระจายทางทฤษฎี

สำหรับรูปแบบการกระจายตัวเหมาะสมที่สุดของตัวอย่างข้อมูลซึ่งประกอบด้วย 2 วิธี คือ การประมาณด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation Method) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด และ The Method of Moments

3. หาค่าการกระจายที่ดีที่สุด

หาค่าการกระจายตัวที่ดีที่สุดระหว่างวิธีการกระจายทางทฤษฎีของตัวอย่างข้อมูลที่เป็นไปได้ที่ได้เลือกไว้ในขั้นที่ 1 ซึ่งมักจะใช้วิธีทางสถิติคือ การทดสอบการเข้ารูปตามทฤษฎี (Goodness - of - Fit) ช่วยระบุค่าการกระจายตัวที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้การทดสอบด้วยวิธี Chi - Square และ Kolmogorov - Smirnov (K-S) ในการหาค่า เพื่อให้สะดวกในการทำวิจัย การระบุการกระจายตัวทางทฤษฎีที่เหมาะสมของตัวอย่างข้อมูล ผู้วิจัยจะเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ เช่น Expert Fit , Easy Fit, Simphony.NET เป็นต้น

3.5.1.3 นำเข้าพารามิเตอร์ใส่แบบจำลอง

เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือป้อนเข้าสู่แบบจำลองและในแบบจำลองสามารถเลือกการป้อนข้อมูลทางสถิติตามแบบการกระจายตัวที่ได้ ในขั้นตอนนี้ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลที่ป้อนต้องมีลักษณะที่เป็นตัวแทนของกระบวนการก่อสร้าง มีความน่าเชื่อถือได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการประมาณค่าตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยการนำเข้าข้อมูลต้องพิจารณา ดังนี้ (Mielke 2010)

1. ต้องสร้างตัวอย่างแบบจำลองที่สามารถใช้แทนระบบจริงที่สามารถเข้าถึงการตรวจสอบระบบและติดตามข้อมูลได้ ซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม
2. ข้อมูลต้องเป็นอิสระคือไม่มีความสัมพันธ์หรืออิทธิพลต่อกันและมีการกระจายตัวในลักษณะเดียวกัน
3. เป็นลักษณะการกระจายตัวพื้นฐาน มีการเปลี่ยนแปลงของเวลาไม่มาก

3.5.2 การวิเคราะห์ค่า Emissions Factor ของเครื่องจักร

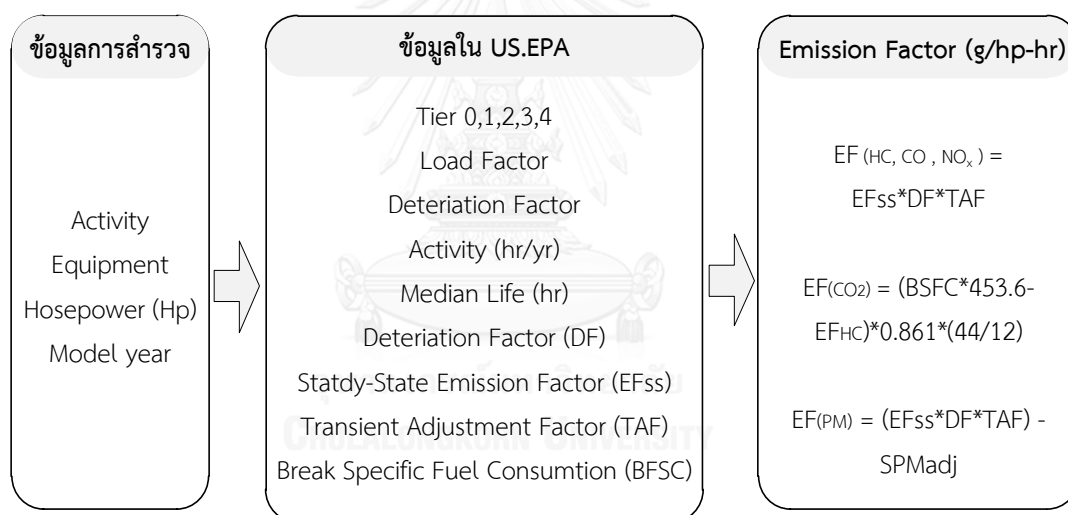
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการคำนวณค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสูตรที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 2 จากวิธีของ US.EPA โดยรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณค่าสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.5 นอกจากนั้นการหาค่าสัดส่วน CO₂ Emission Factor ที่สถานะการทำงาน Idle ต่อ Non-Idle ใช้ข้อมูลสัดส่วนดังกล่าวจากงานวิจัยของ Lewis's Model โดยในงานวิจัยนี้แบ่งการคำนวณค่า Emissions Factor ตามลักษณะของเครื่องจักรที่ใช้ได้ 3 ส่วนตามลักษณะงานก่อสร้างทางรถไฟคือ

1. เครื่องจักรกลางก่อสร้างทั่วไป เช่น รถเกี่ยดิน, รถขุด-ตัก, รถบรรทุก เป็นต้น สามารถคำนวณจากสมการและฐานข้อมูล NONROAD จากเอกสารในหัวข้อ "Exhaust and Crankcase

Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-Compression-Ignition” และการคำนวณ CO₂ emissions ที่สถานะ idle จาก Lewis’s Model โดยการคำนวณต้องพิจารณาเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการก่อสร้างจริง

2. เครื่องจักรงานก่อสร้างทางรถไฟซึ่งมีระบุไว้ในหัวข้อ “Diesel Railway Maintenance” ของ US.EPA ซึ่งในคำนิยามระบุไว้ว่า “กลุ่มเครื่องจักรที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการซ่อมบำรุงและก่อสร้างเส้นทางรถไฟที่ประกอบด้วย หินโรยทาง ราง หมอน รวมถึงเครื่องจักรสำหรับเสริมความมั่นคงของทาง” ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการหาค่า Emission Factor ได้

3. รถจักร (Locomotive) มีการจัดทำค่าดังกล่าวไว้เฉพาะ ในส่วนนี้สามหาได้จากเอกสารชื่อ “Emission Factors for Locomotives” ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ US.EPA ได้จัดทำไว้เป็นฐานข้อมูล โดยมีการแบ่งเครื่องจักรออกเป็นชั้น (Tier) ตั้งแต่ชั้นที่ 0 ถึง 4 ตามปีที่ผลิตของเครื่องจักรและกำลังของเครื่องจักร นอกจากนี้ยังมีตารางสำหรับหาค่า Emission Factor ของก๊าซชนิดต่างๆ



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการหาค่า Emission Factor จากฐานข้อมูล NONROAD Model

3.5.3 การวิเคราะห์อัตราส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor)

อัตราการใช้งานเครื่องจักร (Load Factor) เป็นสัดส่วนกำลังของเครื่องจักรที่ใช้งานจริง เนื่องจากการทำงานบางครั้งมีการใช้งานหนักเบาต่างกัน โดยคิดจากสัดส่วนกำลังที่ใช้งาน (Throttle) ในแต่ละสภาพการทำงาน (Condition) ตามสัดส่วนเวลาที่ใช้ (Time Factor) คูณด้วยประสิทธิภาพการทำงาน (Job efficiency)

1) การเก็บข้อมูลจะแบ่งสัดส่วนกำลังที่ใช้งานของเครื่องจักรแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ต่ำ (50%) ปานกลาง (75%) และสูง (100%) ซึ่งนำไปสัมภาษณ์พนักงานขับเครื่องจักรและผู้ควบคุมงาน

2) สัดส่วนเวลาจะพิจารณาจากการทำงานในแต่ละสภาพการทำงานโดยการบันทึกเวลาการทำงาน

3) ประสิทธิภาพการทำงานแบ่งตามคู่มือของเครื่องจักรประกอบด้วยระดับการเนินงานและการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ซึ่งนำไปสัมภาษณ์พนักงานขับเครื่องจักรและผู้ควบคุมงาน

3.6 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model)

แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง สามารถวิเคราะห์งานที่มีความซับซ้อน นิยมใช้ในช่องว่างแผนการก่อสร้าง (Pre-Construction) ใช้เพื่อการตัดสินใจในการวางแผนจัดสรรทรัพยากรให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดในการดำเนินกิจกรรม ซึ่งในการดำเนินการก่อสร้างจะต้องมีกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกันและในแต่ละกระบวนการจะมีความต้องการใช้ทรัพยากรที่ต่างกัน ได้แก่ เครื่องจักรกลหนัก แรงงาน วัสดุ พื้นที่ทำงาน ดังนั้นในช่วงวางแผนการออกแบบกระบวนการก่อสร้าง (Construction Process) จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

3.6.1 การออกแบบกระบวนการก่อสร้าง

การออกแบบกระบวนการก่อสร้างจะต้องสร้างแบบจำลอง (Modeling) ที่เหมือนกับกระบวนการก่อสร้างจริงในโครงการ (Real World) โดยในการก่อสร้างจะประกอบด้วยตัวแปรที่ควบคุมได้ (Control Factor) และตัวแปรควบคุมไม่ได้ (Uncontrolled Factor) ตัวแปรที่ควบคุมได้ส่วนมากจะเป็นวิธีการก่อสร้างโดยจะขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่เรียกว่า Resource Constraints ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบกระบวนการซึ่งมีลำดับการทำงาน (Sequence) เช่น จำนวนเครื่องจักรหนัก ขนาด คนขับ เป็นต้น ส่วนตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ เช่น สภาพอากาศ สภาพพื้นที่ รายละเอียดการออกแบบ เงื่อนไขของสัญญา เป็นต้น จากนั้นจึงเริ่มการจำลองสถานการณ์ (Simulation) โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ของระบบการจำลองสถานการณ์ได้ดังรูปที่ 3.6 (Likhitrungslipl 2015)

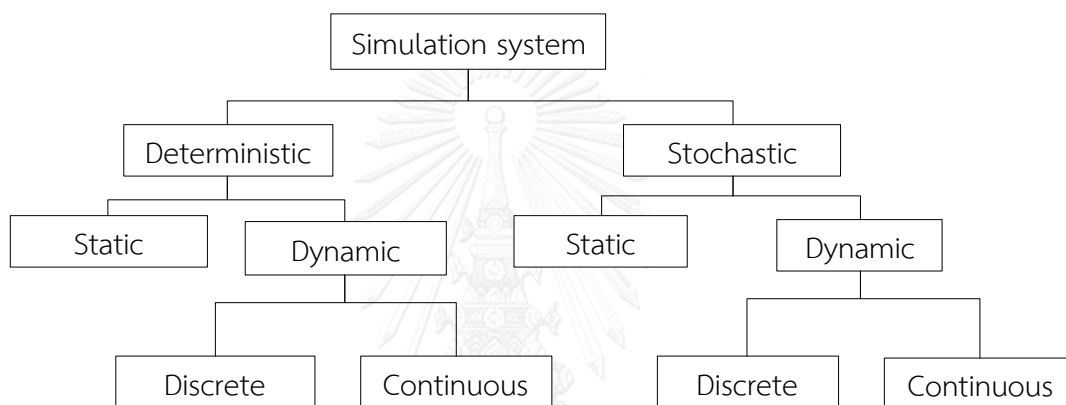


รูปที่ 3.6 ระบบการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

3.6.2 ระบบการจำลองสถานการณ์ (Simulation System)

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) หมายถึง การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองโดยทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์ผลจากการปรับเปลี่ยน โดยทำซ้ำหลายๆ ครั้ง ทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ (จิรววัฒน์ ดำริห์อนันต์ 2555)

การจำลองสถานการณ์เป็นการสร้างระบบที่มีการดำเนินการเสมือนจริง โดยในระบบจะมีการสร้างสมมติฐานเกี่ยวกับการดำเนินงานของระบบ โดยแสดงอยู่ในรูปทางคณิตศาสตร์ ตรรกะ และสัญลักษณ์ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างงานหรือวัตถุของระบบ ไม่ว่าจะใช้มือหรือจำลองพฤติกรรมของระบบต่างๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยการเก็บข้อมูลข้อมูลการทำงานจริงในอดีต จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปใส่ในแบบจำลอง และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ต่อไป (Banks 2005) โดยสามารถจำแนกแบบจำลองของระบบ (Simulation System) ได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การจำแนกประเภทแบบจำลอง (Simulation Model Classification)

3.6.2.1 แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา Static Vs. Dynamic

Static คือ การเกิดขึ้นของเหตุการณ์ในระบบการทำงานที่คงที่กับเวลาเสมอ เฉพาะเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือการแสดงเวลาของระบบที่ง่ายๆ บางครั้งอาจจะเรียกว่า Monte Carlo Simulation

Dynamic คือ การเปลี่ยนแปลงเวลาของทั้งระบบ จะมีความสำคัญและมีผลกระทบต่อเหตุการณ์ต่างๆ หรือตัวแปรที่กำลังสนใจ เช่น การจำลองการทำงานของธนาคาร ตั้งแต่ 9.00-15.00 น. เป็นต้น

3.6.2.2 แบ่งตามมิติความแน่นอนของข้อมูล Deterministic Vs. Probabilistic

Deterministic คือ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายใต้กฎเกณฑ์ที่แน่นอนและได้มีการกำหนดเวลาที่แน่นอน มีการแสดงผลของปริมาณของข้อมูลและความสัมพันธ์ในโมเดลที่เฉพาะ

Stochastic คือ มีการป้อนข้อมูลจากการสุ่ม (Random input) และส่งออกผลลัพธ์ด้วยการสุ่ม เวลาจะมีผลกระทบมาจากความน่าจะเป็น (Probabilistic) หรือความแปรปรวนจากเวลาที่ไม่วางที่ เช่น การจำลองการทำงานของธนาคารมักจะประกอบด้วย การสุ่มช่วงเวลา และเวลาให้บริการ การแสดงผลจะเป็น จำนวนคนและเวลาที่รอคอยของลูกค้า เป็นต้น

3.6.2.3 แบ่งตามมิติความต่อเนื่องของเหตุการณ์ Continuous Vs. Discrete

Continuous คือ สภาวะการณ์ของระบบที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น เกิดการไหลของต้นน้ำหลังเขื่อนระหว่างฝนที่ตกหนักก่อนและหลัง เป็นต้น

Discrete คือ เหตุการณ์ของระบบที่เกิดขึ้นในทันที ถูกค้นโดยเวลา สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ณ จุดหนึ่งจุดใดของเวลา โดยมีความน่าจะเป็น (Probability) เข้ามาเกี่ยวข้อง

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าโดยทั่วไประบบการจำลองเหตุการณ์ประกอบด้วย 2 แบบ คือ Continuous และ Discrete ซึ่งสามารถใช้งานแยกกันหรือรวมกันก็ได้ ส่วนในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการจำลองเหตุการณ์ที่ประกอบด้วย Discrete, Dynamic และ Stochastic ซึ่งเรียกว่า Discrete-Event Simulation Model

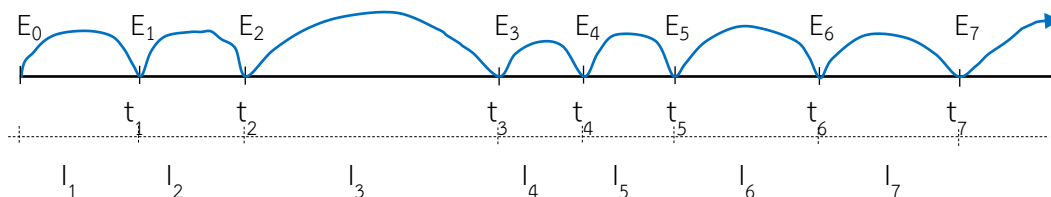
3.6.3 Discrete Event Simulation (DES)

DES เป็นแบบจำลองที่พัฒนาและแสดงให้เห็นเมื่อเวลาดำเนินไป ในระบบจะมีตัวแปร (State Variable) ที่มีการเปลี่ยนแปลงของเวลาทันทีทันใด ณ ช่วงเวลาหนึ่งที่มีเหตุการณ์ (Event List) ในจุดที่ไม่ต่อเนื่อง คือ ไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลตลอดการทำงาน เป็นเหตุการณ์ (Event) ที่มีการดำเนินการจากเหตุการณ์หนึ่งไปอีกรายการหนึ่งเป็นลำดับ ซึ่งเหตุการณ์จะก่อให้เกิดข้อมูลที่เป็นลักษณะพิเศษของทั้งระบบ (Entire) ในเวลานั้น แต่ไม่จำเป็นต้องเกิดในช่วงเวลาที่แม่นยำ สิ่งเหล่านี้เป็นการปรับปรุงสถานะของระบบ (State of System) การวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้มีความยุ่งยาก โดยสามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ซึ่งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนในการแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองในอดีตหรือการเก็บข้อมูลจากการสังเกตมาเพื่อวิเคราะห์ประมาณค่าข้อมูลการทำงานจริง โดยส่วนมากจะเป็นงานที่ค่อนข้างใหญ่ การจัดการที่ยาก และต้องมีการเก็บข้อมูล ซึ่งการกระทำเหล่านี้ยุ่งยากจึงจำเป็นต้องช่วยคอมพิวเตอร์ช่วยจึงจะทำให้ DES มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Diaz and Behr 2010)

การประมวลผลใน DES เป็นการประมวลผลเหตุการณ์ต่างๆ โดยที่แต่ละเหตุการณ์จะถูกกำหนดให้เกิดขึ้น ณ เวลาใดเวลาหนึ่งในเวลาจำลอง โดยในการศึกษาแบบจำลองจะข้องเกี่ยวกับโครงสร้างการเปลี่ยนไปของเวลา

3.6.3.1 Time - Advance Mechanism

เป็นการศึกษากลไกการทำงานของโมเดลเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของเวลา ซึ่งในการจำลองจะมีตัวแปรที่เรียกว่า Simulation clock ซึ่งภายในแบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงเวลาได้โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เวลาที่เชื่อมโยงกับเหตุการณ์และค่าคงที่ของเวลาที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.8 Time - Advance Mechanism

จากรูปที่ 3.8 เป็นการแสดงตัวอย่างการเกิดขึ้นของชุดเหตุการณ์ในการทำงานของ Discrete Event Simulation โดยที่

E_i = ชุดของเหตุการณ์ ณ เวลาใดๆ ที่เชื่อมต่อการเข้า-ออกของวัตถุ

t_i = แสดงเวลาการเข้า-ออกของวัตถุและเป็นเวลาที่มีการปรับปรุง State Variable

I_i = ช่วงเวลาของงานที่อยู่ในระบบ

1. เวลาที่เชื่อมโยงกับเหตุการณ์ (Next-Event Time Advance)

การเปลี่ยนแปลงของสถานะทั้งหมดจะเกิดขึ้นในช่วงการสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง ช่วงเวลาที่ไม่มีกิจกรรมการใช้งานจะถูกกระโดดข้ามเหตุการณ์หนึ่งไปยังอีกเหตุการณ์หนึ่ง เมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่เป็นช่วงเท่าๆกัน (Time-Stepped) จะมีความแตกต่างกันซึ่งเรียกว่าเป็นการขยับของเหตุการณ์ในแบบจำลอง (Event-Driven)

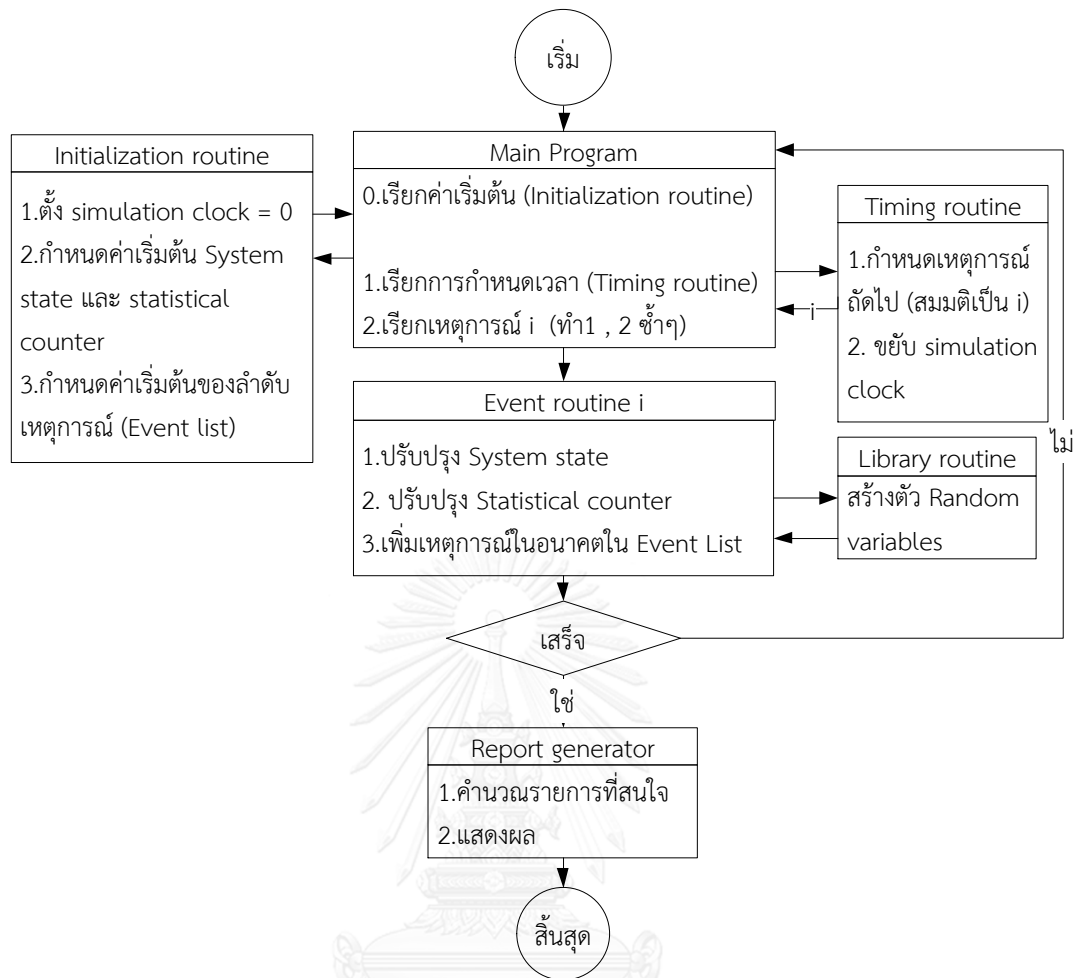
2. ค่าคงที่ของเวลาที่เพิ่มขึ้น (Fixed Increment Time Advance)

ในโปรแกรมจำลองจะกำหนดเวลาเริ่มต้นที่ $T=0$ และมีการเพิ่มขึ้นตามเวลาที่กำหนดในเหตุการณ์เท่าๆกัน (Time-Stepped) เช่น การเข้า-ออกของวัตถุในระบบที่สร้างโดยใช้การกระจายตัวของค่าความน่าจะเป็นและการบันทึกเหตุการณ์ในเวลาที่ยังดำเนินอยู่ในช่วงเวลา (Time Interval) ดังนั้นในช่วงดังกล่าวจึงไม่มีการเชื่อมโยงระหว่างเวลาและเหตุการณ์ จุดประสงค์วิธีนี้เพื่อจัดเก็บและปรับปรุง State Variable

3.6.3.2 องค์ประกอบของ Discrete Event Simulation

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับลักษณะกระบวนการทำงานของแบบจำลอง DES สามารถสรุปเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจากรูปสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1. System State เป็นการเก็บ State Variable เพื่อใช้อธิบายระบบที่เวลานั้นๆ
2. Simulation Clock เป็นเครื่องมือที่ให้ค่าเวลาจากการจำลองที่เป็นปัจจุบัน
3. Event List เป็นรายการที่เก็บเวลาของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในเวลาถัดไป
4. Statistical Counter เป็นเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลทางสถิติของการจำลองระบบ
5. Initialization Subprogram เริ่มการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมย่อยที่เวลา $t=0$
6. Timing Subprogram โปรแกรมย่อยที่จะกำหนดเหตุการณ์ต่อไปในอนาคตจาก Event list และเวลาของ simulation clock เพิ่ม เมื่อมีเหตุการณ์เกิดขึ้น
7. Event Subprogram โปรแกรมย่อยที่ปรับปรุง system state ที่มีเหตุการณ์ต่างๆ เกิดขึ้น
8. Library Subprogram โปรแกรมย่อยที่อยู่ใน Library ใช้สร้างค่าการสุ่มจากค่าการกระจายตัวของความน่าจะเป็นที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์
9. Report Generator โปรแกรมย่อยที่ใช้คำนวณโดยคอมพิวเตอร์มาจาก statistical counters ของการวัดประสิทธิภาพการทำงานและมีการรายงานผลทางสถิติเมื่อสิ้นสุดการจำลอง
10. Main Program โปรแกรมย่อยที่มีการเรียก Timing Routine เพื่อกำหนดเหตุการณ์ถัดไป และมีการส่งต่อการควบคุมไปที่ Event Routine เพื่อปรับปรุง System State โดย Main Program จะมีการตรวจสอบและรายงานผลเมื่อการจำลองเสร็จสิ้น

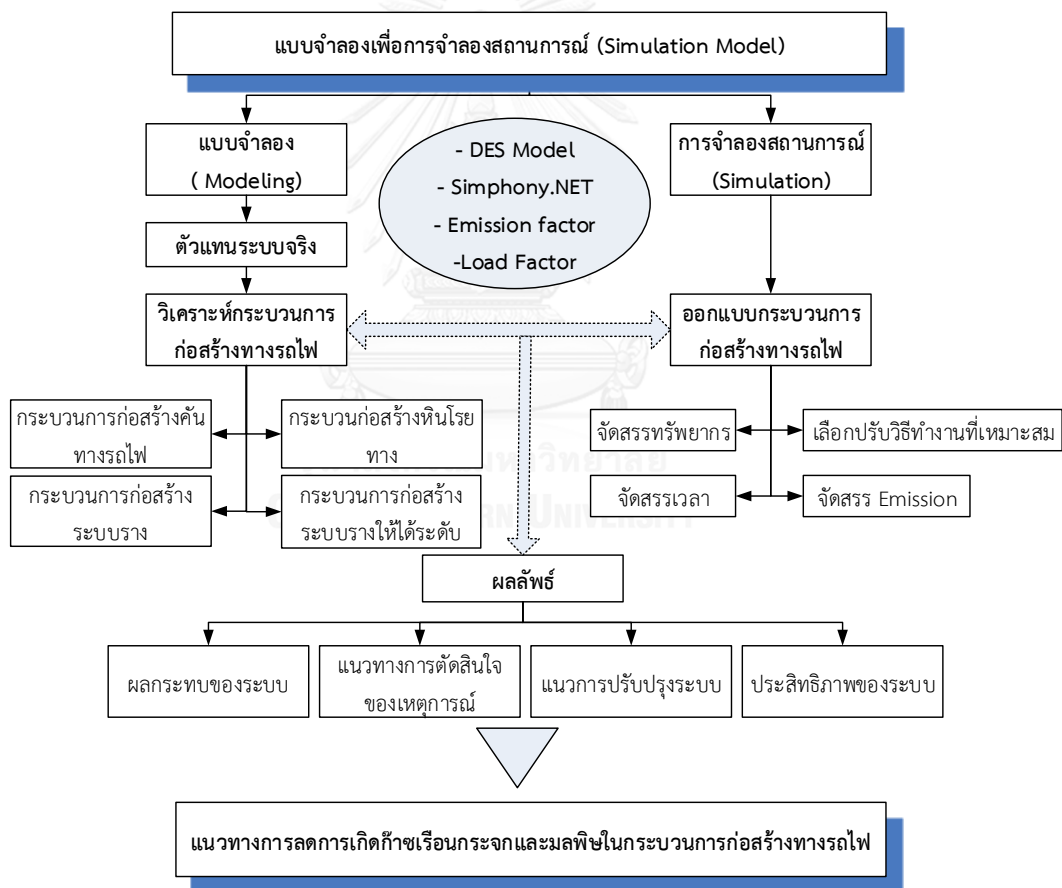


รูปที่ 3.9 ผังการทำงานของ Discrete-Event Simulation

เนื่องจากการก่อสร้างทางรถไฟเป็นกิจกรรมที่ใช้ทรัพยากร (Resource-Based) และมีการทำงานเป็นขั้นตอน (Process-Based) ดังนั้นการประมาณค่าและหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งการใช้แบบจำลองสถานการณ์วิเคราะห์ผลถือได้ว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมวิธีหนึ่ง โดยในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยเลือกใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยระบบ DES Model ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์และช่วยแก้ปัญหาที่ซับซ้อน โดยมีลักษณะการทำงานที่มีความสัมพันธ์กันแบบเป็นรอบกระบวนการ (Cyclic) มีกิจกรรมและตรรกะ (Logical) ที่สัมพันธ์กัน โดยในอดีตมีการพัฒนา เครื่องมือ CYCLONE นำมาใช้เป็นภาษาในการจำลองครั้งแรกโดย Daniel Halpin หลังจากนั้นก็มีการใช้แพร่หลาย เช่น CPM , PERT เป็นต้น ส่วนในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือชื่อโปรแกรม Symphony.NET ช่วยในวิเคราะห์และจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยรายละเอียดและตัวอย่างของการใช้แบบจำลองการจำลองสถานการณ์ดังกล่าวจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์วิเคราะห์ค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

การวิเคราะห์กระบวนการก่อสร้างเพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง Discrete-Event Simulation จำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟโดยเลือกใช้โปรแกรม Symphony.NET เป็นเครื่องมือช่วยสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างร่วมกับพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องจักรเพื่อให้สามารถจำลองการเกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในระบบที่เสมือนการก่อสร้างจริงและได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งในการจำลองสถานการณ์ประกอบด้วยดำเนินการ 2 ส่วน ตามวัตถุประสงค์คือ เพื่อวิเคราะห์หาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในแต่ละกระบวนการ จากนั้นทำการออกแบบกระบวนการก่อสร้างโดยการจำลองสถานการณ์เพื่อหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟโดยมีกรอบแนวคิดในการจำลองดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กรอบแนวคิดการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์และหาแนวทางการลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

3.7.1 การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อให้สามารถปรับปรุงข้อมูลการดำเนินงานของเครื่องจักร อัตราการทำงานของเครื่องจักร (Productivity) อัตราการใช้งาน (Utilization) ค่า Emissions ของเครื่องจักร ซึ่งในอดีตข้อมูลเหล่านี้จากข้อมูลโครงการก่อนหน้าและจากประสบการณ์ นอกจากนั้นการใช้แบบจำลองทำให้ได้ค่าทางสถิติที่มีถูกต้องความและน่าเชื่อถือขึ้น โดยใช้ข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม และนำมาวิเคราะห์ค่าการกระจายทางสถิติตัว รวมทั้งข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าสัดส่วนการใช้กำลัง ปริมาณงาน ระยะทาง เป็นต้น

การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟประกอบด้วย 4 กระบวนการหลักคือ การก่อสร้างคันทางรถไฟ การก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรก การก่อสร้างระบบราง และการก่อสร้างระบบรางให้ระดับ จากนั้นทำการสำรวจกระบวนการก่อสร้างอย่างหายากจากกรณีศึกษาที่เลือกเพื่อนำมาสร้างกรอบแนวคิดการจำลองสถานการณ์โดยใช้ Discrete-Event Simulation สร้างผังขั้นตอนการณเกิดเหตุการณ์ กิจกรรม การปรับปรุงระบบ ความสัมพันธ์ของทรัพยากร จากนั้นนำแนวคิดสร้างแบบจำลองโดยในงานวิจัยนี้เลือกโปรแกรม Symphony.NET เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองและจำลองสถานการณ์ ซึ่งรายละเอียดของสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรมเบื้องต้นจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

3.7.2 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET

โปรแกรม Symphony.NET เป็นการแสดงการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ถูกพัฒนาจากการทำวิจัยสามารถใช้ในการจำลองเพื่อการวางแผนงาน ภายในโปรแกรมประกอบด้วยบล็อกพื้นฐาน (Building Blocks) ให้ใช้เพื่อการจำลองเรียกว่า “Modeling Element” โดยแต่ละ Element ใช้สร้างแบบจำลองที่เฉพาะสถานการณ์นั้นๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2 โดยใช้ในการเชื่อมต่อ Element ด้วยลูกศรแสดงทิศทางการเดินทางของวัตถุ (Entities) ในแบบจำลองเพื่อเป็นการแสดงตัวแทนของกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งในหัวข้อนี้ผู้วิจัยขอกกล่าวการใช้โปรแกรม Symphony.NET ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างเป็นตัวอย่างเพื่อให้เห็นภาพของการดำเนินการวิจัย โดยรายละเอียดของแบบจำลอง วิธีการจำลองและโปรแกรมจะขอกกล่าวในบทถัดไป

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบแบบจำลอง (Model Element)

ชื่อ	คำอธิบาย
Element Symbol	เป็นสัญลักษณ์ใช้อธิบายองค์ประกอบ มีลักษณะเป็นรูปร่างเฉพาะ
Properties	ในกล่องข้อมูลนี้มีคุณสมบัติ เป็นการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด รวมทั้งระบุค่าตัวแปรต่างๆ และจะแสดงผลออกมาภายหลัง
Input Parameters	ผู้ใช้งานสามารถใส่ข้อมูลจำเพาะของ element ตัวนั้นๆ ได้
Output Parameters	ในกล่องข้อมูลนี้มีคุณสมบัติเป็นการส่งออกข้อมูลจากการจำลอง
Statistics	ในกล่องข้อมูลนี้เป็นการแสดงค่าทางสถิติ

3.7.3.1 ลักษณะของโปรแกรม Symphony.NET

โปรแกรมสามารถสร้างแบบจำลองโดยใช้ Modeling Element ที่โปรแกรมจัดไว้ให้โดยสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้ 2 ประเภทคือ การใช้สำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป (General Purpose) ได้แก่ General Template และ CYCLONE Template และการใช้สำหรับวัตถุประสงค์เฉพาะ (Special Purpose) เช่น Earthmoving Template, Aggregate Production Template เป็นต้น ซึ่ง Element ต่างๆ ในโปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยอยู่ภายในดังแสดงในตารางที่ 3.5

ส่วนการแสดงผลของโปรแกรม Symphony.NET สามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปของกราฟได้ 4 แบบคือ Histogram, Cumulative Distribution Function, Time Chart และ Cumulative Time Chart นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในแบบตาราง ซึ่งช่วยให้ผู้วิเคราะห์ข้อมูลสามารถอ่านข้อมูลได้เข้าใจและสามารถนำข้อมูลไปใช้ต่อได้สะดวก

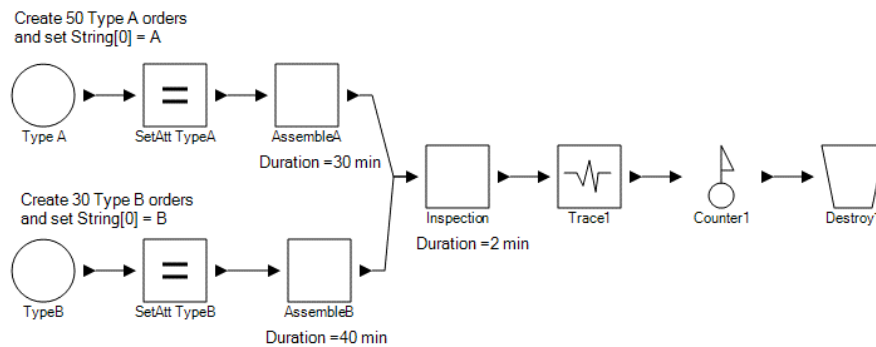
3.7.3.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้โปรแกรม Symphony.NET

ในส่วนนี้ขอยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้โปรแกรม Symphony.NET ในการจำลองสถานการณ์ เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการทำงานเบื้องต้นของโปรแกรม โดยการสร้างแบบจำลองต้องเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของกระบวนการจริงขึ้นมา ก่อนจากนั้นจึงทำการจำลองสถานการณ์

ตัวอย่างที่ 1 แบบจำลองกระบวนการผลิตท่อ (Spool Fabrication Process) ประกอบด้วยการผลิต 2 ประเภท ชนิด A 50 ชิ้น และ B 30 ชิ้น มีการทำงาน 2 กิจกรรมคือ การประกอบ (Assembly) และการตรวจสอบ Inspection)

เวลาที่ใช้ประกอบ (Assembly) Type A 30 นาทีและมี 2 Servers ที่ใช้งานได้ (Available)

Simulation Example Using Primary Element : Spool fabrication process

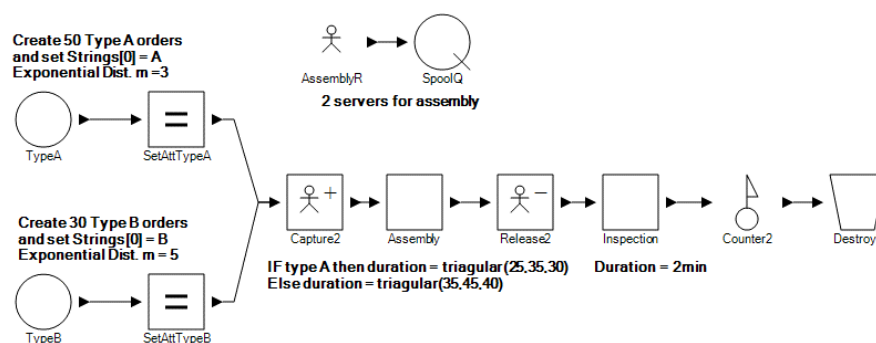


ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

1. สร้าง *Create Element* “Type A” สร้าง 50 Entities แสดงปริมาณการผลิต (Fabrication) ที่เวลาเริ่มต้น (At zero time) และไม่มีช่วงเวลาระหว่างการสร้าง (Interval Between Creations of Entities)
2. เพื่อกำหนดให้มีความแตกต่างกันของ 2 เกท จึงใช้ *SetAttribute element* “SetAtt TypeA” ตั้งค่าพารามิเตอร์ *Strings [0]* เป็น “A”
3. Entities ทั้ง 2 ชนิดจะมารวมกันที่ “Inspection” Task
4. ใช้ *Trace element* โดยการเขียน *Formula* แสดงการสั่งผลิตที่เสร็จที่เวลาใดในหน้าจอ *Trace Windows*
4. *Counter Element* จะแสดงจำนวน Entities ทั้งหมดที่ผ่านและเวลาสำหรับ Last Entity
5. *Destroy Element* จะทำการกำจัด Entity ที่มาถึงมัน

ตัวอย่างที่ 2 ในการผลิตท่อประกอบด้วยกระบวนการผลิตท่อ Type A มาถึง (*Spool Fabrication Orders Arrive*) ในช่วงเวลาการกระจายตัว Exp.(3) และ Type B Exp.(5) ตัวประกอบ (Assembly) มี 2 Servers ที่สามารถใช้งานได้

Simulation Example Using Resource Element

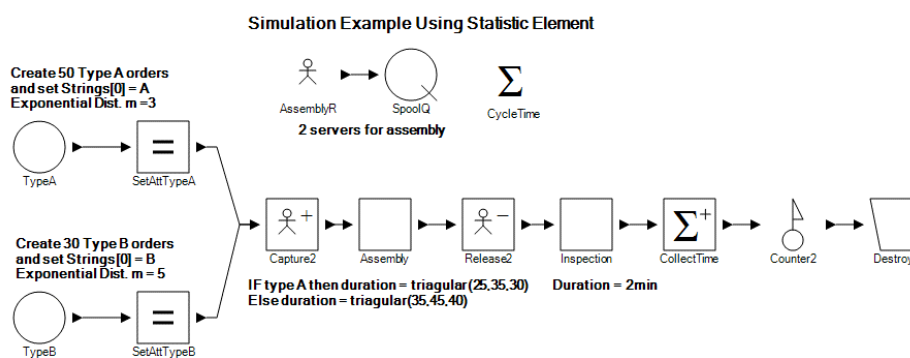


ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

1. ถ้ามีการ Order Arrivers ตัววัตถุ (Entity) จะถูกสร้างและถ้า Servers สำหรับ AssemblyR (Resource) ไม่ว่างอยู่ Entity จะเกิดการรอคอยจนกว่า Server (Resource) จะว่างอยู่ภายใน PoolQ (File Element)

2. เมื่อ Resource สามารถใช้งานตัววัตถุ (Entity) จะทำการ Capture และ Release Resource สำหรับ Entities ตัวถัดไปหลังจากที่ใช้เวลาในการทำ Assembly Task เสร็จ

ตัวอย่างที่ 3 ต้องการเก็บ Cycle Time เพื่อหาระยะเวลาที่กระบวนการผลิตต่อ (Spool Fabrication) อยู่ในระบบ



ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

1. เวลาที่แต่ละ order มาถึงถูกบันทึกเป็น Float[0] ใน SetAttribute Element โดยการเขียน Formula ใส่ใน Attribute "Element.Engine.TimeNow" ซึ่งเป็นเวลาจำลอง (Simulation Time) ในระบบที่ Entity ผ่าน Attribute Element

2. การประกอบและการตรวจสอบเสร็จ โดยเมื่อเวลาดำเนินไปจาก Order Arrival (Entity) ได้รับการบันทึกผ่าน CollectStatistic element "CollectTime" มันจะคำนวณโดยใช้ความแตกต่างระหว่าง "Current Simulation Time" (เวลาที่ Entity ผ่าน CollectStatistics Element และเวลาที่บันทึกใน Floats[0])

ตัวอย่างที่ 4 ในกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดินประกอบด้วยรถบรรทุกทุก 5 คัน รถตัก 1 คันในระบบ ต้องการขนย้ายมวลดิน 35 เทียวย ไม่จำกัดจำนวนการ Dumping โดยการดำเนินกิจกรรมมีการเก็บข้อมูลระยะเวลาและแสดงเป็นค่ากระจายตัวทางสถิติได้ดังนี้

Loading : Triangular (2, 4, 3) นาที

Trip to Dumping Site: Triangular (9, 11, 10) นาที

Dumping: 4 นาที

Trip from Dumping : Triangular (9, 11, 10) นาที

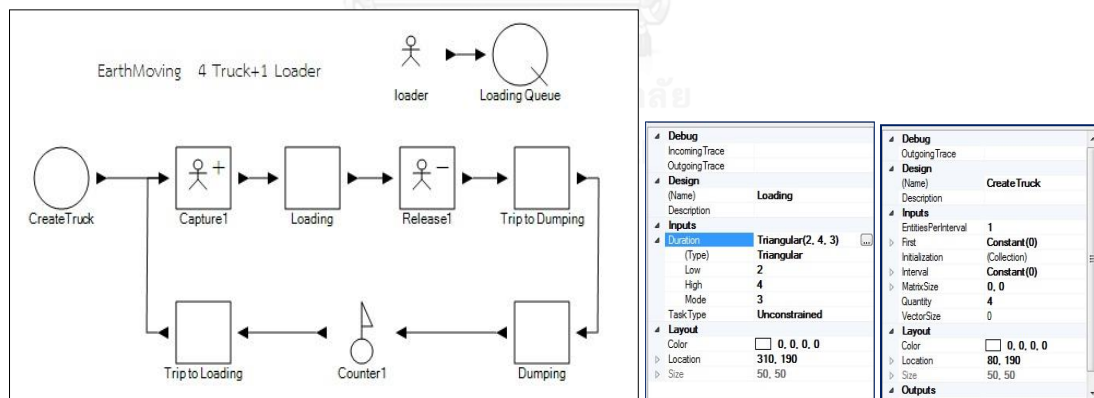
ค่า Emission Factor ของ Excavator = 124.8 kg CO₂/hr อัตราส่วน Idle to Non-Idle Emission Rate = 0.2

ต้องการทราบ % อัตราการทำงานของ Loader ? ต้องการทราบเวลาเฉลี่ยในรอบการทำงาน ? และต้องการทราบอัตราการปล่อย Emission ของ Loader จากการดำเนินการ ?

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองและผลลัพธ์

1. การออกแบบกระบวนการทำงานของระบบและการป้อนข้อมูล

ตัวอย่างนี้เริ่มต้นวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการในงานเคลื่อนย้ายมวลดินให้ตรงกับโจทย์หรือกระบวนการจริงในสนาม โดยการเลือกใช้ GPS ซึ่งประกอบด้วย Element ที่ให้เลือกใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้ จากนั้นสร้างเป็นกระบวนการทำงานของระบบแล้วโดยป้อนข้อมูลแต่ละ Element ดังรูปที่ 3.11 ข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องจักรจะเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามและนำมาวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวแล้ว ส่วนข้อมูลค่า Emission Factor ของเครื่องจักรได้จากฐานข้อมูลของ NONROAD หรือใช้จาก Lewis ซึ่งการดำเนินการจริงกระบวนการก่อสร้างจะขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานในสถานที่นั้นๆ



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองและการนำเข้าข้อมูล

2. ผลการจำลองสถานการณ์

เมื่อทำการสร้างกระบวนการและป้อนข้อมูลแล้วเสร็จ จากนั้นทำการจำลองเหตุการณ์ ในตัวอย่างนี้เลือกการจำลองระบบ 1,000 รอบ ซึ่งได้ผลการจำลองดังนี้

- การดำเนินงานขนย้ายดินจำนวน 35 เทียวใช้เวลาทั้งหมดเฉลี่ย 356.95 นาที จึงแล้วเสร็จ

- อัตราการทำงานเฉลี่ย 0.098 Truckloads per Minute หรือ 5.88 Truckload per Hour
- อัตราการใช้งานเฉลี่ยของ Loader 31.1% Waiting Time ของการ Loading เฉลี่ย 0.48 นาที
- ปริมาณการปล่อย Emission CO₂ ของ Loader ในกระบวนการทั้งหมด 322,777.5 กรัม



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างรายงานผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม Simphony.NET

3.7.3 การเปรียบเทียบค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

ทำการเปรียบเทียบค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่ได้จากการใช้แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ซึ่งทำการเปรียบเทียบประกอบด้วย 4 กระบวนการหลักของการก่อสร้างการก่อสร้างทางรถไฟคือ กระบวนการก่อสร้างคันทาง กระบวนการ

ก่อสร้างหินโรยทาง กระบวนการงานก่อสร้างระบบรางและกระบวนการก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ ซึ่งรายละเอียดแต่ละกระบวนการได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้ว เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบจะทำการ คิดปริมาณการเกิดก๊าซดังกล่าวให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซต่อระยะทางการก่อสร้างทางรถไฟ (กิโลกรัม ต่อ กิโลเมตร) เพื่อเปรียบเทียบค่าจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟทั้ง 4 กระบวนการ รวมทั้งพิจารณาเครื่องจักรที่มีแนวโน้มในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในปริมาณมากและ มีนัยสำคัญต่อกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ เพื่อใช้ในการออกแบบกระบวนการก่อสร้างหาแนวทางการลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษต่อไป

3.7.4 การออกแบบกระบวนการก่อสร้างโดยประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์หาแนวทางการลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

แนวทางการลดดำเนินการโดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง Discrete-Event Simulation ออกแบบกระบวนการก่อสร้าง โดยพิจารณาผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในแต่ละกระบวนการก่อสร้าง โดยการจำลองสถานการณ์ทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลในกระบวนการก่อสร้างตามแนวทางการคิดในรูปที่ 3.10 ประกอบด้วยการจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงานรวมทั้งสัมพันธ์กับทรัพยากรอื่นๆ ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน เลือกวิธีการทำงานที่เหมาะสมศึกษาส่วนที่สามารถปรับลดปริมาณก๊าซดังกล่าวได้และไม่กระทบต่อการแล้วเสร็จของงาน ในการออกแบบกระบวนการก่อสร้างจะพิจารณาจาก 3 ด้าน คือ ด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับค่า Emissions ด้านต้นทุนเครื่องจักรในการก่อสร้างและด้านผลผลิตที่ได้จากการทำงาน เพื่อดูว่าวิธีการดำเนินงานอย่างไรที่สามารถทำให้การใช้เครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในปริมาณน้อยที่สุดและสามารถบริหารจัดการเครื่องจักรในการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ซึ่งแนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างนอกจากพิจารณาการออกแบบกระบวนการก่อสร้างโดยจำลองสถานการณ์แล้วอาจต้องสอบถามจากผู้ควบคุมงานก่อสร้าง พนักงานขับเครื่องจักร และนำมาทำการทดลองดูว่ามีความเหมาะสมกับวิธีใดและส่งผลต่อการลดได้ในปริมาณเท่าไร ส่วนในการปฏิบัติจริงขึ้นอยู่กับการทำงานและวางแผนของผู้ก่อสร้างรวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่ได้จะทำให้สามารถนำไปวางแผนการทำงานและบริหารจัดการการใช้เครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่มีลักษณะใกล้เคียงกันต่อไป

บทที่ 4

การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

เนื่องจากกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเป็นกิจกรรมที่มีการใช้ทรัพยากรเป็นหลัก (Resource-Based) และมีการดำเนินงานเป็นกระบวนการ (Process-Based) ดังนั้นการลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ รวมทั้งการเพิ่มผลผลิตภาพการทำงานของเครื่องจักรและลดต้นทุนจึงควรต้องมีการศึกษา ซึ่งวิธีการที่สอดคล้องกับธรรมชาติของกระบวนการก่อสร้าง คือ การจำลองสถานการณ์ โดยทำการ “วิเคราะห์” กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อให้ทราบถึงกระบวนการก่อสร้างที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ซึ่งจะแสดงการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในบทที่ 4 จากนั้นทำการ “ออกแบบกระบวนการก่อสร้าง” เพื่อเลือกวิธีการทำงานที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน และจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ เพื่อหาแนวทางการลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ ซึ่งจะแสดงการดำเนินการและแนวทางในการออกแบบในบทที่ 5

บทนี้จะกล่าวเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) โดยใช้แบบจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (DES) ร่วมกับข้อมูลของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (Emissions) เพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ ซึ่งจะช่วยให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์เกิดขึ้นในการจำลอง ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถเลือกวิธีการทำงานที่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษากระบวนการก่อสร้างทางรถไฟซึ่งใช้กรณีศึกษาจากโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งผู้โดยสารทางรถไฟท่าเรือแหลมฉบัง เพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองที่เลียนแบบกระบวนการก่อสร้างจริงได้และให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ

4.1 ลักษณะของกรณีศึกษา: การก่อสร้างทางรถไฟในโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งผู้โดยสารทางรถไฟท่าเรือแหลมฉบัง

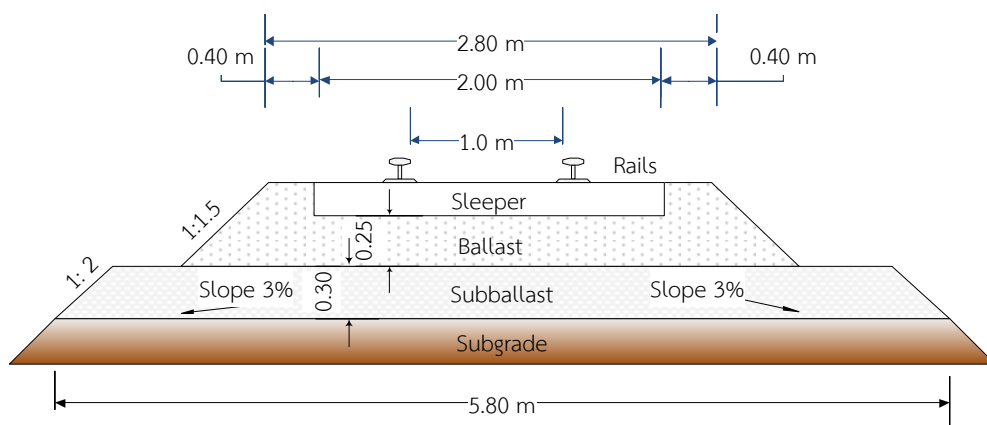
งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการก่อสร้างทางรถไฟกรณีศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือการก่อสร้างคันทางรถไฟ (Track Bed) และการก่อสร้างระบบราง (Track Panel) โดยผู้วิจัยสำรวจและเก็บข้อมูลจากโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งผู้โดยสารทางรถไฟท่าเรือแหลมฉบัง (SRTO) โดยมีภาพรวมของโครงการดังแสดงในรูปที่ 4.1



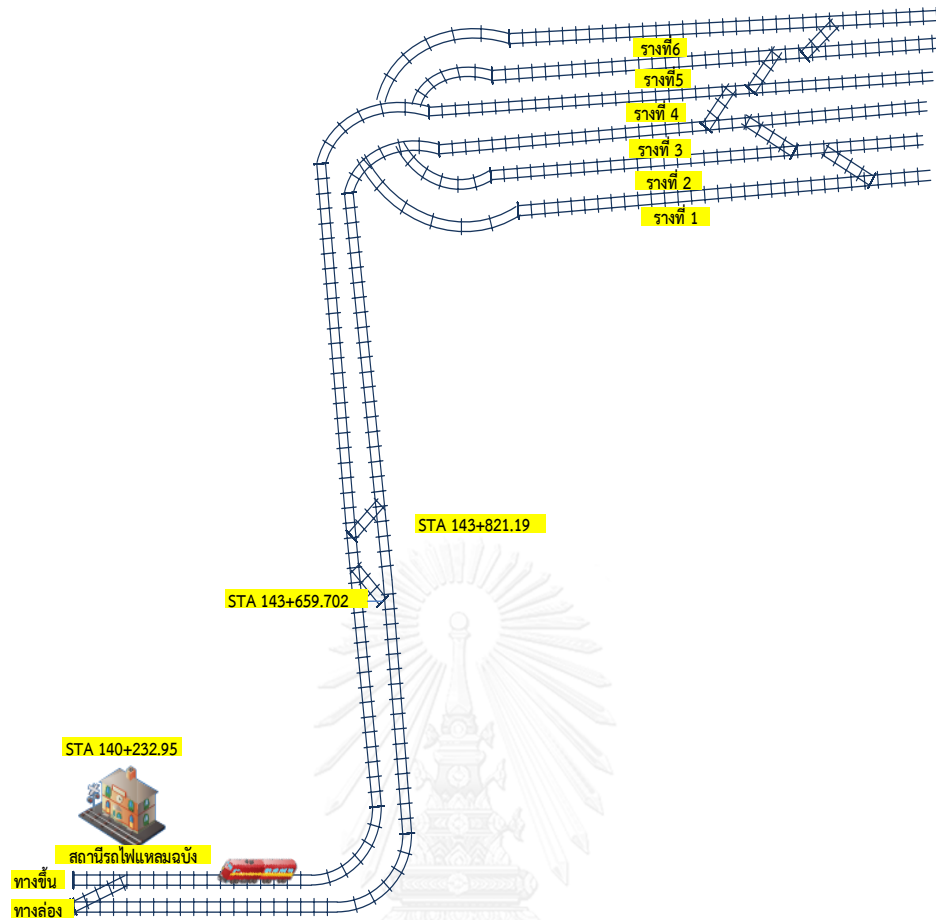
รูปที่ 4.1 กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งตู้สินค้าทางรถไฟที่ท่าเรือแหลมฉบัง

4.1.1 ข้อมูลโครงการ

โครงการก่อสร้างศูนย์ขนส่งตู้สินค้าทางรถไฟที่ท่าเรือแหลมฉบังเป็นการก่อสร้างเส้นทางรถไฟเพิ่มอีก 1 ทางคู่ขนานกับเส้นทางรถไฟเดิมจากสถานีรถไฟแหลมฉบังเข้าสู่ย่านขนส่งสินค้าบริเวณท่าเรือแหลมฉบังระยะทางประมาณ 5.9 กิโลเมตรมูลค่า 263,117,848 บาท และในย่านสินค้ามีทางรถไฟจำนวน 6 พวงวางใช้ในการขนถ่ายสินค้ามีระยะทางประมาณพวงวางละ 1 กิโลเมตร ซึ่งลักษณะโครงสร้างทางเป็นลักษณะคันทางถมและเป็นทางรถไฟแบบใช้หินโรยทางที่เป็นไปตามมาตรฐานการก่อสร้างทางรถไฟ โดยลักษณะโครงสร้างทางและแนวเส้นทางของการก่อสร้างสามารถแสดงดังรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างทางและมิติในการก่อสร้างทางรถไฟ



รูปที่ 4.3 แนวเส้นทางก่อสร้างทารถไฟจากสถานีรถไฟแหลมฉบัง-ท่าเรือแหลมฉบัง

งานวิจัยนี้พิจารณาถึงกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่ส่งผลต่อการเกิด Emissions เฉพาะการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งกรณีศึกษาในโครงการนี้ใช้เครื่องจักรในการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลเครื่องจักรดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเครื่องจักรกลที่ใช้ในการก่อสร้างทางรถไฟ

ลำดับ	เครื่องจักร	MODEL	HP	CAPACITY	ค่าเช่า (B/d)	FUEL (L/hr.)
1	รถเกี่ย	CAT-140K	190	Blade 4.3 m	4,667	12.29
2	รถบรรทุกน้ำ	HINO-FM3MLD	240	12,00 Lite	2,166	2.71
3	รถบดอัดสันสะเทือน	CAT-563D	153	10 Ton	3,000	11.61
4	รถบดอัดล้อยาง	KAWASAKI-KR20D	135	19.5 Ton	-	11.58
5	รถขุด-ตัก	VOLVO-EC210BLC	145	Bucket 0.9m ³	3,167	12.64
6	รถบรรทุก	HINO-FM1JMRD	260	21 Ton	2,000	17.50
7	รถอัดหิน	09-16CSM	315	1-Sleeper	208,650	29.00
8	รถเกี่ยหิน	PBR-400R	180	7,140 CC	64,200	24.00
9	รถสันหิน	DGS 62N	275	365 KN	120,910	29.00
10	หัวรถจักรลากจูง	SCHOEMA	260	15,950 CC	30,709	29.00
11	รถบรรทุกหินเทข้าง	-	-	28 m ³	-	-
12	รถขุด-ตักชนิดพิเศษ	VaiaCar-V 704FC/F+	173	4,680 CC	-	14.48
13	เครน	TADANO-TR250M6	250	25 Ton	3,333	16.67

4.1.2 การเตรียมการของงานก่อสร้างทางรถไฟ

การเตรียมข้อมูลสำหรับพัฒนาแบบจำลองต้องศึกษารายละเอียดกิจกรรมและขั้นตอนการก่อสร้างทางรถไฟที่มีการใช้เครื่องจักรในการดำเนินงาน โดยข้อมูลที่จำเป็นประกอบด้วย 1) ปริมาณงานที่ได้จากรายละเอียดในบัญชีปริมาณงานและรายการจำเพาะทางเทคนิคซึ่งคำนวณจากหน้าตัดของโครงสร้างทาง นำข้อมูลไปจัดทำแผนเครื่องจักรให้สอดคล้องกับปริมาณงานและระยะเวลา จากนั้นจัดทีมของเครื่องจักรในการดำเนินงาน 2) การวางแผนจัดหาวัสดุจะดูพื้นที่ในการจากแหล่งวัสดุที่สามารถเดินทางมายังสถานที่ก่อสร้างสะดวก เช่น งานดินในกรณีนี้ได้ทำการผสมวัสดุ (Blend) เพื่อให้ได้ดินที่ผ่านคุณสมบัติทางเทคนิค เนื่องจากมีความจำเป็นต้องใช้ดินที่อยู่ใกล้สถานที่ก่อสร้างเพื่อลดราคาต่อหน่วยของวัสดุ (รวมค่าขนส่ง) 3) ทิศทางการทำงานและการวางแผนการทำงานจะดูสายงานวิกฤติ (Critical Path) ของกิจกรรมการซึ่งเป็นการระบุนการทำงานหลัก

ในกรณีศึกษานี้ผู้วิจัยต้องการวิเคราะห์การปล่อย Emissions จากการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ โดยวิเคราะห์ที่ระยะทางก่อสร้าง 1 กิโลเมตรเป็นตัวแทนในการจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณงานและข้อมูลที่ใช้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณงานและข้อมูลในการก่อสร้างทางรถไฟระยะทาง 1 กิโลเมตร

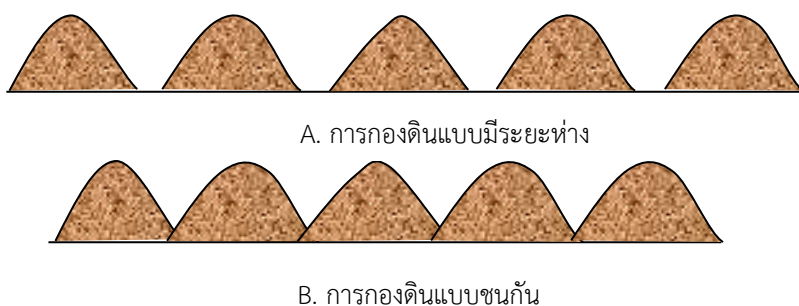
รายการงาน	ปริมาณงาน	หน่วย
1. งาน Sub-grade หนา 0.30 ม. (ดินลูกรัง)	2,938	ลบ.ม.
2. งาน Sub-ballast หนา 0.30 ม. (หินคลุก)	2,554	ลบ.ม.
3. ระยะทางขนส่งดินจากแหล่งเก็บกอง	2 - 4 *	กม.
4. ติดตั้งราง BS 100 A @ 25 ม.	80	ท่อน
5. หินโรยทาง	1,788	ลบ.ม.
6. ระยะทางขนส่งหินโรยทางจากเหมือง / กองหิน	42 / 1 *	กม.
6. เครื่องยัดเหนียวราง	3,336	ตัว
7. หมอนคอนกรีต	1,668	ท่อน

* หมายเหตุ: ระยะทางการขนส่งวัสดุขึ้นกับพื้นที่แต่ละโครงการและกวางแผน

4.1.3 งานดินคั่นทางรถไฟ (Embankment)

งานสร้างคั่นทางรถไฟมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างคั่นทางเป็นฐานให้กับระบบรางรถไฟ ซึ่งประกอบด้วยงานถม ปรับเกลี่ยวัสดุ และบดอัดให้ได้ระดับตามความลาดชัน มิติและรูปตัดของโครงสร้างทาง ในขั้นตอนการก่อสร้างประกอบด้วยการดำเนินการคือ

1) การขนดินจากสถานที่ทำการผสมดิน (Blend) โดยใช้รถตักร่วมกับรถบรรทุกขนดินและทำการเทกองดิน (Stockpile) ตามแนวเส้นทางที่ได้เตรียมพื้นที่ไว้ การกองดินมีความสำคัญต่อการล้มกองดินเนื่องจากต้องดูความเหมาะสมของปริมาณดินที่จะก่อสร้างเป็นคั่นทางเพื่อให้ดินเต็มพื้นที่หน้าตัดของคั่นทางพอดีซึ่งในงานก่อสร้างนี้มีลักษณะดังรูปที่ 4.4 ซึ่งมีลักษณะกองแบบมีระยะห่างและแบบชนกัน



รูปที่ 4.4 ลักษณะการกองดินของการสร้างคั่นทางรถไฟ

2) เมื่อดำเนินการกองดินแล้วเสร็จ ขั้นตอนต่อไปคือ ขั้นตอนการปรับเกลี่ยวัสดุและการทำงานดินถมบดอัดแน่นโดยการก่อสร้างจะแบ่งการทำเป็นชั้นๆ (Layer) ตามมาตรฐานในรายการ

จำเพาะ โดยแต่ละชั้นเมื่อบดอัดแล้วมีความหนาไม่เกิน 15 ซม. โดยเริ่มจากใช้รถเกลี่ย (Grader) ล้มกองดิน ตีแผ่ เกลี่ยวัสดุ ผสมคลุกเคล้าให้ดินผสมเป็นเนื้อเดียวกัน พร้อมด้วยใช้รถบรรทุกน้ำ (Water Truck) พ่นฉีดน้ำลงบริเวณชั้นดินให้น้ำมีปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการบดอัดแน่นซึ่งจากกรณีศึกษามีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.5 การบดอัดแน่นเริ่มจากใช้รถเกลี่ย (Grader) ตีแผ่และเกลี่ยดินที่ผสมน้ำเรียบร้อยแล้วให้มีระดับตามที่กำหนด จากนั้นทำการบดอัดดินด้วยรถบดอัดล้อยาง (Tier Roller) และรถบดชนิดสั่นสะเทือน (Vibratory Compactor) ในกระบวนการนี้เครื่องจักรทั้ง 3 ชนิดจะทำงานสัมพันธ์กัน เมื่อรถบดอัดเสร็จให้ทำการตรวจสอบระดับคันทางและทดสอบความแน่นของการบดอัดดิน หากผลการตรวจสอบที่ได้เป็นไปตามที่กำหนดก็ดำเนินการก่อสร้างชั้นดินถมคันทางชั้นถัดไปตามข้อกำหนด



รูปที่ 4.5 เครื่องจักรขณะทำงานเทกองดิน ล้มกองดิน เกลี่ยและบดอัดแน่นดิน

4.1.4 งานระบบรางรถไฟ (Track)

งานก่อสร้างระบบรางเป็นส่วนโครงสร้างด้านบนของทางรถไฟมีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับการใช้งานของรถไฟซึ่งประกอบด้วย การลงหินโรยทางชั้นแรก, การวางระบบราง, การลงหินโรยทางชั้นที่

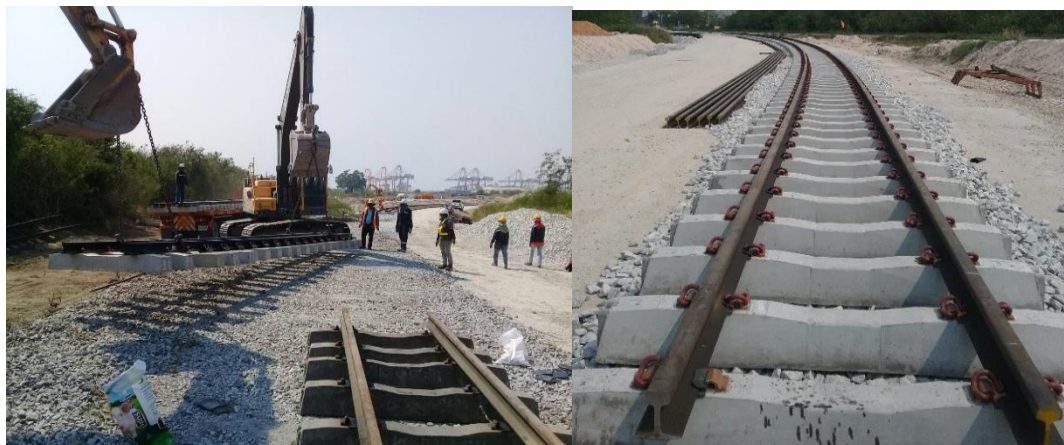
2. การโยกย้าย การยกวาง-อัดหินและโอบหินให้ได้รูปทรงมาตรฐาน ในขั้นตอนการก่อสร้างประกอบด้วย การดำเนินการคือ

1) เริ่มต้นจากการลงหินชั้นโรยทางชั้นแรก (Bottom Ballast) กระบวนการทำงานและการใช้เครื่องจักรมีลักษณะคล้ายกับงานถมดินบดอัดแต่จะไม่มีปรับการเกลี่ยวัสดุมาก เนื่องจากการปูหินโรยทางด้วย Ballast Box หรือบางโครงการใช้ Ballast Paver ในขั้นตอนการทำงานนี้ ประกอบด้วยเครื่องจักร 3 ชนิดคือ รถตักหิน รถบรรทุก และรถบดอัด โดยการขนส่งหินมาจากโรงโม่หินด้วยรถบรรทุกมาเทใส่ Ballast Box ซึ่งมีลักษณะคล้ายตัวปูแอสฟัลต์งานถนนช่วยปูหินตามรูปทรงหนาประมาณ 15 ซม. แล้วใช้รถดสน้สะเทือนบดอัดหินให้แน่นพอประมาณเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักที่ถ่ายจากหมอนคอนกรีต

2. การวางระบบราง (Track Panels) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ หมอนและราง เมื่อได้ชั้นหินโรยทางรองรับก็เริ่มวางหมอนตามแนวเส้นทางวางหมอนคอนกรีต (Laying Concrete Sleepers) เพื่อรองรับราง โดยจะถูกวางโดยใช้รถแบ็คโฮ (VaiaCar) ที่ติดตัวหนีบ (Grab) หรืออุปกรณ์พิเศษที่ติดไว้ด้านหน้าทำการจับหมอนวางเรียงกัน 8 หมอนบนหินโรยทางและปรับระยะการวางหมอนให้ได้ 60 ซม. เท่าๆ กัน โดยในอดีตสามารถวางหมอนได้ระยะทางประมาณ 1,000 เมตรต่อวัน จากนั้นเริ่มวางราง (Laying rails) ความยาวท่อนละ 25 เมตร โดยขนส่งรางมาเก็บไว้ที่กองชั่วคราวใกล้ทางรถไฟ จากนั้นขนส่งรางจากสถานที่กองเก็บและนำรางไปวางเป็นคู่บนหมอนคอนกรีตโดยใช้รถแมคโฮ (Backhoe) จำนวน 2 ตัวหรือเครนและคนงานช่วยติดตั้ง เมื่อติดตั้งเสร็จทำการเชื่อมราง 25 เมตรเข้าด้วยกันด้วยวิธีเชื่อมเทอมิต (Termite Welding) สุดท้ายติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวได้เป็นระบบราง โดยจากกรณีศึกษามีลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.6



ก. เครื่องจักรขณะทำการยกวางและหมอนคอนกรีต



ข. เครื่องจักรขณะวาง Track Panel

รูปที่ 4.6 ลักษณะการทำงานเครื่องจักรงานวางระบบราง (Track Panels)

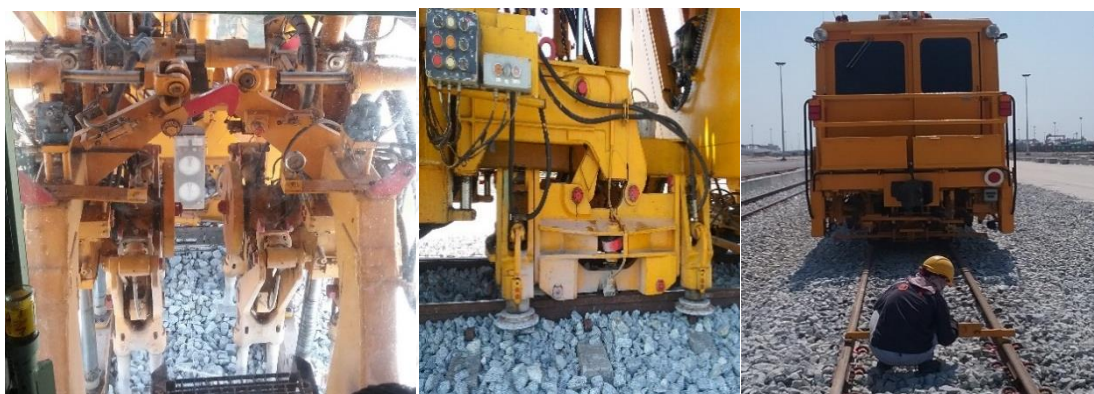
3. การลงหินโรยทาง ยกวาง อัดหินและเกลี่ยหินชั้นที่ 2 ในกระบวนการทำงานประกอบด้วย การลงหินโรยทางโดยใช้รถตักหินใส่รถโบกี้เทข้าง (Ballast Hopper Wagon) และใช้หัวรถจักร (Locomotive) ลากโบกี้ดังกล่าวจำนวน 4 โบกี้ไปโรยหินบริเวณเหนือหมอนและระหว่างรางให้เต็มพื้นที่ตามรูปทรงของทางและใช้รถ VaiaCar เกลี่ยหินและอัดหินในเบื้องต้น จากนั้นสร้างระบบรางให้ไต่ระดับ (Settling the Rail) โดยใช้รถอัดหิน (Tamping Machine) เคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นทางทำการยกวางอัดหินและจัดแนวราง (Lifting, Tamping, Lining) ให้ได้ตำแหน่งตามพิกัดทาง ในขั้นตอนนี้อาจจะต้องทำซ้ำประมาณ 2-3 รอบ เมื่อไต่ระดับแล้วทำการสั่นหินโรยทาง (Vibrate) เพื่อให้หินเรียงตัวและสุดท้ายใช้รถเกลี่ยหิน (Ballast Regulator) โอบและเกลี่ยหินให้ได้มิติของทาง โดยจากกรณีศึกษามีลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.7



ก. เครื่องจักรขณะตักหินใส่รถบข.และลงหินในทาง



ข. เครื่องจักรขณะเกลี่ยหินหลังลงหินโรยทางและหลังการอัดหินโรยทาง



ค. เครื่องจักรขณะ ยกวาง-อัดหินปรับระดับราง

รูปที่ 4.7 ลักษณะการก่อสร้างงานหินโรยทางชั้นที่ 2 และการปรับระดับรางให้มั่นคง

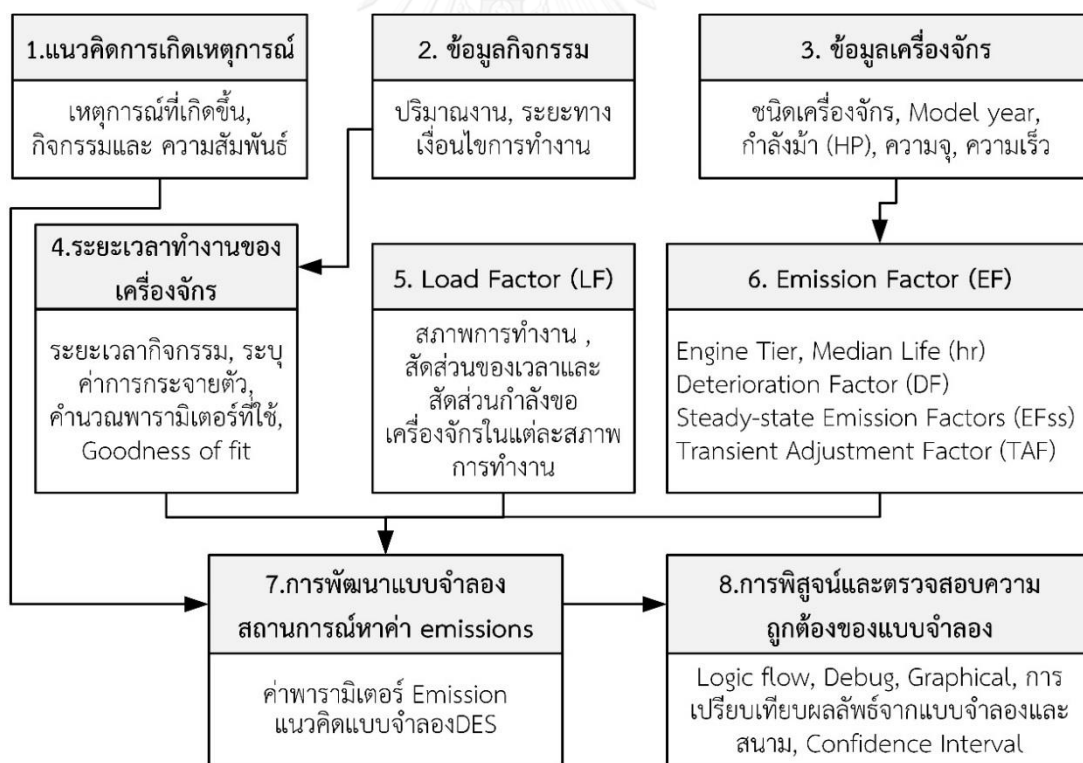
จากลักษณะของการก่อสร้างทางรถไฟที่ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ การก่อสร้างคันทางรถไฟและการก่อสร้างระบบราง ซึ่งการก่อสร้างเหล่านี้ประกอบด้วยหลายกระบวนการทำงานและมีการใช้เครื่องจักรกลดีเซลในแต่ละกิจกรรมก่อสร้าง จากกระบวนการเหล่านี้จึงสามารถนำแนวคิดของกระบวนการทำงานจริงสร้างเป็นกรอบแนวคิดสำหรับการจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยนำแนวคิดของการจำลองสถานการณ์เหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องมาประยุกต์ใช้ ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2 แนวคิดการพัฒนาแบบจำลอง

แบบจำลองจำลองสถานการณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการใช้แบบจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Event Simulation) ร่วมกับข้อมูลเครื่องจักรในส่วนที่เกี่ยวข้องและขั้นตอนการทำงานเพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยในการจำลองสถานการณ์กระบวนการ

ก่อสร้างทางรถไฟจำเป็นต้องทราบรายละเอียดของข้อมูลเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์นำเข้า (Input Modeling)

จากแนวคิดในการใช้แบบจำลองสถานการณ์งานก่อสร้างทางรถไฟร่วมกับค่า Load Factor, Emission Factor และสัดส่วนค่า Idle to Non-Idle ของ CO₂ emission สามารถสรุปแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่า Emissions ได้ดังรูปที่ 4.8 โดยส่วนของการพัฒนาแบบจำลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 คือ การเตรียมข้อมูลสำหรับการจำลองสถานการณ์ประกอบด้วย 1.) กรอบแนวคิดของแบบจำลอง 2) ข้อมูลเวลา กิจกรรมการทำงาน 3) ข้อมูลเครื่องจักร 4) ข้อมูลเวลาที่เครื่องจักรทำงาน 5) ข้อมูลสัดส่วนกำลังของเครื่องจักรในแต่ละสถานะภาพงาน (Load Factor) และ 6) ค่า Emission Factors ของเครื่องจักรแต่ละชนิด ส่วนที่ 2 คือ การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟโดยในส่วนนี้ประกอบด้วย 7) การพัฒนาแบบจำลองการประมาณค่า Emission โดยใช้แนวคิดการจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (DES) และขั้นตอนสุดท้าย 8) การวิเคราะห์แบบจำลองรวมทั้งการตรวจสอบผลลัพธ์

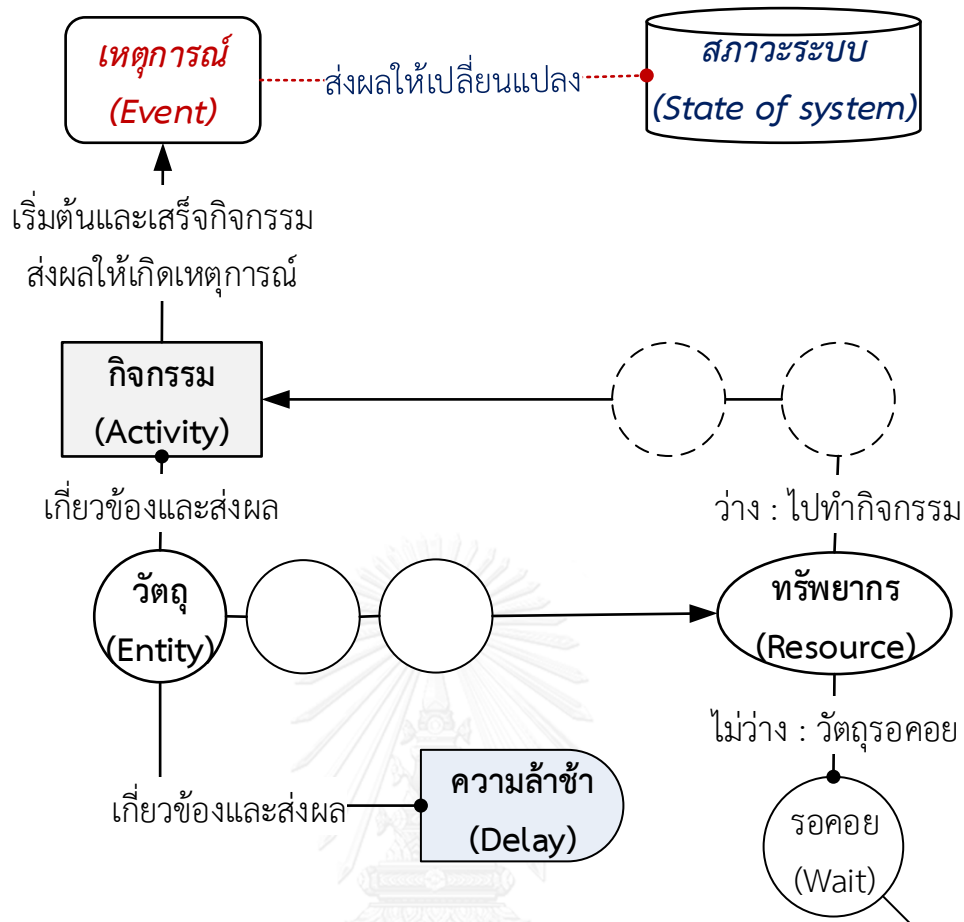


รูปที่ 4.8 แนวทางการพัฒนาแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่า Emissions

4.3 การพัฒนากรอบแนวคิดของการจำลอง (Conceptual Modeling)

หัวข้อนี้จะกล่าวเกี่ยวกับการพัฒนากรอบแนวคิดการสร้างแบบจำลองสถานการณ์การก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่า Emissions โดยใช้แนวคิดการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (DES) ซึ่งเป็นโมเดลทางคอมพิวเตอร์ สำหรับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงทางสถานะของระบบเกิดขึ้น จุดที่ไม่ต่อเนื่องกันและไม่มีความสัมพันธ์กันบนแกนเวลาของการจำลอง นั่นคือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นส่งผลให้สถานะของระบบเปลี่ยนแปลง หากไม่มีเหตุการณ์ใดๆ เกิดขึ้นสถานะของระบบใน DES ก็จะไม่เปลี่ยนแปลง ตามข้อสรุปที่ได้กล่าวไว้ในวิธีการดำเนินการวิจัย โดยงานวิจัยนี้สามารถพัฒนากรอบแนวคิดการเกิดขึ้นของเหตุการณ์งานก่อสร้างทางรถไฟได้ 4 ส่วนคือ กระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ กระบวนการลงหินโรยทางชั้นแรก กระบวนการก่อสร้างระบบรางและกระบวนการก่อสร้างชั้นหินโรยทางพร้อมระบบรางให้ได้ระดับ

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและสังเกตการณ์การเกิดขึ้นของเหตุการณ์ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อหาความสัมพันธ์กันระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ตามแนวคิดของการจำลองกระบวนการก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำข้อมูลการเกิดขึ้นของเหตุการณ์และกิจกรรมสร้างแบบจำลองได้ถูกต้อง โดยในระบบการจำลองกระบวนการก่อสร้างประกอบด้วย วัตถุหรือสิ่งที่สนใจในระบบ (Entity), ทรัพยากร (Resource), กิจกรรม (Activity), เหตุการณ์ (Event), สถานะระบบ (System state) และตัวแปรสถานะ (System State Variables) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.9 จากแผนภาพความสัมพันธ์ในระบบเริ่มต้นจาก วัตถุ หรือสิ่งที่สนใจในระบบ ซึ่งนำไปสู่การสร้างระบบการจำลองโดยเรียกใช้ ทรัพยากร ซึ่งระบบจะทำการตรวจสอบว่า ทรัพยากร มีการใช้งานอยู่หรือไม่ ถ้าใช้งานอยู่ วัตถุ จะแสดงการ รอคอยทรัพยากร จนกว่า ทรัพยากร จะกลับมาว่างอีกครั้ง เพื่อใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งกิจกรรมการทำงานสามารถมีระยะเวลาที่แน่นอน (Deterministic) หรือเป็นลักษณะค่าการสุ่ม (Stochastic) เมื่อกิจกรรมดำเนินไประหว่างเริ่มต้นและสิ้นสุดกิจกรรมจะก่อให้เกิด เหตุการณ์ ที่ส่งผลการเปลี่ยนแปลง สถานะของระบบ ดังนั้น วัตถุ จะส่งผลต่อการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ และเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาในลำดับแรก (Banks 2005)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบในระบบการเกิดขึ้นของเหตุการณ์ (Banks 2005)

การสร้างแผนผังการเกิดเหตุการณ์ต้องสร้างกระบวนการที่มีลักษณะเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมและปรับปรุงสถานะของระบบที่เปลี่ยนไปตามเวลา รวมทั้งสามารถติดตามการปรับปรุงระบบโดยหาขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์ ซึ่งพิจารณากระบวนการทำงานของเครื่องจักรที่มีชุดของเหตุการณ์หลักเกิดขึ้น จากนั้นตรวจสอบสิ่งที่คาดว่าจะเปลี่ยนแปลงจากการปรับปรุงระบบ (Expected Changes) โดยขั้นตอนการสร้างประกอบด้วย 1) ระบุระบบที่ต้องการศึกษา 2) พัฒนาแบบจำลองที่ประกอบด้วย วัตถุ กิจกรรม ทรัพยากร 3) ระบุแต่ละเหตุการณ์ที่สำคัญ 4) เขียนเชื่อมโยงตรรกะ (Logic) ตามลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น

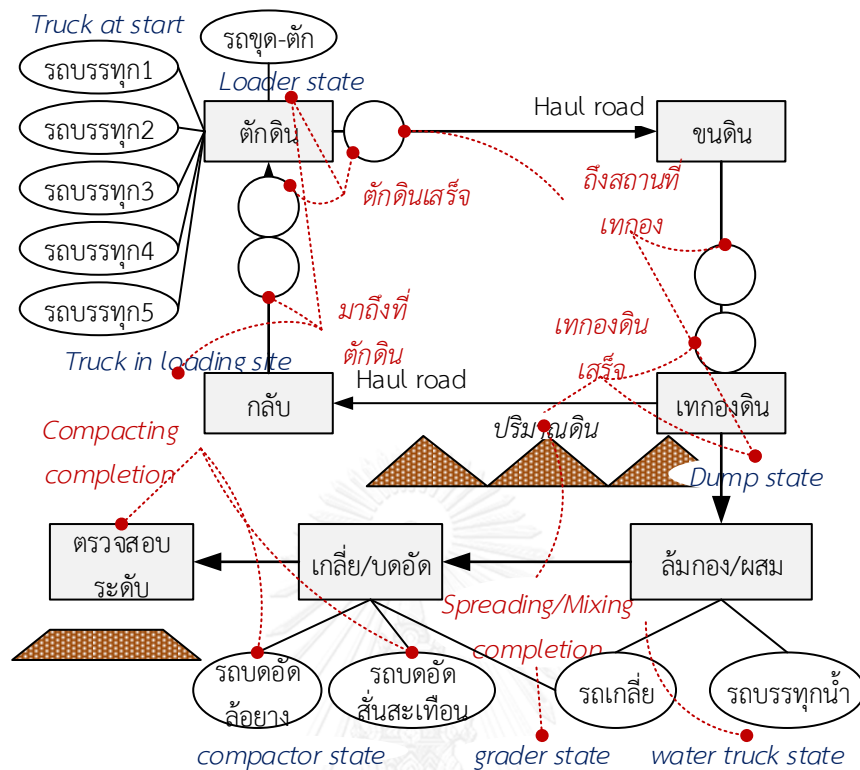
4.3.1 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานสร้างคันทางรถไฟ (Track Bed)

จากลักษณะของกรณีศึกษา กิจกรรมการทำงานและการเกิดเหตุการณ์ของงานสร้างดินคันทางรถไฟประกอบด้วยกิจกรรมขนย้ายดินถม ปรับเกลี่ยดินถม และบดอัดดินถม โดยสามารถสร้างแผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์ที่ส่งผลต่อการปรับปรุงระบบ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจำแนกตามแนวคิดการจำลองสถานการณ์ ดังแสดงใน

ตารางที่ 4.3 ที่สามารถนำไปใช้ในการจำลองของระบบการก่อสร้างคันทางรถไฟ รวมทั้งกระบวนการของกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์ในระบบดังแสดงในรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบแบบจำลอง DES ของงานก่อสร้างดินคันทางรถไฟ

DES Element	คำอธิบาย/องค์ประกอบ
สถานะระบบ (System State) และตัวแปรสถานะ(State Variables)	<ul style="list-style-type: none"> - สถานะรถชุด-ตัก รถบรรทุก รถเกลี่ย รถน้ำและรถบดอัด (Busy/Idle) - จำนวนรถบรรทุกที่รอคอยตักดิน กำลังไปตำแหน่งเทดิน กำลังเทดิน รอคอยเทดินและกำลังกลับไปรับดิน ปริมาณดินที่เทกอง - รถเกลี่ยล้มนกกองและเกลี่ยดิน รอคอยปริมาณดินที่กอง รถบดอัด กำลังบดอัด รอคอยดินที่เกลี่ยแล้ว ปริมาณที่ดินเกลี่ยและบดอัด
เหตุการณ์ (Event)	<ul style="list-style-type: none"> - เหตุการณ์รถบรรทุกมาถึงบริเวณตักดิน ตักดินเสร็จ ถึงที่เทดิน เทดินเสร็จ - เหตุการณ์เมื่อรถเกลี่ยล้มนกกอง กระจายดิน เกลี่ยดิน เริ่ม - เสร็จ - เหตุการณ์เมื่อรถบดอัดดิน เริ่ม - เสร็จ
วัตถุในระบบ (Entity)	<ul style="list-style-type: none"> - วัตถุ (Entity1) : จำนวนเที่ยวรถบรรทุก <u>การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น</u> : รอคอยตักดิน ตักดิน ขนดิน รอคอยเทดิน เทดิน <u>คุณสมบัติ (Attributes)</u> : ปริมาณดินเป็น ลบ.ม. - วัตถุ (Entity 2) : ปริมาณดินที่รถเกลี่ยทำแต่ละละเที่ยว ปริมาณดินที่บดอัดแต่ละเที่ยว <u>การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น</u> : รอคอยรถเกลี่ย ล้มนกกองดิน พรมน้ำผสมและเกลี่ยดิน บดอัดอัดดิน <u>คุณสมบัติ (Attributes)</u> : ปริมาณดินที่ทำได้แต่ละรอบเป็น ลบ.ม.
ทรัพยากร (Resource)	ทรัพยากร 1 : รถบรรทุก ทรัพยากร 2 : รถตัก ทรัพยากร 3 : รถเกลี่ย ทรัพยากร 4 : รถบรรทุกน้ำ ทรัพยากร 5 : รถบดอัด
กิจกรรม (Activity)	ตักดิน ขนดิน เทกองดิน กลับไปตักดิน ล้มนกกองดิน ผสมดิน เกลี่ยตีแผ่ดิน บดอัดแน่นดิน และตรวจสอบระดับ



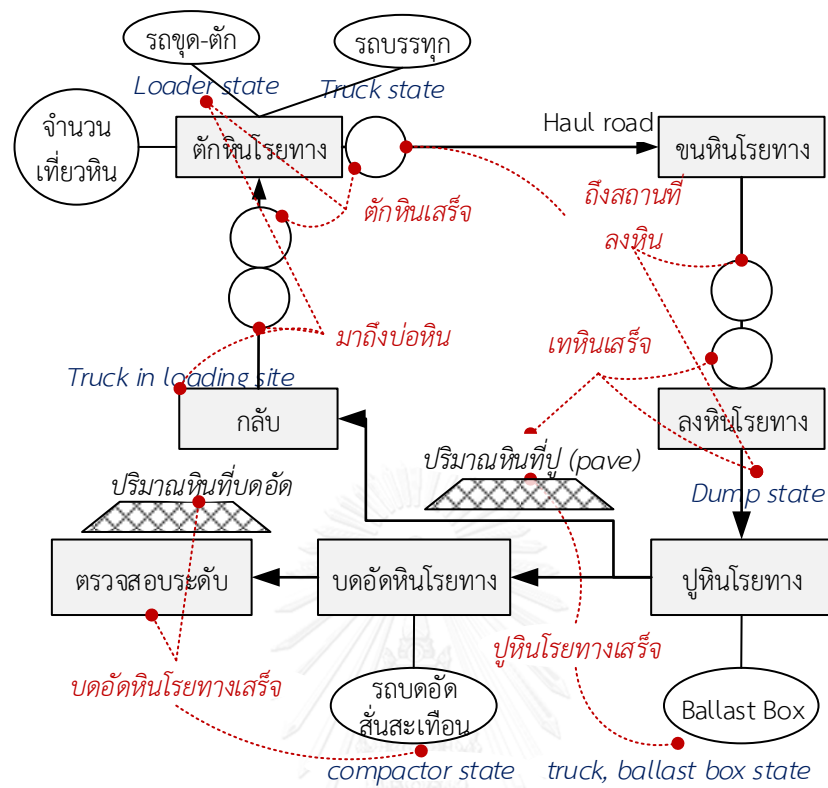
รูปที่ 4.10 แผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานสร้างคันทางรถไฟ

4.3.2 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานสร้างหินโรยทางชั้นแรก (Bottom Ballast)

จากลักษณะของกรณีศึกษา กิจกรรมการทำงานและการเกิดเหตุการณ์กระบวนการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรกประกอบด้วยกิจกรรมการขนย้ายหินโรยทาง ปูหินโรยทาง และบดอัดหินโรยทาง โดยสามารถสร้างแผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์ที่ส่งผลต่อการปรับปรุงระบบเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจำแนกตามแนวคิดการจำลองสถานการณ์ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งจำเป็นต้องนำไปใช้ในการจำลองของระบบการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรก รวมทั้งกระบวนการของกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์ในระบบดังแสดงในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบที่ใช้ในแบบจำลอง DES ของงานลงหินโรยทางชั้นแรก

DES Element	คำอธิบาย/องค์ประกอบ
สถานะระบบ (System State) และ ตัวแปรสถานะ (State Variables)	<ul style="list-style-type: none"> - สถานะรถชุด-ตัก รถบรรทุกพ่วง และรถบดอัด (Busy/Idle) - จำนวนรถบรรทุกที่รอคอยตักหิน กำลังไปยังตำแหน่งลงหิน กำลังเทหิน รอยคอยเทหินและกำลังไปรับหิน ปริมาณหินที่ลง - รถบดอัดกำลังบดอัด รอคอยหินที่ปูแล้ว ปริมาณหินที่บดอัด
เหตุการณ์ (Event)	<ul style="list-style-type: none"> - เหตุการณ์รถบรรทุกมาถึงที่ตักหิน ตักหินเสร็จ ถึงที่ก่อสร้าง ลงหินเสร็จ - เหตุการณ์เมื่อปูหินเสร็จและเมื่อบดอัดหินโรยทางเสร็จ
วัตถุในระบบ (Entity)	<ul style="list-style-type: none"> - วัตถุ (Entity1) : รถบรรทุกขนหินโรยทาง <u>การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น</u> : รอคอยตักดิน ตักดิน ขนดิน รอคอยเทดิน เทดิน <u>คุณสมบัติ</u> : ปริมาณหินเทียบเท่ากับที่ผิวเป็น ตร.ม. - วัตถุ (Entity 2) : ชุดของหินโรยทาง (Batch of Ballast) <u>การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น</u> : รอคอยปูหิน ปูหินโรยทาง บดอัดด้วยรถบดสันสะเทือน <u>คุณสมบัติ (Attributes)</u> : ปริมาตรดินเทียบเท่ากับที่ผิวเป็น ตร.ม.
ทรัพยากร (Resource)	<ul style="list-style-type: none"> - ทรัพยากร 1 : รถบรรทุก ทรัพยากร 2 : รถตักหิน ทรัพยากร 3 : รถบดอัดสันสะเทือน (สำหรับงานนี้ไม่เปิดสัน)
กิจกรรม (Activity)	<ul style="list-style-type: none"> - ตักหิน ขนหิน ลงหิน กลับไปรับหิน ปูหินโรยทาง และบดอัดแน่นหิน



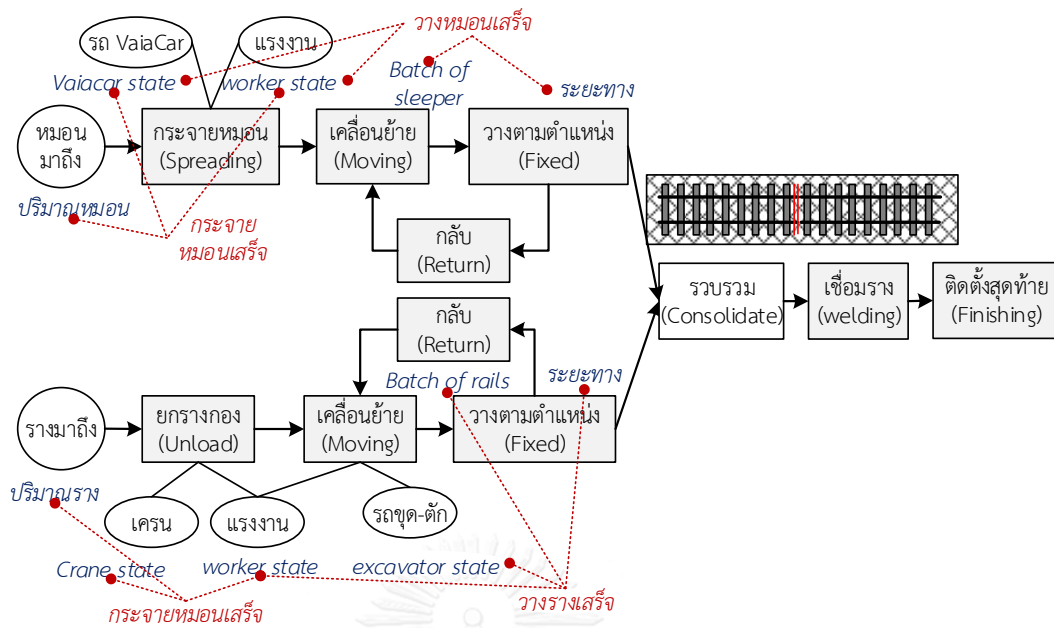
รูปที่ 4.11 แผนผังขั้นตอนการทำงานและการเกิดเหตุการณ์งานลงหินโรยทางชั้นแรก

4.3.3 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานวางระบบราง (Track work)

จากลักษณะของกรณีศึกษาการเกิดเหตุการณ์การวางระบบรางประกอบด้วยกิจกรรมการวางหมอน การวางราง การติดตั้งยึดเหนี่ยวราง และการเชื่อมราง โดยสามารถสร้างแผนผังขั้นตอนการทำงานและการเกิดเหตุการณ์ที่ส่งผลต่อการปรับปรุงระบบ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจำแนกตามแนวคิดการจำลองสถานการณ์ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งจำเป็นต้องนำไปใช้ในการจำลองการวางระบบราง รวมทั้งกระบวนการของกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์ดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบที่ใช้ในแบบจำลอง DES ของงานวางระบบราง

DES element	คำอธิบาย/องค์ประกอบ
สถานะระบบ (System State) และ ตัวแปรสถานะ (State Variables)	<ul style="list-style-type: none"> - สถานะคนงาน รถกระจายหมอน (VaiaCar) และรถเครน - จำนวนรางที่กองเก็บ เคลื่อนย้าย ติดตั้ง และเชื่อมประสาน - จำนวนหมอนที่กอง เคลื่อนย้าย และติดตั้ง
เหตุการณ์ (Event)	<ul style="list-style-type: none"> - หมอนมาถึง กองหมอนเสร็จ รถกระจายหมอนกลับ ยกเสร็จ เคลื่อนย้ายเสร็จ และติดตั้งเสร็จ - รางมาถึง กองรางเสร็จ เครนหมุนมาที่เก็บกอง ยกเสร็จ เคลื่อนย้ายเสร็จ และติดตั้งเสร็จ
วัตถุในระบบ (Entity)	<ul style="list-style-type: none"> - วัตถุ (Entity1) : ชุดของราง (Batch of Rails) การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น : การยก-วาง เคลื่อนย้าย คุณสมบัติ : ตำแหน่งที่ติดตั้ง มิติ น้ำหนัก - วัตถุ (Entity2) : ชุดหมอนคอนกรีต (Batch of Sleepers) การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น : การยก-วาง เคลื่อนย้าย คุณสมบัติ : ตำแหน่งที่ติดตั้ง มิติ น้ำหนัก
ทรัพยากร (Resource)	<ul style="list-style-type: none"> - ทรัพยากร 1 : เครน 50 คัน ทรัพยากร 2 : รถกระจายหมอน (VaiaCar) คิวเครน : รางที่รอนำไปวาง คิวรถกระจายหมอน : หมอนที่รอกระจาย
กิจกรรม (Activity)	<ul style="list-style-type: none"> - ช่วงหมอนมาถึง ยก เคลื่อนย้าย วาง เครนเดินกลับ และติดตั้ง - ช่วงรางมาถึง ยก เคลื่อนย้าย วาง เครนเดินกลับ ติดตั้ง และเชื่อม



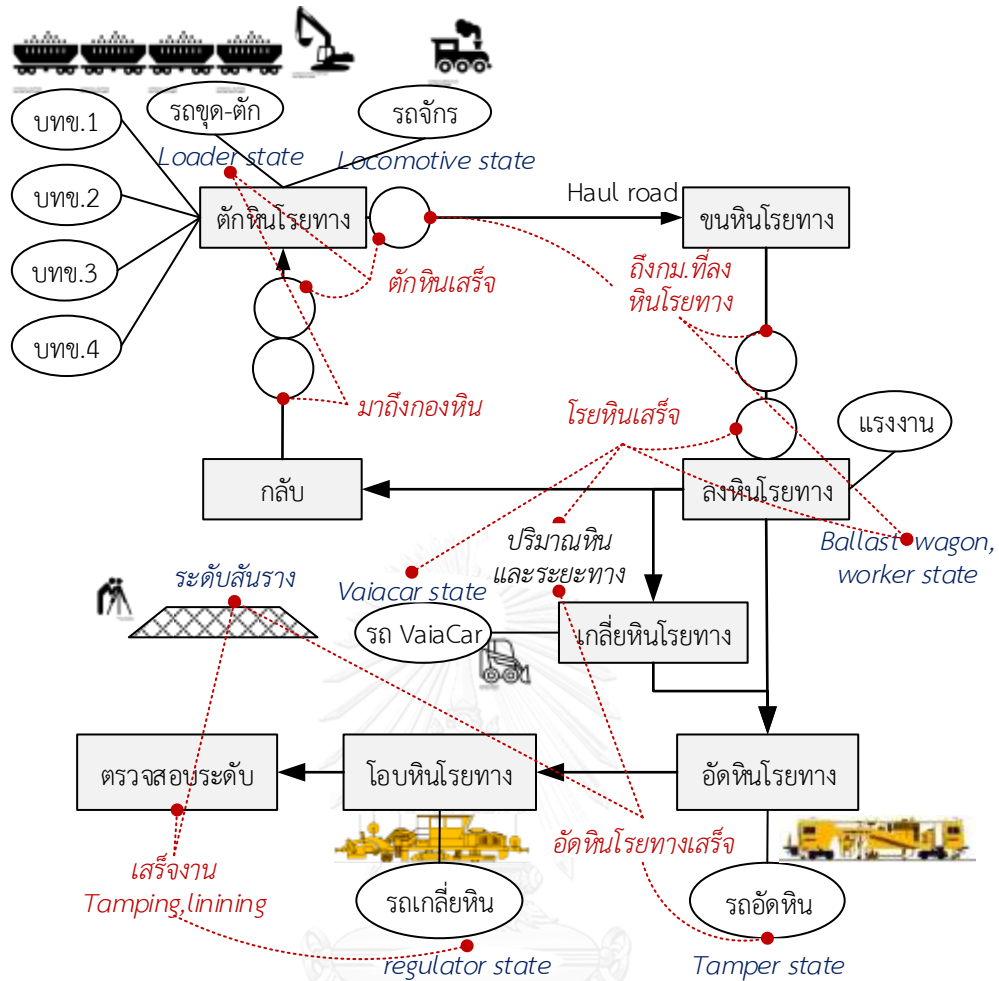
รูปที่ 4.12 แผนผังขั้นตอนการทำการกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานวางระบบราง

4.3.4 แผนผังกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานก่อสร้างชั้นหินโรยทางและระบบรางให้ ระดับ

จากลักษณะของกรณีศึกษาการเกิดเหตุการณ์การก่อสร้างชั้นหินโรยทางและระบบรางให้ได้ระดับประกอบด้วยกิจกรรมการลงหินโรยทางโดยรถบดข. การยกวางอัดหิน การเกลี่ยหิน และการสันหิน โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถสร้างแผนผังขั้นตอนการทำการกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์ที่ส่งผลต่อการปรับปรุงระบบ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจำแนกตามแนวคิดการจำลองสถานการณ์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งจำเป็นต้องนำไปใช้ในการจำลองของระบบการก่อสร้างงานวางระบบรางให้ได้ระดับ รวมทั้งกระบวนการของกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์ดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบที่ใช้ในแบบจำลอง DES ของงานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง

DES element	คำอธิบาย/องค์ประกอบ
สถานะระบบ (System State) และ ตัวแปรสถานะ (State Variables)	- สถานะของรถตักหิน รถขนหินโรยทาง (บทข.) รถเกลี่ยหิน รถอัดหิน รถ สั้่นหิน (Busy/Idle) - ปริมาณการลงหิน ระยะทางลงหิน - ระยะทางเกลี่ยหิน อัดหิน สั้่นหิน
เหตุการณ์ (Event)	- เหตุการณ์เมื่อรถบทย.มาถึงที่ตักหิน ตักหินเสร็จ เดินทางถึงตำแหน่งลง หิน และลงหินเสร็จ - เหตุการณ์เมื่อเกลี่ยหินแล้วเสร็จ - เหตุการณ์เมื่อการอัดหินแล้วเสร็จ - เหตุการณ์เมื่อการสั้่นหินแล้วเสร็จ
วัตถุในระบบ (Entity)	- วัตถุ (Entity 1) : รถขนหินโรยทาง (Ballast Hopper Wagon) <u>การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น</u> : รอคอยตักหิน ตักหิน ลากตู้บทย. และรอคอยลงหินโรยทาง <u>คุณสมบัติ</u> : ปริมาณหินใน 1 ขบวนรถหิน - วัตถุ (Entity 2) : ชุดของหินโรยทาง (Batch of Ballast) <u>การเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้น</u> : รอคอยการลงหิน เกลี่ยหินไปบนทาง เบื้องต้น อัดหินด้วยเครื่องอัด และโอบหินเข้ารูปทรง <u>คุณสมบัติ</u> : ปริมาณหินเทียบเท่ากับระยะทางเป็นเมตร
ทรัพยากร (Resource)	- ทรัพยากร 1 : รถลากโอบก็้ขนหินโรยทาง (Locomotive) - ทรัพยากร 2 : รถเกลี่ยหิน <u>สถานะ</u> : กำลังเกลี่ย/โอบหิน, รอขบวนรถหินใหม่มาถึง/อัดหินได้ระดับ - ทรัพยากร 3 : รถอัดหิน <u>สถานะ</u> : กำลังอัดหิน รอคอยชุดหินใหม่ที่เกลี่ยแล้ว
กิจกรรม (Activity)	- ตักหินใส่บทย. ลากบทย.ไปตำแหน่งลงหิน ลงหินโรยทาง และขบวนรถ หินเดินทางกลับ - เกลี่ยหิน อัดหิน โอบหิน และตรวจสอบระดับ



รูปที่ 4.13 แผนผังขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดเหตุการณ์งานก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ

จากกรอบแนวคิดแนวคิดขั้นตอนการทำกิจกรรมและการเกิดขึ้นของเหตุการณ์ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ สามารถนำข้อมูลเหล่านี้สร้างแบบจำลองสถานการณ์ของกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่า Gas Emissions โดยเลือกใช้โปรแกรม Symphony.NET ในการสร้างแบบจำลองตามแนวคิดดังกล่าว โดยการจำลองสถานการณ์จำเป็นต้องป้อนข้อมูลที่จำเป็นในการหาค่า Gas Emissions เข้าสู่แบบจำลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่นำไปป้อนสู่แบบจำลองจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

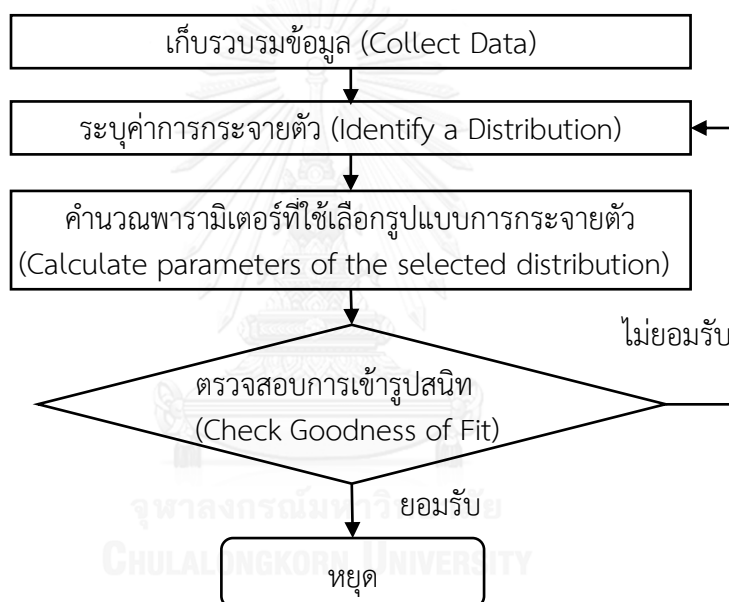
4.4 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง (Input Modeling Analysis)

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม ซึ่งศึกษาในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟที่มีการใช้ทรัพยากรด้านเครื่องจักรที่ส่งผลต่อการปล่อย Gas Emissions โดยหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ซึ่งประกอบด้วย 1) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องจักรในกิจกรรม

ก่อสร้างทางรถไฟ 2) ผลการวิเคราะห์ค่า Emission Factors ของเครื่องจักรแต่ละชนิด 3) ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Load Factor ของเครื่องจักร 4) ข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ โดยมีรายละเอียดตามหัวดังนี้

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องจักรในกิจกรรมก่อสร้าง

จากกิจกรรมการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ เนื่องจากระยะเวลาของกิจกรรมดังกล่าวมีลักษณะไม่คงที่ เมื่อต้องการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จึงจำเป็นต้องเก็บตัวอย่างระยะเวลากิจกรรมจากการดำเนินการจริงเพื่อใช้เป็นตัวแทนระยะเวลาของกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมจากการสังเกตและบันทึกวิดีโอการทำงาน of เครื่องจักร โดยผู้วิจัยแสดงตารางบันทึกผลการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องจักรทั้งหมดไว้ในภาคผนวก ก

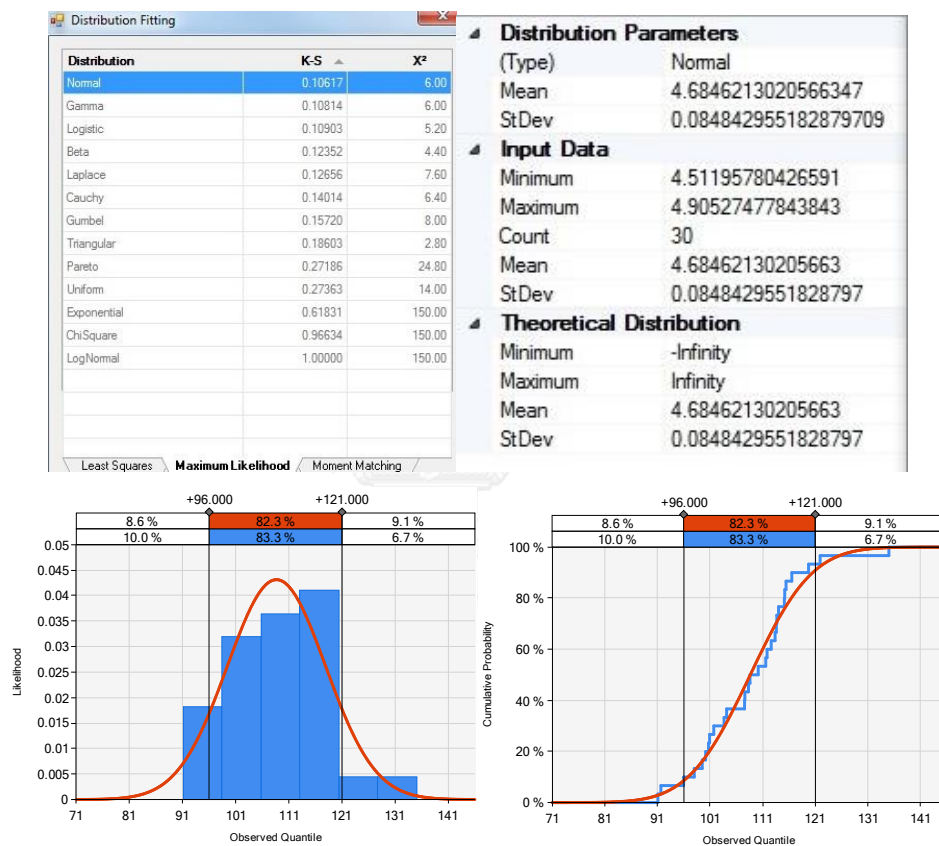


รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล นำข้อมูลเวลาของกิจกรรมมาวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลเวลาที่เหมาะสมโดยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4.17 ตามแนวทางที่ได้นำเสนอในวิธีการดำเนินการวิจัย คือ 1) ระบุการกระจายตัวทางทฤษฎีของตัวอย่างข้อมูล เช่น Normal, Triangular, Beta เป็นต้น 2) คำนวณพารามิเตอร์ที่ใช้เลือกรูปแบบการกระจายตัวด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (The Maximum Likelihood) และ Method of Moments 3) ระบุการกระจายตัวทางทฤษฎีที่เหมาะสมและตรวจสอบการเข้ารูปสนิทด้วยวิธี K-S Test และ Chi-Square Test

ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ฟังก์ชัน Distribution Fitting ใน Symphony.NET ช่วยในการระบุรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของข้อมูลระยะเวลาของกิจกรรม โดยนำเข้าข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมจาก

กรณีศึกษาผ่านไฟล์นามสกุล CSV และพิจารณาพารามิเตอร์ของการกระจายตัวด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดและ Method of Moments พร้อมทั้งตรวจสอบการเข้ารูปสนิททั้ง 2 วิธี โดยเลือกค่าการกระจายตัวที่อยู่ในอันดับต้นๆ และพิจารณาค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งเป็นค่าระดับนัยสำคัญ (Significant Level) ตัวอย่างเช่น กิจกรรม *ขนส่งหินโรยทาง1* เมื่อตรวจสอบแล้วมีค่าเป็น Normal Distribution ดังรูปที่ 4.15 ส่วนผลการวิเคราะห์การกระจายตัวทางทฤษฎีและตรวจสอบการเข้ารูปสนิทของข้อมูลระยะเวลากิจกรรมการก่อสร้างทางรถไฟทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการหาค่าการกระจายตัวของงานขนส่งหินโรยทาง 1

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบการกระจายตัวของแต่ละกิจกรรม

สถานการณ์	กิจกรรม	ตัวอย่าง	รูปแบบการกระจายตัวทางทฤษฎี (นาท)
งานก่อสร้างดินคัน ทาง : ชั้น Subgrade	ตัดดินลูกรัง	30	Triangular (1.63, 1.47, 1.87)
	ขนส่งดินลูกรัง	30	Normal (8.17, 0.27)
	เทดินลูกรัง	30	Constant (0.93)
	รถบรรทุกลูกรังกลับ	30	Normal (4.96, 0.29)
	ล้มนอกดินลูกรัง	25	Normal (5.59, 0.23)
	สเปรย์น้ำ	-	Constant (0.93)**
	ผสมดินลูกรัง	25	Beta (0.74, 1.67, 1.44, 1.79)
	เกลี่ยดินลูกรัง	25	Normal (4.37, 0.13)
	ตรวจสอบระดับ	-	Constant (15)
	บดอัดดินลูกรัง	25	Gumbel (4.30, 0.16)
งานก่อสร้างดินคัน ทาง : ชั้น Sub- Ballast	ล้มนอกหินคลุก	25	Normal (4.96, 0.29)
	ผสมหินคลุก	25	Triangular (8.67; 8.67; 11.22)
	เกลี่ยหินคลุก	25	Normal (4.23, 0.88)
	บดอัดหินคลุก	25	Triangular (9.97, 6.89, 9.97)
	บดอัดผิวหินคลุก	25	Triangular (3.67, 2.39, 6.15)
งานก่อสร้างหิน โรยทางชั้นแรก	ตัดหินโรยทาง1	30	Beta (0.66, 1.30 10.02, 12.52)
	เตรียมขนหิน1 (ซั้ง)	-	Uniform (3, 5) *
	ขนส่งหินโรยทาง1	30	Normal (108.66, 9.41)
	เทหินโรยทาง1	30	Normal (11.136, 1.68)
	ปูหินโรยทาง	-	Uniform (4, 6)**
	เตรียมกลับ(ต่อพ่วง)	-	Uniform (2, 3)*
	รถบรรทุกหินกลับ1	30	Triangular (79.65, 73.12, 109.34)
	บดอัดหินโรยทาง1	25	Triangular (6.43, 10.48, 8.28)

หมายเหตุ : * ข้อมูลจากการสอบถาม, ** ข้อมูลจากการสังเกต

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบการกระจายตัวของแต่ละกิจกรรม (ต่อ)

สถานการณ์	กิจกรรม	ตัวอย่าง	รูปแบบการกระจายตัวทางทฤษฎี (นาที่)
งานก่อสร้างวางระบบราง	ยกหมอนลง/ 8 ท่อน	30	Triangular (2.8, 1.14, 2.8)
	วางหมอน/ 8 ท่อน	30	Beta(0.75, 1.27, 9.53, 12.97)
	ยกรางลง/ 5 ท่อน	30	Triangular (3.99, 5.64, 5.08)
	วางราง/ 1 คู่ราง	20	Normal (9.32, 0.77)
	เชื่อมราง	-	Triangular (25, 29, 27) **
	ติดตั้งราง	-	Uniform (10, 15) **
งานก่อสร้างชั้นหินโรยทางและระบบรางให้ได้ระดับ	ตักหินโรยทาง 2 / โบกี้หิน	30	Normal (7.13, 0.11)
	เตรียมลงหินโรยทาง	-	Uniform (3, 5)*
	ลงหินโรยทาง 2 (บทข.)	25	Uniform (5, 5.99)
	เกลี่ยหินโรยทาง	20	Triangular (17.47, 19.25, 19.25) เมตรต่อนาที่
	ยกราง อัดหินระดับ (*ตั้งค่าอัตโนมัติ)	ต่อหมอน	Tamp1 7 วินาที/หมอน ; Tamp2 6 วินาที/หมอน ; Tamp3 5 วินาที/หมอน
	โอบหินโรยทาง	รอบที่1 รอบที่2,3	Triangular (17.47, 19.25, 19.25) Beta (0.66, 0.56, 21.63, 25.63) m/min
	ตรวจสอบระดับ	-	Constant (30) *

หมายเหตุ : * ข้อมูลจากการสอบถาม, ** ข้อมูลจากการสังเกต

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่า Emission Factor ของเครื่องจักรในกิจกรรมก่อสร้างทางรถไฟ

การวิเคราะห์ค่า Emission Factor ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยการปล่อย emissions ของเครื่องจักรกลแต่ละชนิดมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อระยะเวลาการทำงาน (g/hr, kg/hr) ใช้สำหรับคำนวณค่า emissions จากการทำงานของเครื่องจักรประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์

ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และ สารมลพิษอนุภาค (PM) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้สำรวจเครื่องจักรที่ใช้ในกิจกรรมการก่อสร้างทางรถไฟจากบัญชีเครื่องจักรในโครงการกรณีศึกษา พร้อมทั้งข้อมูลจำเพาะของเครื่องจักรได้แก่ ชนิด (Type), รุ่น (Model), ปี (Year), กำลังม้าของเครื่องจักรแต่ละชนิด(HP) โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า Emission Factors คำนวณโดยใช้วิธีที่นำเสนอใน NONROAD ซึ่งได้นำเสนอวิธีการคำนวณไว้ในวิธีการดำเนินการวิจัย จากนั้นนำข้อมูลค่า Emissions Factors ของเครื่องจักรใส่ในแบบจำลองสถานการณ์การก่อสร้างทางรถไฟเพื่อจำลองการเกิด Gas Emissions ตามสภาวะการทำงานจริง โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล Emission Factors ของเครื่องจักรแต่ละชนิดได้ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งในส่วนรายละเอียดของการคำนวณผู้วิจัยได้สรุปไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรงานก่อสร้างทางรถไฟ

No.	เครื่องจักร	Year	HP	Emission Factors (kg/hr)					CO ₂ Idle
				HC	CO	NO _x	PM	CO ₂	
1	รถเกี่ย	2011	190	0.03	0.02	0.50	0.00	100.81	20.13
2	รถบรรทุกน้ำ	1996	240	0.09	0.39	1.53	0.26	127.17	25.43
3	รถดัดสันสะเทือน	2003	153	0.06	0.23	0.85	0.08	81.07	16.21
4	รถดัดล้อยง	1999	135	0.05	0.21	0.75	0.08	71.53	14.31
5	รถชุด-ตัก	2005	145	0.05	0.22	0.81	0.08	76.83	23.05
6	รถบรรทุก	1998	260	0.10	0.41	1.50	0.22	137.77	27.55
7	รถอัดหิน 09-16CAT	2001	315	0.15	1.10	2.11	0.14	166.81	50.04
8	รถเกี่ยหิน PBR400R	2001	180	0.13	0.37	1.12	0.11	95.17	28.55
9	รถสันหิน DGS 62N	2001	275	0.20	0.56	1.71	0.17	145.40	43.62
10	หัวรถจักรลากจูง	1990	260	0.43	2.17	2.46	0.31	136.71	41.01
11	รถชุด-ตักชนิดพิเศษ	2011	173	0.07	0.42	0.48	0.00	91.63	27.49
12	เครน 50 ตัน	2007	250	0.08	0.20	1.42	0.08	132.51	39.75

หมายเหตุ : CO₂ Idle emission มาจากสัดส่วน CO₂ idle to non-idle โดยเครื่องจักรงานดินทุกชนิดมีค่า 0.2 ยกเว้น รถชุด-ตัก มีค่า 0.3 รวมทั้งเครื่องจักรงานระบบรางจัดอยู่ในกลุ่มรถชุด-ตักด้วย

4.4.3 ผลการวิเคราะห์ค่า Load Factor (LF) ของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้าง

ค่า Load Factor เป็นค่าสัดส่วนกำลังของเครื่องจักรในแต่ละสภาพการทำงาน ใช้สำหรับเป็นข้อมูลในการคำนวณ Gas Emissions ให้มีความละเอียดมากขึ้นสะท้อนการทำงานใน

กระบวนการก่อสร้างจริง โดยคำนวณจากสัดส่วนกำลังของเครื่องจักรคูณกับประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งใช้วิธีตามคู่มือรายการจำเพาะเครื่องจักร โดยงานวิจัยนี้แบ่งกำลังของเครื่องจักรออกเป็น 3 สถานะ คือ กำลังแรงของเครื่องจักร (Throttle Power) ต่ำ ปานกลาง สูง คำนวณตามสัดส่วนระยะเวลาการทำงาน ของเครื่องจักรในแต่ละกิจกรรม โดยข้อมูลเหล่านี้ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ขับเครื่องจักร ผู้ควบคุมงานและการสังเกตการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล Load Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิดสามารถแสดงดังในตารางที่ 4.9 และข้อมูลส่วนนี้จะนำไปใส่ในแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่า Gas Emissions ต่อไป

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่า Load Factor ของเครื่องจักรตามสถานะการทำงาน

เครื่องจักร	% Job eff.	สถานะ	เวลา	กำลัง	Load Factor
รถเกลี่ย	0.75	ลัมกอง	34%	1	0.74
		ผสม	28%	1	
		เกลี่ย	26%	0.75	
		หมุน	12%	0.5	
รถบรรทุกน้ำ	0.63	สเปรย์	28%	0.75	0.13
รถบดอัดล้อยาง 9 ล้อ, รถบดอัดสันสะเทือน (ยกเว้น* บดหินโรยทางไม่เปิดสัน)	0.81	บดอัด	46%	1	0.8
		บดอัดผิว	44%	0.75	
		หมุน	10%	0.5	
รถขุด-ตัก	0.75	ตัก	100%	0.75	0.56
รถบรรทุก	0.63	ตักดิน	11%	0.5	0.53
		ขนดิน	52%	1	
		เทดิน	6%	0.5	
		กลับ	32%	0.75	
รถอัดหิน 09-16CAT	0.75	Tamp1	40%	0.75	0.51
		Tamp2	30%	0.75	
		Travel	30%	0.5	
รถเกลี่ยหิน PBR400R	0.63	เกลี่ย/โอบ	50%	0.5	0.47
		Travel	50%	0.5	

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ค่า Load Factor ของเครื่องจักรตามสภาวะการทำงาน (ต่อ)

เครื่องจักร	% Job eff.	สถานะ	เวลา	กำลัง	Load Factor
รถสันหิน DGS 62N	0.71	สันหิน	70%	1	0.54
		Travel	30%	0.5	
หัวรถจักรลากจูง	0.63	ลากโป๊กี่หิน	40%	0.75	0.47
		โรยหิน	30%	1	
		ลากโป๊กี่ว่าง	30%	0.5	
รถ VaiaCar (Blade, Sleeper Spreader)	0.75	วางหมอน	80%	0.75	0.45
		Travel	20%	0.5	
	0.75	เกลี่ยหิน	90%	0.75	0.51
		Travel	10%	0.5	
เครน 50 ตัน	0.69	ยก-วาง	72%	1	0.54
		กลับ	8%	0.75	
		รอกคอย	20%	0.5	

4.4.4 ข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับเป็นพารามิเตอร์นำเข้าสู่แบบจำลองเพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

ส่วนนี้เป็นข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองซึ่งใช้ในการกำหนดและการสร้างเงื่อนไขในการจำลองให้เสมือนกระบวนการก่อสร้างจริง สำหรับใช้ในการพัฒนาแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่า Emissions โดยผลของข้อมูลดังกล่าวได้รวบรวมจากการณัติศึกษาทางก่อสร้างทางรถไฟ ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดของทรัพยากรด้านเครื่องจักร ด้านปริมาณวัสดุทางรถไฟ อัตราการทำงานของเครื่องจักร และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยผู้วิจัยเลือกพิจารณาข้อมูลการดำเนินการก่อสร้างทางรถไฟระยะทาง 1 กิโลเมตร เพื่อเป็นตัวแทนในการจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้าง โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 รายละเอียดของ ทรัพยากร อัตราการทำงาน สำหรับการจำลองกระบวนการก่อสร้าง

รายละเอียด	ค่าพารามิเตอร์
ขอบเขตงานที่ศึกษา	1 กม.
พื้นที่ลงดินคันทาง	5,803 ตร.ม.
ปริมาณดินรองพื้นทาง (Subgrade)	2,952 ลบ.ม. (ดินลูกรัง)
ปริมาณดินพื้นทาง (Sub-Ballast)	2,592 ลบ.ม. (หินคลุก)
รถเกลี่ย 1 คัน – อัตราการเกลี่ย รองและพื้นทาง	18, 16 ลบ.ม. ต่อรอบระยะ 250–300 ม.
รถบด 2 คัน – อัตราการบดอัด รองและพื้นทาง	12, 9 ลบ.ม. ต่อรอบระยะ 250–300 ม.
จำนวนรถบรรทุกดินลูกรัง, หินคลุก	5 คันๆ 8 ลบ.ม.
ปริมาณการลงหินโรยทางชั้นแรก	760 ลบ.ม.
พื้นที่ลงหินโรยทาง	4,100 ตร.ม.
จำนวนรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ	8 คันๆ 19 ลบ.ม.
จำนวนรถตัก	1 คัน
รถบด	1 คัน
Ballast Box ใช้ปูหินหนา 15 ซม.	1 ชุด
ปริมาณหมอน	1,640 ท่อน
ปริมาณราง (Rails)	2,000 เมตร หรือ 80 ท่อน
รถ VaiaCar + หัวจับหมอน (batch 8 ท่อน)	1
เครน 50 ตัน (batch ราง 5 เส้น)	1
ปริมาณการลงหินโรยทางชั้นที่ 2	1,120 ลบ.ม.
บทข. - อัตราการตักที่กองหิน	240 ลบ.ม./ชม.
รถอัดหิน (Tamber)	1 คัน
รถเกลี่ยหิน (Regulator)	1 คัน
รถสั่นหิน (Stabilizer)	1 คัน
หัวลาก Schoema + ตู้โบกี้ไต่ข้าง (บทข.)	1+4 คัน
ความจุบทข.	28 ลบ.ม.
ระยะทางการขนดินและหินโรยทาง	2 - 4; 52 กม.
ความเร็วรถบรรทุกขณะมีน้ำหนักและไม่มีน้ำหนัก	14 -16; 22-27 กม. /ชม.
ความเร็วหัวลาก Schoema และขณะลงหิน	12-15; 5 กม. /ชม.

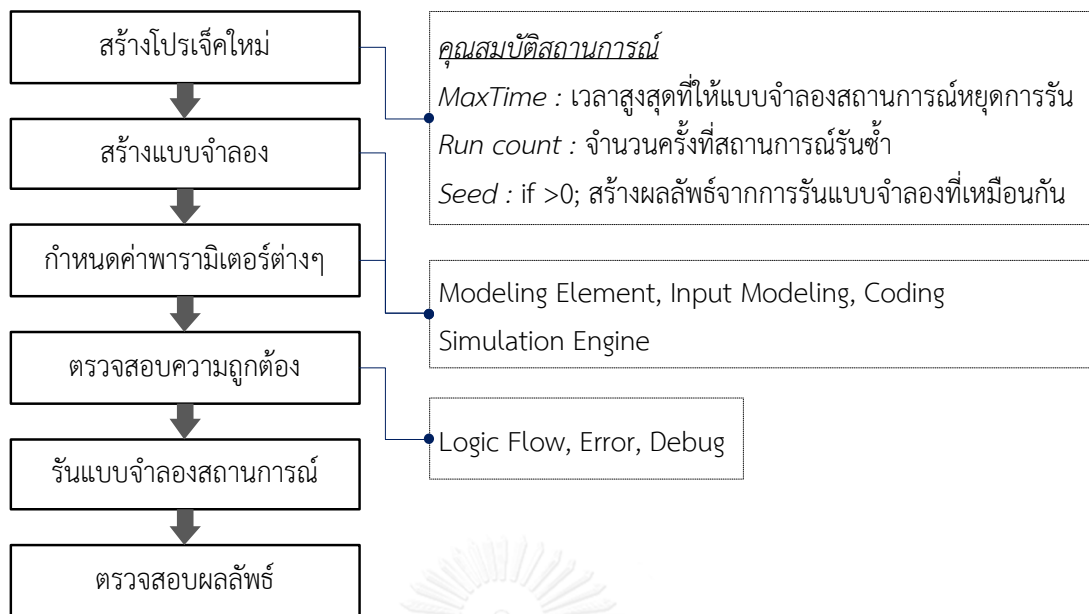
4.5 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Symphony.NET

โปรแกรม Symphony.NET เป็นซอฟต์แวร์ DES ที่ถูกพัฒนาจากงานวิจัยก่อสร้างโดยมหาวิทยาลัย Alberta ใช้งานในการจำลองเทคนิคการวางแผนงาน ภายในโปรแกรมสนับสนุนการทำงานต่างๆ ดังนี้ 1) สามารถจำลองการทำงานให้สัมพันธ์กับระบบจริง 2) สามารถสร้างแบบจำลองสถานการณ์ที่มีความซับซ้อน 3) สามารถใช้ General Purpose Templates (GPT) ที่มี *Modeling Element* มาตรฐานสำหรับสร้างแบบจำลอง 4) สามารถเขียน โค้ดในฟังก์ชันคอมพิวเตอร์ VB or C# 5) มีการแสดงผลด้วยเครื่องมือ ได้แก่ ตาราง Trace Windows

ในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET จำเป็นทราบองค์ประกอบที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย 1) ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง 2) การใช้ *Modeling Element* สร้างแบบจำลอง 3) การเขียนฟังก์ชัน/สูตร/โค้ดช่วยในการจำลอง ซึ่งรายละเอียดแสดงตามหัวข้อดังต่อไปนี้

4.5.1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET เริ่มต้นจากการสร้าง Project และกำหนดคุณสมบัติของสถานการณ์ จากนั้นเริ่มนำ *Modeling Element* มาสร้างเป็นตัวแทนของกระบวนการก่อสร้างตามคุณสมบัติของแต่ละ *Element* เช่น Create Element ใช้กำหนดวัตถุประสงค์หรือสิ่งที่สนใจในระบบ *Task Element* ใช้แทนกิจกรรมการทำงาน เป็นต้น โดยกำหนดคุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้แก่ Element จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเช็คข้อผิดพลาดจากแถบแสดง Debug และ แถบหน้าจอแสดง Errors และขั้นตอนสุดท้ายรันแบบจำลองและตรวจสอบผลลัพธ์โดยขั้นตอนการสร้างสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของโปรแกรม Simphony.NET

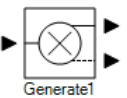

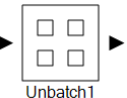




4.5.2 Modeling Element

Modeling Element เป็นส่วนประกอบในการจำลองของ Simphony.NET ช่วยในการสร้างแบบจำลอง โดยการสร้างแบบจำลองประกอบด้วยหลาย *Modeling Element* ที่มีการเชื่อมต่อกัน ซึ่งสามารถสรุปการทำงานของแต่ละ *Element* ได้ดังตารางที่ 4.11 ส่วนการอธิบายในรายละเอียดได้สรุปไว้ในภาคผนวก ก

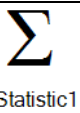
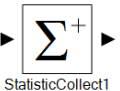



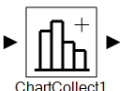
ตารางที่ 4.11 คำอธิบาย Modeling Element ใน Simphony.NET

Element	คำอธิบาย
	Primary Element
Ab Comment	Comment แสดงคำอธิบายสำหรับแบบจำลองโดยไม่มีฟังก์ชัน
 Create1	Create สร้างจำนวนวัตถุ (Entities) ที่มีปริมาณที่แตกต่างกันออกจาก Element โดยมีการระบุค่าการกระจายตัวของเวลา
 Task1	Task ใช้แสดงแทนกิจกรรมของวัตถุ (Entity) โดยการแล้วเสร็จของ Task ขึ้นอยู่กับชนิด Sever: ซึ่งมี 2 แบบคือ Contrain จะจำกัดจำนวน Server เมื่อ Entity ผ่านจะตรวจสอบว่าพร้อมใช้งานหรือไม่ และ Unconstrained ไม่มีข้อจำกัด Entity ที่สามารถผ่านได้
 Counter1	Counter แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Entity ในแต่ละเวลาที่ผ่าน ทำหน้าที่นับจำนวน Entity ที่ผ่านและนิยมใช้ในการหา Production ซึ่งสามารถตั้งค่าเริ่มต้นและค่าการนับได้ และสามารถหยุดการจำลองถ้าพารามิเตอร์ถึงขีดจำกัด
 SetAttribute1	SetAttribute ใช้ระบุคุณสมบัติเกี่ยวกับ Entity ที่ผ่าน ซึ่งระบุตัวเลข ชื่อ และลักษณะอื่นๆ ตลอดช่วงการจำลอง
 Destroy1	Destroy ใช้เป็นตัวลบ Entities ที่มาถึง
 Execute1	Execute สามารถปรับแต่งการทำงานโดยการเขียน Code ทุกเวลาที่ Entity ผ่าน Element บังคับการดำเนินการและแสดงการทำงานของวัตถุที่ผ่าน
 Composite1	Composite ใช้เป็นกลุ่มย่อยของ Element ที่รวมกันภายใต้สถานการณ์ (Scenario)
 Trace1	Trace เป็นตัวติดตามกระบวนการของแบบจำลอง โดยแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อความและตำแหน่งตามที่ระบุ
	Batch/ Branch Element
 Branch1	Branch ใช้เป็นเส้นทางที่แยก entity แบบมีเงื่อนไขตามที่ระบุ มักใช้สุ่มซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะ entity ที่ผ่านนั้นได้ประเมินเป็น True or False

ตารางที่ 4.11 คำอธิบาย Modeling Element ใน Symphony.NET (ต่อ)

Element	คำอธิบาย
	Generate สร้างการโคลน Entities จากตัวดั้งเดิม โดยตัวเดิมจะส่งออกทางบน และตัวโคลนผ่านทางล่าง ถ้ามี Resource จะถูกส่งผ่านทางบนเท่านั้น
	Consolidate เป็นการรวมของปริมาณ Entities ที่มาด้านล่างกับด้านบน โดยจะปล่อยเมื่อจำนวน Entity ด้านล่างเท่ากับด้านบน ถ้าจำนวนด้านบนไม่เพียงพอต่อ ด้านล่างจะต้องมีการรวบรวม
	Batch ใช้รวมปริมาณ Entities ที่สามารถยกเลิกการรวมโดยใช้ <i>Unbatch</i> โดย Resource ทั้งหมดจะต้องถูก Release ก่อนการ Batching
	Unbatch ใช้ยกเลิก Entities ที่รวมไว้ทั้งหมดและจะกลับสู่คุณสมบัติแบบเดิม
Resource Element	
	Resource ใช้ระบุ Resource ในแบบจำลอง ซึ่งจะต้องประกาศโดย File ที่บรรจุ Entities waiting ของ Resource นอกจากนี้ยังมี Capture and Release ที่ใช้ในการโต้ตอบกับ Resource
	File ใช้ติดตามการรอคอย Resource ของ Entities โดย File จะเชื่อมต่อกับ Resource ซึ่ง Entities จะรอคอย Resource จนกว่าจะพร้อมใช้งาน
	Capture ถูกเรียกขึ้นมาโดย Entity ที่ผ่านตัวมัน เมื่อมาถึง Entity จะเข้า File เพื่อตรวจสอบ ถ้าคิวว่าง Entity จะได้รับอนุญาตให้เข้าถึง Resource ทันที มิฉะนั้น Entity จะเกิดการรอคอย
	Release ถูกเรียกขึ้นมาโดย Entity ที่ผ่านตัวมัน ถ้ามี Resources มาด้วยจะได้รับการปล่อยออกมาตามจำนวน Servers ที่ระบุไว้
	Preempt จะมีลำดับเหนือกว่า Capture สามารถหยุด Entity โดย Resource ที่ถืออยู่และโอนไปที่ Captured แล้ว เมื่อ Resource ได้รับการ Release Tasks ที่หยุดก็จะดำเนินการต่อ
	EmissionsResource สามารถใช้สลับกันได้กับ Resource ปกติ สามารถกำหนดอัตราการปล่อย Emission ของ Servers โดยขึ้นอยู่กับสถานะ Resource เมื่อมีสถิติการปล่อย Emission ที่ต้องการ อัตราการปล่อย Emission สามารถเปลี่ยนแปลงได้ผ่านการจำลอง

ตารางที่ 4.11 คำอธิบาย Modeling Element ใน Simphony.NET (ต่อ)

Element	คำอธิบาย
	Statistics Elements ประกาศค่าสถิติที่ต้องการสังเกตระหว่างการจำลองเพื่อเก็บข้อมูลจากการสังเกต
	Statistic ใช้ในการคำนวณค่าสถิติของพารามิเตอร์ที่สนใจในแบบจำลองสามารถประกาศเป็น Intrinsic or Non-Intrinsic
	StatisticCollect เพิ่มการสังเกตโดยการประกาศ <i>Statistic</i> โดยมีความสัมพันธ์ต่อหนึ่งค่า <i>Statistic</i>
	Valve Element ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ <i>Valve</i> และ <i>Activator</i> ซึ่งควบคุม <i>Valve</i>
	Valve ใช้สำหรับอนุญาตให้วัตถุหยุดหรือเคลื่อนที่ผ่าน โดยขึ้นกับสถานะปัจจุบัน (Current State)
	Activator ควบคุมสถานะของ <i>Valve</i> เมื่อวัตถุผ่าน <i>Activator</i> จะสามารถอ้างอิงได้แค่ 1 <i>Valve</i>
	Chart ใช้แสดงข้อมูลที่ได้เก็บไว้โดย <i>ChartCollect</i>
	ChartCollect รับ Entity และคำนวณข้อมูลพิกัด (X,Y) ที่จะเพิ่มเข้าไปใน <i>Chart</i> โดยส่วนมากค่าที่ส่งเข้าไปจะขึ้นอยู่กับ Formula

4.5.3 การเขียนฟังก์ชัน/สูตร/โค้ด ในโปรแกรม Symphony.NET

การเขียนฟังก์ชัน/สูตร/โค้ด ในการจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET ช่วยให้การสร้างแบบจำลองกระบวนการก่อสร้างลดความซับซ้อน และช่วยในการแสดงผลลัพธ์และสามารถติดตามความก้าวหน้าของการจำลองได้ โดยมีรายละเอียดเบื้องต้นดังนี้

4.5.3.1 คุณสมบัติของสูตรและวิธีการ (Formula Properties and Methods)

การจำลองสามารถเข้าถึงคุณสมบัติโดยผ่านสูตรและวิธีการที่ใช้ในโปรแกรมหาดังตารางที่ 4.12 จากตารางเป็นตัวอย่างการใช้สูตร Formula ในการแสดงคุณสมบัติของ Trace Element ในการเขียนเวลาการจำลองปัจจุบัน (Current Simulation Time) ในหน้าจอของ Trace Windows

ตารางที่ 4.12 สูตรเบื้องต้นที่ใช้กำกับในการจำลองสถานการณ์

พารามิเตอร์	คำอธิบาย
TimeNow	เวลาการจำลองปัจจุบัน มีค่าเป็น Double
TimeNext	เวลาของเหตุการณ์ถัดไปในการรอคอย มีค่าเป็น Double
RunIndex	ดัชนีฐานของการรันที่เวลาปัจจุบัน มีค่าเป็น Integer
ProcessedEventCount	จำนวนเหตุการณ์ที่ดำเนินการไปแล้ว Integer
ScheduledEventCount	จำนวนเหตุการณ์ถัดไปในการรอคอย มีค่าเป็น Integer
GN(i), GS(i), GX(i)	Global Attributes เป็นคุณสมบัติของการดำเนินสถานการณ์ (Scenario) ในปัจจุบัน มีค่าเป็น Integer, String, Double
LN(i), LS(i), LX(i)	Local Attributes เป็นคุณสมบัติของ Entity ณ ปัจจุบัน มีค่าเป็น Integer, String, Double
Name	ชื่อของสถานการณ์ที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน (String)
RunCount	จำนวนการรันของเหตุการณ์ที่กำลังดำเนินการในปัจจุบัน (Integer)
MaxTime	เวลาการจำลองซึ่งการรันแบบจำลองในปัจจุบันควรยุติ (Double)
GetElement ()	การเข้าถึง Element โดยการอ้างอิงถึงชนิดและชื่อ
TraceLine ()	เขียนข้อความที่ต้องการแสดงใน Trace Windows
HaltRun()	ยุติการรัน ณ ปัจจุบัน
HaltScenario()	ยุติการจำลองสถานการณ์

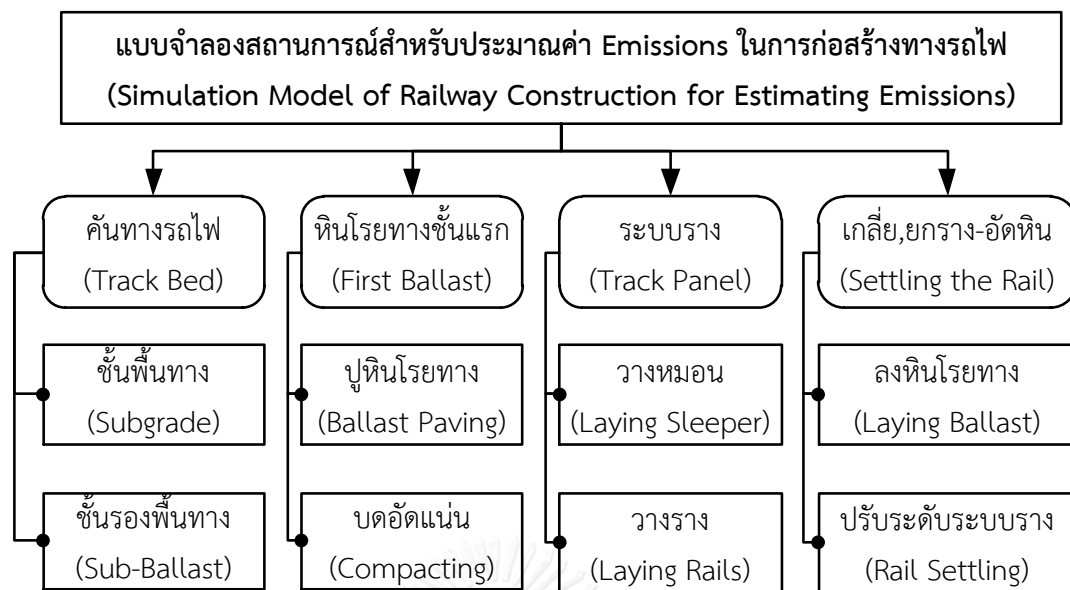
4.5.3.2 การเขียน Visual Basic เบื้องต้น

Visual Basic เป็นภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลเมื่อติดตามความก้าวหน้าของการจำลองหรือต้องการสร้างเงื่อนไขการจำลองเพื่อให้เป็นตัวแทนของระบบจริงฟังก์ชันเบื้องต้นที่ใช้งาน เช่น ประกาศตัวแปร (Variable) ตัวดำเนินการ (Operators) ตัวแปลงค่า (Conversion) การสร้างเงื่อนไข (Conditional Statements) เป็นต้น

จากรายละเอียดและขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Symphony.NET สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ โดยนำกรอบแนวคิดการจำลองเหตุการณ์การก่อสร้างทางรถไฟที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3 “การพัฒนากรอบแนวคิดของการจำลอง” นำมาร่างแบบจำลองโดยใช้ *Modeling Element* และกำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองโดยใช้ผลของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากหัวข้อ 4.4 “ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง” โดยรายละเอียดการพัฒนาแบบจำลองจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.6 การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์สำหรับประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานก่อสร้างทางรถไฟของวิจัยนี้ สามารถแบ่งแบบจำลองได้เป็น 4 สถานการณ์ (Scenario) ตามกระบวนการก่อสร้างหลัก ประกอบด้วย 1) งานก่อสร้างคันทางรถไฟ 2) งานก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรก 3) งานก่อสร้างระบบราง 4) งานก่อสร้างชั้นหินโรยทางและระบบรางให้ได้ระดับ ซึ่งขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองสามารถอธิบายตามสถานการณ์ต่างได้ดังรูปที่ 4.17 โดยสถานการณ์ของกรณีศึกษาประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ตามความสัมพันธ์ของการเกิดเหตุการณ์



รูปที่ 4.17 การจัดลำดับความสัมพันธ์ในแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองจะมีการกำหนดวัตถุ (Entities) ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการก่อสร้าง ได้แก่ในการก่อสร้างชั้นพื้นทาง ซึ่งกำหนดให้วัตถุที่สนใจในระบบเป็นปริมาณดิน (ลบ.ม.) ของการก่อสร้างชั้นทางโดยมีทรัพยากร (Resource) ด้านเครื่องจักรที่ส่งผลต่อการปล่อย Emission ประกอบด้วย รถตัก รถบรรทุก รถเกรด รถบดอัด การสร้างแบบจำลองสามารถนำเข้าพารามิเตอร์ระยะเวลากิจกรรมผ่าน *Task Element* ค่า Emissions Factor และจำนวนเครื่องจักร ผ่าน *Resource Element* ปริมาณงานผ่าน *Create Element* การสิ้นสุดการจำลองผ่าน *Counter Element* หรือเงื่อนไขใน *Execute Element* รวมทั้งเงื่อนไขการจำลองอื่นๆ ผ่าน Element ต่างๆ โดยมีรายละเอียดการสร้างแบบจำลองดังนี้

4.6.1 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟชั้นพื้นทาง (Track Bed)

การสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่า Emissions ในกระบวนการสร้างคันทางรถไฟ ประกอบด้วย 3 กระบวนการสำคัญ ซึ่งแบบจำลองอยู่ภายใน *Subgrade* และ *Sub-Ballast* โดยทั้ง 2 แบบจำลองมีรูปแบบการจำลองที่เหมือนกัน ดังรูปที่ 4.18 คือ กิจกรรมขนย้ายดิน ล้มกอง/ผสม/เกลี่ยดินและบดอัดแน่นดินอยู่ภายใน โดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้

4.6.4.1 กิจกรรมขนย้ายดิน (Earthmoving)

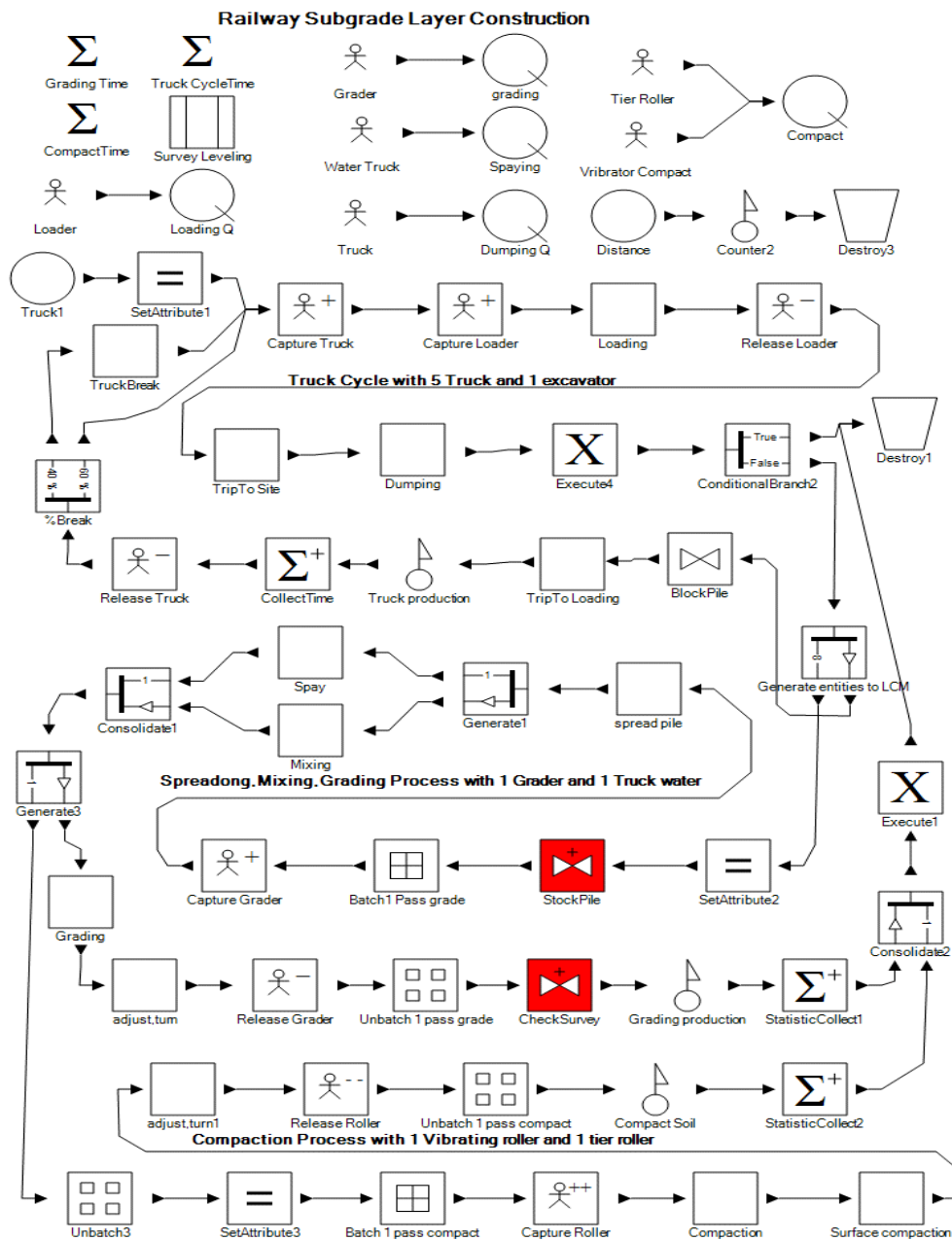
การสร้าง *Create Element* ของวัตถุ (Entity) ตัวในระบบเพื่อเป็นตัวแทนของการขนย้ายดินจำนวน 2,952 ลบ.ม.ต่อระยะทาง 1 กม. จากนั้นจัดปริมาณดิน 8 ลบ.ม.เป็นวัตถุ 1 ตัวด้วย *Batch Element* เพื่อขนส่งโดยรถบรรทุก (กรณีศึกษาที่กำหนดให้รถบรรทุก 1 คัน ขนดินได้ 8 ลบ.

ม.) และทำการกำหนดลักษณะของวัตถุด้วย *SetAttribute Element* โดยใช้ Entity Variables (LN) ให้แต่ละวัตถุมีขนาด 8 ลบ.ม. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่มาถึง *Capture Element* เพื่อร้องขอทรัพยากร (Resource) ประกอบด้วยรถบรรทุก (Truck) 5 คัน รถขุด-ตัก (Loader) 1 คัน เพื่อเข้าไปทำกิจกรรม Loading ที่ *Task Element* เมื่อทำกิจกรรมเสร็จรถตักจะถูกปล่อยโดย *Release Element* เพื่อใช้สำหรับรถบรรทุกคันต่อไป โดยวัตถุในแบบจำลองยังคงใช้รถบรรทุกในการทำกิจกรรมขนส่ง เทกองดิน และกลับมารับดินใหม่ จากนั้นรถบรรทุกจะถูกปล่อยเหมือนรถตักเพื่อไปรับดินในรอบต่อไปและทำการยกเลิกการรวมปริมาณดินโดย *Unbatch Element* วัตถุจะกลายเป็น 1 ลบ.ม. เหมือนเดิม ซึ่งในทุกๆ การเทกองดินแบบจำลองจะสร้างวัตถุขนาด 8 ลบ.ม. โดยการโคลนด้วย *Generate Element* ไปยังกิจกรรมการล้มกอง/ผสม/เกลี่ยดินและบดอัดแน่นดินต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของวัตถุผ่าน *Execute Element* และ *Counter Element* แสดงอัตราการทำงานของการขนส่งดิน

4.6.4.2 กิจกรรมเกลี่ยและบดอัดแน่นคันทาง (Grading and Compaction)

การจำลองเริ่มจากกำหนดให้วัตถุ (ปริมาณดิน ลบ.ม.) เข้ามาที่กิจกรรมการเกลี่ยและบดอัดแน่นผ่าน “Generate Entities 8 to LCM” กำหนดคุณสมบัติของวัตถุด้วย *SetAttribute Element* เมื่อวัตถุมาถึง *Valve Element* “Block Pile” เกิดการรออนสะสมปริมาณดินครบจึงเดินทางต่อไปยัง *Batch Element* “Batch 1 Pass Grade” เพื่อกำหนดวัตถุที่เป็นตัวแทนของการเกลี่ยปริมาณดิน 1 Pass เพื่อร้องขอทรัพยากร “Grader” ในการทำงานล้มกองผสมและเกลี่ยดินแล้วปล่อยรถเกลี่ยโดย *Release Element* และทำการยกเลิกการรวมปริมาณดินด้วย *Unbatch Element* โดยขั้นตอนการเกลี่ยทำการโคลนวัตถุไปทำกิจกรรมบดอัดด้วย *Generate Element* กำหนดลักษณะด้วย *SetAttribute* กำหนดวัตถุที่เป็นตัวแทนของการบดอัดปริมาณดิน 1 Pass “Batch 1 Pass Compact” วัตถุเดินทางไปที่ “Capture Roller” ร้องขอทรัพยากร “Tier Roller” และ “Vibrator Compact” ทำกิจกรรมบดอัดและบดอัดผิว จากนั้นจึงปล่อยทรัพยากรและยกเลิกการรวมปริมาณดิน ปริมาณดินการเกลี่ยและการบดอัดเดินทางผ่าน *StatisticCollect* เพื่อเก็บค่าสถิติแล้วเดินทางไปรวมกันที่ *Consolidate* เป็นการเสร็จงานก่อสร้างคันทาง ในขั้นสุดท้ายทำการตรวจสอบการทำงาน of วัตถุโดย *Execute Element* “Verify”

ในกระบวนการสร้างคันทางรถไฟชั้นรองพื้นทาง (Sub-Ballast) ลักษณะกระบวนการทำงานที่เหมือนกับชั้นพื้นทาง (Subgrade) โดยมีการใช้เครื่องจักรที่เป็นลักษณะเดียวกัน แต่มีการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร ทรัพยากรต่างๆ และเวลาการทำงาน เนื่องจากชนิดของดินที่นำมาสร้าง โดยในขั้นนี้ใช้หินคลุกในการสร้างคันทาง สำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่า Gas Emissions สามารถใช้แบบจำลองรูปแบบเดียวกับกับกระบวนการก่อสร้างของชั้นพื้นทางได้

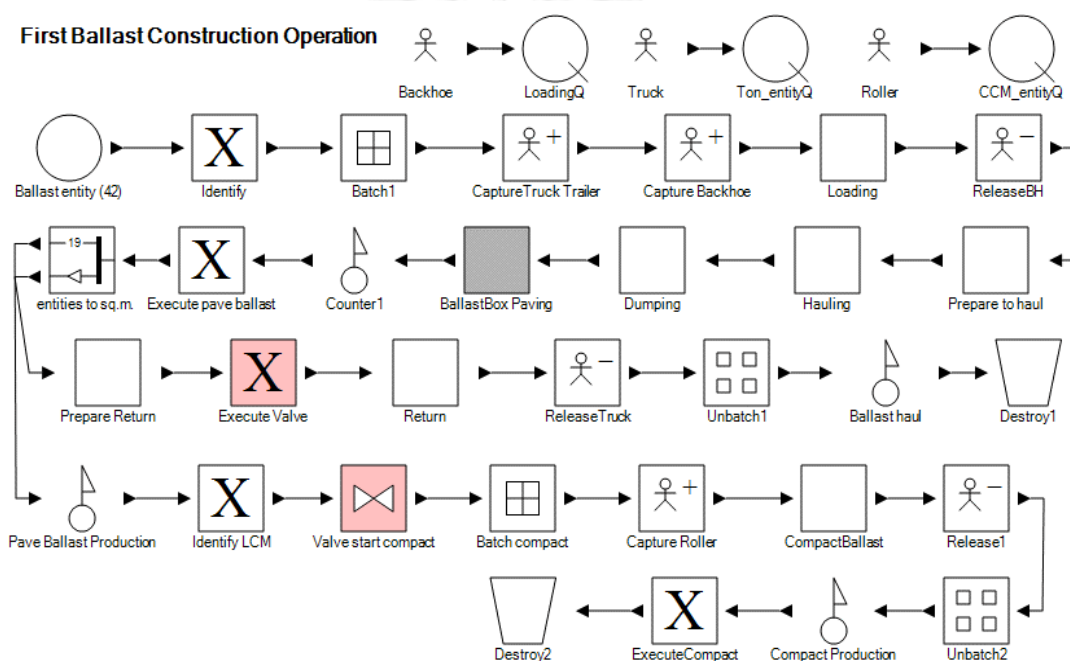


รูปที่ 4.18 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ

4.6.2 แบบจำลองกระบวนการสร้างหินโรยทางชั้นแรก (Bottom Ballast)

ในกระบวนการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรกเป็นการก่อสร้างที่ทำต่อเนื่องจากงานดินรองพื้นทางมีลักษณะการทำงานคล้ายกับงานดินคันทางประกอบด้วย การขนส่งหินโรยทาง การปูหินโรยทาง และการบดอัดหินโรยทาง แบบจำลองอยู่ใน Scenario “Ballast Construction” โดยมีรายละเอียดของแบบจำลองดังรูปที่ 4.19 แบบจำลองเริ่มต้นจาก สร้าง Create Element ของวัตถุ 760 ลบม. เป็นปริมาณวัตถุเทียบเท่ากับปริมาณหิน จากนั้นวัตถุผ่าน Execute Element “Identify” เพื่อระบุ

คุณสมบัติของวัตถุ ให้วัตถุในระบบรวมกันโดยใช้ *Batch Element* “Ballast Hauling” เป็นปริมาณหินที่ขนส่งในแต่ละเที่ยว โดยวิธีการสร้างเหมือนกับงานดินคันทางคือ เรียกใช้ทรัพยากรรถบรรทุกและรถตักทำกิจกรรม ตักหิน ชั่งน้ำหนัก ขนส่งหิน เทหิน ปูหินโรยทางและรถบรรทุกกลับเมื่อเสร็จแล้วจึงปล่อยทรัพยากรและแสดงการทำงานของวัตถุ เมื่อวัตถุเดินทางเข้าสู่ “Generate 19 LCM” เพื่อสร้างหินที่ขนส่งมีค่าเทียบเท่า 19 ลบ.ม. ไปทำกิจกรรมการบดอัดโดยผ่าน “Valve Start Compact” เพื่อตรวจสอบการเริ่มต้นเมื่อปูหินโรยทางแล้วเสร็จ จากนั้นวัตถุจะรวมกันที่ “Batch Compact” เป็นปริมาณหินที่บดอัดใน 1 Pass กลายเป็นวัตถุ 1 ตัว เพื่อไปร้องขอรถบดอัดทำกิจกรรมบดอัดหินเมื่อเสร็จครบจะปล่อยทรัพยากรและทำซ้ำจนครบปริมาณหิน สุดท้ายวัตถุจะยกเลิกการรวมปริมาณหิน ในขั้นตอนสุดท้ายตรวจสอบการทำงานของกระบวนการผ่าน “ExcuteCompact” และอัตราการทำงานผ่าน *Counter Element* “Ballast Haul”, “Pave Ballast Production”, “Compact Production”

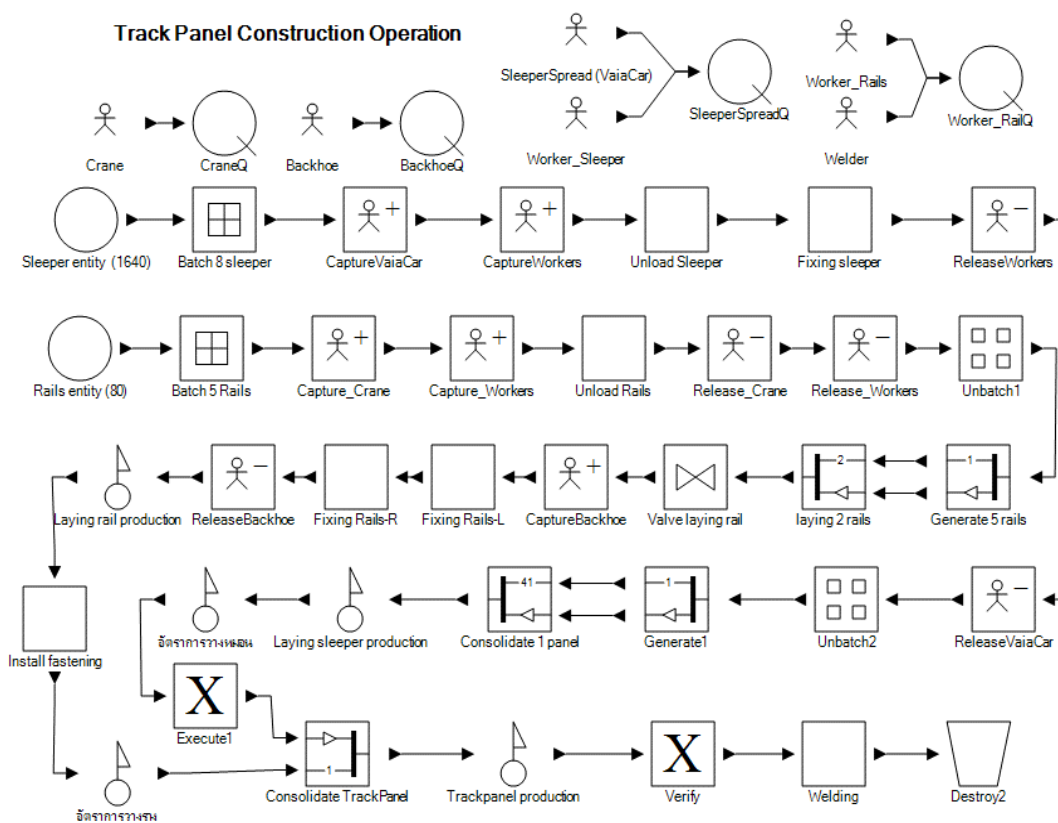


รูปที่ 4.19 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างหินโรยทางขั้นแรก

4.6.3 กระบวนการก่อสร้างระบบราง (Track Panels)

ในกระบวนการก่อสร้างระบบรางทำต่อเนื่องจากการก่อสร้างหินโรยทางขั้นแรก แบบจำลองอยู่ภายใน Scenario “Track Panel” ประกอบด้วยกิจกรรมการวางหมอนและรางดังแสดงในรูปที่ 4.20 เริ่มต้นจากสร้าง *Create Element* เป็นตัวแทนของจำนวนหมอนไปยังกิจกรรมการวางหมอน เริ่มต้นที่การวางหมอนจำนวน 1,640 ท่อน (*Sleeper Entity*) รวมหมอนชุดละ 8 ท่อน “Batch 8 Sleeper” สำหรับทำกิจกรรมโดยเรียกใช้ทรัพยากร “SleeperSpread (VaiaCar)” และ

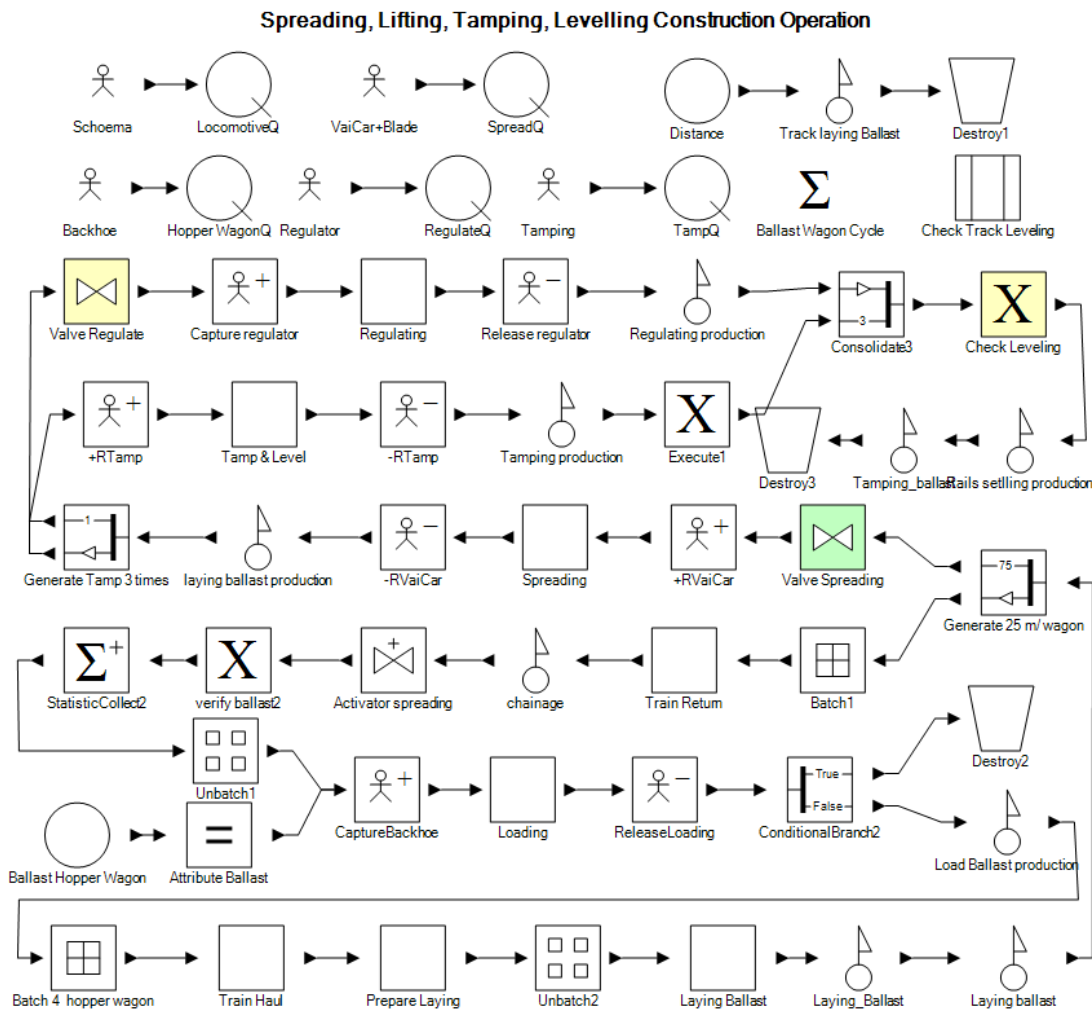
“Worker_Sleeper” ทำงานยกหมอนและวางหมอนเมื่อเสร็จก็ปล่อยทรัพยากรและรวบรวมจำนวนหมอนให้ได้ 41 ท่อนสำหรับรวมกับรางเป็น 1 Panel (25 เมตร) ส่วนในกิจกรรมวางรางมีลักษณะคล้ายกันเริ่มจากสร้างวัตถุเป็นตัวแทนของจำนวนราง จำนวน 80 ท่อนรวมรางชุดละ 5 ท่อน “Batch 5 Rails” สำหรับทำกิจกรรมยกลงจากรถบรรทุกหรือโบกี้รถไฟโดยเรียกใช้ทรัพยากร “Crane” และ “Worker_Rails” ทำงานยกวางบริเวณข้างทางเมื่อเสร็จก็ปล่อยทรัพยากร จากนั้นไปทำกิจกรรมติดตั้งรางโดยเริ่มทำเมื่อวางหมอนเสร็จผ่าน “Valve Laying Rail” เรียกทรัพยากร “2- Backhoe” สำหรับวางรางซ้าย-ขวา ต่อไปติดตั้งเครื่องยึดเหนี่ยวโดยแรงงานรวมหมอนและรางเป็น 1 Track Panel “Consolidate TrackPanel”



รูปที่ 4.20 แบบจำลองกระบวนการก่อสร้างระบบราง

4.6.4 กระบวนการก่อสร้างงานชั้นหินโรยทางและความมั่นคงของทาง (Tracks Settling)

ในกระบวนการนี้ทำต่อเนื่องจากงานวางระบบราง ประกอบด้วยกิจกรรมการลงหินโรยทาง การเกลี่ยหิน การยกราง-อัดหิน และตัดแนว เป็นการทำให้ทางรถไฟได้ระดับและแนวเส้นทางที่ตรงตามรูปทรงเป็นไหล่ทาง ซึ่งแบบจำลองอยู่ภายใน Scenario “Spread, Lining, Tamping” ดังรูปที่ 4.21 โดยมีรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.21 แบบจำลองการก่อสร้างชั้นหินโรยทางและความมั่นคงของทาง

4.6.4.1 การลงหินโรยทาง (Ballast Hopper Wagon Laying)

เริ่มต้นจาก *Create Element* “Ballast Hopper Wagon” เป็นตัวโบกี้ชั้นหินโรยทาง (บข.) จำนวน 4 ตู้ เรียกใช้ทรัพยากร “Backhoe” ตักหินโรยทางเมื่อเสร็จรวมวัสดุ “Batch 4 Hopper Wagon” ขนส่งไปโรยหินโดยใช้หัวรถจักรลาก (Schoema) และโรยหินจากนั้นจะกลับมาเพื่อรับหินเที่ยวใหม่ โดยทำการโคลนวัตถุเพิ่มเป็น 75 เทียบเท่าระยะทางเมตร “Generate 25 m/ Wagon” จากนั้นวัตถุเดินทางไปทำกิจกรรมเกลี่ยหินโรยทางผ่าน “Valve Spreading” เมื่อลงหินโรยทางเสร็จใช้ทรัพยากร “VaiCar+Blade”

4.6.4.2 การสร้างทางรถไฟให้มั่นคง (Rail Settling)

วัตถุจากการเกลี่ยดินทางมาที่ “Generate Tamp 3 times” เพื่อโคลนวัตถุไปยังกิจกรรมยกรางอัดหินโดยใช้ทรัพยากร “Tamping” ทำการยกราง-อัดหิน 3 รอบตามระยะทาง ทุกๆ การอัดหิน

ประมาณ 300 เมตรที่จะเปิดให้วัตถุผ่าน “Valve Regulate” ทำกิจกรรมเกลี่ยและโอบหินโดยเรียกใช้ทรัพยากร “Regulator” ทำการอัดและเกลี่ยหินโรยทางจนครบ 3 รอบ ซึ่งวัตถุจะรวมกันผ่าน “Consolidate Entity” และทุกๆ ระยะทางที่ทำได้ประมาณ 500 เมตรจะทำการตรวจสอบระดับรายงานสิ้นสุดการทำงาน

4.7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์แบบจำลอง Emissions

ในงานวิจัยนี้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้ทำการตรวจสอบแบบจำลองว่ามีการสร้างตามกรอบแนวคิดหรือไม่ (Conceptual Model) และตรวจสอบตรรกะ (Logic Flow) การทำงานของแบบจำลองซึ่งเรียกว่า การพิสูจน์แบบจำลอง (Verification Model) และตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลอง (Validation Model) ในด้านผลลัพธ์ความน่าเชื่อถือของข้อมูล ความเป็นเหตุเป็นผล และระดับความเชื่อมั่นซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองและความเที่ยงตรงทางสถิติของผลลัพธ์

4.7.1 พิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification)

การพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้วิธีการแสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุ เพื่อแสดงความก้าวหน้าของวัตถุ โดยสามารถแสดงบน *Trace Simulation* ของโปรแกรม Symphony.NET การพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลองมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแบบจำลองตาม Flowchart และตรรกะ (Logic) ของแบบจำลองสำหรับแต่ละการดำเนินการตามขั้นตอนการเกิดเหตุการณ์ที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อที่ 4.2 โดยเลือกใช้ Modeling Element ที่ถูกต้องและมีการเชื่อมโยงที่สัมพันธ์กันโดยใช้ Direction Arrow
2. ตรวจสอบการป้อนค่าพารามิเตอร์หลังสิ้นสุดการจำลองเพื่อให้แน่ใจว่าค่าพารามิเตอร์ที่ป้อนไม่มีการเปลี่ยนแปลงและตรวจสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองให้สมเหตุสมผลภายใต้ความหลากหลายของการตั้งค่าการป้อนค่าพารามิเตอร์
3. เขียนคำอธิบายการดำเนินการของแบบจำลอง ให้คำนิยามแต่ละ Model Element และคำอธิบายทั่วไปของแต่ละ Sub-Model รวมทั้งขั้นตอนการเขียน Code ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาแบบจำลอง โดยรายละเอียดมีระบุไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 รวมทั้งส่วนประกอบอื่นๆ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.22

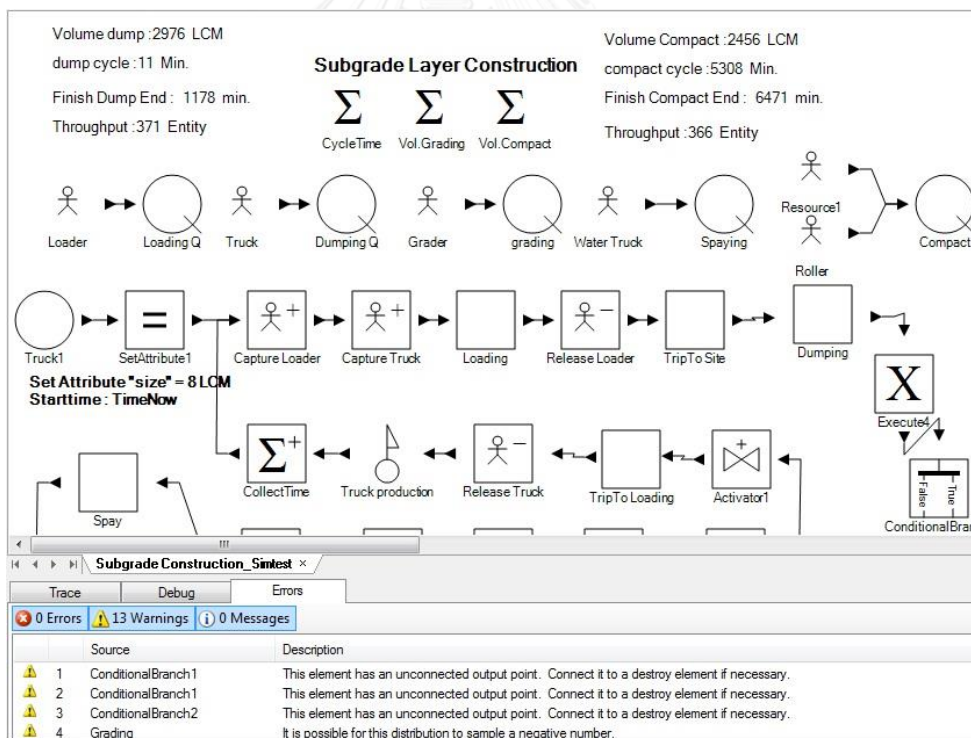
```

8      'Show current dumping time
9      dim ct as Comment = element.Scenario.GetElement (of Comment) ("Comment4")
10     ct.Text="Finish Dump End : " & Cuint(element.Engine.TimeNow) & " min."
11
12     'Show current tondump
13     dim td as Comment = element.Scenario.GetElement (of Comment) ("Comment2")
14     td.Text = "Volume dump : " & CStr(element.Scenario.GN(0))& " LCM"
15
16     'Calculating dump cycle finish duration
17     dim DayMinutes as Comment = element.Scenario.GetElement(of Symphony.General.Commen
18     DayMinutes.Text = "dump cycle : " & CStr(Cint(element.Engine.TimeNow - element.Curr
19     element.CurrentEntity.LX(0) = element.Engine.TimeNow
20
21     'Calculating Throughput of entity
22     dim t as Comment = element.Scenario.GetElement (of Comment) ("Comment12")
23     element.Scenario.GN(1)=element.Scenario.GN(1)+1
24     t.Text= "Throughput : " & CSTR(element.Scenario.GN(1))& " Entity"

```

รูปที่ 4.22 การเขียนคำอธิบาย Model Element และ Coding

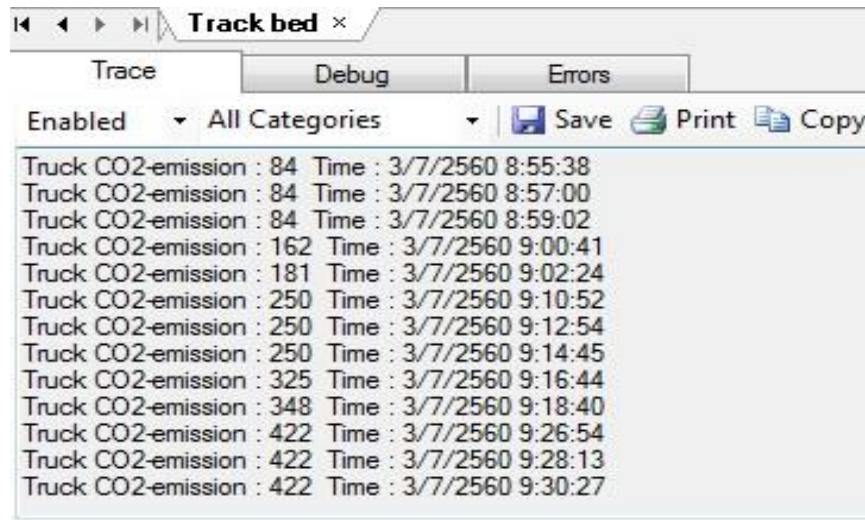
4. ตรวจสอบการ Run Controller (IRC) or Debug ซึ่งมีส่วนสำคัญในการการสร้างแบบจำลองให้สมบูรณ์ IRC จะช่วยในการค้นหาและแก้ไขข้อผิดพลาดในแบบจำลอง เช่น ช่วยติดตามความก้าวหน้าจนกว่าจะถึงเวลาที่สิ้นสุดและสามารถพักสการเดินทางของ Entity เป็นต้น ซึ่งแสดงตัวอย่างการตรวจสอบดังรูปที่ 4.23 จะมีการแสดงแถบ Debug และ Error เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและข้อควรระวัง



รูปที่ 4.23 ตรวจสอบการ Run Controller (IRC) หรือ Debug

5. ตรวจสอบ Graphical Interfaces ในแบบจำลองเพื่อแสดงฟอร์มที่สำคัญสำหรับการติดตาม โดยจะขยายความแบบจำลองให้เข้าใจเพิ่มขึ้นดังเช่นในรูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองตามเวลาการจำลองโดยใช้ Comment Update รวมทั้งติดตามการเพิ่มขึ้นของ Entity

ในโดยใช้ Trace Element แสดงผลการเปลี่ยนแปลงใน Trace Window และการใช้ Integrity Checks ซึ่งมีอยู่ในโปรแกรมจำลองตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลก่อนจะทำการรัน



รูปที่ 4.24 การตรวจสอบ Graphical Interfaces

4.7.2 ตรวจสอบข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง (Input Data Validation)

1. การตรวจสอบสมมติฐานโครงสร้างของการจำลอง โดยทำการตรวจสอบพฤติกรรมการทำงานของเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กัน

2. ตรวจสอบข้อมูลของแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยค่าการเข้ารูปสนิทของการกระจายตัวทางทฤษฎี (Goodness of Fit) ของแต่ละกิจกรรม และการคำนวณค่า Emission Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิดตามหัวข้อที่ 4.3

4.7.3 ตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Validate and Analysis Model Output)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจากผลลัพธ์โดยการตั้งสมมติฐานว่าแบบจำลองสามารถสร้างผลลัพธ์แตกต่างกับผลการดำเนินงานปัจจุบันหรือไม่ โดยสามารถสร้างสมมติฐาน (Hypotheses) ได้ 2 แบบ คือ

H_0 : ค่าเฉลี่ยผลลัพธ์จากแบบจำลองมีค่าเหมือนกับการทำงานปัจจุบัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยผลลัพธ์จากแบบจำลองมีค่าแตกต่างกับการทำงานปัจจุบัน

ทำการวิเคราะห์ผลการจำลองโดยพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่นของผลลัพธ์และจำนวนตัวอย่างจากการรันแบบจำลอง ซึ่งผลที่ได้คำนวณจากระดับความเชื่อมั่นในแต่ละสถานการณ์ (Scenario) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.7.3.1 การทดสอบค่าผลลัพธ์จากแบบจำลอง

ใช้สถิติ T-test แบบ One Sample T-Test (ทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการทำงาน (Production) ของผลลัพธ์จากการจำลอง และผลการดำเนินงานปัจจุบัน โดยในการตรวจสอบสามารถใช้สถิติ T-Test ในการหาผลลัพธ์โดยเลือกค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 สำหรับปฏิเสธ (Reject) H_0 หรือผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ผิดพลาด โดยปกติค่าความผิดพลาด (α) เป็น 10% หรือต่ำกว่า ผลการทดสอบพิจารณาว่า $t_{cal} < t_{crit}$ จะยอมรับ H_0 ซึ่งแสดงว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการจริงอย่างมีนัยสำคัญ

4.7.3.2 ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) และช่วงพยากรณ์ (Prediction Interval)

ช่วงความเชื่อมั่นเป็นการตรวจสอบผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1 - Error Level) ณ จุดที่ประมาณค่าผลลัพธ์ โดยระดับความเชื่อมั่นเป็นโอกาสที่ค่าจริงของจุดที่ประมาณผลลัพธ์อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น การวิเคราะห์เริ่มจากกำหนดจำนวนการรันเริ่มต้น (R_0) โดยทั่วไปกำหนดที่ 10 ครั้ง จากนั้นคำนวณค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) ตามค่าความผิดพลาดที่กำหนด (α) จำนวนจำนวนการรันแบบจำลองที่ต้องการ (Replications) โดยเลือกที่ระดับความแม่นยำ (Level of Precision) ซึ่งประกอบด้วยค่าความเที่ยงตรงสัมบูรณ์ (Absolute Precision) และความเที่ยงตรงสัมพัทธ์ (Relative Precision) ซึ่งทั่วไปประมาณ 10 % ของค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ โดยในการคำนวณผู้วิจัยเลือกใช้ที่ 5 % เพื่อลดช่วงความเชื่อมั่นของผลลัพธ์ ส่วนช่วงคาดการณ์เป็นการตรวจสอบผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับระดับคาดการณ์ (1 - Risk Level or β) แสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นภายในช่วงช่วงคาดการณ์ตามความแตกต่างของจำนวนการรัน (Banks 2005)

การคำนวณเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้สมการที่ 4.1 - 4.4 จำนวนผลลัพธ์ (Banks 2005) ซึ่งผลการตรวจสอบความถูกต้องและวิเคราะห์ผลลัพธ์จากแบบจำลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.13 ประกอบด้วยกิจกรรมการทำงานหลักของแต่ละสถานการณ์ ผลการตรวจสอบด้วยการทดสอบสมมติฐานพบว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง ($t_{cal} < t_{crit}$) รวมทั้งได้วิเคราะห์ช่วงความเชื่อมั่นและช่วงพยากรณ์ของผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงสามารถใช้สำหรับประมาณค่า Gas Emissions จากการกระบวนการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟในระดับที่น่าเชื่อถือได้ โดยผลการจำลองสถานการณ์ที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

$$t_{cal} = t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S\sqrt{n}} \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

$$\text{Confidence Interval} = \bar{x} \pm \frac{t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} * S}{\sqrt{n}} \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

$$\text{Prediction Interval} = \bar{x} \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} * S \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (\text{สมการที่ 4.3})$$

$$\text{Total Replications (Rreq)} \geq \left(\frac{t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} * S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (\text{สมการที่ 4.4})$$

โดยที่ X = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างข้อมูลจากแบบจำลอง (Mean)

S = ค่าความแปรปรวนตัวอย่างข้อมูล (Standard Deviation)

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างข้อมูล

μ_0 = ค่าเฉลี่ยผลลัพธ์จากการทำงานปัจจุบัน (Field)

ε = ระดับความแม่นยำ

ตารางที่ 4.13 ผลการตรวจสอบความถูกต้องและการวิเคราะห์แบบจำลอง

กิจกรรม	หน่วย	ตรวจสอบอัตราการทำงานของแบบจำลอง						วิเคราะห์ผลของแบบจำลอง					
		Mean	แบบจำลอง		T-test			R ₀	Standard Error	Absolute precision	R _{req}	ช่วงความเชื่อมั่น	ช่วงพยากรณ์
			Mean	SD	t _{crit}	t _{cal}	H ₀						
ขนส่งดิน	ลบ.ม.	547	537.8	21.696	2.262	1.34	ยอมรับ	10	15.52	27	3	M±15.52	M±51.48
เกลี่ยดิน	ลบ.ม.	479	470.17	12.426	2.262	2.25	ยอมรับ	10	8.89	24	1	M±8.89	M±29.48
บดอัดดิน	ลบ.ม.	479	465.34	13.872	3.250	3.11	ยอมรับ	10	14.26	23	4	M±14.26	M±47.28
ปูหินโรยทาง	ลบ.ม.	247	259.53	18.496	2.262	2.14	ยอมรับ	10	13.23	13	10	M±13.23	M±43.88
บดอัดหินโรยทาง	ลบ.ม.	247	254.35	19.051	2.262	1.22	ยอมรับ	10	13.63	13	11	M±13.63	M±45.20
วางหมอน	ม.	324	326.07	7.78	2.02	1.78	ยอมรับ	10	2.34	16	5	M±2.34	M±15.86
วางราง	ม.	200	199.79	13.97	2.02	0.10	ยอมรับ	10	4.20	10	45	M±4.20	M±28.46
ลงหินโรยทาง	ม.	540	535.51	25.12	2.09	0.80	ยอมรับ	10	11.76	27	9	M±11.76	M±53.87
เกลี่ยหินโรยทาง	ม.	500	501.59	28.80	2.09	0.25	ยอมรับ	10	13.48	25	13	M±13.48	M±61.76
ยกวาง-อัดหิน	ม.	500	501.59	28.80	2.09	0.25	ยอมรับ	10	13.48	25	13	M±13.48	M±61.76

หมายเหตุ : ค่า Absolute precision ใช้ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย, M คือ ค่าเฉลี่ย, ทดสอบค่า t-test ที่ความเชื่อมั่น 95 %

4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อย Emissions จากแบบจำลองสถานการณ์

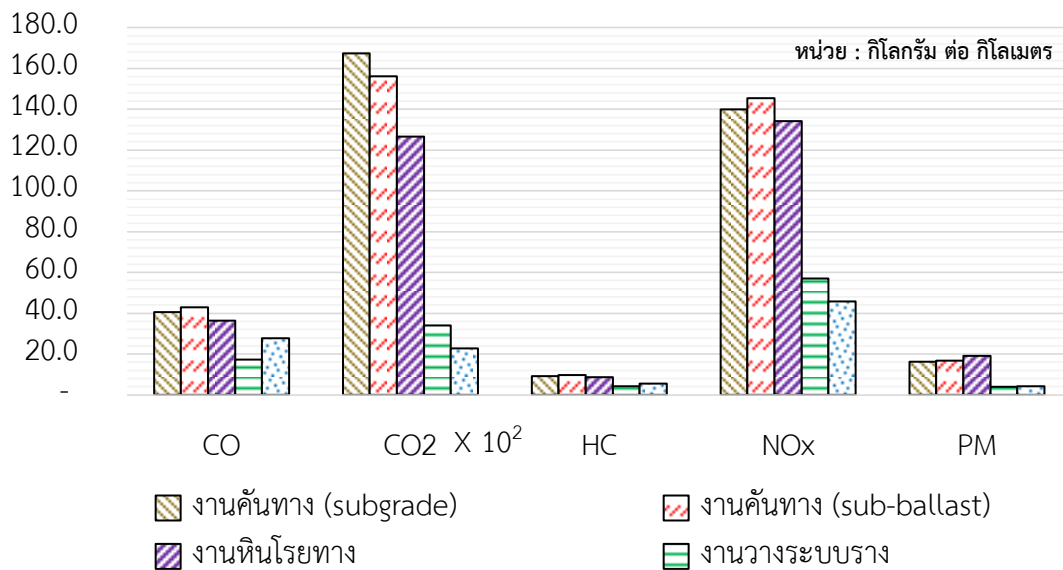
ผลการวิเคราะห์กระบวนการจากจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (DES) ร่วมกับค่า Emission Factor จากฐานข้อมูล NONROAD ค่า Load Factor จากการสำรวจภาคสนาม และสัดส่วน Idle ต่อ Non-Idle CO₂ emission ผลการจำลองจากการรันแบบจำลองสถานการณ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของกรณีศึกษาการก่อสร้างทางรถไฟระยะทางทุกๆ กิโลเมตรจะแล้วเสร็จเฉลี่ยประมาณ 21 วัน (ไม่คำนึงถึงระยะเวลารอยคอคยระหว่างแต่ละกระบวนการ) โดยแต่ละกระบวนการมีลักษณะการทำงานเป็น (Finish to Start) ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ระยะเวลาการก่อสร้างทางรถไฟเฉลี่ยต่อกิโลเมตร

กระบวนการก่อสร้าง	วัน	ระยะเวลาการก่อสร้างทางรถไฟต่อกิโลเมตร
งานคันทาง (Subgrade)	7	
งานคันทาง (Sub-Ballast)	6	
งานหินโรยทาง	3	
งานวางระบบราง	4	
งานปรับระดับราง	2	

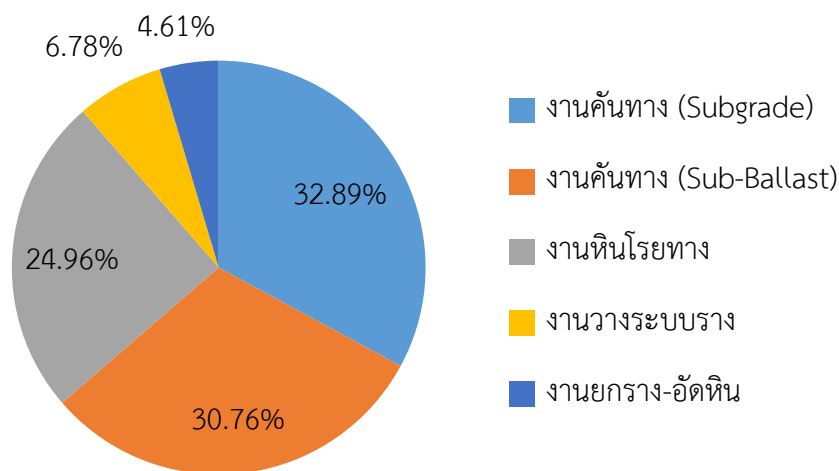
4.8.1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจกและมลพิษด้วยแบบจำลองสถานการณ์

จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟระยะทางทุกๆ กิโลเมตรเกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และสารมลพิษอนุภาค (PM) ประมาณ 52,923 กิโลกรัม โดยสามารถแสดงเป็นกราฟแท่งจำแนกตามกระบวนการก่อสร้างและชนิดของก๊าซที่เกิดขึ้นได้ดังรูปที่ 4.25 จากกราฟเมื่อพิจารณาปริมาณ Gas Emissions ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟพบว่ามี CO₂ รวม 52,139 กิโลกรัม CO รวม 165 กิโลกรัม HC รวม 37 กิโลกรัม NO_x รวม 522 กิโลกรัม และอนุภาค (ควันทำ) รวม 60 กิโลกรัม ส่วนค่า Gas Emissions ของเครื่องจักรแต่ละชนิดในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟสามารถแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ปริมาณ Gas Emission จำแนกตามสถานการณ์ก่อสร้างทางรถไฟ

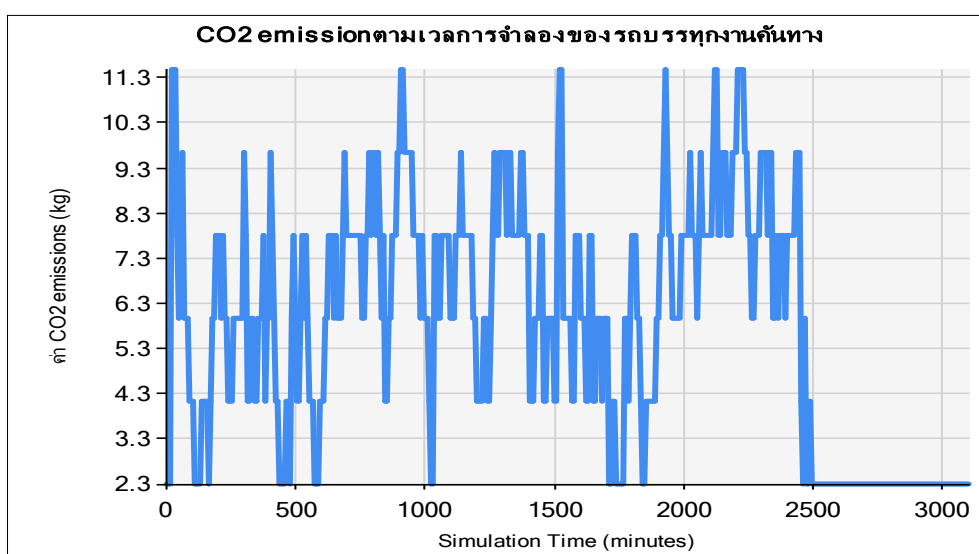
จากผลการวิเคราะห์ Gas emissions เมื่อจำแนกตามสถานการณ์สามารถแสดงกราฟสัดส่วนการเกิด Gas Emissions ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟได้ดังรูปที่ 4.26 ปริมาณ Gas Emissions จากกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟมีค่ามากที่สุดประมาณ 64.64 % เนื่องจากการใช้เครื่องจักรจำนวนมาก รวมทั้งระยะเวลาการทำงาน รองลงมาเป็นกระบวนการก่อสร้างชั้นหินโรยทางประมาณ 24.28% กระบวนการก่อสร้างระบบรางประมาณ 6.60% กระบวนการยกราง-อัดหินหรือสร้างระบบรางให้ได้ระดับประมาณ 4.48 % เนื่องจากการก่อสร้างเหล่านี้มีการนำเครื่องจักรมาใช้ไม่เต็มระบบและยังมีการใช้แรงงานร่วมด้วย



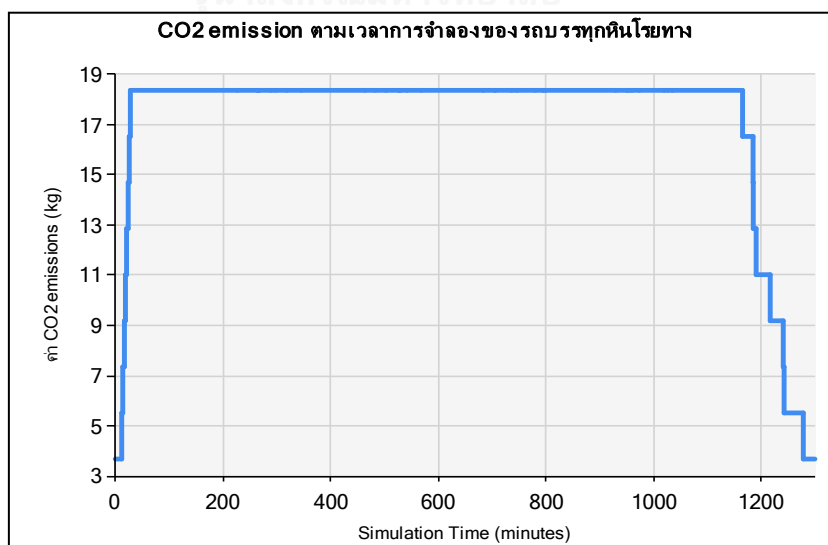
รูปที่ 4.26 สัดส่วนปริมาณ Gas Emissions ตามสถานการณ์ก่อสร้างทางรถไฟ

4.8.2 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการทำงานของเครื่องจักร

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการวิเคราะห์ด้วยการจำลองสถานการณ์กระบวนการทำงานของเครื่องจักรแต่ละชนิดจะเกิดขึ้นตามอัตราการใช้งานเครื่องจักร ซึ่งจากแบบจำลองประกอบด้วยอัตราการใช้งานขณะเครื่องจักรทำงานและรอคอยในกระบวนการทำงาน เมื่อทำการจำลองสถานการณ์จะได้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกและมลพิษที่มีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับเวลาการจำลอง (Simulation Time) ดังแสดงในรูปที่ 4.27 จากรูปเป็นตัวอย่างค่าการปล่อย CO₂ emission ตามเวลาการจำลองของรถบรรทุกในกระบวนการก่อสร้างคันทางและหินโรยทาง



ก. ตัวอย่างค่าการปล่อย CO₂ emission ของรถบรรทุกในงานคันทาง

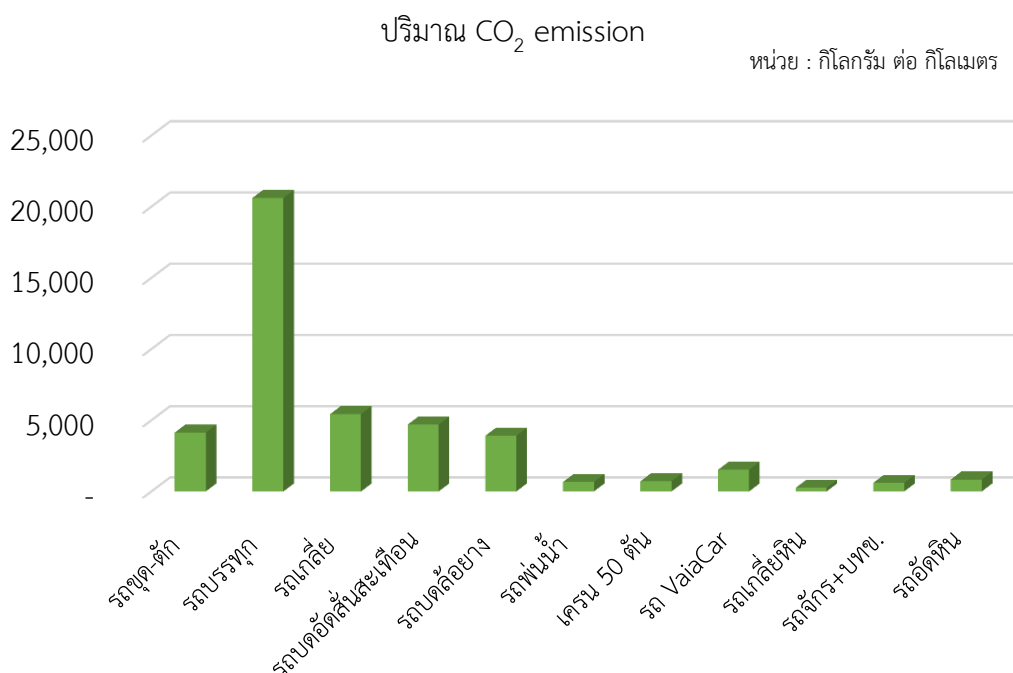


ข. ตัวอย่างค่าการปล่อย CO₂ emission ของรถบรรทุกในงานงานหินโรยทาง

รูปที่ 4.27 เป็นตัวอย่างค่าการปล่อย CO₂ emission ตามเวลาการจำลอง

4.8.3 ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างจำแนกตามเครื่องจักร

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มค่า CO₂ emissions ซึ่งเกิดขึ้นมากที่สุด ในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ จึงนำมาสู่การจำแนกปริมาณ CO₂ emissions ตามเครื่องจักรเพื่อนำไปสู่แนวทางในการพัฒนาทางเลือกเพื่อออกแบบกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟต่อไป ซึ่งจากการวิเคราะห์สามารถสรุปปริมาณ CO₂ emissions ที่เกิดขึ้นโดยจำแนกตามชนิดของเครื่องจักรได้ดังกราฟในรูปที่ 4.28 จากกราฟแสดงให้เห็นว่ารถบรรทุกมีการใช้งานมากที่สุดทำให้เกิดปริมาณ CO₂ emissions มากที่สุด ประมาณ 56.4 % ของทั้งหมด รองลงมาเป็นรถเกลี่ย 10.4% รถบดอัดสันสะเทือน 9.0% รถขุดตัก 7.9 % รถบดอัดล้อยาง 7.5% และเครื่องจักรอื่นๆ 8.8 % ซึ่งจากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟมีนัยสำคัญต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการออกแบบกระบวนการก่อสร้างโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อหาแนวทางในการลด ได้แก่ การเลือกวิธีการทำงานที่เหมาะสม การปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน การจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 4.28 ค่า CO₂ emissions จากกระบวนการทำงานจำแนกตามเครื่องจักร

ตารางที่ 4.15 ผลการจำลองค่า Gas Emission ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

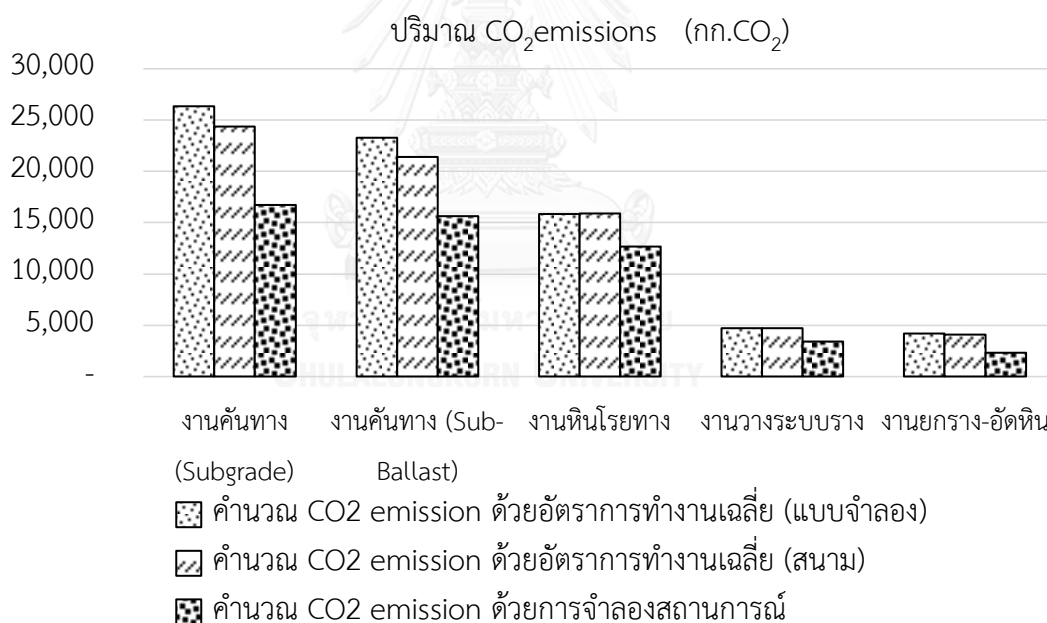
งาน	เครื่องจักร	กิจกรรม	อัตราการทำงาน		Load Factor	อัตราการใช้งาน	ปริมาณ Gas Emissions (กิโลกรัม)				
			ปริมาณ	หน่วย			CO	CO ₂	HC	NO _x	PM
งานคันทาง (Subgrade)	รถขุด-ตัก	ขนส่ง	67.23	m ³ /hr	0.56	20.20%	1.29	957.37	0.31	4.66	0.49
	รถบรรทุก	Hauling	67.23	m ³ /hr	0.53	48.80%	18.86	8,785.08	4.44	69.35	9.99
	รถเกี่ย	Mix & Grading	58.77	m ³ /hr	0.74	91.60%	6.08	2,728.57	2.08	27.22	1.92
	รถอัดดินสลับเขื่อน	Compact	58.17	m ³ /hr	0.68	67.90%	9.20	2,085.57	1.27	19.95	1.84
	รถบดล้อยาง	Compact	58.17	m ³ /hr	0.68	67.90%	4.95	1,841.28	1.13	17.83	1.84
	รถพ่นน้ำ	Spaying	-	-	0.47	5.30%	0.23	331.75	0.06	0.86	0.12
	รวม	-	-	-	-	-	40.61	16,729.60	9.29	139.86	16.20
	รถขุด-ตัก	Loading	69.69	m ³ /hr	0.56	18.70%	1.13	909.90	0.28	4.10	0.43
	รถบรรทุก	Hauling	69.69	m ³ /hr	0.53	52.80%	18.81	8,714.58	4.43	69.15	9.96
	รถเกี่ย	Mix & Grading	53.65	m ³ /hr	0.74	95.40%	6.02	2,697.37	2.06	26.94	1.90
รถอัดดินสลับเขื่อน	Compact	52.89	m ³ /hr	0.68	83.60%	10.79	2,343.02	1.49	23.42	2.16	
รถบดล้อยาง	Compact	52.89	m ³ /hr	0.68	83.60%	5.81	2,067.94	1.33	20.93	2.16	
รถพ่นน้ำ	Spaying	-	-	0.47	5.60%	0.23	326.88	0.05	0.85	0.12	
รวม	-	-	-	-	-	42.80	17,059.68	9.64	145.38	16.73	
งานคันทาง (Sub-Ballast)											

ตารางที่ 4.15 ผลการจำลองค่า Gas Emission ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ (ต่อ)

งาน	เครื่องจักร	กิจกรรม	อัตราการทำงาน		Load Factor	อัตราการใช้งาน	ปริมาณ Gas Emissions (กิโลกรัม)				
			ปริมาณ	หน่วย			CO	CO ₂	HC	NO _x	PM
ขุดและถมดิน	รถขุด-ตัก	Loading	32.44	m ³ /hr	0.56	34.30%	0.90	491.12	0.22	3.28	0.34
	รถบดอัดสันสະເຫຼີອນ	Compact	31.79	m ³ /hr	0.58	26.50%	0.74	264.21	0.18	2.76	0.25
	รถบรรทุก	Haul & Pave	32.44	m ³ /hr	0.53	95.00%	34.86	11,894.78	8.20	128.15	18.45
	รวม	-	-	-	-	-	36.50	12,650.11	8.60	134.18	19.05
การวางราง	รถขุด-ตัก	วางราง	25.0	m	0.53	40.90%	7.16	1,447.81	1.74	25.92	2.51
	แครน 50 ตัน	ยกราง	-	m	0.61	4.30%	3.78	808.89	1.45	26.38	1.56
	รถ VaiaCar	ยก&วางหมอน	40.76	m	0.53	77.90%	6.77	1,246.39	1.16	7.74	-
	รวม	-	-	-	-	-	10.55	3,503.10	4.35	60.03	4.07
การก่อสร้างราง	รถขุด-ตัก	Loading	110.88	m ³ /hr	0.56	39.30%	1.65	328.01	0.40	5.99	0.58
	รถเกี่ยยหิน	Regulating	62.62	m	0.47	17.30%	2.29	251.75	0.83	7.01	0.71
	รถจักร	Laying Ballast	66.85	m	0.47	57.40%	13.58	599.40	2.66	15.38	1.91
	รถอัดหิน	Tamp Ballast	62.62	m	0.51	62.70%	7.49	835.05	1.02	14.28	0.98
	รถ VaiaCar	spreading	66.85	m	0.51	20.20%	2.85	274.75	0.49	3.26	-
	รวม	-	-	-	-	-	27.85	2,288.97	5.40	45.92	4.18

4.8.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์และอัตราการทำงานเฉลี่ย

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบค่า CO₂ emissions ที่คำนวณผลลัพธ์จาก 3 ส่วน ประกอบด้วย อัตราการทำงานเฉลี่ยจากแบบจำลอง อัตราการทำงานเฉลี่ยจากสนามและการจำลองสถานการณ์ โดย CO₂ emissions ที่ใช้วิธีอัตราการทำงานเฉลี่ย (ปริมาณที่ทำได้/ชม.) คำนวณจากผลคูณของเวลาเฉลี่ย (Operating Time), Emission Factor และ Load Factor ซึ่งระยะเวลาเฉลี่ย คำนวณจากปริมาณงานทั้งหมดต่ออัตราการทำงานเฉลี่ย ส่วนค่า CO₂ emissions จากการจำลองสถานการณ์จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างตามเวลา การจำลองที่ดำเนินไป โดยผลการเปรียบเทียบค่า CO₂ emissions จากวิธีการดังกล่าวสามารถแสดง ได้ดังกราฟในรูปที่ 4.29 จากกราฟพบค่า CO₂ emissions ที่คำนวณด้วยอัตราการทำงานเฉลี่ยจาก แบบจำลองและสนามมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากอัตราการทำงานเฉลี่ยของแต่ละกระบวนการก่อสร้าง มีค่าไม่แตกต่างกันจากการทดสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลอง (Validation) เมื่อนำมาคำนวณ CO₂ emissions จึงส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 4.29 กราฟเปรียบเทียบการคำนวณค่า CO₂ emissions จากอัตราการทำงานเฉลี่ยและการจำลองสถานการณ์

หากพิจารณาในรายละเอียดของเวลาการทำงานเฉลี่ย (Operating Time) ซึ่งประกอบด้วย ช่วงระยะเวลาทำงาน (Working Time) และช่วงระยะเวลาพักหรือระยะเวลาสูญเปล่า (Idle Time) พบค่าการปล่อย CO₂ emissions ที่คำนวณด้วยอัตราการทำงานเฉลี่ยและการจำลองสถานการณ์มีความแตกต่างกัน ซึ่งผลลัพธ์ของการใช้แบบจำลองสถานการณ์สามารถประมาณค่า Gas

Emissions ที่เป็นตัวแทนของเครื่องจักรในกระบวนการทำงานจริงได้ทั้งช่วงเวลาทำงานและเวลารอคอย ทำให้ค่าการปล่อย CO₂ emissions แตกต่างจากการคำนวณด้วยอัตราการทำงานเฉลี่ยซึ่งไม่คำนึงถึงระยะเวลาที่เครื่องจักรมีการรอกอยตามกระบวนการ เนื่องจากขณะเครื่องจักรรอกอยหรือว่างงานจะมีอัตราการปล่อย CO₂ emissions ต่ำกว่าขณะทำงาน ดังนั้นการใช้แบบจำลองสถานการณ์จำลองผลลัพธ์ของ Gas Emissions จะให้รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการทำงานจริงที่มากกว่าการใช้อัตราการทำงานเฉลี่ยคำนวณ

4.9 สรุปการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

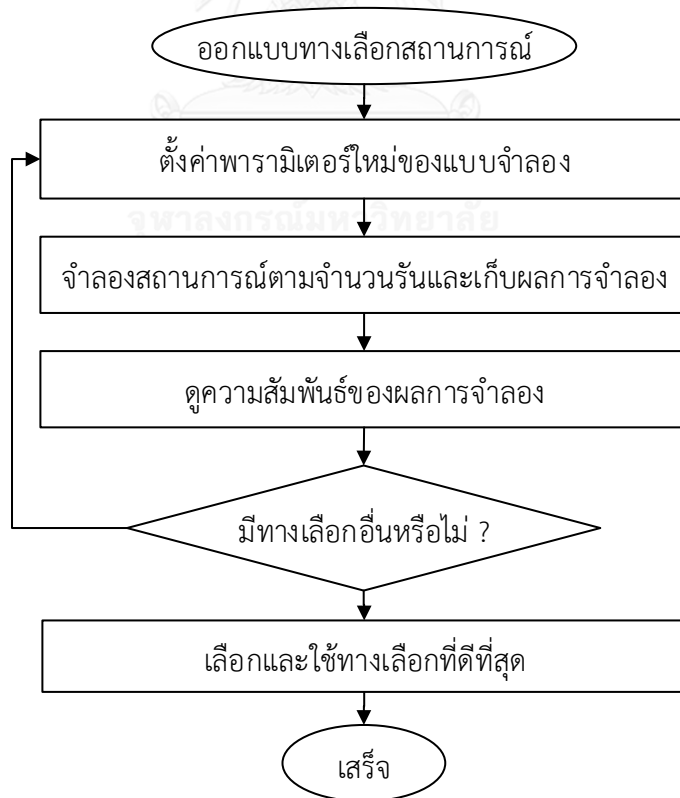
จากการพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (Gas Emissions) ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟประกอบด้วย 4 สถานการณ์ (Scenario) คือ งานคันทางรถไฟ งานหินโรยทางชั้นแรก งานระบบรางและงานสร้างระบบรางให้มั่นคง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องร่วมกับค่า Emission Factor จากฐานข้อมูล NONROAD ค่า Load Factor จากการสำรวจภาคสนาม และสัดส่วน Idle ต่อ Non-Idle CO₂ emissions จากการประยุกต์ใช้พารามิเตอร์เหล่านี้ร่วมกับการจำลองสถานการณ์สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของการประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ระยะเวลาการทำงาน อัตราการใช้งานเครื่องจักร ระยะเวลารอกอย ที่สามารถเป็นตัวแทนของกิจกรรมเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างจริง นอกจากนั้นทรัพยากรสามารถปรับเปลี่ยนได้ภายใต้การจำลองตามความแตกต่างของกิจกรรมที่เกิดจากค่าการสุ่มของรูปแบบการกระจายตัวของเวลาที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

จากผลการจำลองกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟผ่านกรณีศึกษา พบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักรประมาณ 52,923 กิโลกรัมต่อกิโลเมตรโดยในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟมีการปล่อย Gas Emissions ปริมาณมากที่สุดสุดจากกระบวนการทำงานของเครื่องจักร หากพิจารณาเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟรถบรรทุกมีค่าการปล่อย Gas Emissions ในอัตรา 29,394 กิโลกรัมหรือคิดเป็นร้อยละ 56.4 ของปริมาณการปล่อย Gas Emissions ในกระบวนการก่อสร้าง ผลลัพธ์ Gas Emissions ดังกล่าวมีนัยสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานงานเอง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบสถานการณ์ของกระบวนการก่อสร้างที่เหมาะสมเพื่อลดค่าการปล่อย Gas Emissions รวมทั้งเป็นแนวทางปฏิบัติในการก่อสร้างโครงการอื่นๆ ที่มีลักษณะการก่อสร้างใกล้เคียงกับกรณีศึกษา

บทที่ 5

การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

การออกแบบทางเลือกสถานการณ์เพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (Gas Emissions) ในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ เริ่มจากพิจารณาผลการวิเคราะห์พบว่า CO₂ emissions มีสัดส่วนมากที่สุดจากการทำงานของเครื่องจักร ดังนั้นจึงพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิด CO₂ emissions ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาในขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร ค่า Emission Factor และสัดส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor) โดยทางเลือกการลด Gas Emissions งานวิจัยนี้ศึกษาและวิเคราะห์จากการจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ เมื่อทราบค่า Gas Emissions ที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ จากนั้นผู้วิจัยออกแบบสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟเพื่อลดค่า Gas Emissions โดยมีขั้นตอนการวิจัยตามกรอบแนวคิดดังรูปที่ 5.1 นอกจากนั้นผู้วิจัยนำเสนอแนวทางเพิ่มเติมด้านปรับปรุงการดำเนินงานจากการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงานและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมนอกเหนือจากงานวิจัยในด้านเครื่องจักรและเทคโนโลยีเพื่อเป็นแนวคิดการวิจัยในอนาคต



รูปที่ 5.1 แนวคิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

5.1 การออกแบบทางเลือกของสถานการณ์ (Alternative Scenarios Designs)

ทางเลือกของระบบหรือการออกแบบกระบวนการดำเนินการก่อสร้างสามารถปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้นโดยการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการนั้นๆ ได้แก่ วิธีการทำงานที่เหมาะสม การปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน และการจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงานและสัมพันธ์กับทรัพยากรอื่นๆ อย่างไรก็ตามการออกแบบทางเลือกที่พิจารณาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ ที่มีความเหมาะสมจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยที่ประกอบด้วย ต้นทุนเครื่องจักร (Cost) อัตราการทำงาน (Production) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยคิดเป็น CO₂ emissions หรือ คาร์บอนเครดิต ดังนั้นจึงต้องมีการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองของกรณีที่มีทางเลือกสถานการณ์ ซึ่งมีอัตราการทำงานสูง มีระยะเวลาการรอคอยหรือเวลาสูญเปล่าน้อย มีต้นทุนเครื่องจักรที่เหมาะสม รวมทั้งพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยค่า CO₂ emissions ที่ต่ำหรือสมดุลกับด้านอื่นๆ ซึ่งในส่วนของต้นทุนอาจพิจารณาเป็นต้นทุนรวมด้วย (ต้นทุนเครื่องจักรและคาร์บอนเครดิต) โดยมีรายละเอียดดังนี้

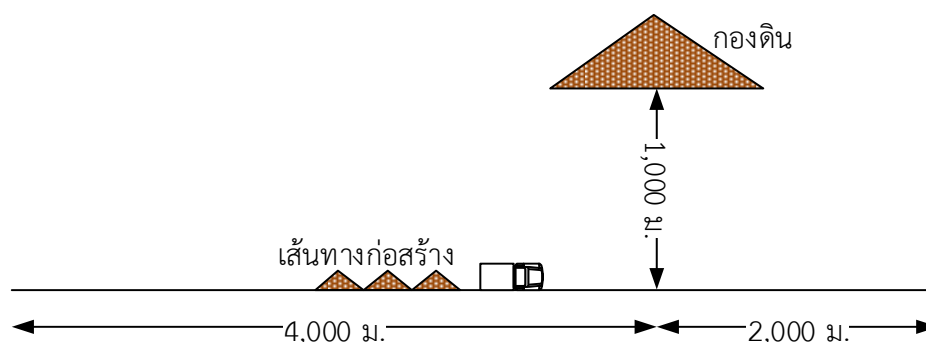
ต้นทุนต่อหน่วยของการก่อสร้างในส่วนของเครื่องจักร (ต้นทุน/ งานที่ทำได้)

อัตราการทำงานของเครื่องจักร (งานที่ทำได้/ ชม.)

ค่า Gas Emissions ต่อหน่วยของการก่อสร้างในส่วนของเครื่องจักร (กก.CO₂/ งานที่ทำได้)

5.2 แนวทางการลดค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ (Track Bed)

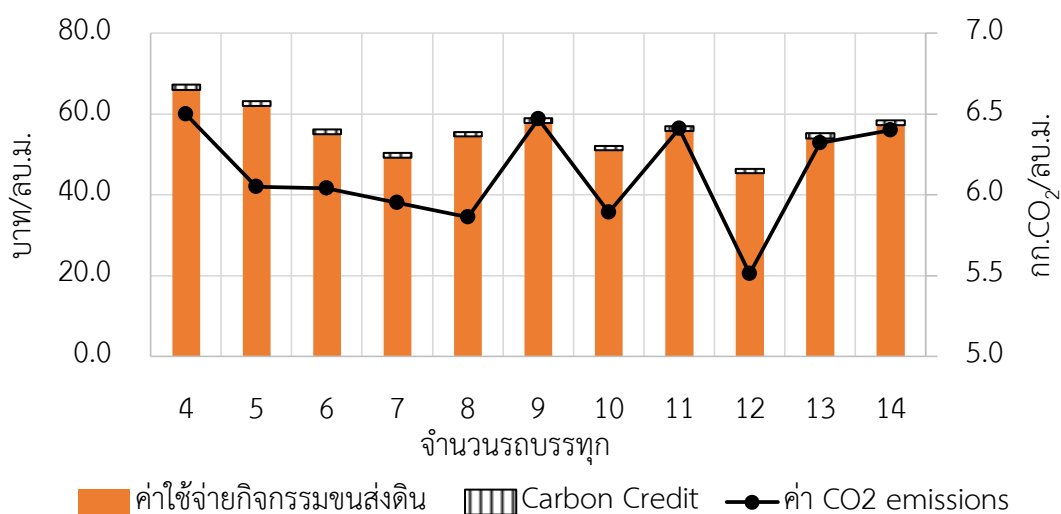
จากผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสถานการณ์ในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ พบว่างานคันทางรถไฟมีค่า CO₂ emissions จากการทำงานของรถบรรทุกประมาณ 33.60 % ของปริมาณทั้งหมด จึงนำมาสู่แนวทางในการออกแบบทางเลือกของกระบวนการก่อสร้าง เช่น การปรับทรัพยากร การปรับปรุงขั้นตอน การลดเวลาที่สูญเปล่า (Idle) การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน เป็นต้น เมื่อพิจารณารถบรรทุกที่ใช้ในกระบวนการขนส่งดิน กรณีศึกษาใช้รถบรรทุก 5 คัน รถตัก 1 คัน ผลการวิเคราะห์พบว่าการรื้อขอรถบรรทุกไปทำกิจกรรมอื่นนอกเหนือจากกระบวนการขนดิน ซึ่งทำให้ไม่เกิดผลผลิตในกระบวนการนี้ โดยมีความล่าช้าระหว่างกระบวนการขนส่งดินเกิดขึ้นประมาณ 40 % ของจำนวนเที่ยวการขนดิน ซึ่งกระบวนการขนส่งดินมีแหล่งดินห่างจากแนวเส้นทางก่อสร้างคันทางรถไฟไกลที่สุด 1 กิโลเมตร โดยสามารถแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 5.2



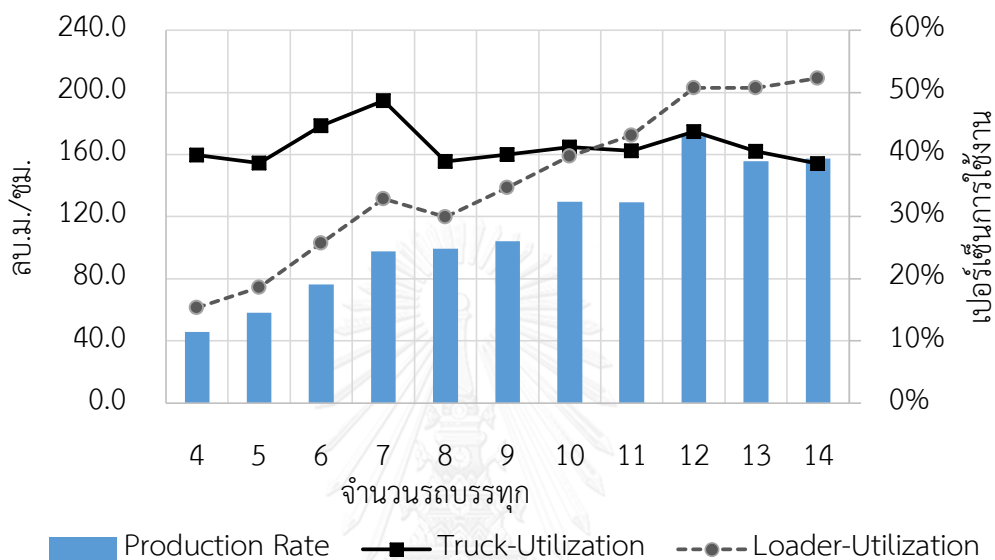
รูปที่ 5.2 เส้นทางขนส่งดินจากที่เก็บกองไปยังสถานที่ก่อสร้าง

5.2.1 การปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการขนส่งดินในปัจจุบัน

การจำลองสถานการณ์เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์และทดลองรันแบบจำลองเพื่อออกแบบทางเลือกการใช้เครื่องจักรที่ส่งผลต่อการลด CO₂ emissions โดยพิจารณาทรัพยากรที่เหมาะสมกับปริมาณงานและสัมพันธ์กับทรัพยากรอื่นๆ ในกระบวนการขนส่งดิน ซึ่งงานวิจัยต้องการจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมกับปริมาณดินและรถชุด-ตัก จากการจำลองสถานการณ์จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในกระบวนการทำงานสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 5.3 จากกราฟการปรับจำนวนรถบรรทุกมีการเปลี่ยนแปลงและสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ประกอบด้วยต้นทุนเครื่องจักร/หน่วย และค่า CO₂ emissions/หน่วย หรือคิดเป็นคาร์บอนเครดิต โดยกรณีศึกษาใช้รถบรรทุก 5 คันที่มีความล่าช้าระหว่างกระบวนการทำงานเกิดขึ้นประมาณ 40 % ของจำนวนเที่ยวขนส่งดิน จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนและค่า CO₂ emissions มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันระหว่างต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ลบ.ม.) และ CO₂ emissions ต่อหน่วย (กก.CO₂/ลบ.ม.) จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมกับการทำงานในกรณีศึกษาประมาณ 12 คัน รถตัก 1 คัน

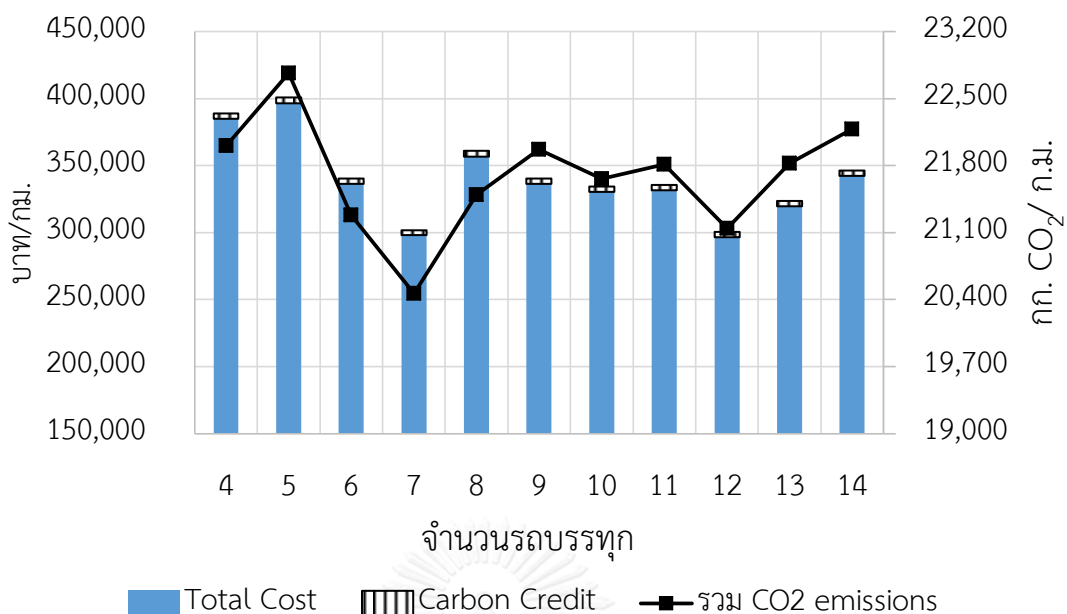
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO₂ emissions

เมื่อพิจารณาอัตราการขนส่งสินค้าของรถบรรทุกมีการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามจำนวนรถบรรทุก แต่อัตราการใช้งานของรถบรรทุกจะค่อยๆ คงที่เมื่อจำนวนมากกว่า 8 คัน ส่วนอัตราการใช้น้ำมันรถดีเซลค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามจำนวนรถบรรทุกและเริ่มคงที่ดังกราฟแสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้ง 2 กราฟข้างต้นจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในกระบวนการขนถ่ายของกรณีศึกษาประมาณ 12 คัน ซึ่งมีอัตราการทำงานของรถบรรทุกในระดับสูง ค่าต้นทุนรวมอยู่ในระดับต่ำ



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลผลิตและเปอร์เซ็นต์การใช้งานเครื่องจักร

เมื่อพิจารณากระบวนการขนส่งสินค้าในภาพรวมสำหรับระยะทางก่อสร้างคันทางรถไฟหน่วยกิโลเมตร ทำให้เห็นความแตกต่างของการปรับจำนวนรถบรรทุกมากขึ้น โดยการพิจารณาต้นทุนเครื่องจักร ค่าคาร์บอนเครดิตและค่าการปล่อย CO₂ emissions ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันดังรูปที่ 5.5 จากกราฟจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมกับการทำงานในกรณีศึกษาประมาณ 12 คัน รถดีเซล 1 คัน เนื่องจากมีต้นทุนรวมและค่า CO₂ emission ต่ำ หากในกระบวนการขนส่งสินค้าปรับจำนวนรถบรรทุกเป็น 12 คันสามารถลดค่า CO₂ emission ได้ประมาณ 1,619 กิโลกรัม หรือคิดเป็นคาร์บอนเครดิต 308 บาท รวมทั้งต้นทุนเครื่องจักรลดลง 100,033 บาทต่อระยะทางการก่อสร้างเป็นกิโลเมตร เมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ใช้รถบรรทุก 5 คัน และรถดีเซล 1 คัน

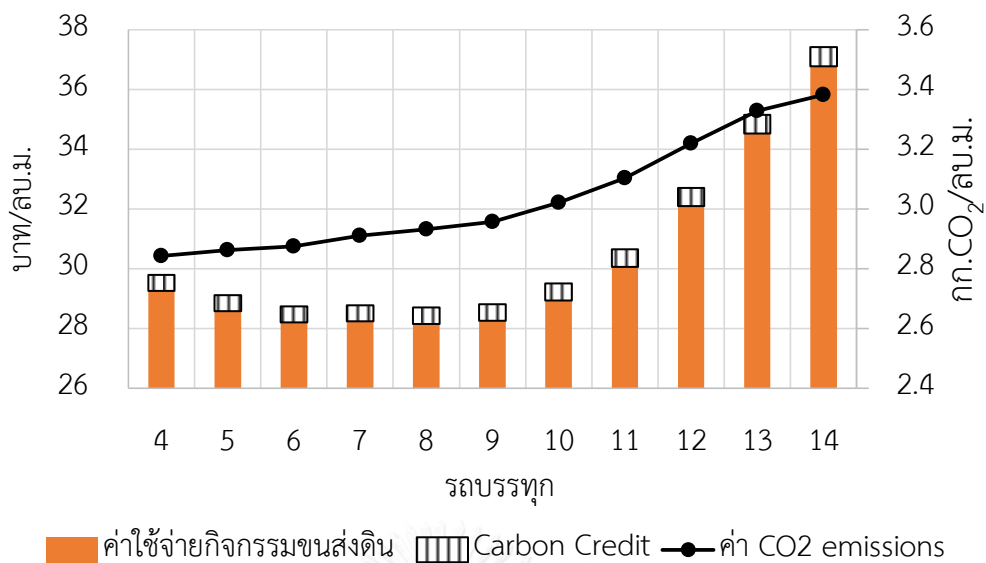


รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO₂ emissions ต่อกิโลเมตร

5.2.2 การพิจารณาปรับลดความล่าช้าจำนวนเที่ยวการขนส่งดินของรถบรรทุก

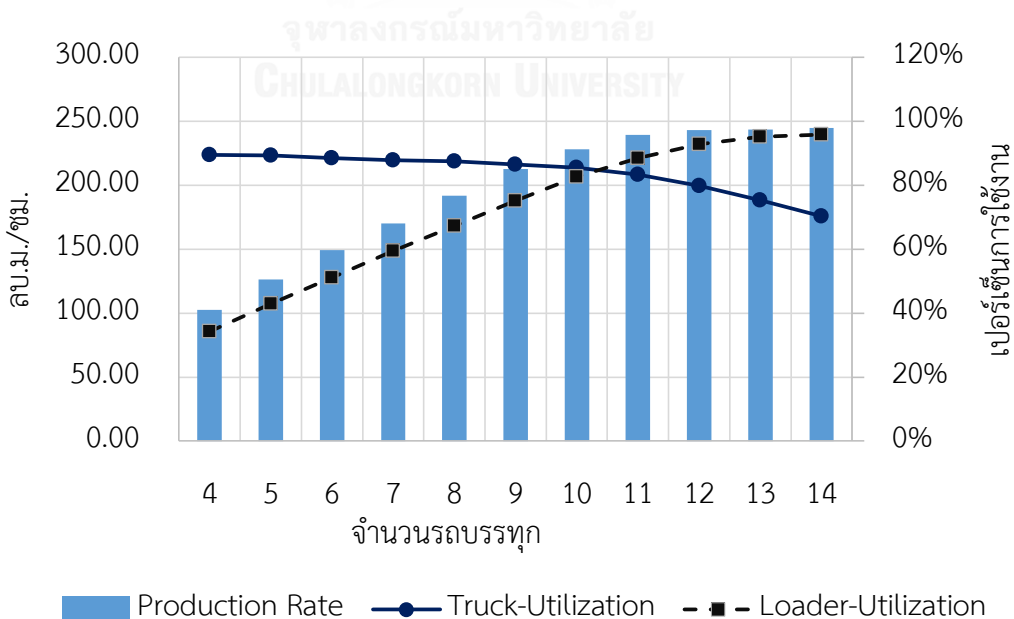
เมื่อพิจารณากระบวนการทำงานของรถบรรทุกจากกรณีศึกษาที่มีการล่าช้าประมาณ 40 % ของจำนวนเที่ยวดิน จึงนำมาสู่การออกแบบกระบวนการของรถบรรทุกโดยการจำลองสถานการณ์เพื่อลดความล่าช้าของรถบรรทุกที่ใช้สำหรับกระบวนการขนส่งดินลง คือให้รถบรรทุกทำงานเต็มประสิทธิภาพในกระบวนการขนส่งดิน

พิจารณารถบรรทุกที่ใช้ปัจจุบัน 5 คัน โดยการวางแผนให้ทำงานทำงานเต็มประสิทธิภาพและไม่มี การล่าช้าที่เกิดในกระบวนการขนส่งดิน ที่คำนึงถึงความสามารถในการทำงาน (Performance) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (CO₂ emissions) รวมทั้งต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรและคาร์บอน โดยผลการจำลองสถานการณ์สามารถแสดงดังรูปที่ 5.6 จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและคาร์บอนเครดิตและค่า CO₂ emissions ตามจำนวนรถบรรทุก เมื่อรถบรรทุกเพิ่มขึ้นต้นทุนรวมต่อหน่วยการขนส่งดินของจำนวนรถบรรทุกระหว่าง 5-10 คันจะมีค่าใกล้เคียงกันและจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อจำนวนรถบรรทุกมากกว่า 10 คัน รวมทั้งค่า CO₂ emissions มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงจำเป็นต้องพิจารณาค่าอัตราการทำงานรวมทั้งอัตราการใช้งานของเครื่องจักรในกระบวนการร่วมด้วย



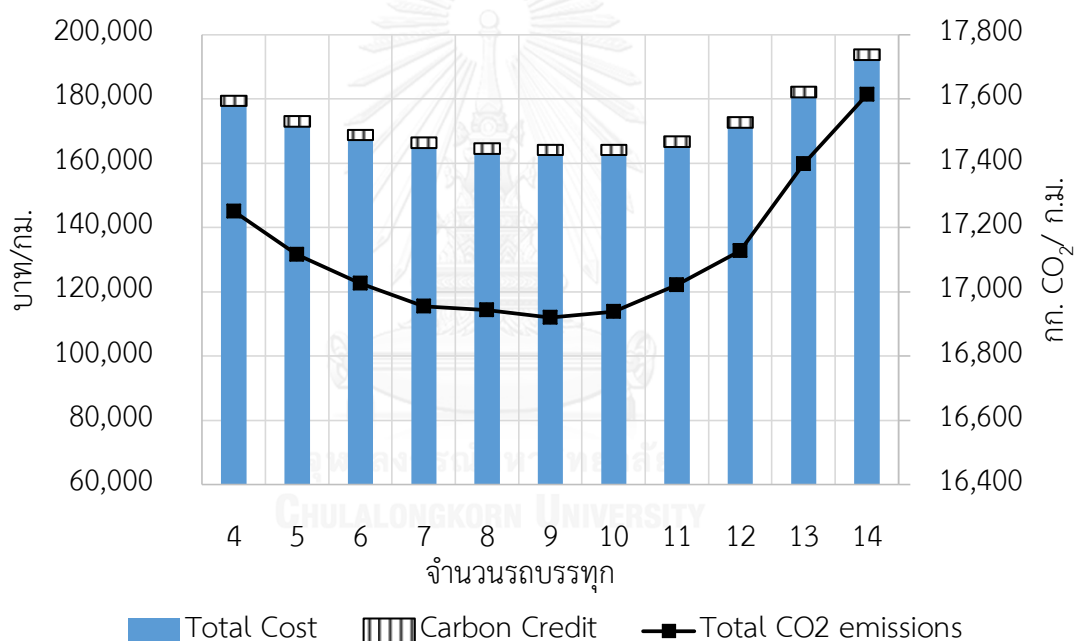
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO₂ emissions

เมื่อพิจารณาอัตราการทำงานของรถบรรทุกมีแนวโน้มอัตราที่เพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่เมื่อจำนวนรถบรรทุกมากกว่า 11 คัน เนื่องจากรถบรรทุกเริ่มมีการรอคอยการทำงานของรถตัก ซึ่งทำให้อัตราการใช้งานรถตักเพิ่มขึ้นจนเต็มประสิทธิภาพการทำงาน ในขณะที่เดียวกันอัตราการใช้งานรถบรรทุกเริ่มมีแนวโน้มลดลงชัดเจนเมื่อจำนวนรถบรรทุกมากกว่า 10 คันดังแสดงในรูปที่ 5.7 ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากทั้ง 2 กราฟข้างต้นจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 9-11 คัน ซึ่งมีต้นทุนรวมในระดับต่ำ อัตราการทำงานและค่า CO₂ emissions มีระดับที่เหมาะสม



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลิตและเปอร์เซ็นต์การใช้งานเครื่องจักร

เมื่อพิจารณากระบวนการขนส่งดินในภาพรวมสำหรับระยะทางก่อสร้างคันทางรถไฟหน่วย กิโลเมตร ทำให้เห็นความแตกต่างของการปรับจำนวนรถบรรทุกมากขึ้น โดยการพิจารณาต้นทุนเครื่องจักร ค่าคาร์บอนเครดิตและค่าการปล่อย CO₂ emissions ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 5.8 จากกราฟต้นทุนต่อหน่วย (บาท/กม.) และ CO₂ emissions ต่อหน่วย (กก.CO₂/กม.) จำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมกับการทำงานในกรณีศึกษาเมื่อลดความล่าช้าประมาณ 8-10 คัน โดยมีรถดัก 1 คัน หากในกระบวนการขนส่งดินปรับจำนวนรถบรรทุกให้เหมาะสมเป็น 10 คัน เนื่องจากมีต้นทุนและค่า CO₂ emissions ในระดับต่ำรวมทั้งมีค่าอัตราการทำงานสูง สามารถลดค่า CO₂ emission ได้ประมาณ 177 กิโลกรัม หรือคิดเป็นคาร์บอนเครดิต 34 บาท รวมทั้งต้นทุนเครื่องจักรลดลง 8,863 บาทต่อระยะทางการก่อสร้าง 1 กิโลเมตร สำหรับกรณีไม่มีการล่าช้าของจำนวนเที่ยวการขนส่งดินและปรับจำนวนทรัพยากรให้เหมาะสม



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและต้นทุน CO₂ emissions ต่อกิโลเมตร

จากทั้ง 2 กรณี คือ รถบรรทุกเกิดการล่าช้าในการขนส่งดิน 40 % เนื่องจากมีการร้องขอไปทำกิจกรรมอื่นๆ และกรณีไม่มีความล่าช้าโดยเครื่องจักรทำงานในกระบวนการจนแล้วเสร็จ เมื่อนำทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกัน (ไม่พิจารณาผลผลิตที่ได้จากการไปทำกิจกรรมอื่นเนื่องจากไม่เกิดงานที่กระบวนการปัจจุบัน) และหากลองเทียบคาร์บอนที่เกิดขึ้นเป็นราคา “คาร์บอนเครดิต” เพื่อสะดวกต่อการเปรียบเทียบ โดยที่ปัจจุบันราคาซื้อขายคาร์บอน 0.19 บาทต่อ กก. (4.98 ยูโร/ตัน CO₂ และ 37.98 บาท/ยูโร อ้างอิงจาก (www.investing.com 2017)) สามารถสรุปต้นทุนเครื่องจักรและต้นทุน CO₂ emissions ของรถบรรทุกพร้อมกับรถดัก 1 คัน ได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ต้นทุนที่ลดได้จากการปรับปรุงการทำงานของรถบรรทุกต่อกิโลเมตร

รถบรรทุก	กรณีล่าช้า 40%		ไม่มีการล่าช้า		ส่วนต่างที่ลดได้		
	Emissions (กก.CO ₂)	ต้นทุน (บาท)	Emissions (กก.CO ₂)	ต้นทุน (บาท)	Emissions (กก.CO ₂)	ต้นทุน (บาท)	คาร์บอนเครดิต (บาท)
4	22,008.28	384,787	17,250.86	177,783	4,757	207,004	904
5	22,763.55	396,682	17,116.18	171,393	5,647	225,289	1,073
6	21,280.61	336,500	17,026.72	167,194	4,254	169,306	808
7	20,463.60	297,991	16,955.46	164,758	3,508	133,233	667
8	21,496.06	356,819	16,943.04	162,938	4,553	193,881	865
9	21,971.15	336,358	16,919.86	162,498	5,051	173,861	960
10	21,660.80	330,323	16,939.26	162,530	4,722	167,793	897
11	21,812.04	331,499	17,021.86	165,065	4,790	166,434	910
12	21,144.62	296,649	17,128.32	171,058	4,016	125,591	763
13	21,824.28	319,451	17,397.50	180,545	4,427	138,906	841
14	22,178.53	342,253	17,613.66	192,060	4,565	150,193	867

1) จากตารางเมื่อพิจารณาที่รถบรรทุก 5 คัน หากไม่มีการล่าช้าของการขนส่งดินสามารถลดต้นทุนเครื่องจักร 225,289 บาท/กม. และค่า CO₂ emissions/หน่วย 5,647 กก./กม. เทียบเป็นคาร์บอนเครดิตได้ 1,073 บาท/กม. สำหรับกิจกรรมการขุดดิน โดยรวมสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 0.46% ของค่าก่อสร้าง (44,606,415 บาท/กม.)

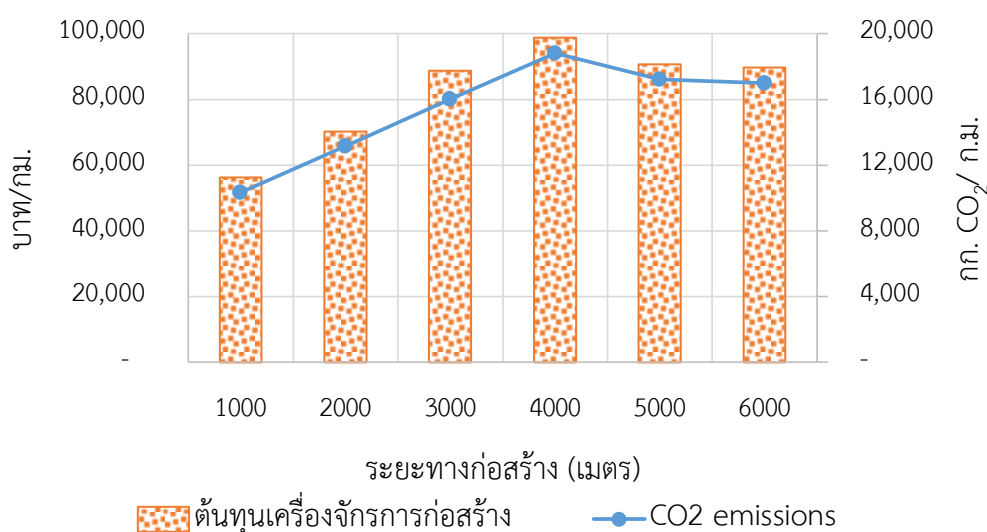
2) หากพิจารณาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสม (เลือกรถบรรทุก 10 คัน รถตัก 1 คัน) และไม่มีการล่าช้าของกระบวนการขนส่งดินเนื่องจากการร้องขอรถบรรทุกไปกิจกรรมอื่น สามารถลดต้นทุนเครื่องจักรได้ 234,152 บาท (396,682-162,530) และต้นทุน CO₂ emission เทียบเป็นคาร์บอนเครดิตได้ 1,107 บาท สำหรับกิจกรรมการขุดดิน รวมทั้งสามารถลดต้นทุนได้ 0.52% ของค่าก่อสร้าง (44,606,415 บาท/กม.)

ทั้งนี้ในการทำงานจริงหากมีการเพิ่มจำนวนรถบรรทุก จำเป็นต้องบริหารจัดการไม่ให้รถบรรทุกว่างงานเพื่อเป็นการลดต้นทุน หรือในกิจกรรมการขนส่งดินหากเครื่องจักรมีจำนวนจำกัด จำเป็นต้องมีการร้องขอไปทำกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรของผู้รับเหมาก่อสร้าง

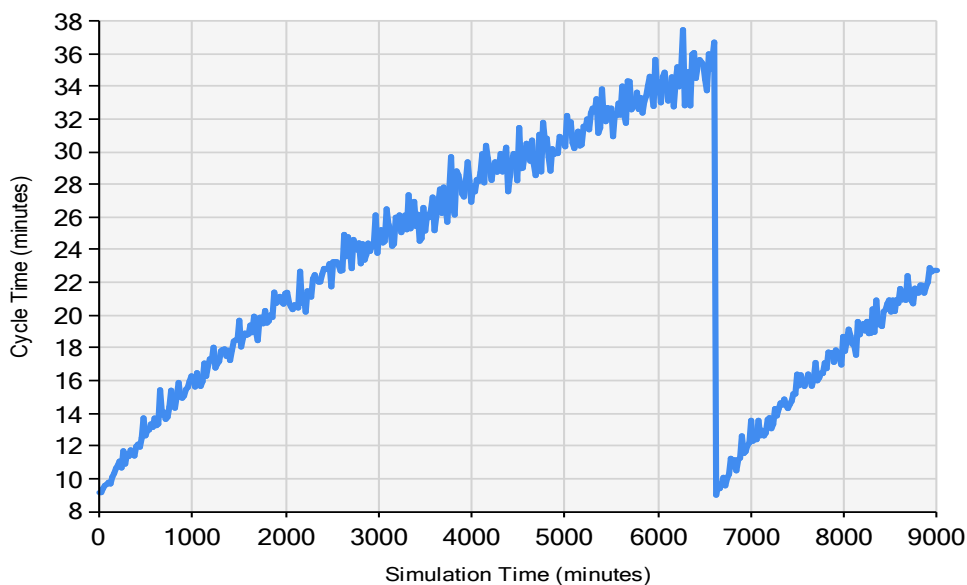
ในกรณีนี้หากพิจารณากระบวนการให้มีความเหมาะสมกับการทำงานและลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการโดยไม่ปรับจำนวนเครื่องจักรจำเป็นต้องให้รถบรรทุกที่มีอยู่ปัจจุบัน (5 คัน) ทำงานให้เต็มประสิทธิภาพ แต่ยังคงมีข้อจำกัดคือไม่ได้เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการ

5.2.3 พิจารณาภาพรวมของโครงการ

พิจารณาการขนส่งดินทั้งโครงการตลอดระยะทางประมาณ 6 กิโลเมตร กองดินห่างจากจากแนวเส้นทางการก่อสร้างประมาณ 1 กิโลเมตร สามารถจำลองสถานการณ์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า CO₂ emissions และต้นทุนของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นเป็นค่าเฉลี่ยสะสมต่อระยะทางการก่อสร้างเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของวิธีการก่อสร้างและแนวทางการลดค่า Gas Emissions แสดงดังกราฟในรูปที่ 5.9 จากกราฟเมื่อระยะทางการก่อสร้างเพิ่มขึ้นระยะห่างจากกองดินที่ขนส่งก็จะมากขึ้นส่งผลให้รอบระยะเวลาการขนส่งดิน (Cycle Time) เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.10 ด้วยเหตุนี้ทำให้ต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO₂ emissions เพิ่มขึ้น ดังนั้นการจัดตำแหน่งกองดินจึงส่งผลสำคัญต่อค่า Gas Emissions ซึ่งแนวทางการปรับปรุงสามารถกำหนดระยะห่างของแหล่งดินโดยจำกัดค่า CO₂ emissions และต้นทุนการก่อสร้างส่วนของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นตามเกณฑ์ที่ผู้ปฏิบัติสามารถยอมรับได้



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนของเครื่องจักรและค่า CO₂ emissions ตามระยะทางก่อสร้าง



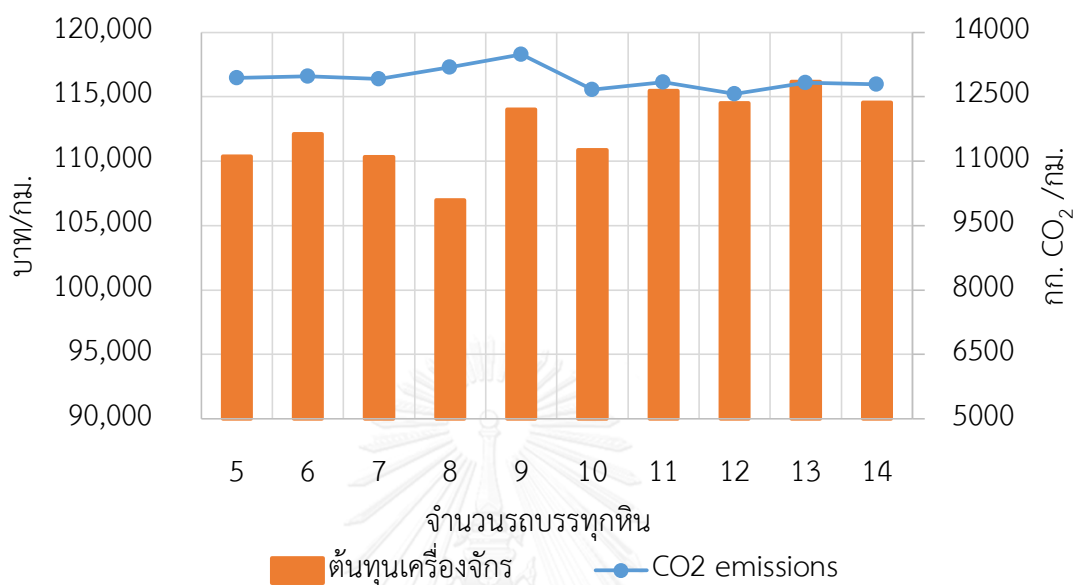
รูปที่ 5.10 รอบเวลาการทำงานของรถบรรทุก (นาที) เมื่อระยะทางการก่อสร้างเพิ่ม

ในงานคั่นทางรถไฟซึ่งมีการเกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (Gas Emissions) ปริมาณมากที่สุดจากกระบวนการขนส่งดินของรถบรรทุก ซึ่งจากผลการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการลด Gas Emissions สามารถทำได้โดย กรณีแรกยอมให้มีการล่าช้าสามารถปรับจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมกับปริมาณงานและรถชุด-ตักที่จำนวน 12 คัน กรณีที่สอง ลดความล่าช้าหรือการให้รถบรรทุกทำงานในกิจกรรมขนส่งดินให้เต็มประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้จำนวนรถบรรทุก 5 คันเท่าเดิมและหากปรับให้เหมาะสมกับปริมาณงานและและรถชุด-ตักที่จำนวน 10 คัน นอกจากนั้นแนวทางการกำหนดตำแหน่งของแหล่งดินให้เหมาะสมกับระยะทางการก่อสร้างก็สามารถลด Gas Emissions ในกระบวนการขนส่งดินได้

5.3 แนวทางการลดค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างขั้นหินโรยทาง

ผลการจำลอง Gas Emissions ในกระบวนการก่อสร้างหินโรยทางขั้นแรกพบว่ารถบรรทุกมีค่าการเกิด CO₂ emissions สูง จึงนำมาสู่แนวทางการวิเคราะห์โดยประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเครื่องจักรและค่า CO₂ emissions ต่อหน่วยการก่อสร้าง โดยการจำลองปรับจำนวนรถบรรทุกให้เหมาะสมกับปริมาณงานและรถชุด-ตักเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ โดยในกรณีศึกษามีรถบรรทุก 8 คันและรถตัก 1 คัน ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5.11 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจำนวนรถบรรทุกปัจจุบัน 8 คันมีความเหมาะสมกับกระบวนการ เนื่องจากเมื่อมีจำนวนมากขึ้นจะเกิดการรอคอยบริเวณตำแหน่งปูหิน ซึ่งจากการเก็บข้อมูลรถบรรทุกสามารถเข้าไปในตำแหน่งเทหินและปูหินได้เพียงคันเดียวเท่านั้นจึงมีการรอคอย การปรับปรุงกระบวนการสามารถลด CO₂ emissions ได้โดยจำเป็นต้องเพิ่มตำแหน่งเทและปูหิน แต่

อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติงานจริงจำเป็นต้องพิจารณาทรัพยากรที่มีอยู่และสภาพการทำงาน ซึ่งในกรณีนี้มีข้อจำกัดในการปรับปรุง ได้แก่ ทางเข้าตำแหน่งปูหิน และจำนวนอุปกรณ์ปูหิน (Ballast Paver)



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้งานกับค่า CO₂ emissions

5.4 แนวทางการลดค่า Emissions ในกระบวนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างงานระบบราง

งานก่อสร้างระบบรางมีส่วนการเกิด CO₂ emissions ประมาณ 6.60 % หรือประมาณ 3,410 กิโลกรัมต่อกิโลเมตร จากการทำงานของรถเครน รถแบ็คโฮและรถ VaiaCar ในกระบวนการนี้สามารถปรับอัตราการใช้งานของเครื่องจักรให้มากขึ้น โดยเพิ่มจำนวนหมอนที่วางในแต่ละครั้งซึ่งปกติวางหมอนชุดละ 8 ท่อน โดยต้องทำอุปกรณ์ยกพิเศษหรือใช้หัวจับไฮดรอลิกที่สามารถปรับระยะหมอนได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.12 ส่วนงานวางรางจำเป็นต้องใช้รถแบ็คโฮ 2 คันเพื่อความสะดวกในการยกและนำไปติดตั้ง ซึ่งจากการพิจารณาสามารถออกแบบกระบวนการก่อสร้างและปรับวิธีการทำงานที่เหมาะสมเพื่อลด Gas Emissions ได้ดังนี้

5.4.1 การเพิ่มจำนวนรถวางหมอน

การเพิ่มจำนวนรถวางหมอนและจำนวนแรงงานในกระบวนการทำงาน ซึ่งในกระบวนการวางหมอนจำเป็นต้องมีแรงงานเข้ามาเกี่ยวข้องเนื่องจากเครื่องจักรยังมีข้อจำกัดไม่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง ในกรณีนี้หากเพิ่มรถวางหมอน (รถ VaiaCar) เป็น 2 คัน โดยการจำลองสถานการณ์สามารถเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5.2 เมื่อเพิ่มรถวางหมอน ต้นทุนเครื่องจักรต่อหน่วยกิโลเมตรเพิ่มขึ้น 0.7% และค่า CO₂ emission เพิ่มขึ้น 18% แต่การทำงานแล้วเสร็จเร็ว

กว่าเดิมประมาณ 2 เท่า จึงขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจในการจัดการโดยพิจารณาทั้งด้านอัตราทำงาน ค่าใช้จ่ายและ CO₂ emission ทั้งนี้หากมีระยะทางก่อสร้างที่ยาวการเพิ่มจำนวนรถวางหมอนก็จะเหมาะสมมากขึ้น

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบ CO₂ emission การปรับเพิ่มจำนวนเครื่องจักรวางหมอน

จำนวน (คัน)	อัตราการทำงาน (เมตร/ชม.)	เวลา (ชม.)	ต้นทุน (บาท/ชม.)	ต้นทุนก่อสร้าง (บาท/กม.)	CO ₂ emissions (กก.CO ₂ /กม.)
1	42.4	23.6	647.7	15,265	1,252.0
2	84.2	11.9	1,295.4	15,375	1,528.6



ก. อุปกรณ์วางหมอนในกรณีศึกษา

ข. หัวจับหมอนไฮดรอลิก (จาก ITD)

รูปที่ 5.12 การลด CO₂ emissions โดยปรับขนาดอุปกรณ์ยึดจับหมอน

5.4.2 ทางเลือกการปรับวิธีการทำงาน

กระบวนการวางระบบรางเป็นการนำหมอนและรางมาวางแล้วทำการประกอบเข้าด้วยกัน โดยใช้เครื่องจักรขั้วตัน จากกรณีศึกษาหากประกอบหมอนและรางเข้าด้วยกันให้เสร็จก่อนแล้วจึงนำมาติดตั้งบริเวณสถานที่ก่อสร้างสามารถช่วยลดการเกิด CO₂ emissions ได้โดยการใช้รถเครน 2 คันในการติดตั้งระบบราง (Track Panel) ซึ่งจากการจำลองสถานการณ์สามารถลดค่าการเกิด CO₂ emission ได้ประมาณ 1,590 กิโลกรัมต่อกิโลเมตร หรือประมาณ 44 % รวมทั้งสามารถลดต้นทุนเครื่องจักรได้ประมาณ 3,890 บาท แต่อย่างไรก็ตามจากการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงาน วิธีนี้มีข้อจำกัดในด้านพื้นที่การทำงานและการขนส่งยุ่งยากกว่าการประกอบติดตั้งในสนามรวมทั้งในกระบวนการก่อสร้างที่มีลักษณะเป็นระยะทางยาวมีความยุ่งยาก

5.5 แนวทางการลดค่า Emission ในกระบวนการก่อสร้างกระบวนการก่อสร้างงานระบบรางให้ได้ระดับ

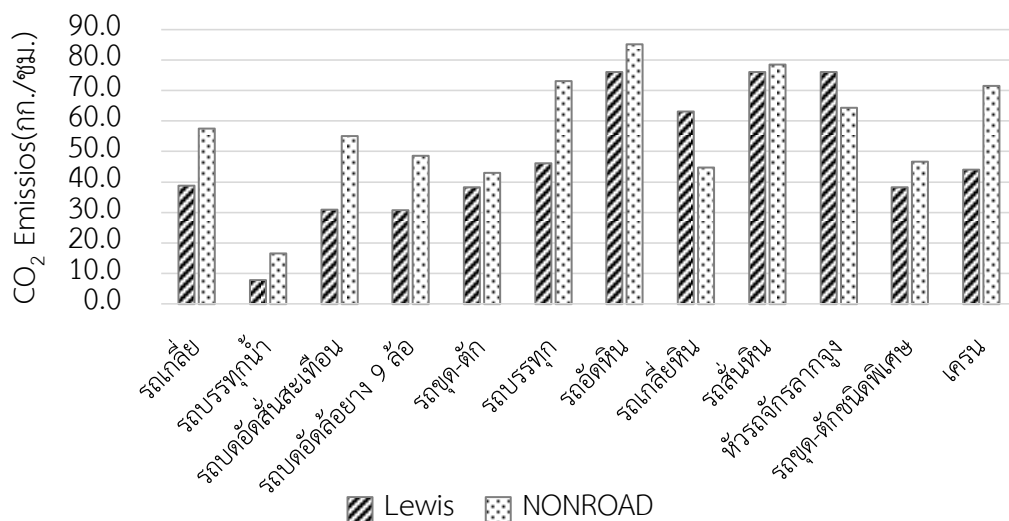
กระบวนการก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ (Rail Settling) เป็นกระบวนการลงหินโรยทาง ยกราง-อัดหินปรับระดับสันรางมีสัดส่วน CO₂ emission ประมาณ 4.48 % จากการทำงานของรถแบ็คโฮ รถจักรลากจูง รถ VaiaCar รถอัดหินและรถเกลี่ยหิน ในกระบวนการนี้สามารถปรับอัตราการใช้งานของเครื่องจักรให้มากขึ้น โดยการปรับการทำงานให้มีความต่อเนื่อง ลดระยะเวลาสูญเปล่า ส่วนการปรับจำนวนเครื่องจักรทำได้ยากเนื่องจากเป็นเครื่องจักรเฉพาะและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อวันสูง นอกจากนี้ยังสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของเครื่องจักร ได้แก่ การใช้รถแบ็คโฮ ตักหินอาจเปลี่ยนเป็นใช้รถตักหินแทนซึ่งได้ความจุของ Bucket ในการตักมากกว่า นอกจากนี้สามารถกำหนดตำแหน่งกองหินโรยทางให้สามารถขนส่งไปยังตำแหน่งลงหินให้เหมาะสม

5.6 ทางเลือกด้านอื่นๆ นอกเหนือจากงานวิจัย

ในส่วนทางเลือกด้านอื่นๆ นอกเหนือจากงานวิจัยที่ไม่ใช่การวิเคราะห์จากการจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ผู้วิจัยนำเสนอโดยรวบรวมจากการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมงานในกรณีศึกษา การสืบค้นข้อมูลจากงานวิจัย เพื่อนำเสนอแนวทางประกอบการตัดสินใจในอนาคต

5.6.1 ทางเลือกด้านปรับปรุงการดำเนินงาน

การใช้งานเครื่องจักรในการก่อสร้างทางรถไฟผู้วิจัยได้รวบรวมค่า Load Factor จากการทำงานของเครื่องจักรแต่ละชนิดเพื่อนำมาปรับปรุงค่า Load Factor จากการใช้วิธี NONROAD ที่มีค่า Load Factor คงที่ขึ้นอยู่กับกลุ่มเครื่องจักร นอกจากนี้ได้รวบรวมข้อมูลการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉลี่ยของเครื่องจักรแต่ละชนิดซึ่งอ่านค่าจากเครื่องนับชั่วโมงการทำงาน (Hour Meter) ของเครื่องจักรแล้วนำมาแปลงค่าเป็น CO₂ emissions จากสมการของ Lewis ซึ่งผลของค่า CO₂ emissions ของเครื่องจักรแต่ละชนิด เมื่อเปรียบเทียบผลของค่า Emission Factor จากทั้ง 2 กรณีสามารถแสดงผลดังรูปที่ 5.13 ซึ่งจากกราฟค่า CO₂ emissions จาก NONROAD ที่คำนึงถึงค่า Load Factor ตามสภาวะการทำงานจริง มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย CO₂ emissions จากการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย ดังนั้นค่า Load Factor จึงส่งผลต่อการลด CO₂ emissions



รูปที่ 5.13 ค่า CO₂ emission จากวิธี Lewis และ NONROAD

จากเหตุผลดังกล่าวแนวทางการลด Gas Emissions จึงต้องพิจารณาที่สัดส่วนกำลังของเครื่องจักรที่ใช้ดำเนินงานซึ่งประกอบด้วย 1) ประสิทธิภาพการทำงานที่คิดจากสภาพการทำงาน (Operating Condition) และการซ่อมบำรุงเครื่องจักร 2) สัดส่วนกำลังของเครื่องจักร (Throttle) ตามสัดส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานตามสภาพต่างๆ ซึ่งเป็นอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน จากตัวแปรเหล่านี้ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์วิศวกรเครื่องกลและพนักงานขับเครื่องจักรจากโครงการกรณีศึกษาถึงแนวทางในการลด Gas Emissions จากตัวแปรดังกล่าวและการใช้น้ำมันโดยสรุปผลได้ดังนี้

1. การเลือกเช่าเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง เพื่อให้ทำงานเสร็จเร็วขึ้นและราคาเช่ารถคุ้มค่า
2. การเลือกใช้เครื่องจักรให้เหมาะสมกับประเภทงานเพื่อให้เครื่องจักรใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพ เช่น ไม่นำรถชุด-ตักไปยกของอื่นๆ การใช้รถอัดดินให้เหมาะสมกับประเภทของดิน เป็นต้น
3. ความชำนาญของพนักงานขับเครื่องจักร คนขับที่มีประสบการณ์จะสามารถใช้เครื่องจักรให้เกิดประสิทธิภาพ รวมทั้งการใช้สัดส่วนกำลังของเครื่องจักรได้เหมาะสมตามสภาวะการทำงาน ดังนั้นการอบรมพนักงานขับเครื่องจักรจึงมีส่วนให้สามารถลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษได้
4. ตรวจสอบขั้นตอนการดำเนินงานของเครื่องจักรงานก่อสร้าง วางแผนการทำงาน เช่น ลดเวลาสูญเปล่า (Idle Time) เพื่อลดการสิ้นเปลืองน้ำมัน ดังนั้นเมื่อไม่มีการใช้งานจึงต้องดับเครื่องหยุดการทำงาน

5. การดูแลและซ่อมบำรุงเครื่องจักร หมั่นดูแลตรวจสอบเครื่องยนต์ เข้าซ่อมบำรุงตามวาระ ตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่น

5.6.2 การเลือกเครื่องยนต์ที่มีค่ามลพิษต่ำ (Low Emission Engine)

การเลือกใช้เครื่องจักรและเทคโนโลยีชนิดใหม่ ผู้วิจัยได้รวบรวมจากคู่มือรายการจำเพาะของเครื่องจักร (Equipment Specification) รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำเสนอเป็นแนวทางเลือกสำหรับการลดมลพิษซึ่งประกอบด้วย CO, HC, NO_x, และ PM ที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องยนต์ จากคู่มือรายการจำเพาะทางเทคนิคและการใช้งานของ KOMATSU ได้มีคำแนะนำการพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ขั้นสูงตามข้อกำหนดการปล่อยมลพิษ (Komatsu 2013)

1) ระบบหัวฉีดแรงดันสูง (High-Pressure Injection System) น้ำมันมีการฉีดพ่นที่ละเอียดขึ้นเพื่อป้องกันการเพิ่มของ NO_x และ PM โดยเพิ่มเพิ่มแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในกระบอกสูบ (Cylinder)

2) เครื่องระบายความร้อน (Air-Cooled After Cooler) อุณหภูมิอากาศถ่ายเทโดยเทอร์โบชาร์จจะลดลงโดยส่วนใหญ่อากาศเย็นลงหลังจากตัวทำความเย็น (Cooler) สามารถระบายความร้อนที่สูงเพื่อป้องกันการเกิด NO_x ที่เกิดจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงและเพิ่มความหนาแน่นของอากาศในไอดีเพื่อลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

3) รูปร่างที่เหมาะสมของห้องเผาไหม้โดยการใช้ลูกสูบ (Piston) FCD ที่มีความแข็งแรงสูงและความเร็วในการไหลของอากาศจะเพิ่มขึ้นโดยการปรับปรุงรูปทรงของช่องรับอากาศ ซึ่งการใช้เทคโนโลยีนี้ทำให้อนุภาคหรือควันดำ (PM) ลดลง

5.3.2 ทางเลือกด้านเทคโนโลยี

การใช้เทคโนโลยีสำหรับควบคุมเครื่องจักรเพื่อลดการปล่อย Gas Emissions เช่น 1.) เครื่องฟอกไอเสียเชิงเร่งปฏิกิริยาเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซมลพิษโดยให้ทำปฏิกิริยาทางเคมีด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาให้เป็นก๊าซที่ไม่เป็นพิษซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยารีดักชัน (Catalytic Reduction) และแบบตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Diesel Oxidation Catalysts) เพื่อลดแก๊สพิษ HC, CO 2.) ระบบระบายอากาศห้องข้อเหวี่ยงแบบปิด (Closed Crankcase Ventilation Systems) 3.) การหมุนเวียนก๊าซไอเสีย (Exhaust Gas Recirculation) (Lewis, Rasdorf et al. 2009) โดยในประเทศไทยพบว่าเครื่องฟอกไอเสียเชิงเร่งปฏิกิริยามีการใช้ท่อแคทตาไลติก ซึ่งเป็นทางเลือกในการลดมลพิษสำหรับเครื่องจักรโดยเฉพาะรถบรรทุกในงานก่อสร้าง ซึ่งปัจจุบันระบบดังกล่าวได้มีการพัฒนาเพื่อให้มีประสิทธิภาพขึ้น

กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟมีค่าการเกิดมลพิษจากการจำลองประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 165 กก. ไฮโดรคาร์บอน (HC) 37 กก. ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) 522 กก. และ สารมลพิษอนุภาค (PM) 60 กก. หากสามารถลดมลพิษเหล่านี้ได้จะช่วยให้อากาศแวดล้อมและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานดีขึ้น

5.3.2 ทางเลือกด้านเชื้อเพลิง

ผลของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษสำหรับเชื้อเพลิงทางเลือกเมื่อใช้กับเครื่องจักรกลงานก่อสร้าง เช่น ไบโอดีเซล (Biodiesel) ซึ่งจากงานวิจัยของ (Frey, Rasdorf et al. 2008) พบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องจักรงานก่อสร้างมีนัยสำคัญต่อการลด CO, HC, PM การเปลี่ยนไปใช้ไบโอดีเซล (B20) โดยการลดน้ำมันดีเซลลง 10% เพื่อใช้ไบโอดีเซลแทนสามารถลด CO₂ emission ได้ 1% ของการปล่อยทั้งหมดและหากเปลี่ยนไปใช้ไบโอดีเซล (B100) 10% สามารถลด CO₂ emission ได้ประมาณ 5 % ของการปล่อยทั้งหมด (Truitt 2009) ซึ่งในกรณีศึกษาถนนทุกในงานก่อสร้างคันทาง จำนวน 5 คัน มีการใช้งานรวม 51 ชม. ต่อการก่อสร้าง 1 กิโลเมตร เมื่อคือน้ำมันดีเซลที่ใช้ในอัตรา 17.5 ลิตร/ชม. จะได้น้ำมันดีเซลรวม 4,438 ลิตร ซึ่งหากถนนทุกเปลี่ยนไปใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 สามารถลด CO₂ emission ได้ 1% คือ ลดได้ 175 กิโลกรัม ทั้งนี้การใช้น้ำมันไบโอดีเซล B20 จำเป็นต้องศึกษาผลกระทบต่อกำลังของเครื่องยนต์และความคุ้มค่าในด้านอื่นๆ ด้วย

5.7 สรุปทางเลือกในการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ

การลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟสามารถวิเคราะห์จากการจำลองสถานการณ์ ประกอบด้วยวิธีการทำงานที่เหมาะสม ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน และ จัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.7.1 พิจารณาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ

1) งานก่อสร้างคันทางรถไฟสามารถหาค่าที่เหมาะสมของรถบรรทุกสำหรับกระบวนการโดยพิจารณาจาก อัตราการทำงาน (ปริมาณงานที่ทำได้ /ชม.) ต้นทุนเครื่องจักร (บาท/ปริมาณงานที่ทำได้) และค่า CO₂ emissions (กก.CO₂ /ปริมาณงานที่ทำได้) หรือคิดเป็นคาร์บอนเครดิต นำผลการจำลองเปรียบเทียบต้นทุนการดำเนินงานของเครื่องจักรและค่า CO₂ emissions ต่อปริมาณงาน พบว่าการจัดจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมและทำงานเต็มประสิทธิภาพโดยไม่มีการล่าช้าสามารถช่วยให้ลดค่า CO₂ emissions รวมทั้งต้นทุนเครื่องจักรได้ ในกรณีศึกษาสามารถใช้รถบรรทุก 5 คันโดยให้ทำงานเต็มประสิทธิภาพ หรือการลดความล่าช้าพร้อมทั้งปรับเพิ่มจำนวนรถบรรทุกตกให้เหมาะสมกับ

ปริมาณงานและรถชุด-ตัก เป็น 10 คัน เพื่อให้มีค่าที่เหมาะสมสมดุระหว่างต้นทุนรวม จำนวนรถบรรทุกและรถตักรวมทั้งลดค่า CO₂ emissions

2) งานก่อสร้างระบบรางมีแนวทางการลดคือปรับจำนวนรถวางหมอนให้เหมาะสม จัดทำอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มปริมาณการวางหมอนได้ โดยหากเพิ่มรถวางหมอนเป็น 2 คันจะทำให้อัตราการทำงานเร็วขึ้น แต่ต้นทุนเครื่องจักรจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.7 % และ CO₂ emissions เพิ่มประมาณ 18% หากทำการปรับจึงต้องพิจารณาถึงระยะทางที่เหมาะสม

5.7.2 พิจารณาวិธีการทำงานที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน

1) การกำหนดตำแหน่งแหล่งดินและกองหินโรยทางที่เหมาะสมกับระยะทางการขนส่งรวมทั้งระยะทางการก่อสร้างสามารถลด CO₂ emissions ได้ ซึ่งหากเป็นการก่อสร้างที่มีระยะทางยาวต้องกำหนดค่าที่ยอมรับได้ของ Gas Emissions และต้นทุนที่เกิดขึ้นในกระบวนการเพื่อกำหนดแหล่งวัสดุดังกล่าวให้ครอบคลุมและเหมาะสมกับระยะทางก่อสร้าง

2) การปรับเปลี่ยนวิธีในงานติดตั้งระบบรางโดยประกอบหมอนและรางรวมกันก่อนและนำไปติดตั้งให้มีลักษณะเป็นแผง (Track Panel) ซึ่งสามารถลด CO₂ emissions ได้ประมาณ 44% รวมทั้งต้นทุนของเครื่องจักรลงประมาณ 26% ต่อระยะทางการก่อสร้าง 1 กิโลเมตร แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดด้านการขนส่งและพื้นที่ทำงาน

แนวทางการลดเหล่านี้ได้จากการออกแบบกระบวนการก่อสร้างในแบบจำลองสถานการณ์ให้มีความเหมาะสมทั้งด้านสิ่งแวดล้อม (Emissions) ต้นทุนเรื่องจักร (Cost) และอัตราการทำงาน (Production) ซึ่งสามารถนำแนวทางและแนวคิดไปประยุกต์ใช้กับโครงการในอนาคตได้ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้มีแรงจูงใจต่อผู้รับจ้างก่อสร้างพร้อมทั้งมีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนจำเป็นต้องมีการเขียนเป็นข้อกำหนดของการก่อสร้างที่ชัดเจนและทำการวิจัยต่อไปในอนาคต

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการก่อสร้างทางรถไฟมีลักษณะเฉพาะและมีการใช้เครื่องจักรในการดำเนินงาน ซึ่งเครื่องจักรงานก่อสร้างโดยทั่วไปใช้น้ำมันดีเซลเป็นหลักจึงนำไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂) และมลพิษ (CO, HC, NO_x, PM) ซึ่งก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ (Gas Emissions) ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน

กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟมีความซับซ้อนและไม่แน่นอนเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่มีการใช้ทรัพยากรเป็นหลัก ซึ่งกระบวนการในการก่อสร้างทางรถไฟประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ กระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟและกระบวนการก่อสร้างระบบราง 1) การก่อสร้างคันทางรถไฟ ประกอบด้วยกระบวนการขนส่งดินและกระบวนการเกลี่ยบดอัดดินแน่น โดยการดำเนินงานมีการใช้เครื่องจักรในกระบวนการ ได้แก่ รถขุด-ตัก รถบรรทุก รถเกลี่ย รถสเปรย์น้ำและรถบดอัดดิน 2) การก่อสร้างระบบราง ประกอบด้วยกระบวนการลงหินโรยทางชั้นแรก กระบวนการวางหมอนและราง กระบวนการลงหินโรยทางชั้นที่สอง และกระบวนการยกราง-อัดหิน ปรับระดับราง โดยการดำเนินงานมีการใช้เครื่องจักรในกระบวนการ ได้แก่ รถขุด-ตัก รถบรรทุก รถบดอัด รถ VaiaCar รถเครน หัวรถจักร รถเกลี่ยหินและรถอัดหิน ดังนั้นการเพิ่มความแม่นยำในการประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจึงสามารถใช้แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) ร่วมกับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรได้แก่ ค่า Emissions Factor และค่า Load Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิดเพื่อประมาณค่าในแต่ละกระบวนการก่อสร้าง และเมื่อทราบค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษของแต่ละกระบวนการก่อสร้าง ผู้วางแผนงานสามารถนำแบบจำลองสถานการณ์ไปประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบกระบวนการก่อสร้างและวิเคราะห์หาแนวทางการลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษได้

โดยงานวิจัยนี้แบ่งผลการศึกษาออกเป็น 1) การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ 2) การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

6.1 สรุปผลการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟประกอบด้วย 4 สถานการณ์ ได้แก่ กระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ กระบวนการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรก กระบวนการก่อสร้างระบบราง และกระบวนการก่อสร้าง

ระบบรางให้ได้ระดับ โดยขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนแรก การเตรียมข้อมูลสำหรับประมาณค่า Gas Emission ได้แก่ กรอบแนวคิดการจำลองสถานการณ์ ข้อมูลกิจกรรมการทำงาน ข้อมูลเครื่องจักร ข้อมูลค่า Emissions Factor และ Load Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด ส่วนที่สอง การสร้างแบบจำลอง Discrete-Event Simulation ร่วมกับข้อมูลที่เตรียมไว้ในส่วนแรก ส่วนที่สาม การวิเคราะห์แบบจำลองค่า Emissions และการตรวจสอบผลลัพธ์

6.1.1 พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลอง

พารามิเตอร์นำเข้าแบบจำลองได้จากการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บจากหน่วยงานก่อสร้างประกอบด้วย 1) ระยะเวลาในขั้นตอนการทำกิจกรรม (Duration) ที่ได้วิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลและระบุการกระจายตัวทางทฤษฎีที่เหมาะสมของตัวอย่างข้อมูล รวมทั้งทดสอบ Goodness of Fit พบว่ามี การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform) เช่น กิจกรรมปูหิน กิจกรรมลงหินโรยทาง เป็นต้น การกระจายตัวแบบปกติ (Normal) เช่น กิจกรรมขนส่งดิน กิจกรรมเกลี่ยดิน เป็นต้น การกระจายตัวแบบสามเหลี่ยม (Triangular) เช่น กิจกรรมตักดิน กิจกรรมยกหมอน เป็นต้น การกระจายตัวแบบเบตา (Beta) เช่น กิจกรรมผสมดิน กิจกรรมยกหมอน เป็นต้น และการกระจายตัวแบบกัมเบล (Gumbel) ได้แก่ กิจกรรมบดอัดดิน 2) ค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรคำนวณโดย วิธี NONROAD สำหรับเครื่องจักรทุกชนิดในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ นอกจากนั้นงานวิจัยเลือกใช้วิธี Lewis คำนวณ Idle CO₂ emissions เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในช่วงเวลารอคอย 3) Load Factor ในงานวิจัยนี้คำนวณจากสัดส่วนกำลังของเครื่องจักรที่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตามสภาพการทำงาน (Conditions) ซึ่งในงานวิจัยแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ต่ำ ปานกลาง และสูง นอกจากนั้นข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการนำเข้าแบบจำลองได้จากการเก็บข้อมูลในกรณีศึกษา โดยข้อมูลเหล่านี้นำไปใช้เป็นพารามิเตอร์นำเข้าในการจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในแต่ละกระบวนการก่อสร้าง

6.1.2 กระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ

การจำลองกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ ประกอบด้วยกิจกรรมขนย้ายดินและกิจกรรมเกลี่ย-บดอัดดิน ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองโดยใช้หลักการ Discrete Event Simulation ประกอบด้วย Entity แทนด้วยปริมาณดินในการทำกิจกรรมขนย้ายและเกลี่ย-บดอัด Activity แทนขั้นตอนการทำงานต่างๆ ที่ได้เก็บตัวอย่างเวลาการทำงาน Event แทนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรม เช่น ตักดินเสร็จ เกลี่ยดินเสร็จ เป็นต้น Resource แทนเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้าง ได้แก่ รถขุด-ตัก รถบรรทุก รถเกลี่ย รถสเปรย์น้ำและรถบดอัดดิน โดยแบบจำลองสถานการณ์สร้าง

ด้วยโปรแกรม Symphony.NET ซึ่งผลการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการงานเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองและสนาม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของอัตราการขนส่งดินอยู่ระหว่าง 538 ± 16 ลบ.ม. อัตราการเกลี่ยดินอยู่ระหว่าง 470 ± 9 ลบ.ม. และอัตราการบดอัดดินอยู่ระหว่าง 470 ± 14 ลบ.ม. เมื่อรันแบบจำลองในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ พบค่า Emissions 34,210 กก./กม. ซึ่งประกอบด้วย CO 83 กก. CO₂ 33,789 กก. HC 19 กก. NO_x 285 กก. และ PM 33 กก. โดยรถบรรทุกมีค่า CO₂ emissions มากที่สุดประมาณ 17,500 กก./กม.

6.1.3 กระบวนการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรก

การจำลองกระบวนการก่อสร้างหินโรยทางชั้นแรกประกอบด้วยกิจกรรมปูหินและบดอัดโรยทางซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองโดยใช้หลักการ Discrete Event Simulation ประกอบด้วย Entity แทนด้วยปริมาณหินในกิจกรรมปูหินและบดอัด Activity แทนขั้นตอนการทำงานต่างๆ ที่ได้เก็บตัวอย่างเวลาการทำงาน Event แทนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรม เช่น ตักหินเสร็จ บดอัดหินเสร็จ เป็นต้น Resource แทนเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างได้แก่ รถขุด-ตัก รถบรรทุก รถบดอัดหิน โดยแบบจำลองสถานการณ์สร้างด้วยโปรแกรม Symphony.NET ซึ่งผลการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการงานเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองและสนาม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของอัตราการปูหินอยู่ระหว่าง 260 ± 13 ลบ.ม. และอัตราการบดอัดหินอยู่ระหว่าง 254 ± 14 ลบ.ม. ผลการรันแบบจำลอง ในงานหินโรยทางชั้นแรก มีค่า Emissions 12,848 กก./กม. ซึ่งประกอบด้วย CO 37 กก. CO₂ 12,650 กก. HC 9 กก. NO_x 134 กก. และ PM 19 กก. โดยรถบรรทุกมีค่า CO₂ emissions มากที่สุดประมาณ 11,895 กก./กม.

6.1.4 กระบวนการก่อสร้างระบบราง

การจำลองกระบวนการก่อสร้างระบบราง ประกอบด้วยกิจกรรมวางหมอนและวางรางซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองโดยใช้หลักการ Discrete Event Simulation ประกอบด้วย Entity แทนด้วยจำนวนหมอนและราง Activity แทนขั้นตอนการทำงานต่างๆ ที่ได้เก็บตัวอย่างเวลาการทำงาน Event แทนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรม เช่น หมอนและรางมาถึงที่ก่อสร้าง ติดตั้งระบบรางเสร็จ เป็นต้น Resource แทนเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างได้แก่ รถขุด-ตัก รถเครน รถ VaiaCar แบบจำลองสถานการณ์สร้างด้วยโปรแกรม Symphony.NET ซึ่งผลการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการงานเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองและสนาม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของอัตราการวางหมอนอยู่ระหว่าง

326 ± 2.3 ม. และอัตราการวางอยู่ระหว่าง 200 ± 4.2 ม. ผลการรันแบบจำลอง ในงานระบบราง มีค่า Emissions 3,493 กก./กม. ซึ่งประกอบด้วย CO 17.3 กก. CO₂ 3,410 กก. HC 4 กก. NO_x 57 กก. และ PM 4 กก.

6.1.5 กระบวนการก่อสร้างระบบรางให้ได้ระดับ

การกระบวนการก่อสร้างระบบราง ประกอบด้วยกิจกรรมลงหินโรยทาง เคลี่ยหินโรยทางและยกราง-อัดหินปรับระดับ ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองโดยใช้หลักการ Discrete Event Simulation ประกอบด้วย Entity แทนด้วยตู้โบกี้หินสำหรับลงหินในทางและระยะทางยกราง-อัดหิน Activity แทนขั้นตอนการทำงานต่างๆ ที่ได้เก็บตัวอย่างเวลาการทำงาน Event แทนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรม เช่น เริ่มลงหินโรยทาง การเคลี่ยหินเสร็จ เป็นต้น และ Resource แทนเครื่องจักรในกระบวนการก่อสร้างได้แก่ รถขุด-ตัก หัวรถจักร รถ VaiaCar รถเคลี่ยหินและรถอัดหิน โดยแบบจำลองสถานการณ์สร้างด้วยโปรแกรม Symphony.NET ซึ่งผลการตรวจสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการทำงานเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองและสนาม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของอัตราการลงหินโรยทางอยู่ระหว่าง 536 ± 12 ม. อัตราการเคลี่ยหินและยกราง-อัดหินอยู่ระหว่าง 502 ± 13 ม. ผลการรันแบบจำลองในงานระบบราง มีค่า Emissions 2,372 กก./กม. ซึ่งประกอบด้วย CO 28 กก., CO₂ 2,289 กก., HC 5.4 กก., NO_x 46 กก., และ PM 4.2 กก.

ผลการจำลองสถานการณ์เพื่อประมาณค่า Gas Emissions ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟต่อกิโลเมตร พบการก่อสร้างทางรถไฟเฉลี่ยประมาณ 21 วันต่อกิโลเมตร (ไม่รวมระยะเวลารอยคอยระหว่างแต่ละสถานการณ์) กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟก่อให้เกิด Gas Emissions ที่ประกอบด้วย CO, CO₂, HC, NO_x, และ PM ประมาณ 52,923 กิโลกรัม คันทางรถไฟมีค่ามากที่สุดประมาณร้อยละ 64.64 รองลงมาเป็นงานหินโรยทางร้อยละ 24.28 งานวางระบบรางร้อยละ 6.60 งานยกราง-อัดหินปรับระบบรางร้อยละ 3.94 โดยค่า Gas Emissions จากการทำงานของรถบรรทุกในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟมีค่ามากที่สุดที่ร้อยละ 33.60 ของ Gas Emission ทั้งหมด นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่า Gas Emissions ที่คำนวณจากอัตราการทำงานเฉลี่ยและการจำลองสถานการณ์พบว่ามีความแตกต่างกัน เนื่องจากการจำลองสถานการณ์มีค่า Gas Emissions ที่สะท้อนตามการใช้งานของเครื่องจักร และพิจารณาถึงช่วงเวลาที่มีการรอยคอยหรือสูญเปล่าซึ่งมีค่า Gas Emissions ที่น้อยกว่าในช่วงทำงานดังนั้น ค่าของ Gas Emissions จากการจำลองสถานการณ์ที่นำเสนอในงานวิจัยจึงมีค่าสะท้อนกับการทำงานของเครื่องจักรมากกว่าการทำงานด้วยวิธีการในอดีต

6.2 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ

แนวทางการลด Gas Emissions จากการพิจารณาแบบจำลองสถานการณ์ค่า Gas Emissions ในแต่ละกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟสามารถหาแนวทางการลด Gas Emissions ได้ โดยการออกแบบกระบวนการก่อสร้าง ได้แก่ จำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ วิธีการทำงานที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน โดยพิจารณาความเหมาะสมจากต้นทุนเครื่องจักร (บาท/ปริมาณงานที่ทำได้) ผลผลิตของเครื่องจักร (ปริมาณงานที่ทำได้/ชม.) และด้านสิ่งแวดล้อม (กก.CO₂ emissions /ปริมาณงานที่ทำได้) หรือคิดเป็นคาร์บอนเครดิต

6.2.1 พิจารณาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรอื่นๆ

1) จากผลการพิจารณาของกรณีศึกษาในกระบวนการก่อสร้างคันทางรถไฟ 1 กิโลเมตรพบว่าการขนย้ายดินจำนวนรถบรรทุก 5 คันและรถตัก 1 คันโดยไม่มีการล่าช้า ซึ่งจากเดิมมีความล่าช้า 40% ของจำนวนเที่ยวขนส่งดิน ทำให้กระบวนการมีความเหมาะสมทั้งด้านต้นทุนเครื่องจักรและด้านสิ่งแวดล้อม สามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 0.46% ของค่าก่อสร้างและลด CO₂ emissions ได้ที่เทียบเท่าคาร์บอนเครดิตได้ 1,073 บาท/กม. หากเพิ่มจำนวนรถบรรทุกเป็น 10 คัน เพื่อให้สมดุลระหว่างจำนวนรถบรรทุกและรถตักรวมทั้งปริมาณงานในกระบวนการทำให้สามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 0.52% ของค่าก่อสร้างและลด CO₂ emissions ที่เทียบเท่าคาร์บอนเครดิตได้ 1,107 บาท/กม. นอกจากนี้อัตราการการทำงานเพิ่มขึ้น 170 ลบ.ม./ชม. เมื่อลดการล่าช้าและปรับจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสม

2) งานก่อสร้างระบบรางมีแนวทางการลดคือปรับจำนวนรถวางหมอนให้เหมาะสม จัดทำอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มปริมาณการวางหมอนได้ โดยหากเพิ่มรถวางหมอนเป็น 2 คันจะทำให้การทำงานเร็วขึ้น แต่จะเพิ่มต้นทุนเครื่องจักรประมาณ 0.7 % และ CO₂ emissions ประมาณ 18% ดังนั้นหากทำการปรับจำนวนรถวางหมอนจึงต้องพิจารณาถึงระยะทางที่เหมาะสม

6.2.2 วิธีการทำงานที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน

1) การกำหนดตำแหน่งแหล่งดินที่เหมาะสมกับระยะทางการขนส่งรวมทั้งระยะทางการก่อสร้าง เพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมของระยะทางและค่าการปล่อย CO₂ emissions ที่ครอบคลุมระยะทางก่อสร้าง

2) การปรับเปลี่ยนวิธีการในกระบวนการก่อสร้างระบบรางโดยประกอบหมอนและรางให้มีลักษณะเป็นแผง (Track Panel) ซึ่งสามารถลด CO₂ emissions จากการดำเนินงานเดิมได้ประมาณ 44% รวมทั้งต้นทุนเครื่องจักรลงประมาณ 26% ต่อการก่อสร้าง 1 กิโลเมตร

3) การวางแผนการทำงานโดยเลือกเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมกับงาน เพียงพอและมีประสิทธิภาพ ลดเวลาการรอคอยและการเสียเวลา คัดเลือกพนักงานขับเครื่องจักรและอบรมให้มีความรู้และทักษะในการปฏิบัติงาน จัดการสื่อสารระหว่างไฟร์แมนและคนขับ

การลดก๊าซเรือนเรือนกระจกและมลพิษจากการทำงานในกระบวนการก่อสร้างรถไฟรวมทั้งงานก่อสร้างอื่นๆ สามารถช่วยให้มีสภาวะแวดล้อมที่ดีต่อสุขภาพสำหรับคนงานก่อสร้าง ประชาชนทั่วไปและยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษเหล่านี้ยังเป็นการลดค่าสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงให้กับผู้รับจ้างก่อสร้างด้วย นอกจากนี้ยังตอบโจทย์ความต้องการที่กำลังเกิดขึ้นคือ “การก่อสร้างสีเขียว” หรือ “Green Construction for Infrastructure”

6.3 ข้อจำกัดงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น ถ้ามีข้อมูลค่า Emissions Factor ที่มาจากฐานข้อมูลที่มีความแม่นยำ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มาจากการวัดจากเครื่องจักรโดยตรง โดยในปัจจุบันเริ่มมีการใช้ Portable Emissions Measurement System (PEMS) ที่สามารถใช้ทดสอบแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากเครื่องจักรในขณะดำเนินงาน เช่น เครื่องจักรกลางก่อสร้าง เครื่องรถไฟ เป็นต้น ส่วนค่าสัดส่วนการใช้กำลังของเครื่องจักร (Load Factor) หากมีการแบ่งสัดส่วนให้ละเอียดมากขึ้นและเทียบกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจริงก็จะเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือขึ้น

แบบจำลองสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างทางรถไฟในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในโครงการก่อสร้างทางรถไฟที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกรอบแนวคิดเหตุการณ์ในกระบวนการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามหากมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ซึ่งต้องปรับเปลี่ยนในเทมเพลตที่ผู้วิจัยสร้างสร้างไว้ในโปรแกรม Symphony.NET

กาออกแบบแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในงานวิจัยนี้เน้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์วิเคราะห์แนวทางการลดจากกระบวนการก่อสร้าง ที่ได้จากการปรับจำนวนทรัพยากรให้เหมาะสมกับปริมาณงานและทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวิธีการทำงานที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถหาแนวทางการลดโดยใช้วิธีอื่นๆ ควบคู่ไปด้วย เช่น การใช้น้ำมันทางเลือกไบโอดีเซล การติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลดมลพิษ การอบรมพนักงานขับเครื่องจักร เป็นต้น

6.4 ข้อเสนอแนะการวิจัยในอนาคต

สำหรับการประมาณค่าก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ที่สามารถสะท้อนกระบวนการทำงานจริงและมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ละเอียดมากขึ้นสามารถใช้เป็นฐานในการประเมินก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ เพื่อเป็นข้อกำหนดที่

แน่นอนในการก่อสร้าง เช่น กำหนดในสัญญาก่อสร้าง เป็นมาตรการสำหรับควบคุมในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน เป็นต้น นอกจากนี้แบบจำลองสถานการณ์ยังสามารถใช้ออกแบบสถานการณ์กระบวนการก่อสร้างเพื่อหาแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษในกระบวนการก่อสร้างทางรถไฟ โดยการศึกษาในระดับกระบวนการก่อสร้างทำให้ทราบถึงแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการที่ส่งผลต่อการลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ และยังเป็นผลดีต่อการลดค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิงด้วย อย่างไรก็ตามการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานในอนาคต กระบวนการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างจำเป็นต้องมองแฟคเตอร์ทั้ง 3 ด้าน คือ อัตราการทำงานของเครื่องจักร ต้นทุนเครื่องจักร และต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยในอนาคตสามารถนำข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ ทางเลือกในด้านอื่นๆ ที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกและมลพิษ ได้แก่ การใช้น้ำมันทางเลือกไบโอดีเซล การติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลดมลพิษ การอบรมพนักงานขับเครื่องจักร นำมาศึกษาวิจัยถึงแนวทางที่เหมาะสมรวมทั้งในด้านอื่นๆ ด้วย โดยงานวิจัยในอนาคตสามารถนำต้นทุนทั้ง 3 ด้านที่กล่าวมาแล้วมาวิเคราะห์ถึงแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนในกระบวนการก่อสร้างซึ่งมีการใช้เครื่องจักรกลดำเนินการ เพื่อให้มีแรงจูงใจสำหรับการปฏิบัติของผู้รับจ้างก่อสร้าง และตระหนักถึงแฟคเตอร์ที่สัมพันธ์กันทั้ง 3 ด้านโดยจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยและกำหนดมาตรฐานต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

- Ahn, C., et al. (2010). "Enhanced estimation of air emission from construction operations based on discrete-event simulation." Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Nottingham, UK.
- Ahn, C., et al. (2010). "Lessons Learned from Utilizing Discrete-Event Simulation Modeling for Quantifying Construction Emissions in Pre-Planning Phase." Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference: 3170-3176.
- Ahn, C. R. and S. Lee (2013). "Importance of Operational Efficiency to Achieve Energy Efficiency and Exhaust Emission Reduction of Construction Operations." Journal of Construction Engineering and Management-Asce 139(4): 404-413.
- Apif, M. H. and L. Phil (2013). "Development of productivity based estimating tool for energy and air emissions from earthwork construction activities." Smart and Sustainable Built Environment 2(1): 84-100.
- Banks, J. (2005). Discrete-event system simulation, Upper Saddle River, N.J. : Pearson Prentice Hall, c2005 4th ed.
- Barandica, J. M., et al. (2013). "Applying life cycle thinking to reduce greenhouse gas emissions from road projects." Journal of Cleaner Production 57: 79-91.
- CARB (2010). Overview OFFROAD Model, California Air Resource Board (CARB).
- Chang, B. and A. Kendall (2011). "Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system." Transportation Research Part D: Transport and Environment 16(6): 429-434.
- Chung., C. A. (2004). Input Data Collection and Analysis. Simulation modeling handbook : a practical approach. Boca Raton London New York Washington, D.C., CRC PRESS.
- Diaz, R. and J. G. Behr (2010). Discrete-Event Simulation. Modeling and Simulation Fundamentals, John Wiley & Sons, Inc.: 57-98.

- Frey, H. C., et al. (2008). Comparison of Real-World Emissions of B20 Biodiesel Versus Petroleum Diesel for Selected Nonroad Vehicles and Engine Tiers: 33.
- Fsitaliane (2011). "CO₂ emissions during design and construction." from <http://www.fsitaliane.it/fsi-en/Commitment/Environmental-Commitment/Emissions-and-waste/CO2-emissions-during-design-and-construction>.
- Guggemos, A. A. and A. Horvath (2005). "Decision Support Tool for Environmental Analysis of Commercial Building Structures." Construction Research Congress: 1-11.
- Heidari, B. and L. C. Marr (2015). "Real time emissions from construction equipment compared with model predictions." Journal of the Air & Waste Management Association 65(2): 115-125.
- Hong-xian, L. and L. Zhen (2010). "Implementation of Discrete-Event Simulation (DES) in estimating & analyzing CO₂ emission during earthwork of building construction engineering." 2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering & Engineering Management (IE&EM): 87.
- Hong, J., et al. (2015). "Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: a case study in China." Journal of Cleaner Production 103: 249-259.
- Komatsu (2013). SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK.
- Krezo, S., et al. (2016). "Field investigation and parametric study of greenhouse gas emissions from railway plain-line renewals." Transportation Research Part D: Transport and Environment 42: 77-90.
- Lewis, M. P. (2009). Estimating fuel use and emission rates of nonroad diesel construction equipment performing representative duty cycles. Civil Engineering, North Carolina State University.
- Lewis, P., et al. (2012). "Impact of Engine Idling on Fuel Use and CO₂ Emissions of Nonroad Diesel Construction Equipment." Journal of Management in Engineering 28(1): 31-38.

- Lewis, P., et al. (2009). "Requirements and incentives for reducing construction vehicle emissions and comparison of nonroad diesel engine emissions data sources." Journal of Construction Engineering and Management 135(5): 341-351.
- Likhitrungslip, V. (2015). Construction System Simulation. Analytical Methods in Construction Management.
- Ma, F., et al. (2016). "Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China." Int J Environ Res Public Health 13(3): 351.
- Mielke, R. R. (2010). Statistical Concepts for Discrete Event Simulation. Modeling and Simulation Fundamentals, John Wiley & Sons, Inc.: 25-56.
- Pan, W. (2011). The application of simulation methodologies on estimating gas emissions from construction equipment. Civil and environmental engineering, University of Alberta Doctoral dissertation.
- Sandanayake, M., et al. (2015). "Environmental Emissions of Construction Equipment Usage in Pile Foundation Construction Process—A Case Study." Proceedings of the 19th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate.
- SMAQMD (2016). "Models and Meteorological Data." from <http://www.airquality.org/ceqa/#models>.
- Tang, P., et al. (2013). "Investigating the effect of construction management strategies on project greenhouse gas emissions using interactive simulation." Journal of Cleaner Production 54: 78-88.
- Truitt, P. (2009). Potential for reducing greenhouse gas emissions in the construction sector, U.S. Environmental Protection Agency.
- Urbemis (2007). "Urbemis 9.2 Users Manual." from <http://www.urbemis.com/software/download.html>.
- US.EPA (2005). User's Guide for the Final NONROAD2005 Model. EPA420-R-05-013.

US.EPA (2010). Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling Compression Ignition. EPA-420-R-10-018, U.S. Environmental Protection Agency.

Wang, X., et al. (2015). "Estimation of carbon dioxide emission in highway construction: a case study in southwest region of China." Journal of Cleaner Production 103: 705-714.

WDCGG (2008). Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases, World Data Centre for Greenhouse Gases.

Wei, K.-Y., et al. (2013). "Assessment of CO₂ Emission Reduction in Road Construction Using Recycled Concrete Materials." Chinese Society of Pavement Engineering 6(4).

www.investing.com (2017). "Carbon Emissions Futures Chart - Investing.com." from <https://www.investing.com/commodities/carbon-emissions-streaming-chart>.

Yi, C.-Y., et al. (2016). "Stochastic carbon emission estimation method for construction operation." Journal of Civil Engineering and Management: 1-13.



ภาษาไทย

การรถไฟแห่งประเทศไทย (2558). โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่และทางสายใหม่. วารสารรถไฟสัมพันธ์, การรถไฟแห่งประเทศไทย.

จิรววัฒน์ ดำริห์อนันต์ (2555). "แนวคิดการวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการก่อสร้าง." Thai Journal of Science and Technology 1(2): 69-78.

เจน บุญชื้อ (2554). ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด แฉงไทย.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2016). "ชนิดของก๊าซเรือนกระจก." from <http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=7&s2=16&sub3=sub3>.



ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างแบบสำรวจการเก็บข้อมูลภาคสนาม อัตราการทำงานเครื่องจักรกลงานดิน

แบบสำรวจการเก็บข้อมูลภาคสนามเบื้องต้น : อัตราการทำงานของเครื่องจักรกลงานดิน

โครงการ (Project) :

กม.(STA) :

วันที่(Date) :

ฝนตก(Raining)

แดด (sunny)

ลม(Windy)

มีเมฆ(cloudy)

สภาพพื้นที่ (Physical) :

ทางราบ

ทางโค้ง

อื่นๆ _____

งาน (Task) :

งานสร้างคันทาง (Embankment)

งานเคลื่อนย้ายมวลดิน (Earthwork)

งานอื่นๆ _____

ลักษณะงาน(Feature):

No.	กิจกรรม Activity	ปริมาณ Qty	ระยะทาง KM	เครื่องจักร Machine				Operate (min)												อัตราการทำงาน (hr)	อัตราการใช้ชั่วโมง(Per)	แรงงาน	Remark									
				Name	Model	HP	year	Age	Excavator			Truck			Dozer			Grader						Roller								
										Idling	Moving	Scoop/Dump	Loading	Hauling	Dumping	Return	Waiting	Idling	Forward	Reverse	Blade	Idling	Moving	Blade	Idling	Forward	Reverse					
1																																
2																																
3																																
4																																
5																																
6																																
7																																
8																																
9																																
10																																
11																																

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.4 ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลเวลาของกิจกรรมของเครื่องจักรงานคันทาง

เวลาการทำงานชั้น sub-ballast (นาที)									
ลำดับ	รถเกลี่ยดิน					รถบดอัดดิน			
	ล้มกอง	ผสมและเกลี่ย	ตัดเกรด	หมุน	รวม	บดอัด	บดผิว	หมุน	รวม
1	13.10	10.12	3.43	1-2	28.65	9.92	3.98	2-3	16.90
2	14.62	9.68	3.73	1-2	30.03	9.28	3.35	2-3	15.63
3	13.87	10.90	4.62	1-2	31.38	9.95	3.65	2-3	16.60
4	15.57	10.78	3.68	1-2	32.03	9.97	3.38	2-3	16.35
5	15.08	10.03	3.70	1-2	30.82	8.93	3.20	2-3	15.13
6	12.38	9.45	3.27	1-2	27.10	8.48	5.35	2-3	16.83
7	15.13	10.08	4.52	1-2	31.73	7.17	2.60	2-3	12.77
8	14.42	9.32	4.05	1-2	29.78	7.73	3.38	2-3	14.12
9	14.35	10.45	3.65	1-2	30.45	9.42	3.67	2-3	16.08
10	15.20	10.08	4.07	1-2	31.35	9.75	4.75	2-3	17.50
11	13.00	8.88	4.65	1-2	28.53	9.60	5.85	2-3	18.45
12	13.35	8.92	4.07	1-2	28.33	9.70	3.68	2-3	16.38
13	14.90	9.33	3.65	1-2	29.88	9.30	4.52	2-3	16.82
14	15.38	8.73	4.07	1-2	30.18	9.17	4.47	2-3	16.63
15	14.35	9.13	4.38	1-2	29.87	7.73	4.65	2-3	15.38
16	13.92	8.67	4.03	1-2	28.62	8.88	5.27	2-3	17.15
17	15.38	8.80	4.25	1-2	30.43	8.15	3.50	2-3	14.65
18	15.07	9.73	4.15	1-2	30.95	8.58	3.78	2-3	15.37
19	14.45	10.12	3.80	1-2	30.37	8.50	3.83	2-3	15.33
20	14.53	9.48	3.93	1-2	29.95	9.55	3.98	2-3	16.53
21	13.50	9.23	4.07	1-2	28.80	8.87	2.88	2-3	14.75
22	13.58	8.98	4.87	1-2	29.43	9.18	5.05	2-3	17.23
23	14.95	9.00	4.32	1-2	30.27	9.27	4.10	2-3	16.37
24	15.30	9.50	4.37	1-2	31.17	8.12	3.80	2-3	14.92
25	14.97	9.40	4.87	1-2	31.23	9.40	4.88	2-3	17.28

ตารางที่ ก.5 ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลเวลาของกิจกรรมของเครื่องจักรงานก่อสร้างชั้นหินโรยทาง

เวลาการทำงานชั้นหินโรยทาง หรือ Bottom ballast (นาที)								
ลำดับ	รถบรรทุก-พ่วง 18 ล้อ						รถบดอัดหิน (ไม่เปิดสัน)	
	ตักหิน	ซังน้ำหนัก	ขนส่ง	เข้าเทหิน	ปูหิน	กลับ	บดอัด	หมุน
1	11.98	3-5	135.00	12.02	4-6	92.07	8.82	0.5-1
2	10.30	3-5	116.55	13.07	4-6	82.33	8.35	0.5-1
3	11.75	3-5	113.62	11.98	4-6	103.38	8.37	0.5-1
4	11.30	3-5	101.72	12.97	4-6	93.13	7.95	0.5-1
5	11.38	3-5	91.67	12.95	4-6	80.58	7.60	0.5-1
6	10.55	3-5	91.10	12.48	4-6	82.52	9.88	0.5-1
7	10.02	3-5	96.00	14.20	4-6	83.18	6.65	0.5-1
8	11.62	3-5	104.17	11.35	4-6	87.88	7.62	0.5-1
9	10.23	3-5	108.60	11.23	4-6	103.27	8.03	0.5-1
10	10.40	3-5	99.53	14.20	4-6	90.37	9.20	0.5-1
11	10.40	3-5	115.13	10.18	4-6	98.33	10.15	0.5-1
12	10.62	3-5	100.73	12.57	4-6	99.70	8.12	0.5-1
13	10.13	3-5	114.03	12.72	4-6	102.27	9.02	0.5-1
14	10.93	3-5	110.17	10.62	4-6	96.30	8.80	0.5-1
15	11.05	3-5	111.60	7.78	4-6	101.82	8.93	0.5-1
16	11.78	3-5	121.93	10.13	4-6	94.63	9.62	0.5-1
17	10.67	3-5	119.73	10.17	4-6	91.12	7.93	0.5-1
18	10.22	3-5	113.37	9.45	4-6	87.48	8.08	0.5-1
19	11.75	3-5	103.67	8.67	4-6	85.98	8.02	0.5-1
20	10.72	3-5	100.93	8.02	4-6	79.98	8.33	0.5-1
21	10.38	3-5	108.32	9.27	4-6	79.85	7.10	0.5-1
22	12.52	3-5	115.45	10.70	4-6	82.90	9.32	0.5-1
23	11.73	3-5	107.63	10.08	4-6	79.65	8.28	0.5-1
24	10.47	3-5	112.63	10.55	4-6	79.47	8.20	0.5-1
25	10.42	3-5	107.57	10.03	4-6	80.18	9.07	0.5-1
26	11.67	3-5	113.70	10.10	4-6	84.57		
27	10.10	3-5	111.85	13.73	4-6	75.65		
28	10.47	3-5	115.20	11.55	4-6	76.45		
29	10.38	3-5	100.18	10.32	4-6	75.07		
30	10.02	3-5	98.02	10.98	4-6	77.52		

ตารางที่ ก.6 ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลเวลาของกิจกรรมของเครื่องจักรงานก่อสร้างระบบราง

เวลาการทำงานระบบราง หรือ Track Panel (นาที)								
ลำดับ	VaiaCar+Spreader		เครน 50 ตัน	รถแม็คโฮ 2 คัน				เชื่อมราง
	Unload	Fixing	Unload	เคลื่อนย้าย	วาง	กลับ	รวม	
1	1.42	9.85	4.02	3.77	3.65	2.95	10.37	27-28
2	1.83	10.03	4.55	4.72	3.50	3.07	11.28	27-28
3	2.23	12.78	5.40	2.63	2.85	2.80	8.28	27-28
4	2.80	10.22	5.10	2.35	2.60	2.67	7.62	27-28
5	1.57	10.83	4.25	4.42	2.48	2.65	9.55	27-28
6	1.60	12.97	4.52	3.37	3.45	2.03	8.85	27-28
7	1.83	10.94	5.08	3.62	3.20	2.22	9.03	27-28
8	2.03	11.63	4.63	3.45	3.55	2.48	9.48	27-28
9	2.23	12.44	5.17	3.88	2.88	2.98	9.75	27-28
10	2.33	10.31	4.97	4.37	2.67	2.85	9.88	27-28
11	2.42	11.39	4.57	2.93	3.27	2.02	8.22	27-28
12	2.52	9.89	4.50	4.72	2.82	1.98	9.52	27-28
13	2.57	11.30	5.20	3.87	2.48	2.65	9.00	27-28
14	2.60	10.85	5.38	3.35	3.32	2.05	8.72	27-28
15	2.68	10.89	5.30	3.95	2.82	2.53	9.30	27-28
16	2.73	9.99	5.35	3.35	3.28	2.20	8.83	27-28
17	2.77	12.13	4.68	4.23	2.98	1.97	9.18	27-28
18	1.45	10.31	5.08	4.57	3.47	1.97	10.00	27-28
19	1.58	9.63	5.35	2.85	3.32	2.03	8.20	27-28
20	1.68	11.09	5.68	4.40	2.50	2.63	9.53	27-28
21	1.87	10.34	5.08	3.35	2.48	2.15	7.98	27-28
22	1.98	10.85	5.03	3.52	2.82	2.48	8.82	27-28
23	2.18	10.08	5.08	4.17	3.18	2.42	9.77	27-28
24	2.38	9.53	4.83	3.58	3.55	2.85	9.98	27-28
25	2.42	9.85	5.07	3.78	3.45	2.48	9.72	27-28
26	2.50		5.03	4.05	3.28	1.97	9.30	27-28
27	2.53		4.83	4.20	2.60	2.65	9.45	27-28
28	2.60		4.67	3.83	3.50	2.80	10.13	27-28
29	2.65		4.75	3.88	3.45	2.75	10.08	27-28
30	2.68		4.85	4.33	3.18	2.35	9.87	27-28

ตารางที่ ก.7 ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลเวลาของกิจกรรมของเครื่องจักรงานก่อสร้างระบบรางให้มันคง

เวลาการทำงานยกวาง อัดหิน ต้นแนวรางพร้อมปรับระดับสันราง								
ลำดับ	รถจักรพร้อมโบกี้หิน			รถ Vaiacar		Tamper	Regulator	
	ตักหิน	ลากโบกี้หิน	ลงหินโรยทาง	เกลี่ยหิน	ยกวาง-อัดหิน	ยก-อัด	เกลี่ย	โอบ
1	7.27	วิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ย 250m/min or 15 km/hr และกั้ 300m/min or 18 km/hr	5.00	25.31	1.07	Tamper 7 วินาที/หมอน ; Tamper 6 วินาที/หมอน ; Tamper 5 วินาที/หมอน	18.96	25.31
2	7.26		5.17	24.85	0.90		18.98	24.85
3	7.21		5.17	23.30	0.70		18.86	23.30
4	7.29		5.33	24.75	0.75		19.12	24.75
5	7.20		5.46	22.62	0.80		18.70	22.62
6	6.95		5.16	22.33	0.97		18.03	22.33
7	7.03		5.58	22.36	0.80		18.87	22.36
8	7.22		5.40	22.76	0.75		19.21	22.76
9	7.16		5.16	22.00	0.78		19.15	22.00
10	7.03		5.84	24.62	0.82		18.21	24.62
11	7.15		5.99	21.63	0.72		18.70	21.63
12	7.07		5.79	22.18	0.82		19.07	22.18
13	6.93		5.97	24.11	0.88		18.76	24.11
14	7.30		5.64	25.59	0.72		17.96	25.59
15	6.97		5.36	23.09	0.87		18.00	23.09
16	7.24		5.31	25.45	1.02		19.25	25.45
17	7.16		5.20	25.60	0.87		18.27	25.60
18	7.15		5.73	23.49	0.82		17.89	23.49
19	7.14		5.39	24.03	0.78		18.88	24.03
20	7.13		5.78	25.63	0.98		18.93	25.63
21	7.11		5.52		0.93			
22	7.30		5.69		0.88			
23	7.29		5.01		0.97			
24	7.17		5.70		0.88			
25	7.00		5.71		1.07			
26	6.94				0.90			
27	7.05				0.78			
28	7.03				0.80			
29	7.04				0.97			
30	7.08				0.80			

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลค่าการคำนวณค่า Emission Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด

ลำดับ	เครื่องจักร	MODEL	Year	HP	Tier	Fraction of Pop.	BFSC (lb/hp-hr)	EF _{ss} (g/hp-hr)				Group Load Factors	
								HC	CO	NOx	PM	Cycle	LF
1	รถเกี่ย	Caterpillar/140K	2001	190	1	1	0.37	0.38	0.75	5.58	0.25	Crawler	0.59
2	รถบรรทุกน้ำ	FM 3MLD	1996	240	1	1	0.37	0.31	0.75	5.58	0.25	Crawler	0.59
3	รถบรรทุกสันสะเทือน	Caterpillar/563d	2003	153	1	0.2	0.37	0.34	0.87	5.65	0.28	Crawler	0.59
4	รถบรรทุกถัง 9 ล้อ	KAWASAKI-KR20D	1999	135	1	1	0.37	0.34	0.87	5.65	0.28	Crawler	0.59
5	รถขุด-ตัก	Volvo/EC210BLC	2005	145	1	0.1	0.37	0.34	0.87	5.65	0.28	Excavator	0.59
6	รถบรรทุก	HINO-FM1JMRD	1998	260	1	1	0.37	0.31	0.75	5.58	0.25	Crawler	0.59
8	รถอัดหิน	Presser&theurer 09-16CAT	2001	315	1	0.2	0.37	0.20	1.31	6.02	0.20	Backhoe	0.21
9	รถเกี่ยหิน	Presser&theurer PBR400R	2001	180	1	1	0.37	0.31	0.75	5.58	0.25	Backhoe	0.21
10	รถสันหิน	DGS 62N	2001	275	1	1	0.37	0.31	0.75	5.58	0.25	Backhoe	0.21
11	รถขุด-ตักชนิดพิเศษ	Vaia Car-V704FC/F	2011	173	3	1	0.37	0.18	0.87	2.50	0.25	Backhoe	0.21
12	เครน 50 ตัน	KATO	2007	250	1	0.1	0.37	0.31	0.75	5.58	0.25	Avg.7-cycle	0.43
13	หัวรถจักร	Schoema	1990	260	0	1	0.37	0.68	2.70	8.38	0.40	Backhoe	0.21

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลค่าการคำนวณค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด (ต่อ)

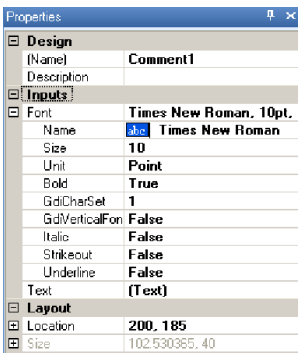
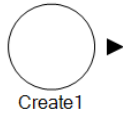
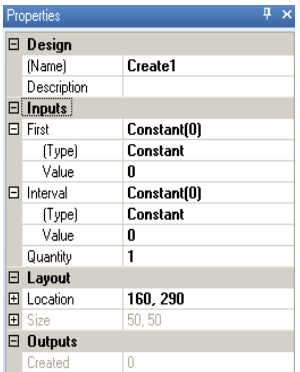
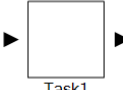
Cycle	TAF				Activity (hrs./ year)	Median Life		Cum.hr	Relative Deterioration Factor(A)				Deterioration Factor (DF)				SP _{Madj}	
	HC	CO	NOx	PM		BSFC	HP		hrs	yrs	HC	CO	NO _x	PM	HC	CO		NO _x
Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.23	1.01	HP6	4667	8	4810	0.04	0.10	0.02	0.47	1.02	1.06	1.01	1.29	0.02
Hi LF	1.05	1.53	1.04	1.47	1.01	HP6	4667	5	32820	0.04	0.10	0.02	0.47	1.15	1.42	1.10	2.96	0.02
Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.23	1.01	HP5	4667	10	9880	0.04	0.10	0.02	0.47	1.04	1.13	1.03	1.59	0.02
Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.23	1.01	HP6	4668	10	12920	0.04	0.10	0.02	0.47	1.06	1.16	1.04	1.77	0.02
Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.23	1.01	HP5	4667	7	12012	0.04	0.10	0.02	0.47	1.05	1.15	1.04	1.72	0.02
Hi LF	1.05	1.53	0.95	1.23	1.01	HP6	4667	5	29538	0.04	0.10	0.02	0.47	1.13	1.38	1.09	2.77	0.02
Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.97	1.18	HP7	7000	35	14145	0.04	0.10	0.02	0.47	1.02	1.04	1.01	1.20	0.02
Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.97	1.18	HP6	4667	24	14145	0.04	0.10	0.02	0.47	1.02	1.06	1.02	1.30	0.02
Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.97	1.18	HP6	4667	24	14145	0.04	0.10	0.02	0.47	1.02	1.06	1.02	1.30	0.02
Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.97	1.18	HP5	4667	24	14145	0.03	0.15	0.01	0.47	1.02	1.10	1.01	1.30	0.02
Steady-state	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	HP6	4667	11	8910	0.04	0.10	0.02	0.47	1.03	1.08	1.02	1.39	0.02
Lo LF	2.29	2.57	1.10	1.97	1.18	HP6	4667	24	24518	0.05	0.19	0.02	0.47	1.05	1.20	1.03	1.52	0.02

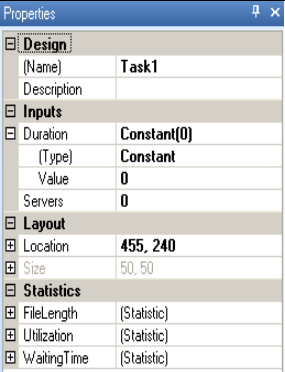
ตารางที่ ก.8 ข้อมูลค่าการคำนวณค่า Emissions Factor ของเครื่องจักรแต่ละชนิด (ต่อ)

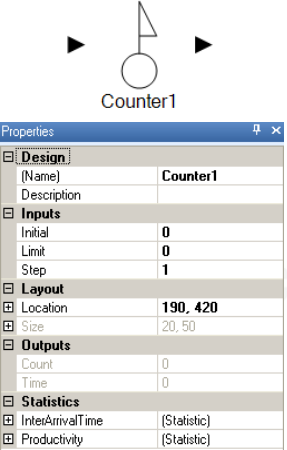
HC	EF _{adj} (g/hp-hr)				EF _{adj} (kg/hr)				EF _{adj} (kg/min)				หมายเหตุ Ratio Idle to Non-Idle CO ₂		
	CO	NO _x	PM	CO ₂	HC	CO	NO _x	PM	CO ₂	HC	CO	NO _x		PM	CO ₂
0.41	1.21	5.38	0.38	529.74	0.08	0.23	1.02	0.07	100.65	0.001	0.004	0.017	0.001	1.678	0.2
0.37	1.62	6.38	1.08	529.86	0.09	0.39	1.53	0.26	127.17	0.001	0.006	0.026	0.004	2.119	0.2
0.37	1.49	5.53	0.53	529.86	0.06	0.23	0.85	0.08	81.07	0.001	0.004	0.014	0.001	1.351	0.2
0.38	1.54	5.58	0.59	529.84	0.05	0.21	0.75	0.08	71.53	0.001	0.003	0.013	0.001	1.192	0.2
0.37	1.53	5.57	0.57	529.85	0.05	0.22	0.81	0.08	76.83	0.001	0.004	0.013	0.001	1.280	0.3
0.37	1.58	5.77	0.84	529.87	0.10	0.41	1.50	0.22	137.77	0.002	0.007	0.025	0.004	2.296	0.2
0.47	3.50	6.68	0.45	529.54	0.15	1.10	2.11	0.14	166.81	0.002	0.018	0.035	0.002	2.780	0.3
0.72	2.04	6.23	0.63	528.74	0.13	0.37	1.12	0.11	95.17	0.002	0.006	0.019	0.002	1.586	0.3
0.72	2.04	6.23	0.63	528.74	0.20	0.56	1.71	0.17	145.40	0.003	0.009	0.029	0.003	2.423	0.3
0.43	2.44	2.76	0.63	529.68	0.07	0.42	0.48	0.11	91.63	0.001	0.007	0.008	0.002	1.527	0.3
0.32	0.81	5.69	0.33	530.03	0.08	0.20	1.42	0.08	132.51	0.001	0.003	0.024	0.001	2.208	0.3
1.64	8.36	9.46	1.18	525.82	0.43	2.17	2.46	0.31	136.71	0.007	0.036	0.041	0.005	2.279	0.3

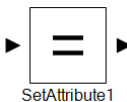
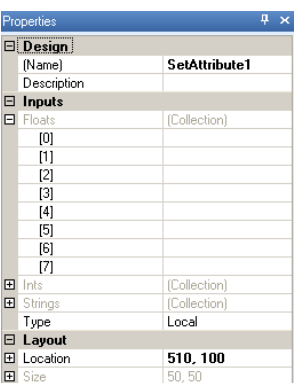
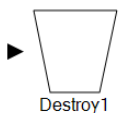
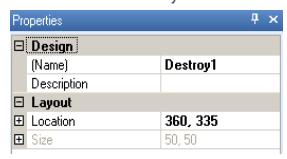
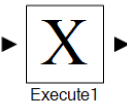
ภาคผนวก ข

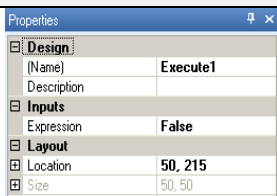

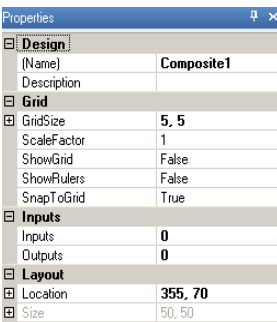
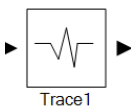
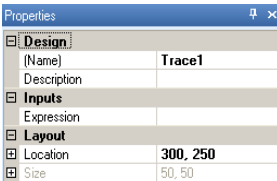
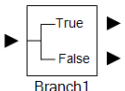
ตารางที่ ข.1 General Template in Symphony.NET

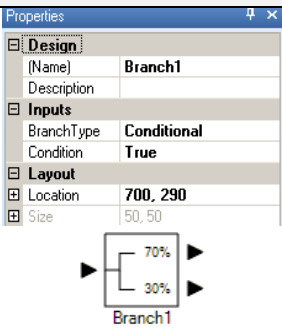
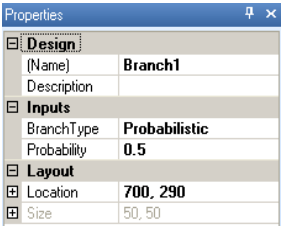
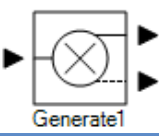
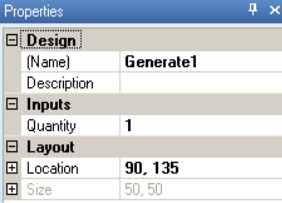
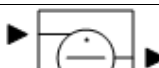
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
<p>Ab Comment</p> 	Input	<i>Font</i> : ฟอนต์ที่ต้องการให้แสดง โดยมีให้เลือก <i>Text</i> : Text ที่แสดงออกมา
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	- ใช้แสดงคำอธิบายที่เป็นลักษณะของข้อความสำหรับแบบจำลอง - ใช้อธิบายว่าแบบจำลองกำลังทำอะไรโดยไม่มีฟังก์ชัน
 	Input	<i>Quantity</i> : จำนวนวัตถุ (entities) ที่ออกจาก element <i>First</i> : เวลาที่สร้าง entities ตัวแรกจะถูกสร้าง <i>Interval</i> : time interval ระหว่างการสร้าง entities สามารถตั้งเป็นค่าคงที่(constant) ค่า ต.ย.การสุ่ม(random) จากการกระจายตัวทางสถิติ (Statistical distribution) และ VB code
	Output	<i>Created</i> : จำนวน entities ทั้งหมดที่สร้าง
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	-สร้างจำนวน entities ที่มีปริมาณที่แตกต่างกันออกจาก element ที่มีการระบุค่าการกระจายตัวของเวลา (time distribution) และส่งไปยัง element ปลายทาง -First entity create จะมาถึง element ที่ receiving element ที่ simulation time โดยตัวแรกและที่ตามมาจะ received every Interval.
	Input	<i>Duration</i> : เวลาซึ่ง entities เข้ามาจะเกิดการล่าช้า ก่อนที่จะอนุญาตให้ผ่าน เวลาจะถูกระบุโดย

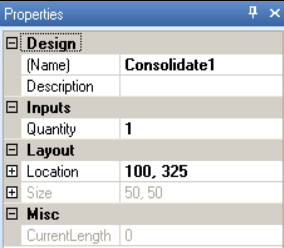
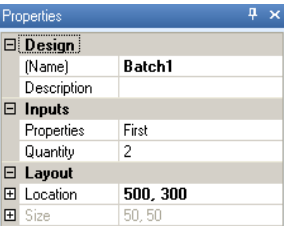
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		<p><i>Duration parameter</i> ที่ระบุโดย <i>distribution type</i> และพารามิเตอร์ ได้แก่</p> <ul style="list-style-type: none"> -<i>Deterministic</i> = เป็นชนิดการกระจายตัวแบบค่าคงที่ -<i>Probabilistic</i> = เป็นชนิดการกระจายตัวจากต.ย.การกระจายตัว (sampling distributions) เช่น Uniform, Triangular, Normal, Log Normal, Beta, Exponential -<i>User define</i> = เขียน VB or C# <p><u>Servers</u> : จำนวน server ที่มีอยู่/ใช้งานได้ (available) ถ้าป้อนค่า 0 task จะเป็น Unconstrained ซึ่ง entities ประมวลผล/ดำเนินการ (processed) โดยไม่ต้องรอคิว</p>
	Output	NO เนื่องจาก entity จะถูกส่งออกหลังจาก <i>duration time</i> ถูกระบุแล้ว
	Statistic	<ul style="list-style-type: none"> - ถ้าจำนวน servers มีการระบุ (<i>Task Constrained</i>) element จะแสดงค่า file length, utilization, waiting time สำหรับ servers - ถ้า <i>Task Unconstrained</i> การแสดงทางสถิติมีค่าเป็น 0
	Simulation Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้แสดงแทนกิจกรรมใน model entity - ปกติ entity จะเสร็จโดยใช้ task อย่างเดียวหรือใช้ server or source โดย Task จะทำให้ entity delay ด้ยการระบุ task duration ก่อนที่จะส่งต่อไป element ถัดไป - <u>Task</u> มี 2 แบบคือ <ul style="list-style-type: none"> - <i>constrained task</i> จะจำกัดจำนวน server เมื่อ entity ผ่าน task มันจะต้องตรวจสอบว่า server พร้อมใช้งาน (available) หรือเชื่อมโยงกับ

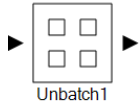
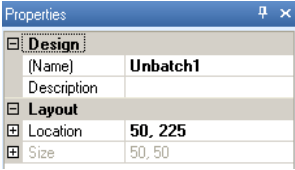

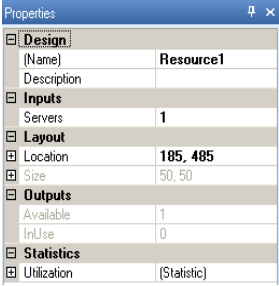
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย																																		
		<p>entities อันอื่นหรือไม่ entity จะรอคอย (queued) เมื่อ server busy และหลังจากนั้น de-queue</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>unconstrained task</i> ไม่มีข้อจำกัด entities สามารถผ่านการประมวลผลได้ทันที (จะล่าช้าจากระยะเวลาทันที) ไม่ต้องจัดคิว 																																		
 <p>The diagram shows a circle with a flag on top and two arrows pointing outwards, labeled 'Counter1'. Below it is a screenshot of the 'Properties' window for 'Counter1' with the following data:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Properties</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">[Design]</td> </tr> <tr> <td>(Name)</td> <td>Counter1</td> </tr> <tr> <td>Description</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">[Inputs]</td> </tr> <tr> <td>Initial</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Limit</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Step</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">[Layout]</td> </tr> <tr> <td>Location</td> <td>190, 420</td> </tr> <tr> <td>Size</td> <td>20, 50</td> </tr> <tr> <td colspan="2">[Outputs]</td> </tr> <tr> <td>Count</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Time</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">[Statistics]</td> </tr> <tr> <td>InterArrivalTime</td> <td>(Statistic)</td> </tr> <tr> <td>Productivity</td> <td>(Statistic)</td> </tr> </tbody> </table>	Properties		[Design]		(Name)	Counter1	Description		[Inputs]		Initial	0	Limit	0	Step	1	[Layout]		Location	190, 420	Size	20, 50	[Outputs]		Count	0	Time	0	[Statistics]		InterArrivalTime	(Statistic)	Productivity	(Statistic)	<p>Input</p> <p><i>Name:</i> ชื่อ</p> <p><i>Initial:</i> การนับเริ่มต้นของ counter</p> <p><i>Limit:</i> เป้าหมายของจำนวน entities ทั้งหมดที่สามารถระบุ</p> <ul style="list-style-type: none"> -เมื่อ first counter ไปมาถึงปริมาณเป้าหมาย (target quantity) จะสิ้นสุดการจำลอง -ถ้าตั้งค่า 0 จะหมายถึงไม่จำกัดปริมาณ <p><i>Step:</i> การเพิ่มขึ้นการนับของ counter ที่นับสำหรับ entity แต่ละอันที่ผ่านเพิ่มขึ้นเป็น step</p>	
	Properties																																			
	[Design]																																			
	(Name)	Counter1																																		
Description																																				
[Inputs]																																				
Initial	0																																			
Limit	0																																			
Step	1																																			
[Layout]																																				
Location	190, 420																																			
Size	20, 50																																			
[Outputs]																																				
Count	0																																			
Time	0																																			
[Statistics]																																				
InterArrivalTime	(Statistic)																																			
Productivity	(Statistic)																																			
<p>Output</p>	<p><i>Count :</i> จำนวน passing entities</p> <p><i>Time :</i> เวลาซึ่ง last entities ถูก observed</p>																																			
<p>Statistic</p>	<p><i>InterArrivalTime :</i> แสดงข้อมูลของช่วงเวลา (intervals) ระหว่างที่ entity เข้ามา (arrivals)</p> <p><i>Productivity :</i> กำหนดจำนวนของ entities ตลอด simulation time โดย time ค่านี้จะถูกคำนวณและเก็บโดยกลไกสถิติภายในสำหรับ entity ที่ผ่าน</p>																																			
<p>Simulation Behaviour</p>	<ul style="list-style-type: none"> - การเพิ่มขึ้นของปริมาณ entity ในแต่ละครั้งที่ผู้ใช้ระบุการผ่าน - element มาจาก CYCLONE ทำหน้านับจำนวน entities ที่ผ่านตัวมัน นิยมใช้ในการหา production - ในช่วงเริ่มต้นจะตั้งค่า =0 เมื่อ simulation มันจะเก็บค่า production ของ step สำหรับ entity ที่ผ่าน ซึ่งสามารถเพิ่ม step การนับได้แต่ส่วนใหญ่จะถูกกำหนดค่าเริ่มต้น =1 																																			

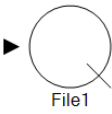
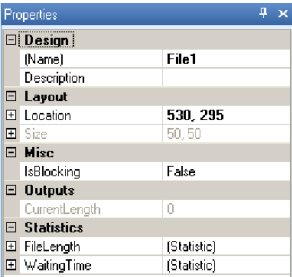
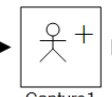
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		- counter สามารถหยุดการจำลองถ้าพารามิเตอร์ถึงขีดจำกัด(Limit) ให้มีประสิทธิภาพในการประมาณระยะเวลาของการผลิตที่มีปริมาณแน่นอน
 SetAttribute1 	Input	สามารถใส่ attribute value ได้ 8 ค่า ใน 3 หมวดนี้ <i>Float</i> : จำนวนจริง <i>Ints</i> : จำนวนเต็ม <i>Strings</i> : ข้อความ <i>Type</i> : ค่าที่ระบุว่าเป็นการตั้งค่า attribute แบบ Local or Global
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	-เป็นตัวช่วยระบุคุณสมบัติที่เกี่ยวกับ entity ที่ผ่าน ซึ่งจะได้รับการระบุตัวเลข ชื่อ และลักษณะอื่นๆ ตลอดช่วงการจำลอง โดยelement สามารถอ้างอิงลักษณะ (traits) เหล่านี้และใช้ตัดสินใจ
 Destroy1 	Input	NO
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	- เป็นตัวลบ entities ที่มาถึง elements ซึ่งเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร (resource) โดยหน่วยความจำที่ครอบครอง entities ที่ไม่จำเป็นต้องใช้แล้ว - เป็นการแสดงชัดเจนว่าในโมเดลไม่ต้องมี
 Execute1	Input	Expression : สูตรที่ใช้ดำเนินการ โดยจะไม่มีค่าใน VB คือถูกกำหนดเป็น subroutine มากกว่า Function

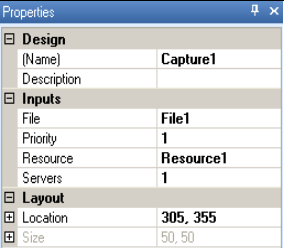

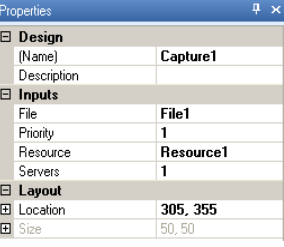
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	-Execute สามารถบังคับการทำงานของ การแสดง (expression) entity ที่ผ่านตัวมัน - expression มักจะใช้ formulas ในการปรับเปลี่ยน (Modify) attributes of current entity หรือ element อื่นๆ - Execute element ตัวมันจะไม่กระทบต่อ passing entity or other element แต่จะส่งผลต่อที่ผ่านการดำเนินการของ expression
 Composite1 	Input	Name : ชื่อ Input : จำนวน input port Output : จำนวน output port
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	-เป็นกลุ่มย่อยของ element ที่สร้างเป็นกลุ่มภายใต้สถานการณ์ (scenario) โดยสามารถเพิ่มภายในได้ และต้องมีการระบุจำนวนพอร์ตเชื่อมกับ element กับตัวอื่นๆ ช่วยให้มีการเชื่อมต่อดีขึ้น เช่น ใน earthmoving มี pile, loaders, dozers โดยมีการผสมกันของ
 Trace1 	Input	Express: ข้อความที่แสดง trace messages
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	-เป็นตัวติดตามกระบวนการของแบบจำลอง โดยแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อความ (trace messages) ตามตำแหน่งที่ระบุ
 Branch1	Input	Type : ทหาว่า branch ที่มีเงื่อนไขแบบไหนขึ้นอยู่กับข้อสรุปหรือ probabilistic.

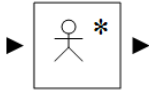
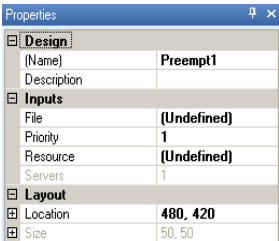

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
 		<p><i>Condition</i> : True , False or Formula ที่สามารถประเมินและ return True or False</p> <p><i>Probability</i> : เลขจำนวนจริงระหว่าง 0-1</p>
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	เป็นเส้นทางที่แตกต่างของ entity แบบมีเงื่อนไขจะแบ่งเป็น condition branch มักจะใช้สูตรซึ่งจะขึ้นอยู่กับ entity ที่ผ่าน attributes นั้นได้ประเมินเป็น true or false ถ้ามีสมการมาอาจจะใช้ execute ต่อ ส่วน probabilistic branch เป็นการปล่อย entity โดยใช้ความน่าจะเป็น
 	Input	<i>Quantity</i> : จำนวน clone entities ที่ generate สำหรับแต่ละ entity ที่รับมา
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> - สร้างปริมาณจำนวน clone entities ต่อทุก entities ที่ได้รับมา - โดยตัววัตถุ (entity) เดิมจะส่งออกทางบน (upper branch) และทำการตัวคัดลอกวัตถุ (entities) ที่ผ่านทางล่าง (lower branch) - ถ้า entity ที่กำลังมาสู่ <i>Generate element</i> นำ resource มาด้วย resource จะถูกส่งผ่านทางบนเท่านั้น ซึ่งทำให้ entity เดิมที่มี resource ไม่สามารถคัดลอกเพิ่มอีก1ได้ - ที่ทางล่าง (lower) สามารถสร้างทาง (branch) เพิ่มโดยขึ้นอยู่กับความต้องการจำนวนที่จะโคลนวัตถุ (entity)
	Input	<i>Quantity</i> : จำนวน clone entities ที่

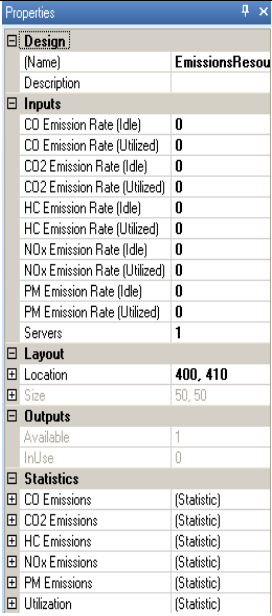
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		consolidated สำหรับแต่ละ entity ที่รับมาจาก ด้านบน (upper branch)
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นการรวมของปริมาณวัตถุ (entities) ที่มาถึงทางด้านล่าง (low branch) กับทุกๆวัตถุ (entity) จากทางด้านบน (upper branch) - โดย element นี้จะปล่อย entity เมื่อจำนวน entities ที่ต้องการ มาถึงทางด้านล่าง (low branch) แยก/ต่อแต่ละ entity ที่มาถึงทางด้านบน (upper branch) - ถ้ามี entities ทางด้านบน (upper branch) ไม่เพียงพอสู่ entities ด้านล่าง (low branch) จะต้องมีการรอรวม (consolidate) สามารถแสดงใน <i>CurrentLength</i> parameter - ลักษณะและการ capture resource ของวัตถุ (entities) ที่มาถึงทางด้านบน (upper) จะได้รับการรวมอันเดียว
	Input	<i>Quantity</i> : จำนวน entities ที่ต้องการสะสมก่อนที่ batch entity จะถูก release
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> - การรวบรวม (merges) ปริมาณของวัตถุ (entities) ที่สามารถยกเลิกการรวมโดยใช้ Unbatch element - Batch element จะมีลักษณะคล้ายกับ Generate element - มันจะสร้าง 1 batched entity ด้วยคุณสมบัติของ

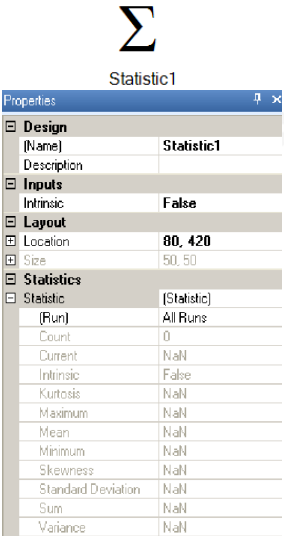
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย																												
		<p>entity ที่มาถึงอันแรกหรือสุดท้าย (<i>First or Last Arriving</i>) ต่อทุกๆจำนวน entities ที่ได้รับด้วยคุณสมบัติเดิม</p> <p>- resource ทั้งหมดจะถูกปล่อย (release) อัตโนมัติก่อนการ batching ดังนั้นจึงแนะนำให้ release resource ก่อนใช้ <i>Batch</i> และ <i>Unbatch</i> เพื่อป้องกันการเกิดปัญหา</p>																												
 <p>Unbatch1</p>  <table border="1"> <tr><th colspan="2">Properties</th></tr> <tr><td colspan="2">Design</td></tr> <tr><td>(Name)</td><td>Unbatch1</td></tr> <tr><td>Description</td><td></td></tr> <tr><td colspan="2">Layout</td></tr> <tr><td>Location</td><td>50, 225</td></tr> <tr><td>Size</td><td>50, 50</td></tr> </table>	Properties		Design		(Name)	Unbatch1	Description		Layout		Location	50, 225	Size	50, 50	Input	NO														
Properties																														
Design																														
(Name)	Unbatch1																													
Description																														
Layout																														
Location	50, 225																													
Size	50, 50																													
	Output	NO																												
	Statistic	NO																												
	Simulation Behaviour	<p>-เมื่อ batched entity พบกับ <i>Unbatch element</i> วัตถุทั้งหมด (entities) เดิมจะกลับสู่คุณสมบัติแบบเดิม</p> <p>-ถ้า batched entity มี resource อยู่จะถูกปล่อยอัตโนมัติก่อนการ unbatching</p>																												
 <p>Resource1</p>  <table border="1"> <tr><th colspan="2">Properties</th></tr> <tr><td colspan="2">Design</td></tr> <tr><td>(Name)</td><td>Resource1</td></tr> <tr><td>Description</td><td></td></tr> <tr><td colspan="2">Inputs</td></tr> <tr><td>Servers</td><td>1</td></tr> <tr><td colspan="2">Layout</td></tr> <tr><td>Location</td><td>185, 485</td></tr> <tr><td>Size</td><td>50, 50</td></tr> <tr><td colspan="2">Outputs</td></tr> <tr><td>Available</td><td>1</td></tr> <tr><td>InUse</td><td>0</td></tr> <tr><td colspan="2">Statistics</td></tr> <tr><td>Utilization</td><td>(Statistic)</td></tr> </table>	Properties		Design		(Name)	Resource1	Description		Inputs		Servers	1	Layout		Location	185, 485	Size	50, 50	Outputs		Available	1	InUse	0	Statistics		Utilization	(Statistic)	Input	<p><i>Server</i> : จำนวน available resource ที่ start simulation</p>
Properties																														
Design																														
(Name)	Resource1																													
Description																														
Inputs																														
Servers	1																													
Layout																														
Location	185, 485																													
Size	50, 50																													
Outputs																														
Available	1																													
InUse	0																													
Statistics																														
Utilization	(Statistic)																													
	Output	<p><i>Available</i> : จำนวน resource ที่ available ณ ปัจจุบัน</p> <p><i>InUse</i> : จำนวน resource ที่ใช้งานอยู่ ณ ปัจจุบัน</p>																												
	Statistic	<p><i>Utilization</i> : แสดงค่าสถิติของ resource utilization</p>																												
	Simulation Behaviour	<p>- <i>Resource element</i> มีระดับของนามธรรมที่อนุญาตให้แสดง real-world resources</p> <p>- <i>Resource element</i> จะต้องประกาศโดย <i>File</i> ที่บรรจุ queue ซึ่งใช้ถือ/จุ entities waiting สำหรับทรัพยากร (resource)</p> <p>- นอกจากนั้นยังมี <i>Capture and Release element</i></p>																												

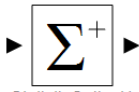

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		ที่ใช้ในการโต้ตอบกับทรัพยากร (resource) ซึ่งมีความพยายามที่จะครอบครองหรือ release the resource
 	Input	<p>Name : อธิบายชื่อ</p> <p>IsBlocking : - If True คือ entities queuing ใน File ไม่สามารถทำหน้าที่ (served) ที่เว้นแต่จะทำหน้าที่ที่อยู่ก่อนแล้ว</p> <p>-If False and Resource available คือ entities สามารถได้รับการทำหน้าที่ (served) โดยไม่ต้องคำนึงถึงก่อนหน้าของมัน</p>
	Output	NO
	Statistic	<p>File length : แสดงสถิติใน file length ระหว่างในช่วงจำลอง</p> <p>Waiting Time : แสดงสถิติใน waiting file ระหว่างในช่วงจำลอง</p>
	Simulation Behaviour	<p>- File element เป็นการนิยามการรอคอย (waiting file) ของวัตถุ (entities)</p> <p>- วัตถุ (entities) รอคอยใน File โดยจะถูกจัดลำดับ (rank) ตามความสำคัญ (Priority) ตามจำนวนที่มากกว่า</p> <p>- File จะต้องเชื่อมต่อกับ Resource element โดยวัตถุ (entities) จะรอคอยทรัพยากร (resource) ที่พร้อมใช้งาน (available)</p> <p>- วัตถุ (entities) มีการรอคอย Release element เกิดขึ้นไปสิ้นสุดการเชื่อมต่อกับ Resource element</p>
	Input	File : เลือก WaitingFile ที่ใช้ queue entities เมื่อ resource ไม่พร้อมใช้งาน (unavailable)


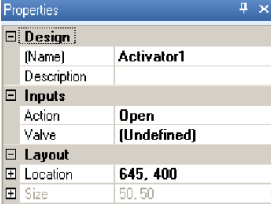

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		<p><i>Priority</i> : จำนวนที่ได้มีการระบุลำดับความสำคัญของ entity ใน capturing resource ระหว่างจำนวน entity ใน waiting file ซึ่งจำนวนที่มีค่าสูง (higher number) จะมีความสำคัญกว่า (higher request priority)</p> <p><i>Resource</i> : resource to capture</p> <p><i>Server</i> : จำนวน unit of resource ที่ request</p>
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Capture</i> element ถูกเรียกขึ้นมาโดยวัตถุ (entity) ที่ถ่ายโอนเข้าไปในตัวมัน - เมื่อวัตถุ (entity) มาถึง element นี้จะเพิ่มวัตถุ (entity) เข้า <i>File</i> ที่ได้กำหนด input parameter - ถ้าใน <i>File</i> มีคิวว่างวัตถุ (entity) จะได้รับอนุญาตให้เข้าถึงทรัพยากร (resource) ทันทีมิฉะนั้นวัตถุ (entity) จะเกิดการรอคอย - แต่ละ <i>Capture</i> element สามารถกำหนดหมายเลข (priority number) โดยหมายเลขจะระบุวัตถุ (entities) ที่ควรจะได้รับบริการจัดลำดับใน waiting file ซึ่งตัวเลขที่สูงแสดงถึงความสำคัญที่มาก
 <p>Release1</p> 	Input	<p><i>Resource</i> : resource ที่ต้อง release</p> <p><i>Server</i> : จำนวน unit of resource ที่ release</p>
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> - The <i>Release</i> element ถูกเรียกขึ้นมาโดยวัตถุ (entity) ที่ถ่ายโอนเข้าไปในตัวมัน - สำหรับแต่ละวัตถุ (entity) ถ้ามี x resources จะ

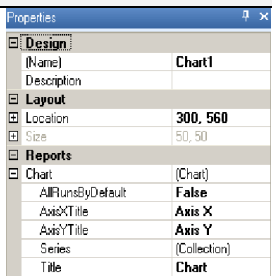
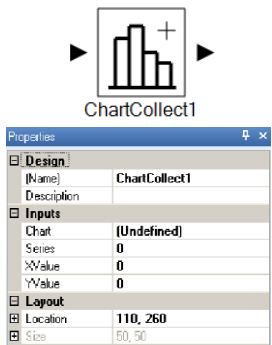
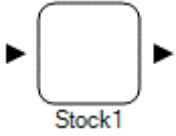
Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย																								
		ได้รับการ release โดยที่ x คือจำนวนของเซิร์ฟเวอร์ (servers) ที่มีการระบุ																								
 <p>Preempt1</p>  <table border="1" data-bbox="316 1144 595 1384"> <thead> <tr> <th colspan="2">Properties</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Design</td> </tr> <tr> <td>(Name)</td> <td>Preempt1</td> </tr> <tr> <td>Description</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Inputs</td> </tr> <tr> <td>File</td> <td>(Undefined)</td> </tr> <tr> <td>Priority</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Resource</td> <td>(Undefined)</td> </tr> <tr> <td>Servers</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Layout</td> </tr> <tr> <td>Location</td> <td>480, 420</td> </tr> <tr> <td>Size</td> <td>50, 50</td> </tr> </tbody> </table>	Properties		Design		(Name)	Preempt1	Description		Inputs		File	(Undefined)	Priority	1	Resource	(Undefined)	Servers	1	Layout		Location	480, 420	Size	50, 50	Input	<p><i>File</i> : entities ที่พยายามยึด (preempt) servers of resource ที่จะถูกเก็บจนกว่าจะเป็นอิสระอีกครั้ง ในกรณีที่ resource ถูกครอบครองทั้งหมด</p> <p><i>Priority</i> : เหมือนใน Capture entity waiting ใน File เพื่อที่จะยึด (preempt) resource ที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า ซึ่งจำนวนที่มีค่าลำดับสูง (highest priority) จะได้รับการ served</p> <p><i>Resource</i> : resource ของที่ใช้ servers to preempt</p> <p><i>Server</i> : สามารถใช้ได้ 1server สำหรับการยึดต่อ passing entity</p>
Properties																										
Design																										
(Name)	Preempt1																									
Description																										
Inputs																										
File	(Undefined)																									
Priority	1																									
Resource	(Undefined)																									
Servers	1																									
Layout																										
Location	480, 420																									
Size	50, 50																									
	Output	NO																								
	Statistic	NO																								
	Simulation Behaviour	<p>- The <i>Preempt</i> element จะมีลำดับความสำคัญเหนือกว่า <i>Capture</i> element โดยสามารถหยุด (halt) การทำหน้าที่ของวัตถุ(entity) โดยทรัพยากร (resource) ที่ถืออยู่และโอน ไปที่ captured resource แล้ว</p> <p>- เมื่อ resource ได้รับการปล่อยโดย <i>Release</i> element งาน(Tasks)ที่หยุดก็จะดำเนินการต่อ</p> <p>- ตัวอย่างการใช้ <i>Preempt</i> element คือเครื่องจักรหยุดงาน(breakdown) เป็นการหยุดงาน (Task)ที่กำลังทำในกระบวนการและมีการส่งตรงไปยังขั้นตอนการแก้ไขหรือซ่อม เมื่อเครื่องมือมีการซ่อมเสร็จกิจกรรมที่หยุดก็จะดำเนินการต่อ</p>																								
 <p>EmissionsResource1</p>	Input	<p><i>CO Emission Rate (Idle)</i> : ปริมาณการปล่อยก๊าซต่อหน่วยเวลาต่อเซิร์ฟเวอร์ขณะ resource เป็น</p>																								




Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		<p>idle</p> <p><i>CO Emission Rate (Utilized)</i> :ปริมาณการปล่อยก๊าซต่อหน่วยเวลาต่อเซิร์ฟเวอร์ขณะ resource กำลังทำงาน</p> <p><i>CO2 Emission Rate (Idle)</i> :</p> <p><i>CO2 Emission Rate (Utilized)</i> :</p> <p><i>HC Emission Rate (Idle)</i> :</p> <p><i>HC Emission Rate (Utilized)</i> :</p> <p><i>NOx Emission Rate (Idle)</i> :</p> <p><i>NOx Emission Rate (Utilized)</i> :</p> <p><i>PM Emission Rate (Idle)</i> :</p> <p><i>PM Emission Rate (Utilized)</i> :</p>
	Output	<p>Available : จำนวน servers ที่มีอยู่ในปัจจุบันใน resource</p> <p>InUse : จำนวน servers ที่มีอยู่ในการใช้งานใน resource</p>
	Statistic	<p><i>CO Emissions</i>:</p> <p><i>CO2 Emissions</i>:</p> <p><i>HC Emissions</i>:</p> <p><i>NOx Emissions</i>:</p> <p><i>PM Emissions</i>:</p> <p><i>Utilization</i>: แสดงค่าสถิติของ resource utilization</p>
	Simulation Behaviour	<p>- The <i>EmissionsResource</i> element สามารถใช้สลับกันได้กับ <i>Resource</i> elementปกติ</p> <p>- นอกจากนั้นผู้ใช้สามารถกำหนดอัตราการปล่อย emission ต่างๆของเซิร์ฟเวอร์(servers) ของตนโดยขึ้นอยู่กับสถานะ(state) ทรัพยากร(resource) ที่อยู่ด้านใน</p>


Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		<ul style="list-style-type: none"> - มีความสะดวกในการจำลองเครื่องจักรที่เป็นทรัพยากร(resource) เมื่อมีสถิติ(statistics) ของค่าการปล่อย emission จากเครื่องจักรที่ต้องการ - การจำลองการปล่อย emission ของเครื่องจักรด้วยรายละเอียดที่มากขึ้น อัตราการปล่อย emission สามารถเปลี่ยนแปลงได้ผ่านการจำลองด้วยโปรแกรม - สถิติ(statistic) ของการใช้ทรัพยากร(resource utilization) และการปล่อยemission ในระหว่างการจำลอง(simulation) สามารถดูผลได้หลังจากการจำลองเสร็จสมบูรณ์
	Input	<p><i>Name</i> : ชื่อที่ระบุเมื่อเก็บค่าระหว่างการจำลอง</p> <p><i>Intrinsic</i> : True if the statistic is intrinsic</p>
	Output	NO
	Statistic	<ul style="list-style-type: none"> - จะมีกาแสดงค่า <i>mean, standard deviation, minimum and maximum values, ความโด่ง (kurtosis), ความเบ้(skewness)</i> สำหรับ collected observations - เลือก <i>All Runs</i> เพื่อดูข้อมูลระหว่างการดำเนินการทั้งหมดหรือเลือกเฉพาะแต่ละ run - ข้อมูลที่รวบรวมไม่สามารถใช้กับสถิติที่แท้จริง (intrinsic statistics)
	Simulation Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> - The <i>Statistic</i> element ถูกใช้ในการคำนวณค่าสถิติของพารามิเตอร์ที่สนใจในแบบจำลอง - ค่าสถิติ(statistic) สามารถประกาศเป็นค่าสถิติแท้จริง (intrinsic) or non-intrinsic - โดยสำหรับ intrinsic จำนวนครั้ง (times) ที่ใช้การสังเกต(observation) รวบรวมส่งผลกระทบต่อ

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย																										
		<p>วิเคราะห์ข้อมูลการสังเกต (observation) ขณะที่ไม่สนใจจำนวนครั้งที่ใช้สังเกต</p> <p>- เมื่อรันการจำลองและเก็บข้อมูลแล้ว <i>Statistic element</i> สามารถแสดงผลเป็นกราฟ มีการพล็อตฮิสโตแกรมและ CDF และสำหรับ intrinsic statistics ยังมีการแสดง time chart</p>																										
 <p>StatisticCollect1</p> <table border="1" data-bbox="320 1088 596 1285"> <thead> <tr> <th colspan="2">Properties</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Design</td> </tr> <tr> <td>(Name)</td> <td>Collect1</td> </tr> <tr> <td>Description</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Inputs</td> </tr> <tr> <td>Statistic</td> <td>(Undefined)</td> </tr> <tr> <td>Value</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Layout</td> </tr> <tr> <td>Location</td> <td>200, 335</td> </tr> <tr> <td>Size</td> <td>50, 50</td> </tr> </tbody> </table>	Properties		Design		(Name)	Collect1	Description		Inputs		Statistic	(Undefined)	Value	0	Layout		Location	200, 335	Size	50, 50	Input	<p><i>Statistic</i> : ชื่อของ statistic ที่ใช้เพิ่มการสังเกต (observation) โดยเลือกตามที่ได้ประกาศค่าไว้</p> <p><i>Value</i> : formula ที่ใช้ประเมินบางสิ่งที่ต้องการซึ่งจะไปเก็บไว้ที่ <i>statistic element</i></p>						
	Properties																											
	Design																											
	(Name)	Collect1																										
Description																												
Inputs																												
Statistic	(Undefined)																											
Value	0																											
Layout																												
Location	200, 335																											
Size	50, 50																											
Output	NO																											
Statistic	NO																											
Simulation Behaviour	<p>-The collect element เพิ่มการสังเกต (observation) โดยการประกาศ <i>statistic element</i> โดยมีความสัมพันธ์แบบกลุ่มต่อหนึ่ง (many to one) กับค่าสถิติ (<i>statistic</i>) ที่ประกาศ (<i>declared</i>)</p> <p>- <i>statistic element</i> สามารถมี <i>collect source</i> ได้จำนวนมาก แต่ <i>Collect element</i> มีได้แค่ 1 <i>statistic element</i></p>																											
 <p>Valve1</p> <table border="1" data-bbox="320 1675 596 1951"> <thead> <tr> <th colspan="2">Properties</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Design</td> </tr> <tr> <td>(Name)</td> <td>Valve1</td> </tr> <tr> <td>Description</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Inputs</td> </tr> <tr> <td>AutoClose</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>InitialState</td> <td>Opened</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Layout</td> </tr> <tr> <td>Location</td> <td>165, 560</td> </tr> <tr> <td>Size</td> <td>50, 50</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Outputs</td> </tr> <tr> <td>CurrentLength</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>State</td> <td>Opened</td> </tr> </tbody> </table>	Properties		Design		(Name)	Valve1	Description		Inputs		AutoClose	0	InitialState	Opened	Layout		Location	165, 560	Size	50, 50	Outputs		CurrentLength	0	State	Opened	Input	<p><i>AutoClose</i> : จำนวน entities ที่อนุญาตให้ผ่าน <i>Valve</i> ก่อนที่จะปิด</p> <p>-If set 0 คือ ไม่มีการยับยั้งการไหลของ entity โดยไม่มี <i>Activator element</i> บังคับมัน</p> <p>-If parameter เปลี่ยนแปลงระหว่างการจำลอง current counting is set =0</p> <p><i>Initia State</i> : Initia State ของ Valve ก่อนเริ่มการจำลอง</p>
Properties																												
Design																												
(Name)	Valve1																											
Description																												
Inputs																												
AutoClose	0																											
InitialState	Opened																											
Layout																												
Location	165, 560																											
Size	50, 50																											
Outputs																												
CurrentLength	0																											
State	Opened																											

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
	Output	<i>CurrentLength</i> : จำนวน entity ที่รอ valve เปิด <i>State</i> : current state ของ valve ที่บอกว่ามัน opened or closed
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	-The <i>Valve</i> element ใช้ตั้งค่าการเคลื่อนที่ของ วัตถุ(entities) และการอนุญาตให้วัตถุหยุดหรือเคลื่อนที่ผ่าน โดยขึ้นกับสถานะปัจจุบัน (current state)
 	Input	<i>Action</i> : Open, Close, or a formula ที่สามารถ ใช้ return Open or Close <i>Valve</i> : เลือก <i>Valve element</i> ที่ควบคุมโดย <i>Activator</i>
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	The <i>Activator</i> element ควบคุมสถานะของ <i>Valve</i> เมื่อวัตถุผ่าน element นี้ไป สถานะของ <i>Valve</i> ที่ได้รับการเลือกเป็นชุดจะขึ้นอยู่กับ <i>Action</i> - <i>Valve</i> จะอนุญาตให้ <i>Activators</i> เนื่องจากสถานะของ <i>valve</i> ไม่แน่นอน แต่ <i>Activator</i> จะสามารถอ้างอิงได้แค่ 1 <i>valve</i> - <i>Formula</i> จะใช้หาว่า <i>Activator</i> จะเปิดหรือปิด <i>valve</i> โดยจะขึ้นอยู่กับวัตถุ(entity) ที่ผ่าน สถานะของ <i>valve</i> และสิ่งอื่น ๆ ในการจำลอง
 Chart1	Input	<i>AllRunsByDefault</i> : <i>Chart</i> จะเปิดเมื่อเลือก <i>AllRun</i> <i>AxisXTitle</i> : ชื่อแกน X <i>AxisYTitle</i> : ชื่อแกน Y <i>Series</i> : การเก็บชุด (series) ของ <i>Chart</i> แต่ละชุด จะมีข้อมูลและการตั้งค่าของตัวเอง ชุดข้อมูล

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		สามารถแสดงได้หลายชุดใน chart Title : ชื่อ Chart
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	The <i>Chart</i> element ใช้แสดงข้อมูลที่ได้เก็บไว้โดย <i>ChartCollect</i> element
	Input	Chart : เลือก <i>chart element</i> Series : ดัชนีของตัวเลขที่จะเก็บข้อมูล ดู <i>chart element</i> ที่มีหลายชุดข้อมูล Xvalue : formula ที่ใช้หาค่า data point ที่ต้องการเก็บ Yvalue : formula ที่ใช้หาค่า data point ที่ต้องการเก็บ
	Output	NO
	Statistic	NO
	Simulation Behaviour	The <i>ChartCollect</i> element รับวัตถุ(entity) และคำนวณพิกัดข้อมูล (X,Y) ที่จะเพิ่มเข้าไปใน <i>Chart</i> element โดยส่วนมากค่าที่ส่งเข้าไปจะขึ้นอยู่กับ formula
	Input	Chart : เลือก <i>chart element</i> <i>Input</i> : value of the Stock at the time simulation commences
	Output	Value is maintained by the environment and change continuously during simulation
	Statistic	Track the value of the state variable overtime
	Simulation Behaviour	<i>Stock element</i> represent a state variable in model Both input and output may be connected

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		to a <i>Flow Element</i>
 Source1	Input	<i>No input</i>
	Output	<i>No</i>
	Statistic	<i>No</i>
	Simulation Behaviour	<i>Source element presents a source of flow from outside model It only connected to flow element</i>
 Sink1	Input	<i>No</i>
	Output	<i>No</i>
	Statistic	<i>No</i>
	Simulation Behaviour	<i>Sink element represents a destination for flow to outside model. It assumed the capacity is unlimited It may only connected to flow element</i>
 Flow1	Input	Rate of flow; constant or written code
	Output	
	Statistic	Track the value of the state variable overtime
	Simulation Behaviour	<i>Flow element represents a rete of flow into or out of stock Input can only be connected to a Stock or Source Input can only be connected to Stock or Sink</i>
	Input	Stock : Name of Stock element which observe

Element & Properties	ชื่อ	คำอธิบาย
		<p>Threshold : value at a state event is occur.</p> <p>This element will generate entity when the value which observe cross this value.</p> <p>Tolerance : the tolerance of threshold value is to be detected</p>
	Output	
	Statistic	
	Simulation Behaviour	<p><i>Watch element use for observing a Stock element</i></p> <p><i>It is intended to be part of discrete event model, which permits communication from the continuous part of a model to discrete part.</i></p>

ตารางที่ ข.2 Formula Properties & Methods

Engine and Associated Properties	
Engine	Gets the current simulation engine.
DateNow	Gets the current date/time.
TimeNow	Gets the current absolute simulation time.
Engine.RunIndex	Gets the zero-based index of the current run.
Scenario and Associated Properties	
Scenario	Gets the current scenario.
GN(i)	Gets or sets global integer attribute i.
GS(i)	Gets or sets global text attribute i.
GX(i)	Gets or sets global floating-point attribute i.
Entity and Associated Properties	
Entity	Gets the current entity.
LN(i)	Gets or sets local integer attribute i.
LS(i)	Gets or sets local text attribute i.
LX(i)	Gets or sets local floating-point attribute i.
Writing to the Trace Window	
Trace(message, [category])	Writes the string message to the trace window under category category.
Trace(value, [category])	Writes the string representation of the object value to the trace window under category category.
TraceLine(message, [category])	Writes the string message followed by a new line character to the trace window under category category.
TraceLine(value, [category])	Writes the string representation of the object value followed by a new line character to the trace window under category category.
Terminating Simulation	
HaltRun()	Terminates the current run.
HaltScenario()	Terminates the current scenario.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธวัช จีวบุญชู เกิดเมื่อวันที่ 29 กันยายน 2533 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ นครเหนือ ในปี พ.ศ. 2556 และได้เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2558

