การหาปริมาณของเสียในการก่อสร้างจากภาพถ่ายดิจิตอลและโมเดล 3 มิติ

นายกาญจนพจน์ ศรีสุขใส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

QUANTIFICATION OF CONSTRUCTION WASTE USING DIGITAL IMAGE AND 3D MODEL

Mr. Kanjanapot Srisuksai

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2019
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาปริมาณของเสียในการก่อสร้างจากภาพถ่ายดิจิตอลและโมเดล 3 มิติ
โดย	นายกาญจนพจน์ ศรีสุขใส
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นพดล จอกแก้ว)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต ธงทอง)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นคร กกแก้ว)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชระ เพียรสุภาพ)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.นวลทิพย์ เงาวิศิษฎ์กุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กาญจนพจน์ ศรีสุขใส : การหาปริมาณของเสียในการก่อสร้างจากภาพถ่ายดิจิตอลและโมเดล 3 มิติ. (QUANTIFICATION OF CONSTRUCTION WASTE USING DIGITAL IMAGE AND 3D MODEL) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธนิต ธงทอง

การก่อสร้างเป็นงานที่ก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการต่างๆ จำนวนมาก โดยของเสียจากการก่อสร้างจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งการจัดการกับของเสียยังเป็นภาระต่อค่าใช้จ่ายของโครงการ จึงทำให้เกิดการละเลยต่อการจัดการอย่างเหมาะสม โครงการก่อสร้างยังไม่มีวิธีการหรือเครื่องมือที่สะดวกต่อการวัดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการหรือในแต่ละช่วงเวลา งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างโดยใช้ภาพถ่ายดิจิตอลและโมเดล 3 มิติ ระบบในงานวิจัยนี้จะถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้วัตถุตัวอย่างที่มีปริมาตรแน่นอน โดยใช้กล้องจากโทรศัพท์มือถือและโปรแกรมในการวิเคราะห์ปริมาตรจากโมเดล 3 มิติ จากนั้นจึงนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้าง ที่นำมาจากโครงการก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร ประกอบไปด้วย อิฐมวลเบา อิฐแดง คอนกรีต กระเบื้องพื้น และกระเบื้องหลังคา งานวิจัยนี้ยังได้มีการพัฒนาเพื่อให้ระบบที่ออกแบบไว้สามารถหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยใช้ภาพถ่ายจากวิดีโอ จากการวิเคราะห์ผลจากระบบพบว่าผลการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ของผลลัพธ์จากกลุ่มตัวอย่าง อย่างไรก็ตามระบบยังมีข้อจำกัดในการหาปริมาณของเสีย โดยมีหลายขั้นตอนยังต้องใช้ทักษะของคนในการปรับปรุงโมเดล 3 มิติ งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อโครงการก่อสร้างในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างเพื่อนำไปสู่การจัดการอย่างเหมาะสมกับชนิดของเสียต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต	....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....

6070119221 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: Construction Waste, Quantification, Digital Image, 3D Model

Kanjanapot Srisuksai : QUANTIFICATION OF CONSTRUCTION WASTE USING DIGITAL IMAGE AND 3D MODEL. Advisor: Assoc. Prof. TANIT TONGTHONG, Ph.D.

Typically, construction can cause a large amount of waste from various processes, adversely affecting the environment. Besides, waste management is considered as one of the project's burden costs. For this reason, proper waste management is ignored. In addition, facilitating method or tool for measuring the amount of waste in the construction process has not yet implemented. Therefore, this research aimed to present the system that is able to determine the amount of construction waste using digital images and 3D model. In this research, the system was developed using the sample materials with known volume. This research used a mobile phone camera and programs to analyze the volume from a 3D model. The developed system was then tested with construction waste obtained from the housing project, consisting of lightweight concrete, red bricks, concrete, floor tiles and roof tiles. Furthermore, the system was then redesigned to enable determining the amount of construction waste faster by using images from video. The analytic results indicated that the error of the test results belongs to the 95 % limit of agreement method of the group of results. However, the system still has limitations in determining the amount of waste because many steps still require labor skills to improve 3D model. In sum, the findings would be beneficial for further construction project in determining the amount of construction waste towards the well-organized waste management according to their types.

Field of Study: Civil Engineering Student's Signature ....

Academic Year: 2019 Advisor's Signature ....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต ธงทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาช่วยเหลือและให้คำแนะนำด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดวยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาช่วยตรวจสอบและให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. นพดล จอกแก้ว (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) รองศาสตราจารย์ ดร. นคร กกแก้ว (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ เพียรสุภาพ (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) และ อาจารย์ ดร. นวลทิพย์ เงาวิศิษฎ์กุล (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย)

ขอกราบขอบพระคุณ คุณมนต์ชัย เกตุแก้ว คุณสุกัญญา เกตุแก้ว รวมถึง นายวัชรพล สืบปรุ ที่มีส่วนในการสนับสนุนงานวิจัยนี้ทั้งด้านข้อมูล รวมถึงข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย และขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นที่ให้กำลังใจ คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมาในการศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษา

กาญจนพจน์ ศรีสุขใส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง

กิตติกรรมประกาศ .... จ

สารบัญ .... ฉ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 8

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 8

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 8

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.1 ทั่วไป 10

2.1.1 นิยามของขยะมูลฝอย 13

2.1.2 นิยามของขยะจากการก่อสร้างและการรื้อถอน 13

2.2 ประเภทและลักษณะของของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน 13

2.3 ปริมาณของเสียจากก่อสร้างและการรื้อถอน 16

2.4 การหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน 18

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในงานก่อสร้างและการรื้อถอน 28

2.6 แนวทางในการจัดการของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนให้มีประสิทธิภาพ 30

2.6.1 ด้านกฎหมายและข้อบังคับ 30

2.6.2 ความร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 Photogrammetry ... 35

2.7.1 นิยามและกระบวนการทำงาน ... 35

2.7.1.1 การประมวลผลภาพ (Image processing) ... 37

2.7.1.2 การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction) ... 38

2.7.2 งานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ Photogrammetry ... 41

2.8 3D Laser scanner ... 42

2.9 บทสรุปจากการทบทวนวรรณกรรม ... 42

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ... 44

3.1 ลักษณะของงานวิจัย ... 44

3.2 แนวทางในการดำเนินงานวิจัย ... 44

3.2.1 การศึกษาและเก็บข้อมูลของปัญหา ... 46

3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหาและความสำคัญ ... 46

3.2.3 ทบทวนวรรณกรรม ... 46

3.2.4 การออกแบบระบบ ... 46

3.2.4.1 เก็บข้อมูลของเสียจากการก่อสร้าง ... 46

3.2.4.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ ... 47

3.2.4.3 วิเคราะห์โมเดล 3 มิติเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง ... 47

3.2.5 การทดสอบระบบที่ออกแบบกับวัตถุตัวอย่างที่ทราบปริมาตร ... 47

3.2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ... 47

3.2.7 การนำระบบไปใช้กับของเสียจากการก่อสร้าง ... 48

3.2.7.1 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม ... 48

3.2.7.2 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง . 49

3.2.8 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ ... 49

3.2.9 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย ... 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4 ผลการศึกษา 50
4.1 ของเสียจากการก่อสร้างในปัจจุบัน 50
4.2 การทำงานของระบบในการหาปริมาตรของกองวัตถุของเสียจากการก่อสร้าง 50
4.2.1 การเก็บข้อมูลภาพถ่าย (Photography) 51
4.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ 53
4.2.3 การปรับค่าระยะในระบบ 54
4.2.4 การปรับปรุงโมเดล 3 มิติ 55
4.2.5 การทำให้โมเดล 3 มิติไม่มีช่องว่างหรือรอยรั่ว 56
4.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาตรจากโมเดล 3 มิติ 57
4.3 การทดสอบระบบด้วยวัตถุตัวอย่าง 58
4.4 การวิเคราะห์โดยใช้ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % (95 % Limit of agreement method) 60
4.4.1 วิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % 60
4.5 การเพิ่มประสิทธิภาพระบบ 62
4.6 การนำระบบไปใช้กับของเสียจากการก่อสร้าง 64
4.6.1 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม 64
4.6.1.1 การเตรียมและวิธีการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้าง 65
4.6.1.2 การทดสอบซ้ำโดยใช้ระบบเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง 69
4.6.1.3 การนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างที่มีการเทกองแบบสุ่ม 70
4.6.1.4 สรุปผลการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม 75
4.6.2 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง 76
4.6.1.1 การนำเข้าข้อมูล 76
4.6.1.2 การประมวลผลภาพเพื่อสร้างกลุ่มจุดสามมิติ 77
4.6.1.3 การสร้างแบบจำลองพื้นผิวของกลุ่มจุดสามมิติ 78

4.6.1.4 การหาปริมาณของกองของเสียจากโมเดล 3 มิติ 78
4.6.1.5 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่ได้จากระบบที่นำเสนอและการวิเคราะห์ผล 79
4.6.1.6 สรุปผลการทดสอบการทำงานระบบกับของเสียจากการก่อสร้าง 81
4.7 สรุปผลการทดสอบและการใช้ระบบที่ออกแบบ 82
บทที่ 5 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ 84
5.1 การใช้วิดีโอในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง 84
5.1.1 การเตรียมการและอุปกรณ์สำหรับของเสียจากการก่อสร้าง 84
5.1.2 การดำเนินการทดสอบระบบโดยใช้วิดีโอแทนภาพถ่ายกับของเสียจากการก่อสร้าง 85
5.1.3 การนำวิดีโอเข้าสู่ระบบเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง 85
5.1.4 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่ได้จากระบบที่นำเสนอและการวิเคราะห์ผล 86
5.2 การประยุกต์ใช้ปริมาตรที่ได้จากระบบเพื่อหาน้ำหนักของเสียจากการก่อสร้าง 89
5.3 สรุปผลการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ 89
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 91
6.1 สรุปผลการวิจัย 91
6.2 ผลงานวิจัย 93
6.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ 93
6.4 แนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต 93
บรรณานุกรม 95
ประวัติผู้เขียน 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเศษสิ่งก่อสร้างและวิธีการจัดการที่ใช้ภายในประเทศไทย (จิรานุวัฒน์ จันทร์จร, 2545) 12

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและองค์ประกอบของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (Poon et al., 2001) 14

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในสหภาพยุโรป (Kozlovská & Spišáková, 2013) 16

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในภูมิภาคเอเชีย (Nitivattananon & Borongan, 2007) 17

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (Bossink & Brouwers, 1996) 18

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของเสียจากงานก่อสร้างภาคสนาม,การรื้อถอนและการปรับปรุง(ต่อเติม) ที่ระบุจากการศึกษาก่อนหน้า (kg/m^2) (Cochran et al., 2007) 23

ตารางที่ 2.7 ผลต่างของการวัดปริมาตรที่ได้จากรถบรรทุกและระบบที่ออกแบบ (Nugroho et al., 2013) 27

ตารางที่ 2.8 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการขยะก่อสร้างในประเทศมาเลเซีย (Nagapan et al., 2012) 32

ตารางที่ 2.9 แสดงการจัดอันดับมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการใช้วิธี WMP (Tam et al., 2007)34

ตารางที่ 2.10 แสดงอันดับของข้อปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการใช้วิธี WMP (Tam et al., 2007) 35

ตารางที่ 2.11 ประเภทของ Photogrammetry (Luhmann et al., 2007) 36

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลโทรศัพท์ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone X 52

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลโน๊ตบุ๊คยี่ห้อ HP รุ่น OMEN 17-W201TX 54

ตารางที่ 4.3 ปริมาตรของวัตถุตัวอย่างที่คำนวณจากระบบวัดปริมาตรของเสียจากการก่อสร้าง 58

ตารางที่ 4.4 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการวัดและจากระบบ 59

ตารางที่ 4.5 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากระบบคำนวณปริมาตรของเสียจากการก่อสร้าง 60

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของกองวัตถุที่ได้จากระบบในรูปของปริมาตรจากการถ่ายภาพ 1 มุม 63

ตารางที่ 4.7 ปริมาณของกองวัตถุที่ได้จากระบบในรูปของปริมาตรจากการถ่ายภาพ 2 มุม 63

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการผลวิเคราะห์ที่ได้จากระบบ (อิฐแดง) 70

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (อิฐแดง) 71

ตารางที่ 4.10 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (คอนกรีต) 72

ตารางที่ 4.11 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้อง) 73

ตารางที่ 4.12 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (อิฐมวลเบา) 79

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้องหลังคา) 80

ตารางที่ 4.14 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้องพื้น) 81

ตารางที่ 5.1 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (อิฐแดง) 86

ตารางที่ 5.2 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (คอนกรีต) 87

ตารางที่ 5.3 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้อง) 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 อัตราการเกิดขยะ ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น การนำกลับไปใช้ประโยชน์ การกำจัดที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง ปี พ.ศ.2551-2560 (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) 1

รูปที่ 1.2 กองของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่ 3

รูปที่ 1.3 รถแบคโฮตักของเสียที่กองอยู่ในพื้นที่ก่อสร้างใส่รถบรรทุก 3

รูปที่ 1.4 กองของเสียจากการก่อสร้างตามที่รกร้าง 3

รูปที่ 1.5 เสาเข็มจากการก่อสร้างที่ถูกนำมาทิ้งตามที่รกร้าง 4

รูปที่ 1.6 กองของเสียจากการก่อสร้างที่ถูกทิ้งริมถนนรูปที่ 1 4

รูปที่ 1.7 กองของเสียจากการก่อสร้างที่ถูกทิ้งริมถนนรูปที่ 2 4

รูปที่ 1.8 การจัดการของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในสหภาพยุโรป (Kozlovská & Spišáková, 2013) 6

รูปที่ 2.1 การแบ่งลำดับขั้นในการจัดการของเสียโดย (Department for Environment, 2011) 11

รูปที่ 2.2 สัดส่วนของขยะที่เกิดจากวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิดในโครงการ (โชคดี ยี่แพร่, 2554) 15

รูปที่ 2.3 ปริมาณของเสียชนิดต่างๆจากการก่อสร้าง (Cochran et al., 2007) 20

รูปที่ 2.4 ปริมาณของเสียชนิดต่างๆจากการรื้อถอน (Cochran et al., 2007) 21

รูปที่ 2.5 ปริมาณของเสียชนิดต่างๆ จากการ Renovation (Cochran et al., 2007) 22

รูปที่ 2.6 ขั้นตอนของเครื่องมือ QCWI ในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (Nugroho et al., 2013) 25

รูปที่ 2.7 แสดงมุมมองของภาพถ่ายทั้ง 3 รูป (Nugroho et al., 2013) 26

รูปที่ 2.8 Ordinary shape และ Smoothed Shape (Nugroho et al., 2013) 27

รูปที่ 2.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจัดการของเสียจากการก่อสร้าง (Manowong, 2012) 30

รูปที่ 2.10 ปริมาณขยะที่มีการจัดเก็บจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในปี 1991 ถึง 2006 31

รูปที่ 2.11 แสดงการหา Difference of Gaussian (DoG) (Lowe, 2004) 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.12 แสดงจุด x ซึ่งเป็นจุดที่พิจารณากับจุดรอบข้างของจุดที่พิจารณา (Lowe, 2004) 40
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะเฉพาะของ Keypoint (Lowe, 2004) 41
รูปที่ 3.1 แนวทางในการดำเนินการวิจัย 45
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ 51
รูปที่ 4.2 iPhone X 52
รูปที่ 4.3 การถ่ายภาพรอบกองวัตถุ 53
รูปที่ 4.4 ส่วนหนึ่งของชุดภาพถ่ายที่ถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ 53
รูปที่ 4.5 โมเดล 3 มิติ ที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม 54
รูปที่ 4.6 กองวัตถุที่สนใจและวัตถุอ้างอิง 55
รูปที่ 4.7 โมเดล 3 มิติก่อนการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก 55
รูปที่ 4.8 โมเดล 3 มิติ ที่ผ่านการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกแล้ว 56
รูปที่ 4.9 ด้านหลังพื้นของโมเดล 3 มิติ ที่แสดงให้เห็นถึงช่องว่างหรือรอยรั่วของตัวโมเดล 56
รูปที่ 4.10 แสดงด้านหลังพื้นของกองวัตถุในโมเดล 3 มิติที่ถูกปิดหรือผสานเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่าง ... 57
รูปที่ 4.11 แสดงค่าปริมาตรที่โปรแกรมวิเคราะห์ได้จากโมเดล 3 มิติ 57
รูปที่ 4.12 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบระบบ (ปริมาตร: $25.032 \times 10^{-6} m^3$) 58
รูปที่ 4.13 ค่าที่ได้จากโปรแกรม SPSS 61
รูปที่ 4.14 ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % ของผลต่างของปริมาตร 61
รูปที่ 4.15 มุมระดับสายตา (Eye’s Level View) จาก 2 มุม 62
รูปที่ 4.16 ภาพกองวัตถุตัวอย่างที่ทราบปริมาตรจาก 2 มุม 62
รูปที่ 4.17 กองวัตถุตัวอย่างที่มีลักษณะรูปทรงแตกต่างกัน 62
รูปที่ 4.18 ลักษณะการกองของเสียจากการก่อสร้าง 65
รูปที่ 4.19 ถังทรงลูกบาศก์ขนาด 1×1×1 เมตร 65
รูปที่ 4.20 ของเสียที่นำไปใส่ในกล่องลูกบาศก์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จนเต็มถัง 66
รูปที่ 4.21 ของเสียจากการก่อสร้างที่ถูกนำออกจากถังและเทกองบนพื้น 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.22 วัตถุอ้างอิงที่อยู่ภายในองค์ประกอบของภาพถ่ายกองของเสียจากการก่อสร้าง 66

รูปที่ 4.23 ขาระดับตั้งกล้อง 67

รูปที่ 4.24 แสดงมุมที่ใช้เก็บภาพทั้ง 2 มุม ได้แก่ มุม 70 องศา และที่มุม 90 องศากับแนวระนาบ.. 67

รูปที่ 4.25 ระดับความสูงของขาตั้งกล้องและมุมที่ใช้ในการเก็บภาพ 68

รูปที่ 4.26 เก็บภาพถ่ายของเสียจากการก่อสร้างโดยรอบกอง 68

รูปที่ 4.27 แสดงมุม ความสูงและรายละเอียดอื่นๆ ของการเก็บภาพถ่ายของเสียจากการก่อสร้าง .. 69

รูปที่ 4.28 รถเข็นปูน 76

รูปที่ 4.29 ชุดภาพถ่ายที่ถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ 77

รูปที่ 4.30 กลุ่มจุดสามมิติของของเสียจากโครงการก่อสร้าง 77

รูปที่ 4.31 โมเดล 3 มิติ ของของเสียจากโครงการก่อสร้าง 78

รูปที่ 4.32 ช่องว่างต่างๆ ที่ถูกปิดเพื่อให้สามารถหาปริมาตรได้ 78

รูปที่ 5.1 โปรแกรม VLC media player 85

รูปที่ 5.2 ส่วนหนึ่งของชุดข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม VLC media player 85

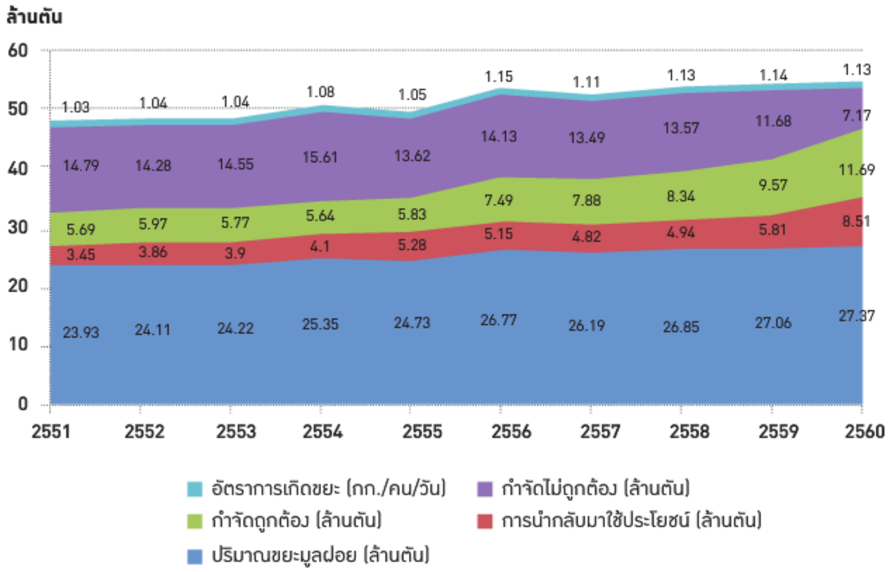
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหาของเสียถือเป็นปัญหาที่ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรการเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศที่กำลังพัฒนา โดยในประเทศไทยคาดว่าในปี พ.ศ. 2561 จะมีการขยายตัวร้อยละ 5 ถึง 10 จากปีที่ผ่านมา (โชคชัย สีนิลแท้, 2560) ทั้งในงานก่อสร้างของภาครัฐและภาคเอกชน โดยในงานก่อสร้างจะมีการใช้วัสดุอุปกรณ์และทรัพยากรหลายประเภทเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ ซึ่งผลที่ตามมาจากกระบวนการดังกล่าวคือ ของเสียจากการก่อสร้างตลอดจนกิจกรรมที่เกิดจากการรื้อถอนยังส่งผลให้เกิดของเสียเช่นเดียวกัน

จากรายงานปริมาณขยะมูลฝอยของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2560 พบว่ามีปริมาณขยะรวมทั้งประเทศอยู่ที่ 27.37 ล้านตัน หรือคิดเป็น 74,998 ตันต่อวัน มีอัตราการเกิดขยะมูลฝอยประมาณ 1.13 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน อีกทั้งขยะตกค้างสะสมที่เพิ่มขึ้นทุกปี ประมาณปีละ 10 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)



รูปที่ 1.1 อัตราการเกิดขยะ ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น การนำกลับไปใช้ประโยชน์ การกำจัดที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง ปี พ.ศ.2551-2560 (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าช่วงปี พ.ศ.2558-2560 ปริมาณขยะที่ถูกกำจัดได้อย่างถูกต้องมีแนวโน้มดีขึ้น เนื่องจากมีการประกาศให้การจัดการขยะมูลฝอยเป็นวาระแห่งชาติเมื่อปี พ.ศ.2557 ส่งผลให้มีการจัดสรรงบประมาณจำนวนมากมายังการจัดการขยะมูลฝอย โดยมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยทั่วประเทศในปี พ.ศ.2560 ทั้งหมด 2,867 แห่ง ที่เปิดดำเนินการอยู่ และปิดดำเนินการไปแล้ว 234 แห่ง เนื่องจากขยะมูลฝอยเต็มพื้นที่ของสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขนาดเล็กในระดับหมู่บ้านหรือชุมชน โดยระบบการจัดการขยะมูลฝอยในสถานที่ของประเทศไทยในปัจจุบันส่วนใหญ่มีการดำเนินงานของระบบกำจัดอยู่เพียงระบบเดียว เช่น เทกอง นำเข้าเตาเผา และการฝังกลบ เป็นต้น ซึ่งวิธีในการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรมที่นิยมใช้เป็นหลัก คือ วิธีฝังกลบ ซึ่งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงและไม่ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า (มลฤดี โตพิสิฐ และ สาลินี อาจารีย์, 2018)

การก่อสร้างและการรื้อถอนเป็นงานที่ก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการดังกล่าว ซึ่งเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากหากไม่มีการจัดการอย่างถูกวิธีกับชนิดของของเสียแต่ละอย่างที่เกิดขึ้น โดยในประเทศไทยยังไม่มีการเก็บข้อมูลทางสถิติของปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างเป็นการเฉพาะ เนื่องจากข้อกฎหมายยังไม่อำนวยต่อการจัดการขยะจากการก่อสร้างและปัญหาความร่วมมือจากหลายส่วนราชการ ได้แก่ ฝ่ายการโยธา ฝ่ายเทศกิจ ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและสุขาภิบาล (พรทิพย์ ทุมพันธ์, 2561)

ในความเป็นจริงผู้รับเหมาก่อสร้างจะมุ่งเน้นไปที่วัตถุประสงค์ของโครงการตลอดจนผลกำไร ซึ่งการจัดการกับของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างมักจะถูกเข้าใจว่า กระบวนการดังกล่าวมีผลต่อค่าใช้จ่ายในโครงการ ทำให้ผลกำไรที่ได้ลดลงจึงก่อให้เกิดการการละเลยในการจัดการกับของเสียดังกล่าวอย่างถูกวิธีและเหมาะสม โดยส่วนใหญ่จะพบว่าผู้รับเหมาจัดการกับขยะดังกล่าวด้วยการกองเศษสิ่งก่อสร้างรวมกันไว้แล้วจึงทำการจ้างเอกชนให้มาขนไปทิ้ง ซึ่งภาคเอกชนกลับไม่นำไปทิ้งยังสถานที่ฝังกลบขยะที่รัฐจัดไว้แต่กลับนำไปทิ้งยังสถานที่รกร้างตามชานเมือง (จิรานุวัฒน์ จันทร์จร, 2545)

จากการสอบถามผู้รับเหมาในการก่อสร้างพบว่า ผู้รับเหมาจะทำการจัดการของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างออกจากพื้นที่ในโครงการ โดยการใช้รถบรรทุกรับจ้างและรถแบคโฮตักของเสียที่กองอยู่ในพื้นที่ดังรูปที่ 1.2 ใส่กระบะของรถบรรทุกดังรูปที่ 1.3 ซึ่งผู้รับเหมาจำเป็นต้องรู้ปริมาณของเสียโดยประมาณเพื่อทำการกำหนดจำนวนรถบรรทุกที่ใช้นำของเสียไปทิ้งกับผู้รับจ้างก่อนการทำงานดังกล่าว จากนั้นผู้รับจ้างควรจะนำไปทิ้งยังสถานที่ที่เหมาะสมหรือที่รัฐจัดเตรียมไว้ แต่ทว่าทางผู้รับจ้างกลับนำไปทิ้งยังสถานที่รกร้าง ชานเมืองหรือริมถนนข้างทางในแถบชนบท แสดงดังรูปที่ 1.4 และรูปที่ 1.5 แสดงให้เห็นถึงความไม่เหมาะสมในการจัดการกับของเสียในงานก่อสร้าง

รูปที่ 1.2 กองของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่

รูปที่ 1.3 รถแบคโฮตักของเสียที่กองอยู่ในพื้นที่ก่อสร้างใส่รถบรรทุก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.4 กองของเสียจากการก่อสร้างตามที่รกร้าง

รูปที่ 1.5 เสาเข็มจากการก่อสร้างที่ถูกนำมาทิ้งตามที่รกร้าง

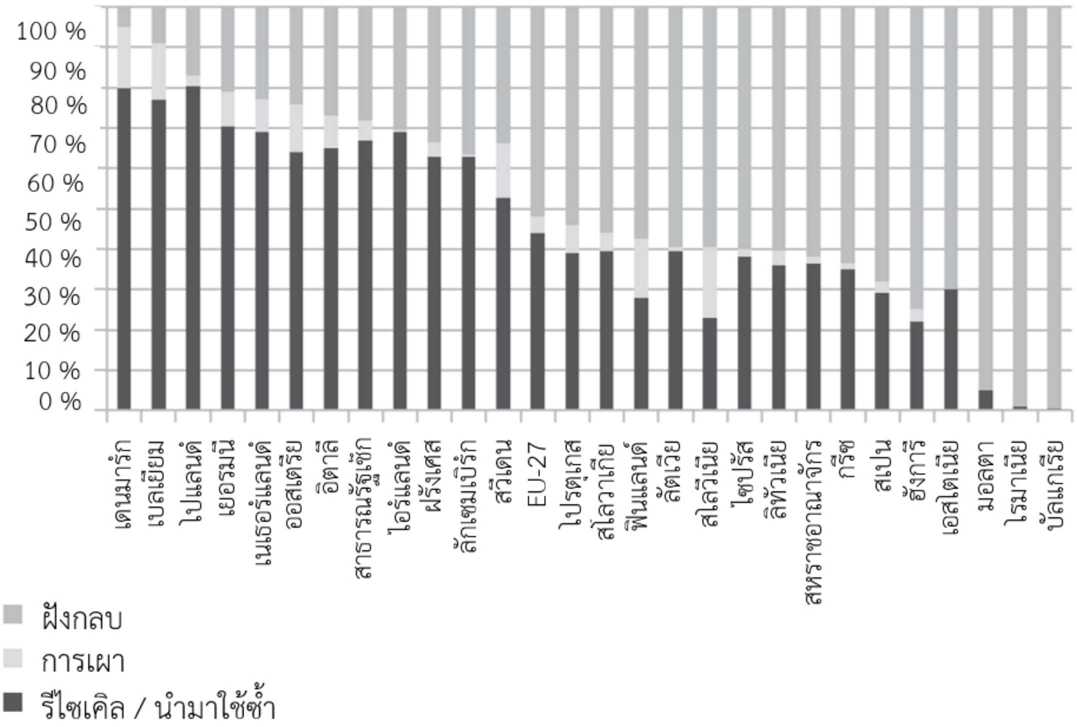
รูปที่ 1.6 กองของเสียจากการก่อสร้างที่ถูกทิ้งริมถนนรูปที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.7 กองของเสียจากการก่อสร้างที่ถูกทิ้งริมถนนรูปที่ 2

ของเสียจากการก่อสร้างเป็นสิ่งที่ผู้รับเหมาไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้แต่สามารถลดการเกิดได้จากการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียดังกล่าวโดยมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการหาถึงปัจจัยดังกล่าวได้แก่ นคร กกแก้ว (2545) ได้แบ่งปัจจัยออกเป็นสองระดับ คือ ระดับหลักการและระดับรายละเอียด โดยระดับหลักการพบว่า การวางแผนการก่อสร้างมีผลต่อการเกิดความสูญเสียของวัสดุสูงสุด รองลงมาคือ เทคโนโลยีการก่อสร้าง การออกแบบ การจัดการวัสดุ และการจัดหาวัสดุตามลำดับ ส่วนปัจจัยในระดับรายละเอียดพบว่า การเร่งงานซึ่งเป็นผลของปัจจัยในระดับของการวางแผนการก่อสร้าง เป็นปัจจัยที่มีผลสูงสุดในระดับรายละเอียด และได้เสนอแนวทางในการลดปริมาณความสูญเสีย โดยให้ผู้รับเหมาเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของความสูญเสียวัสดุก่อสร้าง เช่นเดียวกับ Ikau, Joseph, and Tawie (2016) ที่ได้แบ่งปัจจัยตามขั้นตอนในงานก่อสร้างประกอบไปด้วย การออกแบบ การจัดซื้อวัสดุ การขนถ่ายวัสดุ และการก่อสร้าง รวมถึง Polat, Damci, Turkoglu, and Gurgun (2017) ที่ได้แบ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากการก่อสร้างตามขั้นตอนรวมถึงองค์ประกอบที่สำคัญออกเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ การออกแบบและการทำสัญญาในด้านเอกสาร การจัดซื้อ การจัดการและควบคุมคุณภาพของวัสดุ การจัดเก็บวัสดุ คนงาน การจัดการขณะก่อสร้างและการกำกับดูแลภายในสถานที่ ตลอดจนปัจจัยภายนอก

ในต่างประเทศได้มีการเก็บข้อมูลทางสถิติของของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนเพื่อนำไปสู่การหาวิธีที่เหมาะสมในการจัดการกับของเสียแต่ละชนิดที่เกิดขึ้น ตลอดจนสามารถตรวจสอบถึงปริมาณที่เกิดขึ้นและหาแนวทางเพื่อลดการเกิดของเสียจากงานก่อสร้างภายในโครงการ โดย Deng, Liu, and Hao (2008) ได้กล่าวถึงปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในประเทศฮ่องกงโดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยอยู่ที่วันละ 37,690 ตัน โดย 80 % จะถูกนำไปยังพื้นที่สาธารณะเพื่อจัดการต่อไป ส่วนที่เหลืออีก 20 % จะถูกนำกำจัดที่หลุมฝังกลบ ในสหภาพยุโรป Kozlovská and Spišáková (2013) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของกลุ่มดังกล่าวและพบว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนคิดเป็น 33 % จากปริมาณของขยะทั้งหมด 2,570 ล้านตัน ซึ่งวิธีในการจัดการกับของเสียดังกล่าวของกลุ่มสหภาพยุโรปประกอบไปด้วย การฝังกลบ การเผา การรีไซเคิลและการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 การจัดการของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในสหภาพยุโรป (Kozlovská & Spišáková, 2013)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างได้มีนักวิจัยจัดทำและเสนอแนวทางในการหาปริมาณไว้ได้แก่ Bossink and Brouwers (1996) ได้เสนอวิธีคาดคะเนปริมาณของเสียจากการประมาณค่าจากเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักจากวัสดุที่ซื้อในประเทศเนเธอร์แลนด์จากงานก่อสร้างโดยประมาณค่าของเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้นไว้ที่ 1-10 % ของวัสดุที่ซื้อ (โดยน้ำหนัก) ในประเทศสหรัฐอเมริกา Cochran, Townsend, Reinhart, and Heck (2007) ได้เสนอวิธีการประมาณของปริมาณของเสียตามชนิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนภายในรัฐฟลอริดา โดยใช้ชุดของสมการและข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นต่อหน่วยพื้นที่ของงานก่อสร้างจากงานวิจัยของท่านอื่นโดยปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างประกอบไปด้วย คอนกรีต 56 %, ไม้ 13 %, drywall 11 %, เศษเบ็ดเตล็ด 8 %, วัสดุมุงหลังคา 7 %, โลหะ 3 %, กระดาษแข็ง 1 % และพลาสติก 1 % ในฮ่องกง Tam, Shen, and Tam (2007) ได้จำแนกเศษของเสียที่สำคัญเพื่อประมาณค่าสูญเสียที่เกิดออกเป็น 5 ประเภทได้แก่ คอนกรีต เหล็กเส้นเสริมแรง แบบหล่อ อิฐบล็อกและกระเบื้อง โดยศึกษาจากข้อมูลของผู้รับเหมาจากกลุ่มตัวอย่าง 19 โครงการ จากโครงการหลายประเภทและพบว่ากลุ่มโครงการประเภทบ้านของเอกชนก่อให้เกิดของเสียสูงสุดจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ในประเทศไทย Kofoworola and Gheewala (2009) ได้ทำการศึกษาโดยประมาณค่าของเสียในงานก่อสร้างจากการออกใบอนุญาตก่อสร้างแสดงให้เห็นถึงการเกิดของเสียคิดเป็น 21.38 kg/m^2 ในกิจกรรมก่อสร้าง

ที่อยู่อาศัยและคิดเป็น 18.99 kg/m^2 ในกิจกรรมก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย Solís-Guzmán, Marrero, Montes-Delgado, and Ramírez-de-Arellano (2009) ได้นำเสนอแบบจำลองปริมาณของเสียโดยศึกษาจากลุ่มตัวอย่างโครงการจากประเทศสเปนตามบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ และปริมาณแรงงาน ประกอบกับราคาที่ใช้ในการก่อสร้าง (Bill of Quantities) โดยแบ่งประเภทของเสียออกเป็น 3 ประเภท ประกอบไปด้วย การรื้อถอน การสูญเสียวัสดุระหว่างการก่อสร้าง และบรรจุภัณฑ์ โดยพบว่าของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างคิดเป็น 0.3076 m^3/m^2 และ 1.2676 m^3/m^2 ในงานรื้อถอน Villoria Sáez, del Río Merino, and Porras-Amores (2012) ได้ทำการปรับปรุงเครื่องมือวัดปริมาณของเสียในการก่อสร้างที่พักอาศัยใหม่ในประเทศสเปนโดยแบ่งตัวบ่งชี้ออกเป็นสามกลุ่มตามวัสดุและขั้นตอนทำให้ค่าที่ได้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นโดยคิดของเสียที่เกิดเป็นลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร Nugroho, Tongthong, and Shin–ei (2013) ได้เสนอวิธีการวัดค่าของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างโดยใช้ภาพถ่ายและส่งภาพเข้าสู่ระบบเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล โดยกำหนดให้กองวัตถุเป็นทรงกรวยและตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ความจุรถบรรทุกโดยพบว่าระบบให้ผลลัพธ์โดยมีความแตกต่างอยู่ที่ 11.71 % และที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ระบบแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำที่ 60 %

ดังจะเห็นได้ว่าในอดีตที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายท่านนำเสนอวิธีการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง เนื่องจากการจะหาปริมาณของเสียดังกล่าวนั้นเป็นวิธีการที่ยากและต้องใช้ทรัพยากรมากมาย ทั้งแรงงาน ค่าใช้จ่าย รวมถึงเวลาเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าว นักวิจัยหลายท่านจึงได้หาวิธีในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่สะดวกกว่าวิธีการที่กล่าวมา ทั้งการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อประมาณค่าของปริมาณของเสียที่อาจเกิดขึ้น หรือการใช้สมการเพื่อคาดคะเนถึงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นภายในโครงการ แต่วิธีการดังกล่าวที่นำเสนอมานั้นยังมีข้อจำกัดในด้านของประเภทโครงการก่อสร้าง เนื่องจากโครงการก่อสร้างนั้นมีความแตกต่างกันแต่ละโครงการ ของเสียที่เกิดขึ้นย่อมมีความแตกต่างกันไปเช่นเดียวกัน ซึ่งถ้าหากมีวิธีในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่สามารถนำไปใช้กับโครงการเฉพาะแต่ละโครงการได้ ย่อมทำให้ค่าของเสียที่ได้เป็นค่าที่มาจากโครงการนั้นๆ จริง ไม่ใช่การประมาณค่าดังวิธีการในอดีตที่ผ่านมา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการถ่ายภาพได้ถูกพัฒนาให้ง่ายต่อการที่ผู้คนจะนำไปใช้งานและมีความหลากหลายมากกว่าในอดีตที่ผ่านมารวมไปถึงการใช้ Photogrammetry นั่นคือการวัดโดยใช้ภาพถ่ายสองมิติเป็นเครื่องมือหลักในการทำงานเพื่อให้ได้โมเดลสามมิติออกมาโดยอาศัยกระบวนการในการสร้างความสัมพันธ์ของวัตถุ ทิศทาง และระยะทางจากภาพถ่าย โดยกระบวนการดังกล่าวใช้อย่างแพร่หลายในงานผลิตแผนที่ทางอากาศหรือแผนที่ทางภูมิศาสตร์และภูมิประเทศ ซึ่งในอดีตเครื่องมือถ่ายภาพยังมีข้อจำกัด แต่ทว่าปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ได้แก่ โทรศัพท์มือถือที่สามารถถ่ายภาพได้ อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) หรือโดรน โดยที่ผ่านมาได้มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับโครงการก่อสร้าง

ทั้งการนำภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนบังคับมาช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นที่ของโครงการก่อสร้างเพื่อช่วยในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง การใช้ภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนบังคับมาใช้ในการติดตามกิจกรรมและปริมาณงานขุดดินและงานถมดินในโครงการก่อสร้างเพื่อใช้ติดตามตรวจสอบความก้าวหน้าหรือการทำงานซ้ำซ้อนภายในโครงการ รวมถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาทำให้วิธีการดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้แพร่หลายมากกว่าในอดีต

การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการในการหาปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้างผ่านระบบที่ออกแบบโดยใช้วิธีถ่ายภาพกองของเสียเพื่อสร้างเป็นกลุ่มจุดสามมิติและโมเดลสามมิติของกองเสียดังกล่าวแล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของเสียต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

นำเสนอระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างจากภาพถ่ายดิจิตอลและโมเดลสามมิติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอวิธีการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างโดยใช้ภาพถ่ายดิจิตอลและโมเดลสามมิติ โดยของเสียดังกล่าวจะต้องไม่มีการสะท้อนแสงและโปร่งใส และไม่รวมถึงขยะชุมชนจากคนงานก่อสร้าง โดยปริมาณที่ได้จากระบบจะอยู่ในรูปแบบของปริมาตร

งานวิจัยนี้ใช้ของเสียจากการก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย โดยของเสียดังกล่าวประกอบไปด้วย อิฐแดง อิฐมวลเบา คอนกรีต กระเบื้องพื้น และกระเบื้องหลังคา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วย

1.4.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับของเสียจากการก่อสร้างรวมถึงวิธีการหรือเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีและวิธีการสร้างกลุ่มจุดสามมิติและโมเดลสามมิติจากภาพถ่าย

1.4.3 ลงพื้นที่โครงการก่อสร้าง โดยสัมภาษณ์ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นภายในโครงการ เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการจัดการกับของเสีย รวมถึงวิธีการหาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และสภาพปัญหาที่เกี่ยวข้องกับของเสียจากการก่อสร้าง

1.4.4 วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างภายในโครงการและแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว

1.4.5 ออกแบบระบบที่สามารถหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างในหน่วยของปริมาตร

1.4.6 ทดสอบระบบกับวัตถุตัวอย่างและของเสียจากการก่อสร้าง

1.4.7 พัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบที่ออกแบบไว้กับของเสียจากการก่อสร้าง

1.4.8 สรุปผลการทำวิจัย และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ระบบที่นำเสนอสามารถนำไปใช้หาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างได้

1.5.2 เป็นแนวทางเลือกของผู้รับเหมาก่อสร้างในการใช้ระบบที่นำเสนอในการหาปริมาณของเสียจากงานก่อสร้าง

1.5.3 เป็นระบบที่ช่วยให้นักสิ่งแวดล้อมสามารถหาปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทั่วไป

ในปัจจุบันปัญหาโลกร้อนและภาวะเรือนกระจกได้ส่งผลกระทบต่อโลกและการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตโดยปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญซึ่งส่งผลโดยตรงต่อเหตุการณ์ดังกล่าวคือ ขยะหรือของเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งจากการเพิ่มขึ้นของประชากรทั่วโลกนำไปสู่การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม นั่นรวมถึงอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่มีการใช้ทรัพยากรเป็นอย่างมากในกระบวนการดังกล่าว ซึ่งทำให้เกิดของเสียจากการทำงานโดยที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เนื่องจากลักษณะของงานก่อสร้าง รวมไปถึงปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ การขาดการวางแผนและการควบคุมที่ดี การขนส่งวัสดุ เงื่อนไขในการซื้อบางประการของวัสดุ เป็นต้น จึงนำมาซึ่งของเสียในการก่อสร้าง โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาในต่างประเทศที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนมีสัดส่วนที่สูง โดย Kozlovská and Spišáková (2013) ได้ทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มสหภาพยุโรป 27 ประเทศ เช่น สหราชอาณาจักรมีปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 30 % ประเทศเบลเยียมมีปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 33 % ประเทศเยอรมันมีปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 53 % ประเทศฝรั่งเศสมีปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 73 %โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนอยู่ที่ 33 % ของปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกลุ่มประเทศดังกล่าว โดยในประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนเมื่อเทียบกับปริมาณของเสียมวลรวมทั้งประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การจัดการของเสียอย่างถูกวิธีจึงเป็นแนวทางในการลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ทั่วโลกกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ โดย Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs) (Department for Environment, 2011) ซึ่งเป็นหน่วยงานรัฐบาลที่รับผิดชอบด้านนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของสหราชอาณาจักร ได้แบ่งลำดับขั้นในการจัดการของเสียดังรูปที่ 2.1 โดยออกเป็น 5 ระดับได้แก่

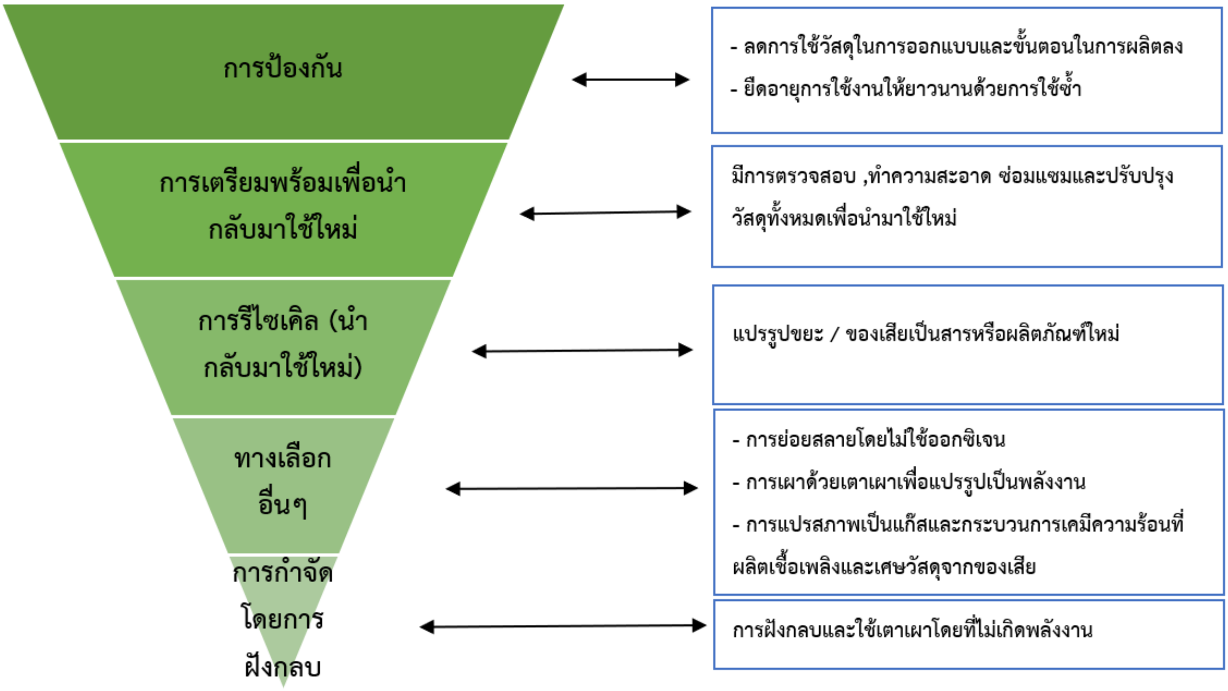
ระดับที่ 1 Prevention หมายถึง การป้องกันรวมถึงการใช้วัสดุน้อยลงในการออกแบบและขั้นตอนการผลิต การเลือกใช้วัสดุที่ไม่เป็นอันตรายหรือวัสดุทางเลือก

ระดับที่ 2 Preparing for re-use หมายถึง การซ่อมแซมเพื่อนำวัสดุดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ด้วยการทำความสะอาด ซ่อมแซม

ระดับที่ 3 Recycling หมายถึง การรีไซเคิลวัสดุเพื่อนำไปใช้งานใหม่ในงานอื่นๆ

ระดับที่ 4 Other recovery หมายถึง ทางเลือกอื่นๆ เช่น การย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน การเผาเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน เป็นต้น

ระดับที่ 5 Disposal หมายถึง การกำจัดโดยการฝังกลบ



รูปที่ 2.1 การแบ่งลำดับขั้นในการจัดการของเสียโดย (Department for Environment, 2011)

ในส่วนของประเทศไทย จิรานุวัฒน์ จันทร์จร (2545) ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียตามชนิดวัสดุที่เกิดการจากกระบวนการก่อสร้าง วิธีการจัดการและผลกระทบที่เกิดจากการจัดการกับเศษวัสดุดังกล่าวโดยแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเศษสิ่งก่อสร้างและวิธีการจัดการที่ใช้ภายในประเทศไทย (จิรานุวัฒน์ จันทร์จร, 2545)

ชนิดของเศษสิ่งก่อสร้าง	วิธีการจัดการในปัจจุบัน	ผลกระทบจากการจัดการ
เศษไม้	- ขายให้แก่อุตสาหกรรมที่ต้องการใช้ไม้ไปทำฟืน เช่น อุตสาหกรรมทำขนมจีน โรงหล่อพระ เป็นต้น - กำจัดเศษไม้เองด้วยการเผาเพื่อลดปริมาณขยะในสำนักงานภาคสนาม - นำไปรวมกับเศษอิฐ หิน ดิน ทราย แล้วจ้างเอกชนขนไปทิ้งในที่รกร้าง - ให้คนงานและชาวบ้านนำไปทำฟืนใช้ในครัวเรือน	- ขาดโอกาสในการใช้ไม้ที่สามารถนำไปใช้ในงานอื่นๆได้อีก - ปริมาณควันจากการเผาเศษไม้มีมากทำให้อากาศเป็นพิษ - การนำไปทิ้งโดยไม่มีการจัดการที่ดีจะมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
เศษเหล็กและอลูมิเนียม	- ขายให้แก่ร้านรับซื้อของเก่า	- ขาดโอกาสในการใช้เศษโลหะที่สามารถนำไปใช้ได้ในงานอื่นๆอีก
เศษอิฐ หิน ดิน กรวด ทราย กระเบื้องและคอนกรีต	- กองรวมกันไว้ เมื่อมีปริมาณมากพอจะจ้างเอกชนนำไปทิ้ง - นำไปปรับพื้นที่	- การนำไปทิ้งโดยไม่มีการจัดการที่ดีจะมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
เศษอุปกรณ์ก่อสร้าง เช่น ถังใส่ปูนพลาสติก บุ้งกี๋พลาสติก	- ขายให้แก่ร้านรับซื้อของเก่า - นำไปกองรวมกับเศษสิ่งก่อสร้างอื่น เพื่อรอการขนไปทิ้ง	- การนำไปทิ้งโดยไม่มีการจัดการที่ดีจะมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
ภาชนะบรรจุวัสดุก่อสร้าง เช่น ถุงใส่ปูนซีเมนต์	- นำไปบรรจุเศษวัสดุที่จะนำไปทิ้ง - ทิ้งรวมกับเศษสิ่งก่อสร้างอื่นๆ	- การนำไปทิ้งโดยไม่มีการจัดการที่ดีจะมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
สีทาบ้าน สีน้ำมัน	- เทในท่อระบายน้ำ - ทิ้งรวมกับเศษสิ่งก่อสร้างอื่นๆ	- สีทาบ้านและสีน้ำมันเป็นขยะอันตราย ถ้าไม่มีการจัดการให้ดีจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
ถังใส่สี	- ถ้ามีปริมาณมากจะขายให้แก่ร้านรับซื้อของเก่า - ให้คนงานนำไปบรรจุน้ำใช้	-การล้างถังใส่สีเพื่อนำไปใช้ลงในท่อระบายน้ำจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.1 นิยามของขยะมูลฝอย

พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535 ได้ให้คำนิยามของคำว่า มูลฝอย หมายถึง “เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ หรือกากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรืออื่น ๆ”

2.1.2 นิยามของขยะจากการก่อสร้างและการรื้อถอน

ขยะจากการก่อสร้างและการรื้อถอน หมายถึง “ของเสียที่แตกต่างไปจากขยะทั่วไป ซึ่งเกิดขึ้นจากการก่อสร้าง การดัดแปลง การปรับปรุงสภาพ หรือการรื้อถอนอาคาร ถนน หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ข้อแตกต่างที่สำคัญของของเสียจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้คือ ของเสียจากการก่อสร้าง โดยส่วนใหญ่แล้วเกิดจากเศษวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการใช้ในงานก่อสร้าง เช่น ชิ้นส่วนวัสดุที่เหลือจากการตัด วัสดุที่แตกหักเสียหาย หีบห่อบรรจุภัณฑ์ของวัสดุ วัสดุที่ใช้แล้วในระหว่างการก่อสร้างและของเสียอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการก่อสร้าง ในขณะที่ของเสียจากการรื้อถอน หมายถึง เศษวัสดุที่เกิดจากรื้อถอนอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ โดยส่วนใหญ่แล้วเศษวัสดุที่เกิดจากการรื้อถอนจะปะปนกันหลายชนิด ทั้งส่วนของเศษคอนกรีต วัสดุก่อ เหล็ก อิฐ ไม้ กระเบื้อง และวัสดุอื่นๆ รวมถึงส่วนที่เป็นสารอันตราย เช่น แอสเบสตอส ชิ้นส่วนที่มีปรอทเป็นองค์ประกอบ น้ำมันดิน พีวีซี ตลอดจนรวมถึงของเสียที่เกิดจากการซ่อมบำรุงถนน ประกอบด้วย หิน กรวด ดิน และทรายผสมรวมกับบิทูเมนหรือแอสฟัลต์ ของเสียนี้มักจะปนเปื้อนด้วยสารประกอบโพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAH)” (กรมควบคุมมลพิษ, มหาวิทยาลัยมหิดล และ สำนักงานความร่วมมือทางวิชาการเยอรมัน, 2550)

2.2 ประเภทและลักษณะของของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน

Thongkamsuk, Sudasna, and Tondee (2017) ได้ทำการศึกษาถึงภาพรวมของของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างอาคารสูงในประเทศไทย โดยได้แบ่งกลุ่มของขยะจากแหล่งกำเนิดออกเป็น 4 แหล่งได้แก่ การก่อสร้างที่อยู่อาศัย การก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย การรื้อถอนที่อยู่อาศัย การรื้อถอนที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย และพบว่าของเสียที่เกิดสูงที่สุดจากงานดังกล่าวคือ คอนกรีต ตลอดจนเศษวัสดุจำพวกงานสถาปัตย์ ได้แก่ กระเบื้องและวัสดุฝ้า รวมถึงเศษบรรจุภัณฑ์ของวัสดุก่อสร้าง

Poon, Ann, and Ng (2001) ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณขยะที่เกิดขึ้นระหว่างการการก่อสร้างและการรื้อถอนโดยแยกประเภทและระบุค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อปริมาณของขยะโดยรวมดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและองค์ประกอบของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (Poon et al., 2001)

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์	
	ขยะจากการรื้อถอน	ขยะจากการก่อสร้าง
แอสฟัลท์	1.61	0.13
คอนกรีต	19.99	9.27
คอนกรีตเสริมเหล็ก	33.11	8.25
ฝุ่น,ดิน,โคลน	11.91	30.55
หิน	6.83	9.74
ยาง	4.95	14.13
ไม้	7.15	10.53
ไม้ไผ่	0.31	0.30
บล๊อคคอนกรีต	1.11	0.90
อิฐ	6.33	5.00
แก้ว	0.20	0.56
สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ	1.30	3.05
ท่อพลาสติก	0.61	1.13
ทราย	1.44	1.70
ต้นไม้	0.00	0.12
สารเชื่อมประสาน	0.04	0.03
เศษขยะ	0.07	0.24
เหล็ก	3.41	4.36
รวม	100.00	100.00

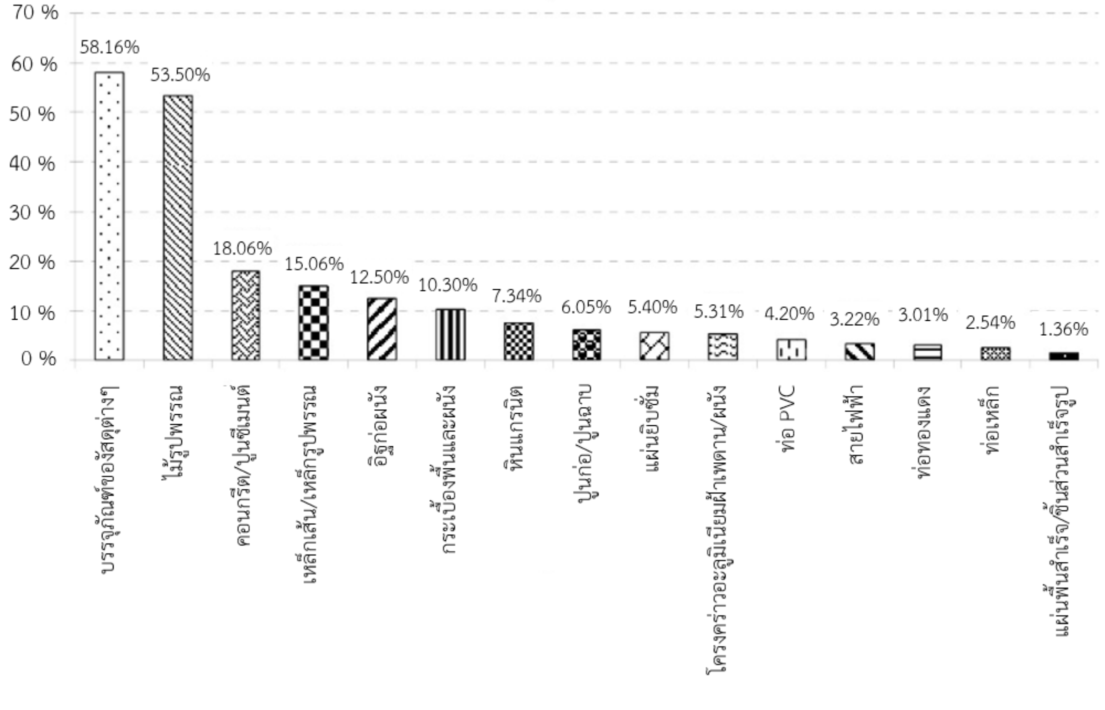
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงปริมาณของขยะที่เกิดจากการรื้อถอนมีปริมาณสูงกว่าขยะที่เกิดจากการก่อสร้าง โดยขยะที่พบมากที่สุดคือ คอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นองค์ประกอบหลักจากการรื้อถอนอาคาร แต่องค์ประกอบที่ทำให้เกิดขยะบางอย่างจากการก่อสร้างกลับมีปริมาณมากกว่าขยะที่เกิดจากการรื้อถอน เช่น พวกฝุ่น ดินโคลน หิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เกิดจากการปรับสภาพหน้าดิน

ของงานก่อสร้าง แสดงให้เห็นถึงชนิดขององค์ประกอบแต่ละอย่าง จะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประเภทงานที่กำลังดำเนินอยู่

วิโรจน์ อัศวทวีโชคชัย (2549) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับขยะที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้างในโครงการหมู่บ้านจัดสรร โดยพบว่าวัสดุก่อสร้างที่ทำให้เกิดขยะมูลฝอยดังกล่าวแบ่งออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ ไม้รูปพรรณ คอนกรีต อิฐ เหล็กรูปพรรณ กระเบื้องพื้นและผนัง กระเบื้องหลังคา และบรรจุภัณฑ์ของวัสดุต่างๆโดยพบว่าวัสดุที่ทำให้เกิดขยะมูลฝอยจากการก่อสร้างในโครงการสูงสุดคือไม้รูปพรรณและคอนกรีต

โชคดี ยี่แพร่ (2554) ได้ทำการศึกษาถึงสภาพปัญหาการจัดการขยะจากการก่อสร้างในโครงการอาคารขนาดใหญ่พิเศษและกระบวนการจัดการ พบว่าในภาพรวมของโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่พิเศษ วัสดุก่อสร้างที่ก่อให้เกิดขยะในกระบวนการก่อสร้างที่พบมากที่สุดมี 15 ชนิด ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ของวัสดุต่างๆ ไม้รูปพรรณ คอนกรีตและปูนซีเมนต์ เหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณ อิฐก่อผนัง กระเบื้องพื้นและผนัง หินแกรนิต ปูนก่อและปูนฉาบ แผ่นยิบซั่ม โครงคร่าวอะลูมิเนียมฝ้าเพดานและผนัง ท่อ PVC สายไฟฟ้า ท่อทองแดง ท่อเหล็ก แผ่นพื้นสำเร็จดังรูปที่ 2.2 โดยพบว่าวัสดุกลุ่มบรรจุภัณฑ์ของวัสดุต่าง ๆ และวัสดุกลุ่มไม้รูปพรรณ เป็นวัสดุที่ก่อให้เกิดขยะจากการกระบวนการก่อสร้างมากที่สุด



รูปที่ 2.2 สัดส่วนของขยะที่เกิดจากวัสดุก่อสร้างแต่ละชนิดในโครงการ (โชคดี ยี่แพร่, 2554)

2.3 ปริมาณของเสียจากก่อสร้างและการรื้อถอน

ของเสียจากการก่อสร้างเป็นหนึ่งในของเสียที่มีผลต่อการเกิดขยะจำนวนมาก ในต่างประเทศจึงตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวและได้มีการเก็บข้อมูลทางสถิติของการเกิดของเสียจากกระบวนการก่อสร้างในแต่ละประเทศไว้ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งแสดงถึงปริมาณของของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในสหภาพยุโรป (Kozlovská & Spišáková, 2013) และตารางที่ 2.4 แสดงถึงปริมาณของของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในภูมิภาคเอเชีย (Nitivattananon & Borongan, 2007) เพื่อทำการวางแผนและหาแนวทางในการจัดการกับของเสียดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรม

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในสหภาพยุโรป (Kozlovská & Spišáková, 2013)

ประเทศ	ของเสียจากกระบวนการก่อสร้างและการรื้อถอน / ของเสียทั้งหมด (%)
EU-27	33
เบลเยียม	7
บัลแกเรีย	NA
สาธารณรัฐเช็ก	39
เดนมาร์ก	15
เยอรมนี	53
เอสโตเนีย	2
ไอร์แลนด์	8
เฮลเลนิก	10
สเปน	28
ฝรั่งเศส	73
อิตาลี	39
ไซปรัส	45
ลัตเวีย	1
ลิทัวเนีย	6
ลักเซมเบิร์ก	84
ฮังการี	20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในสหภาพยุโรป (Kozlovská & Spišáková, 2013) (ต่อ)

ประเทศ	**ของเสียจากกระบวนการก่อสร้างและการรื้อถอน / ของเสียทั้งหมด (%)**
มอลตา	77
เนเธอร์แลนด์	66
ออสเตรีย	26
โปแลนด์	13
โปรตุเกส	29
โรมาเนีย	NA
สโลวีเนีย	30
สโลวาเกีย	17
ฟินแลนด์	24
สหราชอาณาจักรบริเตนใหญ่และไอร์แลนด์เหนือ	30

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในภูมิภาคเอเชีย (Nitivattananon & Borongan, 2007)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประเทศ	**ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (จำนวนหรือสัดส่วนของขยะทั้งหมด)**
อินเดีย	14.5 ล้านตัน
ฮ่องกง	42 %
จีน	17.5 %
มาเลเซีย	28.34 %
ไต้หวัน	ขยะคอนกรีตประมาณ 2.4 ล้านตัน
เวียดนาม	8% ของขยะเทศบาล

2.4 การหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน

การรับรู้ถึงปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนเป็นสิ่งสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงค่าความสูญเสียที่เกิดภายในโครงการตลอดจนนำไปสู่การวางแผนและจัดการกับของเสียดังกล่าวอย่างถูกวิธีและเหมาะสมของนักสิ่งแวดล้อม ตลอดหลายปีที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาเพื่อหาวิธีและแนวทางในการประเมินของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนโดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

Bossink and Brouwers (1996) ได้เสนอวิธีคาดคะเนปริมาณของเสียจากการประมาณค่าจากเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักจากวัสดุที่ซื้อในประเทศเนเธอร์แลนด์โดยสำรวจข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างงานก่อสร้างในโครงการบ้าน 5 แห่ง โดยพบว่าค่าประมาณของเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้นอยู่ที่ 1-10 % ของวัสดุที่ซื้อ (โดยน้ำหนัก) ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (Bossink & Brouwers, 1996)

วัสดุในงานก่อสร้าง	**เศษส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนขยะก่อสร้างทั้งหมด (โดยน้ำหนัก) (%)**	**เศษส่วนตามสัดส่วนของปริมาณการซื้อวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะ (โดยน้ำหนัก) (%)**	**ต้นทุนของเสียตามสัดส่วนของยอดรวมราคาของเสีย (%)**
แผ่นหิน	29	9	26
เสาเข็ม	17	5	13
คอนกรีต	13	3	7
ส่วนประกอบปูนไลม์	11	1	8
กระเบื้องหลังคา	10	10	13
ปูน	8	10	5
เศษบรรจุภัณฑ์	7	N/A	-
อิฐปนทราย	3	6	3
อื่นๆ (ส่วนใหญ่เป็นเศษเล็ก ๆ ของโลหะและไม้)	2	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Cochran et al. (2007) ได้เสนอวิธีการประมาณของปริมาณของเสียตามชนิดจากการก่อสร้างและการรื้อถอนภายในรัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกาโดยใช้ชุดของสมการซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การก่อสร้าง การรื้อถอน และการปรับปรุงโดยอธิบายด้วยสมการซึ่งเป็นที่มาของชุดสมการกลุ่มต่างๆ ดังสมการที่ 2.1 โดยพบว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง การรื้อถอนและการปรับปรุงประกอบไปด้วย คอนกรีต 56 %, ไม้ 13 %, drywall 11 %, เศษเบ็ดเตล็ด 8 %, วัสดุมุงหลังคา 7 %, โลหะ 3 %, กระดาษแข็ง 1 % และพลาสติก 1 % จากปริมาณของเสียทั้งหมดโดยน้ำหนัก

$$\text{Waste produced in region} = \begin{bmatrix}\text{Activity level of construction,} \\ \text{demolition, or renovation in region}\end{bmatrix} \times [\text{Waste produced per activity}] \quad (2.1)$$

i.) การก่อสร้าง (Construction)

ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างใช้สมการที่ 2.2 ในการหาปริมาณทั้งการก่อสร้างที่อยู่อาศัยและไม่ใช่ที่อยู่อาศัย ซึ่งจากการวิจัยพบว่าปริมาณของเสียที่เกิดมากที่สุดมาจากคอนกรีต โดยในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยมีปริมาณ 52% จากปริมาณทั้งหมด และในการก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยมีปริมาณ 64% จากปริมาณทั้งหมดโดยแสดงดังรูปที่ 2.3

$$C = \frac{a_c}{b}\sum_{n=1}^{i}(c_n \times \beta_n) \quad (2.2)$$

เมื่อ C = ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (tons/year)

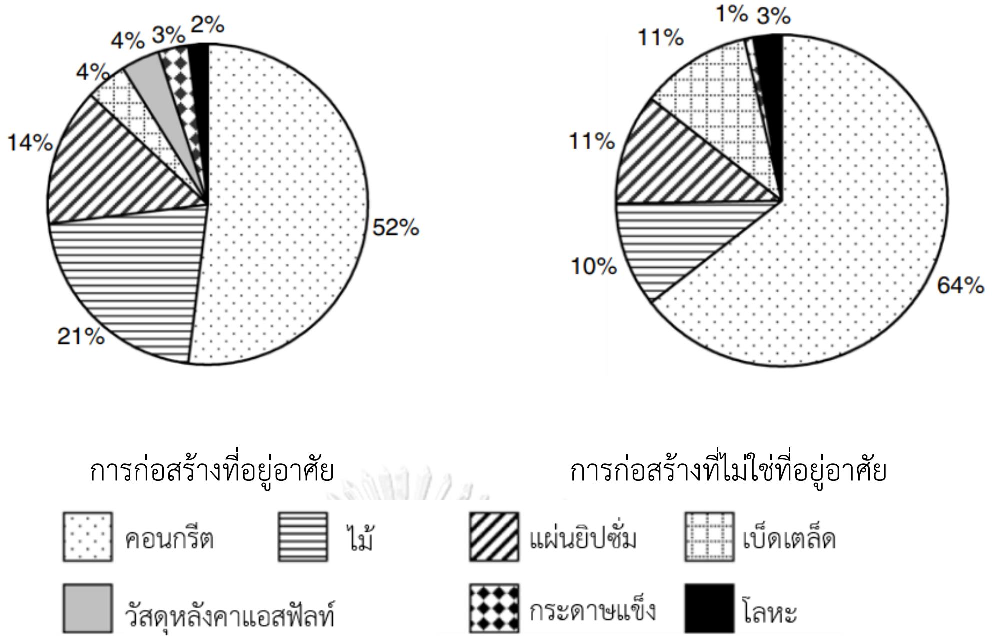
a_C = มูลค่ารวมของการก่อสร้าง (\$/year)

b = ต้นทุนเฉลี่ยต่อพื้นที่ของกิจกรรมก่อสร้าง (\$/m^2) (จากตารางที่ 2.6)

c_n = น้ำหนักของเสียจากการก่อสร้าง (kg/m^2)

β_n = เปอร์เซ็นต์ของ frame ในการก่อสร้างชนิดที่ n ทุกๆ i เมื่อ i คือจำนวนชนิดของ frame (จากค่าประมาณของการก่อสร้างบ้านใหม่ในรัฐฟลอริดาพบว่า β_1, concrete block frame = 79.6 % and β_2, wood frame = 20.4 % โดยค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับแต่ละรัฐ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.3 ปริมาณของเสียชนิดต่างๆจากการก่อสร้าง (Cochran et al., 2007)

ii.) การรื้อถอน (Demolition)

ปริมาณของเสียจากการรื้อถอนใช้สมการที่ 2.3 ในการหาปริมาณทั้งการก่อสร้างที่อยู่อาศัยและไม่ใช่ที่อยู่อาศัย ซึ่งจากการวิจัยพบว่าปริมาณของเสียที่เกิดมากที่สุดมาจากคอนกรีต โดยในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยมีปริมาณ 77% จากปริมาณทั้งหมด และในการก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยมีปริมาณ 82% จากปริมาณทั้งหมดโดยแสดงดังรูปที่ 2.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$D = \frac{(a_d \times \alpha)}{g} \sum_{n=1}^{i} (f_n \times \phi_n) \quad \text{..............(2.3)}$$

เมื่อ D = ปริมาณของเสียจากการการรื้อถอน (ต่อพื้นที่)

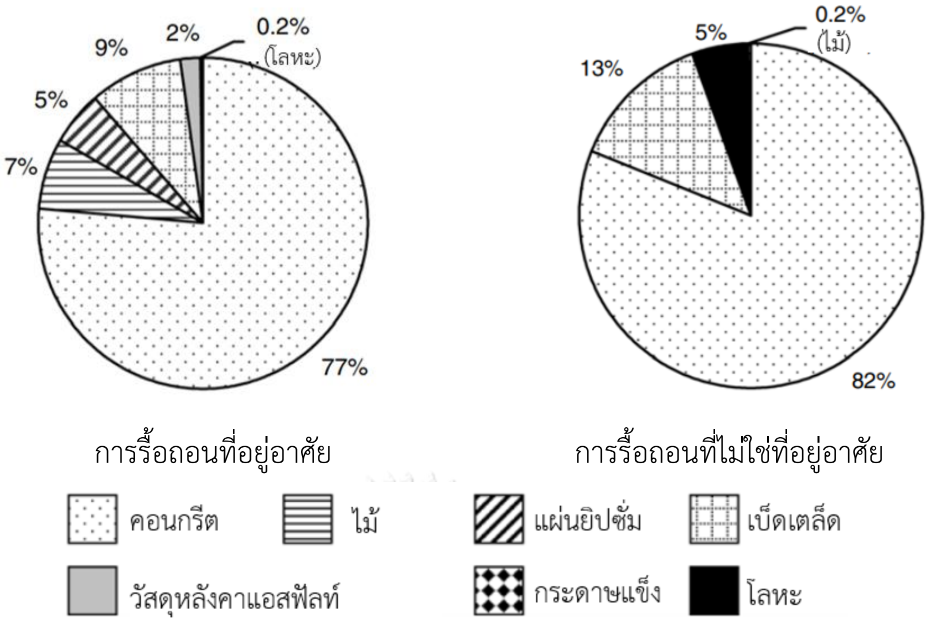
a_d = ต้นทุนรวมของกิจกรรมการรื้อถอน ($)

g = ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการรื้อถอนต่อหน่วยพื้นที่ ($/m^2)

f_n = น้ำหนักที่เหมาะสมต่อหน่วยพื้นที่ (kg/m^2)

ϕ_n = เปอร์เซ็นต์ของการรื้อถอนขึ้นอยู่กับบ้านชนิดต่างๆ

n = รูปแบบของการก่อสร้างสำหรับ i รูปแบบ



รูปที่ 2.4 ปริมาณของเสียชนิดต่างๆจากการรื้อถอน (Cochran et al., 2007)

iii.) Renovation

Renovation ในงานก่อสร้างมีหลายชนิดจึงใช้สมการที่แตกต่างกันออกไปได้แก่ การต่อเติมใช้สมการที่ 2.4 การซ่อมแซมใช้สมการที่ 2.5 การปรับปรุงหลังคาใช้สมการที่ 2.6 และการปรับปรุงถนนส่วนบุคคลใช้สมการที่ 2.7 ซึ่งจากการวิจัยพบว่าในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยมีปริมาณของเสียจากคอนกรีตสูงสุดโดยมีปริมาณอยู่ที่ 33% จากปริมาณทั้งหมด และในการก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยมีปริมาณของเสียจาก drywall สูงสุดโดยมีปริมาณอยู่ที่ 38% จากปริมาณทั้งหมดโดยแสดงดังรูปที่ 2.5

$$M = q \times \sum_{n=1}^{i} (c_n \times \beta_n) \text{.....(2.4)}$$

เมื่อ M = ปริมาณของเสียจากการต่อเติม

q = พื้นที่ที่มีการต่อเติม (m^2)

c_n = ปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ (kg/m^2) (จากตางราง 2.6)

B_n = เปอร์เซ็นต์ของ frame ในการต่อเติมชนิดที่ n ทุกๆ i เมื่อ i คือจำนวนชนิดของ frame

$$N = s \times t \text{ ....(2.5)}$$

เมื่อ N = ปริมาณของเสียจากการการซ่อมแซม (tons/year)

s = ผลผลิตของพื้นที่เฉลี่ยของการซ่อมแซม (m^2)

t = ปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ (kg/m^2) (จากตางราง 2.6)

$$O = v \times \sum_{n=1}^{i} (w_n \times \omega_n) \qquad (2.6)$$

เมื่อ O = ปริมาณของเสียจากการการซ่อมแซม (tons/year)

v = ผลผลิตของพื้นที่จากการปรับปรุงหลังคา (m^2)

w_n = น้ำหนักของเสียจากการปรับปรุงหลังคาต่อหน่วยพื้นที่หลังคา (kg/m^2) (จากตางราง 2.6)

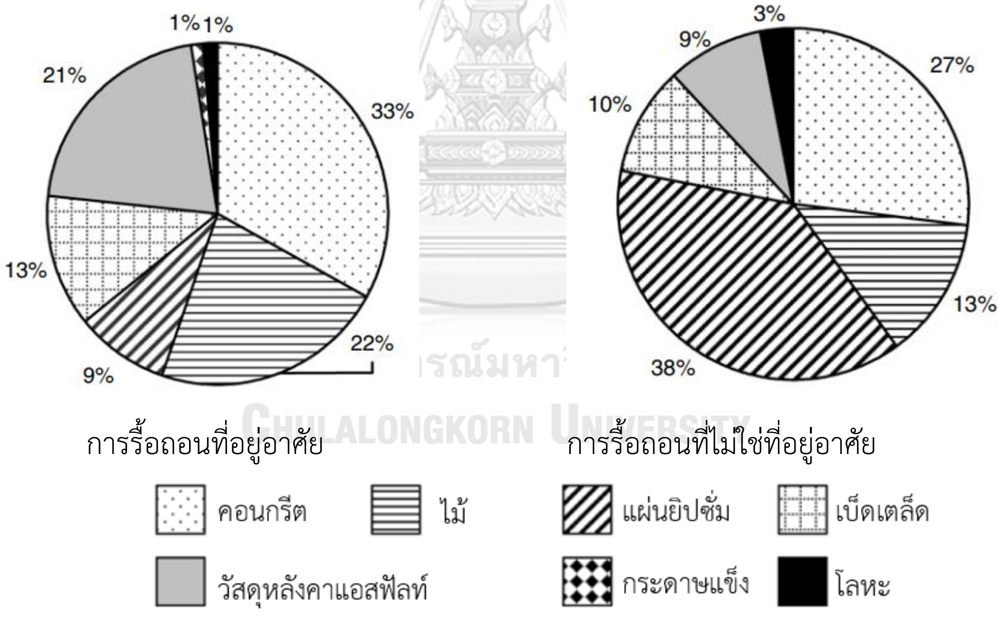
ω_n = น้ำหนักของเสียจากการปรับปรุงหลังคาตามเปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ n

$$P = y \times z \qquad (2.7)$$

เมื่อ P = ปริมาณของเสียจากการการปรับปรุงถนนส่วนบุคคล

y = ผลผลิตของพื้นที่เฉลี่ยต่อปีของการปรับปรุง

z = ปริมาณขยะคอนกรีตเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแต่ละครั้ง (ton/replacement)



รูปที่ 2.5 ปริมาณของเสียชนิดต่างๆ จากการ Renovation (Cochran et al., 2007)

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบของเสียจากงานก่อสร้างภาคสนาม,การรื้อถอนและการปรับปรุง(ต่อเติม) ที่ระบุจากการศึกษาก่อนหน้า (kg/m^2) (Cochran et al., 2007)

กิจกรรม	ประเภท	ไม้	แผ่นยิปซั่ม	คอนกรีต	อิฐ	กระดาษแข็ง	หลังคายางมะตอย	โลหะ	พลาสติค	กระดาษ	กระเบื้อง	อื่นๆ	รวม
งานก่อสร้างที่พักอาศัยและงานปรับปรุงต่อเติมที่พักอาศัย	โครงสร้างไม้[a,b,c,d]	12	5.2	0.26	0.51	0.68	0.39	0.30	0.15	0.07	-	1.40	21
	โครงสร้างคอนกรีต[e]	6.4	4.9	22.9	-	1.3	1.5	0.90	0.49	-	-	0.93	43.7
งานก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่พักอาศัยและงานปรับปรุงต่อเติมที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย	โครงสร้างไม้[a]	7	0.5	-	-	1	-	-	-	-	-	3	12
	โครงสร้างบล๊อคคอนกรีต[d]	3.3	5.2	33	-	-	-	1.4	-	-	-	4.7	47
การปรับปรุงที่พักอาศัย – ดัดแปลง[f]		29	9.4	25	-	0.99	0.37	0.75	1.3	-	2.3	12	82
การปรับปรุงที่พักอาศัย – การเปลี่ยนหลังคา	ยางมะตอย (แอสฟัลต์)[g]	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	12
	โลหะ[h]	-	-	-	-	-	-	6.8	-	-	-	-	6.8
การปรับปรุงที่พักอาศัย – การปรับปรุงถนนส่วนบุคคล (kg/job)[i]		-	-	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1
การปรับปรุงที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย – ดัดแปลง[a]		4.2	13	-	-	-	-	1.0	-	-	-	2.2	20
การปรับปรุงที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย – การเปลี่ยนหลังคา	BUR asphalt[j]	-	-	21	-	-	8.0	-	-	-	-	10	40
	SBS-modfied bitumen[j]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	4.1
	EPDM[j]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	1.6
	Asphalt shingle[j]	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	12
	APP-modified bitumen[j]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	3.0
	Other single plies[j]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	1.5
	CSPE[j]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4
	PVC[j]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7	2.7
การรื้อถอนที่พักอาศัย	โครงสร้างไม้ที่มีหลากหลายชนิด[k]	70	100	300	90	-	20	10	-	-	-	5	595
	โครงสร้างคอนกรีตและแผ่นพื้นคอนกรีต[j,l]	-	30	840	-	-	-	-	-	-	-	40	910
	โครงสร้างไม้และช่องใต้พื้นอาคาร[j,l]	90	30	-	-	-	15	-	-	-	-	60	195
	โครงสร้างไม้และแผ่นพื้นคอนกรีต[j,l]	90	30	-			15					60	435
	โครงสร้างไม้และห้องใต้ดิน[j,l]	90	30	240			15					60	725
การรื้อถอนที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย	โครงสร้างคอนกรีต[d]	1.5	-	530	-	-	-	44	-	-	-	110	845

[a] McGregor et al. (1993).
[b] Palermini & Associates (1993).
[c] NAHB (1995).
[d] Townsend (1998).
[e] Cochran (2001).
[f] O'Brien & Associates and Palermini & Associates (1993).
[g] NARC (1996a).
[h] NARC (1996b).
[i] Franklin Associates (1998).
[j] NARC(1993).
[k] NAHB (1997).
[l] Tansel et al. (1994).

ในฮ่องกง Tam et al. (2007) ได้จำแนกเศษของเสียที่สำคัญเพื่อประมาณค่าสูญเสียที่เกิดจากการก่อสร้างออกเป็น 5 ประเภทได้แก่ คอนกรีต เหล็กเส้นเสริมแรง แบบหล่อ อิฐบล็อกและกระเบื้อง โดยศึกษาจากข้อมูลของผู้รับเหมาจากกลุ่มตัวอย่าง 19 โครงการ จากโครงการหลายประเภทและพบว่ากลุ่มโครงการประเภทบ้านของเอกชนก่อให้เกิดของเสียสูงสุดจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งการศึกษานี้ได้ใช้สมการที่ 2.8 ในการหาประมาณค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก่อสร้าง

$$\text{Wastage Level (\%)} = \frac{\text{Mp - Mu}}{\text{Mp}} \times 100\% \text{.......} \quad (2.8)$$

เมื่อ Mp = ปริมาณวัสดุที่จัดซื้อมา

Mu = ปริมาณวัสดุที่ใช้ไป

(หน่วยเป็น m^3 สำหรับคอนกรีต และหน่วยเป็น m^2 สำหรับเหล็กเส้นเสริมแรง แบบหล่อ อิฐบล็อกและกระเบื้อง)

ในประเทศไทย Kofoworola and Gheewala (2009) ได้ทำการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างทั่วทุกภูมิภาคในประเทศโดยประมาณค่าของเสียในงานก่อสร้างจากการออกใบอนุญาตก่อสร้างแสดงให้เห็นถึงการเกิดของเสียคิดเป็น 21.38 kg/m^2 ในกิจกรรมก่อสร้างที่อยู่อาศัยและคิดเป็น 18.99 kg/m^2 ในกิจกรรมก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยโดยใช้สมการที่ 2.9 ในการคาดคะเนถึงปริมาณของเสียที่อาจเกิดขึ้นในงานก่อสร้างนั้นๆ

$$Qx = A \times Gav \times Px = Qp \times Px \text{ ....} \quad (2.9)$$

เมื่อ Qx = ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากการก่อสร้าง x tons

A = พื้นที่ของการก่อสร้าง (m^2)

Qp = ของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดในโครงการ (tons)

Gav = อัตราการเกิดของเสียโดยเฉลี่ย (21.38 kg/m^2 ในกิจกรรมก่อสร้างที่อยู่อาศัย และ 18.99 kg/m^2 ในกิจกรรมก่อสร้างที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย)

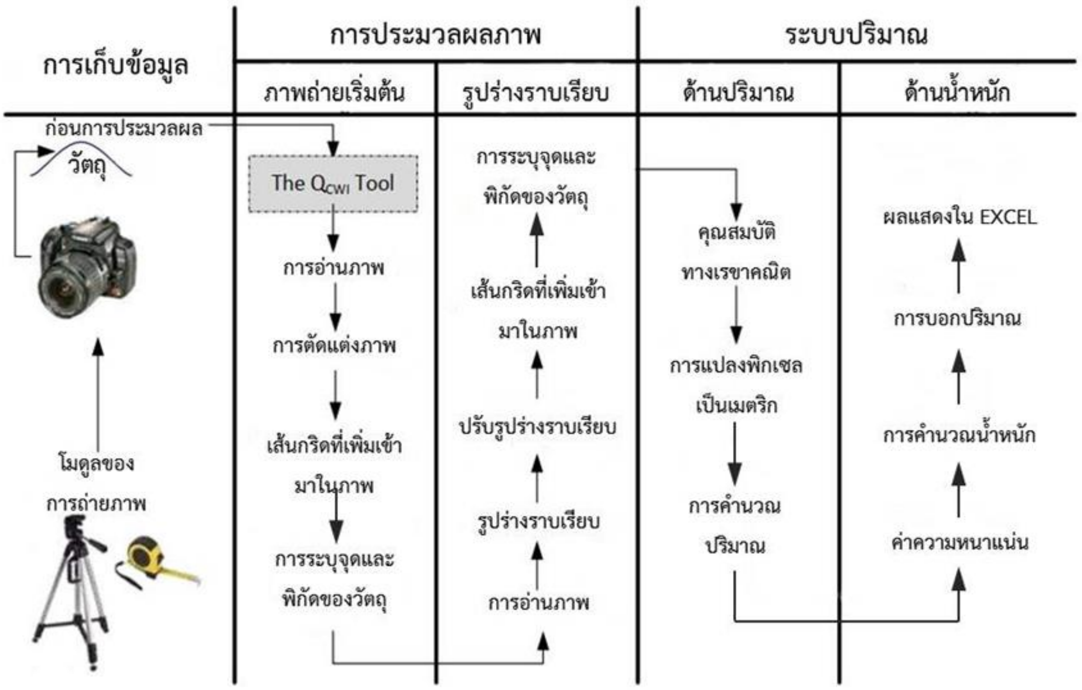
Px = องค์ประกอบเฉลี่ยของวัสดุเหลือทิ้ง x (%)

อธิบายดังตัวอย่าง, ในงานก่อสร้างที่อยู่อาศัยพื้นที่ 10,076,340 m^2 คาดว่าจะมีปริมาณของเสียจากงานก่อสร้างเท่ากับ 10,076,340 m^2 × 21.38 kg/m^2 = 215.43 × 10^6 kg และต้องการหาปริมาณของเสียจากไม้ โดยใช้ค่าประมาณการเกิดของเสียจากไม้เท่ากับ 12 % จาก Cochran et al. (2007) จะทำให้ค่าประมาณของเสียที่เกิดจากไม้เท่ากับ 25.85 × 10^6 kg

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

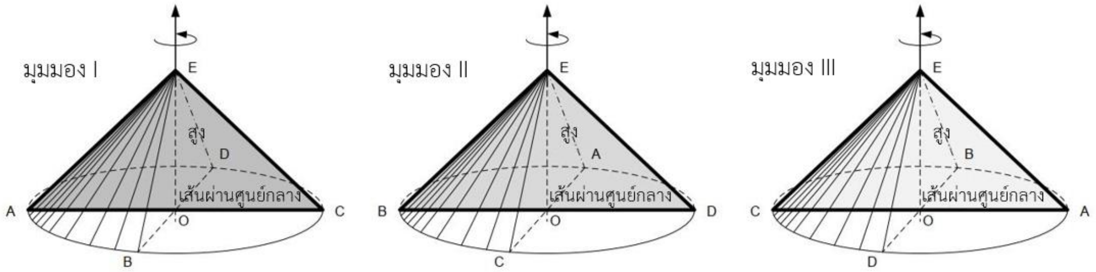
Solís-Guzmán et al. (2009) ได้นำเสนอแบบจำลองปริมาณของเสียโดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างโครงการจากประเทศสเปนตามบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ และปริมาณแรงงาน ประกอบกับราคาที่ใช้ในการก่อสร้าง (Bill of Quantities) โดยแบ่งประเภทของเสียออกเป็น 3 ประเภท ประกอบไปด้วย การรื้อถอน การสูญเสียวัสดุระหว่างการก่อสร้าง และบรรจุภัณฑ์ โดยพบว่าของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างมีค่าประมาณเป็น 0.3076 m^3/m^2 และ 1.2676 m^3/m^2 ในงานรื้อถอน เช่นเดียวกับ Villoria Sáez et al. (2012) ที่ทำการประมาณปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างและรื้อถอนโดยคิดของเสียที่เกิดเป็นลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรแต่มีการปรับปรุงปรับปรุงเครื่องมือวัดปริมาณของเสียในการก่อสร้างที่พักอาศัยใหม่ในประเทศสเปนโดยแบ่งตัวบ่งชี้ออกเป็นสามกลุ่มตามวัสดุและขั้นตอนที่มีความละเอียดของรายละเอียดงานและชนิดของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ค่าที่ได้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

Nugroho et al. (2013) ได้เสนอวิธีการวัดค่าของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างโดยใช้ภาพถ่าย (2D) และส่งภาพเข้าสู่ระบบเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยอธิบายดังรูปที่ 2.6 โดยใช้ชื่อเครื่องมือดังกล่าวว่า Q_{CWI} ซึ่งกำหนดให้กองวัตถุเป็นทรงกรวยและตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ความจุของรถบรรทุก



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนของเครื่องมือ QCWI ในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (Nugroho et al., 2013)

จะเห็นได้ว่าระบบที่นำเสนอประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่ การเก็บข้อมูล การถ่ายโอนข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยในขั้นตอนแรกคือการเก็บข้อมูลโดยใช้กล้อง (camera) และขาตั้งกล้อง (tripod) โดยตั้งบนพื้นที่เรียบและระยะห่างระหว่างกล้องกับกองวัตถุคือ 2 เมตร โดยในงานวิจัยนี้ใช้ขนาดของเลนส์ 18-55 mm และการถ่ายโอนข้อมูลจะใช้ Micro Secure Digital Card (MicroSD Card) เพื่อส่งข้อมูลมาวิเคราะห์ที่คอมพิวเตอร์ ซึ่งในขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพประกอบไปด้วยภาพ 2 รูปแบบ โดยรูปแบบแรกเกี่ยวข้องกับการเตรียมภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการ, การครอบตัดภาพ, การเพิ่มเส้นตารางในภาพและการระบุพิกัดของคุณลักษณะทางเรขาคณิต ในรูปแบบที่ 2 เรียกว่า Smoothed Shape คือการแก้ไขรูปภาพของกองวัตถุให้มีเส้นที่เรียบตรงโดยการลากเส้นใหม่เพื่อให้จำแนกรูปทรงทางเรขาคณิตได้ โดยรูปทรงเรขาคณิตที่ใช้ในการวิจัยคือทรงกรวย โดยได้กำหนดให้จำนวนภาพที่ต้องใช้คือ 3 รูปจากด้านที่แตกต่างกันโดยแต่ละรูปสันนิษฐานว่าเป็นรูปสามเหลี่ยมในภาพ 2 มิติ โดยภาพถ่ายที่สองให้หมุนกล้องไป 90 องศาจากตำแหน่งเริ่มต้นดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงมุมมองของภาพถ่ายทั้ง 3 รูป (Nugroho et al., 2013)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

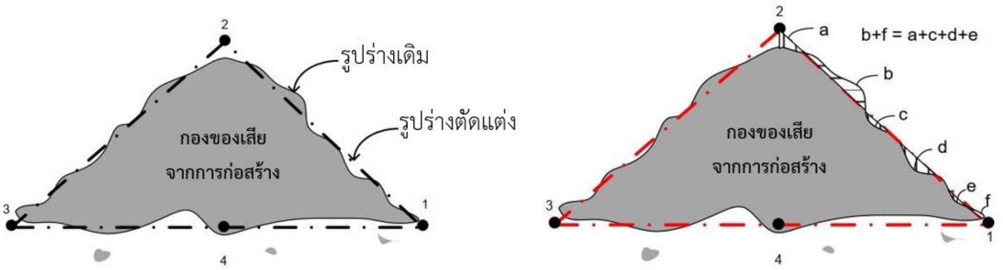
และใช้สูตรที่ 2.10, 2.11 และ 2.12 ในการหาปริมาณของเสียในรูปของปริมาตร

$$\text{Average of Diameter} = \frac{AC+BD+CA}{3} \quad \text{..................................(2.10)}$$

$$\text{Average of Height} = \frac{OE_{I}+OE_{II}+OE_{III}}{3} \quad \text{.................................(2.11)}$$

$$\text{Cone Volume} = \frac{1}{3} \times \pi \times \text{diameter}^{3} \times \text{height} \text{...............(2.12)}$$

ระบบการหาปริมาณดังกล่าวได้เสนอสองแนวทางในการวัดปริมาณขยะจากการก่อสร้าง โดยแนวทางแรกจะใช้ภาพถ่ายรูปร่างเริ่มต้น (Ordinary shape) และแนวทางที่สองจะใช้รูปร่างราบเรียบที่มาจากการปรับแต่งรูปร่างเริ่มต้น (Smoothed Shape) แสดงดังรูปที่ 2.8 และผลลัพธ์ของระบบคือค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธี



รูปที่ 2.8 Ordinary shape และ Smoothed Shape (Nugroho et al., 2013)

โดยพบว่าระบบให้ผลลัพธ์โดยมีความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 11.71% (0.57%-23.11%) และที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระบบแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำที่ 60% ดังแสดงผลดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ผลต่างของการวัดปริมาตรที่ได้จากรถบรรทุกและระบบที่ออกแบบ (Nugroho et al., 2013)

ลำดับตัวอย่าง	การวัดโดยเครื่องมือต้นแบบ		เมื่ออยู่ในกระบะของรถบรรทุก	รถบรรทุก VS ภาพถ่ายเริ่มต้น		รถบรรทุก VS ภาพถ่ายตัดแต่ง		เมื่ออยู่ในระบบ	รถบรรทุก VS เครื่องมือต้นแบบ	
	ภาพถ่ายเริ่มต้น	ภาพถ่ายตัดแต่ง		m^3	%	m^3	%		m^3	%
2	4.84	5.18	5.04	0.2	3.94	0.14	2.8	5.01	0.03	0.57
6	4.561	5.411	5.04	0.48	9.48	0.37	7.39	4.99	0.05	1.05
1	4.44	4.56	4.34	0.1	2.24	0.22	5.00	4.50	0.16	3.62
10	4.509	4.758	4.43	0.08	1.82	0.33	7.45	4.63	0.21	4.64
9	5.278	5.276	4.62	0.66	14.36	0.66	14.32	5.28	0.66	14.34
4	5.002	4.573	4.18	0.82	19.59	0.39	9.34	4.79	0.6	14.46
3	5.358	5.321	4.54	0.81	17.93	0.78	17.12	5.34	0.8	17.52
7	5.647	5.179	4.57	1.08	23.55	0.61	13.31	5.41	0.84	18.43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2.7 ผลต่างของการวัดปริมาตรที่ได้จากรถบรรทุกและระบบที่ออกแบบ (Nugroho et al., 2013) (ต่อ)

ลำดับตัวอย่าง	การวัดโดยเครื่องมือต้นแบบ		เมื่ออยู่ในกระบะของรถบรรทุก	รถบรรทุก VS ภาพถ่ายเริ่มต้น		รถบรรทุก VS ภาพถ่ายตัดแต่ง		เมื่ออยู่ในระบบ	รถบรรทุก VS เครื่องมือต้นแบบ	
	ภาพถ่ายเริ่มต้น	ภาพถ่ายตัดแต่ง		m^3	%	m^3	%		m^3	%
8	5.337	5.326	4.47	0.87	19.51	0.86	19.26	5.33	0.87	19.39
5	5.456	6.016	4.66	0.8	17.1	1.36	29.12	5.74	1.08	23.11
ค่าเฉลี่ย	5.04	5.16	4.59	0.59	12.95	0.57	12.51	5.10	0.53	11.71

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในงานก่อสร้างและการรื้อถอน

จากการทบทวนวรรณกรรมจะพบได้ว่ามีการใช้หลักเกณฑ์ที่แตกต่างกันออกไปในการแบ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดของเสียในงานก่อสร้างและการรื้อถอน

นคร กกแก้ว (2545) ได้แบ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในงานก่อสร้างออกเป็นสองระดับ คือ ระดับหลักการและระดับรายละเอียด โดยระดับหลักการพบว่าการวางแผนการก่อสร้างมีผลต่อการเกิดความสูญเสียของวัสดุสูงสุด รองลงมาคือ เทคโนโลยีการก่อสร้าง การออกแบบ การจัดการวัสดุ และการจัดหาวัสดุตามลำดับ ส่วนปัจจัยในระดับรายละเอียดพบว่า การเร่งงานซึ่งเป็นผลของปัจจัยในระดับของการวางแผนการก่อสร้าง เป็นปัจจัยที่มีผลสูงสุดในระดับรายละเอียด และได้เสนอไว้ว่า ให้ผู้รับเหมาเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของความสูญเสียของระบบหรือขั้นตอนต่างๆ เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดแนวทางในการทำงานเพื่อลดปริมาณความสูญเสียจากวัสดุก่อสร้างนั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม

Polat et al. (2017) ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียจากการก่อสร้างของประเทศตุรกี และได้แบ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียจากการก่อสร้างออกเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ การออกแบบและการทำสัญญาในด้านเอกสาร การจัดซื้อ การจัดการและควบคุมคุณภาพของวัสดุ การจัดเก็บวัสดุ คนงาน การจัดการขณะก่อสร้างและการกำกับดูแลภายในสถานที่ ตลอดจนปัจจัยภายนอก ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีการจัดระดับความสำคัญสูงได้แก่

(i) ปัจจัยด้านการออกแบบและการทำสัญญา เนื่องจากอุตสาหกรรมการก่อสร้างนั้นมักจะพบการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ การเปลี่ยนแปลงคำสั่งซื้อและความแตกต่างในการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ออกแบบและเอกสารสัญญาเป็นประจำ ซึ่งจะทำให้เกิดขยะจำนวนมากในระหว่างการก่อสร้าง

(ii) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้อ เนื่องจากข้อจำกัด ความแตกต่าง และการละเลยในการให้ความสำคัญในด้านปริมาณ เช่น การบังคับซื้อวัสดุบางอย่างในปริมาณที่เกินจากความต้องการใช้ภายในงาน หรือเพื่อทำให้ราคาวัสดุดังกล่าวมีราคาต่ำลงเมื่อซื้อในปริมาณมาก

(iii) ปัจจัยในด้านของคนงาน เนื่องจากประสบการณ์หรือความสามารถของคนงานแต่ละคนไม่เท่ากัน ตลอดจนการมอบหมายงานที่ไม่เหมาะกับคนงานส่งผลให้เกิดความแตกต่างจึงนำไปสู่การเกิดของเสียภายในงานก่อสร้าง

(iv) ปัจจัยในด้านการจัดการขณะก่อสร้างและกำกับดูแลภายในสถานที่ ได้แก่ การจัดการด้านการตัดวัสดุให้ได้ตามแบบโดยไม่คำนึงถึงเศษที่เกิดขึ้น การใช้วัสดุผิดประเภทจนจำเป็นต้องทิ้งวัสดุดังกล่าวหรือทำใหม่

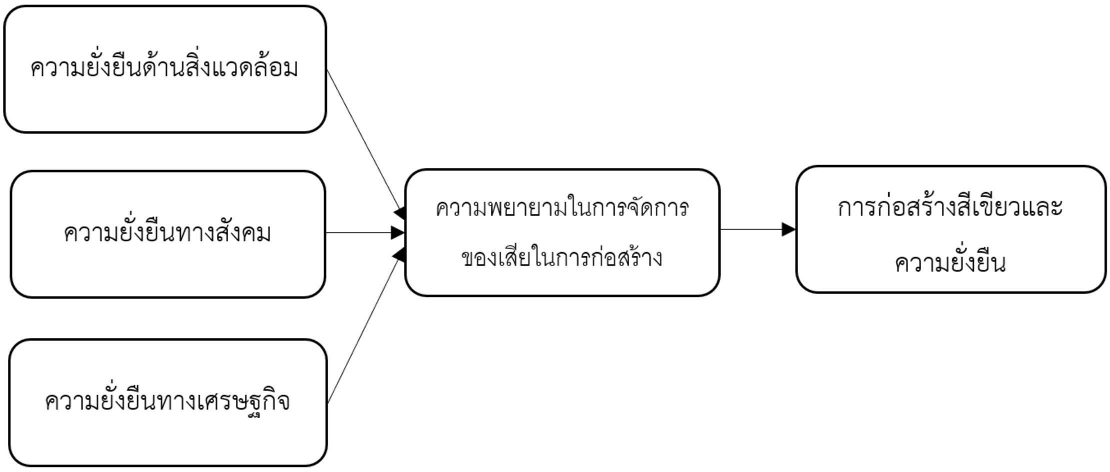
Ikau et al. (2016) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียจากการก่อสร้างในประเทศมาเลเซียโดยแบ่งปัจจัยตามขั้นตอนในงานก่อสร้างได้แก่ การออกแบบ การจัดซื้อวัสดุ การขนถ่ายวัสดุและการก่อสร้าง พบว่า การขาดประสบการณ์หรือความรู้ในงานก่อสร้างรวมถึงการจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นอาจส่งผลถึงการทุบหรือรื้อเพื่อทำใหม่ การซื้อวัสดุที่มีความเฉพาะและมีข้อจำกัดตลอดจนการจัดเก็บวัสดุในที่ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความเสียหายและเกิดของเสียจากการก่อสร้าง ตลอดจนขาดกฎระเบียบการบังคับใช้และหลักเกณฑ์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างของประเทศมาเลเซียเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการสร้างขยะมูลฝอย

Rahman, Nagapan, and Asmi (2014) ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียจากการก่อสร้างของประเทศมาเลเซีย ได้แบ่งปัจจัยที่สำคัญออกเป็น 7 กลุ่ม โดยใช้หลักการแบ่งตามลำดับงานที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง ได้แก่ การออกแบบ การจัดการวัสดุอุปกรณ์ การจัดการในการก่อสร้าง การจัดซื้อวัสดุ เงื่อนไขของสถานที่ก่อสร้าง คนงาน และปัจจัยภายนอก โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียจากการก่อสร้างสูงสุดคือ การจัดซื้อวัสดุ นั่นยังรวมไปถึงการขาดการบังคับใช้กฎหมายในด้านการจัดการกับของเสียจากการก่อสร้างตลอดจนทัศนคติของคนงานเนื่องจากไม่มีแผนการบริหารจัดการขยะภายในไซต์หรือมีประสิทธิภาพเพียงพอและการขาดประสบการณ์ของคนงาน

Manowong (2012) ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจัดการและการเกิดของเสียจากการก่อสร้างของประเทศไทยโดยแสดงถึงปัจจัยที่สำคัญดังรูปที่ 2.9 โดยพบว่า ปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคมมีความสำคัญสูงสุดโดยส่งผลต่อความพยายามในการจัดการขยะจากการก่อสร้างของภาคเอกชน เนื่องจากเอกชนมีผลโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญในการบรรลุผลในการจัดการของเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพ แต่ทว่าภาคเอกชนจะจัดการกับของเสียดังกล่าวอย่างไม่เหมาะสม เพราะว่าภาคเอกชนจะคำนึงถึงผลประโยชน์ขององค์กรมาก่อนเสมอเนื่องด้วยการจัดการกับของเสียจากการก่อสร้างอย่างเหมาะสมอาจนำมาซึ่งค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น และยังพบว่าการบังคับใช้นโยบายและแผนงานการจัดการของเสียจากการก่อสร้างยังไม่มีความชัดเจน จึงเป็นช่องว่างให้ภาคเอกชนนำขยะดังกล่าวไปทิ้งตามที่รกร้างหรือที่สาธารณะ



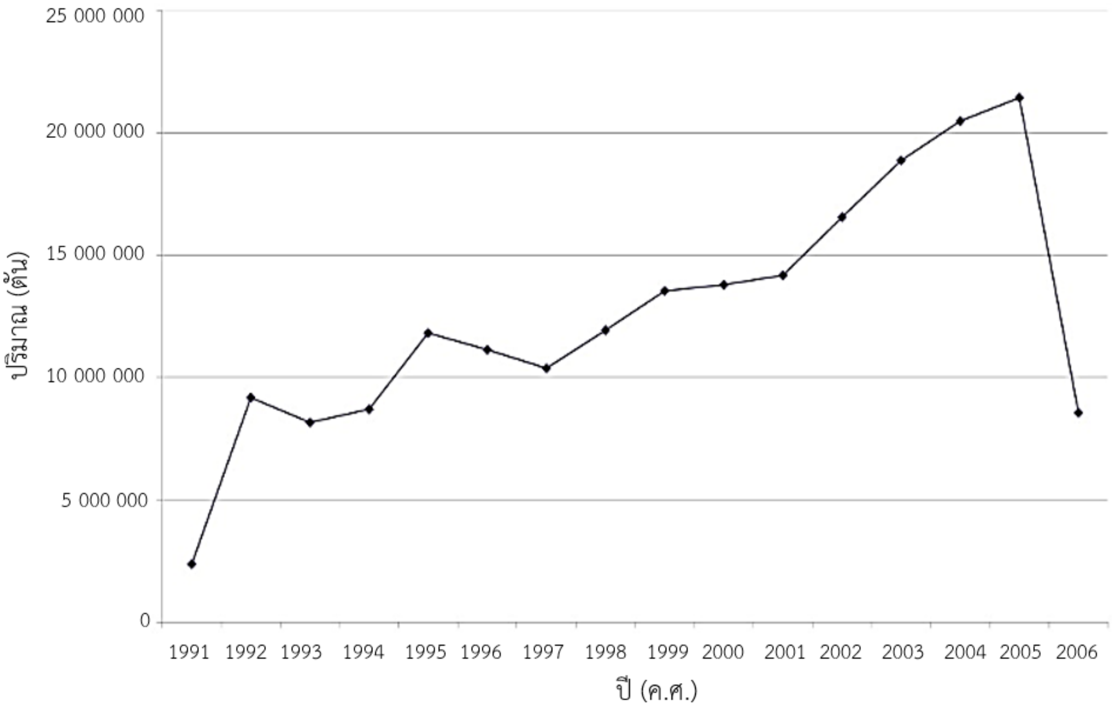
รูปที่ 2.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจัดการของเสียจากการก่อสร้าง (Manowong, 2012)

2.6 แนวทางในการจัดการของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอนให้มีประสิทธิภาพ

2.6.1 ด้านกฎหมายและข้อบังคับ

Hao, Hills, and Tam (2008) ได้ทำการตรวจสอบถึงประสิทธิภาพของโครงการของรัฐบาลฮ่องกงที่ได้เสนอโครงการการจัดเก็บเงินจากกากของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (C&D) ในปี 2005 จากการสำรวจเมื่อโครงการดังกล่าวดำเนินไปได้ 1 ปี พบว่า ปริมาณของขยะมูลฝอยลดลงกว่า 60 % จากปีที่แล้วดังแสดงดังรูปที่ 2.10 สรุปได้ว่าการดำเนินงานของโครงการดังกล่าวสามารถลดการสร้างขยะจากการก่อสร้างและรื้อถอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.10 ปริมาณขยะที่มีการจัดเก็บจากการก่อสร้างและการรื้อถอนในปี 1991 ถึง 2006 (Hao et al., 2008)

Nagapan, Rahman, and Asmi (2012) ทำการศึกษาถึงการจัดการของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างโดยได้ศึกษาถึงมุมมองทางกฎหมายและการบังคับใช้พบว่ามีการแบ่งหน่วยงานออกเป็น 4 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการขยะก่อสร้างดังตารางที่ 2.8 ประกอบไปด้วย Ministry of Housing and Local Government, Ministry of Works, Ministry of Natural Resources and Enviroment และ Construction Industry Development Board แต่ยังพบว่ามีปัญหาในการกำหนดขอบเขตของการจัดการในแต่ละองค์กร รวมถึงมาตรฐานบางอย่างที่มีการบังคับใช้เป็นการเฉพาะ เช่น งานของรัฐบาลที่ผู้รับเหมาจำเป็นต้องมีการนำขยะก่อสร้างไปทิ้งยังหลุมฝังกลบที่ได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานรัฐแล้วเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.8 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการขยะก่อสร้างในประเทศมาเลเซีย (Nagapan et al., 2012)

หน่วยงาน	กฎหมาย / หน้าที่ / มาตรฐาน	ขอบเขต	หมายเหตุ
Ministry of Housing and Local Government	กฎหมายการจัดการขยะมูลฝอยและการรักษาความสะอาดที่สาธารณะ	กฎหมายนี้ได้จัดหาและควบคุมการจัดการขยะมูลฝอยและการรักษาความสะอาดที่สาธารณะเพื่อวัตถุประสงค์ในการรักษาสุขอนามัยที่เหมาะสม	ขยะมูลฝอยถูกจำกัดความ /ถูกกำหนดครอบคลุมอยู่ในขยะ / ของเสียจากการก่อสร้างด้วย
Ministry of Works	ข้อจำกัดซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับงานด้านก่อสร้าง	มาตรฐานนี้ถูกนำไปใช้กับการทำสัญญาที่ใช้กลยุทธ์จากฝ่ายจัดซื้อ JKR	จาก Clause 46.3 สภาพของงานที่สมบูรณ์นั้น หน้าที่ของผู้ทำสัญญาคือต้องเก็บรวบรวมและกำจัดขยะทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นเศษขยะ, ขยะมูลฝอย, ของเสียจากการก่อสร้างที่เกิดระหว่างดำเนินงาน ต้องมีการจัดการให้เรียบร้อยอย่างน้อยสัปดาห์ละ 2 ครั้ง โดยต้องผ่านการอนุมัติจากผู้จัดการโครงการก่อสร้างดังกล่าว
Ministry of Natural Resources and Environment	กฎหมายควบคุมคุณภาพทางสิ่งแวดล้อม 1974 (Act 127) - ส่วนที่ 4 Section 24 (2b)	กฎหมายนี้ช่วยป้องกันควบคุม มลภาวะให้ลดลงและยกระดับสิ่งแวดล้อมภายในประเทศมาเลเซียให้ดียิ่งขึ้น	ในส่วนที่ 4 Section 24 (2b) (ข้อห้ามและการควบคุมมลภาวะ) เป็นการกล่าวถึงมลพิษในดินหรือทางบก ซึ่งจะเกิดขึ้นหากมีการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบซึ่งเป็นสิ่งที่สกปรกและไม่พึงประสงค์ต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ ส่งผลต่อน้ำในชั้นใต้ดิน ทำให้เกิดอันตรายกับดินและผิวหน้าดิน
Ministry of Industry Development Board	กฎหมาย Pembinaan Malaysia 1994	กฎหมายได้จัดหาบทบาทหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานก่อสร้าง	(ในส่วนการบังคับใช้กฎหมายและการตรวจสอบ) อธิบายถึงพนักงาน / เจ้าหน้าที่ตรวจสอบมีอำนาจที่จะเข้าไปในเขตก่อสร้างได้ทันทีที่ต้องการตรวจสอบการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.2 ความร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน

Tam et al. (2007) ได้ศึกษาถึงการดำเนินการโครงการจัดการขยะมูลฝอย (WMP) ของรัฐบาลฮ่องกง สำหรับโครงการก่อสร้างทั้งหมดในปี 2003 ซึ่งเป็นช่วงทดลองใช้โครงการดังกล่าว พบว่าได้รับการตอบรับเป็นอย่างดีจากภาคอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยแผนดังกล่าวประกอบไปด้วย

i.) Enactment of the Waste Disposal Ordinance (การตรากฎหมายการกำจัดของเสีย)

ii.) Issuance of a white paper for a comprehensive 10-yr plan to reduce construction waste (การจัดทำเอกสารเผยแพร่เพื่อแผนงานระยะยาว 10 ปี ในการลดขยะจากการก่อสร้าง)

iii.) Launching of a green manager scheme (การเปิดตัวโครงการจัดการสีเขียว)

iv.) Issuance of a practical note on the use of recycled aggregate (การออกบันทึกเกี่ยวกับการใช้มวลรวมที่มาจากการรีไซเคิล)

v.) Commission a pilot recycling plant to supply recycled aggregate to public projects (มอบหมายให้โรงงานรีไซเคิลนำร่องจัดหาวัสดุรีไซเคิลมาใช้กับโครงการของรัฐบาล)

vi.) Issuance of a circular on waste management (การออกหนังสือเวียนเกี่ยวกับการจัดการของเสีย)

vii.) Implementation of a charge for waste dumping. (การดำเนินการเรียกเก็บเงินสำหรับการทิ้งขยะ)

โดยจากการสำรวจเก็บข้อมูลจากผู้รับเหมาและนักวิชาการของทางรัฐบาลฮ่องกงพบว่ามาตรการที่มีประสิทธิภาพในการใช้วิธี WMP เพื่อลดของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง พบว่าการใช้ส่วนประกอบอาคารสำเร็จรูปในการก่อสร้างเป็นมาตรการสำคัญที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจากการสำรวจ การจัดการในการซื้อ การศึกษาและการอบรมถือเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเป็นอันดับสอง แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงการจัดอันดับมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการใช้วิธี WMP (Tam et al., 2007)

มาตรการที่มีประสิทธิภาพในการใช้วิธี WMP (เป็นเครื่องมือ)	อันดับ
ใช้ส่วนประกอบในการก่อสร้างที่สร้างไว้ล่วงหน้า	1
การจัดการการจัดซื้อจัดหา	2
การศึกษาและการฝึกอบรม	3
การวางแผนงานก่อสร้างที่เหมาะสม	4
การดำเนินการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ภายในไซต์งาน (เขตก่อสร้าง)	5
การจัดเตรียมระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม	6
ความรับผิดชอบด้านการจัดการระดับสูง	7
ติดตั้งล้อกลใต้ดินไว้ทำความสะอาดเครื่องจักร	8
การแสดง/บ่งบอกถึงการนำกลับไปใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ได้ง่ายขึ้น	9
วัสดุก่อสร้างจำพวกก่อสร้างและการรื้อถอน (เขตก่อสร้าง)	10
ใช้การหล่อแบบโลหะ	11
พื้นที่ส่วนกลางสำหรับตัดแต่งและเก็บของ	12
การรักษาของเสีย/ขยะในไซต์งาน	13
การรักษาของเสีย/ขยะในไซต์งาน	14
การใช้รั้วกั้นชั่วคราวที่ไม่ได้ทำจากไม้	15

ถึงแม้ว่าแผนงาน WMP ของรัฐบาลฮ่องกงจะมีประโยชน์หลายอย่างแต่ปัญหาและอุปสรรคในการใช้นโยบายดังกล่าวก็มีเช่นเดียวกัน โดยข้อปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการดำเนินการของภาคเอกชนตามนโยบายนั้นคือ แรงจูงใจทางการเงินตลอดจนต้นทุนค่าโสหุ้ยที่เพิ่มขึ้น โดยแสดงลำดับของข้อปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญดังตารางที่ 2.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.10 แสดงอันดับของข้อปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการใช้วิธี WMP (Tam et al., 2007)

มาตรการที่มีประสิทธิภาพในการใช้วิธี WMP (เป็นเครื่องมือ)	**อันดับ**
แรงจูงใจทางการเงินต่ำ	1
การเพิ่มขึ้นของต้นทุนค่าดำเนินการทางธุรกิจ	2
ระบบสัญญารับเหมาช่วงมีความซับซ้อน	3
ขาดการส่งเสริมในการวัดปริมาณของเสียที่ลดลง	4
วัฒนธรรมและพฤติกรรมการก่อสร้าง	5
ขาดวิธีการจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับ	6
ต้นทุนการฝังกลบต่ำ	7
ขาดการอบรมและการศึกษาที่เหมาะสม	8
ตลาดแข่งขันสมบูรณ์	9

2.7 Photogrammetry

2.7.1 นิยามและกระบวนการทำงาน

Photogrammetry เป็นการผสมคำโดยมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก ประกอบไปด้วย Photos หมายถึง แสง Gramma หมายถึง การเขียนหรือการวาด และ metron หมายถึง การวัด โดยมีความหมายรวมกัน คือ วิธีในการวัดโดยใช้ภาพถ่ายสองมิติเป็นเครื่องมือหลักในการทำงาน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นภาพสามมิติ กระบวนการทำงานจะใช้หลักการในการสร้างความสัมพันธ์ ของวัตถุ ทิศทาง และระยะทาง จากภาพถ่าย ซึ่งสามารถอ้างอิงได้ด้วยทฤษฎีทางด้านเรขาคณิต ซึ่ง Photogrammetry เป็นองค์ความรู้ที่เกิดจากการรวมกันของศิลปะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลายสาขาวิชาโดย Luhmann, Robson, Kyle, and Harley (2007) ได้จำแนกประเภทของ Photogrammetry ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ประกอบไปด้วย ตำแหน่งของกล้องและระยะห่างของวัตถุ จำนวนภาพการวัด วิธีการบันทึกและประมวลผล ผลของการวัดและแอปพลิเคชันหรือผู้เชี่ยวชาญ ดังแสดงในตารางที่ 2.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.11 ประเภทของ Photogrammetry (Luhmann et al., 2007)

ประเภท	คำอธิบาย
ตำแหน่งของกล้องและระยะห่างของวัตถุ	– การรังวัดทางดาวเทียม : ประมวลผลของภาพถ่ายดาวเทียม, h > ca. 200km – การรังวัดทางอากาศ : ประมวลผลของภาพถ่ายทางอากาศ, h > ca. 300m – การรังวัดภาคพื้นดิน : การวัดจากตำแหน่งภาคพื้นที่ไม่เปลี่ยนแปลง – การรังวัดด้วยภาพระยะใกล้ : ระยะห่างของภาพ h < ca. 300m – การรังวัดด้วยภาพมาโคร : ขนาดภาพ > 1 (microscope imaging)
จำนวน / ปริมาณภาพที่วัด	– การรังวัดด้วยภาพเดี่ยว : ประมวลภาพเดี่ยว, การเขียนแผนที่เดี่ยว, การแก้ไขภาพที่เอียง, ภาพแบบออโธร์ – การรังวัดแบบภาพ 3 มิติ : ประมวลภาพคู่, การวัดด้วยภาพ 3 มิติ – การรังวัดด้วยภาพหลายภาพ : n ภาพ เมื่อ n > 2 รวมรูปสามเหลี่ยมเข้าด้วยกัน
วิธีการบันทึกและประมวลผล	– การรังวัดด้วยโต๊ะแผนที่ : ประเมินผลด้วยภาพเส้นกราฟ (until ca. 1930) – การรังวัดด้วยอนาล็อก : กล้องอนาล็อก, ระบบตรวจวัดแสง (until ca. 1980) – การสำรวจรังวัดเชิงวิเคราะห์ : ภาพอนาล็อก, การวัดการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ – การรังวัดด้วยภาพดิจิตอล : ภาพดิจิตอล, การวัดการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ – การรังวัดด้วยภาพวิดีโอ : การตรวจหาที่ตั้งด้วยภาพดิจิตอล – การรังวัดด้วยภาพพาโนรามา : ประมวลภาพมุมกว้าง – การรังวัดด้วยเส้น : ขั้นตอนเชิงวิเคราะห์ให้ยึดกราฟเส้นตรงและพหุนามเป็นหลัก
ผลของการวัดที่ใช้ประโยชน์ได้	– การรังวัดแบบรายงานผลทันที : บันทึกและวัดผลสมบูรณ์ภายในเวลาที่เฉพาะเจาะจงลงแอพพลิเคชั่นได้ – การรังวัดแบบออฟไลน์ : ผลที่ได้มา, การบันทึกภาพดิจิตอลแยกออกจากการวัดเวลาหรือที่ตั้ง – การรังวัดแบบออนไลน์ : ทำได้พร้อมกันหลายอย่าง, บันทึกภาพดิจิตอล, วัดผลได้ทันที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.11 ประเภทของ Photogrammetry (Luhmann et al., 2007) (ต่อ)

ประเภท	คำอธิบาย
แอพพลิเคชั่นหรือจากผู้เชี่ยวชาญ	– การรังวัดด้วยภาพสำหรับงานสถาปัตยกรรม : งานสถาปัตยกรรม การอนุรักษ์มรดกโบราณคดี – การรังวัดทางวิศวกรรม : ใช้ในวิศวกรรมทั่วไป (ก่อสร้าง) – การรังวัดทางอุตสาหกรรม : การใช้ในด้านอุตสาหกรรม (การผลิต) – การสำรวจทางนิติวิทยาศาสตร์ : ใช้กับปัญหาทางกฎหมายที่หลากหลาย - การสำรวจทางการแพทย์ - การสำรวจเส้นทางวิบาก : บันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่เป้าหมาย - การสำรวจด้วยมัลติมีเดีย : บันทึกด้วยสื่อที่มีดัชนีหักเหต่างกัน - รูปร่างจากภาพ 3 มิติ : ประมวลภาพ 3 มิติ (ฉบับคอมพิวเตอร์)

2.7.1.1 การประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพเป็นการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่นๆที่ไม่ใช่ภาพด้วย โดยในปัจจุบันภาพมีสองลักษณะคือภาพแบบอนาล็อคและภาพแบบดิจิตอลโดยในการวิจัยนี้จะใช้ภาพดิจิตอลในการงานวิจัย

ภาพแบบดิจิตอล (Digital image) เป็นการแสดงผลภาพในลักษณะสองมิติโดยสามารถนิยามเป็นฟังก์ชันสองมิติ f(x,y) โดยที่ x ละ y เป็นพิกัดของภาพ และแอมพลิจูดของ f ที่พิกัด (x,y) ใด ๆ ภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้น ๆ โดยค่าแต่ละค่าที่อยู่ในเมริกซ์ด้านล่างเรียกว่า พิกเซล (Pixel) โดยขนาดของเมทริกซ์จะมีขนาดเท่ากับภาพนั้น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$f(x,y)=\begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad \text{...............(2.13)}$$

พิกเซล (Pixel) คือ ความเข้มแสงที่รวมกันก่อให้เกิดเป็นภาพ โดยภาพหนึ่งๆจะประกอบด้วยพิกเซลมากมาย ความหนาแน่นนี้เป็นตัวบอกถึงความละเอียด (Resolution) ของภาพซึ่งมีหน่วยเป็น ppi (Pixel Per Inch) โดยถ้าค่าของพิกเซลยิ่งสูง ภาพที่ได้ก็จะมีความละเอียดมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

2.7.1.2 การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction)

การแยกลักษณะของภาพเป็นการค้นหาข้อมูลที่สำคัญและมีลักษณะเฉพาะหรือจุดสนใจจากภาพนั้นๆ ในการแยกลักษณะเฉพาะพื้นฐานโดยทั่วไปของภาพจะใช้องค์ประกอบต่างๆที่ได้มาจากการประมวลผลภาพ (image processing) โดยประกอบไปด้วย สี รูปร่าง และพื้นผิว

1) สี (color) เป็นลักษณะเฉพาะที่มีบทบาทสำคัญ เช่น ฮิสโตแกรมสีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสี อีกทั้งยังสามารถใช้ ในการแยกแยะกลุ่มของภาพออกตามเนื้อหาได้เป็นอย่างดี เช่นสีฟ้าของน้ำทะเล เป็นต้น

2) รูปร่าง (shape) ใช้อธิบายถึงรูปร่างและลักษณะรวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพซึ่งทำให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังหรือแยกแยะระหว่างวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้

3) พื้นผิว (texture) ใช้อธิบายความหยาบความละเอียดหรือความซับซ้อนของวัตถุภายในภาพซึ่งแต่ละภาพอาจจะประกอบด้วยวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้น

Scale Invariant Feature Transform หรือ SIFT (เอสไอเอฟที) เป็นขั้นตอนหรือวิธีหนึ่งในคอมพิวเตอร์วิชัน (computer vision) สำหรับคำนวณหาจุดสนใจ (Keypoint) ในรูปภาพหนึ่ง ๆ และคำนวณหาคุณลักษณะของจุดสนใจหนึ่ง ๆ ที่หาได้ โดย Keypoint ที่สร้างขึ้นจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดภาพ ทิศทาง ตำแหน่ง มุมการมองและแสง ถูกคิดค้นโดย ศ.เดวิด โวลว์ (David Lowe) จาก University of British Columbia ในปี 1999 (Lowe, 1999) ซึ่ง SIFT โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอนได้แก่

1) การหา Keypoint (Scale-space extrema detection)

ขั้นตอนแรกคือการหาจุดสนใจ (Keypoint) ของภาพโดยไม่ขึ้นกับขนาดและทิศทาง ซึ่งจะใช้วิธีการเบลอภาพ (blur) ด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Function) ดังสมการที่ 2.14 และ 2.15

$$L(x,y,\sigma) = G(x,y,\sigma) * I(x,y) \quad \text{.............................} \ (2.14)$$

$$G(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad \text{.............................} \ (2.15)$$

โดยที่ x, y คือ พิกัดบนภาพ

L (x, y, σ) คือ ภาพที่เบลอ (blur) ด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน

I (x, y) คือ ภาพต้นฉบับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

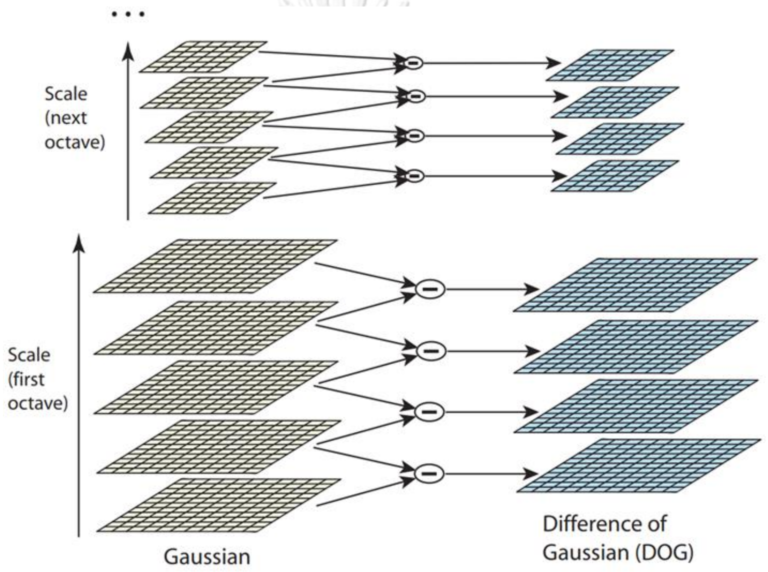
G (x, y, σ) คือ ตัวกรองแบบ Gaussian ที่มีขนาด σ

σ คือ ตัวแปรขนาดของการ Blur

2) การหาตำแหน่งของ Keypoint (Keypoint localization)

การหาตำแหน่งของ keypoint จะพิจารณาที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของภาพที่ได้โดยนำมาหาค่าผลต่างของผลลัพธ์ (Difference of Gaussian : DoG) ดังสมการที่ 2.16 และรูปที่ 2.11

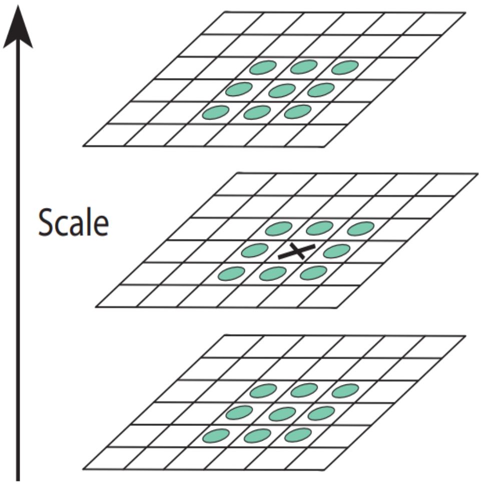
$$\begin{aligned} D(x,y,\sigma) &= (G(x,y,k\sigma) - G(x,y,\sigma)) * I(x,y) \\ &= L(x,y,k\sigma) - L(x,y,\sigma). \end{aligned}$$ ....(2.16)



รูปที่ 2.11 แสดงการหา Difference of Gaussian (DoG) (Lowe, 2004)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยจะพิจารณาจากจุด 8 จุดรอบข้างในชั้นเดียวกันกับจุดที่พิจารณา และ 9 จุดบริเวณชั้นบนและอีก 9 จุดบริเวณชั้นล่างที่ติดกับชั้นของจุดที่พิจารณา แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งถ้าพบว่าจุดที่พิจารณามีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดจุด ๆ นั้นจะถูกกำหนดให้เป็น keypoint และถ้า keypoint ที่ได้มีค่าความแตกต่างระหว่างความสว่างและความมืดต่ำ (Low contrast) หรือพิจารณาแล้วว่าเป็นขอบ (Edge) keypoint นั้นก็จะถูกลบออกไป



รูปที่ 2.12 แสดงจุด x ซึ่งเป็นจุดที่พิจารณากับจุดรอบข้างของจุดที่พิจารณา (Lowe, 2004)

3) การกำหนดทิศทางของ Keypoint (Orientation assignment)

เป็นขั้นตอนในการหาขนาด m (x,y) และ ทิศทาง θ(x,y) ของเกรเดียน (Gradient) ของบริเวณรอบๆ keypoint เพื่อที่จะกำหนดทิศทางให้ keypoint นั้น ๆ โดยใช้สมการที่ 2.17 และสมการที่ 2.18

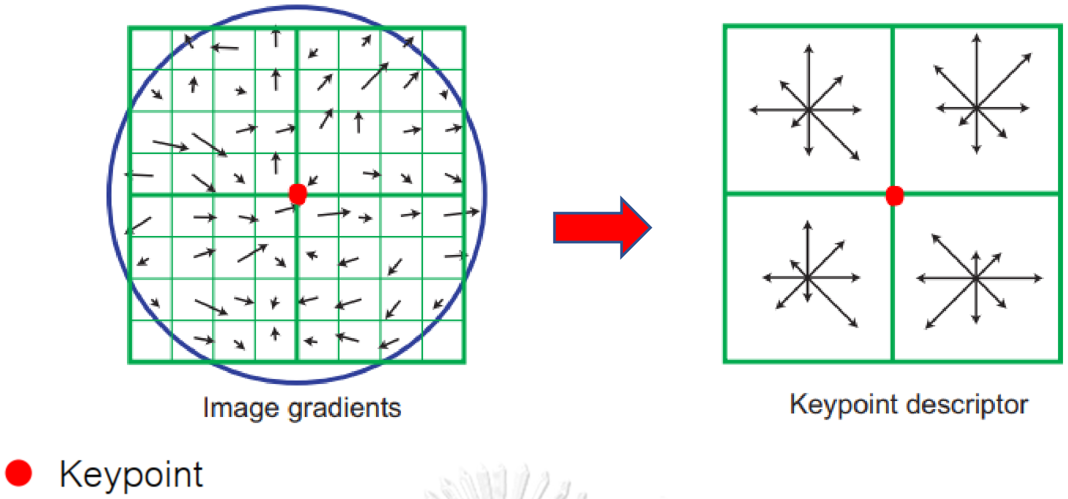
$$m(x,y) = \sqrt{(L(x+1,y) - L(x-1,y))^2 + (L(x,y+1) - L(x,y-1))^2} \quad \text{.. (2.17)}$$

$$\theta(x,y) = \tan^{-1}((L(x,y+1) - L(x,y-1))/(L(x+1,y) - L(x-1,y))) \quad \text{.... (2.18)}$$

2.7.3.4 การสร้างลักษณะเฉพาะของ Keypoint (Keypoint descriptor)

ทำการสร้าง 8×8 window (window คือ บริเวณที่จะทำการเก็บข้อมูลทิศทาง ซึ่งจะมีขนาดคือ 1.5*σ) รอบ keypoint แสดงดังรูปที่ 2.13(a) และทำการแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยขนาด 2×2 window ทั้งหมด 16 ชุด แสดงดังรูปที่ 2.13 (b) โดยในแต่ละชุดจะทำการคำนวณหาขนาดและทิศทางของ gradient แล้วนำมาสร้างแท่งความถี่ของทิศทาง (Orientation histograms) ขนาด 8 ข้อมูล ในแต่ละพื้นที่ย่อย ดังนั้นจะได้เวกเตอร์ลักษณะ เฉพาะของแต่ละ Keypoint ที่มีขนาดเท่ากับ 36 ข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



(a) (b)

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะเฉพาะของ Keypoint (Lowe, 2004)

2.7.2 งานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ Photogrammetry

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ตอบสนองต่อการความต้องการของมนุษย์ทั้งด้านความปลอดภัย ความสะดวกสบายในการใช้ชีวิต ซึ่งวิธีการ Photogrammetry เป็นหนึ่งในเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อการนั้นอย่างกว้างขวาง

การนำภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนบังคับ (Unmanned Aerial Vehicle) มาช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นที่ของโครงการก่อสร้าง โดยช่วยในการวางแผนวิธีทำงานก่อสร้าง และพบว่าการตั้งค่ามุมกล้องที่ 70 องศา เป็นค่าที่เหมาะสมในการเก็บภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นที่โครงการ (ธีรพล จิรธรรมคุณ, 2561)

การใช้ภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนบังคับมาใช้ในการติดตามกิจกรรมและปริมาณงานขุดดินและงานถมดินในโครงการก่อสร้าง เพื่อใช้ติดตามตรวจสอบความก้าวหน้าหรือการทำงานซ้ำซ้อนภายในโครงการ (วรพจน์ สินสวัสดิ์, 2561)

Agüera-Vega et al. (2018) ได้ทำการทดสอบถ่ายภาพโดยใช้โดรน (Unmanned aerial vehicle) ในการสร้างแบบจำลองภูเขาและพบว่า การนำกลุ่มภาพสองมุมมองที่แตกต่างกัน โดยในการทดสอบจะใช้มุมกล้องขนานกับแนวราบและมุมกล้องที่ทำมุม 45 องศา กับแนวราบ มารวมเข้าด้วยกันเพื่อทำการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองของภูเขา จะทำให้กลุ่มจุดสามมิติมีความแม่นยำดีกว่าการใช้ภาพจากมุมกล้องเพียงมุมเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.8 3D Laser scanner

3D Laser scanner หรือ เลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บภาพหรือรายละเอียดของวัตถุในลักษณะเป็นจุดพิกัดที่เรียกกันว่า พอยต์คลาวด์ (Point cloud) ตลอดจนนำมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง เช่น การสำรวจโครงสร้างอาคาร การทำรังวัดที่ดิน โดยหลักการทำงานของเครื่องดังกล่าวจะเริ่มจาก เครื่องสแกนเนอร์จะยิงแสงเลเซอร์ออกมา เมื่อเลเซอร์กระทบกับวัตถุแล้ว แสงเลเซอร์จะสะท้อนกลับเข้าไปในสแกนเนอร์และคำนวณหาระยะห่างของสแกนเนอร์กับวัตถุจากระยะเวลาเดินทางของเลเซอร์กับความเร็วของเลเซอร์

พอยต์คลาวด์ (Point cloud) เป็นกลุ่มของจุดสามมิติ ทำหน้าที่เก็บค่าตำแหน่งของขอบหรือผิวภายนอกของวัตถุในพิกัด X,Y,Z เพื่อใช้ในการการสร้างแบบจำลองสามมิติลงบนคอมพิวเตอร์

ในปัจจุบันมีการพัฒนาการใช้งานและเทคโนโลยีเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ มากกว่าในอดีต รวมถึงการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้เพื่อการวัดปริมาณของเสีย โดย Field (2013) ได้ใช้เครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ ในการวัดปริมาณของแทงค์ที่บรรจุของเสียไว้ภายใน พบว่าให้ค่าความแม่นยำมากกว่าการใช้วิธีโฟโตแกรมเมตรี แต่การใช้เลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ จำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการ อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์สูงกว่าการใช้ภาพถ่ายจากวิดีโอโดยประมาณอยู่ที่ 40,000 ดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งยังไม่รวมถึงค่าติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว รวมถึงการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญคอยควบคุมการทำงาน ตลอดจนข้อจำกัดในด้านการติดตั้งอุปกรณ์รวมถึงพื้นที่ที่ทำการติดตั้ง

จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ จึงทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อให้เข้าถึงผู้คนมากยิ่งขึ้น โดยได้มีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวใส่ลงไปในโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้วัดระยะจากโทรศัพท์ไปยังวัตถุที่อยู่โดยรอบ แต่ว่าระยะของการวัดนั้นจะมีระยะที่ไม่ไกลมาก รวมถึงรายละเอียดของการสร้างโมเดล 3 มิติ จากอุปกรณ์ดังกล่าวยังต่ำกว่าการใช้เลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของโทรศัพท์มือถือ

2.9 บทสรุปจากการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ในประเทศไทย ข้อกฎหมายยังไม่อำนวยต่อการจัดการขยะจากการก่อสร้างและปัญหาความร่วมมือจากหลายส่วนราชการ ทำให้การกำหนดแนวทางหรือนโยบายในการจัดการกับของเสียจากการก่อสร้างจึงยังไม่สามารถทำได้อย่างเป็นรูปธรรม ส่งผลให้มีการลักลอบทิ้งของเสียดังกล่าวตามพื้นที่รกร้างหรือริมถนนแถบชานเมือง แต่ทว่าในต่างประเทศมีการตระหนักถึงปัญหาที่เกิดจากของเสียจากการก่อสร้างทั้งภาครัฐและภาคเอกชน โดยทางภาครัฐได้มีการจัดเก็บข้อมูลด้านปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง เพื่อหาแนวทางและวางแผนจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสม รวมถึงการบังคับใช้กฎหมายและมาตรการในการ

ควบคุมปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากภาคเอกชน โดยแนวทางในการคำนวณหาปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง ได้มีนักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอไว้โดยใช้วิธีที่หลากหลายเพื่อหาปริมาณดังกล่าวประกอบไปด้วย การใช้สมการเพื่อประมาณค่าของปริมาณของเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้น การวัดจากของเสียที่เกิดขึ้นจริงโดยใช้เครื่องชั่งหรือการนับจำนวน การใช้ 3D Laser scanner ซึ่งวิธีการประมาณค่าจะให้ปริมาณที่มีความแม่นยำต่ำกว่าการวัดจริง แต่การวัดปริมาณจริงก็มีข้อจำกัดในด้านการเงินและเวลาโดยขึ้นอยู่กับวิธีและอุปกรณ์ที่ใช้ รวมถึงศึกษาถึงปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดของเสียจากการก่อสร้างและแนวทางในการลดการสูญเสียดังกล่าว และพบว่า แนวทางที่สำคัญในการลดการสูญเสียด้านวัสดุคือ การทราบถึงปริมาณของเสียที่เกิดภายในโครงการเพื่อนำไปหาแนวทางลดการสูญเสียจากกระบวนการที่ทำให้เกิดของเสียชนิดนั้นๆ อีกทั้งการทราบถึงปริมาณดังกล่าวยังช่วยในการจัดการกับของเสียภายในโครงการได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ทั้งการจัดการสถานที่ในการวางกองและการขนย้ายออกจากพื้นที่โครงการ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อนักสิ่งแวดล้อมในการวางการจัดการกับปริมาณขยะก่อสร้างที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกวิธีและเหมาะสมต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการดำเนินการและแนวคิดในการวิจัยเพื่อการวัดปริมาณกองของเสียจากการก่อสร้าง โดยการใช้ภาพดิจิตอลร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างโมเดลสามมิติของกองของเสียและหาปริมาณกองของเสียดังกล่าวในรูปของปริมาตร

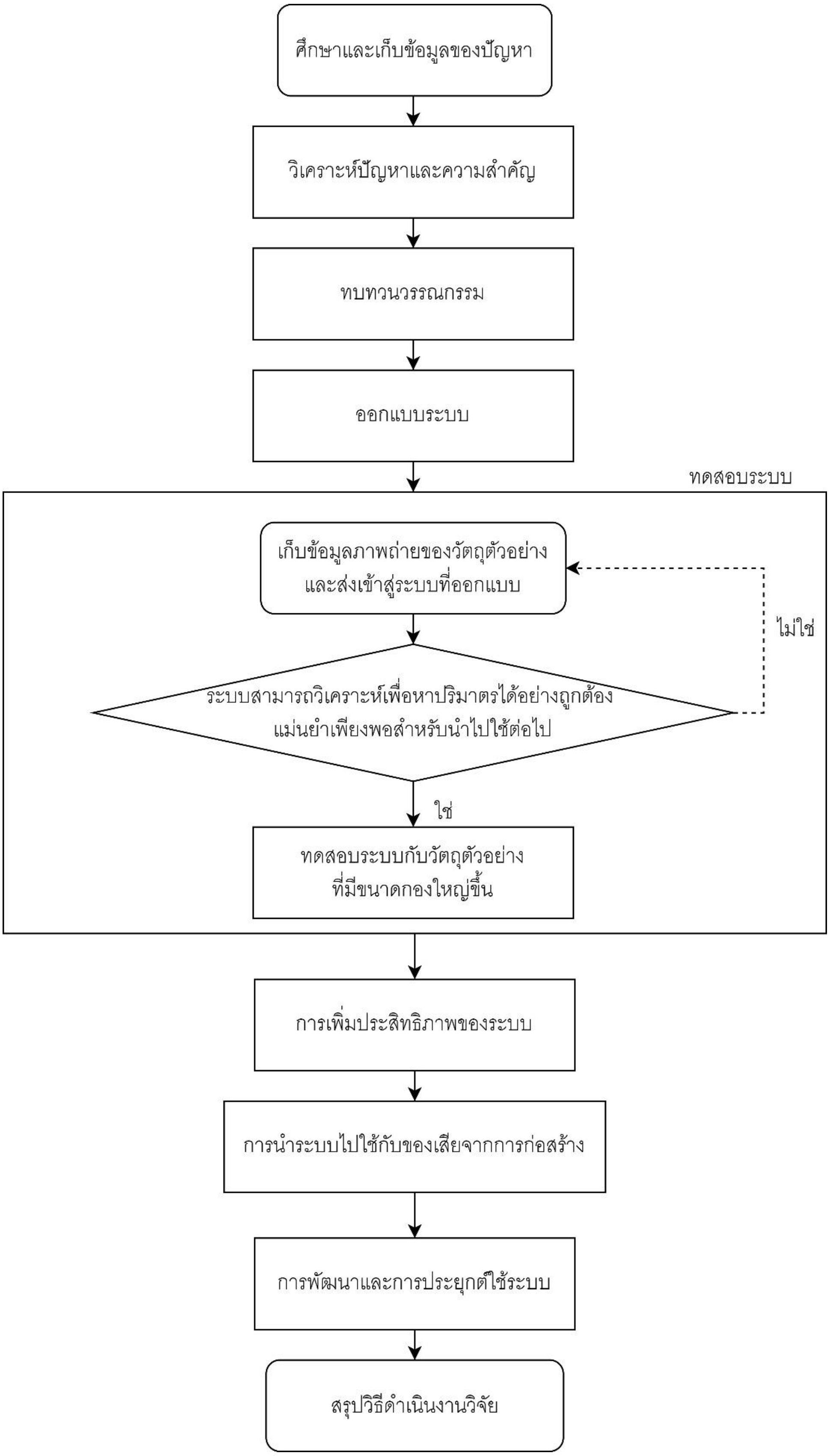
3.1 ลักษณะของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยลักษณะเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และงานวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยการเก็บข้อมูลของปริมาณของเสียในรูปแบบปริมาตรเพื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของชุดข้อมูล รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอ อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังมีการนำเสนอการใช้กลุ่มของรูปภาพเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างภายในโครงการ เพื่อนำไปสู่การวางแผนจัดการกับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม ได้แก่ การวางแผนจัดสรรพื้นที่กองเก็บของเสียจากการก่อสร้าง การขนทิ้งของเสียดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมกับปริมาณที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือให้นักสิ่งแวดล้อมสามารถนำไปใช้เพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง อันนำไปสู่การกำจัดและจัดการได้อย่างเหมาะสมต่อไป

3.2 แนวทางในการดำเนินงานวิจัย

แนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้การนำเสนอทางเลือกของเครื่องมือในการวัดปริมาณของเสียจากการก่อสร้างให้มีประสิทธิภาพประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ได้แก่ ศึกษาและเก็บข้อมูลของปัญหา วิเคราะห์ปัญหาและความสำคัญ ทบทวนวรรณกรรม ออกแบบระบบ ทดสอบระบบที่ออกแบบกับวัตถุตัวอย่าง การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้าง การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ และสรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยแสดงดังรูปที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.1 แนวทางในการดำเนินการวิจัย

3.2.1 การศึกษาและเก็บข้อมูลของปัญหา

ศึกษาการจัดการของเสียเบื้องต้นโดยการสำรวจพื้นที่ภายในโครงการก่อสร้าง โดยการสัมภาษณ์และสอบถามจากผู้รับเหมา ผู้มีประสบการณ์ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างและเจ้าหน้าที่รัฐที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียจากการก่อสร้าง เพื่อทราบถึงการจัดการ ปัญหาที่พบภายในโครงการก่อสร้างและแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหาของเสียจากการก่อสร้างในปัจจุบัน ตลอดจนการวัดปริมาณและการจัดการของเสียจากการก่อสร้างที่ใช้ในปัจจุบัน

3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหาและความสำคัญ

วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดกับการจัดการของเสียจากการก่อสร้าง โดยจากการลงพื้นที่เพื่อสำรวจพบว่า การจัดการกับของเสียดังกล่าวยังไม่มีวิธีการและการจัดการที่เป็นรูปธรรม อีกทั้งเป็นการยากที่จะทราบถึงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในเชิงปริมาณ จึงทำให้การจัดการกับของเสียภายในโครงการขาดประสิทธิภาพและไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธีเนื่องจากขาดข้อมูลที่ถูกต้องหรือเหมาะสมเพื่อนำไปสู่การวางแผนจัดการที่เหมาะสม เช่นเดียวกับนักสิ่งแวดล้อมและภาครัฐที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดการกับของเสียดังกล่าว ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการสร้างเครื่องมือหรือระบบ เพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง เพื่อทำการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและนำไปวางแผนการจัดการต่อไปภายในโครงการก่อสร้าง

3.2.3 ทบทวนวรรณกรรม

ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูล ตลอดจนทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับของเสียจากการก่อสร้าง ลักษณะและองค์ประกอบของของเสียที่พบในโครงการก่อสร้าง การหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง รวมถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อการวัดปริมาณของเสียทั้งจากเอกสารวารสาร งานวิจัย ทั้งในประเทศและต่างประเทศที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยนี้

3.2.4 การออกแบบระบบ

เป็นขั้นตอนในการเลือกวิธีการในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างโดยอาศัยการศึกษาและค้นคว้าจากขั้นตอนก่อนหน้านี้เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมโดยในการวิจัยครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่การใช้ภาพถ่ายเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติของกองของเสียจากงานก่อสร้างตลอดจนการเลือกโปรแกรมและอัลกอริทึมที่จะนำมาใช้กับการวัดปริมาณของเสียที่มาจากโมเดล 3 มิติดังกล่าว โดยมีขั้นตอนการทำงานของระบบดังนี้

3.2.4.1 เก็บข้อมูลของเสียจากการก่อสร้าง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการถ่ายภาพของกองของเสียจากการก่อสร้างโดยรอบเพื่อทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวมาเพื่อใช้วิเคราะห์ในการสร้างโมเดล 3 มิติของกองของเสียดังกล่าว โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โทรศัพท์มือถือในการถ่ายภาพเพื่อให้การนำไปใช้งานจริงสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็ว โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้โทรศัพท์ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone X โดยการถ่ายภาพนั้น

จะใช้หลักการทั่วไปของการถ่ายภาพนั้นคือ กำหนดให้องค์ประกอบที่เราสนใจอยู่ในเฟรมของภาพ แสงสว่างในช่วงการเก็บภาพมีความเพียงพอ จากนั้นชุดข้อมูลของภาพถ่ายจะถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ต่อไป

3.2.4.2 วิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ

ชุดข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากวิธีก่อนหน้านี้จะถูกนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยในการวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ HP รุ่น OMEN 17-W201TX โดยขั้นตอนนี้คือการสร้างโมเดล 3 มิติซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Meshroom โดยในขั้นตอนแรกคือการนำภาพถ่ายรอบกองวัตถุเข้าไปในโปรแกรมดังกล่าว และเลือกใช้อัลกอริทึม SIFT ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาจุดสนใจ (keypoint) จากรูปภาพโดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดภาพและทิศทางดังได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 เพื่อให้ได้ กลุ่มจุดสามมิติและ Mesh โมเดลของกองของเสียจากการก่อสร้าง

3.2.4.3 วิเคราะห์โมเดล 3 มิติเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง

การหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างโดยใช้โมเดลสามมิติของกองของเสียดังกล่าวที่ได้จากวิธีก่อนหน้านี้ ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม MeshLab และ Blender ในการวิเคราะห์เนื่องจากตัวโปรแกรมดังกล่าวเป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ (Open source software, OSS) ที่สามารถนำไปใช้เพื่อการพัฒนาและเผยแพร่ออกไปต่อผู้ที่สนใจ อีกทั้งยังไม่เป็นภาระค่าใช้จ่ายแก่ผู้ที่นำไปใช้งาน เช่น เจ้าของโครงการ ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง นักสิ่งแวดล้อม ตลอดจนภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

3.2.5 การทดสอบระบบที่ออกแบบกับวัตถุตัวอย่างที่ทราบปริมาตร

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบระบบต้นแบบที่ทางผู้วิจัยได้ออกแบบ เพื่อให้สามารถหาปริมาณของวัตถุตัวอย่างในรูปแบบของปริมาตร โดยวัตถุตัวอย่างดังกล่าวสามารถหาปริมาตรจริงได้จากการวัดด้วยวิธีทั่วไป เพื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลของปริมาตรที่ได้จากระบบ โดยใช้วิธีค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % (95 % Limit of agreement method) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลต่างหรือช่องว่างของเครื่องมือหรือวิธีการวัดสองวิธี (Bland & Altman, 1999) โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาตรจริงจากการวัดโดยใช้วิธีการทั่วไปและปริมาตรที่ได้จากระบบกับวัตถุตัวอย่าง

3.2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเพื่อให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบ มีค่าที่ดีขึ้นหรือใกล้เคียงกับค่าของปริมาตรที่วัดได้จากวิธีทั่วไปมากขึ้น โดยการถ่ายภาพโดยรอบกองของเสียในมุมมองที่ต่างกันสองมุม จากนั้นจึงนำชุดของข้อมูลทั้งสองชุดไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาตรของกองของเสียและทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับชุดข้อมูลที่มีการใช้ภาพถ่ายจากมุมมองเดียว รวมถึงในขั้นตอน

นี้จะมีการเปลี่ยนรูปทรงของกองวัตถุตัวอย่างเพื่อทดสอบว่ามีผลต่อการทำงานของระบบที่ออกแบบไว้หรือไม่ อีกทั้งการกองของเสียจากการก่อสร้างภายในโครงการจริงจะมีการลักษณะและรูปทรงที่แตกต่างกันออกไป โดยผลลัพธ์ที่คาดหวังคือ ปริมาตรที่ได้จากการวิเคราะห์ชุดภาพถ่ายจากสองมุมมองที่แตกต่างกันมีค่าใกล้เคียงกับปริมาตรจริงมากกว่าชุดข้อมูลภาพถ่ายที่ใช้ภาพจากมุมมองเดียว เช่นเดียวกับ Agüera-Vega et al. (2018) ที่ได้ทำการทดสอบถ่ายภาพโดยใช้โดรน (Unmanned aerial vehicle) เพื่อทำการสร้างกลุ่มจุดสามมิติและพบว่า การนำกลุ่มภาพสองมุมมองที่แตกต่างกันมารวมเข้าด้วยกันจะทำให้กลุ่มจุดสามมิติมีความแม่นยำดีที่สุด อีกทั้งระบบที่นำเสนอสามารถหาปริมาตรได้เมื่อมีลักษณะการกองที่แตกต่างกันออกไปของวัตถุตัวอย่าง

3.2.7 การนำระบบไปใช้กับของเสียจากการก่อสร้าง

การนำระบบไปใช้กับของเสียจากการก่อสร้าง ทางผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุมและการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง

3.2.7.1 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบระบบที่ออกแบบไว้กับของเสียจากการก่อสร้าง โดยทำการทดสอบภายในพื้นที่ที่กำหนดไว้ ซึ่งมีการกำหนดตัวแปรเพื่อทำการควบคุมคุณภาพของข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ ได้แก่ ความสูงของกล้อง ความละเอียดของกล้องมุมมองของกล้อง และช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลโดยช่วงเวลาที่ใช้จะเป็นช่วงที่พระอาทิตย์ขึ้นเพื่อให้มีแสงสว่างเพียงพอต่อการจัดเก็บภาพ อีกทั้งยังมีการเก็บข้อมูลของน้ำหนักของเสียแต่ละชนิด โดยในขั้นตอนนี้ของเสียจะถูกนำไปใส่ในถังทรงลูกบาศก์ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นจึงทำการเทของเสียดังกล่าวกองกับพื้นเพื่อทำการเก็บข้อมูลและส่งเข้าระบบเพื่อวิเคราะห์หาปริมาตร

การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุมจะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วนได้แก่ การทดสอบซ้ำ (Test – Retest Method) โดยใช้ระบบเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง เพื่อทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนจากระบบที่นำเสนอเมื่อถูกนำไปใช้ทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้าง และการนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างที่มีการเทกองแบบสุ่มเพื่อหาปริมาตร เนื่องจากการกองของเสียจะมีลักษณะการกองที่แตกต่างกันไปในแต่ละครั้งที่มีการเทกองและแตกต่างกันออกไปในแต่ละวัสดุ รวมถึงการทดสอบในส่วนนี้จะมีการเก็บค่าของน้ำหนักในแต่ละกองเพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่นต่อไป โดยการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุมนี้จะถูกทำการทดสอบกับวัสดุที่ได้จากโครงการหมู่บ้านจัดสรรในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย โดยของเสียที่นำมาใช้จะเป็นของเสียที่พบได้ในอัตราส่วนที่สูงภายในโครงการและเป็นของเสียที่ไม่มีมูลค่า ประกอบไปด้วย อิฐแดง คอนกรีต และกระเบื้องพื้น

3.2.7.2 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง

จากการสำรวจและสอบถามวิศวกรโครงการพบว่า กองของเสียจะถูกนำไปเทกองไว้ ณ ที่มีการจัดสรรหรือแบ่งพื้นที่ไว้ให้วางกอง จากนั้นถ้าหากพื้นที่ดังกล่าวมีของเสียเต็มหรือครบกำหนดของแผนงานในการขนทิ้ง จะมีการนำของเสียดังกล่าวออกจากพื้นที่โครงการเพื่อนำไปจัดการต่อไป ซึ่งปริมาณของเสียที่ทำการขนทิ้ง ทางวิศวกรจะทำการประมาณจำนวนของรถบรรทุกในการขนทิ้งโดยการคาดคะเน แต่ไม่สามารถตอบได้ว่าของเสียดังกล่าวที่นำไปทิ้งมีปริมาณของของเสียแต่ละชนิดเท่าใด จึงทำให้เป็นการยากที่จะทำการบันทึกข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นภายในโครงการ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบระบบที่ออกแบบไว้กับของเสียจากการก่อสร้าง เพื่อทดสอบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้เมื่อใช้ข้อมูลของภาพถ่ายจากกองของเสียจากการก่อสร้าง โดยในขั้นตอนนี้จะใช้รถเข็นเพื่อเป็นตัวควบคุมปริมาตรของเสียแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ

การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างนี้จะถูกทำการทดสอบกับโครงการหมู่บ้านจัดสรรในภาคกลางของประเทศไทย โดยของเสียที่นำมาใช้จะเป็นของเสียที่พบได้ในอัตราส่วนที่สูงภายในโครงการและเป็นของเสียที่ไม่มีมูลค่า ประกอบไปด้วย อิฐมวลเบา กระเบื้องหลังคา และกระเบื้องพื้น โดยจุดประสงค์ของการทำการทดสอบในขั้นตอนนี้ เพื่อทดสอบระบบในการหาปริมาณของเสียจากกองของเสียที่นำมาทดสอบภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง

3.2.8 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการพัฒนาระบบที่นำเสนอ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดระยะเวลาของระบบลงทั้งในด้านการเก็บข้อมูลหรือวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปหาปริมาตรต่อไป ทางผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการเก็บข้อมูลโดยใช้วิดีโอ มาแทนที่วิธีการถ่ายภาพ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว โดยในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการคล้ายกับการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุมแต่เปลี่ยนขั้นตอนการเก็บข้อมูลมาใช้การถ่ายวิดีโอรอบกองของเสียจากการก่อสร้าง

การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบจะถูกทำการทดสอบกับวัสดุที่ได้จากโครงการหมู่บ้านจัดสรรในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย โดยของเสียที่นำมาใช้จะเป็นของเสียที่พบได้ในอัตราส่วนที่สูงภายในโครงการและเป็นของเสียที่ไม่มีมูลค่า ประกอบไปด้วย อิฐแดง คอนกรีต และกระเบื้องพื้น

3.2.9 สรุปวิธีการดำเนินงานวิจัย

สรุปผลของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นรวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ของระบบ เพื่อใช้ในการวัดปริมาณกองของเสียจากการก่อสร้างเพื่อช่วยในการจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นภายในโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนาระบบต่อไปในอนาคต

บทที่ 4
ผลการศึกษา

บทนี้จะแสดงผลที่ได้จากการนำระบบการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง ไปใช้จริงเพื่อพิสูจน์ตามกรอบแนวความคิดที่กล่าวไว้ในบทก่อนหน้านี้ โดยประกอบไปด้วย การนำระบบไปใช้ทดสอบกับวัตถุตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบตามแนวคิด การพัฒนาระบบ และการใช้ระบบที่นำเสนอเพื่อหาปริมาณของเสียจากงานก่อสร้างจริง โดยระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่นำเสนอนี้จะนำไปใช้เพื่อทำให้ได้ข้อมูลของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจริงในโครงการก่อสร้าง อันจะเป็นการช่วยทำให้การจัดการของเสียภายในโครงการมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น รวมถึงช่วยนักสิ่งแวดล้อมในการจัดการกับของเสียดังกล่าวได้อย่างเหมาะสมต่อไป

4.1 ของเสียจากการก่อสร้างในปัจจุบัน

ของเสียจากการก่อสร้างเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในโครงการ และจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนจัดการที่เหมาะสมทั้งสถานที่การวางกองภายในโครงการ และการนำไปจัดการภายนอกโครงการต่อไปอย่างเหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาของเสียที่เกิดในภาคกลางของประเทศไทย โดยพบว่าการวางกองของเสียภายในโครงการจะมีการแยกประเภทของเสียออกจากกันประกอบไปด้วย ของเสียที่มีมูลค่าและของเสียที่ไม่มีมูลค่า โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจของเสียที่ไม่มีมูลค่า ประกอบไปด้วย คอนกรีต อิฐ และกระเบื้อง

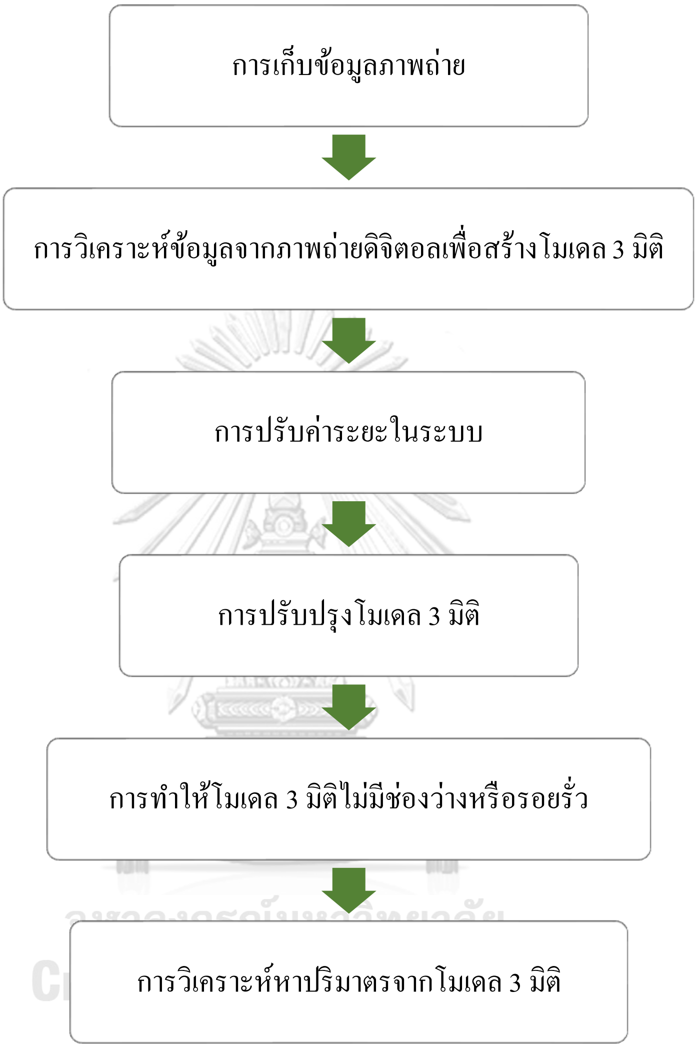
ในปัจจุบัน การจะได้มาซึ่งปริมาณของเสียเป็นสิ่งที่ต้องใช้กำลังคนและค่าใช้จ่าย อีกทั้งของเสียจากการก่อสร้างยังถูกมองว่าเป็นปัญหาด้านภาระค่าใช้จ่ายภายในโครงการหากต้องมีการจัดการอย่างถูกต้องและเหมาะสม จึงนำไปสู่การจัดการที่ไม่เหมาะสมดังที่แสดงในบทก่อนหน้า แต่ในอีกด้านหนึ่งการทราบถึงปริมาณของเสียจะช่วยให้นักสิ่งแวดล้อมสามารถจัดการและเตรียมพื้นที่ฝังกลบ หรือวิธีการจัดการที่เหมาะสมกับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และผู้จัดการโครงการยังสามารถวางแผนและจัดการกับของเสียที่เกิดภายในโครงการได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอระบบที่สามารถหาปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง

4.2 การทำงานของระบบในการหาปริมาตรของกองวัตถุของเสียจากการก่อสร้าง

การทำงานของระบบในการหาปริมาตรของกองวัตถุของเสียจากการก่อสร้างประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บข้อมูลภาพถ่าย การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลเพื่อสร้างโมเดลสาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มิติ การปรับปรุงโมเดลสามมิติ การปรับค่าระยะในระบบ การทำให้โมเดลสามมิติไม่มีช่องว่างหรือรอยรั่ว การวิเคราะห์หาปริมาตรจากโมเดลสามมิติ แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

4.2.1 การเก็บข้อมูลภาพถ่าย (Photography)

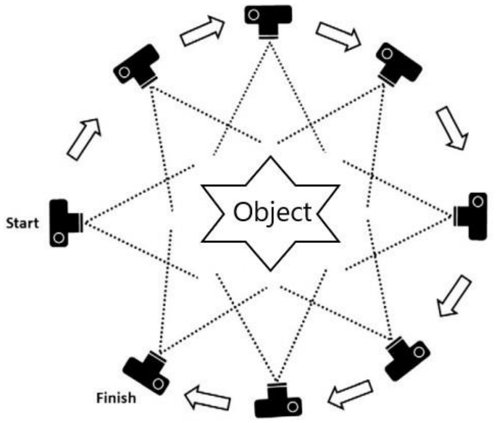
การถ่ายภาพเป็นขั้นตอนแรกของการสร้างโมเดล 3 มิติ โดยใช้ภาพถ่ายดิจิตอลจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือถ่ายภาพ ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone X ดังรูปที่ 4.2 และรายละเอียดทางด้านเทคนิคแสดงดังตารางที่ 4.1 โดยการถ่ายภาพนั้นจะดำเนินการถ่ายรอบกองวัตถุที่สนใจแสดงดังรูปที่ 4.3 จากนั้นจึงทำการส่งภาพที่ถ่ายได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไปดังภาพที่ 4.4

รูปที่ 4.2 iPhone X

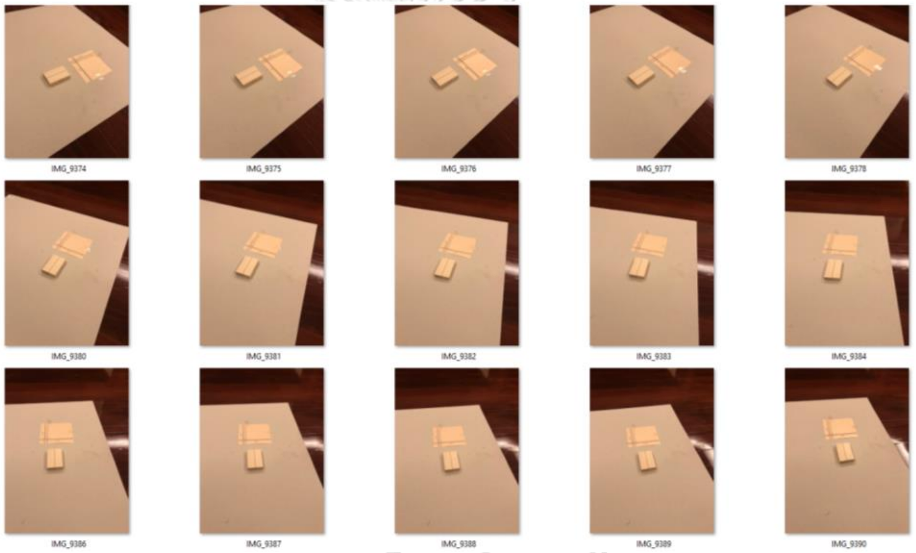
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลโทรศัพท์ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone X

รายการ	**รายละเอียด**
CPU	Hexa-core 2.39 GHz (2x Monsoon + 4x Mistral)
Chipset	Apple A11 Bionic (10 nm)
GPU	Apple GPU (three-core graphics)
OS	iOS 11.1.1, upgradable to iOS 13.3
Memory	256GB 3GB RAM
Display	Super Retina OLED capacitive touchscreen, 16M colors, size 5.8 inches, Resolution 1125 x 2436 pixels
Connection	WiFi 802.11 a/b/g/n/ac dual-band, hotspot and Bluetooth 5.0
Camera	12 + 12 MP (Dual Camera) - 12 MP, f/1.8, 28mm (wide), 1/3", 1.22µm, dual pixel PDAF, OIS - 12 MP, f/2.4, 52mm (telephoto), 1/3.4", 1.0µm, PDAF, OIS, 2x optical zoom
Battery	Non-removable Li-Ion 2716 mAh battery (10.35 Wh)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.3 การถ่ายภาพรอบกองวัตถุ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.4 ส่วนหนึ่งของชุดภาพถ่ายที่ถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์

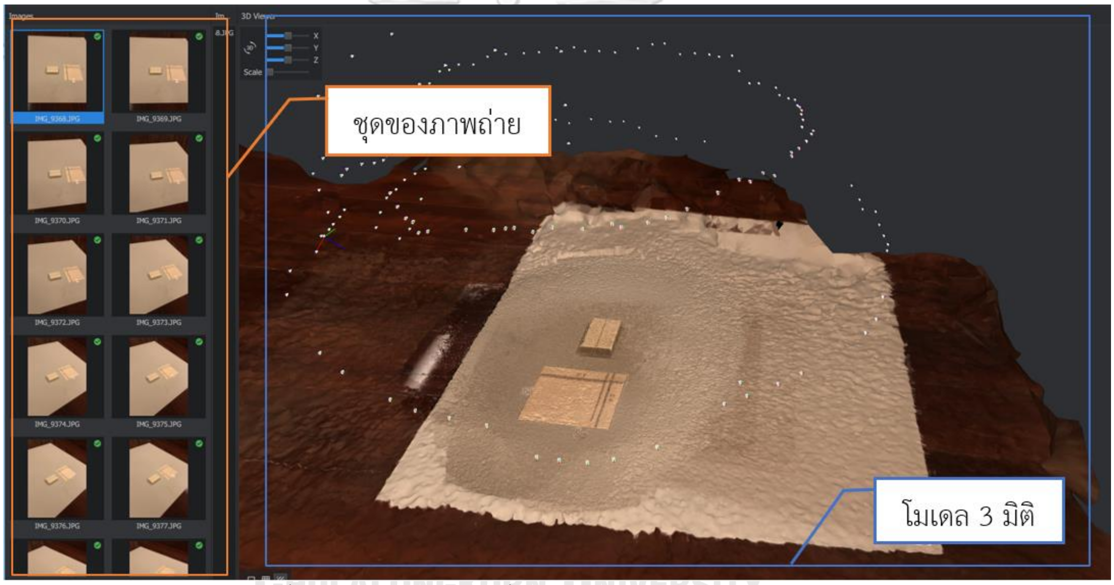
Chulalongkorn University

4.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ

การวิเคราะห์ชุดของข้อมูลเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ จะเริ่มจากการนำชุดภาพถ่ายจากโทรศัพท์ส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์ยี่ห้อ HP รุ่น OMEN 17-W201TX โดยมีรายละเอียดทางด้านเทคนิคแสดงดังตารางที่ 4.2 ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างกลุ่มจุด 3 มิติและโมเดล 3 มิติ ตามลำดับ ซึ่งทางผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Meshroom และอัลกอริทึม SIFT ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาจุดสนใจ (keypoint) จากรูปภาพโดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดภาพและทิศทางดังได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 โดยเมื่อตัวโปรแกรมทำการวิเคราะห์ชุดภาพถ่ายเสร็จสิ้นแล้วจะแสดงผลดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลโน๊ตบุ๊คยี่ห้อ HP รุ่น OMEN 17-W201TX

รายการ	รายละเอียด
CPU	Intel Core i7-7700HQ (2.80 GHz, 6 MB L3 Cache, up to 3.80 GHz)
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1070 (8GB GDDR5)
Display	17.3 inch (1920x1080) Full HD IPS, Anti Glare
Memory	32 GB DDR4 -2666 SDRAM
Storage	HDD 2 TB 5400 rpm, SSD 240 GB
OS	Windows 10 Home (64 Bit)
Battery Type	6-Cell Lithium-Polymer



รูปที่ 4.5 โมเดล 3 มิติ ที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรม

4.2.3 การปรับค่าระยะในระบบ

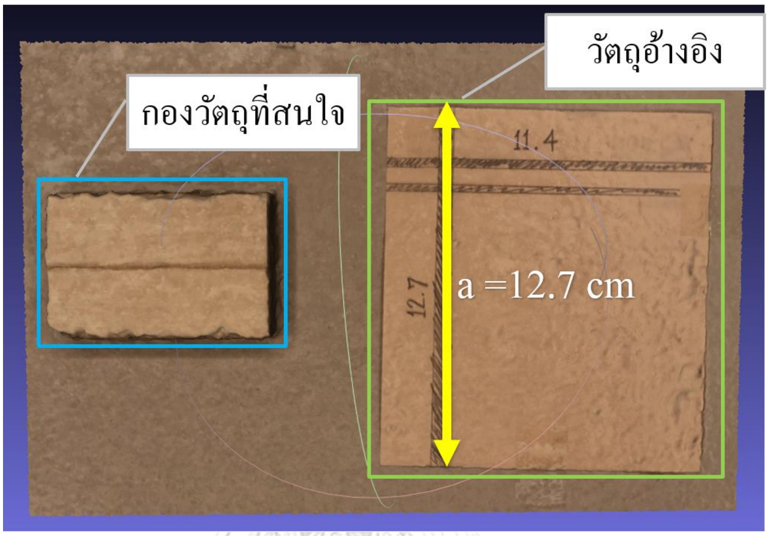
ก่อนที่จะถ่ายภาพของกองวัตถุนั้นๆ จำเป็นที่จะต้องมีวัตถุอ้างอิง โดยวางวัตถุอ้างอิงไว้ใกล้ๆ หรือในกองวัตถุที่เราต้องการ ซึ่งเราสามารถที่จะถ่ายภาพวัตถุอ้างอิงนั้นๆได้อย่างชัดเจน โดยที่จะต้องทราบถึงระยะหรือขนาดของของวัตถุอ้างอิงนั้นๆ (ด้านที่ a) ดังรูปที่ 4.6 เพื่อทำการปรับค่าระยะในโปรแกรมให้เป็นระยะจริงโดยใช้สมการที่ 4.1 โดยในขั้นตอนนี้ การวัดระยะของวัตถุอ้างอิงด้านที่ a จากโมเดล 3 มิติ จะมาจากการที่ผู้ใช้งานระบบวัดด้วยตนเอง จากนั้นนำค่าปรับแก้ใส่ในระบบแล้วค่าระยะด้านต่างๆ ของโมเดล 3 มิติจะปรับแก้ตามไปในอัตราส่วนเดียวกัน

$$S = \frac{R}{P} \quad \text{.......................} \ (4.1)$$

โดยที่ S = ค่าที่นำไปใส่ในโปรแกรมเพื่อทำการปรับแก้

R = ระยะจริงของวัตถุอ้างอิงด้านที่ a

P = ระยะของวัตถุอ้างอิงด้านที่ a ที่วัดได้จากโปรแกรม

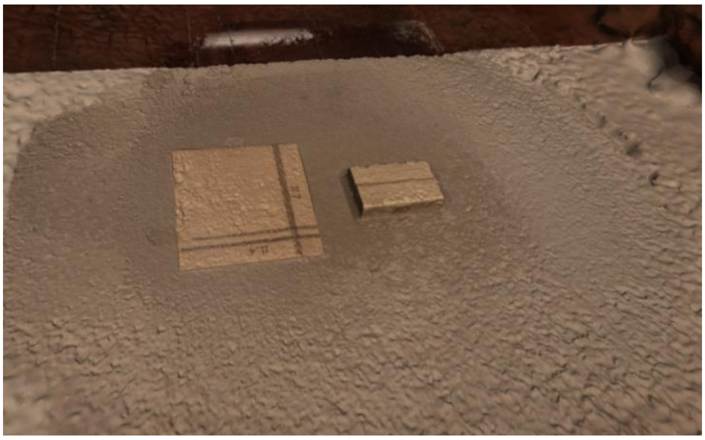


รูปที่ 4.6 กองวัตถุที่สนใจและวัตถุอ้างอิง

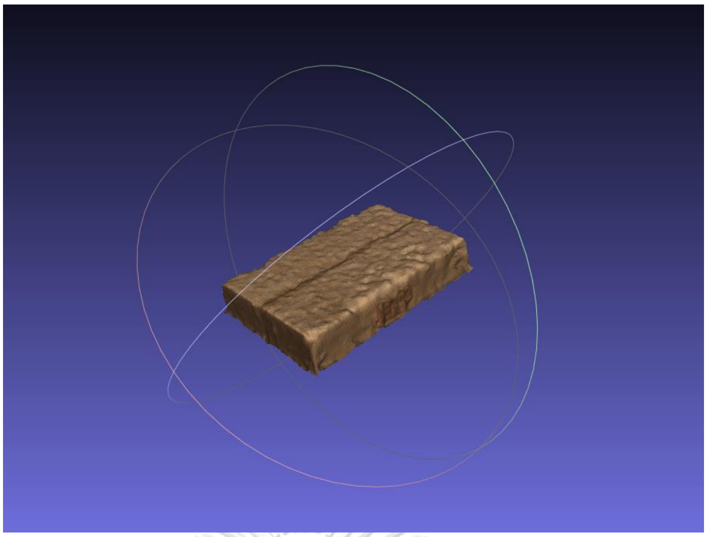
4.2.4 การปรับปรุงโมเดล 3 มิติ

เมื่อได้โมเดล 3 มิติ จากกระบวนการก่อนหน้าแล้วจึงนำโมเดลไปตัดส่วนของโมเดลที่ไม่ต้องการออก โดยทางผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม MeshLab ในกระบวนการดังกล่าว โดยรูปที่ 4.7 แสดงโมเดล 3 มิติก่อนการตัดพื้นที่ที่ไม่ต้องการออก และรูปที่ 4.8 แสดงโมเดล 3 มิติ ที่ผ่านการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกแล้ว โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการลงมือทำด้วยตนเองของผู้ใช้งานระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



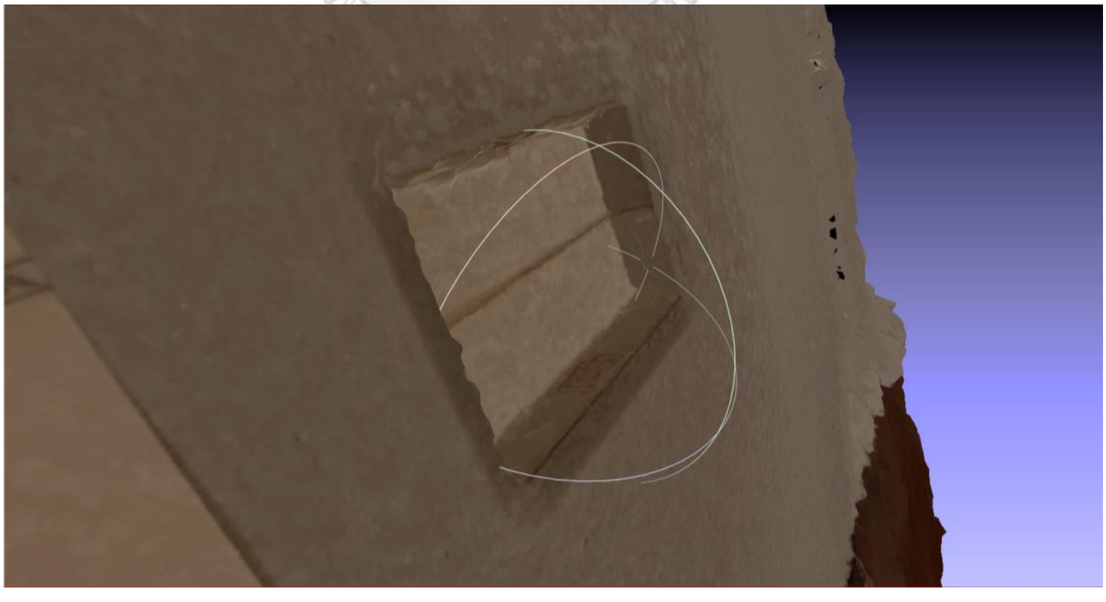
รูปที่ 4.7 โมเดล 3 มิติก่อนการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก



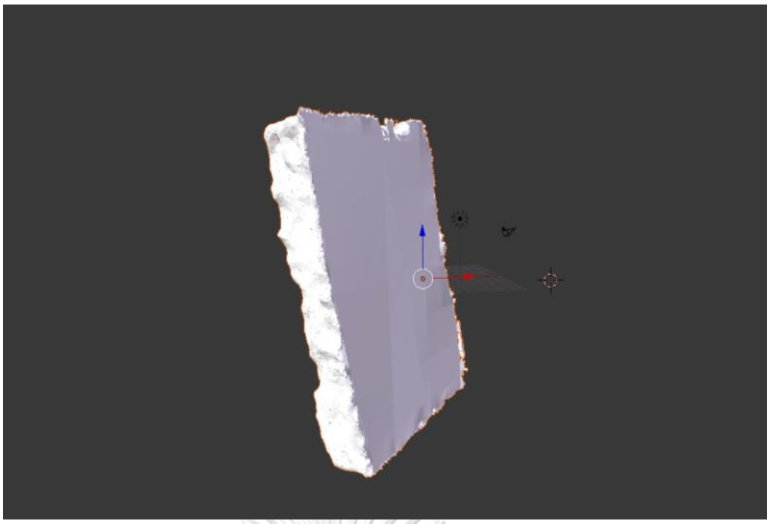
รูปที่ 4.8 โมเดล 3 มิติ ที่ผ่านการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกแล้ว

4.2.5 การทำให้โมเดล 3 มิติไม่มีช่องว่างหรือรอยรั่ว

ในขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาตรของโมเดล 3 มิติ มีข้อกำหนดของการวิเคราะห์ที่สำคัญ นั่นคือตัวโมเดลดังกล่าวจะต้องไม่มีช่องว่างหรือรอยรั่วเลยจึงจะทำการวิเคราะห์หาปริมาตรได้ ซึ่งจากการขั้นตอนการถ่ายภาพกองวัตถุจะเห็นได้ว่าเราไม่ได้สามารถถ่ายท้องหรือพื้นของวัตถุดังกล่าวได้ ตัวโมเดลที่สร้างออกมาจึงไม่มีพื้นผิวด้านท้องที่ติดกับพื้นดังแสดงในรูปที่ 4.9 จึงจำเป็นที่จะต้องทำการปิดหรือผสานช่องว่างดังกล่าวโดยใช้โปรแกรม Blender และได้ผลดังรูปที่ 4.10



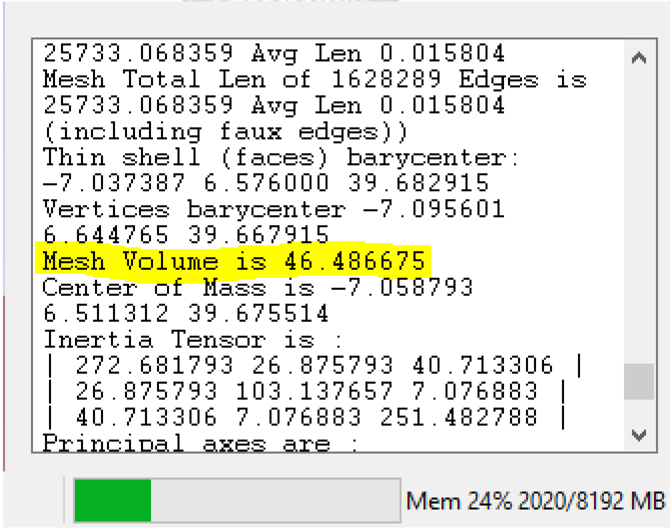
รูปที่ 4.9 ด้านหลังพื้นของโมเดล 3 มิติ ที่แสดงให้เห็นถึงช่องว่างหรือรอยรั่วของตัวโมเดล



รูปที่ 4.10 แสดงด้านหลังพื้นของกองวัตถุในโมเดล 3 มิติที่ถูกปิดหรือผสานเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่าง

4.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาตรจากโมเดล 3 มิติ

ในขั้นตอนการหาปริมาตรจากโมเดล 3 มิติของกองวัตถุจำเป็นที่จะต้องไม่มีช่องว่างหรือรอยรั่วเลยจึงจะทำการวิเคราะห์หาปริมาตรได้ ซึ่งสามารถใช้กระบวนการก่อนหน้าแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ จากนั้นจึงนำโมเดล 3 มิติ ที่ผ่านการปิดหรือผสานรอยรั่วแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาตร โดยค่าจะแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงค่าปริมาตรที่โปรแกรมวิเคราะห์ได้จากโมเดล 3 มิติ

4.3 การทดสอบระบบด้วยวัตถุตัวอย่าง

ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบโดยใช้วัตถุตัวอย่างที่สามารถหาปริมาตรต่อหน่วยของวัตถุนั้นๆ ได้โดยวัตถุตัวอย่างที่ใช้เป็นรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังรูปที่ 4.12 ที่ทราบขนาดของด้านแต่ละด้านซึ่งมีด้านกว้างขนาด 2.4×10^{-2} เมตร ด้านยาวขนาด 7.45×10^{-2} เมตร และด้านสูงขนาด 1.4×10^{-2} เมตร โดยมีปริมาตรเท่ากับ 25.032×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อหนึ่งชิ้นตัวอย่าง จากนั้นทำการนำวัตถุตัวอย่างดังกล่าวมากองรวมกัน โดยแสดงปริมาตรที่ได้จากการวัดระยะโดยใช้ไม้ตลับเมตรและปริมาตรที่วัดได้จากระบบที่นำเสนอดังแสดงในตารางที่ 4.3

รูปที่ 4.12 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบระบบ (ปริมาตร: $25.032 \times 10^{-6} m^3$)

ตารางที่ 4.3 ปริมาตรของวัตถุตัวอย่างที่คำนวณจากระบบวัดปริมาตรของเสียจากการก่อสร้าง

โมเดล	โมเดลตัวอย่าง		ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)
	จำนวน (ชิ้น)	ปริมาตร (10^{-6} m^3)	
1	53	1,326.70	1,429.57
2	53	1,326.70	1,445.17
3	53	1,326.70	1,417.83
4	53	1,326.70	1,390.51
5	53	1,326.70	1,409.83
		ค่าเฉลี่ย	1,418.58
		ค่าสูงสุด	1,445.17
		ค่าต่ำสุด	1,390.51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าของปริมาตรที่ได้จากการวัดระยะโดยใช้ตลับเมตรและนำมาคำนวณหาปริมาตรมีค่าเท่ากับ 1,326.70 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร และค่าของปริมาตรที่คำนวณได้จากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 1,390.51 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร ถึง 1,445.17 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร และคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,418.58 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจากค่าที่ได้จากระบบสามารถนำมาหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าปริมาตรที่ได้จากวิธีการวัดทั้งสองวิธีดังสมการที่ 4.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยตลับเมตร - ปริมาตรที่ได้จากระบบ}}{\text{ปริมาตรที่ได้จากการวัดโดยตลับเมตร}} \times 100 \quad \text{...... (4.2)}$$

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าผลต่างที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 63.82 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร ถึง 118.47 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร และคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.67 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง 4.81 % ถึง8.93 % และคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.93 %

ตารางที่ 4.4 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากการวัดและจากระบบ

โมเดล	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (10^{-6} m^3)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)	ผลต่างของปริมาตร (10^{-6} m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	1,326.70	1,429.57	102.88	7.75	7.75
2	1,326.70	1,445.17	118.47	8.93	8.93
3	1,326.70	1,417.83	91.14	6.87	6.87
4	1,326.70	1,390.51	63.82	4.81	4.81
5	1,326.70	1,409.83	83.13	6.27	6.27
	ค่าเฉลี่ย		91.67	6.93	6.93
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		20.57	1.55	1.55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 การวิเคราะห์โดยใช้ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % (95 % Limit of agreement method)

ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลต่างหรือช่องว่างของเครื่องมือหรือวิธีการวัดสองวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำมาใช้เพื่อประเมินค่าความแตกต่างของปริมาณของเสียจากการก่อสร้างระหว่างเครื่องมือในการวัดสองประเภท โดยวิธีดังกล่าวจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติของค่าของผลต่างที่ได้ระหว่างสองวิธีการวัด โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาตรจริงจากการวัดโดยใช้วิธีการทั่วไปและปริมาตรที่ได้จากระบบกับวัตถุตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์โดยใช้ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % นี้จะต้องมีการใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ในการหาผลลัพธ์ โดยผลลัพธ์จะมีค่าที่ยอมรับได้หากอยู่ในช่วงขีดจำกัดบน (Lower limit) และขีดจำกัดล่าง (Upper limit) โดยการหาขีดจำกัดดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการด้านล่าง

$$Lower\ limit = \bar{x} - 1.96sd \quad (4.3)$$

$$Upper\ limit = \bar{x} + 1.96sd \quad (4.4)$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างของการวัด

sd คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างของการวัด

4.4.1 วิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 %

จากการหาผลต่างของปริมาตรจากวิธีการวัดโดยตลับเมตรและนำมาหาปริมาตรกับวิธีที่นำเสนอแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลต่างของปริมาตรที่ได้จากระบบคำนวณปริมาตรของเสียจากการก่อสร้าง

โมเดล	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (10^{-6} m^3)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)	ผลต่างของปริมาตร (10^{-6} m^3)
1	1,326.70	1,429.57	102.88
2	1,326.70	1,445.17	118.47
3	1,326.70	1,417.83	91.14
4	1,326.70	1,390.51	63.82
5	1,326.70	1,409.83	83.13
	ค่าสูงสุด		118.47
	ค่าต่ำสุด		63.82
	ค่าเฉลี่ย		91.67
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		20.57

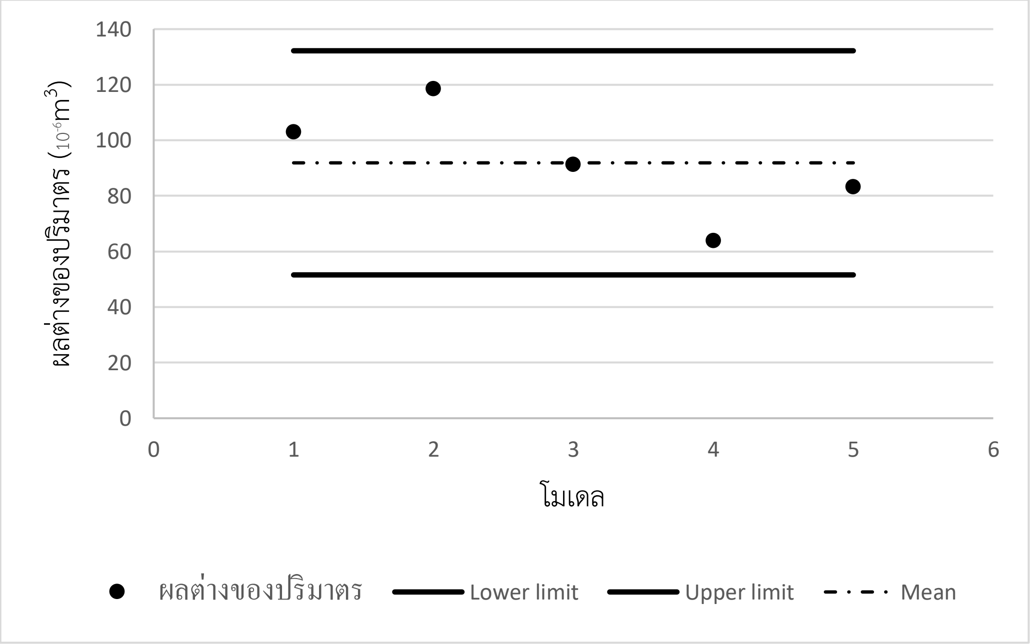
การแจกแจงของข้อมูลผลต่างจากตารางที่ 4.5 จะถูกนำไปตรวจสอบโดยใช้วิธี Shapiro-Wilk หรือ W-test เนื่องจากตัวอย่างมีจำนวน 5 ตัวอย่าง ซึ่งอยู่ในช่วง $3 \leq n \leq 50$ โดยทางผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม SPSS statistics 25 โดยผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 0.998 ซึ่งมากกว่าค่าแอลฟา (0.05) ทำให้กลุ่มข้อมูลดังกล่าวมีการกระจายตัวแบบปกติ

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VAR00001	.135	5	.200*	.998	5	.998

รูปที่ 4.13 ค่าที่ได้จากโปรแกรม SPSS

เมื่อทราบว่ามีการแจกแจงแบบปกติแล้วทำการหาค่าจำกัดของความสอดคล้องของระบบที่นำเสนอโดยผลลัพธ์จากผลต่างของปริมาตรจะต้องอยู่ในช่วงขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่าง โดยจากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างมีค่าเท่ากับ 91.67 และค่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 20.57 ทำให้ค่าของขีดจำกัดบนเท่ากับ 132.99 และขีดจำกัดล่างมีค่าเท่ากับ 51.35 ซึ่งหาได้จากการใช้สมการที่ 4.3 และ 4.4 โดยภาพรวมของค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % แสดงดังรูปที่ 4.14 โดยพบว่าผลลัพธ์จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดอยู่ในช่วงของขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่าง



รูปที่ 4.14 ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % ของผลต่างของปริมาตร

4.5 การเพิ่มประสิทธิภาพระบบ

จากการทดสอบระบบกับวัตถุตัวอย่าง ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมสองส่วนประกอบไปด้วย ปริมาตรที่ได้จากภาพถ่ายสองมุมมองที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับภาพถ่ายเพียงมุมมองเดียว รวมถึงการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของวัตถุตัวอย่างกับการทำงานของระบบเพื่อหาปริมาตร ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้มุมระดับสายตา (Eye’s Level View) โดยกำหนดมุมกับกองวัตถุตัวอย่างที่ทราบปริมาตรจากการวัดแต่ละด้านด้วยตลับเมตรดังรูปที่ 4.15 ซึ่งจะได้ภาพของกองวัตถุตัวอย่างดังรูปที่ 4.16 อีกทั้งกองวัตถุตัวอย่างแต่ละโมเดลจะมีลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกัน โดยจะทำการดึงวัตถุตัวอย่างบางชิ้นออกจากกองวัตถุตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.17

รูปที่ 4.15 มุมระดับสายตา (Eye’s Level View) จาก 2 มุม

รูปที่ 4.16 ภาพกองวัตถุตัวอย่างที่ทราบปริมาตรจาก 2 มุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.17 กองวัตถุตัวอย่างที่มีลักษณะรูปทรงแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของกองวัตถุที่ได้จากระบบในรูปของปริมาตรจากการถ่ายภาพ 1 มุม

โมเดล	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (10^{-6} m^3)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ผลต่างของปริมาตร (10^{-6} m^3)
1	20,296.22	20,331.07	0.17	0.17	34.85
2	16,933.54	16,891.37	-0.25	0.25	-42.17
3	13,450.75	12,897.50	-4.11	4.11	-553.25
4	10,328.26	9,884.65	-4.30	4.30	-443.61
5	6,725.38	6,547.97	-2.64	2.64	-177.41
6	3,362.69	3,214.92	-4.39	4.39	-147.77
	ค่าเฉลี่ย		-2.59	2.64	-221.56
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.08	1.99	230.06

ตารางที่ 4.7 ปริมาณของกองวัตถุที่ได้จากระบบในรูปของปริมาตรจากการถ่ายภาพ 2 มุม

โมเดล	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (10^{-6} m^3)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ผลต่างของปริมาตร (10^{-6} m^3)
1	20,296.22	20,605.95	1.53	1.53	309.73
2	16,933.54	16,788.18	-0.86	0.86	-145.36
3	13,450.75	13,372.31	-0.58	0.58	-78.44
4	10,328.26	10,199.63	-1.25	1.25	-128.63
5	6,725.38	6,853.14	1.90	1.90	127.76
6	3,362.69	3,357.82	-0.14	0.14	-4.87
	ค่าเฉลี่ย		0.10	1.04	13.37
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.31	0.64	176.09

จากการทดสอบกองวัตถุพบว่า การถ่ายภาพจากมุม 2 มุม จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรอยู่ในช่วง -1.25 เปอร์เซ็นต์ ถึง 1.90 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.10 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งน้อยกว่าการถ่ายเพียงมุมเดียวซึ่งพบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรอยู่ในช่วง -4.39 เปอร์เซ็นต์ ถึง 0.17 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -2.59 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ดังนั้นการที่จะให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้ภาพถ่ายจากมุม 2 มุม โดยรอบกองของเสียจากการก่อสร้าง อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของกองวัตถุตัวอย่างนั้นไม่ได้มีผลต่อการทำงานของระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง

4.6 การนำระบบไปใช้กับของเสียจากการก่อสร้าง

ในขั้นตอนการนำระบบเพื่อใช้วัดปริมาณของเสียจากการก่อสร้างในรูปแบบของปริมาตรจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ประกอบไปด้วย การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุมและการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง

4.6.1 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม

การนำระบบไปใช้วัดปริมาณของเสียจากการก่อสร้างในด้านปริมาตร โดยของเสียจากการก่อสร้างที่นำมาใช้ทดสอบระบบประกอบไปด้วย อิฐแดง คอนกรีต และกระเบื้อง

การทดสอบระบบในส่วนแรกจะเป็นการทดสอบซ้ำ (Test – Retest Method) มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระบบที่ใช้การถ่ายภาพรอบกองของเสีย โดยการนำของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) มาเทกองบนพื้น จากนั้นจะเก็บข้อมูลของชุดภาพถ่ายโดยรอบกองดังกล่าว จำนวน 6 ชุดข้อมูล แล้วจึงนำเข้าสู่ระบบเพื่อวิเคราะห์หาปริมาตรต่อไป และการทดสอบในส่วนที่สอง การนำระบบไปทดสอบกับของเสียโดยการเทกองแบบสุ่ม ซึ่งของเสียที่ทดสอบประกอบไปด้วย อิฐแดง คอนกรีต และกระเบื้องพื้น โดยของเสียจะถูกนำมาเทกองลงบนพื้น ชนิดละ 20 ครั้ง โดยรูปทรงของกองจะเป็นไปตามธรรมชาติของวัสดุดังกล่าว ยกเว้นกระเบื้องพื้นที่มีการจัดวาง โดยแสดงดังรูปที่ 4.18 ซึ่งในแต่ละครั้งจะมีการชั่งน้ำหนักของเสียไว้เพื่อใช้ในการหาค่าความหนาแน่นของของเสียแต่ละชนิด โดยค่าความหนาแน่นดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการหาน้ำหนักของของเสียจากการก่อสร้างโดยใช่ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบต่อไป

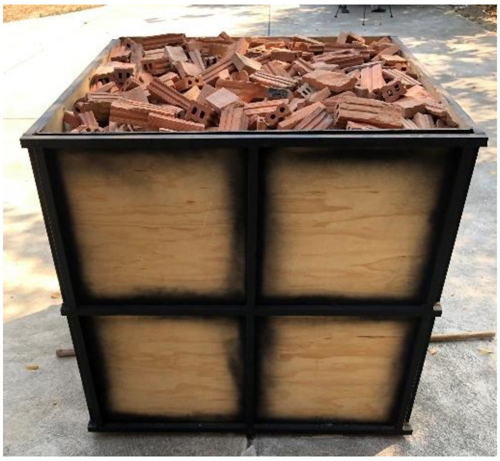
รูปที่ 4.18 ลักษณะการกองของเสียจากการก่อสร้าง

4.6.1.1 การเตรียมและวิธีการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้าง

ของเสียจากการก่อสร้างจะถูกนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำไปใส่ในถังทรงลูกบาศก์ขนาด 1×1×1 เมตร ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ดังรูปที่ 4.19 จนเต็มถังดังรูปที่ 4.20 จากนั้นนำของเสียแต่ละตัวอย่างจากถังเทกองลงบนพื้นแสดงดังรูปที่ 4.21 แล้วทำการเก็บภาพถ่ายของเสียโดยรอบกองต่อไป ภาพถ่ายที่ใช้จะมาจากสองมุมที่แตกต่างกัน โดยมีจำนวนของภาพถ่ายจากทั้งสองมุมรวมกันประมาณ 140 ภาพต่อหนึ่งตัวอย่าง และบริเวณข้างกองของเสียจะมีการวางวัตถุอ้างอิงไว้ด้านข้างเพื่อใช้เป็นสิ่งอ้างอิงในการบอกขนาดจริงของกองของเสียดังรูปที่ 4.22 ซึ่งในการทดสอบนี้จะใช้กระดาษ A4 เป็นวัตถุอ้างอิง จากนั้นจึงนำชุดของภาพถ่ายส่งเข้าสู่ระบบที่นำเสนอเพื่อหาปริมาตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.19 ถังทรงลูกบาศก์ขนาด 1×1×1 เมตร



รูปที่ 4.20 ของเสียที่นำไปใส่ในกล่องลูกบาศก์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จนเต็มถัง

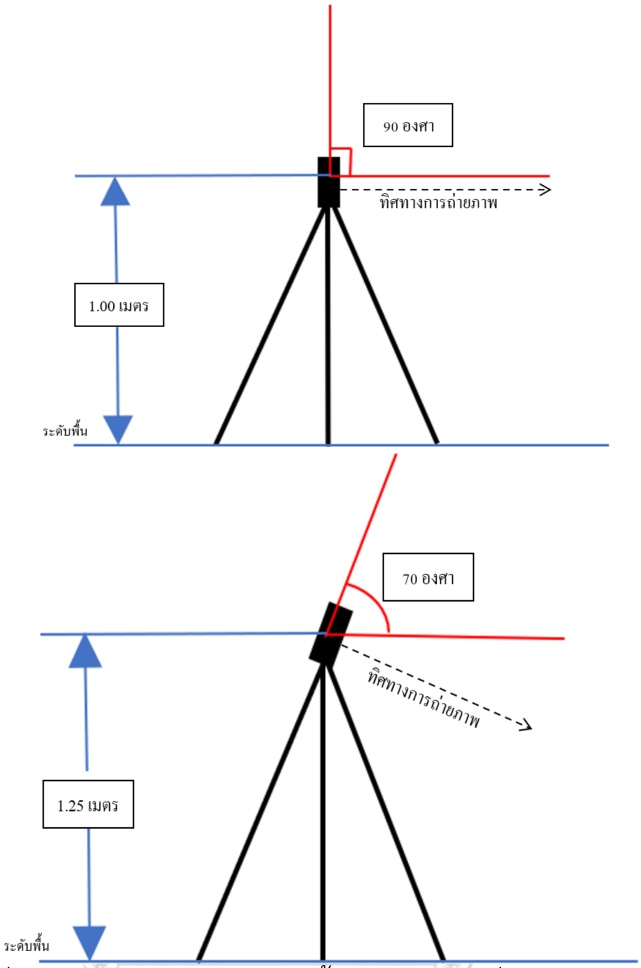
รูปที่ 4.21 ของเสียจากการก่อสร้างที่ถูกนำออกจากถังและเทกองบนพื้น

รูปที่ 4.22 วัตถุอ้างอิงที่อยู่ภายในองค์ประกอบของภาพถ่ายกองของเสียจากการก่อสร้าง

ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการถ่ายภาพรอบกองของเสียที่นำออกมาจากถังทรงลูกบาศก์เพื่อส่งเข้าระบบและประมวลผล ขั้นตอนนี้จะมีการใช้สมาร์ทโฟนเพื่อถ่ายภาพซึ่งกำหนดความละเอียดของภาพอยู่ที่ 12 MP (Megapixel) โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้โทรศัพท์ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone X ร่วมกับขาระดับตั้งกล้องดังรูปที่ 4.23 เพื่อทำการกำหนดความสูงและกำหนดมุมกล้องที่จะทำการเก็บภาพ โดยจะทำการเก็บภาพทั้งหมด 2 มุม ได้แก่ มุม 70 องศา ที่ระดับความสูง 1.25 เมตรจากพื้นและที่มุม 90 องศากับแนวระนาบ ที่ระดับความสูง 1.00 เมตรดังรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25 จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลชุดภาพถ่ายโดยรอบกองของเสียดังรูปที่ 4.26 และส่งเข้าระบบต่อไป

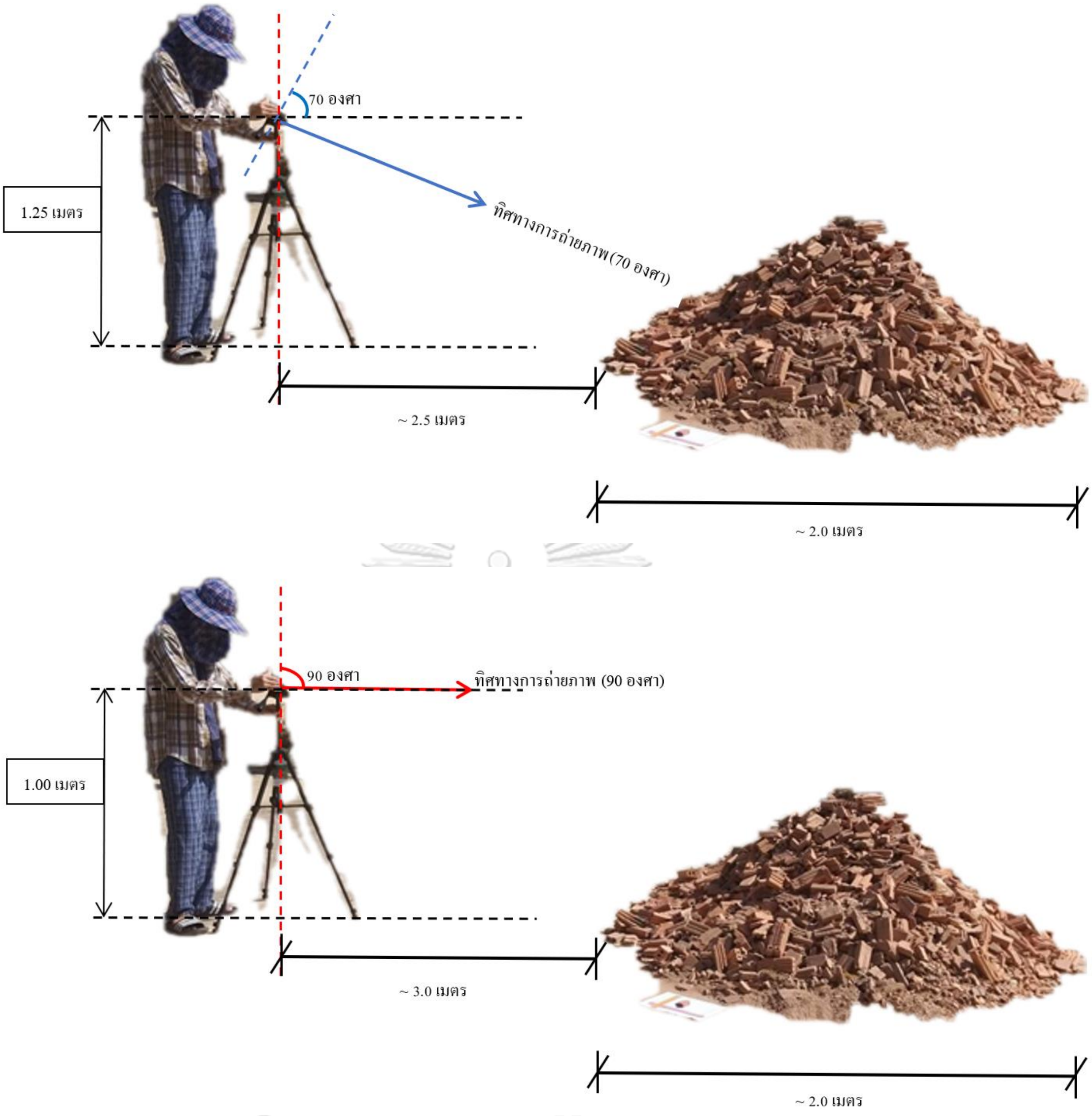
รูปที่ 4.23 ขาระดับตั้งกล้อง

รูปที่ 4.24 แสดงมุมที่ใช้เก็บภาพทั้ง 2 มุม ได้แก่ มุม 70 องศา และที่มุม 90 องศากับแนวระนาบ



รูปที่ 4.25 ระดับความสูงของขาตั้งกล้องและมุมที่ใช้ในการเก็บภาพ

รูปที่ 4.26 เก็บภาพถ่ายของเสียจากการก่อสร้างโดยรอบกอง



Chulalongkorn University

รูปที่ 4.27 แสดงมุม ความสูงและรายละเอียดอื่นๆ ของการเก็บภาพถ่ายของเสียจากการก่อสร้าง

4.6.1.2 การทดสอบซ้ำโดยใช้ระบบเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง

ในการทดสอบซ้ำ (Test – Retest Method) จะใช้ของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) มาเทกองบนพื้นโดยใช้ขั้นตอนและวิธีการดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.6.1.1 เพื่อหาปริมาตรของกองของเสียดังกล่าว จากนั้นค่าที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นความแตกต่างที่เกิดจากระบบต่อไป

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) จากชุดข้อมูล 6 ชุดข้อมูล ซึ่งเป็นการทดสอบซ้ำ พบว่าปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 0.94 ลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.937 ลูกบาศก์เมตร และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0052 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการผลวิเคราะห์ที่ได้จากระบบ (อิฐแดง)

ลำดับที่	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (m^3)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (m^3)	ผลต่างของปริมาตร (m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	1.00	0.94	-0.06	-6.00	6.00
2	1.00	0.94	-0.06	-6.00	6.00
3	1.00	0.93	-0.07	-7.00	7.00
4	1.00	0.93	-0.07	-7.00	7.00
5	1.00	0.94	-0.06	-6.00	6.00
6	1.00	0.94	-0.06	-6.00	6.00
ค่าเฉลี่ย		0.937	-0.06	-6.33	6.33
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.0052	0.01	0.52	0.52

การทดสอบซ้ำ (Test – Retest Method) พบว่าค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบจะอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 0.94 ลูกบาศก์เมตร ค่าความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากระบบเท่ากับ 0.01 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาตร เนื่องจากในบางขั้นตอนของระบบต้องใช้ทักษะของคนเพื่อให้ระบบสามารถหาปริมาตรของกองของเสียได้ ได้แก่ การถ่ายภาพโดยรอบกอง การปรับปรุงโมเดล 3 มิติ จึงทำให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากการวัดกับปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -6.33 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6.1.3 การนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างที่มีการเทกองแบบสุ่ม

ในโครงการก่อสร้าง ของเสียจะมีการกองที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละครั้ง แต่ละชนิดของสีย และแต่ละโครงการ การทดสอบในส่วนนี้ ของเสียจากการก่อสร้างจะถูกนำมาเทกองลงบนพื้น ชนิดละ 20 ครั้งแบบสุ่ม โดยแต่ละครั้งจะมีการเก็บข้อมูลภาพถ่ายโดยรอบตามขั้นตอนและวิธีการดังที่กล่าวมาในส่วนก่อนหน้านี้แล้วจึงส่งเข้าสู่ระบบเพื่อวิเคราะห์หาปริมาตร

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.9 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่าปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.903 ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -17.00 ถึง -3.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -9.75 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.78

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (อิฐแดง)

ลำดับที่	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (m^3)	น้ำหนัก (Kg)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (m^3)	ผลต่างของปริมาตร (m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	1.00	696.88	0.88	-0.12	-12.00	12.00
2	1.00	696.88	0.83	-0.17	-17.00	17.00
3	1.00	696.88	0.87	-0.13	-13.00	13.00
4	1.00	701.78	0.89	-0.11	-11.00	11.00
5	1.00	696.88	0.91	-0.09	-9.00	9.00
6	1.00	701.78	0.96	-0.04	-4.00	4.00
7	1.00	764.04	0.97	-0.03	-3.00	3.00
8	1.00	701.78	0.87	-0.13	-13.00	13.00
9	1.00	764.04	0.91	-0.09	-9.00	9.00
10	1.00	701.78	0.88	-0.12	-12.00	12.00
11	1.00	764.04	0.86	-0.14	-14.00	14.00
12	1.00	764.04	0.88	-0.12	-12.00	12.00
13	1.00	721.70	0.93	-0.07	-7.00	7.00
14	1.00	721.70	0.92	-0.08	-8.00	8.00
15	1.00	785.02	0.94	-0.06	-6.00	6.00
16	1.00	721.70	0.88	-0.12	-12.00	12.00
17	1.00	785.02	0.94	-0.06	-6.00	6.00
18	1.00	721.70	0.88	-0.12	-12.00	12.00
19	1.00	785.02	0.96	-0.04	-4.00	4.00
20	1.00	785.02	0.89	-0.11	-11.00	11.00
ค่าเฉลี่ย		733.88	0.90	-0.10	-9.75	9.75
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		35.76	0.04	0.04	3.78	3.78

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (คอนกรีต) ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.10 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่าปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.88 ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -16.00 ถึง -6.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -12.10 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.45

ตารางที่ 4.10 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (คอนกรีต)

ลำดับที่	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (m^3)	น้ำหนัก (Kg)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (m^3)	ผลต่างของปริมาตร (m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	1.00	1129.57	0.88	-0.12	-12.00	12.00
2	1.00	1129.57	0.86	-0.14	-14.00	14.00
3	1.00	1129.57	0.84	-0.16	-16.00	16.00
4	1.00	1129.57	0.85	-0.15	-15.00	15.00
5	1.00	1144.00	0.89	-0.11	-11.00	11.00
6	1.00	1144.00	0.87	-0.13	-13.00	13.00
7	1.00	1144.00	0.91	-0.09	-9.00	9.00
8	1.00	1144.00	0.85	-0.15	-15.00	15.00
9	1.00	1157.02	0.86	-0.14	-14.00	14.00
10	1.00	1157.02	0.87	-0.13	-13.00	13.00
11	1.00	1206.76	0.88	-0.12	-12.00	12.00
12	1.00	1157.02	0.88	-0.12	-12.00	12.00
13	1.00	1206.76	0.87	-0.13	-13.00	13.00
14	1.00	1157.02	0.86	-0.14	-14.00	14.00
15	1.00	1206.76	0.94	-0.06	-6.00	6.00
16	1.00	1206.76	0.88	-0.12	-12.00	12.00
17	1.00	1179.90	0.91	-0.09	-9.00	9.00
18	1.00	1179.90	0.91	-0.09	-9.00	9.00
19	1.00	1179.90	0.89	-0.11	-11.00	11.00
20	1.00	1179.90	0.88	-0.12	-12.00	12.00
ค่าเฉลี่ย		1163.45	0.88	-0.12	-12.10	12.10
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		27.96	0.02	0.02	2.45	2.45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้อง) ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.11 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่าปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.98 ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -7.00 ถึง 6.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -2.05 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.56

ตารางที่ 4.11 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้อง)

ลำดับที่	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (m^3)	น้ำหนัก (Kg)	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (m^3)	ผลต่างของปริมาตร (m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	1.00	952.68	1.04	0.04	4.00	4.00
2	1.00	952.68	0.99	-0.01	-1.00	1.00
3	1.00	952.68	1.02	0.02	2.00	2.00
4	1.00	952.68	0.97	-0.03	-3.00	3.00
5	1.00	965.92	0.96	-0.04	-4.00	4.00
6	1.00	965.92	1.06	0.06	6.00	6.00
7	1.00	965.92	0.94	-0.06	-6.00	6.00
8	1.00	965.92	0.95	-0.05	-5.00	5.00
9	1.00	974.86	1.01	0.01	1.00	1.00
10	1.00	974.86	0.94	-0.06	-6.00	6.00
11	1.00	974.86	0.96	-0.04	-4.00	4.00
12	1.00	974.86	0.97	-0.03	-3.00	3.00
13	1.00	982.04	0.94	-0.06	-6.00	6.00
14	1.00	982.04	0.98	-0.02	-2.00	2.00
15	1.00	982.04	0.98	-0.02	-2.00	2.00
16	1.00	982.04	0.95	-0.05	-5.00	5.00
17	1.00	976.42	0.93	-0.07	-7.00	7.00
18	1.00	976.42	0.99	-0.01	-1.00	1.00
19	1.00	976.42	1.01	0.01	1.00	1.00
20	1.00	976.42	1.00	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย		970.38	0.98	-0.02	-2.05	3.45
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		10.52	0.04	0.04	3.56	2.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างที่มีการเทกองแบบสุ่มพบว่า ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าที่แตกต่างกันออกไปในการกองแต่ละครั้ง เนื่องจากการกองเป็นแบบสุ่ม ทำให้การกองแต่ละครั้งมีรูปทรงที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกอง รวมถึงลักษณะเฉพาะของของเสียแต่ละชนิดที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อช่องว่างภายในกองของเสีย จึงทำให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบแตกต่างกันออกไป

ในส่วนของน้ำหนักที่มีการชั่งในแต่ละชนิดของของเสียจากการก่อสร้างพบว่า ของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) มีค่าของน้ำหนักที่หาได้จากการชั่งอยู่ในช่วง 696.88 ถึง 785.02 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเท่ากับ 733.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35.76 ของเสียจากการก่อสร้าง (คอนกรีต) มีค่าของน้ำหนักที่หาได้จากการชั่งอยู่ในช่วง 1,129.57 ถึง 1,206.76 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเท่ากับ 1,163.45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 27.96 ของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้องพื้น) มีค่าของน้ำหนักที่หาได้จากการชั่งอยู่ในช่วง 952.68 ถึง 982.04 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเท่ากับ 970.38 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.52

จากค่าน้ำหนักของเสียแต่ละชนิดที่ได้จากการชั่ง สามารถนำไปหาค่าของความหนาแน่น (Density) ของของเสียเพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักจากปริมาตรที่ได้จากระบบที่แตกต่างกันไปในแต่ละกองและแต่ละชนิดต่อไป โดยพบว่าค่าความหนาแน่นของอิฐแดงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 733.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อนำไปคำนวณเพื่อหาน้ำหนักโดยใช้ปริมาตรที่ได้จากระบบพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 815.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าความแตกต่างของน้ำหนักเท่ากับ 81.54 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 11.11 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,163.45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อนำไปคำนวณเพื่อหาน้ำหนักโดยใช้ปริมาตรที่ได้จากระบบพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,322.10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าความแตกต่างของน้ำหนักเท่ากับ 158.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 13.64 เปอร์เซ็นต์ และค่าความหนาแน่นของกระเบื้องพื้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 970.38 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อนำไปคำนวณเพื่อหาน้ำหนักโดยใช้ปริมาตรที่ได้จากระบบพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 990.18 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีค่าความแตกต่างของน้ำหนักเท่ากับ 19.80 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 2.04 เปอร์เซ็นต์

จะเห็นได้ว่าค่าของน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิดของเสียและน้ำหนักของเสียไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับผลของปริมาตรที่ได้จากระบบ เนื่องจากการเรียงตัวของเสียแต่ละชนิดไม่เหมือนกันทำให้รูปทรงของการกองแตกต่างกันออกไป

4.6.1.4 สรุปผลการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม

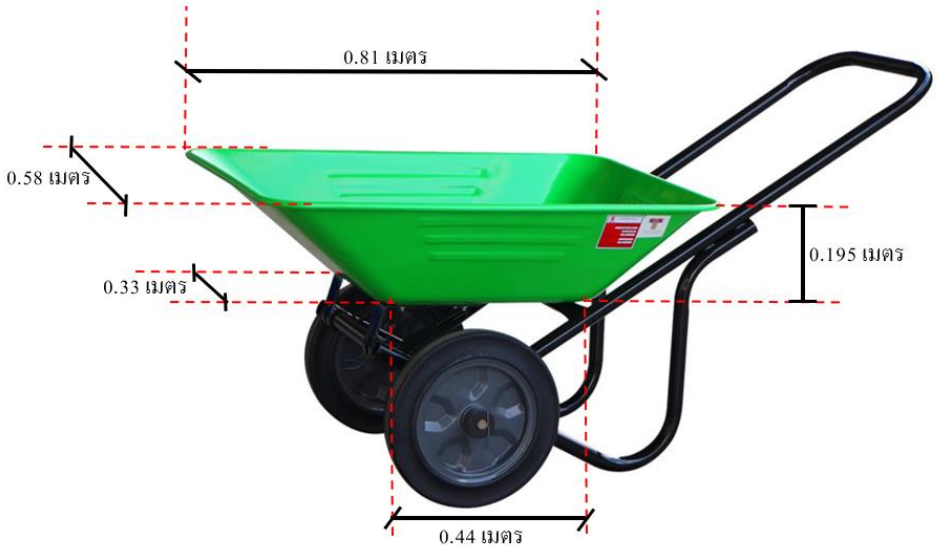
การนำของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างในโครงการไปจัดการนั้น จะทำการนำของเสียใส่ในรถบรรทุกเพื่อนำไปทิ้งยังพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งก่อนจะมีการนำของเสียไปออกจากโครงการ ของเสียจะถูกกองไว้ในพื้นที่ที่กำหนดไว้ โดยพบว่าการกองมีลักษณะเฉพาะ (Characteristic) ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกองและแต่ละชนิดของเสีย เช่นเดียวกับลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นเมื่อถูกนำไปใส่ในกระบะของรถบรรทุก ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ใช้ถังทรงสี่เหลี่ยมที่ทราบปริมาตรมาใช้เป็นตัวควบคุมปริมาตร

การทดสอบซ้ำ (Test – Retest Method) พบว่าค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบจะอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 0.94 ลูกบาศก์เมตร ค่าความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากระบบเท่ากับ 0.01 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาตร เนื่องจากในบางขั้นตอนของระบบต้องใช้ทักษะของคน รวมถึงขั้นตอนของการถ่ายภาพโดยรอบกองของเสีย จึงทำให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

การนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างที่มีการเทกองแบบสุ่ม พบว่ากลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทอิฐแดงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -17.00 ถึง -3.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -9.75 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทคอนกรีตมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -16.00 ถึง -6.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -12.10 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องพื้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -7.00 ถึง 6.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -2.05 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้มีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของของเสีย เนื่องจากลักษณะเฉพาะของของเสียนั้นๆ รวมถึงช่องว่าง (Void) ที่แตกต่างกันตามแต่ละชนิดของของเสียที่ถูกนำมากองไว้โดยมีการซ้อนทับกันอย่างอิสระ โดยพบว่าปริมาตรที่เกิดจากการเทกองจะมีค่าที่น้อยกว่าปริมาตรที่เกิดจากการนำของเสียใส่ลงในถัง เนื่องจากการเทกอง ของเสียจะแผ่ออกด้านข้างตามแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้ช่องว่างภายในกองของเสียต่ำกว่าของเสียที่อยู่ภายในถังที่ถูกควบคุมการแผ่ออกด้านข้าง จึงทำให้ปริมาตรที่ได้แตกต่างกัน อีกทั้งพบว่าค่าของความหนาแน่น (Density) ของของเสียที่ทำการทดสอบภายในพื้นที่ควบคุมพบว่าค่าความหนาแน่นของอิฐแดงที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 815.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,322.10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความหนาแน่นของกระเบื้องพื้นที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 990.18 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.6.2 การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง

การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง ของเสียจากการก่อสร้างจะถูกนำไปใส่ในภาชนะที่มีการใช้ในการขนย้ายของเสียโดยใช้รถเข็นแสดงดังรูปที่ 4.27 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขนย้ายวัสดุรวมถึงของเสียจากการก่อสร้างไปเทกองยังพื้นที่ที่มีการจัดสรรไว้ของโครงการ อีกทั้งยังใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบปริมาตรในการทดสอบ โดยจำนวนตัวอย่างของเสียจากการก่อสร้างแต่ละชนิดที่ใช้ประกอบไปด้วย อิฐมวลเบา กระเบื้องหลังคา และกระเบื้องพื้น ซึ่งจะใช้ทดสอบชนิดละ 6 ตัวอย่าง โดยปริมาตรของเสียจากการก่อสร้างดังกล่าวจะใช้หน่วยวัดลูกบาศก์เมตร ปริมาตรของรถเข็นจะทราบได้จากการวัดขนาดด้านแต่ละด้านของรถเข็นโดยใช้ตลับเมตร โดยปริมาตรที่สามารถบรรจุได้ในรถเข็นเท่ากับ 0.0569517 ลูกบาศก์เมตร

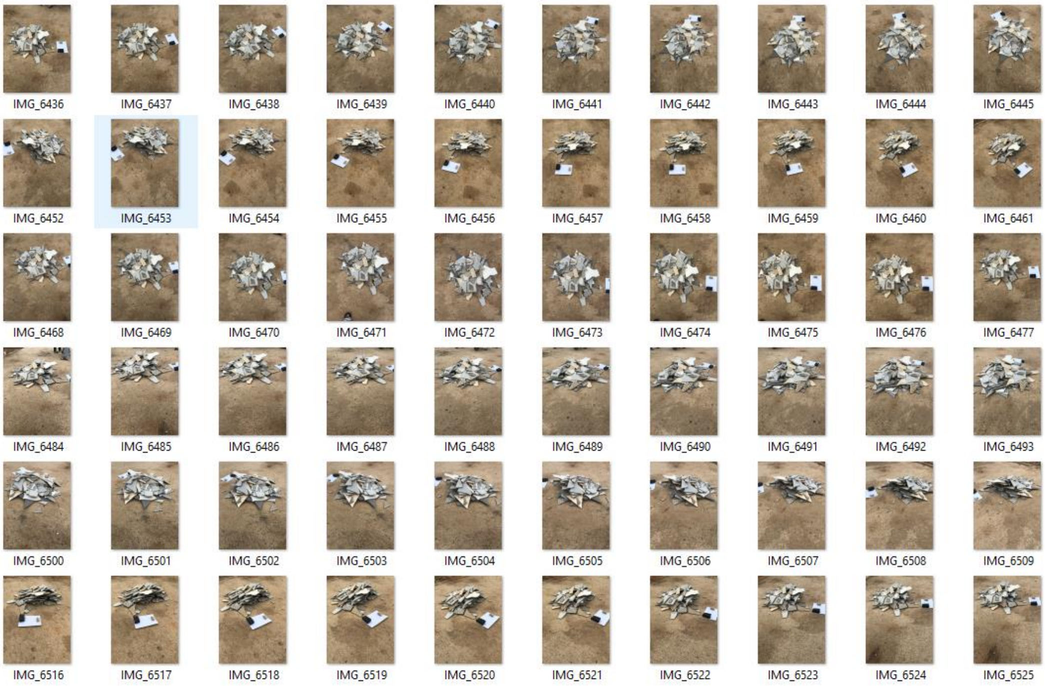


รูปที่ 4.28 รถเข็นปูน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.6.1.1 การนำเข้าข้อมูล

รูปถ่ายของเสียจากการก่อสร้างจะถูกเก็บจากโครงการก่อสร้างจริง โดยการถ่ายภาพรอบกองของเสียในมุมถ่ายภาพที่แตกต่างกัน 2 มุมโดยรอบกอง ซึ่งจำนวนภาพที่ใช้ต่อหนึ่งตัวอย่างหรือหนึ่งกองประมาณ 100 รูปจากทั้งสองมุม โดยมีการวางวัตถุอ้างอิงไว้ที่ด้านข้างกองของเสีย ซึ่งวัตถุอ้างอิงจะอยู่ในรูปภาพโดยเป็นองค์ประกอบของภาพ เพื่อใช้เป็นสิ่งอ้างอิงเพื่อบอกขนาดของกองของเสียดังกล่าว โดยวัตถุอ้างอิงที่ใช้คือ กระดาษขนาด A4 มีขนาดกว้าง 0.21 เมตร และยาว 0.297 เมตร ซึ่งวัตถุอ้างอิงดังกล่าวมีขนาดที่เป็นมาตรฐานอีกทั้งสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายจึงถูกเลือกนำมาใช้ในการทดสอบ จากนั้นจึงส่งข้อมูลหรือภาพถ่ายเข้าสู่คอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.28 เพื่อดำเนินการต่อไป

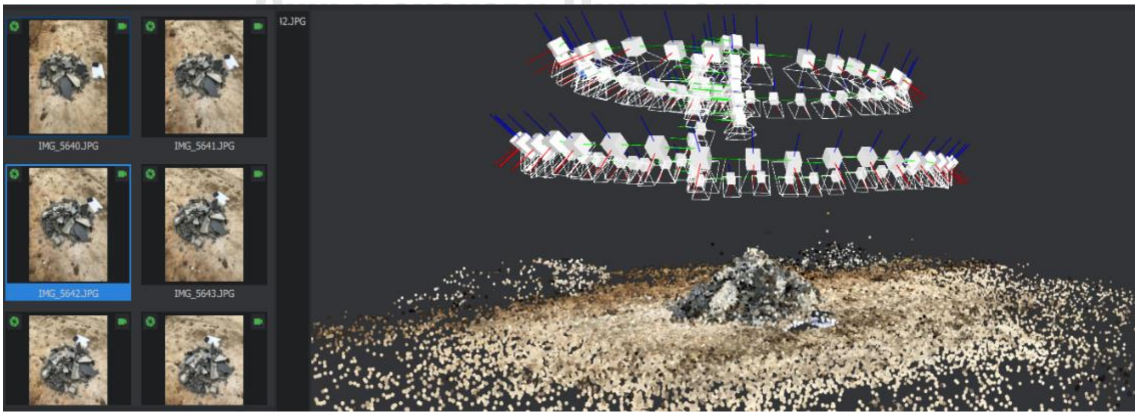


รูปที่ 4.29 ชุดภาพถ่ายที่ถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์

4.6.1.2 การประมวลผลภาพเพื่อสร้างกลุ่มจุดสามมิติ

การสร้างกลุ่มจุดสามมิติจะใช้ภาพถ่ายที่ได้จากของเสียจากโครงการก่อสร้างเพื่อหา Keypoint ของกลุ่มภาพถ่ายรอบกองของเสียดังกล่าว จากนั้นจึงทำการสร้างจุดสามมิติขึ้นมา โดยแต่ละจุดจะอ้างอิงถึงพิกัดของพื้นผิววัตถุใดๆ รวมถึงแสดงสีของจุดจากกลุ่มภาพถ่ายดังกล่าวด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.29

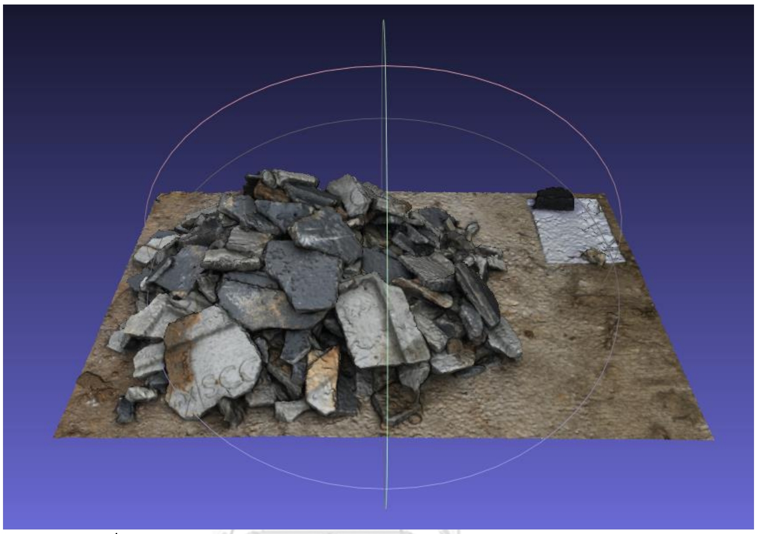
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 กลุ่มจุดสามมิติของของเสียจากโครงการก่อสร้าง

4.6.1.3 การสร้างแบบจำลองพื้นผิวของกลุ่มจุดสามมิติ

การสร้างแบบจำลองพื้นผิวของกลุ่มจุดสามมิติที่ได้จากการประมวลผลของขั้นตอนก่อนหน้านี้ โดยจะทำการประมวลผลจากภาพถ่ายที่ส่งเข้าสู่ระบบ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนของภาพถ่ายและความละเอียดของภาพถ่ายดังกล่าว จากนั้นจะทำการสร้างโมเดลสามมิติหรือ Mesh Model จากกลุ่มจุดสามมิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.30

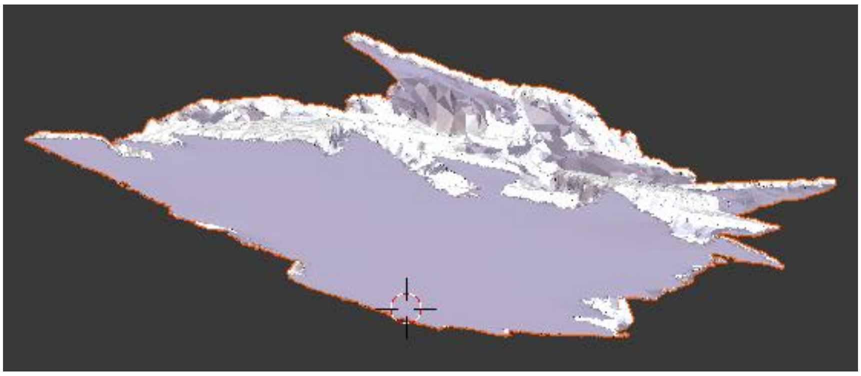


รูปที่ 4.31 โมเดล 3 มิติ ของของเสียจากโครงการก่อสร้าง

4.6.1.4 การหาปริมาณของกองของเสียจากโมเดล 3 มิติ

การหาปริมาณของโมเดลสามมิติ จำเป็นที่จะต้องทำให้โมเดลดังกล่าวไม่มีช่องว่างเกิดขึ้นกับตัวโมเดล จึงต้องใช้โปรแกรม Blender ทำการปิดช่องว่างต่างๆ เพื่อให้สามารถหาปริมาตรดังกล่าวได้ ดังแสดงดังรูปที่ 4.31 จากนั้นจึงนำโมเดลดังกล่าวไปหาปริมาตรต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.32 ช่องว่างต่างๆ ที่ถูกปิดเพื่อให้สามารถหาปริมาตรได้

4.6.1.5 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่ได้จากระบบที่นำเสนอและการวิเคราะห์ผล

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐมวลเบา) ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.12 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 56,951.70 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร พบว่า ปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50,582.81 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -24.29 ถึง 5.52 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -11.18 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.88

ตารางที่ 4.12 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (อิฐมวลเบา)

ลำดับ	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (10^{-6} m^3)	ผลต่างของปริมาตร (10^{-6} m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	60,096.14	56,951.70	3,144.44	5.52	5.52
2	46,523.10	56,951.70	-10,428.60	-18.31	18.31
3	55,417.80	56,951.70	-1,533.90	-2.69	2.69
4	43,116.70	56,951.70	-13,835.00	-24.29	24.29
5	48,227.20	56,951.70	-8,724.50	-15.32	15.32
6	50,115.90	56,951.70	-6,835.80	-12.00	12.00
		ค่าเฉลี่ย		-11.18	13.02
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		10.88	8.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้องหลังคา) ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.13 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 56,951.70 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร พบว่า ปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 61,032.62 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -4.64 ถึง 19.26 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 7.17 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.06

ตารางที่ 4.13 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้องหลังคา)

ลำดับ	**ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)**	**ปริมาตรที่ได้จากการวัด (10^{-6} m^3)**	**ผลต่างของปริมาตร (10^{-6} m^3)**	**เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)**	**ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)**
1	61,874.10	56,951.70	4,922.40	8.64	8.64
2	59,085.60	56,951.70	2,133.90	3.75	3.75
3	55,732.10	56,951.70	-1,219.60	-2.14	2.14
4	67,275.40	56,951.70	10,323.70	18.13	18.13
5	67,920.60	56,951.70	10,968.90	19.26	19.26
6	54,307.90	56,951.70	-2,643.80	-4.64	4.64
		ค่าเฉลี่ย		7.17	9.43
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		10.06	7.50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้องพื้น) ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.14 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 56,951.70 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร พบว่า ปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 60,910.77 × 10^{-6} ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -4.04 ถึง 17.79 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 6.95 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.34

ตารางที่ 4.14 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้องพื้น)

ลำดับ	**ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (10^{-6} m^3)**	**ปริมาตรที่ได้จากการวัด (10^{-6} m^3)**	**ผลต่างของปริมาตร (10^{-6} m^3)**	**เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)**	**ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)**
1	54,651.50	56,951.70	-2,300.20	-4.04	4.04
2	65,151.30	56,951.70	8,199.60	14.40	14.40
3	55,411.40	56,951.70	-1,540.30	-2.70	2.70
4	66,432.90	56,951.70	9,481.20	16.65	16.65
5	56,736.40	56,951.70	-215.30	-0.38	0.38
6	67,081.10	56,951.70	10,129.40	17.79	17.79
		ค่าเฉลี่ย		6.95	9.33
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		10.34	7.78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.6.1.6 สรุปผลการทดสอบการทำงานระบบกับของเสียจากการก่อสร้าง

จากการดำเนินการของระบบไปใช้กับของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง พบว่าระบบสามารถหาปริมาตรของกองของเสียดังกล่าวตามที่ออกแบบไว้ได้ โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของของเสียจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

- กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทอิฐมวลเบา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -24.29 ถึง 5.52 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -11.18 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.88
- กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องหลังคา มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -4.64 ถึง 19.26 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 7.17 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.06

- กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องพื้น มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -4.04 ถึง 17.79 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 6.95 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.34

จะเห็นได้ว่าปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของของเสียและการกองแต่ละครั้งจะทำให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบแตกต่างกันออกไป เนื่องจากช่องว่างภายในกองของเสียที่แตกต่างกันในแต่ละกอง

4.7 สรุปผลการทดสอบและการใช้ระบบที่ออกแบบ

ระบบที่นำเสนอได้ถูกนำไปใช้ทดสอบการทำงานกับวัตถุตัวอย่างที่มีค่าปริมาตรที่แน่นอน ซึ่งพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ คือการใช้ข้อมูลภาพถ่ายเพื่อทำการวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อสร้างกลุ่มจุดสามมิติและโมเดลสามมิติ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง 4.81 % ถึง 8.93 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 6.93 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบระบบที่นำเสนอ ได้ใช้ค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลต่างหรือช่องว่างของเครื่องมือหรือวิธีการวัดสองวิธีโดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบวิธีการวัดทั่วไปกับการวัดโดยใช้ระบบที่นำเสนอ และพบว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งหมดอยู่ในช่วงของขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่าง

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเพื่อเพิ่มค่าความแม่นยำของระบบในการหาปริมาตรจากระบบพบว่า การใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากมุม 2 มุม ที่แตกต่างกันจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างลดลงจากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายเพียงมุมเดียว

ในขั้นตอนการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม ซึ่งของเสียจากการก่อสร้างที่ใช้ทดสอบประกอบไปด้วย อิฐแดง คอนกรีต และกระเบื้องพื้น โดยการทดสอบระบบในส่วนแรกจะเป็นการทดสอบซ้ำ (Test – Retest Method) โดยใช้ของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) และพบว่าค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบจะอยู่ในช่วง 0.93 ถึง 0.94 ลูกบาศก์เมตร ค่าความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากระบบเท่ากับ 0.01 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาตร เนื่องจากในบางขั้นตอนของระบบต้องใช้ทักษะของคนเพื่อให้ระบบสามารถหาปริมาตรของกองของเสียได้ จึงทำให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ในส่วนของการนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างที่มีการเทกองแบบสุ่มพบว่า ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าที่แตกต่างกันออกไปในการกองแต่ละครั้ง เนื่องจากการกองเป็นแบบสุ่ม ทำให้การกองแต่ละครั้งมีรูปทรงที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละกอง รวมถึงลักษณะเฉพาะของของเสียแต่ละชนิดที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อช่องว่างภายในกองของเสีย จึงทำให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบแตกต่างกันออกไป โดยพบว่า กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทอิฐแดงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แตกต่างอยู่ในช่วง -17.00 ถึง -3.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -9.75 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทคอนกรีตมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -16.00 ถึง -6.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -12.10 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องพื้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -7.00 ถึง 6.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -2.05 เปอร์เซ็นต์

ค่าของความหนาแน่น (Density) ของของเสียที่ทำการทดสอบภายในพื้นที่ควบคุมพบว่าค่าความหนาแน่นของอิฐแดงที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 815.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,322.10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความหนาแน่นของกระเบื้องพื้นที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 990.18 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าความหนาแน่นดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักจากปริมาตรที่ได้จากระบบที่แตกต่างกันไปในแต่ละกองและแต่ละชนิดต่อไปได้

ในขั้นตอนการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง โดยใช้ของเสียจากโครงการหมู่บ้านจัดสรร ซึ่งของเสียจากการก่อสร้างที่ใช้ทดสอบประกอบไปด้วย อิฐมวลเบา กระเบื้องหลังคา และกระเบื้องพื้น พบว่าระบบสามารถดำเนินการเพื่อหาปริมาตรของเสียที่เกิดจากโครงการได้ แต่ทั้งนี้ของเสียที่นำมาทดสอบจะมีการแยกชนิด ซึ่งบางพื้นที่ของโครงการของเสียจะมีการกองรวมกันหรือไม่ได้มีการวางแยกกันอย่างชัดเจนในบางชนิดของของเสีย ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการทดสอบกับของเสียแบบผสม เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลาและความข้อจำกัดในด้านพื้นที่ของโครงการที่ทำการทดสอบ

จากการนำระบบที่นำเสนอไปใช้ทดสอบหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างในหน่วยของปริมาตร พบว่าระบบสามารถหาปริมาณดังกล่าวภายใต้ขั้นตอนที่ออกแบบไว้ได้ โดยระบบสามารถนำไปใช้ได้กับเสียดังกล่าวดังที่ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบไว้ในส่วนก่อนหน้านี้ ทั้งนี้ระบบที่นำไปใช้ทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างนั้น เป็นการทดสอบกับของเสียที่เกิดบางชนิดและช่วงเวลาหนึ่งของโครงการบ้านจัดสรรเท่านั้น ไม่ใช่การเก็บข้อมูลของเสียทั้งหมด เนื่องจากระยะเวลาในการวิจัยอีกทั้งความสะดวกของเจ้าของโครงการที่ยินยอมให้เข้าไปทำการศึกษา หากมีการนำระบบที่นำเสนอไปใช้งานจริงควรมีการทดสอบกับชนิดของเสียที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างเพิ่มเติม

บทที่ 5
การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ

บทนี้จะนำเสนอการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินการของระบบ รวมไปถึงการลดขั้นตอนทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งจากบทก่อนหน้าที่ทำการนำเสนอระบบนั้นได้นำเสนอการถ่ายภาพโดยรอบกองของเสียจากการก่อสร้างเพื่อส่งข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่ระบบที่ออกแบบไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาตรของเสียจากการก่อสร้าง โดยถ้าหากสามารถลดระยะเวลาในการเก็บภาพดังกล่าวหรือระยะเวลาในการประมวลและวิเคราะห์ผลลงได้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้ระบบมากยิ่งขึ้น โดยขั้นตอนของระบบที่ถูกพัฒนาจะถูกนำเสนอต่อไป

5.1 การใช้วิดีโอในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง

จากระบบที่นำเสนอก่อนหน้านี้พบว่า ระบบสามารถทำงานเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างของแต่ละชุดรูปภาพที่ถูกนำเข้าสู่ระบบ แต่ทว่าในหน้างานจริงของโครงการก่อสร้าง การเก็บข้อมูลควรเก็บด้วยความรวดเร็วเพื่อความปลอดภัยของผู้ที่อยู่ในพื้นที่ดังกล่าว และเป็นการรบกวนเวลาในพื้นที่ให้น้อยที่สุด จึงเสนอการใช้วิดีโอแทนการถ่ายภาพรอบกองของเสีย เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการเก็บข้อมูล อันเป็นการตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว

วิดีโอ (video) หรือ วีดิทัศน์ มีความหมายว่า มองเห็นได้ เห็นเป็นรูปภาพได้ เกี่ยวข้องกับรูปภาพ โดยวิดีโอแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ วิดีโออนาล็อก (Analog Video) และ วีดีโอดิจิตอล (Digital Video) โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิดีโอดิจิตอล เนื่องจากมีความละเอียดของวิดีโอสูงกว่าแบบอนาล็อก

การใช้วิดีโอแทนภาพถ่ายนั้น จะทำการทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างทั้งหมด 3 ชนิด ประกอบไปด้วย อิฐแดง คอนกรีต และกระเบื้อง โดยจะทำการเก็บข้อมูลชนิดละ 6 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะเป็นการถ่ายวิดีโอโดยรอบกองของเสีย 2 รอบ ในมุมมองที่แตกต่างกัน จากนั้นชุดข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำเข้าสู่ระบบเพื่อทำการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างต่อไป

5.1.1 การเตรียมการและอุปกรณ์สำหรับของเสียจากการก่อสร้าง

ในขั้นตอนการเตรียมการและอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลของเสียจากการก่อสร้าง จะยังคงเหมือนกับวิธีที่นำเสนอไปก่อนหน้านี้ในบทที่ 4 นั่นคือ ของเสียจากการก่อสร้างจะถูกนำไปใส่ในถังทรงลูกบาศก์ขนาด 1×1×1 เมตร ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นของเสียจะถูกเทกองเพื่อหาปริมาตรตามขั้นตอนของระบบ โดยอุปกรณ์ในการจัดเก็บข้อมูล (วิดีโอ) ที่ใช้คือ สมาร์ทโฟนเพื่อถ่าย

วิดีโอ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้โทรศัพท์ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone X ร่วมกับขาระดับตั้งกล้องเช่นเดียวกับวิธีการก่อนหน้านี้

5.1.2 การดำเนินการทดสอบระบบโดยใช้วิดีโอแทนภาพถ่ายกับของเสียจากการก่อสร้าง

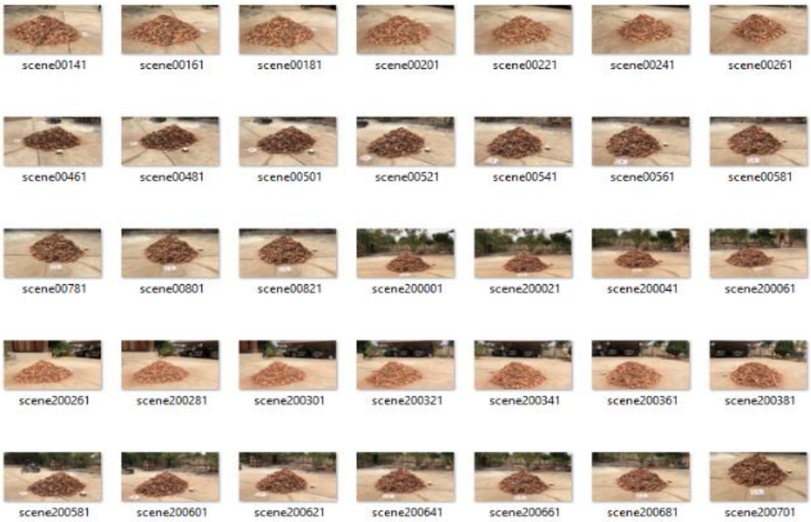
ในขั้นตอนนี้จะเป็นถ่ายวิดีโอรอบกองของเสียจากการก่อสร้าง ที่เกิดจากการเทกองของเสียจากถังทรงลูกบาศก์ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร โดยค่าความเร็วในการแสดงผลการเคลื่อนไหว (Frame Rate) ถูกกำหนดไว้ที่ 30 เฟรมต่อวินาที (Fps) และค่าความละเอียดการแสดงผลที่ Ultra HD (4K) หรือ 3840 x 2160 พิกเซล อีกทั้งกำหนดความสูงและกำหนดมุมกล้องที่จะทำการเก็บวิดีโอ โดยจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 2 มุม ได้แก่ มุม 70 องศาที่ระดับความสูง 1.25 เมตร และมุม 90 องศาที่ระดับความสูง 1.00 เมตร กับแนวระนาบ จากนั้นชุดข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งเข้าคอมพิวเตอร์ต่อไป

5.1.3 การนำวิดีโอเข้าสู่ระบบเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง

วิดีโอที่ได้จากการถ่ายโดยรอบกองของเสียจากการก่อสร้างจะถูกส่งเข้ามายังคอมพิวเตอร์ยี่ห้อ HP รุ่น OMEN 17-W201TX เพื่อทำการสร้างรูปภาพจากวิดีโอ ซึ่งทางผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม VLC media player ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เสรีดังรูปที่ 5.1 โดยกำหนดให้ 1 วินาที ทำการเลือก 1 เฟรมต่อจำนวนเฟรม 20 เฟรม โดยจะใช้ภาพประมาณ 120 ภาพต่อหนึ่งชุดข้อมูล จากนั้นจึงนำชุดของข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ 5.2 ส่งเข้าระบบที่นำเสนอไว้ในบทก่อนหน้านี้ต่อไป

VLC
Media Player

รูปที่ 5.1 โปรแกรม VLC media player



รูปที่ 5.2 ส่วนหนึ่งของชุดข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม VLC media player

5.1.4 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่ได้จากระบบที่นำเสนอและการวิเคราะห์ผล

จากการนำภาพที่ได้จากวิดีโอเข้าสู่ระบบเพื่อหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างในรูปแบบของปริมาตรโดยใช้ขั้นตอนและวิธีการดังที่กล่าวมาในส่วนก่อนหน้านี้ จะทำให้ทราบปริมาตรที่ระบบวิเคราะห์ผลได้ จากนั้นค่าที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นความแตกต่างที่เกิดจากระบบต่อไป

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 5.1 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่า ปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -5.00 ถึง 1.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -2.67 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.66

ตารางที่ 5.1 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (อิฐแดง)

ลำดับที่	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (m^3)	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (m^3)	ผลต่างของปริมาตร (m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	0.99	1.00	-0.01	-1.00	1.00
2	1.01	1.00	0.01	1.00	1.00
3	0.95	1.00	-0.05	-5.00	5.00
4	0.95	1.00	-0.05	-5.00	5.00
5	0.99	1.00	-0.01	-1.00	1.00
6	0.95	1.00	-0.05	-5.00	5.00
		ค่าเฉลี่ย		-2.67	3.00
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.66	2.19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (คอนกรีต) ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 5.2 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่า ปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -12.00 ถึง -6.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -10.33 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.25

ตารางที่ 5.2 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (คอนกรีต)

ลำดับที่	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (m^3)	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (m^3)	ผลต่างของปริมาตร (m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	0.89	1.00	-0.11	-11.00	11.00
2	0.88	1.00	-0.12	-12.00	12.00
3	0.88	1.00	-0.12	-12.00	12.00
4	0.94	1.00	-0.06	-6.00	6.00
5	0.89	1.00	-0.11	-11.00	11.00
6	0.90	1.00	-0.10	-10.00	10.00
		ค่าเฉลี่ย		-10.33	10.33
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		2.25	2.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการวิเคราะห์ปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้อง) ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 5.3 โดยปริมาตรที่ได้จากการวัดของเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่า ปริมาตรที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 ลูกบาศก์เมตร ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -14.00 ถึง -10.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ -12.00 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.41

ตารางที่ 5.3 ปริมาณของเสียจากการก่อสร้างและการวิเคราะห์ (กระเบื้อง)

ลำดับที่	ปริมาตรที่คำนวณจากระบบ (m^3)	ปริมาตรที่ได้จากการวัด (m^3)	ผลต่างของปริมาตร (m^3)	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)	ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%)
1	0.88	1.00	-0.12	-12.00	12.00
2	0.88	1.00	-0.12	-12.00	12.00
3	0.90	1.00	-0.10	-10.00	10.00
4	0.86	1.00	-0.14	-14.00	14.00
5	0.87	1.00	-0.13	-13.00	13.00
6	0.89	1.00	-0.11	-11.00	11.00
		ค่าเฉลี่ย		-12.00	12.00
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.41	1.41

จะเห็นได้ว่าระบบที่มีการพัฒนาขึ้นโดยใช้วิดีโอถ่ายรอบกองของเสียจากการก่อสร้างแทนการถ่ายภาพสามารถดำเนินการเพื่อหาปริมาตรของของเสียดังกล่าว โดยจากกลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทอิฐแดงที่ได้จากการถ่ายภาพมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -9.75 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทอิฐแดงที่ได้จากวิดีโอมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -2.67 เปอร์เซ็นต์ จากกลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทคอนกรีตที่ได้จากการถ่ายภาพมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -12.10 เปอร์เซ็นต์ และจากกลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทคอนกรีตที่ได้จากวิดีโอมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -10.33 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องพื้นที่ได้จากการถ่ายภาพมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -2.05 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องพื้นที่ได้จากจากวิดีโอมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -12.00 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจากตัวอย่างของเสียประเภทอิฐแดงที่ได้จากวิดีโอมีค่าที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากการถ่ายภาพเท่ากับ 7.08 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจากตัวอย่างของเสียประเภทคอนกรีตที่ได้จากวิดีโอมีค่าที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากการถ่ายภาพเท่ากับ 1.77 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจากตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องพื้นที่ได้จากการถ่ายภาพมีค่าที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากวิดีโอเท่ากับ 9.95 เปอร์เซ็นต์

5.2 การประยุกต์ใช้ปริมาตรที่ได้จากระบบเพื่อหาน้ำหนักของเสียจากการก่อสร้าง

การประยุกต์เพื่อหาน้ำหนักจากปริมาตรที่ได้จากระบบ จะใช้ค่าความหนาแน่นจากส่วนที่ 4.6.1.3 โดยค่าความหนาแน่นของอิฐแดงที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 815.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,322.10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความหนาแน่นของกระเบื้องพื้นที่ได้จากระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 990.18 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าความหนาแน่นดังกล่าวจะนำไปใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักจากปริมาตรที่ได้จากระบบที่แตกต่างกันไปในแต่ละกองและแต่ละชนิดดังสมการที่ 5.1

$$m = V \times \rho \quad \text{................ (5.1)}$$

โดยที่ m = น้ำหนักของเสีย (กิโลกรัม)

V = ปริมาตรของเสียที่ได้จากระบบ (ลูกบาศก์เมตร)

ρ = ค่าความหนาแน่นของของเสียชนิดนั้นๆ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากสมการที่ 5.1 สามารถหาน้ำหนักของของเสียชนิดต่างๆ จากปริมาตรที่ได้จากระบบที่พัฒนาแล้ว โดยพบว่าของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) มีปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 ลูกบาศก์เมตร จะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 790.96 กิโลกรัม ของเสียจากการก่อสร้าง (คอนกรีต) มีปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ลูกบาศก์เมตร จะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 1,189.89 กิโลกรัม และของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้องพื้น) มีปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 ลูกบาศก์เมตร จะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 871.36 กิโลกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 สรุปผลการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ

ผลลัพธ์ของระบบที่นำเสนอโดยใช้ชุดข้อมูลดังกล่าวพบว่าของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -5.00 ถึง 1.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -2.67 เปอร์เซ็นต์ ของเสียจากการก่อสร้าง (คอนกรีต) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -12.00 ถึง -6.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -10.33 เปอร์เซ็นต์ และของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้อง) มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง -14.00 ถึง -10.00 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ -12.00 เปอร์เซ็นต์

จากการพัฒนาและการประยุกต์ระบบพบว่าสามารถนำไปใช้หาปริมาตรกับของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างได้ ซึ่งเป็นการพัฒนาโดยการเปลี่ยนชุดข้อมูลที่ส่งเข้าสู่ระบบจากรูปถ่ายเป็นวิดีโอ อีกทั้งยังพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลลดลงเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม อันเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินการที่หน้าโครงการ โดยระยะเวลาประมาณที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเฉลี่ยอยู่ที่ 2 นาทีต่อกอง

ซึ่งวิธีการเดิมที่ใช้การถ่ายภาพจะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 15 นาที อีกทั้งระยะเวลาในการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์และสร้างกลุ่มจุดสามมิติลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์จากวิธีดั้งเดิมที่ใช้เวลาประมาณ 6 ถึง 8 ชั่วโมง ซึ่งช่วยให้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ของระบบลงลดลงอีกด้วย ดังนั้นการพัฒนาระบบดังกล่าวสามารถช่วยให้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ระยะเวลาในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลลดลงโดยยังคงให้ผลลัพธ์ของระบบนั่นคือค่าของปริมาตรได้ โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจากตัวอย่างของเสียประเภทอิฐแดงที่ได้จากวิดีโอมีค่าที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากการถ่ายภาพเท่ากับ 7.08 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจากตัวอย่างของเสียประเภทคอนกรีตที่ได้จากวิดีโอมีค่าที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากการถ่ายภาพเท่ากับ 1.77 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรจากตัวอย่างของเสียประเภทกระเบื้องพื้นที่ได้จากการถ่ายภาพมีค่าที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาตรที่ได้จากวิดีโอเท่ากับ 9.95 เปอร์เซ็นต์

การหาน้ำหนักจากปริมาตรที่ได้จากระบบ โดยใช้ค่าของความหนาแน่นที่ได้จากบทที่ 4 พบว่าของเสียจากการก่อสร้าง (อิฐแดง) มีปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 0.97 ลูกบาศก์เมตร จะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 790.96 กิโลกรัม ของเสียจากการก่อสร้าง (คอนกรีต) มีปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 ลูกบาศก์เมตร จะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 1,189.89 กิโลกรัม และของเสียจากการก่อสร้าง (กระเบื้องพื้น) มีปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 ลูกบาศก์เมตร จะมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 871.36 กิโลกรัม แต่ทั้งนี้ น้ำหนักที่ได้จากการคำนวณจากความหน่าแน่นดังกล่าวนั้น จะมาจากกลุ่มตัวอย่างของของเสียจากโครงการตัวอย่าง ภายในช่วงเวลาหนึ่งของโครงการ โดยในงานวิจัยในอนาคตควรมีการศึกษาเพิ่มเติมจากโครงการประเภทอื่นๆ รวมถึงของเสียชนิดอื่นๆ เพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีที่มาจากการตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเกี่ยวกับเครื่องมือหรือวิธีการที่ใช้ในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้าง โดยในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีเครื่องมือหรือวิธีการวัดที่เป็นรูปธรรมเพื่อใช้ในการหาปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง อีกทั้งของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างยังถูกมองว่าเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายภายในโครงการ โดยผู้ประกอบการในโครงการก่อสร้างมักจะให้ความสำคัญกับจุดประสงค์ของโครงการเป็นหลัก เช่น เวลา ค่าใช้จ่ายนำไปสู่การละเลยต่อการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดและการจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม อีกทั้งยังส่งผลเสียโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมถ้าหากไม่มีการจัดการกับของเสียดังกล่าวอย่างถูกวิธีกับชนิดและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อช่วยในการหาปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้าง โดยระบบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่าย และมีราคาที่ไม่สูง โดยระบบที่ออกแบบจะเป็นการนำชุดข้อมูลรูปภาพกองของเสียจากการก่อสร้างที่ได้จากการใช้โทรศัพท์มือถือมาวิเคราะห์และประมวลผล (SfM) โดยเลือกใช้ SIFT เพื่อสร้างกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud Model) และโมเดลสามมิติ (3D Model) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาตรของกองของเสียดังกล่าว

ระบบที่นำเสนอได้ถูกนำไปทดสอบกับวัตถุตัวอย่างที่มีปริมาตรแน่นอน พบว่าค่าจำกัดของความสอดคล้องที่ 95 % (95 % Limit of agreement method) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลต่างหรือช่องว่างของเครื่องมือหรือวิธีการวัดสองวิธีโดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบวิธีการวัดทั่วไปกับการวัดโดยใช้ระบบที่นำเสนอและพบว่าผลลัพธ์ทั้งหมดอยู่ในช่วงของขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของกลุ่มตัวอย่าง

ผลจากการทดสอบปัจจัยที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพบว่า การถ่ายภาพจากมุม 2 มุมที่แตกต่างกัน โดยใช้มุมระดับสายตา (Eye’s Level View) จะให้ค่าแม่นยำของการหาปริมาตรโมเดล 3 มิติ มากกว่าการใช้ภาพถ่ายเพียงมุมเดียว

การนำระบบที่ออกแบบไปใช้กับกองของเสียจากการก่อสร้างได้แบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุมและการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง โดยการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อย ประกอบไปด้วย การทดสอบซ้ำ (Test – Retest Method) และการนำระบบไปทดสอบกับของเสียจากการก่อสร้างที่มีการเทกองแบบสุ่ม

โดยการทดสอบการทำงานของระบบพบว่าระบบสามารถดำเนินการเพื่อสร้างโมเดล 3 มิติ และทำการวิเคราะห์หาปริมาตรได้ ในส่วนของการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างภายในพื้นที่โครงการก่อสร้าง พบว่าที่หน้างานของโครงการก่อสร้างแต่ละแห่งจะมีลักษณะการกองของเสียที่แตกต่างกันออกไป ทั้งการวางกองแยกของเสียบางชนิดออกจากกัน รวมถึงบางกองที่มีการนำของเสียหลายชนิดมากองรวมกัน ตลอดจนสถานที่การกองที่มีความแตกต่างกันซึ่งจะขึ้นอยู่กับการจัดสรรพื้นที่วางกองของแต่ละโครงการ

การทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม ทางผู้วิจัยได้ควบคุมตัวแปรของระบบ ได้แก่ ความสูงของระดับการเก็บข้อมูลภาพถ่าย มุมและขนาดของมุมที่ใช้เก็บข้อมูลภาพถ่าย อีกทั้งกองของเสียที่ทำการเทกองจะเป็นไปตามรูปแบบที่มีการใช้ในโครงการก่อสร้างจริง ตลอดจนถังทรงลูกบาศก์ที่ใช้เป็นตัววัดปริมาตร ซึ่งพบว่าระบบจะให้ค่าของปริมาตรของเสียแต่ละชนิดแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะเฉพาะ (Characteristic) ของของเสียแต่ละชนิดนั้นไม่เหมือนกัน ซึ่งส่งผลต่อช่องว่าง (Void) ที่เกิดขึ้นภายในกอง รวมถึงการกองแต่ละครั้งจะทำให้ค่าของปริมาตรที่ได้จากระบบแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการกอง อีกทั้งในส่วนนี้ยังมีการเก็บข้อมูลของน้ำหนักจากกลุ่มตัวอย่างของเสียจากการก่อสร้าง ทำให้ทราบถึงค่าของความหนาแน่นของของเสียแต่ละชนิดจากกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างโดยระบบที่ถูกพัฒนาจะเป็นการใช้ข้อมูลวิดีโอมาแทนการใช้ข้อมูลจากภาพถ่าย ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ ได้แก่ ลดระยะเวลาในการดำเนินการเก็บข้อมูลและลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ของ รวมไปถึงการลดขั้นตอนในการเก็บข้อมูลทำให้สะดวกต่อการใช้งานภายในโครงการก่อสร้างมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ปริมาตรที่ได้เพื่อหาน้ำหนักของเสียจากการก่อสร้างแต่ละชนิดได้จากการใช้ค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดสอบระบบกับของเสียจากการก่อสร้างในพื้นที่ควบคุม แต่ทั้งนี้ค่าความหนาแน่นดังกล่าวจะมาจากกลุ่มตัวอย่างของของเสียจากโครงการที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้เท่านั้น โดยถ้าหากมีการนำไปใช้ในอนาคต ควรมีการศึกษากับโครงการอื่นๆ รวมถึงประเภทของเสียชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมต่อไป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างสามารถนำไปใช้หาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างได้ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งแก่ผู้รับเหมาในการใช้ระบบดังกล่าวในการนำไปใช้เก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อช่วยในการวางแผนจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นภายในโครงการอย่างเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นระบบที่ช่วยให้นักสิ่งแวดล้อมหาปริมาณของเสียที่เกิดจากการก่อสร้างเพื่อนำไปสู่การวางแผนและหาวิธีจัดการกับปริมาณและชนิดของของเสียต่างๆได้อย่างเหมาะสมต่อไป

6.2 ผลงานวิจัย

1) แนวคิดใหม่ในการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือเพื่อทำการสร้างแบบจำลองสามมิติของกองของเสียจากการก่อสร้างภายในโครงการเพื่อพัฒนาเป็นระบบที่ใช้ในการหาปริมาตรของกองของเสียดังกล่าว

2) ได้ระบบที่มีการพัฒนาขึ้นโดยการใช้ภาพถ่ายและวิดีโอแทนการถ่ายภาพในการหาปริมาตรของเสียจากการก่อสร้าง

3) ได้วิธีการประยุกต์ใช้ปริมาตรที่ได้จากระบบในการหาน้ำหนักจากค่าความหนาแน่นของของเสียจากการก่อสร้าง

6.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1) ค่าความแตกต่างเชิงปริมาณที่เกิดจากระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างที่นำเสนอ เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบกับของเสียของโครงการที่ถูกเลือกมาทดสอบ โดยในแต่ละโครงการก่อสร้าง ของเสียที่เกิดขึ้นบางอย่างอาจมีลักษณะของรูปทรงแตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะของการกองภายในโครงการ จึงควรมีการทดสอบระบบกับของเสียอื่นๆ เพิ่มเติมต่อไป

2) ระบบการหาปริมาณของเสียในงานวิจัยไม่สามารถประยุกต์ใช้กับของเสียที่มีการสะท้อนแสงหรือโปร่งใส

3) ปัจจัยเรื่องระยะห่างระหว่างกองของเสียกับการถ่ายภาพไม่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมในงานวิจัยนี้ แต่ทั้งนี้หลักการถ่ายภาพทั่วไปคือ การกำหนดให้วัตถุหรือบุคคลที่เราสนใจอยู่ในกรอบของภาพครบองค์ประกอบ และถ่ายภาพให้ใกล้กับวัตถุๆ ที่สนใจ เพื่อให้ภาพของวัตถุดังกล่าวมีความคมชัดสูงที่สุด

4) ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ยังมีบางขั้นตอนในกระบวนการวิเคราะห์หาปริมาตรที่ต้องใช้ทักษะรายบุคคลในรายละเอียดบางขั้นตอน ได้แก่ การปรับปรุงโมเดลที่ต้องมีการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก โดยปริมาตรที่ได้อาจจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละตัวบุคคลที่ใช้ระบบที่นำเสนอนี้

6.4 แนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

1) พัฒนาระบบในการหาปริมาณของเสียจากการก่อสร้างให้เป็นระบบอัตโนมัติมากยิ่งขึ้น เช่น การใช้เทคโนโลยี cloud ในการส่งต่อข้อมูลต่างๆ ภายในระบบ รวมถึงจัดเก็บข้อมูลของปริมาณของเสียที่ได้จากระบบ เพื่อลดระยะเวลาในการทำงานของระบบลง อีกทั้งเพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) ในงานวิจัยในอนาคตควรเพิ่มการศึกษาความหนาแน่นของของเสียแต่ละชนิดเพิ่มเติมเพื่อทำให้ระบบสามารถหาปริมาณของเสียในรูปแบบน้ำหนักได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น รวมถึงลักษณะของเสียที่มีการผสมกันหลายชนิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P., López, J. S.-H., Mesas-Carrascosa, F. J., García-Ferrer, A., & Pérez-Porras, F. J. (2018). Reconstruction of extreme topography from UAV structure from motion photogrammetry. *Measurement, 121*, 127-138.

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical methods in medical research, 8*(2), 135-160.

Bossink, B., & Brouwers, H. (1996). Construction waste: quantification and source evaluation. *Journal of construction engineering and management, 122*(1), 55-60.

Cochran, K., Townsend, T., Reinhart, D., & Heck, H. (2007). Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US. *Waste management, 27*(7), 921-931.

Deng, X., Liu, G., & Hao, J. (2008). *A study of construction and demolition waste management in Hong Kong.* Paper presented at the 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing.

Department for Environment, F. a. R. A. (2011). *Guidance on applying the Waste Hierarchy*.

Field, J. G. (2013). *Photogrammetry and Laser Imagery Tests for Tank Waste Volume Estimates: Summary Report*. Retrieved from https://www.osti.gov/biblio/1079924

Hao, J. L., Hills, M. J., & Tam, V. W. (2008). The effectiveness of Hong Kong's construction waste disposal charging scheme. *Waste Management & Research, 26*(6), 553-558.

Ikau, R., Joseph, C., & Tawie, R. (2016). Factors influencing waste generation in the construction industry in Malaysia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 234*, 11-18.

Kofoworola, O. F., & Gheewala, S. H. (2009). Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste management, 29*(2), 731-738.

Kozlovská, M., & Spišáková, M. (2013). Contruction waste generation across construction project life-cycle. *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal, 5*(1), 687-695.

Lowe, D. G. (1999). *Object recognition from local scale-invariant features.* Paper presented at the iccv.

Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision, 60*(2), 91-110.

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2007). *Close range photogrammetry*: Wiley.

Manowong, E. (2012). Investigating factors influencing construction waste management efforts in developing countries: an experience from Thailand. *Waste Management & Research, 30*(1), 56-71.

Nagapan, S., Rahman, I. A., & Asmi, A. (2012). *Construction waste management: Malaysian perspective.* Paper presented at the International Conference on Civil and Environmental Engineering Sustainability (IConCEES), Malaysia.

Nitivattananon, V., & Borongan, G. (2007). *Construction and demolition waste management: current practices in Asia.* Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management.

Nugroho, A., Tongthong, T., & Shin–ei, T. (2013). Measurement of the Construction Waste Volume Based on Digital Images. *International journal of Civil & Enviromental Engineering, 13*, 35-41.

Polat, G., Damci, A., Turkoglu, H., & Gurgun, A. P. (2017). Identification of root causes of construction and demolition (C&D) waste: The case of Turkey. *Procedia Engineering, 196*, 948-955.

Poon, C., Ann, T., & Ng, L. (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling, 32*(2), 157-172.

Rahman, I. A., Nagapan, S., & Asmi, A. (2014). Initial PLS model of construction waste factors. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 129*, 469-474.

Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M. V., & Ramírez-de-Arellano, A. (2009). A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste management, 29*(9), 2542-2548.

Tam, V. W., Shen, L., & Tam, C. M. (2007). Assessing the levels of material wastage affected by sub-contracting relationships and projects types with their correlations. *Building and Environment, 42*(3), 1471-1477.

Thongkamsuk, P., Sudasna, K., & Tondee, T. (2017). Waste generated in high-rise buildings construction: A current situation in Thailand. *Energy Procedia, 138*, 411-416.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Villoria Sáez, P., del Río Merino, M., & Porras-Amores, C. (2012). Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. *Waste Management & Research, 30*(2), 137-146.

โชคชัย สีนิลแท้. (2560). ธุรกิจรับเหมามั่นใจ ก่อสร้างปี 61 ฟื้นตัว. โพสทูเดย์. Retrieved from https://www.posttoday.com/property /news/532974

โชคดี ยี่แพร่. (2554). การจัดการขยะจากการก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน. วารสารการจัดการสมัยใหม่ ปีที่ *9, 1*, 56-68.

กรมควบคุมมลพิษ. (2561). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี *2561*. กรุงเทพมหานคร: บริษัท วงศ์สว่างพับลิชชิ่ง แอนด์ พริ้นติ้ง จำกัด.

กรมควบคุมมลพิษ, มหาวิทยาลัยมหิดล และ สำนักงานความร่วมมือทางวิชาการเยอรมัน. (2550). การศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทย.

จิรานุวัฒน์ จันทร์จร. (2545). การศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรพล จิรธรรมคุณ. (2561). การประยุกต์ ใช้ภาพถ่ายทางอากาศและกลุ่มจุดสามมิติในการวางแผนวิธีก่อสร้าง : กรณี ศึกษาโครงการก่อสร้างทางยกระดับ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นคร กกแก้ว. (2545). การศึกษาแนวทางในการลดปริมาณของเสียจากการก่อสร้างในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรทิพย์ ทุมพันธ์. (2561). การศึกษาการจัดการมูลฝอยจากการก่อสร้างและรื้อถอนสิ่งก่อสร้างเชิงพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร

มลฤดี โตพิสิฐ และ สาลินี อาจารีย์. (2018). แนวทางการนำกากคอนกรีตกลับมาใช้ประโยชน์. *The Journal of Industrial Technology, 14*(2), 88-99.

วรพจน์ สินสวัสดิ์. (2561). แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลขจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อช่วยติดตามงานดินขุดและถมในโครงการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิโรจน์ อัศวทวีโชคชัย. (2549). การศึกษาขยะมูลฝอยจากกระบวนการก่อสร้าง ในโครงการหมู่บ้านจัดสรร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กาญจนพจน์ ศรีสุขใส
วัน เดือน ปี เกิด	9 ธันวาคม พ.ศ.2537
สถานที่เกิด	สุพรรณบุรี
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้น-ตอนปลาย โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุพรรณบุรี ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	สุพรรณบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University