ศักยภาพการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย

นายวิษณุ สายรัตนทองคำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POTENTIAL OF CLINKER SUBSTITUTION FOR CARBON DIOXIDE EMISSION MITIGATION FROM CEMENT INDUSTRY IN THAILAND

Mr. Wisanu Sairatanathongkham

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศักยภาพการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย
โดย	นายวิษณุ สายรัตนทองคำ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร. วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร. วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ณัฐพงษ์ ชยวัฒโฑ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิษณุ สายรัตนทองคำ : ศักยภาพการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย (POTENTIAL OF CLINKER SUBSTITUTION FOR CARBON DIOXIDE EMISSION MITIGATION FROM CEMENT INDUSTRY IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร. วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์, 213 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 และประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก วัสดุทดแทนปูนเม็ดที่สนใจคือ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน การศึกษาแบ่งเป็น 3 กรณีประกอบด้วย 1.ภาพอนาคตกรณีฐาน โดยยึดกระบวนการผลิตปูนเม็ดในปี พ.ศ.2557 เป็นหลัก 2.ภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ โดยไม่มีข้อจำกัดต่างๆ 3.กรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม โดยกำหนดเงื่อนไขทางการเงินและการขนส่ง การประเมินศักยภาพของเถ้าลอยคำนวณโดยใช้ข้อมูลแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 การประเมินศักยภาพเถ้าชานอ้อยใช้ข้อมูลจากบัญชีสมดุลของกรมส่งเสริมการเกษตร และการประเมินศักยภาพเถ้าปาล์มน้ำมันใช้ข้อมูลร่างยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ในการวิเคราะห์ได้กำหนดเงื่อนไขที่แตกต่างกันในแต่ละภาพอนาคตโดยเฉพาะภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสมมีการกำหนดราคาเถ้า (270 บาทต่อตัน) และอัตราค่าขนส่ง (6 บาทต่อกิโลเมตร) ผลจากการวิเคราะห์พบว่าในปี พ.ศ.2579 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตปูนเม็ดในภาพอนาคตกรณีฐาน และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงจากภาพอนาคตกรณีใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบและ ภาพอนาคตกำหนดพื้นที่ใช้งานตามความเหมาะสม ที่ 47.86 Mt_{CO2} , 43 Mt_{CO2} และ 45.25 Mt_{CO2} ตามลำดับ โดยภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบจะทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมากที่สุด ผลที่ลดลงได้คิดเป็นร้อยละ 10.15 จากกรณีฐาน คิดเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงจากการใช้เถ้าลอย เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่ ร้อยละ 6.79, ร้อยละ 2.19 และร้อยละ 1.17 ตามลำดับ

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5787583020 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: BIOMASS ASH,CARBON DIOXIDE MITIGATION,CLINKER SUBSTITUTION,CEMENT,FLY ASH

WISANU SAIRATANATHONGKHAM: POTENTIAL OF CLINKER SUBSTITUTION FOR CARBON DIOXIDE EMISSION MITIGATION FROM CEMENT INDUSTRY IN THAILAND. ADVISOR: DR. WEERIN WANGJIRANIRAN, 213 pp.

This research aims to study the greenhouse gases (GHGs) emissions trends in the cement industry in Thailand on 2015 – 2036 and to evaluate the clinker substitution potential for GHGs reduction. The material is used for clinker substitution, which is fly ash, bagasse ash and palm oil fuel ash. The study is divided into 3 cases, which is BAU, FULL and ZONE scenarios. The BAU scenario is based on freezing clinker production process in 2014. The FULL scenario use material without the limitations. The ZONE scenario set the financial terms and transportation terms. The information from Thailand's Power Development Plan 2015 is used to evaluate the fly ash potential. The information from Balance Sheet of Department of Agricultural Extension is used to evaluate the bagasse ash potential. Finally, the information from the draft strategy palm and palm oils is analysed following the different conditions in each scenarios. Especially, the price of Zone scenario is 270 THB per ton and 6 THB per kilometre for transportation rate. The result from analysing found that in 2036 the volume of carbon dioxide which will occur from clinker production process in BAU scenario and the volume of carbon dioxide mitigation from FULL scenario and Zone scenario is 47.86 Mt_{CO2} , 43 Mt_{CO2} and 45.25 Mt_{CO2} , respectively. The FULL scenario is highest mitigation rate about 10.15 percentage when comparing to BAU scenario. The volume of carbon dioxide mitigation from using fly ash, bagasse ash and palm oil fuel ash is 6.79 percentage, 2.19 percentage and 1.17 percentage, respectively.

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จบรรลุวัตถุประสงค์ไปด้วยความเรียบร้อย ด้วยความอนุเคราะห์ ความกรุณาและความสนับสนุนส่งเสริม ทั้งจากบุคคลผู้ทรงเกียรติมากมายหลายท่าน หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ส่วนพัฒนาระบบงานข้อมูลสารสนเทศ ฝ่ายพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ บริษัท ไปรษณีย์ไทย จำกัด ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่นิสิตและรุ่นน้อง สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนร่วมงานวิจัยครั้งนี้ ทั้ง นางสาวปรียานุช แช่มศิริวัฒน์ และนางสาวสุรัชชา พิชัยชาญเลิศ ที่ร่วมฝ่าฟันอุปสรรคมาด้วยกันเสมอ

ขอบพระคุณ คณาจารย์ นักวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ หลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน และสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุน ให้คำแนะนำมาโดยตลอด

ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แตงเที่ยง ที่ให้คำชี้แนะสำหรับงานวิจัย และสนับสนุนด้วยดีเสมอมา

กราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จ ทั้งสนับสนุนหนังสือ เอกสารงานวิจัย คำชี้แนะ ข้อมูล แนะนำแนวทาง อีกทั้งให้คำปรึกษา ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างสูงยิ่ง ทำให้งานราบรื่นไปด้วยดี

กราบขอบพระคุณ ดร.วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งคอยสนับสนุน ส่งเสริม ให้คำชี้แนะ แนะนำแนวทาง อำนวยการ ให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษาวิจัย จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจ คอยสนับสนุนส่งเสริม ช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสิ้น บรรลุวัตถุประสงค์ทุกประการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฑ
สารบัญภาพ ..... ณ
สารบัญแผนภูมิ ..... ด
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตการวิจัย 3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 4
แผนภาพการวิจัย 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.6 แผนการศึกษา 7
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์ที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 ทบทวนกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework on Climate Change Review) 9
2.1.1อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) 9
2.1.1.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) 10
2.1.2 การประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Conference of Parties: COP) 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.1.3 คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)..... 11
2.1.4 การดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (Nationally Appropriate Mitigation Actions: NAMAs)..... 12
2.1.5 การดำเนินการในส่วนของประเทศไทย..... 13
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปูนซีเมนต์ (Fundamental of Cement)..... 14
2.2.1 ความหมายของปูนซีเมนต์..... 14
2.2.2 กระบวนการผลิต..... 15
ก.กระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet Process)..... 16
ข.กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด (Semi-Dry Process)..... 17
ค.กระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)..... 17
2.2.3 ประเภทของปูนซีเมนต์..... 20
2.2.3.1 ประเภทปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 20
ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา Ordinary Portland Cement..... 20
ประเภทที่ 2 หรือ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลง Modified Cement หรือ Modified Portland Cement..... 21
ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว Rapid Hardening Portland Cement..... 21
ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ Low Heat Portland Cement..... 21
ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต Sulfate Resisting Portland Cement..... 22
2.2.3.2 ปูนซีเมนต์ประเภทอื่น..... 23
2.3 แผนที่นำทางเทคโนโลยีปูนซีเมนต์ (Cement Technology Roadmap)..... 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.4 เทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์สำหรับวัสดุทดแทนปูนเม็ด (Material Technology for Clinker Substitution) 32
2.4.1 วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials) 32
2.4.2 ข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน 35
2.5 ข้อมูลวัสดุทดแทนปูนเม็ดสำหรับงานวิจัย 35
2.5.1 เถ้าลอย (Fly Ash or Pulverize Fuel Ash: FA) 35
2.5.2 อ้อยและเถ้าชานอ้อย (Sugar Cane and Bagasse Ash: BA) 37
2.5.3 ปาล์มน้ำมันและเถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil and Palm Oil Fuel Ash: POFA) 43
2.6 วรรณกรรมปริทัศน์ที่เกี่ยวข้อง (Literature Review) 46
2.6.1 ศึกษาการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 46
2.6.2 ศึกษาวัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อใช้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 53
2.6.3 สรุปวรรณกรรม 53
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 56
3.1 การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก GHG Inventory 56
3.1.1 พื้นฐานแนวคิด 56
3.1.2 พิธีสารและมาตรฐานรายงานที่เกี่ยวข้อง 57
ก.พิธีสารก๊าซเรือนกระจก GHG Protocol 57
ข.มาตรฐานการรายงานผลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ The Cement CO_2 and Energy Protocol 58
3.1.3 พารามิเตอร์และการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น 63
3.2 การประเมินศักยภาพของปูนเม็ด 63
3.2.1 พื้นฐานแนวคิด 63
3.2.2 พารามิเตอร์และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์ 64
3.3 การจัดทำกรณีฐานจากบัญชีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 Inventory Baseline 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.3.1 พื้นฐานแนวคิด 66
3.3.2 พารามิเตอร์และการคำนวณผล 66
3.4 การประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ด 67
3.4.1 แนวคิดพื้นฐาน 67
ก. เถ้าลอย (Fly Ash: FA) 67
ข. เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash: BA) 67
ค. เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash: POFA) 67
3.4.2 พารามิเตอร์ แหล่งข้อมูล และการคำนวณ 68
ก. เถ้าลอย (Fly Ash: FA) 68
ข. เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash: BA) 68
ค. เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash: POFA) 71
3.5 ภาพอนาคตสำหรับประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 73
3.5.1 ภาพอนาคตกรณีฐาน Business As Usual (BAU Scenario) 73
3.5.2 ภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ Full Potential Scenario (FULL Scenario) 73
3.5.3 ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม Zoning Scenario (ZONE Scenario) 74
3.5.4 กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ 76
ก. เถ้าลอย 76
ข. เถ้าชีวมวล 76
3.6 การประเมินการเติบโตจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด 77
3.6.1 พื้นฐานแนวคิด 77
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ 79
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) 79

หน้า

4.2 วิเคราะห์พยากรณ์ปริมาณการผลิตปูนเม็ดและการประเมินศักยภาพการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วง พ.ศ.2558 -2579 80
4.2.1 พยากรณ์ปริมาณการผลิตปูนเม็ดช่วง พ.ศ.2558 -2579 80
4.1.2 การประเมินศักยภาพการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตปูนเม็ดช่วง พ.ศ.2558 -2579 82
4.3 วิเคราะห์การประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ด 84
4.3.1 เถ้าลอย (Fly Ash: FA) 84
4.3.2 เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash: BA) 86
4.3.3 เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil fuel Ash: POFA) 90
4.4 วิเคราะห์ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีต่างๆ 94
4.4.1 ภาพอนาคตกรณีใช้วัสดุทดแทนเต็มศักยภาพวัตถุดิบ (Full Potential Scenario: FULL Scenario) 94
4.4.2 ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม (Zoning Scenario: ZONE Scenario) 97
4.4.3 กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ 99
4.4.4 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 101
4.5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกับอัตราส่วนขอบสูงสามารถนำไปใช้งาน 104
4.6 วิเคราะห์การเติบโตของตลาดผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมวัสดุทดแทนปูนเม็ด 105
บทที่ 5 อภิปรายผลการวิจัย 111
5.1 อภิปรายผลการวิจัย 111
1 ข้อมูลการสร้างบัญชีก๊าซเรือนกระจก (GHG Inventory) 111
2 ข้อมูลสำหรับประเมินศักยภาพวัสดุทดแทนปูนเม็ด 113
3 วิเคราะห์ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีต่างๆ 119
4 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ 123

หน้า

5 ประเมินการเติบโตจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด 126
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 128
6.1 สรุปผลการวิจัย 128
6.2 ข้อจำกัดด้านต่างๆ 130
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 133
6.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 133
รายการอ้างอิง 137
ภาคผนวก ก 141
ภาคผนวก ข 144
มาตรฐานอุตสาหกรรม เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต 144
ร่าง มาตรฐานอุตสาหกรรม เถ้าปาล์มน้ำมันใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต 162
ภาคผนวก ค 173
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ 173
บทความที่ได้รับการเผยแพร่ 183
อภิธานศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 199
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 213

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แผนการศึกษาวิจัย 7
ตารางที่ 2 แสดงค่าศักยภาพของก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน 11
ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติอื่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถึง 5 20
ตารางที่ 4 สรุปรายละเอียดด้านจุดประสงค์ การใช้งาน และการผลิต ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ . 23
ตารางที่ 5 ข้อมูลปูนประเภทอื่น ๆ นอกเหนือจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 24
ตารางที่ 6 เทคโนโลยีและตัวอย่างมาตรการ 30
ตารางที่ 7 ประเภทของวัสดุทดแทนปูนเม็ด 33
ตารางที่ 8 สัดส่วนเชื้อเพลิงตามแผน PDP 2015 36
ตารางที่ 9 ปริมาณอ้อยที่ต้องส่งเข้าโรงงานน้ำตาลแยกรายภาค ปี พ.ศ.2557 38
ตารางที่ 10 ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อย 42
ตารางที่ 11 บทสรุปจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับงานวิจัย 54
ตารางที่ 12 แสดงระยะทางจากโรงงานปูนซีเมนต์ไปยังโรงไฟฟ้าถ่านหิน (กิโลเมตร) 75
ตารางที่ 13 ผลการคาดการณ์ปริมาณปูนเม็ดระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ.ศ .2579 81
ตารางที่ 14 ผลของปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อย ระหว่างปี พ.ศ. 2558 – พ.ศ.2579 83
ตารางที่ 15 คาดการณ์ปริมาณเถ้าลอยที่เกิดขึ้นในระหว่าง พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 85
ตารางที่ 16 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตอ้อย ช่วง พ.ศ. 2558 –พ.ศ. 2579 87
ตารางที่ 17 ศักยภาพของเถ้าชานอ้อยและค่าพยากรณ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นช่วง พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 89
ตารางที่ 18 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2558 –พ.ศ. 2579 91
ตารางที่ 19 ศักยภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะลดลง จากช่วง พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 93

ตารางที่ 20 ปริมาณเถ้าทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำไปใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ ที่ประเมินได้ 95

ตารางที่ 21 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังจากนำเถ้าทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำไปใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ ที่ประเมินได้ 96

ตารางที่ 22 ปริมาณเถ้าลอยและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้ จากภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม 98

ตารางที่ 23 ผลตามสัดส่วนขอบสูงที่เหมาะสมของการใช้งานเถ้าและค่าที่ CO_2 ที่ลดลง..... 100

ตารางที่ 24 ผลที่ได้จากการใช้เถ้าทั้ง 3 ชนิด จากกรณีภาพอนาคตการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ 102

ตารางที่ 25 ผลที่ได้จากการใช้เถ้าทั้ง 3 ชนิด จากกรณีภาพอนาคตกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม 103

ตารางที่ 26 ผลวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ประเภท ปูน คอนกรีต และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่สามารถนำเถ้าลอยเป็นวัสดุผสม/ทดแทนตามอัตราส่วนที่กำหนด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) . 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ทั้งระบบ 15

รูปที่ 2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบบเปียก (Wet Process) 16

รูปที่ 3 กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด (Semi-Dry Process) 17

รูปที่ 4 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง (Dry Process) 18

รูปที่ 5 แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่มีการผลิตปูนซีเมนต์ 19

รูปที่ 6 กราฟสัดส่วนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตามแผน PDP 2015 แยกตามประเภทเชื้อเพลิง ในปีพ.ศ.2579 37

รูปที่ 7 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยและที่ตั้งโรงงานน้ำตาลประเทศไทยปีการผลิต 2556/2557 38

รูปที่ 8 แผนที่ตั้งโรงน้ำตาลที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ขึ้นไป 39

รูปที่ 9 แผนที่ตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลทั้งประเทศไม่แยกเชื้อเพลิง ปี 2558 41

รูปที่ 10 แผนที่พื้นที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย 45

รูปที่ 11 แบบจำลองที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 แผนภาพการวิจัย 5

แผนภูมิที่ 2 ไดอะแกรมกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ของประเทศไทยที่มีแสดงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต 57

แผนภูมิที่ 3 แผนภาพแสดงกระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เฉพาะกระบวนการผลิตปูนเม็ด 61

แผนภูมิที่ 4 แสดงพื้นที่การปลูกอ้อยตามข้อมูลของบัญชีสมดุล 69

แผนภูมิที่ 5 แสดงคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่ของอ้อยที่จะเกิดขึ้นในอนาคต 70

แผนภูมิที่ 6 แสดงพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันตามข้อมูลของร่างยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม 71

แผนภูมิที่ 7 แสดงคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่ของปาล์มน้ำมันที่จะเกิดขึ้นในอนาคต 72

แผนภูมิที่ 8 กำลังการผลิตโรงไฟฟ้าถ่านหินตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 – พ.ศ. 2579 84

แผนภูมิที่ 9 ไดอะแกรมผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำเถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสม 105

แผนภูมิที่ 10 ไดอะแกรมแสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่มาตรฐานอุตสาหกรรมอนุญาตใช้เป็นส่วนผสม . 110

แผนภูมิที่ 11 ปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ รวมทั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อย 112

แผนภูมิที่ 12 กรณีฐาน Business As Usual Scenario (BAU Scenario) 113

แผนภูมิที่ 13 ปริมาณเถ้าลอยที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ.2558- พ.ศ.2579 จากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558-พ.ศ.2579 เฉพาะโรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเขตประเทศไทย 114

แผนภูมิที่ 14 สัดส่วนเถ้าลอยระหว่างส่วนศักยภาพและส่วนที่ถูกนำไปใช้งาน 115

แผนภูมิที่ 15 ผลคาดการณ์ปริมาณผลผลิตอ้อย ระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ.ศ.2479 116

แผนภูมิที่ 16 ปริมาณเถ้าชานอ้อยและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะลดได้ 117

แผนภูมิที่ 17 ผลคาดการณ์ปริมาณผลผลิตอ้อย ระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 118

แผนภูมิที่ 18 ปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะลดได้..... 119

แผนภูมิที่ 19 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์การนำเถ้าลอยไปใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 120

แผนภูมิที่ 20 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์การนำเถ้าชีวมวลมาใช้งาน ในกรณี FULL เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 122

แผนภูมิที่ 21 แผนภูมิเปรียบเทียบสัดส่วนเถ้าลอยกับปูนเม็ดที่ผลิตได้..... 124

แผนภูมิที่ 22 แผนภูมิเปรียบเทียบสัดส่วนเถ้าชีวมวลกับปูนเม็ดที่ผลิตได้ 125

แผนภูมิที่ 23 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และคอนกรีตที่สามารถนำเถ้าลอยใช้เป็นส่วนผสม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)..... 126

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ถึงแม้ว่าเศรษฐกิจมีอัตราการชะลอตัวอันเป็นผลมาจากสภาวะการเมืองในประเทศ แต่ที่ผ่านมาภาครัฐมีแนวทางด้านนโยบายส่งเสริมการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานเพื่อเตรียมการรองรับการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ และการเข้าสู่ประชาคมอาเซียนในปลายปี พ.ศ. 2558 ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งการใช้งานภายในประเทศ และการส่งออกต่างประเทศโดยเฉพาะกลุ่มประเทศ CLMV[1] ซึ่งประกอบด้วย กัมพูชา ลาว เมียนมาร์ และเวียดนาม ซึ่งมีการเติบโตทางเศรษฐกิจ ผลที่ตามมาจากความต้องการบริโภคปูนซีเมนต์ภายในประเทศและต่างประเทศทำให้ปริมาณการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย [1]

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีอัตราการใช้พลังงานสูงในกระบวนการผลิต ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ในส่วนของพลังงานความร้อนถึง 87% ในกระบวนการผลิตปูนเม็ด และกว่า 60% มีการใช้ความร้อนโดยเฉพาะเตาเผา (Kiln) [2] เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีความต้องการใช้ความร้อนสูงช่วง 1200 – 1600 องศาเซลเซียสในการผลิตปูนเม็ด เชื้อเพลิงหลักในการผลิตความร้อนเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการคือ ถ่านหิน ทำให้การผลิตปูนซีเมนต์โดยรวมมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงจำแนกโดยคร่าวๆ ดังนี้ กระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อน 52% กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง 43% และอีก 5% จากการใช้ไฟฟ้าร่วมกับความร้อน จากข้อมูลดังกล่าวมาจากทั้งกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานและที่ไม่ใช้พลังงาน[3]

จากรายงานขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ หรือ IEA พบว่าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ทั่วโลกมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงประมาณ 5% และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกค่อนข้างมาก IEA ได้ออกมาตรการและแนวทางในการดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกร่วมกับ สภานักธุรกิจโลกเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ หรือ WBCSD: CSI[2] โดยมีเป้าหมายและทิศทางในการดำเนินการอย่างชัดเจนในการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เรียกว่า Cement

---

[1] กลุ่มประเทศ CLMV คือ ประเทศในกลุ่ม ASEAN ที่มีแนวโน้มเศรษฐกิจโตต่อเนื่องและยังมีแร่ธาตุทรัพยากรอุดมสมบูรณ์ และยังมีค่าจ้างแรงงานไม่สูงนัก ประกอบด้วย กัมพูชา ลาว เมียนมาร์และ เวียดนาม

[2] WBCSD: CSI เป็นตัวย่อของ World Business Council Sustainable Development : Cement Sustainability Initiative

Technology Roadmap 2009 Carbon Emission Reductions up to 2050 เพื่อให้เป็นแนวทางในการดำเนินการของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และสอดคล้องกับทิศทางของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ หรือ UNFCCC[3] ที่มีจุดมุ่งหมายหลักในการตั้งเป้าลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ 2 องศาเซลเซียส หรือ Blue Scenario เพื่อลดผลกระทบที่ตามมาในอนาคต [4]

จากรายงานบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยหรือรายงานแห่งชาติฉบับที่ 2 (Second National Communications : SNC) ระบุว่าอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในภาคกระบวนการอุตสาหกรรมในปี ค.ศ.2011 ที่ 35.8 Mt_{CO2} คิดเป็นร้อยละ 56.7 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในภาคกระบวนการอุตสาหกรรม หรือคิดเป็นร้อยละ 4.0824 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งประเทศ [5]

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีด้วยกัน 2 ส่วน คือ ปล่อยทางตรง (Direct Emission) และปล่อยทางอ้อม (Indirect Emission) การปล่อยทางตรงมาจาก 2 สาเหตุประการแรก เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี ประการที่สอง เกิดจากใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือในเตาเผา(Kiln Combustion) และนอกเตาเผา (Non Kiln Combustion) เช่น การอบวัตถุดิบ การขนวัตถุดิบ เป็นต้น สำหรับการปล่อยทางอ้อม เกิดจากการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการนำเทคโนโลยีที่จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ อันได้แก่ 1. เทคโนโลยีเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความร้อน และ2. เทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงทดแทนในกระบวนการผลิต เข้ามาดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์แล้ว [6]

จากแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนของกลุ่มผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และแผนที่นำทางเทคโนโลยีปูนซีเมนต์กับภารกิจ การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปี 2009 ถึง ปี 2050 [4] ได้นำเสนอเทคโนโลยีที่จะเข้ามามีบทบาทในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพสูงเทคโนโลยีที่ 3 คือ เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ด ซึ่งมีศักยภาพสูงในการลดก๊าซเรือนกระจกสำหรับประเทศไทย วัสดุที่จะนำมาดำเนินการในส่วนของเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ด ค่อนข้างหลากหลาย ทั้งวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆแล้ว นอกจากนี้ประเทศไทยยังเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งมีศักยภาพจากวัสดุที่เป็นผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมทางการเกษตร ปัจจุบันยังเป็นขยะที่ต้องการกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพหลายประเภท การนำวัสดุที่เป็นผลพลอยได้หรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด นอกจากจะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกแล้วยังเป็นการกำจัดขยะ และเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวด้วย

---

[3] United Nation Framework Convention on Climate Change

ด้วยเหตุนี้เพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุน การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ จึงมีแนวความคิดในการหาเทคโนโลยีที่จะกำหนดมาตรการที่จะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่มีประสิทธิภาพ มีความเหมาะสมกับการดำเนินการในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ภายในประเทศ ด้วยการนำเทคโนโลยีใหม่ๆที่มีประสิทธิภาพเข้ามาจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของกระบวนการผลิต เพื่อนำอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่สะอาดในอนาคต และก้าวไปสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยในอนาคต
2. ประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เฉพาะกระบวนการผลิตได้มาซึ่งปูนเม็ดของประเทศไทยเท่านั้น ยกเว้นกระบวนการระเบิดเหมือง กระบวนการขนส่ง และกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์สำเร็จประเภทต่างๆ
2. คำนวณบัญชีก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทย(เฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)จากมาตรฐานของ CSI ระหว่างปี พ.ศ. 2558 -2579 โดยใช้ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และธนาคารแห่งประเทศไทย
3. คำนวณปริมาณการผลิตปูนเม็ดของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2558-2579
4. คำนวณศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) จากศักยภาพภายในประเทศเท่านั้น
    ก. การใช้เถ้าลอย[4]เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน
    ข. การใช้เถ้าชานอ้อย[5]จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลที่มีการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลใช้ชานอ้อย วัสดุจากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงนำมาเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด
    ค. การใช้เถ้าปาล์มน้ำมัน[6]จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด

---

[4] เถ้าลอย (Fly Ash: FA) หมายถึง เถ้าลอยจากเถ้าถ่านหิน (Pulverize Fly ash or Fly Ash: FA) เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน

[5] เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash: BA) หมายถึง เถ้าลอยชานอ้อย (Bagasse Fly Ash: BFA) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล

[6] เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash: POFA) หมายถึง เถ้าลอยจากปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Fly Ash: POFFA) เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มและผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมัน

5. ศึกษาการเติบโตของตลาดอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เมื่อมีการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการที่ 1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

1.1 ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

1.2 ศึกษากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในส่วนกระบวนการผลิตปูนเม็ด

1.3 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดประเภทต่างๆ

1.4 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปูนประเภทต่างๆและอัตราส่วนตามมาตรฐาน CSI

1.5 ศึกษามาตรการของ IEA และ WBCSD (CSI) ในส่วนมาตรการวัสดุทดแทนปูนเม็

1.6 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

1.7 รวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภค (ทศและการส่งออกในประเ)

1.8 รวบรวมข้อมูลการผลิตปูนซีเมนต์ของประเทศไทย

กระบวนการที่ 2 การวิเคราะห์

2.1 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) กรณีฐานที่มีการใช้มาตรการปัจจุบันของ IEA และ WBCSD (CSI) เทคโนโลยีที่ 1 และเทคโนโลยีที่ 2 เปรียบเทียบกับเทคโนโลยีที่ 3 ระหว่างปี 2558 -2579 โดยใช้ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และธนาคารแห่งประเทศไทย โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ B1 Version 3.1 ของ CSI

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินศักยภาพการผลิตปูนเม็ดของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในอนาคต ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2579ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้สมการถอถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Equation)

2.3 นำผลการประเมินก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ที่ได้จากผลของสมการในข้อ 2.2 มาวิเคราะห์เพื่อสร้างกรณีฐาน (Baseline) ด้วยการจำกัดเทคโนโลยีในปีพ.ศ.2557 เป็นฐาน

2.4 ประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ด อันได้แก่ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน สำหรับการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนการลดการปล่อยก๊าซเรื่อนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) Mitigation Plan

2.5 วิเคราะห์ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกรณีต่างๆ ด้วยการสร้างแผนภาพอนาคต (Scenario) เพื่อใช้วิเคราะห์ศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ดใน 2 กรณี และ 1 ผลอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ห้องปฏิบัติการ ดังนี้

ก.สร้างแบบจำลองกรณีใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเต็มศักยภาพวัตถุดิบ (Full Potential Scenario)

ข.สร้างแบบจำลองกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสมและเงื่อนไขที่จำเป็น (Zoning Scenario)

ค.ใช้ข้อมูลจากผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

2.6 ประเมินการเติบโตจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดตามเงื่อนไขทั้งทางเทคนิค และมาตรฐานอุตสาหกรรม

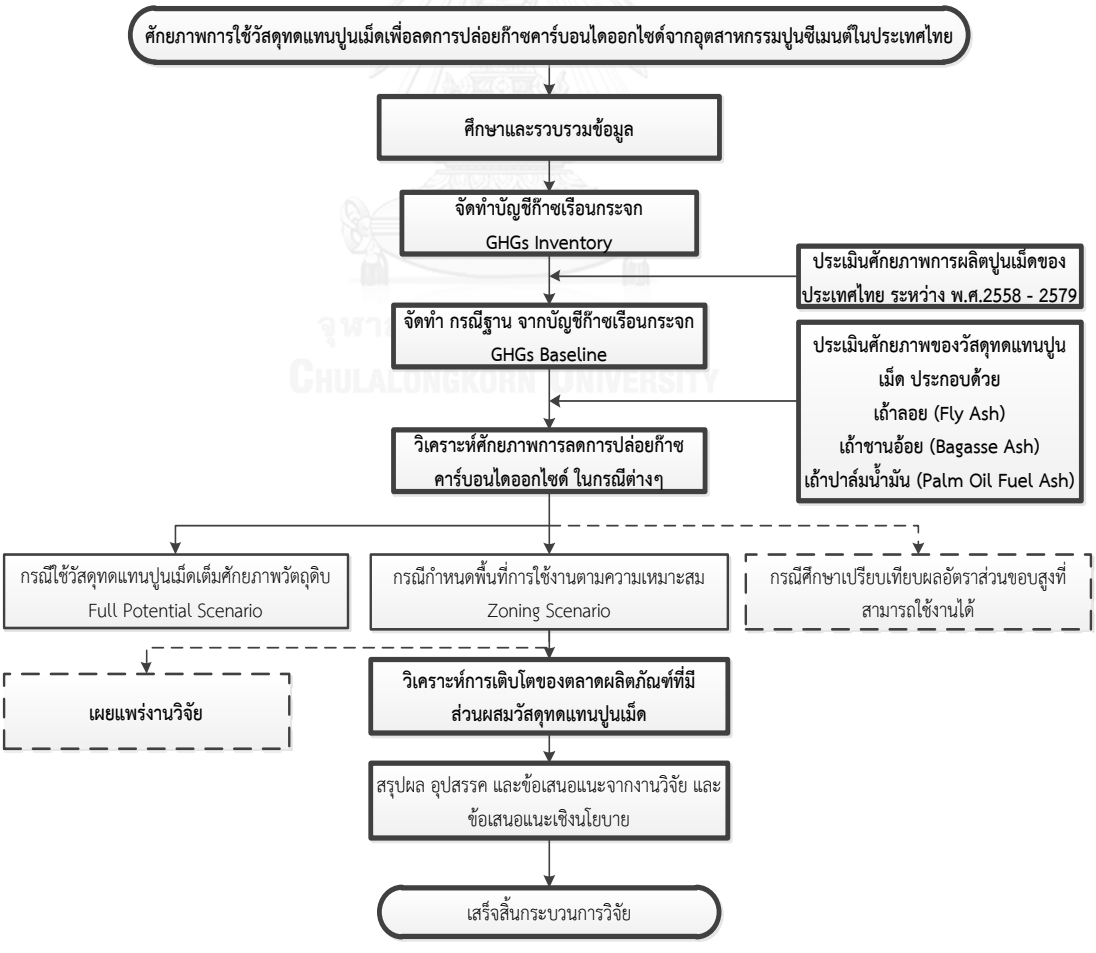
กระบวนการที่ 3 การสรุปผลการวิจัยและเผยแพร่

3.1 สรุปผลงานวิจัย อุปสรรคและข้อเสนอแนะจากการศึกษาและนำมาตรการมาปรับใช้

3.2 เผยแพร่งานวิจัย

3.2 เสร็จสิ้นกระบวนการวิจัย

แผนภาพการวิจัย



แผนภูมิที่ 1 แผนภาพการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่ใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด
2. เป็นแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาไปสู่การประยุกต์ใช้ร่วมกับวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร ที่มีอยู่ในประเทศไทย
4. เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตร เช่น เถ้าจากชานอ้อย เถ้าจากปาล์มน้ำมัน เป็นต้น
5. เป็นแนวทางที่สร้างความเชื่อมั่นในการส่งออกปูนซีเมนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
6. เป็นการเพิ่มมูลค่าของกากและของเสียในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น ตระกรันจากอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า เถ้าลอยจากการเผาถ่านหิน และอื่นๆ เป็นต้น
7. เป็นแนวทางในการลดใช้พลังงานสำหรับการผลิตปูนเม็ด ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
8. เป็นแนวทางวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านวัสดุศาสตร์ที่เหมาะสมกับวัสดุทดแทนปูนเม็ดในอนาคต
9. ทำให้สังคมและชุมชนมีสุขภาวะที่ดี มีอากาศที่บริสุทธิ์ และเป็นส่วนหนึ่งในการตระหนักต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 แผนการศึกษา

ตารางที่ 1 แผนการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ					
	2558				2559	
	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6
ศึกษารวบรวมข้อมูล	■	■	■			
จัดทำบัญชีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		■	■			
ประเมินศักยภาพการผลิตปูนเม็ดของประเทศไทย		■	■			
จัดทำกรณีฐาน จากบัญชีก๊าซเรือนกระจก GHGs Baseline			■			
ประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ด			■	■		
วิเคราะห์ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีต่างๆ			■	■		
ประเมินการเติบโตจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด				■	■	
สรุปผล อุปสรรคและข้อเสนอแนะจากงานวิจัย					■	
เผยแพร่ผลงาน					■	
เสร็จสิ้นกระบวนการ					■	■

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทบทวนกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework on Climate Change Review)

สืบเนื่องจากการพัฒนาของโลกในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ทั้งการปฏิวัติอุตสาหกรรมหลังจากช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 การพัฒนาทางด้านต่างๆ ส่งผลให้เกิดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น โดยปริมาณที่มีสัดส่วนมากที่สุดคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มขึ้นของก๊าซ ฯ ดังกล่าวส่งผลทำให้เกิดความผิดปกติของสิ่งแวดล้อม ฤดูกาลที่เปลี่ยนไป ภัยพิบัติที่ทวีความรุนแรงขึ้นและอีกมากมาย กล่าวโดยรวมเรียกว่า การเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศ สิ่งเกิดขึ้นทำให้ทั่วได้ตระหนักถึงความรับผิดชอบ ความสำคัญและเล็งเห็นความจำเป็นที่ต้องมีการเตรียมพร้อม และรับมือกับความเสียหายที่เกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ ในปี พ.ศ. 2531 (ค.ศ.1988) โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) ร่วมกับองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) จึงได้จัดตั้งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) เพื่อเป็นหน่วยงานกลางในการศึกษาให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนสร้างความรู้ความเข้าใจด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [7]

จากจุดเริ่มต้นดังกล่าว จึงทำให้เกิด “อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)”

2.1.1อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)

คือ อนุสัญญาที่เกิดขึ้นในการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยสิ่งล้อมและการพัฒนา (United Nations Conference on Environment and Development : UNCED) หรือการประชุมสุดยอดสิ่งแวดล้อมโลกที่กรุง ริโอ เดอ จาเนโร (Rio de Janeiro Earth Summit) สหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล ใน วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ.2535 มีเป้าหมายสำคัญ เพื่อให้บรรลุถึงการรักษาระดับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศให้คงที่ อยู่ในระดับที่ปลอดภัยจากการแทรกแซงของมนุษย์ที่เป็นอันตรายต่อระบบภูมิอากาศ การรักษาระดับดังกล่าวต้องดำเนินการในระยะเวลาเพียงพอที่จะให้ระบบนิเวศปรับตัว โดยไม่คุกคามต่อการผลิตอาหาร ของมนุษย์” ซึ่งอนุสัญญานี้มีผลบังคับใช้ในวันที่ 21 มีนาคม 2537 สำหรับ

ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันเข้าร่วมเป็นรัฐภาคีอนุสัญญา เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2537 และส่งผู้แทนประเทศเข้าร่วมการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Conference of Parties: COP) โดยอนุสัญญา ฯ นี้เป็นกรอบการทำงานเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุเป้าหมาย สาระสำคัญของกรอบอนุสัญญา ฯ อยู่ที่มาตรา 2 ได้กำหนดเป้าหมายสูงสุด (Ultimate Objective) ของอนุสัญญา ฯ ที่ว่า “เพื่อรักษาความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศให้มีค่าคงที่และอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนโดยมนุษย์ที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบภูมิอากาศโลก” โดยให้เป็นไปตามหลักการที่ระบุในมาตรา 3 ของอนุสัญญาที่ว่ารัฐภาคีควรปกป้องระบบภูมิอากาศเพื่อประโยชน์ของคนรุ่นปัจจุบันและอนาคตของมนุษยชาติ บนพื้นฐานของความเป็นธรรม (Equity) และเป็นไปตามความรับผิดชอบร่วมในระดับที่แตกต่าง (Common but differentiated responsibilities: CBDR) และเป็นไปตามขีดความสามารถ (Respective Capabilities) โดยประเทศพัฒนาแล้วควรเป็นผู้นำในการต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปัจจุบันมีภาคีสมาชิกทั้งสิ้น 196 ประเทศ (ณ มีนาคม 2558) โดยการแบ่งกลุ่มประเทศตามภาคผนวกของอนุสัญญา [8] ดังนี้

กลุ่มประเทศตามภาคผนวกที่ 1 (Annex 1) ได้แก่ กลุ่มประเทศพัฒนาแล้วที่มีพันธกรณีในการดำเนินนโยบายหรือมาตรการใดๆที่จะนำไปสู่การลดก๊าซเรือนกระจก

กลุ่มประเทศตามภาคผนวกที่ 2 (Annex 2) ได้แก่ กลุ่มประเทศพัฒนาแล้วที่มีพันธกรณีในการให้การสนับสนุนทางการเงินและทางเทคนิคแก่ประเทศกำลังพัฒนาเพื่อช่วยดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกและรับมือกับผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยประเทศเหล่านี้รวมตัวกันในนามกลุ่มประเทศ (Organization for Economic Cooperation and Development : OECD)

สำหรับประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา จึงไม่ถูกระบุในภาคผนวกที่ 1 และภาคผนวกที่ 2 จึงไม่มีพันธกรณีลดก๊าซเรือนกระจกภายใต้อนุสัญญา ฯ นี้

2.1.1.1 ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติดูดซับคลื่นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟาเรดได้ดี [8] สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และเกิดจากกิจรรมต่างๆของมนุษย์ ปัจจุบันก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศมีปริมาณมากเกินไปส่งผลให้อุณภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมด้วยพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol : KP) มี 6 ชนิดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าศักยภาพของก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน(เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์)
คาร์บอนไดออกไซด์	200-450	1
มีเทน	9-15	23
ไนตรัสออกไซด์	120	296
CFC-12	100	10,600
เตระฟูลออโรมีเทน	50,000	5,700
ซัลเฟอร์เฮกซะฟูลออไรด์	3,200	22,000

(ที่มา : องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก)

2.1.2 การประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Conference of Parties: COP)

เพื่อให้การบริหารงานของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC) สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดตั้งองค์กรบริหารงาน ประกอบด้วย ที่ประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Conference of Parties: COP) [9] องค์กรย่อยที่ประชุมใหญ่ภาคี และสำนักเลขาธิการ

ที่ประชุมใหญ่ภาคี ฯ (The Conference of the Parties : COP) เป็นหน่วยงานหลักประกอบด้วยรัฐบาลของภาคีสมาชิก มีหน้าที่ พิจารณาข้อตัดสินใจและมติสำคัญที่เป็นพื้นฐานการอนุวัติตามอนุสัญญา ฯ ปัจจุบันมีการประชุมไปแล้ว 21 ครั้ง ครั้งล่าสุดเมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน – 11 ธันวาคม พ.ศ.2558 ที่ผ่านมา ณ กรุงปารีส สาธารณรัฐฝรั่งเศส COP 21

2.1.3 คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)

ได้รับการจัดตั้งในปี พ.ศ. 2521 โดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกและโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติทำหน้าที่สำรวจความรู้ด้านเทคนิคและวิทยาศาสตร์และตีพิมพ์รายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้ IPCC ยังทำหน้าที่ศึกษาด้านวิธีวิเคราะห์และดำเนินการตามคำร้องขอขององค์กรย่อยของอนุสัญญาฯ

รวมถึงจัดทำคู่มือการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกระดับประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ปัจจุบันมีการปรับปรุงและพัฒนาคู่มือดังกล่าว ฉบับล่าสุดออกมาเผยแพร่ในปี 2006 (พ.ศ.2549) โดยใช้ชื่อว่า 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) [10]

2.1.4 การดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ
(Nationally Appropriate Mitigation Actions: NAMAs)

Nationally Appropriate Mitigation Actions: NAMAs เป็นแนวคิดของการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในรูปแบบใหม่หลังพันธกรณีที่ 1 (วาระแรก) ของพิธีสารเกียวโตจบไป การบริหารจัดการนี้จะเน้นตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศที่มีความแตกต่างกันในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยคาดว่าจะอาศัยหลักการเดิม คือ ประเทศกำลังพัฒนาและประเทศพัฒนาแล้วจะรับผิดชอบด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศร่วมกัน แต่ด้วยความรับผิดชอบที่แตกต่างกันตามศักยภาพ รวมทั้งการดำเนินการในมาตรการ NAMAs ที่จะต้องเป็นไปโดยสมัครใจผ่านการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากประเทศพัฒนาแล้ว

แนวคิดนี้ได้มีการพูดถึงครั้งแรกใน “แผนปฏิบัติการบาหลี” ซึ่งเกิดขึ้นจากการประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ เมืองบาหลี ในปี พ.ศ.2550 และการประชุมอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสมัยที่ 16 ได้นำคำนี้มาใช้ใน “ข้อตกลงแคนคูน” (The Cancun Agreement) โดยมีการเพิ่มเติมรายละเอียดของกฎระเบียบเกี่ยวกับ NAMAs มากขึ้น

ในข้อตกลงแคนคูน ประเทศกำลังพัฒนาจะต้องจัดทำ NAMAs โดยได้รับความช่วยเหลือจากประเทศที่พัฒนาแล้ว เพื่อที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในประเทศให้ต่ำกว่าระดับการปล่อยในการดำเนินงานตามปกติ (business as usual) ดังนั้น NAMAs จึงเป็นปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศกำลังพัฒนา โดยอาจเป็นการกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [11]

NAMAs แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Domestically Supported Mitigation Actions หรือ การลดก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการสนับสนุนภายในประเทศซึ่งเป็นแผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศกำลังพัฒนาที่ดำเนินการโดยไม่พึ่งพาความช่วยเหลือหรือเงินสนับสนุนจากต่างประเทศ ปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกนี้ใช้ต้นทุนต่ำและใช้เงินจากงบประมาณของตนเองทั้งหมด

2. Internationally Supported Mitigation Actions เป็นแผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับเงินสนับสนุน รวมถึงความช่วยเหลือด้านเทคโนโลยีและการเสริมสร้าง

ศักยภาพจากประเทศพัฒนา หลักการของแนวคิดนี้ คือ สำหรับการลดก๊าซเรือนกระจกที่มีต้นทุนสูง ประเทศกำลังพัฒนาสามารถขอรับการสนับสนุนจากประเทศพัฒนาได้ ซึ่งจะทำให้การดำเนินงานตามแผนปฏิบัติการนี้ไม่กลายมาเป็นภาระต่อประเทศกำลังพัฒนาจนเกินไป ประเทศที่ได้รับความช่วยเหลือจากต่างประเทศตามแผนนี้จะไม่สามารถผลิตคาร์บอนเครดิตได้ ดังนั้น ประเทศที่พัฒนาแล้วจะไม่สามารถนำปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ที่เกิดขึ้นในประเทศกำลังพัฒนาจากโครงการนี้ ไปเป็นคาร์บอนเครดิตชดเชย

ตัวอย่างรูปแบบของการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศกำลังพัฒนา (NAMA) ที่มีเจรจา เช่น Domestically Funded Mitigation Action การดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกโดยประเทศที่กำลังพัฒนาเอง Supported NAMA การดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศกำลังพัฒนาโดยได้รับการสนับสนุนจากประเทศตามภาคผนวกที่ 1 (Annex 1)

นอกจากนี้ยังมีโครงการหรือมาตรการในการลดก๊าซเรือนกระจกที่อาจรวมอยู่ใน NAMA เช่น Low Emission Development Strategies, Programmatic CDM

Sector-wide actions (Sectoral targets, Mitigation action, Standards, or Crediting Baselines)

2.1.5 การดำเนินการในส่วนของประเทศไทย

ประเทศไทยได้เสนอแผนการดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (Nationally Appropriate Mitigation Actions หรือ NAMAs) [12] เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในประเทศให้ต่ำกว่าระดับการปล่อยในการดำเนินงานตามปกติ (Business as usual) ภายในปี พ.ศ. 2563 ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักสำหรับประเทศกำลังพัฒนาในการมีส่วนร่วมรับผิดชอบแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเป้าหมายที่จะลดก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงานและภาคคมนาคมขนส่ง โดยประเทศไทยเป็นประเทศลำดับที่ 58 นอกจากนี้คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบตามที่กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1. การแสดงเจตจำนงการดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (NAMAs) โดยเสนอตัวเลขของศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกเป็นช่วง (Range) ระหว่างร้อยละ 7 -20

2. หนังสือแสดงเจตจำนงการดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (Nationally Appropriate Mitigation Actions: NAMAs) และมอบหมายให้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมยื่นหนังสือแสดงเจตจำนงฯ (Pledge) ต่อสำนักเลขาธิการ

อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) ต่อไป

3. ให้คณะผู้แทนไทยสามารถแจ้งข้อมูลเรื่องการแสดงเจตจำนงการดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (NAMAs) รวมทั้งตัวเลขศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกระหว่างร้อยละ 7 -20 ในการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมัยที่ 20 (Conference of the Parties : COP 20) รวมทั้งในการหารือแบบทวิภาคีและพหุภาคีได้ โดยประเทศไทยได้ส่ง แนวทางการแสดงเจตจำนง (Pledge) การดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (NAMAs) เมื่อวันที่ 29 ธันวาคม 2557 และมีการดำเนินการในส่วนของ แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกโดยกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรายสาขาการผลิต Sectoral Approach โดยอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มต้องดำเนินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบรายสาขา ได้แก่ อุตสาหกรรมที่การใช้พลังงานสูง (Energy-intensive Industry Sector) อันได้แก่ อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมอลูมิเนียม และอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปูนซีเมนต์ (Fundamental of Cement)

2.2.1 ความหมายของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ [13] คือ ผลิตผลจากการนำหินปูนและวัตถุดิบต่างๆ เช่น ดินดานหรือดินเหนียว ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว นำไปเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 1200 – 1600 องศาเซลเซียส ในเตาเผาความร้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัตถุดิบต่างๆและแคลเซียมคาร์บอนเนตจากหินปูน จนได้เป็นปูนเม็ด นอกจากนี้ปูนเม็ดยังมีคุณสมบัติช่วยยึดและประสาน เมื่อนำปูนเม็ดมาบดกับยิปซัมเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง ผงที่ได้เรียกว่าผงปูนซีเมนต์ เมื่อนำปูนซีเมนต์ที่ได้ไปผสมกับน้ำ ทราย และกรวด จะทำให้ปูนซีเมนต์ที่ผสมแล้ว ทำให้เกิดการยึดตัว และเมื่อแห้งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม นิยมนำไปใช้ในงานก่อสร้าง อาคาร ถนน สะพาน เป็นต้น

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่ให้กำลังแก่คอนกรีต ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และมีการแบ่งออกเป็นหลากหลายประเภทเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่นำไปใช้ นอกจากนี้ยังมีปูนซีเมนต์ชนิดอื่นที่พัฒนาขึ้นเพื่อเหมาะสมกับงานที่หลากหลายโดยเฉพาะ ความแข็งแรง ความทนทาน ความสวยงาม และการใช้งานเฉพาะด้าน โดยคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิต

2.2.2 กระบวนการผลิต

ในปัจจุบันกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มีความแตกต่างกัน หากแต่วัตถุดิบหลักยังคงเดิม ในประเทศไทยมีกระบวนการผลิต 3 แบบ แต่ในปัจจุบันกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง เท่านั้น

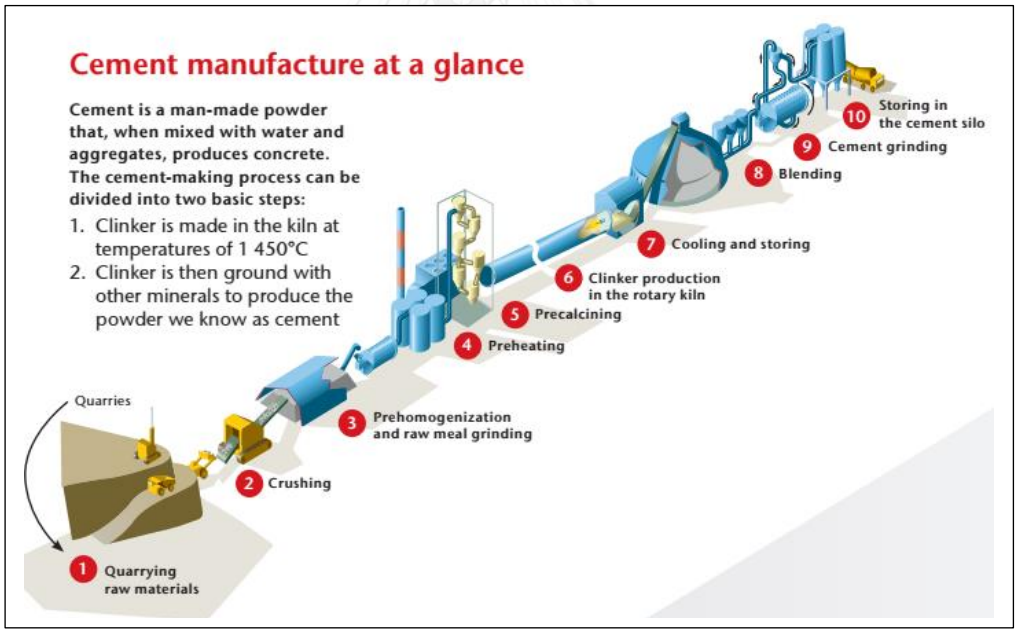
กรรมวิธีผลิตปูนซีเมนต์ [14] ในการผลิตปูนซีเมนต์โดยทั่วไปสามารถแบ่งกรรมวิธีผลิตปูนซีเมนต์เป็น 3 กระบวนการ อันได้แก่

1 กระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet Process)

2 กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด (Semi-Dry Process)

3 กระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

ทั้ง 3 กระบวนการ มีหลักการเหมือนกัน คือ การนำวัตถุดิบมาคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วแยกที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 1200 °C - 1600°C มีการทำปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นปูนเม็ด (Clinker) มีลักษณะเป็นก้อนๆ เมื่อนำปูนเม็ดบดรวมกับยิปซัมและสารเฉื่อยชนิดอื่นๆ เช่น หินทราย ได้เป็นปูนซีเมนต์ที่เรียกว่าปูนผสม (Mixed Cement) กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1

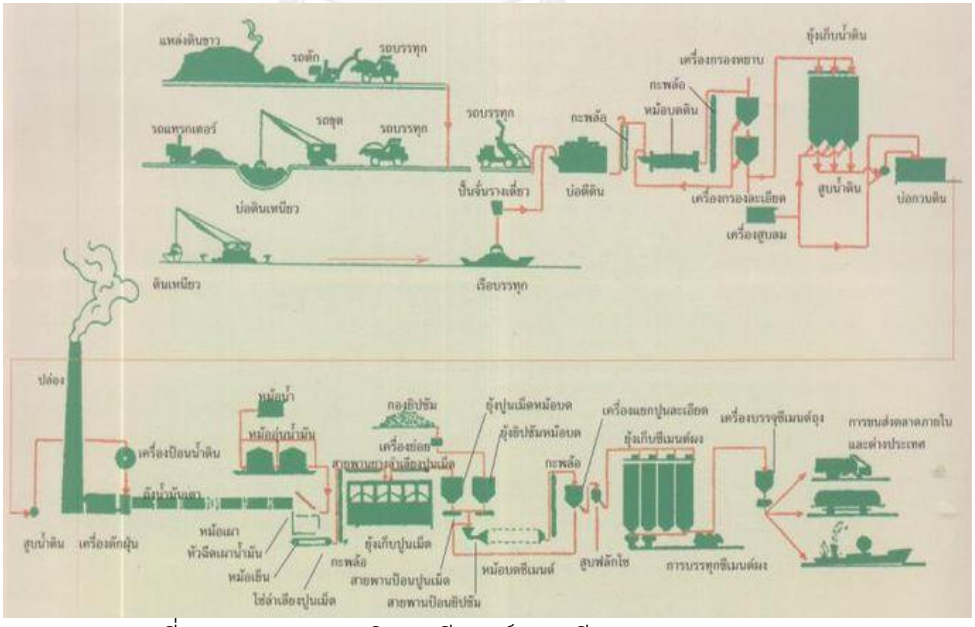


รูปที่ 1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ทั้งระบบ

(ที่มา : IEA Cement Technology Roadmap 2009)

ก.กระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet Process)

วัตถุดิบหลักคือ ดินขาว (Marl) และดินเหนียว (Clay) สำหรับดินขาวมีอยู่ในระดับพื้นดิน หรือใต้ดินตามธรรมชาติ ปกติมีความชื้นค่อนข้างสูง กระบวนการเริ่มต้นด้วยนำวัตถุดิบมาผสมกับน้ำในบ่อตีดิน (Wash Mill) กวนให้ส่วนผสมเข้ากัน นำไปเข้าไปสู่หม้อบดดิน (Slurry Mill) เพื่อบดให้ละเอียด แล้วกรองเอาเศษหินและส่วนที่ไม่ละลายน้ำออก ให้เหลือแต่น้ำดินที่ละลายเข้ากันดี จากนั้นนำไปพักไว้ในยุ้งเก็บ (Silo) เพื่อตรวจสอบคุณภาพและปรับแต่งส่วนผสมให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนด จากนั้นถูกนำไปรวมกันที่บ่อกวนดิน (Slurry Basin) จนมีปริมาณที่เพียงพอ และกวนให้ส่วนผสมรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำเข้าเตาเผาโดยใช้เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ในขั้นตอนนี้ ความร้อนที่ได้รับภายในเตาเผาจะส่งผลให้น้ำที่อยู่ในส่วนผสมระเหยออกจนเหลือเป็นเม็ดดิน ซึ่งเมื่อให้ความร้อนต่อจนไปถึงอุณหภูมิหนึ่ง เม็ดดินที่ได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นปูนเม็ด (Clinker) ขั้นตอนการบดปูนเม็ดให้กลายเป็นปูนซีเมนต์ ทำโดยนำปูนเม็ดมาผสมกับยิปซัม (Gypsum) แล้วบดให้ละเอียดเป็นผงในหม้อบดซีเมนต์ (Cement Mill) ความละเอียดในการบดและอัตราส่วนระหว่างปูนเม็ดกับยิปซัมต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ จากนั้นจะลำเลียงปูนซีเมนต์ไปเก็บไว้ในยุ้งเก็บปูนซีเมนต์ผง (Cement Silo) เพื่อรอการจำหน่ายต่อไปดังรูป 2

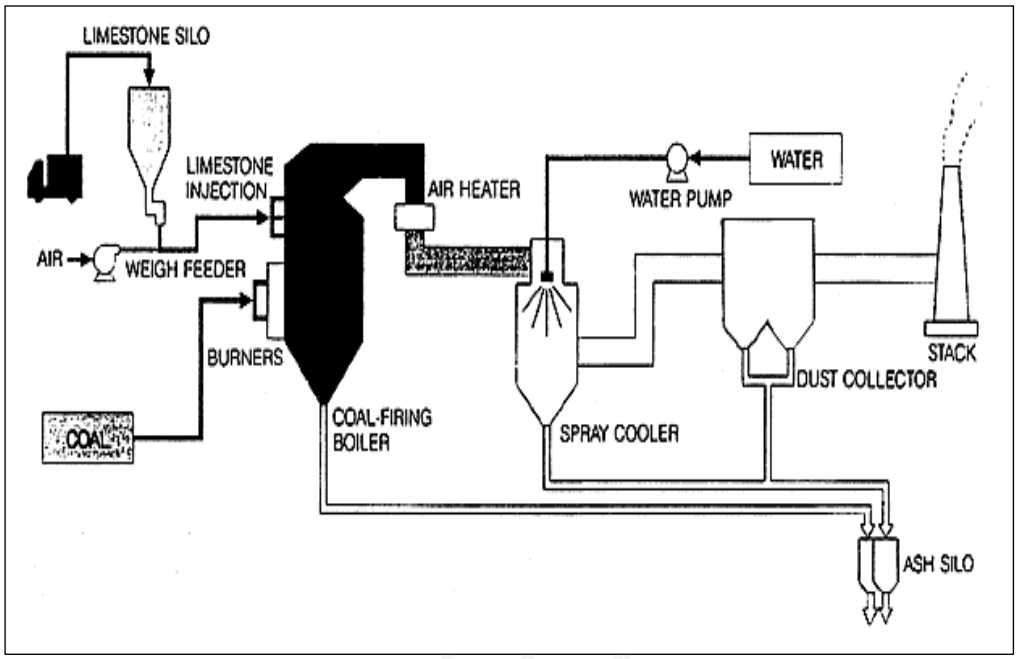


รูปที่ 2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบบเปียก (Wet Process)

(ที่มา : สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน)

ข.กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด (Semi-Dry Process)

กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด (Semi-Dry Process) วัตถุดิบที่ใช้คือ หินปูน (Lime Stone) ดินดำหรือดินดาน (Shale) และศิลาแลง นำมาบดและทำให้ร้อนโดยอาศัยลมร้อน ฝุ่นที่แยกตัวออกมาจากลมร้อนจะผสมกับน้ำ เมื่อผสมเข้ากันแล้วปั้นเป็นเม็ด ซึ่งมีความชื้น 13 – 14% และลดความชื้นด้วยก๊าซร้อนอีกครั้งก่อนนำเข้าเตาเผาจนได้ปูนเม็ด ดังรูป 3

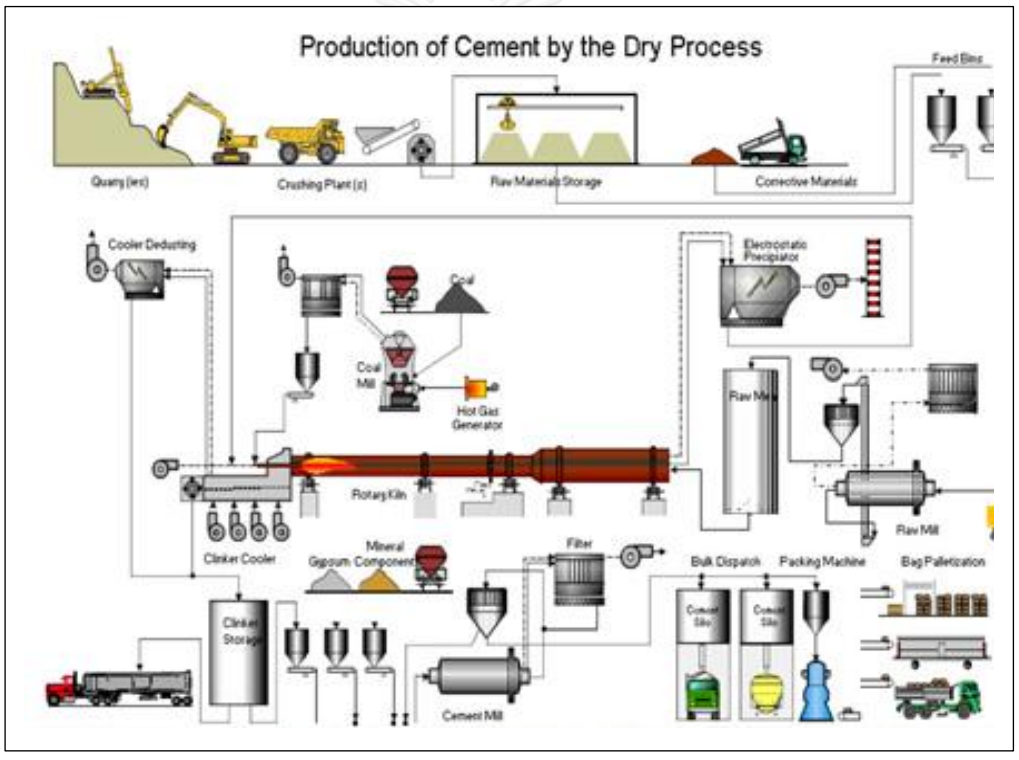


รูปที่ 3 กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด (Semi-Dry Process)
(ที่มา : Air Pollution Control Technology in JAPAN Desulfurization Equipment)

ค.กระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตคือ หินปูน (Limestone) ซึ่งได้จากการระเบิดหินจากภูเขาหินปูน แต่หินปูนที่ได้ยังมีขนาดใหญ่ จึงต้องนำมาลดขนาดโดยเครื่องย่อย (Crusher) เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตขั้นต่อไป วัตถุดิบอื่นคือ ดินดาน (Shale) และวัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติ (Corrective Materials) ซึ่งใช้เฉพาะบางตัว เพื่อให้ได้ส่วนประกอบทางเคมีตามค่ามาตรฐานที่กำหนด วัตถุดิบอื่นเหล่านี้ก็ต้องผ่านเครื่องย่อยเพื่อลดขนาดให้เหมาะสมเช่นกัน วัตถุดิบที่ผ่านการย่อยแล้วจะถูกนำมาเก็บไว้ที่กองเก็บวัตถุดิบ (Storage Yard) จากนั้นก็จะลำเลียงไปยังหม้อบดวัตถุดิน (Raw Mill) ต่อไป หม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) มีหน้าที่บดหินปูน ดินดาน และวัตถุดิบ ปรับแต่งคุณสมบัติให้เป็นผงละเอียด ซึ่งเรียกว่า วัตถุดิบสำเร็จ

(Raw Meal) การควบคุมอัตราส่วนของวัตถุดิบ ที่ป้อนเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบมีความสำคัญ เนื่องจากอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสม จะทำให้วัตถุดิบสำเร็จ มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมกับการเผา หลังจากผ่านกระบวนการบดแล้ว จึงส่งวัตถุดิบสำเร็จไปยังยุ้งผสมวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal Homogenizing Silo) เพื่อเก็บและผสมวัตถุดิบสำเร็จให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนส่งไปเผาในหม้อเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) กระบวนการเผาช่วงแรก เป็นชุดเพิ่มความร้อน (Preheater) จะค่อยๆ เพิ่มความร้อนให้แก่วัตถุดิบสำเร็จ แล้วส่งวัตถุดิบสำเร็จไปเผาในหม้อเผา ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงประมาณ 1,200 – 1,400 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีตามลำดับ จนในที่สุดกลายเป็นปูนเม็ด (Clinker) จากนั้นทำให้ปูนเม็ดเย็นลง แล้วจึงลำเลียงปูนเม็ดไปเก็บไว้ที่ยุ้งเก็บ เพื่อรอการบดปูนเม็ดต่อไป ดังรูป 4



รูปที่ 4 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง (Dry Process)
(ที่มา : http://www.engineeringintro.com)

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ทั้ง 3 กระบวนการ กระบวนการผลิตแบบเปียกและแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด เป็นกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม มีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง มีการสูญเสียผลผลิตต่ำ ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสูง ปัจจุบันนี้ไม่มีการผลิตโดยใช้กระบวนการทั้ง 2 กระบวนการแล้ว ส่วนกระบวนการผลิตแบบแห้ง เป็นกระบวนการที่มี

ประสิทธิภาพสูง ต้นทุนในกระบวนการผลิตต่ำกว่า ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า ซึ่งประเทศไทยก็มีการใช้กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์วิธีนี้ทั้งสิ้น

ประเทศไทยมีพื้นที่ในผลิตปูนซีเมนต์ [15] หลักๆ 5 จุดกระจายในพื้นที่ดังต่อไปนี้ จังหวัดลำปาง จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดสระบุรี จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดนครศรีธรรมราช ดังรูป 5

รูปที่ 5 แผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ที่มีการผลิตปูนซีเมนต์
(ที่มา: สภาอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย)

2.2.3 ประเภทของปูนซีเมนต์

ประเภทของปูนซีเมนต์ [16] จะขึ้นอยู่กับร้อยละขององค์ประกอบต่าง ๆ ตามมาตรฐานเช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก. 15) และสมาคมทดสอบและวัสดุอเมริกัน (ASTM)[7] แบ่ง ประเภทปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

1. Ordinary Portland Cement
2. Modified Portland Cement
3. High Early Strength Portland Cement
4. Low-heat Portland Cement
5. Sulphate Resistance Portland Cement

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติอื่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ถึง 5

ส่วนประกอบ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท				
	1	2	3	4	5
C_3S	49	46	56	25	30
C_2S	25	29	15	50	46
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียดของเบลน (cm^2/g)	3,000	3,000	4,500	3,000	3,000
กำลังอัดที่อายุ 3 วัน (kg/cm^2)	180	150	310	80	120
ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ 28 วัน (J /g)	400	330	430	270	310

2.2.3.1 ประเภทปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา Ordinary Portland Cement

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ใช้กันมากในงานคอนกรีต ประมาณได้ร้อยละ 90 ของ

[7] สมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน หรือ American Society for Testing and Materials (ASTM)

ปูนซีเมนต์ที่ผลิต ใช้สำหรับการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและใช้ในงานก่อสร้าง ตามปกติทั่วไป เช่น เสา คาน ฐานรากของอาคาร ถนน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังอัดสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนักและให้ความร้อนปานกลาง

ประเภทที่ 2 หรือ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เป็นปูนซีเมนต์ดัดแปลง Modified Cement หรือ Modified Portland Cement

เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนัก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่สูงกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ(ประเภทที่4) และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง เหมาะ สำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ อาทิเช่น ตอม่อ ขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพงกันดินในบริเวณที่ถูกน้ำเค็มเป็นครั้งคราว ไม่มีการผลิตในประเทศไทย

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว Rapid Hardening Portland Cement

เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูง เพราะปริมาณ C_3S สูงและความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่น งานซ่อมแซม หรืองานที่ต้องการถอดแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต เสาไฟฟ้าคอนกรีต ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป (Precast Concrete)

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ Low Heat Portland Cement

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ต่ำมากเพราะมีปริมาณของ C_3S ต่ำ คือโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 แต่จะมี C_2S ที่ค่อนข้างสูง คือโดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 50 ถึง 60 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อนคอนกรีตหรือตอม่อขนาดใหญ่ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่มีการผลิตในประเทศไทย

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต Sulfate Resisting Portland Cement

เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีปริมาณของ C_3A ต่ำมากโดยทั่วไปไม่เกินร้อยละ 5 เพราะ C_3A จะทำให้เกิดการรวมตัวกับซัลเฟตได้ง่าย ดังนั้นเมื่อ C_3A มีปริมาณน้อย จึงมีการทำปฏิกิริยากับซัลเฟตได้น้อยหรือไม่ได้เลย ทำให้การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟตลดลง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่สร้างอยู่ในที่มีเกลือหรือสารละลายซัลเฟต

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง 5 ประเภท มีคุณสมบัติที่คล้ายกันและต่างกัน รวมทั้งวัตถุประสงค์การใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 สรุปรายละเอียดด้านจุดประสงค์ การใช้งาน และการผลิต ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภท	จุดประสงค์	ใช้ในงาน	การผลิต
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา	ใช้ในงานคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์ใดที่ไม่ต้องการคุณภาพเป็นพิเศษกว่าธรรมดา	งานก่อสร้างตามปกติทั่วไป เช้น เสา คาน ฐานรากของอาคาร ถนน	มีปริมาณกว่า 90% ของการผลิตทั้งหมด ผลิตในประเทศ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง	ทนต่อเกลือซัลเฟตได้ปานกลาง	ตอม่อสะพานเทียบเรือ ฐานรากขนาดใหญ่	ไม่ได้ผลิตแล้ว หรือมีการผลิตตามความต้องการ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว	ใช้กับงานที่ต้องการความเร่งด่วนหรือต้องการถอด รื้อแบบเร็วกว่าปกติ	เสาเข็มคอนกรีต เสาไฟฟ้าคอนกรีต ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป	มีการผลิตในประเทศ ผลิตจากการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาปดให้ละเอียดขึ้น
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ	ใช้กับงานเฉพาะด้านที่ต้อง การคุณสมบัติพิเศษ	งานคอนกรีตหลาโครงสร้างเขื่อนคอนกรีต	ไม่มีผลิตและจำหน่ายตามท้องตลาดในประเทศ นำเข้าจากต่างประเทศ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต	งานก่อสร้างในบริเวรที่มีซัลเฟสสูง	งานตอม่อหรือเสาในบริเวณที่อยู่ใกล้ชายทะเล งานปลูกสร้างใกล้ทะเล	ขายตามท้องตลาดผลิตในประเทศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3.2 ปูนซีเมนต์ประเภทอื่น

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 ประเภทที่ประกอบด้วย C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF ในปริมาณที่ต่างกัน ยังมีปูนซีเมนต์ประเภทอื่นที่ทำมาจากการผสมสารหลากหลายชนิดบดกับปูนเม็ด หรือโดยการเพิ่มสารประกอบอื่นระหว่างการเผา แสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลปูนประเภทอื่น ๆ นอกเหนือจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทปูน	ส่วนผสมหลัก	อัตราส่วน	จุดประสงค์	เหมาะในงาน	ข้อควรระวัง
1.ปูนซีเมนต์ผสม	วัสดุเฉื่อย (ทราย)	ร้อยละ 20 ถึง 30	ลดต้นทุนทำให้ปูนราคาถูก ระยะเวลาก่อตัวนานขึ้น การเยิ้มน้ำต่ำ ลดการแตกร้าวที่ผิว	งานปูนก่อหรือฉาบ	มีกำลังอัดต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไม่ควรใช้ในการก่อสร้างองค์อาคารหลัก เช่น เสา คาน พื้น หรือฐานรากของอาคาร
2. ปูนซีเมนต์ขาว	ดินขาวจีน(China Clay)กับดินสอพองหรือหินปูนที่ไม่มีออกไซด์ของธาตุเหล็ก	กำหนดให้ออกไซด์ของเหล็กในปูนซีเมนต์ขาวต่ำกว่า ร้อยละ5 มีส่วนประกอบของ C_3S สูงแทบจะไม่มี C_4AF	ลดหรือเปลี่ยนสีเทาที่เกิดจากสารออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีส	เหมาะกับงานที่ต้องการความสวยงามหรือด้านสถาปัตยกรรม เพราะสามารถใช้สีผสมให้เป็นสีที่ต้องการได้	กำลังอัดไม่มากจึงไม่เหมาะใช้ในงานโครงสร้างที่รับแรง

ตารางที่ 5 ข้อมูลปูนประเภทอื่น ๆ นอกเหนือจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทปูน	ส่วนผสมหลัก	อัตราส่วน	จุดประสงค์	เหมาะในงาน	ข้อควรระวัง
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน	อยู่ระหว่างร้อยละ 15 ถึง 40	ร้อยละ 20 ถึง 30	ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ลดราคาปูนซีเมนต์	งานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องสัมผัสน้ำเค็ม ดินเค็ม	ขนาดโมเลกุลของปอซโซลาน
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก	ร้อยละ 25 ถึง 70	กำหนดให้ออกไซด์ของเหล็กในปูนซีเมนต์ขาวต่ำกว่า ร้อยละ5 มีส่วนประกอบของ C_3S สูงแทบจะไม่มี C_4AF	ผลิตปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งทะเลและพื้นที่น้ำกร่อย	ใช้ในงานคอนกรีตหลาและนิยมใช้กับโครงสร้างคอนกรีตหลาและนิยมใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตในทะเล ชายฝั่งทะเล และพื้นที่น้ำกร่อย	กำลังอัดในระยะแรกต่ำและความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ตารางที่ 5 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา (ต่อ)

ลักษณะทั่วไป	ช่วงอายุ	ระดับการศึกษา	อาชีพ	รายได้ต่อเดือน	ข้อมูลทั่วไปอื่นๆ
5. ปัญหาที่ผู้ป่วยพบ	15 ปี ถึง 80 ปี	ประถมศึกษา ถึง มัธยมศึกษาตอนต้น	ไม่ได้ประกอบอาชีพ ถึง รับจ้าง	0 บาท ถึง 10,000 บาท	ไม่มีข้อมูลทั่วไปอื่นๆ
6. ปัญหาที่ผู้ป่วยพบ (ปัญหาที่ผู้ป่วยพบมากที่สุด 3 อันดับแรก)	1 ปี ถึง 2 ปี	มัธยมศึกษาตอนปลาย ถึง ปริญญาตรี	ข้าราชการ ถึง ธุรกิจส่วนตัว	10,000 บาท ถึง 20,000 บาท	ไม่มีข้อมูลทั่วไปอื่นๆ
ไม่มีปัญหาที่ผู้ป่วยพบ	-	ไม่ทราบ	ไม่ทราบ	ไม่ทราบ	ไม่มีข้อมูลทั่วไปอื่นๆ

ตารางที่ 5 ข้อมูลปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ปูนซีเมนต์	อัตราส่วนผสม	ผู้ผลิต	ผลิตภัณฑ์	หมายเหตุ
7. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชื่อเรียกเดิม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ผสมกับทรายมาตรฐาน ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 2.5 ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตชนิดที่ 5 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ในอัตราส่วนร้อยละ 0.25 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้น้ำในอัตราส่วนที่ทำให้ได้ค่าการไหลแผ่ (flow) ของมอร์ตาร์ 110 ± 5	-	-	-
8. ปูนซีเมนต์ก่อ Masonry	ปูนซีเมนต์ก่อผสมกับทรายมาตรฐาน ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1 ต่อ 3 ใช้น้ำในอัตราส่วนที่ทำให้ได้ค่าการไหลแผ่ (flow) ของมอร์ตาร์ 110 ± 5	-	-	-

ตารางที่ 5 ข้อมูลทั่วไปและการใช้ยาของผู้ป่วยที่ได้รับยาต้านไวรัสเอชไอวีสูตรที่ 1

ลำดับที่	ข้อมูลทั่วไป	ประวัติการใช้ยาต้านไวรัสเอชไอวี	ประวัติการใช้ยาอื่นๆ	ประวัติการแพ้ยา
9.	ผู้ป่วยชาย อายุ 45 ปี น้ำหนัก 70 กิโลกรัม ส่วนสูง 175 เซนติเมตร ค่าการทำงานของไตปกติ	ผู้ป่วยได้รับยาต้านไวรัสเอชไอวีสูตรที่ 1 มาเป็นเวลา 2 ปี 6 เดือน ปัจจุบันได้รับยาต้านไวรัสเอชไอวีสูตรที่ 1 ขนาดรับประทานวันละ 1 เม็ด ก่อนนอน	ผู้ป่วยมีโรคประจำตัวคือ ความดันโลหิตสูง ได้รับยาลดความดันโลหิตสูงขนาดรับประทานวันละ 1 เม็ด ก่อนนอน	ไม่มีประวัติการแพ้ยา
10.	ผู้ป่วยชาย อายุ 52 ปี น้ำหนัก 65 กิโลกรัม ส่วนสูง 170 เซนติเมตร ค่าการทำงานของไตปกติ	-	-	ไม่มีประวัติการแพ้ยา

ตารางที่ 5 ข้อดีข้อเสียในการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดต่างๆ ในงานคอนกรีต

ชนิดของปูนซีเมนต์	ความต้านทานซัลเฟต	ความร้อนในการทำปฏิกิริยากับน้ำ	ความต้านทานแรงอัดในช่วงอายุต่างๆ	ข้อดี	ข้อเสีย
ชนิดที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ราคาถูก	ไม่ทนต่อซัลเฟต
ชนิดที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดทนซัลเฟตปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ทนต่อซัลเฟตปานกลาง	ราคาแพงกว่าชนิดที่ 1
ชนิดที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดก่อตัวเร็ว	ต่ำ	สูง	สูงในช่วงอายุต้น	ก่อตัวเร็ว	ไม่ทนต่อซัลเฟต
ชนิดที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดให้ความร้อนต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำในช่วงอายุต้น	ทนต่อซัลเฟตสูง	ราคาแพง
ชนิดที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดทนซัลเฟตสูง	สูง	ต่ำ	ต่ำในช่วงอายุต้น	ทนต่อซัลเฟตสูง	ราคาแพง
ปูนซีเมนต์ผสม	ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสม			ราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ความต้านทานแรงอัดในช่วงอายุต้นต่ำ
11. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว	มีปริมาณของ C_3A ต่ำมากๆ ประมาณ 0 ถึง 3 % Al_2O_3	ร้อยละ 3-4	สูงในช่วงอายุต้น	ใช้ในงานตกแต่ง	ราคาแพง
12. ปูนซีเมนต์ผสม	ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสม	ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสม	ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสม	ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสม	ขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสม

2.3 แผนที่นำทางเทคโนโลยีปูนซีเมนต์ (Cement Technology Roadmap)

จากรายงานของ องค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) เรื่อง แผนที่นำทางเทคโนโลยีปูนซีเมนต์ กับการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปี 2009 ถึง ปี 2050 [4] ได้มุ่งเป้าไปที่ อุตสาหกรรมที่มีเทคโนโลยีการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยความร่วมมือระหว่าง IEA และ ภาคีสมาชิกของ CSI ด้วยความร่วมมือที่จะพัฒนาความเป็นไปได้ที่จะ เปลี่ยนผ่าน ก้าวไปในปี 2050 กับภารกิจการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงครึ่งหนึ่งจากการปล่อยใน ปัจจุบัน

โดยมีคีย์หลักสำคัญ 4 เทคโนโลยี ที่อุตสาหกรรมซีเมนต์จะสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้พิจารณาในแผนที่นำทางนี้คือ

เทคโนโลยี 1 ประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าและพลังงานความร้อน (Thermal and Electric Efficiency)

เทคโนโลยี 2 การใช้เชื้อเพลิงทดแทน หรือพลังงานทดแทน (Alternative Fuel Use)

เทคโนโลยี 3 เทคโนโลยีด้านวัสดุทดแทนปูนเม็ด (Clinker Substitution)

เทคโนโลยี 4 เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture and Storage)

ตารางแสดงตัวอย่างที่มีการดำเนินการตามระดับของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ IEA

ตารางที่ 6 เทคโนโลยีและตัวอย่างมาตรการ

เทคโนโลยีลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ IEA	ตัวอย่าง [17]
เทคโนโลยี 1 ประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าและพลังงานความร้อน	1.มาตรการการประยุกต์อุปกรณ์ VSD 2.มาตรการเปลี่ยนเตาเผาคุณภาพสูง 3.มาตรการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตเป็นแบบแห้ง 4.มาตรการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้งาน 5.มาตรการเครื่องคัดแยกเศษเหล็กออกจาก CLINKER ที่ REJECT 6.มาตรการติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุก ที่ PLANT CFBK 7.มาตรการการป้องกัน False Air Leak ในเตา Reactor 8.มาตรการเปลี่ยนคุณภาพ Firebrick เพื่อลดการหยุดเดินเตา Reactor 9.มาตรการปรับเปลี่ยนตระแกรงของเตาเผา
เทคโนโลยี 2 การใช้เชื้อเพลิงทดแทน	1.มาตรการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ ตอซังข้าวเป็นต้น) 2.มาตรการนำขยะคัดแยกเป็นเชื้อเพลิง 3.มาตรการใช้ยางรถยนต์เก่าเป็นเชื้อเพลิง 4. มาตรการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 6 ระดับของเทคโนโลยีและตัวอย่างมาตรการตามเทคโนโลยี

เทคโนโลยีลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ IEA	ตัวอย่าง
เทคโนโลยี 3 เทคโนโลยีด้านวัสดุทดแทนปูนเม็ด[4]	1.มาตรการการนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ 2.มาตรการนำตระกรันจากเตาหลอมเหล็กมาเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด 3.มาตรการใช้วัสดุปอซโซลานธรรมชาติเข้ามาทดแทนปูนเม็ด 4.มาตรการนำเศษวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมทางการเกษตรมาเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด
เทคโนโลยี 4 เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน [18]	1.การกักเก็บก่อนการเผาไหม้ 2.การกักเก็บหลังการเผาไหม้ 3.การกักเก็บหลังการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์

ด้วยตระหนักถึงศักยภาพของแต่ละขั้นตอน กระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึง การสนับสนุนด้านสังคม เศรษฐกิจ และการพัฒนาด้านเทคโนโลยีในอุตสาหกรรม การพัฒนาแผนงาน มีจุดประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นว่าความร่วมมือและความเป็นหุ้นส่วนในการบรรลุวัตถุประสงค์ของโลกที่ต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีที่จะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามที่ IEA และ WBCSD ออกแนวทางการดำเนินการ เช่น ประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ประยุกต์ต่างๆ กระบวนการอนุรักษ์พลังงานด้วยการนำความร้อนที่เหลือจากการใช้งานกลับมาใช้งาน การนำเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ร่วมในกระบวนการผลิต ทั้งการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ขยะชุมชน เศษยางรถยนต์เก่า การติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น เพื่อเป็นการยกระดับทั้งประสิทธิภาพและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีความพยายามนำ เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดเข้ามาใช้ในกระบวนผลิตอีกด้วย ในส่วนของเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอนยังอยู่ในช่วงทดลองและสาธิตเนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวจำเป็นต้องนำเข้าเทคโนโลยีอีกทั้งยังมีมูลค่าการลงทุนที่มหาศาล ซึ่งในอนาคตก็อาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการบริหารจัดการกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.4 เทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์สำหรับวัสดุทดแทนปูนเม็ด (Material Technology for Clinker Substitution)

ปูนเม็ดเป็นองค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์แต่ละประเภท เมื่อนำมาผสมกับ ยิปซั่ม 4-5% มันจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำและส่วนผสมอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติไฮดรอลิค เมื่อนำมาผสมกับ ยิปซัมและปูนเม็ด ตระกรันจากเตาเผาเหล็ก(เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า) เถ้าลอย(การโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากถ่านหิน) รวมไปถึงวัสดุทางธรรมชาติอื่นๆ ซึ่งสามารถนำใช้ทดแทนปูนเม็ดได้บางส่วน เพื่อเปลี่ยนไปเป็นปูนซีเมนต์ อย่างไรก็ตามก็เป็นเพียงการลดสัดส่วนของการใช้ปูนเม็ดซึ่งมีความสัมพันธ์ในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [4]

2.4.1 วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials)

จากมาตรฐาน ASTM C618 ได้ให้คำจำกัดความของวัสดุปอซโซลาน [16] ไว้ว่า “ *วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุที่มีซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าวัสดุปอซโซลานที่มีความละเอียดมากและมีน้ำหรือความชื้นที่เพียงพอ จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณภาพในการยึดประสาน*” สำหรับประเทศไทยมีวัสดุปอซโซลานค่อนข้างมากและสามารถนำมาใช้งานได้ เช่น เถ้าลอยจากเถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ยังมีการใช้วัสดุปอซโซลานบางชนิดที่มีการสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ เช่น ซิลิกาฟูม (เขม่าซิลิกา) ที่มีความละเอียดสูงมากในการทำคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น โดยประเภทของวัสดุทดแทนปูนเม็ดสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปีที่ก่อตั้ง	ที่ตั้งสำนักงานใหญ่	จำนวนพนักงาน	ประเภทธุรกิจ
ปี 2549	500 ล้านบาท (พ.ศ.2549)	200 ล้านบาท (พ.ศ.2549)	7 ปีของการก่อตั้งบริษัทจัดการลงทุนในประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความต้องการ	ระยะเวลา	ผลกระทบ	ความเป็นไปได้	ข้อเสนอแนะ
ความต้องการด้านการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ระยะยาว (2546) 300 ล้านตัน	ต้องมีการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ปานกลางถึงสูง เนื่องจากมีการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ต้องมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่
ความต้องการด้านการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ระยะยาว 50%	ต้องมีการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ปานกลางถึงสูง เนื่องจากมีการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ต้องมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่
ความต้องการด้านการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ระยะยาว ลดการปล่อยก๊าซ CO_2	ต้องมีการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ปานกลางถึงสูง เนื่องจากมีการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่	ต้องมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนในเทคโนโลยีใหม่

(ที่มา: IEA Cement Technology Roadmap 2009)

2.4.2 ข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

จากข้อมูลและเทคนิคที่นำเสนอ ด้วยอัตราส่วนที่เป็นไปได้ของการผลิตปูนซีเมนต์ แต่ยังมีปัญหาและอุปสรรคซึ่งเป็นปัจจัยในการผลิต เช่น ความพร้อมในระดับภูมิภาคของวัสดุทดแทนปูนเม็ด การเพิ่มสูงขึ้นของราคาจากการอุดหนุนวัสดุ คุณสมบัติของวัสดุทดแทนและความต้องการใช้งานของปูนซีเมนต์ มาตรฐานสากลสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ การปฏิบัติและการยอมรับของส่วนประกอบปูนซีเมนต์จากผู้รับเหมาก่อสร้างและลูกค้า ที่กล่าวมาเป็นความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตของวัสดุทดแทนปูนเม็ด ซึ่งอาจจะมีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อมและการควบคุม

2.5 ข้อมูลวัสดุทดแทนปูนเม็ดสำหรับงานวิจัย

2.5.1 เถ้าลอย (Fly Ash or Pulverize Fuel Ash: FA)

เถ้าลอย หรือ Fly Ash [19] เกิดจากกระบวนการนำถ่านหิน หรือ Coal ประเภทต่างๆ (Lignite , sub-bituminous , Bituminous , Anthracite) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ทั้งจุดประสงค์เพื่อนำความร้อนมาใช้ และการผลิตกระแสไฟฟ้า สิ่งที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาไหม้ก่อให้เกิด มลทินต่างๆอันได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash) เถ้าหนัก (Bottom Ash) ก๊าซเรือนกระจก (CO_2 , SO_x , NO_x) และฝุ่นละอองขนาดเล็กชนิดต่างๆ เป็นต้น จากข้อมูลของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่า ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใช้ถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิงประมาณวันละ 40,000 ตัน จะได้ผลผลิตที่เป็นเถ้าลอยประมาณ 6,000 ตัน

เถ้าลอยจากเหมืองแม่เมาะมีคุณสมบัติทางเคมีเป็นวัสดุปอซโซลาน [14] ซึ่งมีปริมาณของ ซิลิกาและอลูมินา เป็นองค์ประกอบหลัก ส่งผลให้เถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดได้ นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการใช้ถ่านหินเพื่อให้ความร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์อีกด้วย ข้อดีของเถ้าลอยสำหรับการเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด คือ หากมีการใช้เถ้าลอยที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ ลดการสูญเสียการยุบตัว เพิ่มกำลังในระยะยาว และเพิ่มความคงทนหลายอย่าง จากข้อดีที่กล่าวมาและคุณสมบัติของเถ้าลอยใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 (ออดินารีปอร์ตแลนด์ซีเมนต์)

จากข้อมูลของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 -2579 หรือ PDP 2015 ที่ได้รับการเห็นชอบจาก คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) เมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม 2558 คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ได้มีมติเห็นชอบแผน PDP2015 ในการประชุมฯครั้งที่ 2/2558 เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2558 จากนั้นคณะรัฐมนตรี (ครม.) ได้รับทราบมติ กพช. ดังกล่าว เมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2558 ระบุว่าจะมีการปรับสัดส่วนเชื้อเพลิงที่นำมาผลิตไฟฟ้า ด้วยการกระจายเชื้อเพลิงในการผลิต

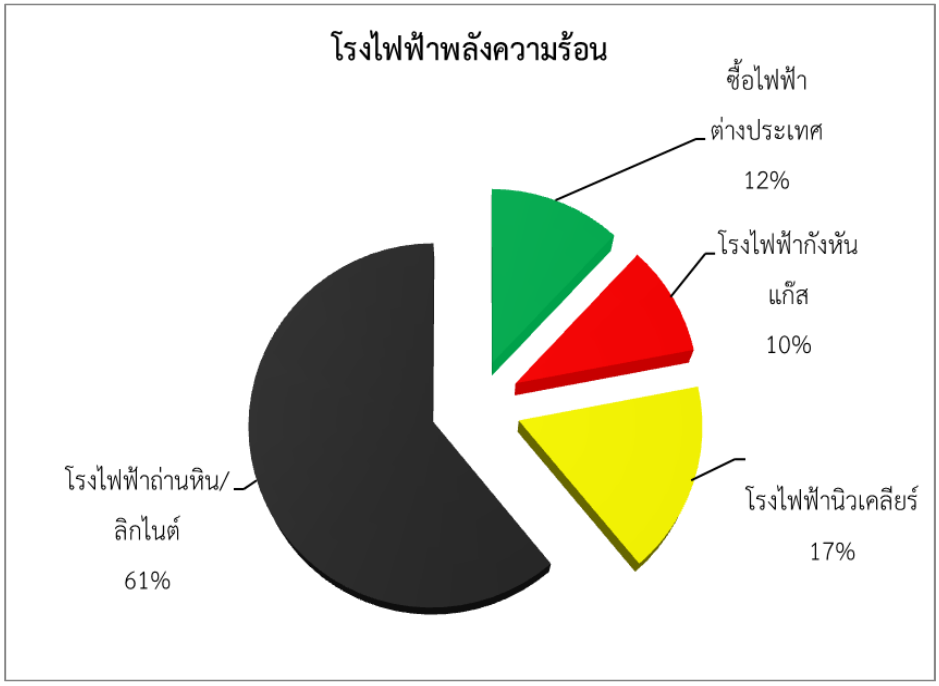
ไฟฟ้า และลดการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติ โดยในแผนมีการเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินเทคโนโลยีสะอาด จากนโยบายดังกล่าวได้ดังกล่าวได้กำหนดกรอบประมาณการสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงของแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 2558 ในปี 2579 ดังนี้

ตารางที่ 8 สัดส่วนเชื้อเพลิงตามแผน PDP 2015

ประเภทเชื้อเพลิง	ณ ปี 2557 ประมาณร้อยละ	ณ ปี 2569 ประมาณร้อยละ	ณ ปี 2579 ประมาณร้อยละ
ซื้อไฟฟ้าพลังน้ำต่างประเทศ	7	10 - 15	15 – 20
ถ่านหินเทคโนโลยีสะอาด (รวมลิกไนต์)	20	20 - 25	20 – 25
พลังงานหมุนเวียน (รวมพลังน้ำ)	8	10 - 20	15 – 20
ก๊าซธรรมชาติ	64	45 - 50	30 – 40
นิวเคลียร์	-	-	0 -5
ดีเซล / น้ำมันเตา	1	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำลังผลิตไฟฟ้าใหม่ ในช่วงปี พ.ศ.2558 – 2579 เท่ากับ 57,459 เมกะวัตต์ โดยการผลิตไฟฟ้าใช้เพลิงถ่านหินสะอาด มีสัดส่วนดังนี้



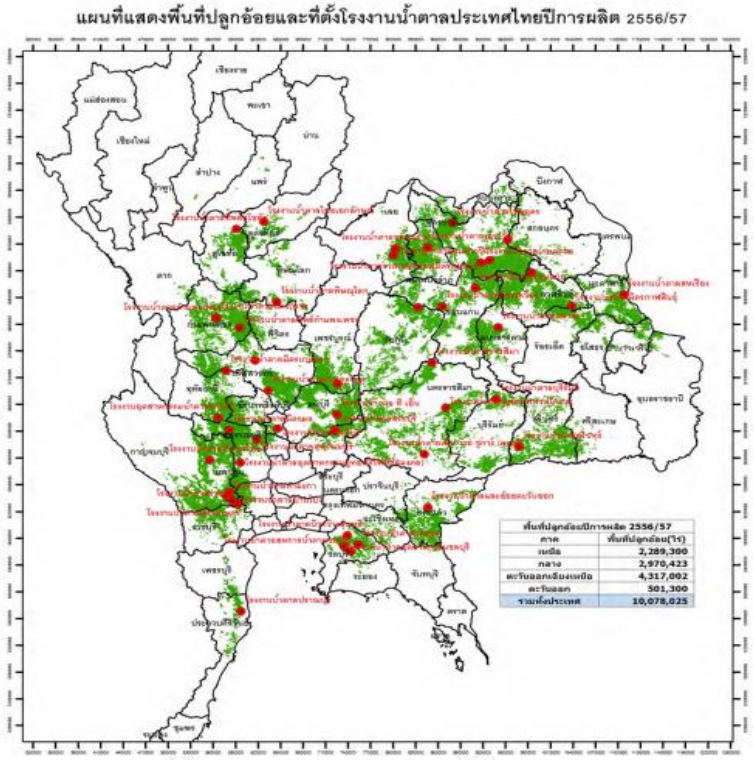
รูปที่ 6 กราฟสัดส่วนของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนตามแผน PDP 2015 แยกตามประเภทเชื้อเพลิง ในปีพ.ศ.2579

สัดส่วนของโรงไฟฟ้าถ่านหิน/ลิกไนต์ ตามแผน PDP 2015 มีกำลังการผลิตที่ 7,390 เมกะวัตต์ คิดเป็น ร้อยละ 12.86 จากการคาดการกำลังการผลิตตามแผน PDP 2015 ที่ 57,459 เมกะวัตต์

2.5.2 อ้อยและเถ้าชานอ้อย (Sugar Cane and Bagasse Ash: BA)

อ้อย (Sugar-cane) [20] เป็นพืชในกลุ่ม พืชตระกูลหญ้า ชื่อทางวิทยาศาสตร์ Saccharunm officinarum Linn จัดอยู่ใน หมวด Magnoliophyta ชั้น Lilopsida อันดับ Poales วงศ์ Poaceae สกุล Saccharum L. เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย อีกทั้งยังมีพื้นที่ในการปลูกมากในเขตภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันตกบางส่วน จากรายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ของคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล พบว่าสถานการณ์พื้นที่ปลูกอ้อยฤดูการผลิตปี 2556/2557 มีพื้นที่การปลูกเพิ่มขึ้นมากกว่าฤดูกาลที่ผ่านมา 2555/2556 [21] เนื่องจากมีปัจจัยด้านราคาอ้อยขั้นต้นและเงินค่าช่วยเหลือค่าอ้อยขั้นต้นและผลตอบแทนการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลขั้นต้นฤดูกาลผลิต รวมทั้งผลตอบแทนการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายขั้นสุดท้าย

เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดสถานการณ์การเพิ่มพื้นที่การปลูกและคาดการณ์ว่าปริมาณการปลูกจะยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากปัจจัยดังกล่าวแสดงได้ดังแผนที่แสดงพื้นที่การปลูก [21]



รูปที่ 7 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยและที่ตั้งโรงงานน้ำตาลประเทศไทยปีการผลิต 2556/2557

(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล)

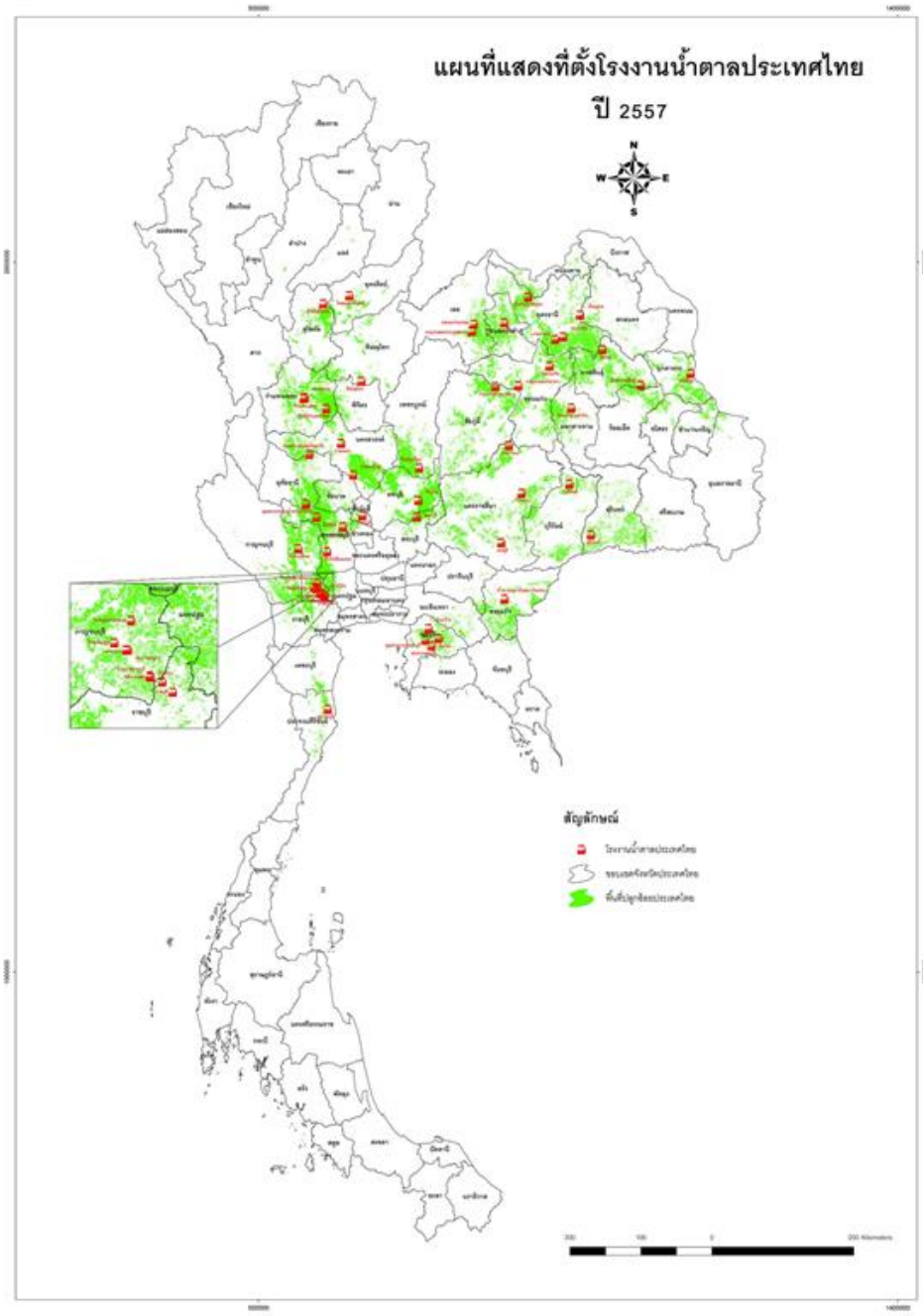
พื้นที่การปลูกอ้อยที่เพิ่มขึ้นทำให้ฤดูกาลที่ผ่านมามีปริมาณอ้อยที่ต้องส่งเข้าโรงงานน้ำตาลเพื่อผลิตน้ำตาลแยกรายภาคโดยข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณอ้อยที่ต้องส่งเข้าโรงงานน้ำตาลแยกรายภาค ปี พ.ศ.2557

ภาค	ปริมาณอ้อยส่งโรงงาน(ตัน)		
	อ้อยสด(ตัน)	อ้อยไฟไหม้(ตัน)	รวม(ตัน)
เหนือ	7,075,921.920	17,113,810.740	24,209,736.660
กลาง	9,599,583.430	20,479,003.130	30,078,586.560
ตะวันออกเฉียงเหนือ	20,013,175.215	24,892,009.025	44,905,184.240
ตะวันออก	1,235,012.170	3,237,234.830	4,472,247.000
รวมทั้งประเทศ	37,923,692.735	65,742,057.725	103,665,750.460

(ที่มา สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล)

นอกจากนี้จากข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลเกี่ยวกับโรงงานน้ำตาลที่มีศักยภาพการนำชานอ้อยที่เหลือจากกระบวนการหีบเพื่อทำน้ำตาล ไปผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงานและจำหน่ายให้แก่การไฟฟ้า ตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ ขึ้นไปมีทั้งสิ้น 51 โรงงานกระจายทั่วประเทศ แสดงได้ดังรูป



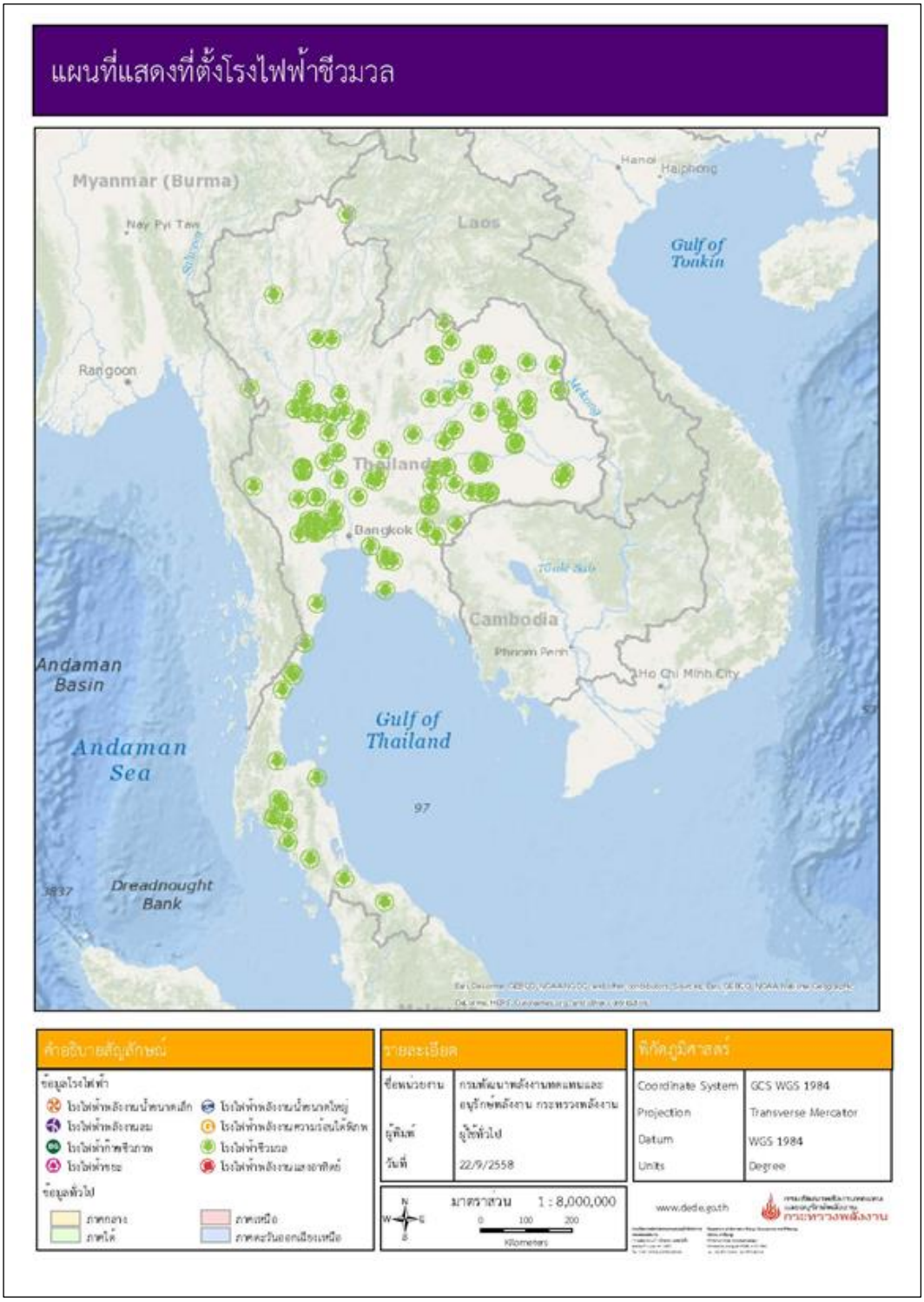
รูปที่ 8 แผนที่ตั้งโรงน้ำตาลที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เมกะวัตต์ขึ้นไป
(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล)

ดังนั้นปริมาณการใช้ชานอ้อยเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจึงมีปริมาณสูงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดเถ้าจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เรียกว่า “เถ้าชานอ้อย” เฉลี่ยในแต่ละปีจะมีเถ้าชานอ้อยที่เกิดจากการนำชานอ้อยไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้าราว 600,000 ตันต่อปี [9] และจะเพิ่มสูงขึ้นทุกปีเนื่องจากความต้องการบริโภค และนโยบายที่ภาครัฐสนับสนุน จากเป้าหมายการดำเนินการที่สำคัญที่ระบุไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (AEDP 2015) ที่ผ่านความเห็นชอบของ คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) โดยนายกรัฐมนตรีเป็นประธาน เมื่อวันที่ 17 กันยายน 2558 ด้วยการเพิ่มสัดส่วนของการผลิตความร้อนด้วยพลังงานทดแทน จากปัจจุบันร้อยละ 17 เป็นร้อยละ 30 – 35 ของปริมาณความต้องการความร้อนรวมของประเทศ ประกอบกับแนวทางดำเนินการที่สำคัญ ในการส่งเสริมการใช้ B10 ทั้งภาคขนส่งและภาคอุตสาหกรรม พัฒนายานยนต์ที่สามารถใช้ไบโอดีเซลในสัดส่วนสูง จูงใจให้มีการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ เพิ่มจำนวนยานพาหนะที่รองรับ E20[8]/E85[9] เพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิตวัตถุดิบสำหรับเอทานอล เป็นต้น[18]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[8] น้ำมันที่มีส่วนผสมของน้ำมัน 80 % อีก 20 % นั้นเป็นเอทิลนอลแอลกฮอล์

[9] น้ำมันที่มีส่วนผสมของน้ำมัน 15 % อีก 85 % เป็นเอทิลแอลกฮอล์



รูปที่ 9 แผนที่ตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลทั้งประเทศไม่แยกเชื้อเพลิง ปี 2558

(ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)

จากรูปที่ 9 ปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าชีวมวลที่กระจายอยู่ทั่วประเทศ ในอนาคตจากแนวทางดำเนินการที่สำคัญ ที่บรรจุในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (AEDP 2015) [22] ดังกล่าวจะทำให้จำนวนโรงไฟฟ้าชีวมวลเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

เถ้าชานอ้อย เกิดจากกระบวนการนำชานอ้อยในกระบวนการผลิตน้ำตาลซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้หลังจากการผลิตน้ำตาลในโรงงานผลิตน้ำตาล นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชีวมวลด้วยการนำชานอ้อยมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อต้มน้ำในหม้อต้มน้ำให้เกิดไอน้ำและไอน้ำที่ได้ไปผลิตกระแสไฟฟ้า นำมาใช้ในโรงงานน้ำตาลและที่เหลือก็ส่งขายให้แก่การไฟฟ้าฯ ในรูปแบบ VSPP[10] นอกจากกระบวนการผลิตที่ได้ กระแสไฟฟ้า ยังมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการคือเถ้าชานอ้อย ซึ่งมีจำนวนมากส่งผลทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของการจัดการกาก หรือของเสียจากอุตสาหกรรม ซึ่งมีวิธีการที่หลากหลาย เช่น การนำเอาเถ้าชานอ้อยไปเป็นวัสดุปรับปรุงดิน เป็นต้น แต่ด้วยปริมาณที่มีมหาศาล จึงมีแนวความคิดที่จะนำเถ้าชานอ้อยไปกำจัดด้วยการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ จึงได้มีการคิดค้น วิจัยและพัฒนาพบว่า ในเถ้าชานอ้อยมีส่วนประกอบทางเคมี [23] ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 10 ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อย

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์	เถ้าชานอ้อย		
	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	จากลพบุรี	จากราชบุรี	จากนครสวรรค์
Silicon Dioxide (SiO_2)	20.80	59.3	67.1	54.5
Aluminium Oxide (Al_2O_3)	5.50	4.5	4.5	6.0
Iron Oxide (Fe_2O_3)	3.16	3.4	2.4	3.2
Calcium Oxide (CaO)	64.97	14.8	3.6	15.4
Magnesium Oxide (MgO)	1.06	1.8	2.1	1.4
Potassium Oxide (K_2O)	0.55	2.7	4.3	0.1
Sulfur Trioxide (SO_3)	2.96	1.6	1.6	0.1
Loss On Ignition (LOI)	2.89	9.1	13.7	19.4
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	-	69.2	73.9	63.7

(ที่มา: วารสารคอนกรีต สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย)

[10] Very Small Power Producer

ตารางข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยบดละเอียดจากแหล่งผลิต 3 จังหวัดซึ่งเป็นตัวอย่างของแหล่งผลิตในประเทศไทยเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าเถ้าชานอ้อยทั้ง 3 แหล่ง มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์เป็นหลักและมีปริมาณเฉลี่ยสูงมากกว่าร้อยละ 50 ขององค์ประกอบทางเคมี และมีความละเอียดสูงหรือสามารถทำให้มีความละเอียดสูงได้ และไม่เป็นผลึกสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ได้

ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยที่มีปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์สูงจึงมีการคิดค้นเพื่อนำเอากากของเสียที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลมาใช้ประโยชน์ในส่วนของการนำมาเป็นส่วนผสมในรูปแบบวัสดุปอซโซลานธรรมชาติ ชนิดปอซโซลานทางการเกษตร เพื่อเป็นการนำเอาเศษวัสดุ หรือการของเสียมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และการต้านการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า หรือการนำไปปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น [19]

2.5.3 ปาล์มน้ำมันและเถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil and Palm Oil Fuel Ash: POFA)

ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) [24] เป็นพืชตระกูลปาล์ม ลักษณะลำต้นเดี่ยว ชื่อทางวิทยาศาตร์ Elaeis guineensis Jacq. จัดอยู่ในหมวด Magnoliophyta ชั้น Guineensis อันดับ Elaeis วงศ์ Palmae เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ยังมีพื้นที่ปลูกมากในเขตภาคใต้ และมีการปลูกทั่วทุกภาค

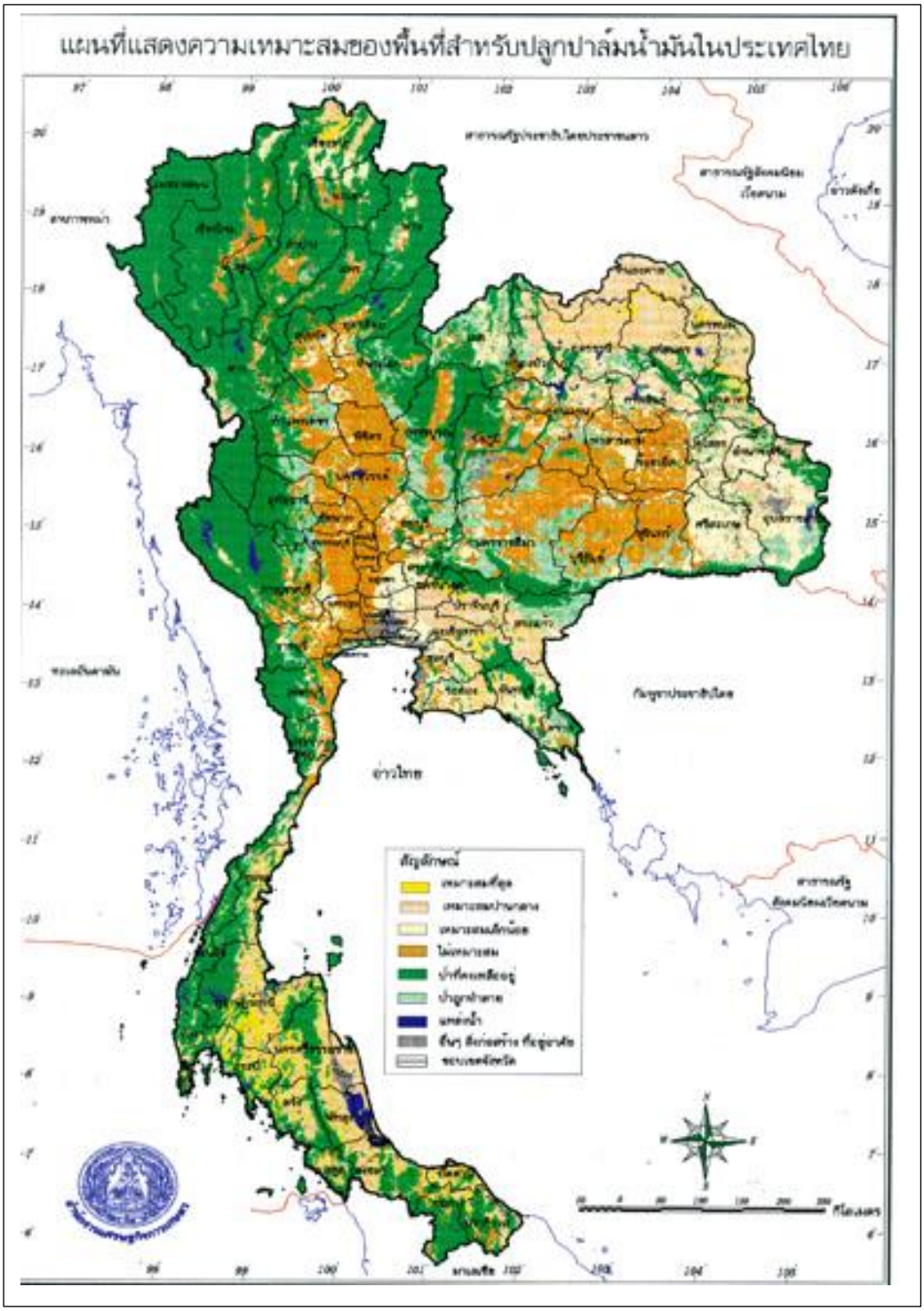
เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการเผาเศษกะลาและเส้นใยของผลปาล์มที่อุณหภูมิสูง เพื่อใช้เป็นเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ในโรงไฟฟ้าชีวมวล ในแต่ละปีประเทศมีเถ้าปาล์มน้ำมันซึ่งผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยปาล์มน้ำมัน มากกว่า 300,000 ตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี จากความต้องการและมาตรการส่งเสริมใช้ เชื้อเพลิงประเภท Bio Fuel ไบโอดีเซล[11] ประกอบกับผลิตภัณฑ์จากปาล์มน้ำมันยังเป็นเป็นส่วนประกอบหลักในหลายอุตสาหกรรม ส่งผลให้พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น สิ่งที่ตามมาคือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันก็สูงตามเช่นเดียวกัน ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ข้อมูลปี 2555 พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งสิ้น 4,385,804 ไร่ และมีผลผลิตเป็นอันดับ 3 ของโลก เถ้าปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นผงฝุ่นน้ำหนักเบาฟุ้งกระจายได้ง่าย มีการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์น้อมมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการกำจัด ก่อให้เกิดปัญหาสภาพแวดล้อม

[11] ไบโอดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการผลิตจากน้ำมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ ผสมกับเอทานอล (Ethanol) หรือ เมทานอล (Methanol) เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงโมเกุลเล็กลง ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและสามารถใช้ทดแทนน้ำมันได้

จากการศึกษาวิจัย [25] วัสดุปอซโซลานชนิดใหม่ที่ใช้ในงานคอนกรีต เช่น เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าทางการเกษตรอื่นๆ ของ ศาสตราจารย์ ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ได้รับรางวัล นักวิจัยดีเด่นแห่งชาติ ประจำปี 2556 ของสภาวิจัยแห่งชาติ พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและเป็นคุณสมบัติของวัสดุประสานอันได้แก่ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน ตามมาตรฐาน ASTM C 618 พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันสามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานได้ โดยการศึกษาพบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดและบดละเอียดมากขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 19.9 และ 10.1 ไมครอน ตามลำดับสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมมอร์ต้าในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถทำให้กำลังอัดสูงกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ต้ามาตรฐาน อายุ 7 วัน และ 28 วัน สำหรับเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดมาก อนุภาคเฉลี่ย 10.1 ไมครอน เป็นส่วนผสมของมอร์ต้าในอัตราร้อยละ 10 และ 20 ที่อายุ 90 วัน มีกำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้ามาตรฐาน โดยเท่ากับร้อยละ 104 และ 101 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ดี

นอกจากนี้ผลการศึกษาของ วันชัย และคณะ เกี่ยวกับการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ในงานคอนกรีตกำลังสูง พบว่าสามารถนำเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตกำลังอัดสูงได้ ด้วยอัตราส่วนสูงสุดที่ร้อยละ 30 และที่อัตราส่วนร้อยละ 20 ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่ามีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมเขม่าซิลิกา (Silica fume) ร้อยละ 5 มีกำลังอัดสูงถึง 88 – 91 เมกะปาสคาล เมื่อใช้เถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10.1 ไมโครเมตร แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 – 30 [19]

ดังนั้นจากนโยบายทางรัฐบาลที่มีการส่งเสริมให้มีการปลูกปาล์มน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นแล้ว ปริมาณกากปาล์มที่เกิดขึ้นตลอดจนเถ้าปาล์มนำมันเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในปัจจุบันมีเถ้าที่เกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันปีละประมาณ 300,000 ตัน คาดการณ์ว่าจะจะมีปริมาณของเถ้าปาล์มน้ำมันมากกว่า 4 เท่าในอนาคต



รูปที่ 10 แผนที่พื้นที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทย

(ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร)

2.6 วรรณกรรมปริทัศน์ที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.6.1 ศึกษาการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

1. Zongguo Wen , Min Chen , Fanxin Meng (2014:227-237) [26] การประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของจีนที่ใช้รูปแบบของ Asia-Pacific Integrated Model (AIM) และเทคโนโลยีจากการสนับสนุนด้านนโยบาย ได้ศึกษาอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศจีน ซึ่งอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จำนวนมากที่ยังใช้เตาเผาที่เสื่อมคุณภาพและมีเทคโนโลยีที่ล้าสมัย เป็นอุปสรรคในการปรับปรุงประสิทธิภาพของพลังงาน โดยอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้ความเข้มพลังงานค่อนข้างสูงมากในกระบวนการผลิต การพัฒนาศักยภาพของการประหยัดพลังงานและการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของจีนในระหว่างช่วงปี คศ.2010 ถึง ปี คศ.2020 โดยศึกษาจากการนำรูปแบบพื้นฐานของ AIM ด้วยการวางแผนภาพแบบจำลองอนาคต ถึง 3 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองกรณีฐาน แบบจำลองกรณีที่มีการบูรณาการนโยบาย และแบบจำลองจากการใช้นโยบายที่มีความเด็ดขาด เพื่อใช้ศึกษาว่าในอนาคตมาตรการนโยบายทางด้านเทคโนโลยีที่มีความเกี่ยวเนื่องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จะมีแนวโน้มอย่างไรตามแนวทางของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของจีนฉบับที่ 12 ที่กล่าวว่า จะมีการเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และปัญหาอุปสรรคที่ตามมาจากการเติบโตนี้จะส่งผลให้การใช้พลังงานและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงตามไปด้วย ในงานวิจัยฉบับนี้มีวิธีการวิจัยโดยใช้ AIM ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์กระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกร่วมกับ การจำลองการไหล(simulation flow) กรอบทางเลือกเทคโนโลยี กระบวนวิธีการการเพิ่มประสิทธิภาพรูปแบบการก่อสร้าง และใช้ข้อมูลสำหรับการวิจัย เช่น ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในแต่ละปี ปริมาณเชื้อเพลิง หรือพลังงานที่ใช้และมีความสัมพันธ์กับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทคนิคต่างๆ รวมไปถึงนโยบายหรือมาตรการประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ 3 สามารถอธิบายศักยภาพของการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 361 Mt_{CO2} หรือประมาณ 25.24% ของประมาณการการปล่อยและด้วยศักยภาพดังกล่าวส่งผลให้มีการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น 39.0 ล้านตัน เทียบเท่าถ่านหินในปี คศ.2020 โดยมีมาตรการสนับสนุนให้ปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางอุตสาหกรรมเป็นมาตรการหลักที่สามารถประหยัด

พลังงานและส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมซีเมนต์ลดลง ผลดังกล่าวจะส่งผลให้การลดการปลดปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์หลังจากปี คศ.2016 มากกว่าร้อยละ 50

2. Jing Ke,Nina Zheng,David Fridley,Lynn Price,Nam Zhou (2012: 739-751) [27] การวิเคราะห์ด้านพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพื่อศึกษาแนวโน้มของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศจีนในปัจจุบัน มีรูปแบบของระดับการผลิตปูนซีเมนต์ อัตราการปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานรวมถึงการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างปี ค.ศ.2011 – 2030 ด้วยการกำหนดแนวทางเพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การผลิตที่ผ่านมาจนถึงอนาคตทั้งด้านปัจจัยกายภาพและตัวการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจมหภาค 3 ตัว ได้แก่ 1.การก่อสร้างอาคารและโครงสร้างพื้นฐาน (Building and Infrastructure Construction –based: BIC) 2. ความต้องการบริโภคสูงสุดต่อหัว (a Peak Consumption Per Capita-based: PCPC) และ 3. การลงทุนในสังหาริมทรัพย์ (a Fixed Assets Investment-based: FAI) พร้อมทั้งนำข้อมูลจากแนวทางดังกล่าวมาสร้างแผนภาพอนาคตเพื่อจำลองสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดจำนวน 4 แผนภาพ คือ 1.Frozen Scenario สร้างจากฐานข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมจีนปี 2009 2.Reference Scenario ปรับปรุง Frozen Scenario คิดจากแนวโน้มที่ผลิตได้ 3.Efficiency Scenario ปรับปรุง Frozen Scenario ในส่วนมาตรการปรับปรุงการใช้พลังงาน 4.The Best Practice Scenario เตาเผาแบบโรตารี่และเตาเผาแบบเพลา ร่วมกับเชื้อเพลิงและพลังงาน การนำเทคโนโลยีเตาเผาแบบโรตารี่ (Rotary) และเทคโนโลยีเตาเผาแบบเพลา (Shaft) รวมทั้งประเภทเชื้อเพลิงและพลังงาน ได้แก่ ถ่านหิน ไฟฟ้า ชีวมวล และเชื้อเพลิงทดแทนประเภทต่างๆ ทิศทางการข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยรวม การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ามาวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาแนวทางดังต่อไปนี้ 1.การบริโภคพลังงานและการปล่อย CO_2 ในปัจจุบัน 2.ทิศทางอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของจีนจนถึงปี 2030 ร่วมกับตัวขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ 3.ศักยภาพการลดใช้พลังงานและการลดการปล่อย CO_2 ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของจีน (1.สันนิษฐานจากแผนภาพ 2.การสร้างแบบจำลองและผลลัพธ์) 4.แนวโน้มในอนาคตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของจีน ผลการวิเคราะห์ทั้ง 4 แผนภาพ แสดงให้เห็นผลลัพธ์ว่า ศักยภาพสำหรับการประหยัดพลังงานระดับสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นจาก 27.1 เอกซะจูลส์ เป็น 37.5 เอกซะจูลส์ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการใช้พลังงานสามารถช่วยลดการปล่อยในกระบวนการได้สูงขึ้น จาก 3.2 กิกะตัน เป็น 4.4 กิกะตัน ในช่วงปี ค.ศ.2011 – 2030 ภายใต้แผนภาพการปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) การปรับปรุงอย่าง

ต่อเนื่องส่งผลให้ประหยัดพลังงานระดับสุดท้ายเพิ่มขึ้นจาก 6.0 เป็น 18.9 เอกซะจูลส์ การลดการปล่อย CO_2 จาก 1.0 เป็ 2.4 กิกะตัน ทำให้คาดการณ์แนวโน้มอนาคตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศจีน ตามทฤษฎีการปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะส่งผลให้การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามไปด้วย จุดเด่นของงานวิจัยฉบับนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นมาตรการและนโยบายที่สำคัญสำหรับการลดใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์และประมาณความเข้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2

3. Hrvoje Mikulc˘ic´, Milan Vujanovic´, NevenReducing (2013: 41-48) [28] การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศโครเอเชีย การศึกษาการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ของประเทศโครเอเชีย มีจุดเด่นที่สำคัญด้วยการนำผลของวิธีจำลองทางกลศาสตร์ของไหลเชิงคณนา (Computational Fluid Dynamic :CFD) เข้ามาใช้ในกระบวนการทดสอบและการปล่อยก๊าซเผาไหม้ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ร่วมกับมาตรการที่ต้องการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เช่น มาตรการการนำความร้อนทิ้งเหลือใช้กลับมาใช้งาน มาตรการนำเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาตรการการนำเชื้อเพลิงทดแทนเข้ามาใช้ เป็นต้น แต่เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานมากที่สุด คือการนำเตาเผาแบบโรตารีด้วยกระบวนการหลายขั้นตอนเข้ามาปรับปรุงกระบวนการ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในงาวิจัยนี้มีการศึกษาการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยการจำลองแผนภาพ (Scenario) ขึ้นเพื่อใช้ศึกษา ดังนี้ กำหนดแผนภาพเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษา 3 แผนภาพ คือ แผนภาพกรณีฐาน แผนภาพที่ 1 ของการลด (สถานะการณการใช้พลังงานเฉพาะตามเกณฑ์มาตรฐานในปัจจุบันจนถึงปี 2020) และแผนภาพที่ 2 ของการลด(การผลิตที่ลดต่ำลงจากการสันนิษฐานของแผนภาพที่ 1) ผ่านโมเดลทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาผลลัพธ์จากมาตรการ 3 แนวทางคือ มาตรการลดอัตราส่วนปูนเม็ดต่อซีเมนต์ ด้วยการเติมแต่งสารที่มีความแตกต่างกัน มาตรการเปลี่ยนเชื้อเพลิงฟอสซิลด้วยเชื้อเพลิงทดแทน(พลังงานทดแทน ชีวมวล) และมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาเผาที่มีอยู่ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ของ CDF ที่ได้จากการศึกษาร่วมระหว่างมาตรการทั้ง 3 มาตรการและ CDF สรุปได้ว่า เมื่อมีการดำเนินการมาตรการแล้วพบว่าผลการวิเคราะห์ของ CDF แสดงให้เห็นว่ามาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเตาเผาส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นและเป็นมาตรการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4. Pardo, Nicolás, José Antonio Moya, and Arnaud Mercier (2011:3244-3254) [29] ความคาดหวังบนประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปล่อย CO_2 ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของสหภาพยุโรป อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นภาคอุตสาหกรรมที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงในกลุ่มอุตสาหกรรมของสหภาพยุโรป การนำเสนองานการวิเคราะห์การปรับปรุงศักยภาพในส่วนของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการลดการปล่อย CO_2 สำหรับภาคอุตสาหกรรมในช่วงปัจจุบันจนถึงปี 2030 โดยใช้แบบจำลองแผนภาพอนาคต (Scenario) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ มีการสร้างแผนภาพต่างๆได้แก่ แผนภาพปัจจุบันที่ดำเนินการจากพัฒนาการของภาคอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ Baseline : BS และ แผนภาพทดแทน 2 แผนภาพ Alternative Scenario (AS1,AS2) เพื่อศึกษาความอ่อนไหวของราคาเชื้อเพลิง และราคาการปล่อย CO_2 ผลลัพธ์ของ BS แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังความร้อนและการปล่อย CO_2 ต่อตันปูนเม็ดซีเมนต์อยู่ที่ 11% และ 3.7% ตามลำดับในปี 2030 เปรียบเทียบด้วยระดับในปี 2002 อย่างไรก็ตาม สำหรับ AS1 และ AS2 ทั้ง 2 แผนภาพนี้เป็นแผนภาพของราคาเชื้อเพลิงและราคาของการปล่อย CO_2 ตามลำดับ โดยสามารถอธิบายด้วยความจริงที่ว่าจำนวนชุดติดตั้งเพิ่มเติมขนาดใหญ่เป็นความเป็นได้ในทางเศรษฐศาสตร์ใน BS ซึ่งนำไปสู่การลดในการใช้พลังงานความร้อน จากการศึกษาสรุปได้ว่า จาก BS ปริมาณการบริโภคพลังงานความร้อนต่อตันปูนเม็ดลดลงอยู่ที่ประมาณ 3795 เมกะจูลส์ ต่อตันในปี 2002 และประมาณ 3371 เมกะจูลส์ต่อตัน ในปี 2030 ซึ่งหมายความว่าประสิทธิภาพของพลังงานความร้อนโตขึ้นประมาณ 11% 2 ใน 3 ของปริมาณการปล่อย CO_2 ในโรงงานปูนซีเมนต์เนื่องมาจากการลดปริมาณคาร์บอนในวัตถุดิบ ดังนั้นปริมาณการลดที่ร้อยละ3.7 ของน้ำหนักโดยเฉลี่ยทั้งหมดของ การปล่อย CO_2 ต่อตันปูนเม็ด ลดลงจาก 882 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อตัน ในปี 2002 ถึง 849kg of CO_2 ต่อตันในปี 2030 น้ำหนักเฉลี่ยของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อตันปูนซีเมนต์ต่อเนื่องในทางปฏิบัติและการจำลอง อันเนื่องมาจากราคาค่าไฟฟ้าไม่ได้สูงพอค่าชดเชยการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับโรงงานปูนซีเมนต์หรือการติดตั้งกระบวนการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้งาน สุดท้ายน้ำหนักต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อตันปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ร้อยละ6.48 จาก 58.60€ ต่อตันในปี 2002 ถึง 68.38 € ต่อตันในปี 2030 อันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงทดแทน การลดปริมาณการใช้ปูนเม็ดไปสู่การผลิตปูนซีเมนต์ และการปรับปรุง

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จะไม่ได้เข้ามาชดเชยราคาเชื้อเพลิง ราคา ไฟฟ้า และราคาการปล่อย CO_2 สำหรับ แผนภาพ AS1และ AS2 จากกรณีที่ราคาเชื้อเพลิงและราคาการปล่อย CO_2 ที่ศึกษา การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานระดับสูงสุดในแต่แผนภาพทดแทนได้ประสบความสำเร็จด้วยตัวแปร 10x-Fuel และ 150€- CO_2 แม้กระนั้น การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มเติม สำหรับแผนภาพทดแทน ที่ร้อยละ 1.25 และร้อยละ 1 ตามลำดับเปรียบเทียบกับผลของ BS ในปี 2030 จึงอธิบายได้ว่าจำนวนชุดติดตั้งเพิ่มเติมขนาดใหญ่มีความเป็นได้ในทางเศรษฐศาสตร์ใน BS ซึ่งนำไปสู่การลดใช้พลังงานความร้อนอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ การลดการปล่อย CO_2 ที่ต่ำลงต่อการผลิต ด้วยการปรับปรุงสำหรับกรณี 10x-Fuel และ 150€- CO_2 เป็น ร้อยละ0.22 และ ร้อยละ0.43 ตามลำดับเปรียบเทียบกับ BS ในปี 2030 การจากศึกษามาตรการใน AS1 และ AS2 มุ่งเน้นที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อน โดยค่าถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักการใช้พลังงานไฟฟ้าจะถูกเก็บไว้ที่ค่าเดียวกันของ BS การเพิ่มขึ้นของราคาค่าเชื้อเพลิงหรือราคาการปล่อย CO_2 เป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลในค่าใช้จ่ายถัวเฉลี่ยน้ำหนักต่อตันปูนซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างที่สูงที่สุดมีการผลิตในกรณี 10x-Fuel และ 150€- CO_2 จะช่วยให้เพิ่มขึ้นตามลำดับที่ร้อยละ 78.87 และร้อยละ 128.70 เมื่อเทียบกับ BS ในปี 2030 อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่จะสูญเสียความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ยุโรป ส่งผลให้การนำเข้าปูนซีเมนต์จากภูมิภาคที่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่ำกว่าและมีนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่ไม่เข้มงวดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามแรงกดดันจากชาติสมาชิกในสหภาพยุโรปเองไม่ได้เป็นแค่อุปสรรคของต้นทุนการดำเนินการที่มีความแตกต่างระหว่างประเทศผู้ผลิตที่เป็นสมาชิกสหภาพยุโรปและที่ไม่ได้เป็นสมาชิกสหภาพยุโรป แต่จะได้รับต้นทุนค่าใช้จ่ายส่วนต่างที่เกิดขึ้น เช่นอุปสรรคทางการค้า ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง การห้ามนำเข้า ความสมดุลระหว่างกำลังการผลิตและการบริโภค ค่าใช้จ่ายที่ไม่แน่นอน ความแตกต่างของการผลิตและบริการที่แตกต่างกัน การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของวัตถุดิบและเชื้อเพลิง การเผาไหม้ในเตาเผาที่มีการผลิต CO_2 ที่มีความเข้มสูงในไอเสียที่เกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะนำเอาเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน CCS เข้ามาเพื่อลดปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นในระดับอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ แต่ด้วยแบบจำลองไม่ได้นำ CCS เข้ามาร่วมในการศึกษานี้ อีกทั้ง AS2 จะช่วยให้เงื่อนไขที่ดีที่สุดที่จะนำ

เทคโนโลยีนี้มาใช้ เนื่องจากราคาการปล่อย CO_2 ที่ไม่สูงเกินไปที่จะชดเชยค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ตั้งข้อสังเกตว่าการลดลงของค่าใช้จ่ายเงินลงทุนเริ่มต้นของ CCS จะทำให้เทคโนโลยีมีศักยภาพทางเศรษฐกิจ และเป็นเสาหลักที่สำคัญของการลดการปล่อย CO_2 ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์รูปแบบที่ถูกพัฒนานี้ได้ให้ผลเชิงตัวเลขที่คำนึงถึงข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของรูปแบบ ผลที่ได้จึงควรเป็นการพิจารณาในกรอบของการวิเคราะห์เท่านั้น

5. Ali Hasanbeigi , William Morrow , Eric Masanet, Jayant Sathaye , Tengfang Xu (2013: 287-297) [30] ในปี 2010 การผลิตปูนซีเมนต์ทั่วโลกกว่าครึ่งหนึ่งมากจากประเทศจีน ซึ่งสามารถผลิตปูนซีเมนต์ได้สูงถึง 1,868 Mt การศึกษาและวิเคราะห์เทคโนโลยีทางด้านประสิทธิภาพพลังงานและมาตรการที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ มีจุดประสงค์ที่ปรับปรุงการใช้พลังงานและการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ Conservation Supply Curve (CSC) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งกระบวนการจัดการและมุมมองทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการอนุรักษ์พลังงาน ใช้รูปแบบของ CSC Bottom-up ,ประสิทธิภาพต้นทุน เทคนิคทางไฟฟ้า และการประหยัดพลังงาน รวมไปถึงศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยศึกษาระหว่างปี 2010 – 2030 ด้วยการเปรียบเทียบมาตรการและเทคโนโลยี 23 อย่าง จาก กลุ่มการเตรียมเชื้อเพลิง กลุ่มการเตรียมวัตถุดิบ กลุ่มผลิตปูนเม็ด กลุ่มกระบวนการบด กลุ่มมาตรการทั่วไป และกลุ่มเปลี่ยนแปลงผลผลิต พบว่า ประสิทธิภาพของต้นทุนการใช้พลังงานสะสม อยู่ที่ประมาณ 247 TWh ผลประหยัดโดยรวมของเทคนิคทางไฟฟ้ามีศักยภาพ ประมาณ 272 TWh และผลของประสิทธิภาพของต้นทุนการใช้พลังงานสะสมและผลประหยัดโดยรวมของเทคนิคทางไฟฟ้าส่งผลให้การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 138 Mt_{CO2},153 Mt $_{CO2}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการคิดในส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้จาก FCSC (Fuel Conservation Supply Curve) ประสิทธิภาพของต้นทุนการใช้พลังงานสะสม อยู่ที่ประมาณ 4,106 PJ เทียบเท่าผลของศักยภาพทางเทคนิคที่ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 384 Mt_{CO2} จากการเปรียบเทียบผลสำเร็จจากการประหยัดพลังงานหลักด้วยการดำเนินการมาตรการด้านประสิทธิภาพ มากกว่า 20 ปี หรือเทียบเท่าประมาณ

ร้อยละ 30 ของการจัดหาพลังงานหลักของภูมิภาค ลาตินอเมริกาหรือ ภูมิภาคตะวันออกกลางและ71% ของการจัดหาพลังงานหลักประเทศบราซิล ในปี 2007

6. Yufei Wang,Samuel Holler,Perter Viebahn,Zhengping Hao (2014: 27-36) [31] การประเมินแบบบูรณาการของเทคโนโลยีการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ได้ศึกษาศักยภาพในการประเมินศักยภาพการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการคำนวณค่าใช้จ่ายหลีกเลี่ยงการใช้ข้อแตกต่างในแต่ละเทคโนโลยีที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศจีน ได้แก่ การปรับปรุงการใช้พลังงาน การใช้เชื้อเพลิงทดแทน การใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด และกระบวนการดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ โดยออกแบบแผนภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ จากช่วงระยะเวลา ปี ค.ศ. 2010 -2050 (40 ปี) โดยกำหนดแผนภาพจาก กรณีฐาน (business as usual) กรณีคาร์บอนต่ำ 1 กรณี คาร์บอนต่ำ 2 โดยในกรณีฐานกำหนดจากนโยบายปัจจุบันและแนวโน้มของการพัฒนาการผลิตปูนซีเมนต์ กรณีคาร์บอนต่ำ 1ใช้ประมาณการความต้องการบริโภคปูนซีเมนต์ต่อหัวในแต่ละปีนับจากช่วงหลังปี ค.ศ.2035 กรณีคาร์บอนต่ำ 2 ใช้ประมาณการข้อมูลจากผลลัพธ์ที่ได้จากการผลิตปูนซีเมนต์ต่อปี โดยทั้งกรณีคาร์บอนต่ำ 1และ 2 เปรียบเทียบกับเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และปริมาณขั้นต่ำของการผลิตปูนซีเมนต์ด้วยอัตราขั้นต่ำของ GDP และนำเทคโนโลยีต่างๆกับแผนภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการลดคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่แล้วลดได้จาก การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การนำเชื้อเพลิงทดแทนเข้ามาใช้ และเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ด ซึ่งการลดอัตราส่วนของปูนเม็ดไปเป็นปูนซีเมนต์จลอดจนความเข้มของพลังงาน ส่งผลดีกับค่าใช้จ่ายอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ รวมไปถึงการดักจับหลังกระบวนการเผาไหม้และดักจับเชื้อเพลิงออกซิเจน มีบทบาทสำคัญในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และจะเริ่มเข้ามามีบทบาทในเชิงธุรกิจในปี ค.ศ. 2030 เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีดังกล่าวยังมีต้นทุนสูงมาก ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้ชี้ให้เห็นว่าทั้ง 4 เทคโนโลยีที่จะนำมาช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ล้วนแล้วมีศักยภาพทั้งการลดและต้นทุนทางเศรษฐกิจ ผลการคาดการจากแผนภาพร่วมกับเทคโนโลยีทั้ง 3

แผนภาพส่งผลให้เกิดการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนถึงปี ค.ศ. 2050 ที่ 2.5 , 4.7 และ 4.3 Gt_{CO2}

2.6.2 ศึกษาวัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อใช้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

1. อธิพงษ์ ลัดดาพันธ์,กิตติ คุณากรสวัสดิ์ (2008) [32] ได้ศึกษาการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร คือ เถ้าชานอ้อย นำมาเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (มอร์ต้าประเภทก่อ) ด้วยคุณสมบัติของชานอ้อยที่มีส่วนประกอบของซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก นำมาใช้ในการพัฒนาด้านสมบัติเชิงกล และศึกษาสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยการวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ รวมทั้งความละเอียดระดับอนุภาคของเถ้าชานอ้อยก่อนนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด ซึ่งเป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าที่สุด และก่อให้เกิดรายได้จากการนำเถ้าชานอ้อยไปใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในอนาคต

2.6.3 สรุปวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทั้ง 7 วรรณกรรม โดยหลักแล้วมีการดำเนินการเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีประสิทธิภาพความร้อนและไฟฟ้า (Thermal and Electricity Efficiency) และ การใช้เชื้อเพลิงทดแทน (Alternative Fuel Use) นอกจากนี้ยังมีการประเมินศักยภาพหรือเนื้อหาของวรรณกรรมที่นำเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ด (Clinker Substitution) และ เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage) มาร่วมวิเคราะห์และศึกษาแนวทางที่จะนำไปสู่การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในแต่ละภูมิภาคอีกด้วย ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสรุปได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 บทสรุปจากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับงานวิจัย

แหล่งข้อมูล	เทคโนโลยี			
	ปรับปรุงประสิทธิภาพไฟฟ้าและความร้อน	ใช้เชื้อเพลิงทดแทน	วัสดุทดแทนปูนเม็ด	ดักจับและกักกเก็บคาร์บอนไดออกไซด์
Zongguo Wen , Min Chen , Fanxin Meng (2014:227-237)	√			
Jing Ke,Nina Zheng,David Fridley,Lynn Price,Nam Zhou (2012: 739-751)	√	√		
Hrvoje Mikulc˘ic´, Milan Vujanovic´, NevenReducing (2013: 41-48)	√	√		√
Pardo, Nicolás, José Antonio Moya, and Arnaud Mercier (2011:3244-3254)	√	√		√
Ali Hasanbeigi , William Morrow , Eric Masanet, Jayant Sathaye , Tengfang Xu (2013: 287-297)	√	√	√	
Yufei Wang,Samuel Holler,Perter Viebahn,Zhengping Hao (2014: 27-36)	√	√	√	√
อธิพงษ์ ลัดดาพันธ์,กิตติ คุณากรสวัสดิ์ (2008)			√	

จากตารางที่ 11 สรุปได้ว่าในวรรณกรรมที่ผู้วิจัยทบทวนนั้น มี 6 วรรณกรรมที่ศึกษาการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยนำเทคโนโลยีการประสิทธิภาพความร้อนและไฟฟ้า เทคโนโลยีใช้เชื้อเพลิงทดแทน เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ด และเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มี 1 วรรณกรรมที่ศึกษาทั้ง 4 เทคโนโลยี นอกจากนี้ยังมีการนำเทคโนโลยีนำเชื้อพลิงทดแทนเข้ามาดำเนินการร่วมในกระบวนการวิจัย โดยในมีเพียง 1 วรรณกรรมที่ศึกษาวัสดุทดแทนปูนเม็ด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นโอกาสและแนวทางการดำเนินการวิจัย เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาเป็นส่วนหลักของงานวิจัย เนื่องจากมีความคุ้มค่า การลงทุนต่ำ ประสิทธิภาพดีและเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

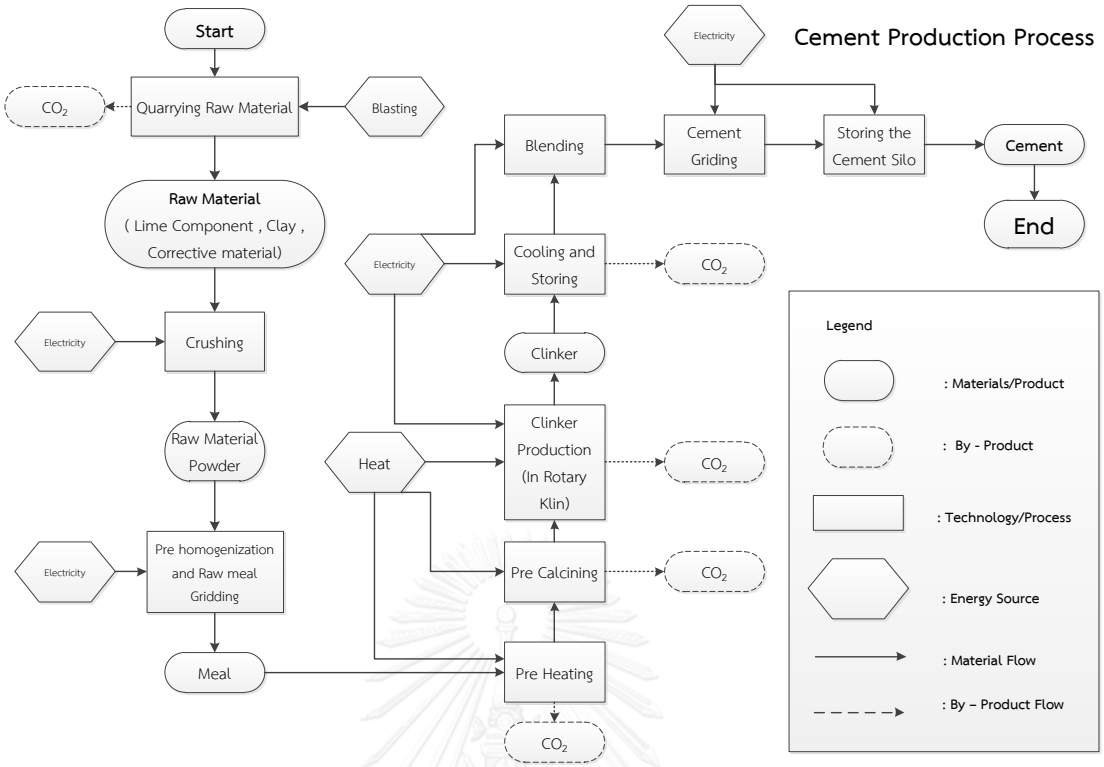
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก GHG Inventory

ในการจัดทำบัญชีการเรือนกระจก ผู้วิจัยอ้างอิงวิธีการจัดทำรายงานแห่งชาติ ด้วยการใช้วิธีการคำนวณตามคู่มือ การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติ ของ IPCC Revised 1996 จัดทำโดยคณะกรรมาธิการระหว่างรัฐบาลด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) และแนวทางการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ด้วยการปกป้องสภาพภูมิอากาศ ของทบวงพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency : IEA) ร่วมมือกับ สภานักธุรกิจโลกเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ (WBCSD: CSI) สำหรับงานวิจัยฉบับนี้มีรายละเอียดสำหรับวิธีการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก ดังนี้

3.1.1 พื้นฐานแนวคิด

แนวคิดในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการนำเสนอการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก ตามแนวทางของ WBCSD (CSI) เป็นหลัก เพื่อจัดทำบัญชีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผู้ศึกษารวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการผลิตปูนซีเมนต์ของประเทศไทยในปัจจุบัน โดยเฉพาะกระบวนการผลิตปูนเม็ดซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด มี 2 ปัจจัย คือ การปล่อยโดยตรง แบ่งเป็นการปล่อยจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตปูนเม็ด และกระบวนการเกิดปฏิกิริยาของวัตถุดิบในเตาเผา และการปล่อยโดยอ้อม จากการใช้พลังงานไฟฟ้า แสดงได้ดังแผนภูมิที่ 2



แผนภูมิที่ 2 ไดอะแกรมกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ของประเทศไทยที่มีแสดงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต

3.1.2 พิธีสารและมาตรฐานรายงานที่เกี่ยวข้อง

ก.พิธีสารก๊าซเรือนกระจก GHG Protocol

ถูกพัฒนาโดย World Resources Institute (WRI) และ World Business Council on Sustainable Development (WBCSD), เป็นการกำหนดมาตรฐาน วิธีการสำหรับทวนสอบ และรายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเป็นเครื่องมือที่มีการใช้งานแพร่หลายทั่วโลก ซึ่งนำไปสู่มาตรฐานการจัดการการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพ โดยพิธีสารก๊าซเรือนกระจกเป็นมาตรฐานความร่วมมือในการจัดหาและเป็นแนวทางสำหรับ บริษัท หน่วยงานและองค์กรต่างๆ ที่จะเตรียมการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยพิธีสารดังกล่าวครอบคลุม กระบวนการคิดคำนวณ และการรายงานผล ครอบคุลมก๊าซเรือนกระจกทั้ง 6 ชนิด ตามพิธีสารเกียวโต ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซมีเทน (CH_4), ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O), ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs), ก๊าซเพอร์ฟลูออคาร์บอน (PFCs), และ ซัลเฟอร์ เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) มาตรฐานความร่วมมือ GHG Protocol มีการแก้ไขเพิ่มเติมในเดือน พฤษภาคม 2556 ได้รวม ก๊าซ

ไนโตรเจน ไตรฟลูออกไรด์ (NF_3) รวมทั้งสิ้น 7 ชนิด ในการแก้ไขครั้งนี้มีรายละเอียดเพิ่มเติม ในส่วนของวัตถุประสงค์การออกแบบดังต่อไป

- เพื่อช่วยให้การเตรียมการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของบริษัท ซึ่งจะนำเสนอข้อเท็จจริงและความเที่ยงธรรมของการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบริษัท ผ่านการใช้วิธีการมาตรฐานและหลักการ
- เพื่อให้เกิดความง่ายและลดต้นทุนสำหรับการรวบรวมบัญชีก๊าซเรือนกระจก
- เพื่อจัดเตรียมข้อมูลทางธุรกรรมซึ่งสามารถใช้การประสิทธิภาพกลยุทธ์เพื่อจัดการและลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก
- เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความโปร่งใสในการคำนวณก๊าซเรือนกระจกและการรายงานผลที่มีในกลุ่มบริษัทและโครงการก๊าซเรือนกระจก

การสร้างเกณฑ์บนพื้นฐานความรู้และประสบการณ์ที่มากกว่า 350 ผู้นำที่มีความเชี่ยวชาญจาก นักธุรกิจ, องค์อิสระที่ไม่หวังผลกำไร (NGOs), หน่วยงานภาครัฐ และผู้ตรวจสอบบัญชี โดยเกณฑ์ดังกล่าวได้ผ่านอ่านและวิเคราะห์โดยพิจารณากว่า 30 บริษัทจาก 9 ประเทศทั่วโลก GHG Protocol เบื้องต้นวิสัยทัศน์คือการประสานความร่วมมือกันและการรายงานผลมาตรฐานระดับนานาชาติ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าความแตกต่างในรูปแบบการซื้อขาย และความเชื่อมโยงเบื้องต้นการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่าง ๆ นำมาใช้ประกอบด้วยวิธีการคำนวณก๊าซเรือนกระจก [33]

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์และจัดทำรายงานในส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นหลัก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีปริมาณการปล่อยมากที่สุด

ข.มาตรฐานการรายงานผลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
The Cement CO_2 and Energy Protocol

พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับโรงงานปูนซีเมนต์ทั่วโลก โดยมาตรฐานการรายงานผลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการผสานวิธีการความร่วมมือสำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีหลายหลายจุดประสงค์

และด้วยมุมมองที่จัดทำรายงานทั้งกระบวนการปล่อยทางตรง (Direct) และการปล่องทางอ้อม (Indirect) จากแหล่งการปล่อยหลักที่มีความสัมพันธ์ถึงกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ รวมทั้งแหล่งกำเนิดพลังงานวิธีการคำนวณขั้นพื้นฐานที่ใช้ในมาตรฐานนี้มีความสัมพันธ์กับแนวทางการดำเนินงานของ IPCC สำหรับรายงานบัญชีการเรือนกระจก ฉบับที่ 4 ซึ่งออกโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และมีการปรับปรุง WRI/WBCSD พิธีสารก๊าซเรือนกระจก [34]

โดยคู่มือ IPCC 2006 แนะนำวิธีการเทียร์ 3 สำหรับการจัดทำรายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากพื้นฐานการผลิตปูนซีเมนต์ของปัจจัยการผลิตวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามมีจำนวนตัวเลขมากมายสำหรับการนำเข้าวัตถุดิบและจำเป็นต้องมีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องขององค์ประกอบทางเคมีที่ทำให้วิธีนี้ไม่ได้ทำในโรงงานปูนซีเมนต์จำนวนมาก ความแตกต่างของวัตถุดิบที่ลดลงจากแต่ก่อนและในระหว่างการบดในโรงงาน

CSI จึงแนะนำวิธีการที่เป็นทางเลือกสำหรับการป้อนข้อมูลพื้นฐานการจัดทำรายงานการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้วัตถุดิบในโรงงานปูนซีเมนต์ จึงได้กำหนดปริมาณของการใช้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าสูเตาเผาในระบบห้องเผาไหม้ (Kiln) มีโรงงานปูนซีเมนต์มากมายที่วัตถุดิบหดหายจากการตรวจสอบการไหลของวัตถุดิบ การวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อวัตถุประสงค์ของกระบวนการและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการป้อนข้อมูลบนพื้นฐานของวัตถุดิบการบริโภคที่ประสบความสำเร็จนำมาใช้ในโรงงานปูนซีเมนต์ในประเทศที่มีความแตกต่างกัน

สำหรับ CSI Protocol มีวิธีการตรวจวัดเพื่อจัดทำรายงานทั้งสิ้น 4 แบบคือ

1. Simple Input Method (A1) – LOI[12] of Raw Meal

การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาวัตถุดิบ วิธีการนี้เป็นหลักการพื้นฐานการกำหนดการสูญเสียในการเผาไหม้ของวัฏดิบ การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ของวัตถุดิบระหว่างนำเข้าเตาเผา

2. Detailed Input Method (A2) – Input CO_2 Balance

วิธีการสมดุลการนำเข้าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีนี้เป็นหลักการพื้นฐานการกำหนดจำนวนของการใช้วัตถุดิบและการวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาโดยรวม

3. Simple Output Method (B1) – Standard Calcination EF

วิธีการอย่างง่ายสำหรับการกำหนดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาวัตถุดิบ โดยวิธีการนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการผลิตปูนเม็ด คำนวณด้วยค่าคงที่ (Emission Factor: EF)

4. Detailed Output Method (B2) – Corrected Calcination EF

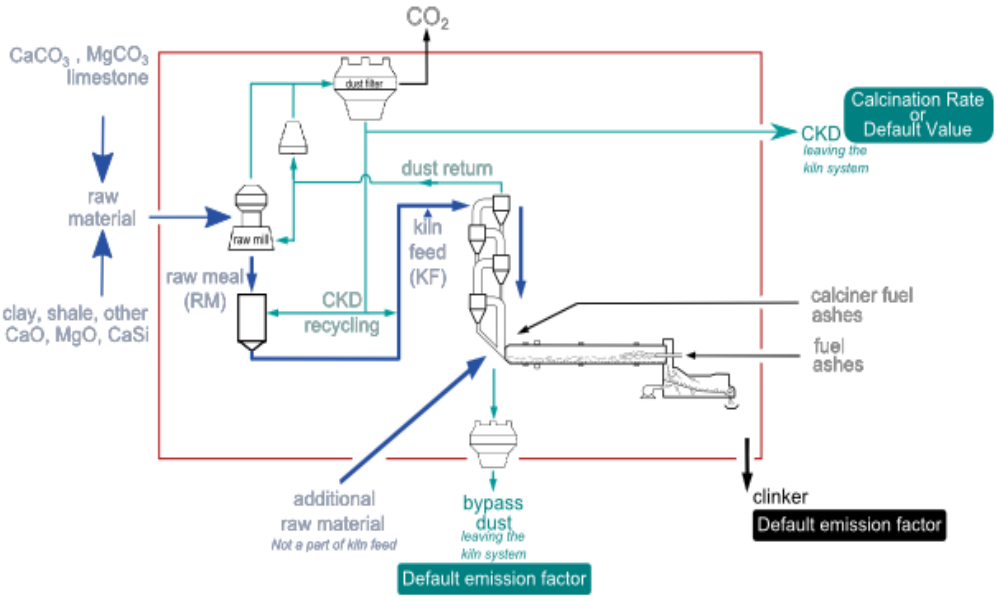
วิธีการกำหนดรายละเอียดของผลลัพธ์ เพื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการเผาไหม้ต่อตันปูนเม็ดที่ผลิตได้

สำหรับวิธีการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใช้วิธีการคำนวณตามมาตรฐานของ CSI (Cement Sustainability Initiative) โดยผลจากการพยากรณ์ปริมาณปูนเม็ดที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจากสมการ (Model) ที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศกับปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ในอดีต รวมถึงวิธีการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้วิธีการคำนวณตามมาตรฐานของ CSI ใน The Cement CO_2 and Energy Protocol Version 3.1 โดย วิธีการแบบ B1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

Simple Output Method (B1) – Standard Calcination EF วิธีการแบบ B1 เป็นวิธีการคำนวณอย่างง่ายสำหรับกำหนดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการเผาไหม้ของวัตถุดิบ วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับการผลิตปูนเม็ด, ฝุ่นเตาเผา

[12] Loss on Ignition คือการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเผาไหม้ของวัตถุดิบ

ปูนซีเมนต์ทางตรง และฝุ่นผงที่หลุดรอดจากระบบเตาเผาทางอ้อม มาตรฐานเดียวกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นปัจจัยจากการเผาไหม้เพื่อให้ได้ปูนเม็ด (โดย CSI ได้กำหนดที่ 0.525 t_{CO2}/t_{Cli} สำหรับการปล่อยจากกระบวนการทางเคมี) แสดงได้ดังแผนภูมิที่ 3 Simple Output Method [34]



แผนภูมิที่ 3 แผนภาพแสดงกระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เฉพาะกระบวนการผลิตปูนเม็ด
(ที่มา: The Cement Sustainability Initiative)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะกระบวนการผลิตปูนเม็ดมี 2 ส่วนหลักคือ

1. การปล่อยโดยตรง (Direct CO_2 Emission) แบ่งเป็น 2 ส่วนย่อยคือ

   ก. การปล่อยโดยตรงจากปฏิกิริยาเคมีในเตาเผาไหม้
   (Direct CO_2 Emission from Calcination)
   คำนวณจากปริมาณของ $CaCO_3$ และ $MgCO_3$ ที่มีอยู่ในตัวปูนเม็ดคิดโดยน้ำหนัก แสดงได้จากสมการเคมี ดังต่อนี้

$$CaCO_3 \xrightarrow{Heat} CaO + CO_2 \qquad (ก)$$

และ

$$MgCO_3 \xrightarrow{Heat} MgO + CO_2 \qquad (ข)$$

ในปูนเม็ด 1,000 กิโลกรัม ประกอบด้วย CaO ในปริมาณร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก จะมี MgO ในปริมาณร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนัก เมื่อคำนวณแล้วพบว่ามีปริมาณของ CaO โดยน้ำหนักที่ 650 กิโลกรัม และมีปริมาณของ MgO โดยน้ำหนักที่ 14 กิโลกรัม ในปริมาณดังกล่าวคำนวณในส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใน CaO ที่ 510 kg_{CO2} และ 15 kg_{CO2} ใน MgO ดังนั้น หากคำนวณปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาคายความร้อนดังสมการ ก และสมการ ข แล้วจะทำให้ได้ค่าคงที่ ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในเตาเผาที่ 0.525 t_{CO2}/t_{Cli} ซึ่งเป็นค่าคงที่ของ CSI ในส่วนการปล่อยจากปฏิกิริยาเคมีในเตาเผา

ข. การปล่อยโดยตรงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง
(Direct CO_2 Emission from Fuel Combustion)
ในส่วนนี้มีการคำนวณจากการใช้เชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ที่อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการใช้ โดยวิธีการคิดปริมาณการปล่อย CO_2 จาก 2 ส่วนคือ ส่วนแรก CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้ ทั้งการเผาไหม้ภายในเตาเผา (kiln) และการเผาไหม้นอกเตาเผา เพื่อนำความร้อนที่ได้มาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การนำความร้อนมาอบไล่ความชื้นก่อนกระบวนการเผาไหม้ เป็นต้น ส่วนที่สอง จากชนิดและประเภทของเชื้อเพลิงทั้ง เชื้อเพลิงฟอซซิล เช่น ถ่านหิน และเชื้อเพลิงทดแทน เช่น ยางรถยนต์เก่า ชีวมวลประเภทต่างๆ เป็นต้น
ดังนั้นหากรวมปริมาณการปล่อย CO_2 ที่มาจากการปล่อยทางตรงทั้ง 2 ส่วน จะทำให้ได้ค่าคงที่ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตปูนเม็ดที่ 0.825 t_{CO2}/t_{Cli}

2. การปล่อยโดยอ้อมจากแหล่งอื่นๆ (Indirect CO_2 Emission from External Source) ในส่วนนี้เกิดจากการใช้ไฟฟ้า การคิดปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้น ถูกคิดคำนวณในภาคพลังงานแล้ว และ***<u>งานวิจัยนี้ไม่นำมาคิดคำนวณ</u>***

ดังนั้น กระบวนการที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี Calcination Process และการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตปูนเม็ดสามารถคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 ส่วน โดยใช้ค่าคงที่ของ CSI **ที่ 0.825 t_{CO2}/t_{Cli}** ในการคำนวณของงานวิจัยนี้

3.1.3 พารามิเตอร์และการคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น

การคำนวณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นสำหรับการจัดทำบัญชีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงใช้วิธีการของสภานักธุรกิจโลกเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นหลัก ซึ่งมีความใกล้เคียงมากที่สุด และประกาศการใช้ค่าคงที่สำหรับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตปูนเม็ด ที่ปูนเม็ด 1 ตัน จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 0.825 t_{CO2}/t_{Cli}
สำหรับข้อมูลปริมาณของปูนเม็ดในแต่ละปีย้อนหลังนั้น ผู้วิจัยเก็บรวบรวมโดยใช้ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นข้อมูลหลักในการวิเคราะห์ ร่วมกับข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ข้อมูลที่ใช้ตั้งแต่ พ.ศ.2543 – พ.ศ. 2557 นอกจากนี้ยังมีการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องสำหรับกระบวนการผลิตปูนเม็ดอีกด้วย

3.2 การประเมินศักยภาพของปูนเม็ด

การประเมินศักยภาพของปูนเม็ดในอนาคต ระหว่าง พ.ศ.2558 –พ.ศ. 2579 ผู้วิจัยศึกษาวิเคราะห์จนได้ความสัมพันธ์มีความสมรูปกับข้อมูล ด้วยปัจจัยที่ทำให้เกิดการเติบโตเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ ทั้งข้อมูลบทวิเคราะห์ของกระทรวงอุตสาหกรรม แนวโน้มทางด้านอุตสาหกรรม การประเมินการเติบโตทางเศรษฐกิจของสำนักงานพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคม นโยบายของรัฐบาลที่ขับเคลื่อน และข้อมูลการพยากรณ์มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศที่ธนาคารแห่งประเทศไทยคาดการณ์ เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

3.2.1 พื้นฐานแนวคิด

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์พบว่าข้อมูลที่มีความสัมพันธ์มีความสมรูปมากที่สุดคือมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ในอดีต ช่วงระยะเวลา พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2557 กับข้อมูลปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ในระยะเวลาดังกล่าว แล้วนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วน มาสร้างความสัมพันธ์เพื่อสร้างรูปแบบ (Model) ทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้คาดการณ์ปริมาณปูนเม็ดในอนาคตที่จะเกิดขึ้นได้

3.2.2 พารามิเตอร์และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์

สำหรับการสร้างสมการคณิตศาสตร์นั้น ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการสร้างสมการใช้ในการพยากรณ์ปริมาณปูนเม็ด คือ สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Equation) ในการสร้างสมการ โดยใช้พารามิเตอร์ 2 ชุดคือ ชุดข้อมูลปูนเม็ดที่ผลิตได้ในอดีต และชุดข้อมูลมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศในอดีต โดยการสร้างสมการมีวิธีการดังต่อไปนี้

สร้างความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ กับการผลิตปูนเม็ดในอดีต เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และกำหนดค่าความแปรผันของตัวแปรตอบสนอง (R^2) ที่ 0.5 ขึ้นไปที่ แบบจำลองสมรูปกับข้อมูล คือ มีความเหมาะสมกับข้อมูล เพื่อสร้างแบบจำลองที่สื่อความหมายจึงนำข้อมูลทั้งข้อมูลปริมาณปูนเม็ด และ มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศผ่านกระบวนการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Normalization)

ก. ปูนเม็ด

$$CP = \frac{CP_i}{Max(CP_i)} \qquad [1]$$

กำหนดให้

CP = ปริมาณปูนเม็ดที่ผ่านกระบวนการ Normalization แล้ว

CP_i = ปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ในปีที่ i (ตันต่อปี)

Max = ปริมาณปูนเม็ดที่มากที่สุดที่ผลิตได้ในช่วงปีที่สนใจ (ตันต่อปี)

ข.ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP)

$$NGDP = \frac{GDP_i}{Max(GDP_i)} \qquad [2]$$

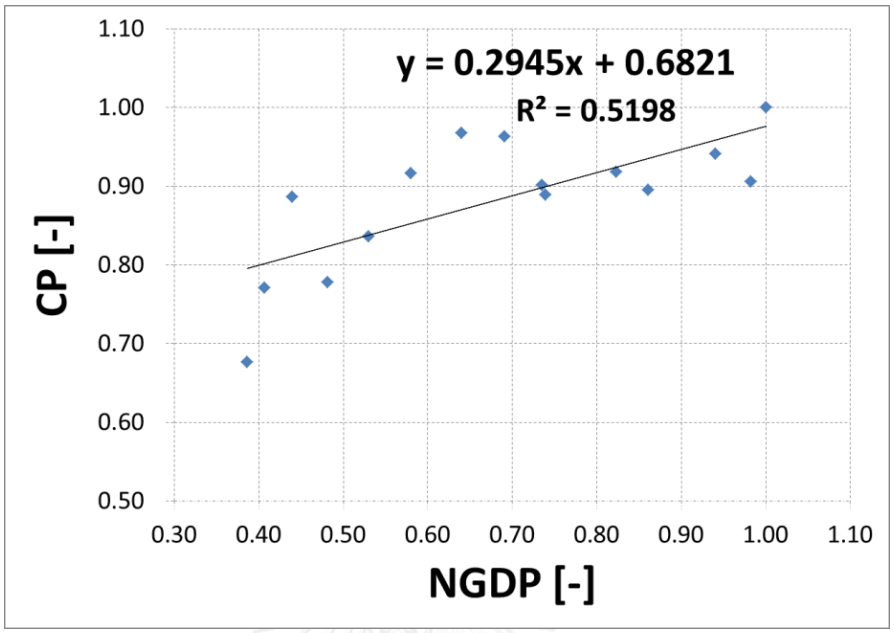
กำหนดให้

NGDP = มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศที่ผ่านการ Normalization แล้ว

GDP_i = มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศในปีที่ i (พันล้านบาทต่อปี)

Max = ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศที่มากที่สุดในช่วงปีที่สนใจ (พันล้านบาทต่อปี)

จากข้อมูลที่ผ่านการ Normalization แล้ว นำมาสร้างความสัมพันธ์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แบบจำลองที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ กับ ข้อมูลปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ ช่วงปี พ.ศ. 2543 -2557

จากรูปแสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Equation) แสดงความสมรูประหว่างข้อมูลทั้งสอง และมีค่าความแปรผันของตัวแปรตอบสนอง (R^2) เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดได้สมการสำหรับใช้วิเคราะห์ปริมาณปูนเม็ดในอนาคตระหว่างปี พ.ศ.2558-2579 จากสมการที่ได้พบว่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปูนเม็ดที่เกิดขึ้นในอนาคตและมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ถ้ามูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ ปริมาณปูนเม็ดที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.2945 โดยค่า y ที่ได้เพิ่มขึ้นหรือเติบโตตามแนวโน้มคาดการณ์การเติบโตของเศรษฐกิจในอนาคตจากมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ

$$y = 0.2945x + 0.6821 \quad [3]$$

กำหนดให้

y = ปริมาณปูนเม็ดที่คาดการณ์ (ตันต่อปี)

x = มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศมีค่าในช่วง พ.ศ.2558-2579 (พันล้านบาทต่อปี)

3.3 การจัดทำกรณีฐานจากบัญชีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 Inventory Baseline

ในการจัดทำกรณีฐาน Baseline นั้น ผู้วิจัยใช้สมมุติฐานทางเทคโนโลยีการผลิตปูนเม็ดในปัจจุบันเป็นเกณฑ์หลัก ทั้งเชื้อเพลิง กระบวนการผลิต ตลอดจนแนวทางที่ทางกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยใช้ ตามแนวทางการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ที่มีการดำเนินการแล้ว อาทิเช่น เทคโนโลยีทางด้านพลังความร้อนและไฟฟ้า เทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงทดแทน และเทคโนโลยีอื่นๆเป็นต้น

3.3.1 พื้นฐานแนวคิด

พื้นฐานแนวคิดจากการผลิตปูนเม็ด และเทคโนโลยีที่ได้กล่าวมานั้น ผู้วิจัยจึงนำผลที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการคำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเพื่อทำบัญชีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนของ Baseline

3.3.2 พารามิเตอร์และการคำนวณผล

ในการคำนวณผลเพื่อจัดทำบัญชีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น มีพารามิเตอร์ 2 ส่วน คือ ปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ และค่า Emission Factor จากข้อ 3.1.2 โดยมีวิธีการดังนี้

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้วิธีการคำนวณด้วยค่าคงที่ที่มีการกำหนดโดย CSI สำหรับการผลิตปูนเม็ด

$$C_{EF} = y \times EF \qquad [4]$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำหนดให้

C_{EF} = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากการผลิตปูนเม็ด (Mt_{CO2})

Y = ปริมาณปูนเม็ด (ตันปูนเม็ดต่อปี)

EF = ค่าคงที่สำหรับคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ CSI ที่ 0.825 t_{CO2}/t_{Cli}

ดังนั้น สำหรับการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีฐาน ของการผลิตปูนเม็ดที่มีการล็อคเทคโนโลยีการผลิตของโรงงานปูนซีเมนต์ในปี พ.ศ.2557 (ปีฐาน) สามารถคำนวณจากความความสัมพันธ์ของ สมการ [1] – [4] ได้

3.4 การประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ด

วัสดุทดแทนปูนเม็ดที่ผู้วิจัยให้ความสนใจมี 3 ชนิด คือ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน วิธีการสำหรับการประเมินนั้นมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 แนวคิดพื้นฐาน

ก. เถ้าลอย (Fly Ash: FA)

เถ้าลอยเป็นผลพลอยได้จากภาคพลังงานเป็นส่วนใหญ่ โดยมาจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นการประเมินศักยภาพของเถ้าลอยจึงมี 3 ปัจจัยหลัก ตามที่ผู้วิจัยได้รวบรวม ศึกษาและค้นคว้า คือ จำนวนโรงไฟฟ้า กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าและเทคโนโลยีการผลิตของโรงไฟฟ้า ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัย จะเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดเถ้าลอย

ข. เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash: BA)

เถ้าชานอ้อยเป็นเถ้าชีวมวลชนิดหนึ่งเกิดจากกระบวนการนำเศษวัสดุเหลือใช้ หรือ ชานอ้อยจากการหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาล มาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของโรงไฟฟ้าชีวมวล เกิดผลพลอยได้คือเถ้าชานอ้อย ปัจจัยที่ทำให้เกิดเถ้าชานอ้อยมี ปัจจัยหลักคือ ปริมาณผลผลิตอ้อยในแต่ละปี โดยปัจจัยหลักนั้นขับเคลื่อนมาจาก พื้นที่การปลูก (Area) และผลผลิตต่อไร่ (Yield) รวมทั้งสภาพแวดล้อม เป็นต้น

ค. เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash: POFA)

เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นเถ้าชีวมวลอีกประเภทหนึ่งเกิดจากกระบวนการนำเศษวัสดุของปาล์ม และส่วนต่างๆของผลปาล์มที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม มาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของโรงไฟฟ้าชีวมวล เกิดผลพลอยได้คือเถ้าปาล์มน้ำมัน ปัจจัยที่ทำให้เกิดเถ้าปาล์มน้ำมัน มี ปัจจัยเช่นเดียวกันกับเถ้าชานอ้อย คือ ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในแต่ละปี โดยปัจจัยหลักนั้นขับเคลื่อนมาจาก พื้นที่การปลูก (Area) และผลผลิตต่อไร่ (Yield) รวมทั้งสภาพแวดล้อม เป็นต้น

3.4.2 พารามิเตอร์ แหล่งข้อมูล และการคำนวณ

ก. เถ้าลอย (Fly Ash: FA)

พารามิเตอร์ที่ใช้การคาดการณ์ปริมาณเถ้าลอยนั้น ผู้วิจัยใช้ 2 พารามิเตอร์ คือ กำลังการผลิตไฟฟ้า ใช้ข้อมูลจากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ.2558- พ.ศ. 2579 (PDP2015) เฉพาะโรงไฟฟ้าถ่านที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นหรือลดลงในประเทศ ไม่นำโรงไฟฟ้าประเภทอื่นๆและโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ตั้งในต่างประเทศแต่บรรจุลงในแผน PDP2015 มาคิดคำนวณ ค่า Conversion Factor ที่ทำให้การผลิตไฟฟ้า 1 เมกะวัตต์ เกิดเถ้าลอย 952.3427 ตัน จากการวิเคราะห์รวบรวมข้อมูลของงานวิจัย ศาสตราจารย์ ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล เป็นหลัก โดยค่าดังกล่าวผู้วิจัยคำนวณอ้างอิงจากเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าแม่เมาะของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฝผ.) ซึ่งเป็นแหล่งผลิตรายใหญ่ที่มีการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน สำหรับการคำนวณปริมาณเถ้าลอยในอนาคตมีวิธีการดังสมการต่อไปนี้

$$FA = CA \times F \qquad [5]$$

กำหนดให้

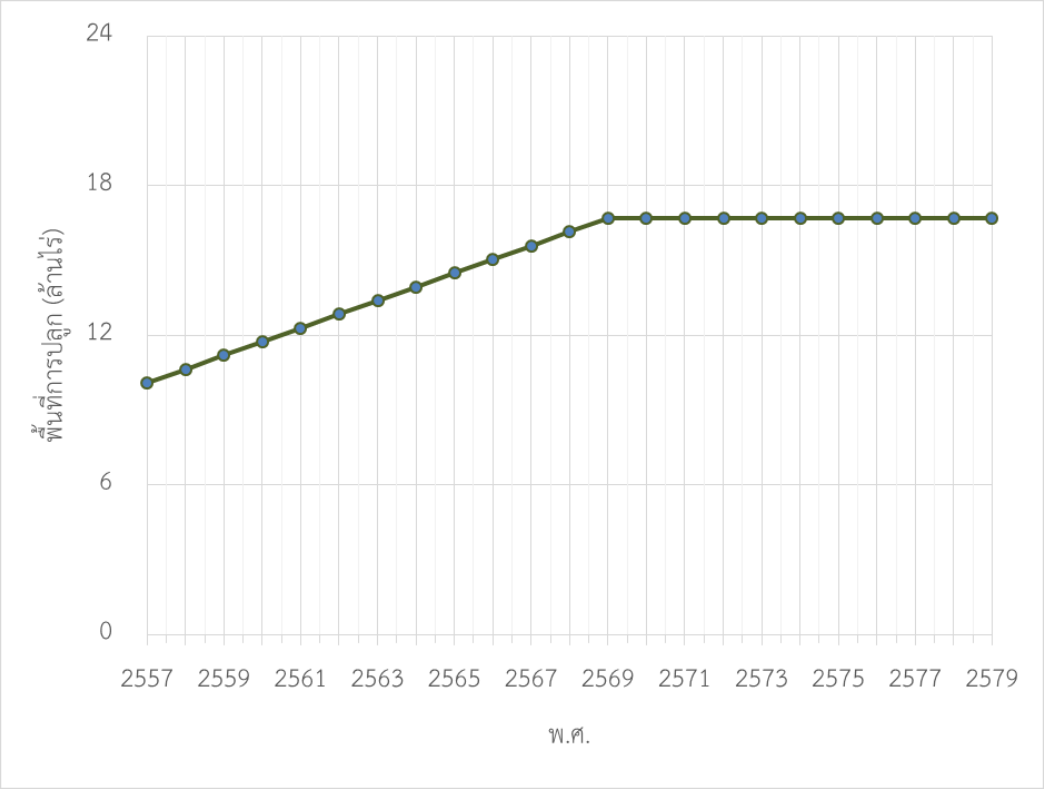
FA = ปริมาณเถ้าลอยที่เกิดขึ้น (ตันต่อปี)

CA = กำลังการผลิตไฟฟ้า (เมกะวัตต์)

F = ค่าคงที่สำหรับการเกิดเถ้าลอย ที่ 1 เมกวัตต์ เกิดเถ้าลอย 952.3427 ตันต่อเมกะวัตต์

ข. เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash: BA)

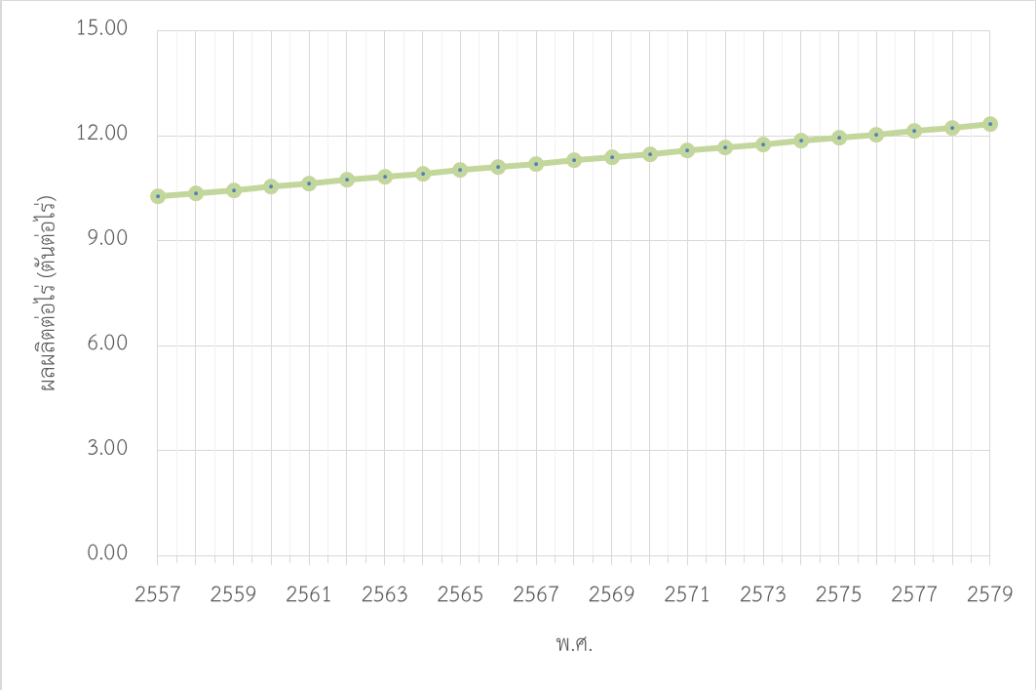
พารามิเตอร์ที่ใช้คาดการณ์ปริมาณเถ้าชานอ้อยนั้น ผู้วิจัยใช้ 2 พารามิเตอร์ คือ พื้นที่การปลูก (Area) ใช้ข้อมูลพื้นที่การปลูกอ้อยโรงงาน ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่กำหนดเป้าหมายพื้นที่การปลูกจากนโยบายของรัฐบาลในการกำหนดพื้นที่เกษตร (Zoning) ในปี พ.ศ. 2569 ที่ 16.7 ล้านไร่ ดังแผนภูมิที่ 4



แผนภูมิที่ 4 แสดงพื้นที่การปลูกอ้อยตามข้อมูลของบัญชีสมดุล

จากแผนภูมิที่ 4 พบว่าจากมาตรการจัดพื้นที่ของรัฐบาลและข้อมูลจากบัญชีสมดุล พื้นที่การปลูกจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่จะคงที่ตั้งแต่ปี พ.ศ.2569 เป็นต้นไป ตามแผนที่รัฐบาลได้วางไว้

สำหรับผลิตต่อไร่ (Yield) จากข้อมูลผลผลิตต่อไร่จากการคาดการณ์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในช่วง พ.ศ.2558 – 2569 ที่ 11.39 ตันต่อไร่ และข้อมูลพันธุ์อ้อยที่มีการพัฒนาสำหรับใช้เป็นพันธุ์อ้อยสำหรับปลูก โดยพันธุ์อ้อยที่กรมส่งเสริมการเกษตรแนะนำให้ใช้มีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ช่วง 16 – 18 ตันต่อไร่ โดยพันธุ์อ้อยมีการพัฒนาให้เหมาะสมกับพื้นที่การปลูก สภาพแวดล้อม ต้านทานโรคและแมลง ให้ผลผลิตสูง ดังนั้นคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะเพิ่มเป็น 12.33 ตันต่อไร่ ในปี พ.ศ.2579 ดังแผนภูมิที่ 5



แผนภูมิที่ 5 แสดงคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่ของอ้อยที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

สำหรับการคำนวณปริมาณผลผลิตอ้อยในอนาคตคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

1. การคำนวณผลผลิตอ้อยในอนาคต

$$PSC = A \times Y \qquad [6]$$

กำหนดให้

PSC = ผลผลิตอ้อยในปีนั้น (ตันต่อปี)

A = พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)

Y = ผลผลิตต่อไร่ (ตันต่อปี)

2.การคำนวณปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้น

จากข้อมูลงานวิจัยของศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล พบว่า เถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 0.62 ของน้ำหนักอ้อย ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณเถ้าชานอ้อยจากสมการต่อไปนี้

$$BA = PSC \times A_{CF}^{13} \qquad [7]$$

[13] A_{CF} คือ Ash Conversion factor

กำหนดให้

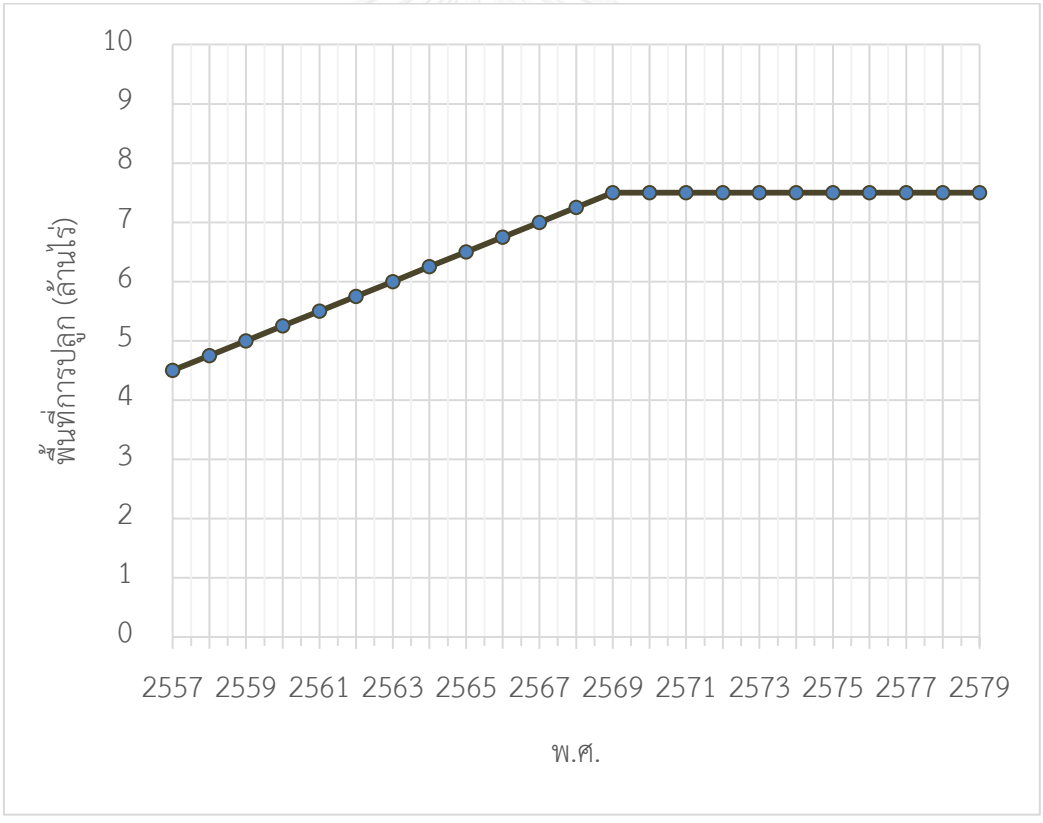
BA = เถ้าชานอ้อย (ตันต่อปี)

PSC = ผลผลิตอ้อยในปีนั้นๆ (ตัน)

A_{CF} = ค่าคงที่ของอ้อย 1 ตัน เกิดเถ้าชานอ้อยได้ร้อยละ 0.62 ของน้ำหนัก

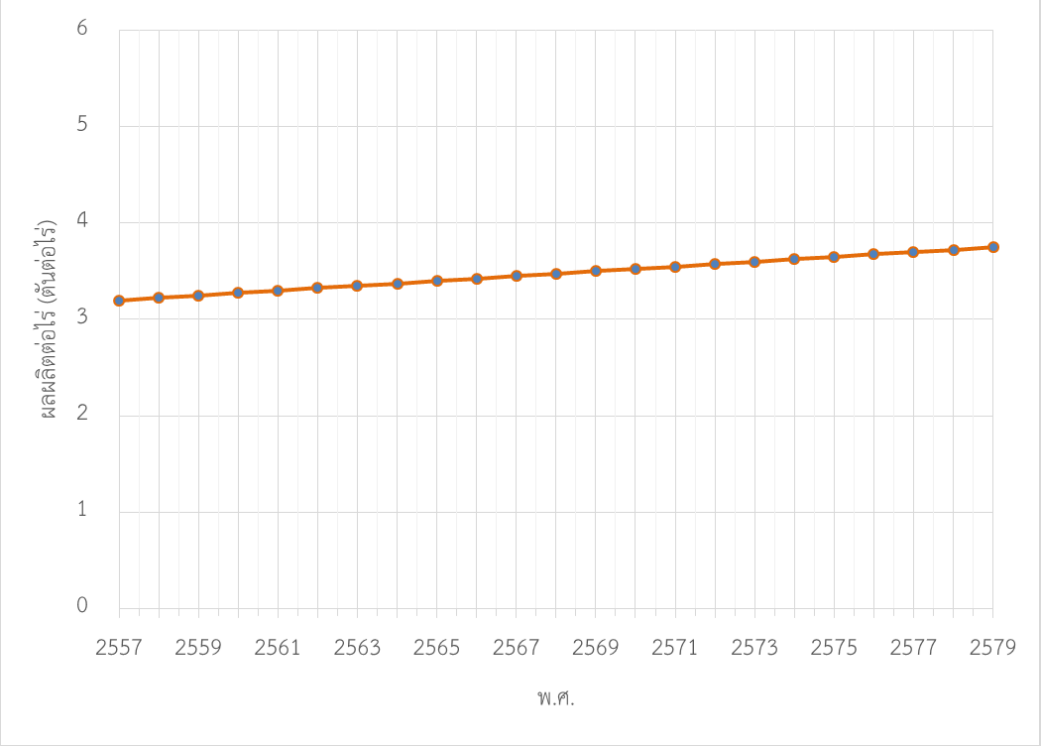
ค. เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash: POFA)

พารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยใช้ มี *2* พารามิเตอร์ คือพื้นที่การปลูก (Area) ใช้ข้อมูลพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมัน ของ ร่างยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม พ.ศ. 2558 - 2569 คณะกรรมการร่วมภาครัฐและเอกชนเพื่อแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ (กรอ.)ที่กำหนดเป้าหมายพื้นที่การปลูกจากนโยบายของรัฐบาลในการกำหนดพื้นที่เกษตร (Zoning) ในปี พ.ศ. 2569 ที่ 7.5 ล้านไร่ แสดงดังแผนภูมิที่ 6



แผนภูมิที่ 6 แสดงพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันตามข้อมูลของร่างยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม

สำหรับผลผลิตต่อไร่ (Yield) จากการคาดการณ์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในช่วง พ.ศ.2558 – 2569 ที่ 3.5 ตันต่อไร่ และข้อมูลพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีการพัฒนาสำหรับใช้เป็นพันธุ์ปาล์มน้ำมันสำหรับปลูก โดยพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่พัฒนาร่วม 5 หน่วยงาน กรมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ และ หจก. โกลเด้นเทเนอร่าพัฒนาขึ้นจะให้ผลผลิตต่อไร่ขั้นต่ำ 5 ตันต่อไร่ โดยพันธุ์ปาล์มน้ำมันมีการพัฒนาให้เหมาะสมกับพื้นที่การปลูก สภาพแวดล้อม ต้านทานโรคและแมลง ให้ผลผลิตสูง ดังนั้นคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะเพิ่มเป็น 3.75 ตันต่อไร่ ในปี พ.ศ.2579 ดังแผนภูมิที่ 7



แผนภูมิที่ 7 แสดงคาดการณ์ผลผลิตต่อไร่ของปาล์มน้ำมันที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

สำหรับการคำนวณปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในอนาคตคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

1.การคำนวณผลผลิตปาล์มน้ำมันในอนาคต

$$PP = A \times Y \quad [8]$$

กำหนดให้

PP = ผลผลิตปาล์มน้ำมันในปีนั้น (ตันต่อปี)

A = พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน (ไร่)

Y = ผลผลิตต่อไร่ (ตันต่อไร่)

2.การคำนวณปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้น

จากข้อมูลงานวิจัยของศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 2.43 ของน้ำหนักปาล์มน้ำมัน ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมัน จากสมการต่อไปนี้

$POFA = PP \times A_{CF}$ [9]

กำหนดให้

POFA = เถ้าชานอ้อย (ตันต่อปี)

PP = ผลผลิตปาล์มน้ำมัน ในปีนั้นๆ (ตัน)

A_{CF} = ค่าคงที่ของปาล์มน้ำมัน 1 ตัน เกิดเถ้าชานอ้อยได้ร้อยละ 2.43 ของน้ำหนัก

3.5 ภาพอนาคตสำหรับประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การจัดทำแผนลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบสำหรับการวิเคราะห์ด้วยการสร้างภาพอนาคตอนาคต จำลองการนำเทคโนโลยีการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วย เถ้าลอย เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน 3 กรณี และ 1 กรณีศึกษา คือ ภาพอนาคตกรณีฐาน Business As Usual (BAU Scenario) ภาพอนาคตกรณีใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเต็มศักยภาพวัตถุดิบ Full Potential Scenario ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม Zoning Scenario และกรณีศึกษาเปรียบเทียบผลกับสัดส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ มีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 ภาพอนาคตกรณีฐาน Business As Usual (BAU Scenario)

ภาพอนาคตนี้เป็นการนำกรณีฐานที่ได้จากการกำหนดให้ แช่แข็ง (Freeze) เทคโนโลยีการผลิตปูนเม็ดในปัจจุบัน พ.ศ.2557 เป็นหลักและใช้ผลการคำนวณการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก 3.3 เป็นข้อมูลหลักเพื่อใช้เปรียบเทียบผลจากการดำเนินการตามมาตรการที่ผู้วิจัยสร้าง

3.5.2 ภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ

Full Potential Scenario (FULL Scenario)

ภาพอนาคตนี้สร้างขึ้นบนพื้นฐานความต้องการที่จะลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ปริมาณมากที่สุดจากการนำเทคโนโลยีวัสดุทนแทนปูนเม็ดมา

ดำเนินการ ดังนั้นจากสมมุติฐานหากมีปริมาณของวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่เกิดขึ้น (ทั้ง 3 ชนิด) เท่าไหร่จะมีการใช้งานวัตถุดิบมากเท่ากับปริมาณที่เกิดขึ้น ใช้ข้อมูลการคำนวณเพื่อคาดการณ์ปริมาณเถ้าแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในข้อ 3.4 แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาปริมาณที่เถ้าจะช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ในอัตราส่วน 1:1 คือ เถ้าต่อปูนเม็ด โดยการคำนวณในส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเทียบเคียงปริมาณที่เกิดขึ้นจากการผลิตปูนเม็ด ดังได้กล่าวในข้อ 3.1 และคำนวณปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละชนิดตามสมการต่อไปนี้

$$CQ_i = Q_i \times EF \qquad [10]$$

กำหนดให้

CQ_i = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดอออกไซด์ที่คาดว่าจะลดลง (t_{CO2})

Qi = เถ้าที่ต้องการจะคำนวณ (t_{Ash})

i = กำหนดให้ i คือประเภทของเถ้าแต่ละชนิดประกอบด้วย เถ้าลอย (FA), เถ้าชานอ้อย (BA), และเถ้าปาล์มน้ำมัน (POFA)

EF = ค่าคงที่สำหรับคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ CSI ที่ 0.825 t_{CO2}/t_{Cli}

3.5.3 ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม Zoning Scenario (ZONE Scenario)

ภาพอนาคตนี้สร้างขึ้นจากพื้นฐานการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีผลต่อการดำเนินการด้านเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ด ซึ่งมี 2 พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ราคาค่าเถ้า และอัตราค่าขนส่ง โดยผู้วิจัยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งวิธีการสัมภาษณ์ รวบรวมจากบทความทางวิชาการ ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง พบว่า ราคาเถ้าลอยมีการขยับราคา 2 ช่วงหลักคือ จาก 70 บาทต่อตัน ในปี พ.ศ. 2543 และข้อมูลปัจจุบันที่ 170 บาทต่อตัน ผู้วิจัยคาดการณ์ว่าในอนาคตความต้องการใช้งานเพิ่มสูงซึ่งอาจจะทำให้ราคาเถ้าลอยสูงถึง 270 บาทต่อตัน ส่วนอัตราค่าขนส่งในปัจจุบันจากการเก็บรวบรวมพบว่าอยู่ที่อัตรา 3.15 บาทต่อกิโลเมตร ดังนั้นสมมุติฐานราคาค่าเชื้อเพลิงในอนาคตที่อาจปรับตัวสูงขึ้นทำให้อัตราค่าขนส่งเพิ่มสูงตามไปด้วยอีกทั้ง การขนลำเลียงเถ้าจะต้องขนส่งโดยรถที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจายสู่สภาพแวดล้อมในขนส่ง ที่ อัตรา 6 บาทต่อกิโลเมตร ข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัย จึงประมาณ

การระยะทางที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนของเถ้าลอยมีความน่าสนใจสำหรับการนำไปใช้งาน ที่ 788.33 กิโลเมตร สำหรับข้อมูลระยะทางระหว่างโรงงานผลิตปูนซีเมนต์กับโรงไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงระยะทางจากโรงงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไปยังโรงไฟฟ้าถ่านหิน (กิโลเมตร)

โรงงานอุตสาหกรรม / โรงไฟฟ้าถ่านหิน	แม่เมาะ	บางปะกง	ราชบุรี	กระบี่	เทพา	ใหม่
บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (ท่าหลวง) จำกัด	557	293	149	911	1,123	293
บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (เขาวง) จำกัด	560	294	151	930	1,142	294
บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด	1,407	285	130	922	1,134	285
บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (ท่าม่วง) จำกัด	588	933	889	102	260	933
บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด	65	801	700	1,425	1,637	801
บริษัท สิงห์ โกลิ่น จำกัด (มหาชน)	467	293	175	929	1,142	293
บริษัท ซิลประทานซีเมนต์ (ตาคลี)จำกัด	592	369	254	993	1,205	369
บริษัท ซิลประทานซีเมนต์ (ชะอำ)จำกัด	809	336	292	642	854	336
บริษัท เซมโก้ (ประเทศไทย) จำกัด	531	293	150	929	1,141	293
บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด	594	290	142	927	1,139	290
บริษัท ปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด (มหาชน)	548	299	156	920	1,133	299

จากตารางที่ 12 พบว่าจะมีโรงไฟฟ้าใหม่ที่ในแผน PDP 2015 ยังไม่ได้กำหนดที่ตั้งของโรงไฟฟ้า จากที่ผู้วิจัยได้ศึกษาแล้วมีข้อวินิจฉัยเบื้องต้นว่า ในแผน PDP2015

มีการถอนโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ออกจากแผนเนื่องจากปลดระวาง มีความเป็นไปได้ว่าเพื่อรักษาความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้าในภาคตะวันออกจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดโรงไฟฟ้าในเขตพื้นที่เดิมเพื่อจะได้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชนด้วย

ในส่วนของเถ้าชีวมวล (เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน) ในปัจจุบันยังมีการซื้อขายเชิงพานิชย์ทำให้ไม่มีข้อมูลราคาค่าเถ้าและอัตราค่าขนส่ง ดังนั้นด้วยคุณสมบัติและวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้เทียบเคียงราคาค่าเถ้าและอัตราค่าขนส่งให้เท่ากับราคาและอัตราค่าขนส่งของเถ้าลอย และเงื่อนไขระยะทางจำเป็นต้องใช้ระยะทางที่ 788.33 กิโลเมตร เช่นกัน สำหรับระยะทางระหว่างโรงงานผลิตปูนซีเมนต์กับแหล่งกำเนิดเถ้าไม่สามารถใช้เช่นเดียวกันกับเถ้าลอยเนื่องจากมีความกระจายตัวค่อนข้างสูง ประกอบกับผู้วิจัยได้ศึกษาเพิ่มเติมแล้วพบว่าควรใช้วิธีการกวาดระยะทางด้วยการใช้รัศมีโดยจุดศูนย์กลางของโรงงานปูนเป็นหลักน่าจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ในส่วนนี้ แม้จะมีที่ตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลแล้วก็ตามก็ไม่ได้ทำให้การกำหนดพื้นที่มีผลเนื่องจากครอบคลุมแทบทุกพื้นที่ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังเพิ่มเติมส่วนของการวิเคราะห์เทียบเคียงความต้องการใช้งานด้วยอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้อีกทางหนึ่งด้วย

3.5.4 กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

แนวคิดสำหรับกรณีศึกษานี้เป็นผลมาจากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับผลจากห้องปฏิบัติการต่างๆและบทความทางวิชาการและการสัมภาษณ์ สำหรับประเด็นหากมีการใช้งานจริงตามกรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ แล้วจะต้องใช้งานเถ้าเป็นปริมาณเท่าใดมีความเพียงพอต่อความใช้งานหรือไม่

ก. เถ้าลอย

จากข้อมูลและงานวิจัย รวมทั้งการสัมภาษณ์พบว่าสัดส่วนขอบสูงที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้มากที่สุดอ้างอิงตามผลกรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ แล้วสามารถใช้งานเถ้าลอยได้ที่สัดส่วน 30:70 เถ้าลอยต่อปูนเม็ด จึงทำให้ส่วนเถ้าลอยมีการกำหนดสัดส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานที่ร้อยละ 30 [25],[34]

ข. เถ้าชีวมวล

จากข้อมูลและงานวิจัย รวมทั้งการสัมภาษณ์พบว่าสัดส่วนขอบสูงที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้มากที่สุดอ้างอิงตามผลกรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของ

อัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ แล้วสามารถใช้งานเถ้าชีวมวลได้ที่สัดส่วน 20:80 เถ้าชีวมวลต่อปูนเม็ด จึงทำให้ส่วนเถ้าชีวมวลมีการกำหนดสัดส่วนตามผลห้องปฏิบัติการ ที่ร้อยละ20 [25],[34]

3.6 การประเมินการเติบโตจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด

3.6.1 พื้นฐานแนวคิด

จากแนวคิดการนำเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้งานเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนเม็ดนั้น ผู้วิจัยต้องการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านการเติบโตของตลาดในกลุ่มผลิตภัณฑ์จากปูน ผลิตภัณฑ์คอนกรีตและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวเนื่องที่มีส่วนผสมจากวัสดุทดแทนปูนเม็ดทั้ง 3 ชนิด โดยการวิเคราะห์นั้น ผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษานี้เป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์จากความสามารถที่ผ่านจากห้องปฏิบัติการ

ด้วยสมมุติฐานจากผลการทดลองเชิงวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม และวิทยาศาสตร์ คุณสมบัติต่างๆที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ จากงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งโดยภาพรวม คือ ความสามารถที่ถูกวิเคราะห์ใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด ตามชนิดและประเภทข้องวิจัยอันได้แก่ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน

ส่วนที่ 2 การประเมินจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

บนพื้นฐานจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่กระทรวงอุตสาหกรรมประกาศ โดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) โดยผู้วิจัยรวบรวมผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น 27 ผลิตภัณฑ์ เงื่อนไขสำคัญในการวิเคราะห์ คือ ผลิตภัณฑ์นั้นๆต้องได้รับอนุญาตจากสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ด้วยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ***ต้องมีการระบุในส่วนวัสดุผสมเท่านั้น***

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

งานวิจัยชิ้นนี้รวบรวมข้อมูลปริมาณการผลิตปูนเม็ดและ ข้อมูล มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ช่วงระยะเวลา 15 ปี ย้อนหลัง ช่วงระหว่าง พ.ศ.2543 – 2557 สำหรับใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการที่สามารถคาดการณ์ปริมาณปูนเม็ดที่จะเกิดขึ้นในอนาคตตามกรอบระยะเวลางานวิจัยทั้งสิ้น 22 ปี จากข้อมูลพบว่าข้อมูลทั้ง 2 มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นตามช่วงระยะเวลาว่าเศรษฐกิจมีการเติบโตหรือชะลอตัว ส่งผลให้กำลังการผลิตปูนเม็ดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่อยู่ในขอบเขตงานวิจัย คือ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน มีการรวบรวมข้อมูลดังนี้ เถ้าลอย รวบรวมข้อมูลที่เป็นปัจจัยการเกิดของเถ้าอันได้แก่ จำนวนโรงไฟฟ้า (Number) กำลังการผลิตไฟฟ้า (Capacity) และเทคโนโลยี (Technology) โดยนำข้อมูลจากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ .ศ.2558-2579 ใช้วิเคราะห์ผลทำให้การพยากรณ์ปริมาณการเกิดเถ้าลอยในอนาคตได้ ข้อมูลแสดงดังแผนภูมิที่ 8 จากกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงตามแผน ฯ นอกจากนี้ข้อมูลจากงานวิจัยของศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล เรื่อง” เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม: วัสดุปอซโซลานที่ดีสำหรับงานคอนกรีต” ที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณเถ้าถ่านหินที่เกิดขึ้น และปริมาณสัดส่วนเถ้าลอยจากการผลิตไฟฟ้า ทำให้ผู้วิจัยทราบว่า จากสมมุติฐานของเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าถ่านหินของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ทุก 1 เมกะวัตต์ ของการผลิตไฟฟ้าจะก่อให้เกิดเถ้าลอย ประมาณ 952.3427 ตันต่อเมกะวัตต์ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดเถ้าลอยโดยตรงมี 3 ปัจจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้น ในส่วนของเถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน ทั้ง 2 ชนิด เป็นเถ้าชีวมวล ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร มีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้วิจัยพบว่า ปัจจัยแท้จริงที่ทำให้เกิดเถ้าทั้ง 2 ชนิดนั้น คือ ปริมาณของวัตถุดิบที่มีการป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (Productivity) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนโรงงาน หรือโรงไฟฟ้า และกำลังการผลิตดังเช่นเถ้าลอย หากแต่ผลผลิตที่เกิดขึ้นถูกขับเคลื่อนด้วย 2 ปัจจัยหลักคือ พื้นที่การปลูก (Area) และผลผลิตต่อไร่ (Yield) แสดงดังตารางที่ 13 และตารางที่ 14 และมีปัจจัยรองที่ส่งผลต่อผลผลิตต่อไร่ อันได้แก่เทคโนโลยีทางการเกษตร พันธุ์พืชนั้น ๆ สภาพแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ได้ ข้อมูลการวิเคราะห์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมของผู้วิจัย ทั้งปริมาณการผลิตปูนเม็ดของกระทรวงอุตสาหกรรม และค่าคงที่สำหรับใช้ประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณของ CSI ที่ คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตในส่วน

ของปูนเม็ดที่ 0.825 t_{CO2}/t_{Cli} ผู้วิจัยใช้ค่าดังกล่าวในการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้ง จากการผลิตปูนเม็ด เถ้าลอย เถ้าชีวมวล เนื่องจากอัตราส่วนการใช้ทดแทนระหว่าง ปูนเม็ด ต่อ วัสดุทดแทนปูนเม็ด ที่ 1: 1 [0.9 -1] (ปูนเม็ด : วัสดุทดแทนปูนเม็ด) สุดท้ายรวบรวมข้อมูลทางด้านวิชาการ (เทคนิคจากห้องปฏิบัติการอัตราส่วนหรือความสามารถการใช้งานจริง การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ) และข้อมูลสำคัญจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เพื่อใช้วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการเติบโตของตลาด หากมีการนำวัสดุดังกล่าวไปใช้งาน

4.2 วิเคราะห์พยากรณ์ปริมาณการผลิตปูนเม็ดและการประเมินศักยภาพการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช่วง พ.ศ.2558 -2579

4.2.1 พยากรณ์ปริมาณการผลิตปูนเม็ดช่วง พ.ศ.2558 -2579

จากรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ (Model) ที่ถูกพัฒนาดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 แสดงความสมรูประหว่างข้อมูลการผลิตปูนเม็ดย้อนหลังและมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) สำหรับใช้พยากรณ์ปริมาณปูนเม็ดในอนาคตตามคาดการณ์มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศในอนาคต พ.ศ.2558 – พ.ศ.2579 แสดงได้ดังตารางที่ 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 13 ผลการคาดการณ์ปริมาณปูนเม็ดระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ .ศ.2579

ปี	ปูนเม็ด (Mt)	GDP (พันล้านบาท)
2558	42.23	13.59
2559	42.77	14.19
2560	43.37	14.86
2561	43.95	15.50
2562	44.52	16.13
2563	45.13	16.81
2564	45.76	17.51
2565	46.41	18.23
2566	47.07	18.96
2567	47.77	19.74
2568	48.48	20.53
2569	49.21	21.35
2570	49.98	22.20
2571	50.76	23.07
2572	51.55	23.95
2573	52.37	24.86
2574	53.24	25.83
2575	54.13	26.81
2576	55.04	27.83
2577	56.00	28.88
2578	56.98	29.98
2579	58.01	31.12

4.1.2 การประเมินศักยภาพการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตปูนเม็ด ช่วง พ.ศ.2558 -2579

ผลกาคำนวณเพื่อพยากรณ์ปริมาณการผลิตปูนเม็ดในข้อ 4.1.1 สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประเมินศักยภาพปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงระยะเวลาที่งานวิจัยได้กำหนด (พ.ศ.2558 – พ.ศ. 2579) ด้วยการนำค่าคงที่ที่ CSI กำหนดผ่านสมการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนเม็ด แสดงค่าศักยภาพที่ผ่านการประเมินก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยได้ ดังตารางที่ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 ผลของปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยระหว่างปี พ.ศ. 2558 – พ.ศ.2579

ปี	ปูนเม็ด (Mt)	CO_2 Mitigation (Mt_{CO2})
2558	42.23	34.91
2559	42.77	34.84
2560	43.37	35.29
2561	43.95	35.78
2562	44.52	36.26
2563	45.13	36.73
2564	45.76	37.23
2565	46.41	37.75
2566	47.07	38.29
2567	47.77	38.83
2568	48.48	39.41
2569	49.21	40.60
2570	49.98	41.24
2571	50.76	41.88
2572	51.55	42.53
2573	52.37	43.21
2574	53.24	43.93
2575	54.13	44.65
2576	55.04	45.41
2577	56.00	46.20
2578	56.98	47.01
2579	58.01	47.86

4.3 วิเคราะห์การประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ด

4.3.1 เถ้าลอย (Fly Ash: FA)

การประเมินศักยภาพของเถ้าลอย ข้อมูลที่เป็นปัจจัยส่งผลให้เกิดเถ้าลอย ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น และข้อมูลแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 ทำให้สามารถคาดการณ์ปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทถ่านหิน (เฉพาะโรงไฟฟ้าถ่านหินในประเทศไทย) ทั้งที่เป็นโครงการเตรียมก่อสร้างในอนาคต และโรงไฟฟ้าในปัจจุบันที่มีการเดินเครื่องอย่างโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าแหล่งใหญ่ของประเทศในปัจจุบันที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน แสดงดังแผนภูมิที่ 8

แผนภูมิที่ 8 กำลังการผลิตโรงไฟฟ้าถ่านหินตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 – พ.ศ. 2579

จากแผนภูมิที่ 8 ทำให้ผู้วิจัยทราบถึงปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าถ่านหินที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สามารถพยากรณ์การเกิดเถ้าลอยได้จากการผลิตไฟฟ้า โดยสมการที่ 5 แสดงในบทที่ 3 ผลที่ได้แสดงในดังตางรางที่ 15

ตารางที่ 15 คาดการณ์ปริมาณเถ้าลอยที่เกิดขึ้นในระหว่าง พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579

ปี	ผลผลิตรวม (ล้านตัน)	ปริมาณที่ใช้ในปัจจุบัน (ล้านตัน)	ศักยภาพ (ล้านตัน)
2558	2.92	1.37	1.54
2559	3.17	1.50	1.68
2560	3.43	1.62	1.81
2561	3.47	1.64	1.83
2562	4.23	1.99	2.24
2563	4.23	1.99	2.24
2564	5.18	2.44	2.74
2565	5.10	2.40	2.69
2566	5.10	2.40	2.69
2567	6.05	2.85	3.20
2568	5.02	2.37	2.65
2569	5.02	2.37	2.65
2570	5.02	2.37	2.65
2571	5.02	2.37	2.65
2572	5.02	2.37	2.65
2573	5.02	2.37	2.65
2574	5.02	2.37	2.65
2575	4.60	2.17	2.43
2576	5.56	2.62	2.94
2577	6.51	3.07	3.44
2578	7.46	3.52	3.94
2579	7.46	3.52	3.94

จากตางรางที่ 15 พบว่าปริมาณเถ้าลอยที่เกิดขึ้นมีการเพิ่มขึ้นและลดลง สอดคล้องกับปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดเถ้าลอยคือ จำนวนโรงไฟฟ้า กำลังการผลิต และเทคโนโลยี ซึ่งงานวิจัยนี้ตั้งสมมุติฐานของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าตามโรงไฟฟ้าแม่

เมาะของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและข้อมูลงานวิจัยของ ศาสตราจารย์ ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ที่มีการเก็บสำรวจข้อมูล เป็นพื้นฐานการพยากรณ์ผลลัพธ์ที่ได้

4.3.2 เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash: BA)

การประเมินศักยภาพของเถ้าชานอ้อย จากข้อมูลพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อเถ้าชานอ้อยคือ ผลผลิตอ้อยในแต่ละปี โดยปริมาณอ้อยสามารถพยากรณ์ผลผลิตจากสมการในบทที่ 3 โดยผู้วิจัยกำหนดให้เทคโนโลยีการเกษตรสำหรับอ้อย พันธุ์อ้อย พื้นที่เป็นไปตามข้อมูลของการคาดการณ์ของ กรมส่งเสริมการเกษตรแสดงได้ดังตารางที่ 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 16 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตอ้อย ช่วง พ.ศ. 2558 –พ.ศ. 2579

ปี	พื้นที่ปลูกอ้อย (ล้านไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (ตันต่อไร่)	ผลผลิตรายปี (ล้านตันต่อปี)
2558	11.20	10.36	110.34
2559	11.75	10.45	117.09
2560	12.30	10.55	123.94
2561	12.85	10.64	130.89
2562	13.40	10.73	137.94
2563	13.95	10.83	145.10
2564	14.50	10.92	152.36
2565	15.05	11.02	159.73
2566	15.60	11.11	167.19
2567	16.15	11.20	174.76
2568	16.70	11.30	182.44
2569	16.70	11.39	190.21
2570	16.70	11.48	191.78
2571	16.70	11.58	193.34
2572	16.70	11.67	194.90
2573	16.70	11.76	196.46
2574	16.70	11.86	198.03
2575	16.70	11.95	199.59
2576	16.70	12.05	201.15
2577	16.70	12.14	202.72
2578	16.70	12.23	204.28
2579	10.65	12.33	205.84

จากตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่าผลผลิตอ้อยมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลประมาณการพื้นที่การปลูกที่รัฐบาลได้ออกมาตรการกำหนด

พื้นที่ปลูก (Zoning) ทำให้ในปี พ.ศ.2569 พื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศเพิ่มเป็น 16.7 ล้านไร่ สำหรับผลผลิตต่อไร่มีการเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ ด้วยสัดส่วนที่มีการปริมาณการไว้ตามแผนที่รัฐบาลกำหนด ซึ่งอธิบายในบทที่ 3

ผลการคำนวณการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตอ้อยในอนาคตเราสามารถคำนวณหาปริมาณเถ้าชานอ้อย ได้จากสมการที่ 7 ผลที่ได้แสดงให้เห็นปริมาณเถ้าชานอ้อยเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของอ้อยในแต่ละปีรวมไปถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะถูกลดจากการใช้เถ้าชานอ้อยในแต่ล่ะปี แสดงได้ดังตารางที่ 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 17 ศักยภาพของเถ้าชานอ้อยและค่าพยากรณ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณเถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นช่วง พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579

ปี	ผลผลิตรายปี (ล้านตันต่อปี)	เถ้าชานอ้อย (ล้านตัน)	ปริมาณ CO_2 ที่คาดว่าจะลดได้ (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์)
2558	110.34	0.68	0.56
2559	117.09	0.73	0.60
2560	123.94	0.77	0.63
2561	130.89	0.81	0.67
2562	137.94	0.86	0.71
2563	145.10	0.90	0.74
2564	152.36	0.94	0.78
2565	159.73	0.99	0.82
2566	167.19	1.04	0.86
2567	174.76	1.08	0.89
2568	182.44	1.13	0.93
2569	190.21	1.18	0.97
2570	191.78	1.19	0.98
2571	193.34	1.20	0.99
2572	194.90	1.21	1.00
2573	196.46	1.22	1.00
2574	198.03	1.23	1.01
2575	199.59	1.24	1.02
2576	201.15	1.25	1.03
2577	202.72	1.26	1.04
2578	204.28	1.27	1.04
2579	205.84	1.28	1.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.3 เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil fuel Ash: POFA)

การประเมินศักยภาพของเถ้าปาล์มน้ำมัน จากข้อมูลพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมัน คือ ผลผลิตปาล์มน้ำมันในแต่ละปี โดยปริมาณปาล์มน้ำมันสามารถพยากรณ์ผลผลิตจากสมการที่ 8 ในบทที่ 3 โดยผู้วิจัยกำหนดให้เทคโนโลยีการเกษตรสำหรับปาล์มน้ำมัน พันธุ์ปาล์มน้ำมัน พื้นที่เป็นไปตามข้อมูลของการคาดการณ์ของร่างยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม พ .ศ.2558 – 2569 แสดงได้ดังตารางที่ 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 18 ผลการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2558 –พ.ศ. 2579

ปี	พื้นที่ปลูกปาล์ม (ล้านไร่)	ผลผลิตต่อไร่ (ตันต่อไร่)	ผลผลิตรายปี (ล้านตันต่อปี)
2558	4.75	3.23	15.32
2559	5.00	3.25	16.25
2560	5.25	3.28	17.19
2561	5.50	3.30	18.15
2562	5.75	3.33	19.12
2563	6.00	3.35	20.10
2564	6.25	3.38	21.09
2565	6.50	3.40	22.10
2566	6.75	3.43	23.12
2567	7.00	3.45	24.15
2568	7.25	3.48	25.19
2569	7.50	3.50	26.25
2570	7.50	3.53	26.44
2571	7.50	3.55	26.63
2572	7.50	3.58	26.81
2573	7.50	3.60	27.00
2574	7.50	3.63	27.19
2575	7.50	3.65	27.38
2576	7.50	3.68	27.56
2577	7.50	3.70	27.75
2578	7.50	3.73	27.94
2579	7.50	3.75	28.13

จากตารางที่ 18 แสดงให้เห็นว่าผลผลิตปาล์มน้ำมันมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลประมาณการพื้นที่การปลูกที่รัฐบาลได้ออกมาตรการกำหนดพื้นที่ปลูกทำให้ในปี พ.ศ.2569 พื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศเพิ่มเป็น 7.5 ล้านไร่

สำหรับผลผลิตต่อไร่มีการเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ ด้วยสัดส่วนที่มีการประมาณการไว้ตามแผนที่รัฐบาลกำหนด ซึ่งอธิบายในบทที่ 3

ผลการคำนวณการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในอนาคตเราสามารถคำนวณหาปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมัน ได้จากสมการที่ 9 ผลที่ได้แสดงให้เห็นปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของปาล์มน้ำมันในแต่ละปีรวมไปถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะถูกลดจากการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันในแต่ละปี แสดงได้ดังตารางที่ 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 ศักยภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะลดลงจากช่วง พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579

ปี	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (ตันต่อปี)	เถ้าปาล์มน้ำมัน (ล้านตัน)	ปริมาณ CO_2 ที่คาดว่าจะลดได้ (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์)
2558	15.32	0.30	0.307
2559	16.25	0.37	0.326
2560	17.19	0.39	0.345
2561	18.15	0.42	0.364
2562	19.12	0.44	0.383
2563	20.10	0.46	0.403
2564	21.09	0.49	0.423
2565	22.10	0.51	0.443
2566	23.12	0.54	0.463
2567	24.15	0.56	0.484
2568	25.19	0.59	0.505
2569	26.25	0.61	0.526
2570	26.44	0.64	0.530
2571	26.63	0.64	0.534
2572	26.81	0.65	0.538
2573	27.00	0.65	0.541
2574	27.19	0.66	0.545
2575	27.38	0.66	0.549
2576	27.56	0.67	0.553
2577	27.75	0.67	0.556
2578	27.94	0.67	0.560
2579	28.13	0.68	0.564

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4 วิเคราะห์ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีต่างๆ

การวิเคราะห์ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดทั้ง 3 ชนิด คือ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน ด้วยการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากภาพอนาคตใช้พยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะลดลงจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด จำนวน 2 ภาพอนาคต และ 1กรณีศึกษา ดังนี้

4.4.1 ภาพอนาคตกรณีใช้วัสดุทดแทนเต็มศักยภาพวัตถุดิบ
(Full Potential Scenario: FULL Scenario)

จากการคำนวณศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ดทั้ง 3 ชนิด ผ่านทางสมการที่ 1 – 9 ได้ผลตามข้อ 4.3 สามารถแสดงข้อมูลปริมาณเถ้าทั้ง 3 ชนิด ดังตารางที่ 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 20 ปริมาณเถ้าทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำไปใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ ที่ประเมินได้

ปี	เถ้าลอย (ล้านตัน)	เถ้าชานอ้อย (ล้านตัน)	เถ้าปาล์มน้ำมัน (ล้านตัน)
2558	1.54	0.64	0.30
2559	1.67	0.68	0.37
2560	1.81	0.73	0.39
2561	1.83	0.77	0.41
2562	2.23	0.81	0.44
2563	2.23	0.86	0.46
2564	2.73	0.90	0.48
2565	2.69	0.94	0.51
2566	2.69	0.99	0.53
2567	3.19	1.04	0.56
2568	2.65	1.08	0.58
2569	2.65	1.13	0.61
2570	2.65	1.18	0.63
2571	2.65	1.19	0.64
2572	2.65	1.20	0.64
2573	2.65	1.21	0.65
2574	2.65	1.22	0.65
2575	2.43	1.23	0.66
2576	2.93	1.24	0.66
2577	3.44	1.25	0.67
2578	3.94	1.26	0.67
2579	3.94	1.27	0.67

เมื่อนำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หากนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดไปใช้งานแล้วตามสมการที่ 10 แสดงได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังจากนำเถ้าทั้ง 3 ชนิด
เมื่อนำไปใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ ที่ประเมินได้

ปี	เถ้าลอย (Mt_{CO2})	เถ้าชานอ้อย (Mt_{CO2})	เถ้าปาล์มน้ำมัน (Mt_{CO2})
2558	1.27	0.56	0.31
2559	1.38	0.60	0.33
2560	1.49	0.63	0.34
2561	1.51	0.67	0.36
2562	1.84	0.71	0.38
2563	1.84	0.74	0.40
2564	2.26	0.78	0.42
2565	2.22	0.82	0.44
2566	2.22	0.86	0.46
2567	2.63	0.89	0.48
2568	2.18	0.93	0.51
2569	2.18	0.97	0.53
2570	2.18	0.98	0.53
2571	2.18	0.99	0.53
2572	2.18	1.00	0.54
2573	2.18	1.00	0.54
2574	2.18	1.01	0.55
2575	2.00	1.02	0.55
2576	2.42	1.03	0.55
2577	2.83	1.04	0.56
2578	3.25	1.04	0.56
2579	3.25	1.05	0.56

4.4.2 ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม
(Zoning Scenario: ZONE Scenario)

การคำนวณศักยภาพตามพื้นที่การใช้งานสำหรับวัสดุทดแทนปูนเม็ดแต่ละชนิด ผู้วิจัยกำหนดเงื่อนไขสำหรับใช้เป็นตัวกำหนดเพื่อสร้างภาพอนาคตนี้ ทั้ง ราคาเถ้า แต่ละประเภทเทียบเคียง กับราคาเถ้าลอย อัตราค่าขนส่งเถ้าเทียบเท่าเถ้าลอย ระยะทางจากโรงงานปูนซีเมนต์ไปยังแหล่งวัตถุดิบ ตลอดจนปริมาณความต้องการใช้งาน ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ผลจากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากเถ้าลอยกับภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสมรวมทั้งผลหากมีการนำไปใช้ลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดงได้ดังตารางที่ 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 22 ปริมาณเถ้าลอยและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้จากภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม

ปี	เถ้าลอย (ล้านตัน)	ปริมาณ CO_2 (Mt_{CO2})
2558	1.31	1.08
2559	1.43	1.18
2560	1.54	1.27
2561	1.56	1.29
2562	1.91	1.57
2563	1.91	1.57
2564	1.97	1.62
2565	1.93	1.59
2566	1.93	1.59
2567	1.99	1.64
2568	1.53	1.26
2569	1.53	1.26
2570	1.53	1.26
2571	1.53	1.26
2572	1.53	1.26
2573	1.53	1.26
2574	1.53	1.26
2575	1.34	1.11
2576	1.77	1.46
2577	2.20	1.81
2578	2.62	2.16
2579	2.62	2.16

สำหรับเถ้าชีวมวล (เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน) เงื่อนไขกรณีการกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม อันได้แก่ ราคาค่าเถ้าที่เพิ่มขึ้น เป็น 270 บาทต่อตัน และอัตราค่าขนส่งที่ 6 บาทต่อกิโลเมตร ดังที่กล่าวในบทที่ 3 ทำให้

ระยะทางที่จะทำให้เกิดความคุ้มค่าในการขนส่งและราคาเถ้าคือ 788.33 กิโลเมตร เมื่อนำข้อมูลระหว่างโรงงานปูนซีเมนต์กับแหล่งผลิตมาวิเคราะห์ พบว่าผลที่ได้จะมีค่าเท่ากับกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ เนื่องจากระยะทางที่ใช้กำหนดแทนรัศมีครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลผลิตนำไปสู่เถ้าชีวมวล

4.4.3 กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

ในกรณีศึกษานี้ผู้วิจัยได้จากการรวบรวมผลจากเอกสารงานวิจัยทางห้องปฏิบัติการและการลงสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านปูนซีเมนต์และคอนกรีต (ศาสตราจารย์ ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล) พบว่าสัดส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งาน ในการทดแทนของเถ้าลอยและเถ้าชีวมวล คือ ร้อยละ30 และร้อยละ 20 ตามลำดับ รวมทั้งปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้หากมีการใช้งาน แสดงได้ดังตารางที่ 23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 ผลตามสัดส่วนขอบสูงที่เหมาะสมของการใช้งานเถ้าและค่าที่ CO_2 ที่ลดลง

ปี	เถ้าลอย (ล้านตัน)	CO_2 ลดลง (Mt_{CO2})	เถ้าชีวมวล (ล้านตัน)	CO_2 ลดลง (Mt_{CO2})
2558	12.67	10.45	8.45	6.97
2559	12.83	10.59	8.55	7.06
2560	13.01	10.73	8.67	7.16
2561	13.18	10.88	8.79	7.25
2562	13.36	11.02	8.90	7.35
2563	13.54	11.17	9.03	7.45
2564	13.73	11.33	9.15	7.55
2565	13.92	11.49	9.28	7.66
2566	14.12	11.65	9.41	7.77
2567	14.33	11.82	9.55	7.88
2568	14.54	12.00	9.70	8.00
2569	14.76	12.18	9.84	8.12
2570	15.00	12.37	10.00	8.25
2571	15.23	12.56	10.15	8.38
2572	15.47	12.76	10.31	8.51
2573	15.71	12.96	10.47	8.64
2574	15.97	13.18	10.65	8.79
2575	16.24	13.40	10.83	8.93
2576	16.51	13.62	11.01	9.08
2577	16.80	13.86	11.20	9.24
2578	17.09	14.10	11.40	9.40
2579	17.40	14.36	11.60	9.57

4.4.4 แนวทางการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากผลทั้ง 3 ภาพอนาคต และ 1 กรณีศึกษาพบว่า หากมีการนำเถ้าทั้ง 3 ชนิดมาใช้งานแล้ว จะช่วยลดปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้โดยกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ แสดงได้ดังตารางที่ 24 และกรณีการกำหนดการใช้งานตามความเหมาะสม แสดงได้ดังตารางที่ 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 24 ผลที่ได้จากการใช้เถ้าทั้ง 3 ชนิด จากกรณีภาพอนาคตการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ

ปี	เถ้า (ล้านตัน)	CO_2 (Mt_{CO2})
2558	2.48	2.05
2559	2.72	2.24
2560	2.93	2.42
2561	3.01	2.48
2562	3.48	2.87
2563	3.55	2.93
2564	4.11	3.39
2565	4.14	3.42
2566	4.21	3.47
2567	4.79	3.95
2568	4.31	3.56
2569	4.39	3.62
2570	4.46	3.68
2571	4.48	3.70
2572	4.49	3.70
2573	4.51	3.72
2574	4.52	3.73
2575	4.32	3.56
2576	4.83	3.98
2577	5.36	4.42
2578	5.87	4.84
2579	5.88	4.85

ตารางที่ 25 ผลที่ได้จากการใช้เถ้าทั้ง 3 ชนิด
จากกรณีภาพอนาคตกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม

ปี	เถ้า (ล้านตัน)	CO_2 (Mt_{CO2})
2558	2.13	1.76
2559	2.20	1.82
2560	2.37	1.96
2561	2.54	2.10
2562	2.64	2.18
2563	3.00	2.48
2564	3.08	2.54
2565	3.22	2.66
2566	3.27	2.70
2567	3.36	2.77
2568	3.50	2.89
2569	3.20	2.64
2570	3.21	2.65
2571	3.22	2.66
2572	3.23	2.66
2573	3.24	2.67
2574	3.24	2.67
2575	3.25	2.68
2576	3.11	2.57
2577	3.47	2.86
2578	3.84	3.17
2579	4.20	3.47

จากข้อมูลทั้ง 2 ตารางระหว่างภาพอนาคตการใช้งานเต็มศักยภาพ กับภาพอนาคตกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม มีผลต่างกัน ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกำหนดเงื่อนไขการใช้งานในภาพอนาคตกำหนดพื้นที่ใช้งานตามความ

เหมาะสม ที่เถ้าลอยสามารถดำเนินการได้เนื่องจากจำนวนโรงฟ้าซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมีการระบุที่แน่นอน ประกอบกับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเถ้าลอยต่างจากปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเถ้าชีวมวล จึงทำให้เถ้าชีวมวลไม่สามารถกำหนดพื้นที่ได้เนื่องจากระยะทางที่ได้ครอบคลุมอาณาเขตระหว่างโรงงานปูนซีเมนต์กับแหล่งผลิตและความต้องการสูงกว่าที่ผลิตได้จริงจึงทำให้ไม่สามารถกำหนดพื้นที่ตามเงื่อนไขดังกล่าวได้

4.5 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกับอัตราส่วนขอบสูงสามารถนำไปใช้งาน

ในการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบระหว่างผลการวิเคราะห์ตามภาพอนาคตต่างๆเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถนำไปใช้งาน ผู้วิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบโดยใช้ผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถนำไปใช้งาน เป็นความต้องการ (Demand) ในฝั่งของการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดไปใช้งาน ส่วนการประเมินศักยภาพที่ได้จากแต่ละภาพอนาคตเป็นฝั่งสนับสนุน (Supply) ในการวิเคราะห์นี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ เถ้าลอย และเถ้าชีวมวล วิธีการนั้นได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.5.4

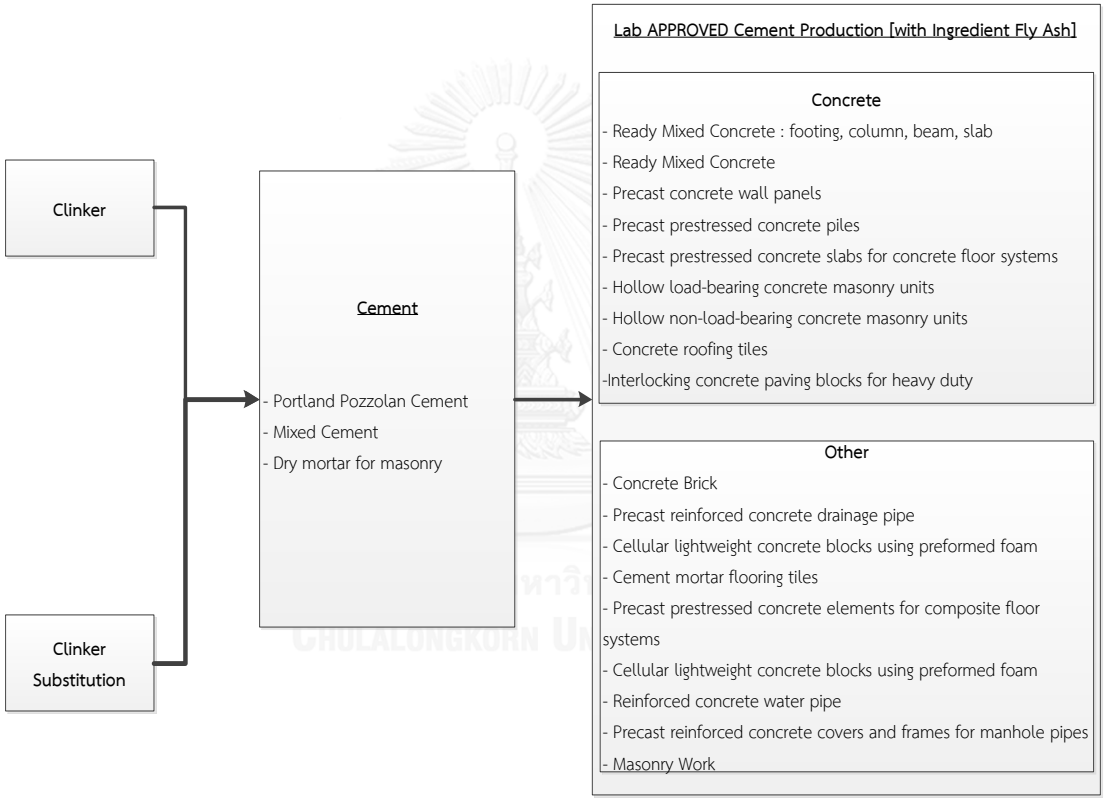
เถ้าลอย กำหนดให้ใช้อัตราส่วนขอบสูงที่ร้อยละ 30 ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ที่ปูนเม็ดร้อยละ70 อัตราส่วนนี้อ้างอิงตามงานวิจัยและการสัมภาษณ์ผู้เชียวชาญ ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

เถ้าชีวมวล กำหนดให้ใช้อัตราส่วนขอบสูงที่ร้อยละ 20 ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ปูนเม็ดร้อยละ80 อัตราส่วนนี้อ้างอิงตามงานวิจัยและการสัมภาษณ์ผู้เชียวชาญ ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 วิเคราะห์การเติบโตของตลาดผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมวัสดุทดแทนปูนเม็ด

สำหรับการประเมินการเติบโตนั้นผู้วิจัยมีการเปรียบเทียบกันระหว่างผลและการสัมภาษณ์เพื่อหารือกับผู้เชี่ยวชาญของข้อมูลจากห้องปฏิบัติการกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินการเติบโตของตลาดในอนาคตทั้งของผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้เถ้าลอย และเถ้าชีวมวลเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดได้ จากข้อมูลในบทที่ 2 ซึ่งกล่าวถึงประเภทของปูน และข้อมูลอื่นๆ ที่ผู้วิจัยได้รวบรวม อันได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการนำปูนและวัสดุทดแทนปูนเม็ดสามารถนำไปใช้งานได้มาเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการวิเคราะห์การเติบโตตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น แสดงได้ดังแผนภูมิที่ 9



แผนภูมิที่ 9 ไดอะแกรมผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำเถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสม

จากไดอะแกรมพบว่ามี จำนวน 16 ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำวัสดุทดแทนปูนเม็ด ชนิดเถ้าลอยเข้าไปเป็นส่วนผสมได้ตามเงื่อนไขของ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ทั้งที่ได้รับ มอก.ด้วยตัวผลิตภัณฑ์เอง และ ผ่าน มอก.ตามมวลสารที่ใช้ผสม ตาม มอก.566-2528 ที่ระบุประเภทของวัสดุทดแทนหรือวัสดุผสม ที่เป็นชนิดเถ้าลอยไว้อย่างชัดเจน แต่มีบางผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้รับมาตรฐานอุตสาหกรรมแม้จะสามารถนำเถ้าลอยไปเป็นส่วนผสมในการผลิตหรือใช้งานได้ แสดงได้ดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ผลวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ประเภท ปูน คอนกรีต และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่สามารถนำเถ้าลอยเป็นวัสดุผสม/ทดแทนตามอัตราส่วนที่กำหนด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

ลำดับที่	ชื่อผลิตภัณฑ์	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)	
		มีการระบุให้สามารถใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดได้	เลขที่ มอก
1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Ordinary Portland Cement	×	15-2547
2	ปูนซีเมนต์ดัดแปลง Modified Cement	×	15-2547
3	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว Rapid Hardening Portland	×	15-2547
4	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ Low Heat Portland Cement	×	15-2547
5	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต Sulfate Resisting Portland Cement	×	15-2547
6	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน Portland Pozzolan Cement	√	849-2556
7	ปูนซีเมนต์ผสม* Mixed Cement	√	80-2550, 566

*ตามปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Ordinary Portland Cement)

ลำดับที่	ชื่อผลิตภัณฑ์	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)	
		มีการระบุให้สามารถใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดได้	เลขที่ มอก
8	ปูนซีเมนต์ขาว White Cement	×	241-2543
9	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตะกรันเตาถลุงเหล็ก Portland Blast Furnace Slag Cement	×	
10	ปูนซีเมนต์ซัลเฟตสูง Super sulfated Cement	×	
11	ปูนก่อสำเร็จรูปชนิดแห้ง** Dry mortar for masonry	√	598–2547, 849-2556
12	ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน Oil-Well Cement	×	
13	คอนกรีตผสมเสร็จ Ready Mixed Concrete	√	213-2552
14	แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป Precast concrete wall panels	√	2226-2548
15	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ Precast prestressed concrete piles*	√	396-2549, 213, 566
16	แผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จสำหรับระบบพื้นคอนกรีต* Precast prestressed concrete slabs for concrete floor systems	√	576-2546

*ตามปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Ordinary Portland Cement)

**ตามปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน

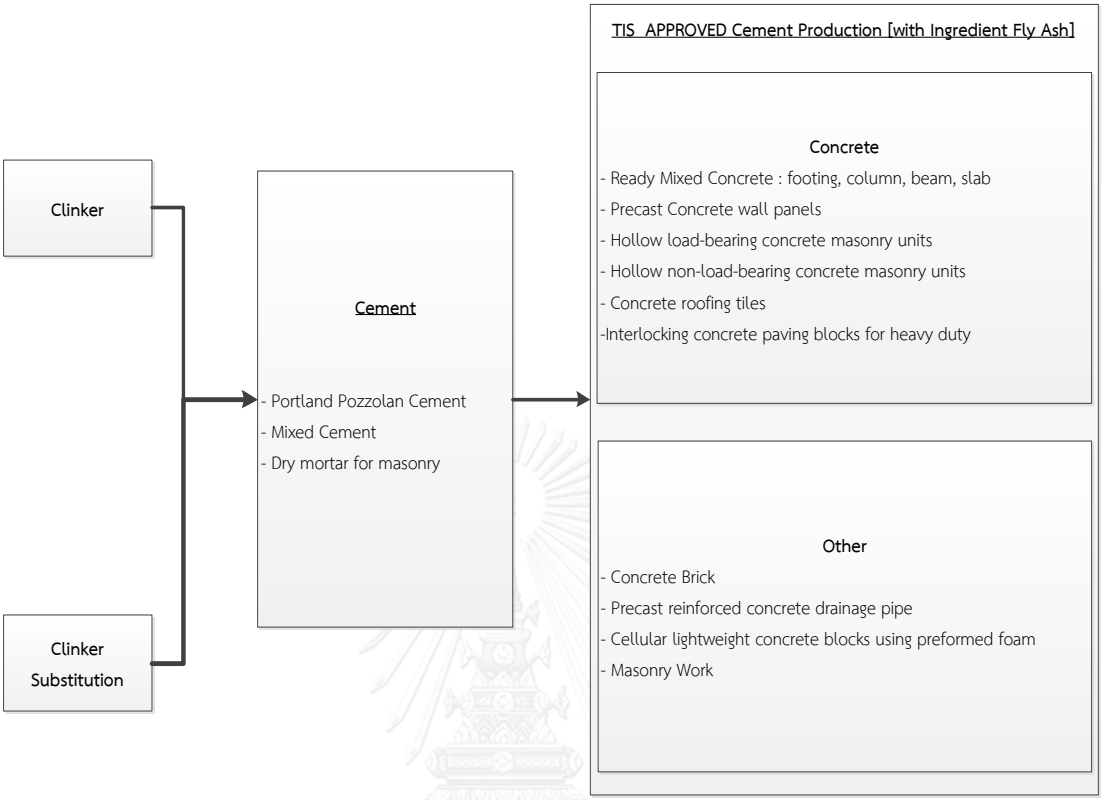
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	ชื่อผลิตภัณฑ์	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)	
		มีการระบุให้สามารถใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดได้	เลขที่ มอก
17	คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก Hollow load-bearing concrete masonry units	×	57-2532
18	คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก Hollow non-load-bearing concrete masonry units	×	58-2533
19	กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา** Concrete roofing tiles	√	535-2556, 849-2556
20	คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก Interlocking concrete paving blocks for heavy duty	√	2035-2543
21	ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับงานระบายน้ำ Precast reinforced concrete drainage pipe	√	128-2549, 2135
22	กระเบื้องปูพื้นคอนกรีต Cement mortar flooring tiles	×	378-2531, 566
23	ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จสำหรับระบบพื้นประกอบ Precast prestressed concrete elements for composite floor systems	×	828-2546, 566

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับที่	ชื่อผลิตภัณฑ์	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)	
		มีการระบุให้สามารถใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดได้	เลขที่ มอก
24	คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ Cellular lightweight concrete blocks using preformed foam	√	2601-2556
25	ท่อซีเมนต์ใยหินทนความดัน	×	81-2548
26	ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับงานส่งน้ำ* Reinforced concrete water pipe	×	1012-2533, 849-2556
27	ฝาและขอบท่อบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ Precast reinforced concrete covers and frames for manhole pipes	×	1226-2537

จากตารางที่ 26 แสดงให้เห็นว่าแม้ผลิตภัณฑ์หลายประเภทสามารถใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมได้ก็ตาม ก็มีเพียงไม่กี่ผลิตภัณฑ์ที่มาตรฐานอุตสาหกรรมอนุญาตหรือระบุเถ้าลอยเป็นส่วนผสมหรือวัตถุดิบสำหรับการผลิต ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ดังแสดงได้ในแผนภูมิที่ 10



แผนภูมิที่ 10 ไดอะแกรมแสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่มาตรฐานอุตสาหกรรมอนุญาตใช้เป็นส่วนผสม

ดังนั้น แม้ผลตามต้องปฏิบัติการรับรองแล้วว่าสามารถใช้งานได้จริงก็ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ส่งผลให้การเติบโตในส่วนของเถ้าลอยเติบโตได้ตามกรอบของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดและอนุญาต เพื่อสร้างความเชื่อมั่น ความถูกต้องตามกฎหมาย จึงจะสามารถเติบโตได้

สำหรับเถ้าชีวมวลทั้ง 2 ชนิด สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือวัสดุทดแทนได้ตามผลห้องปฏิบัติการ แต่ปัจจุบันเถ้าชีวมวลดังกล่าวยังไม่ได้รับการอนุมัติให้ใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดได้ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือยังไม่ได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) จึงทำให้***<u>ไม่สามารถนำไปใช้งานได้</u>***

บทที่ 5
อภิปรายผลการวิจัย

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษา กระบวนการผลิตปูนเม็ดในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอดีตเพื่อใช้ประเมินปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต และประเมินผลจากการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประกอบไปด้วย เถ้าลอย เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน โดยทั้ง 3 ชนิด ผู้วิจัยต้องประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ดเหล่านั้น ตามกรอบระยะเวลา 22 ปี ระหว่าง พ.ศ.2558 – พ.ศ.2579 รวมระยะเวลา 22 ปี ใช้วิธีการวิจัยด้วยการสร้างภาพอนาคตในกรณีที่มีการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดไปใช้งาน 2 ภาพอนาคต ได้แก่ ภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ และภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานที่เหมาะสม และ1 กรณีศึกษาจากผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ รวมไปถึง การศึกษาผลจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดในมุมมองการเติบโต เพื่อสร้างแผนการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทย จากการนำเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้งาน ในการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยนำข้อมูลและปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องต่างๆที่มีความสอดคล้องกันมาวิเคราะห์ตามสมมุติฐาน ข้อมูลเหล่านั้นล้วนแล้วเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือ มีการเก็บรวบรวมตามแบบแผนขั้นตอน และมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับรอง ดังปรากฏในบทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย และบทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

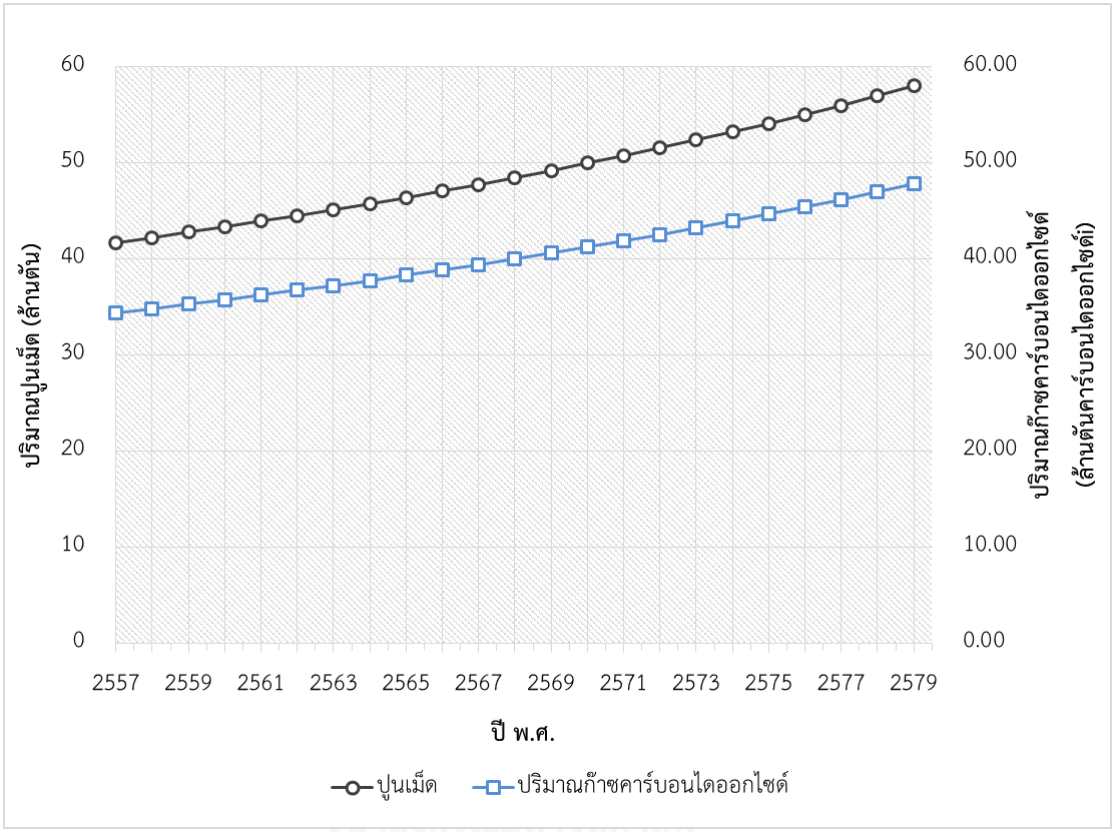
1 ข้อมูลการสร้างบัญชีก๊าซเรือนกระจก (GHG Inventory)

ข้อมูลในส่วนของการผลิตปูนเม็ดเพื่อการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ประเมินศักยภาพการผลิตปูนเม็ดในอนาคต และประเมินศักยภาพของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตนั้น ผลในส่วนนี้จุดประสงค์เพื่อสร้างบัญชีก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) (GHG Inventory) และสร้างกรณีฐาน (Baseline)

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาเชิงปริมาณของการผลิตเทียบมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) รวมถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามปริมาณของปูนเม็ดที่ผลิตได้จากภาพรวมของประเทศไทย สรุปได้ดังนี้

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้กับมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศพบว่ามีความสมรูปกันหรือมีความสอดคล้องกัน ในช่วง พ.ศ.2543 – พ.ศ.

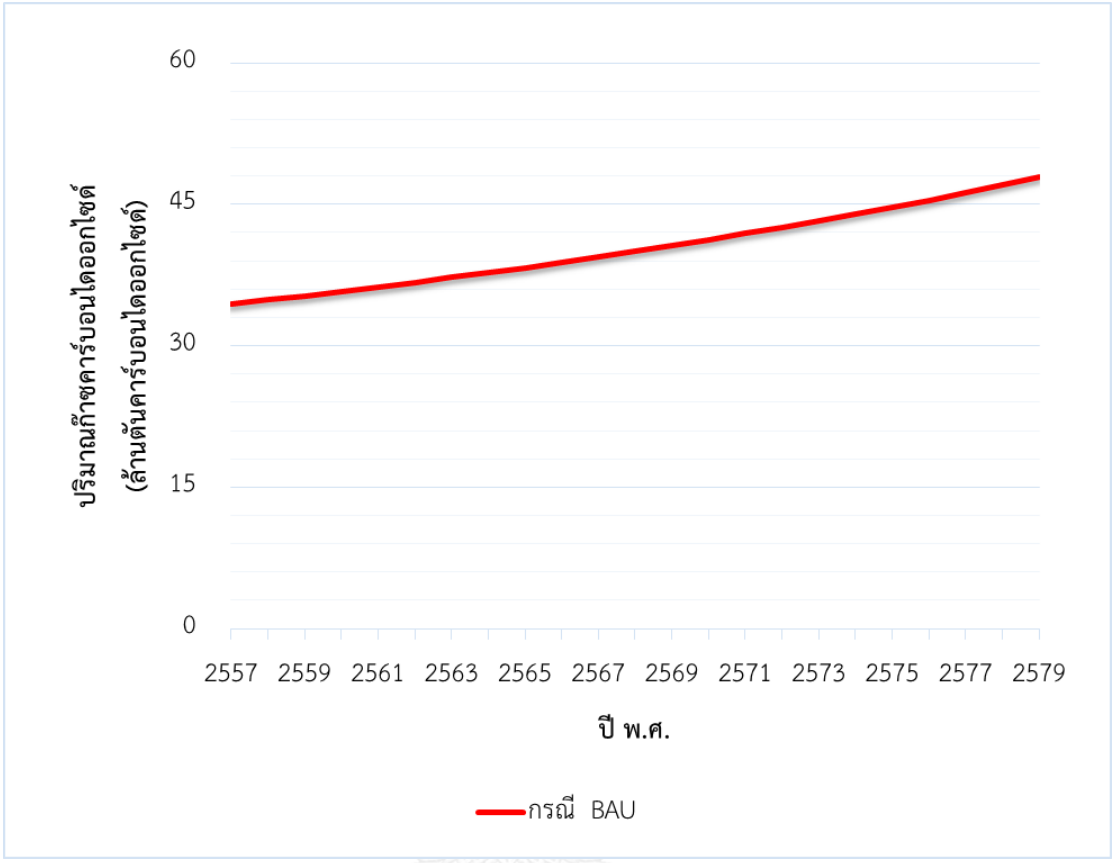
2557 ทำให้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ประเมินผลที่เกิดในอนาคต ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 พบว่าปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ รวมทั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ในช่วงปี พ.ศ.2558 –พ.ศ. 2579 แสดงดังแผนภูมิที่ 11



แผนภูมิที่ 11 ปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ รวมทั้งผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ในช่วงปี พ.ศ.2558 –พ.ศ. 2579

จากแผนภูมิดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างปูนเม็ดและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณปูนเม็ดเพิ่ม ก๊าซคาร์บอนไดออกซด์ก็เพิ่มสูงตามไปด้วย ดังนั้นคาดการณ์ผลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นแปรผันตามกับปริมาณของปูนเม็ด หากมีการลดปริมาณของปูนเม็ดลงก็จะทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามไปด้วย ตามสมมุติฐานของงานวิจัยนี้ ในปี พ.ศ. 2579 จะมีปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ทั้งสิ้นจากการคำนวณที่ 58.01 ล้านตัน ส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 47.86 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์

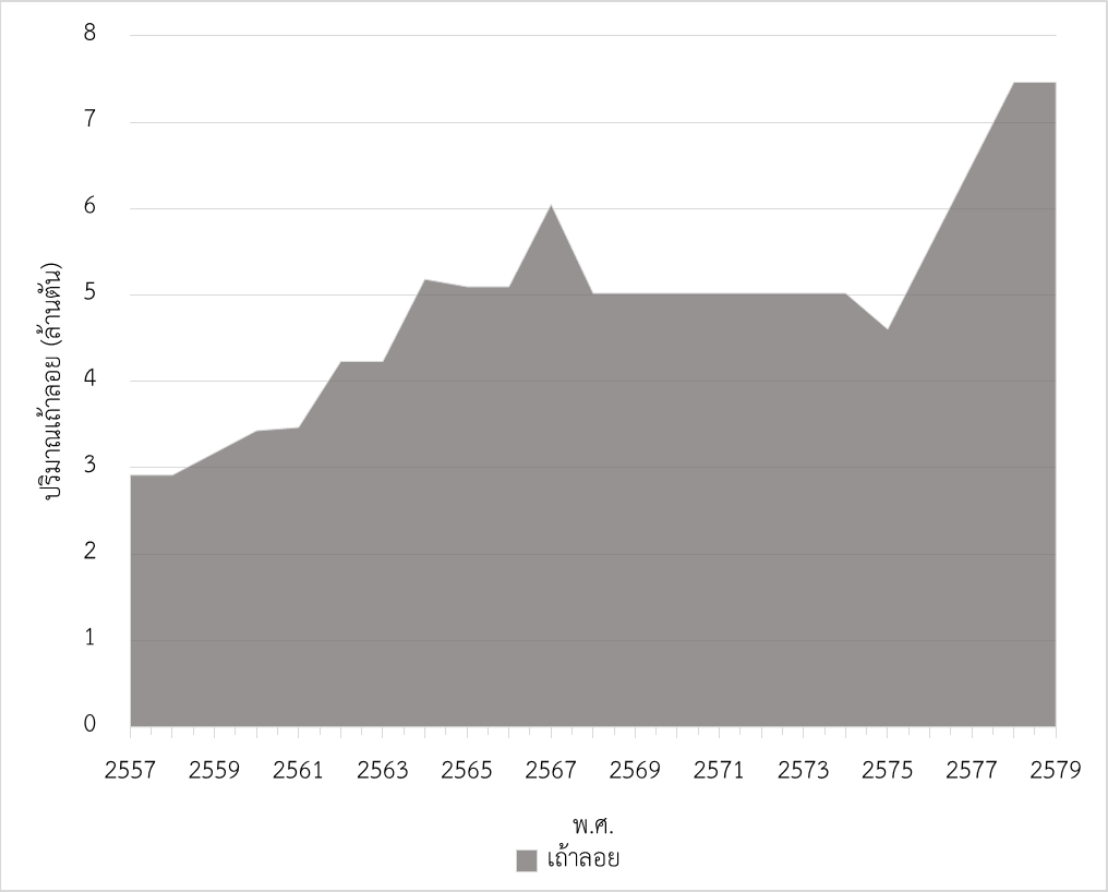
จากผลที่สรุปตามแผนภูมิดังกล่าวนี้จึงทำให้สามารถกำหนดกรณีฐานจากการผลิตปูนเม็ดตามสมมุติฐานของเทคโนโลยี กระบวนการผลิต วิธีการ รวมทั้งเทคโนโลยีที่จะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปัจจุบัน แสดงได้ดังแผนภูมิที่ 12



แผนภูมิที่ 12 กรณีฐาน Business As Usual Scenario (BAU Scenario)

2 ข้อมูลสำหรับประเมินศักยภาพวัสดุทดแทนปูนเม็ด

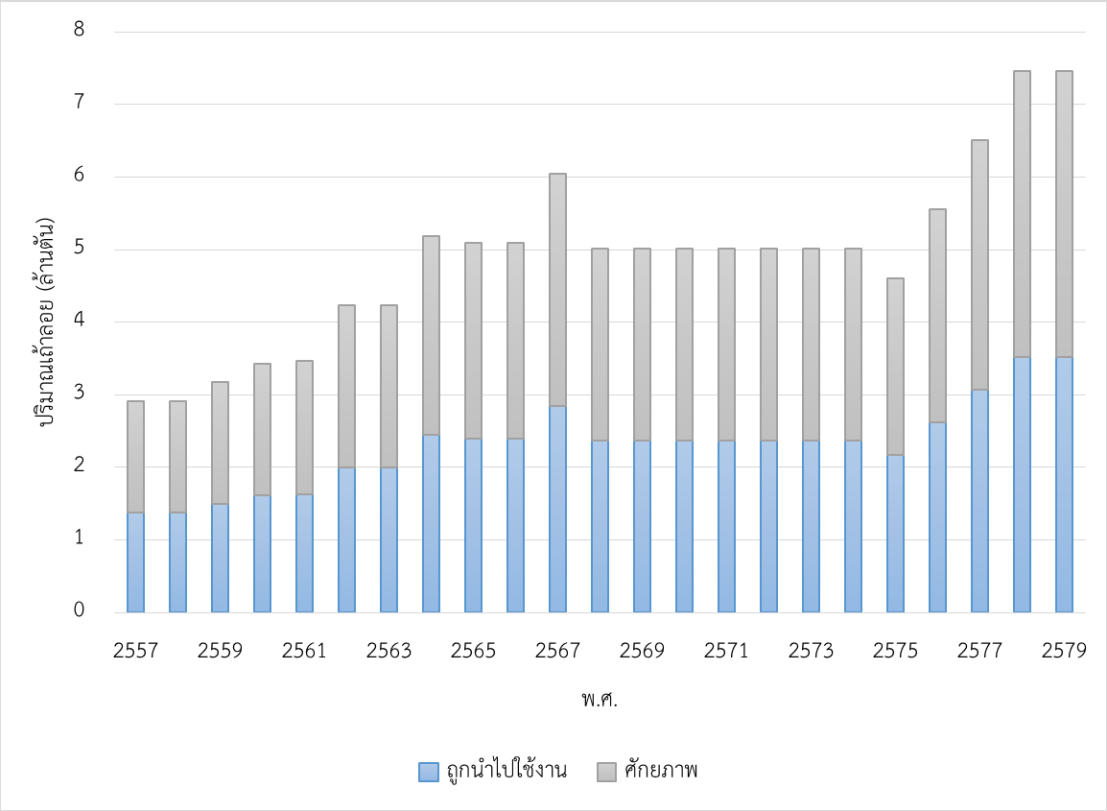
ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์เพื่อประเมินศักยภาพของวัสดุทดแทนปูนเม็ด ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะนำวัสดุทดแทนปูนเม็ด 3 ชนิด ได้แก่ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน ทั้ง 3 ชนิดเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนประเภทเชื้อเพลิงถ่านหิน และ ชีวมวลจากอุตสาหกรรมการเกษตร ในข้อมูลชุดแรกคือข้อมูลสำหรับประเมินศักยภาพของเถ้าลอย จากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 และค่าคงที่สำหรับการแปลงกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นเถ้าลอย ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ผลการวิเคราะห์ตามสมมุติฐานที่ เถ้าลอย เกิดจาก 3 ปัจจัยหลักที่ส่งเสริมให้มีเถ้าลอย คือ จำนวนโรงไฟฟ้า เทคโนโลยีการผลิต และกำลังการผลิตไฟฟ้า แสดงดังแผนภูมิที่ 15



แผนภูมิที่ 13 ปริมาณเถ้าลอยที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ.2558- พ.ศ.2579 จากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558-พ.ศ.2579 เฉพาะโรงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเขตประเทศไทย

จากแผนภูมิที่ 13 พบว่าประมาณเถ้าลอยที่เกิดขึ้นมีทั้งปริมาณเพิ่มสูงขึ้นและมีปริมาณลดลงเป็นผลมาจากมีการถอนโรงไฟฟ้า (Retirement) เนื่องจากสิ้นอายุการใช้งาน สำหรับปริมาณที่เพิ่มขึ้นเกิดจากความต้องการใช้ไฟฟ้าของประชาชนในประเทศ ระบุแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 – พ.ศ.2579

สำหรับการประเมินศักยภาพของเถ้าลอยนั้น ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสัมภาษณ์ผู้เชียวชาญที่เกี่ยวข้องกับการนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์ในทางวิศวกรรมโยธา สำหรับใช้ทดแทนปูนเม็ดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ พบว่าสามารถจำแนกเถ้าลอยเป็น 2 ส่วน คือการนำไปใช้แล้วและส่วนที่เหลือทั้ง คิดเป็นร้อยละ 47.15 และ ร้อยละ 52.85 ผลที่ได้แสดงดังแผนภูมิที่ 14



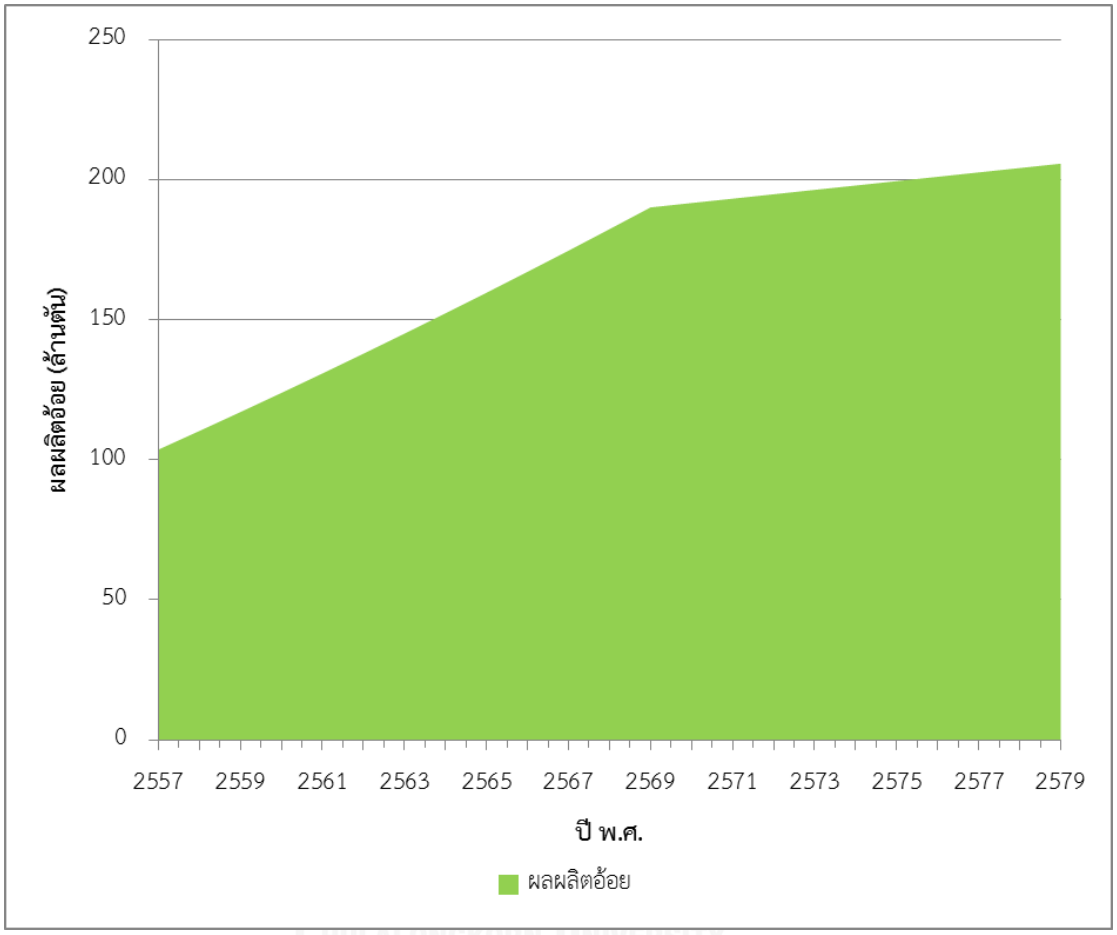
แผนภูมิที่ 14 สัดส่วนเถ้าลอยระหว่างส่วนศักยภาพและส่วนที่ถูกนำไปใช้งาน ระหว่าง พ.ศ.2558 – พ.ศ.2579

จากแผนภูมิที่ 14 แสดงใช้เห็นว่าเถ้าลอยที่ถูกประเมินจากแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 – พ.ศ.2579 ในแผนภูมิที่ 14 นี้เป็นการจำแนกโดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของศาสตราจารย์ ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ใช้วิเคราะห์ดังที่กล่าวไว้ในเบื้องต้น ประกอบกับผู้วิจัยใช้สมมุติฐานที่มีการนำเถ้าลอยไปใช้งานตามสัดส่วนที่แสดงบนแผนภูมิใน พ.ศ.2557 เป็นฐาน

ดังนั้นสรุปในส่วนของศักยภาพของเถ้าลอยในปี พ.ศ.2579 ที่ 3.94 ล้านตัน เมื่องานจะช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 3.25 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อมูลในชุดที่ 2 คือ การประเมินศักยภาพของเถ้าชานอ้อยจากบัญชีสมดุล Balance Sheet อ้อยโรงงาน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ข้อมูลพันธุ์อ้อย และข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล โดยผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลที่ส่งเสริมให้เกิดปริมาณเถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้นจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ พื้นที่การปลูก และผลผลิตต่อไร่ ทั้งปัจจัยจะถูกขับเคลื่อนจากเทคโนโลยีทางการเกษตร สภาพดินฟ้าอากาศ สภาพแวดล้อม เป็นต้น ทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดอ้อย หรือปริมาณอ้อย เถ้าชานอ้อยจะมีหรือเกิดขึ้นได้ต้องมาจาก

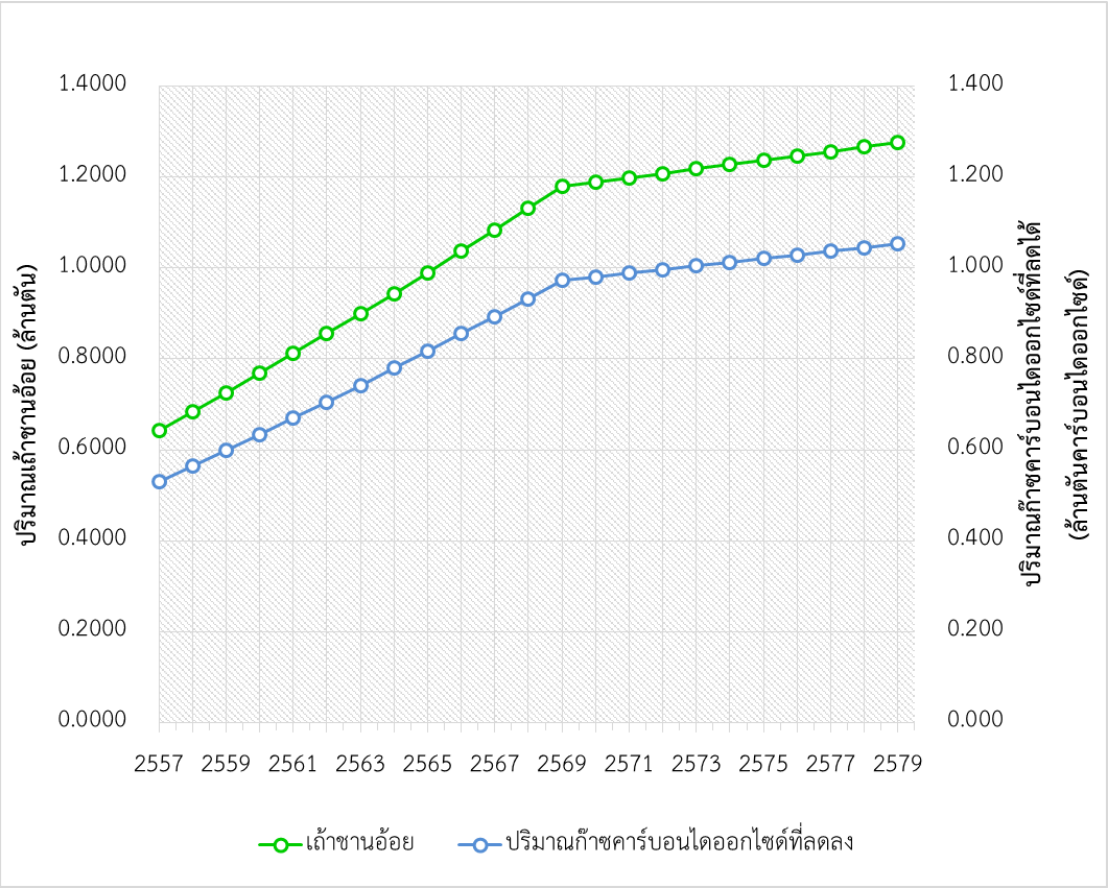
อ้อยที่ส่งเข้าโรงงาน ดังนั้นหากจะประเมินศักยภาพของเถ้าชานอ้อยแล้ว ต้องประเมินผลผลิตอ้อยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วย สำหรับรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ข้อมูลปริมาณอ้อยแสดงดังแผนภูมิที่ 15



CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนภูมิที่ 15 ผลคาดการณ์ปริมาณผลผลิตอ้อย ระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ.ศ.2479

จากแผนภูมิที่ 15 แสดงให้เห็นปริมาณผลผลิตอ้อยตามสมมุติฐานที่ผู้วิจัยได้กำหนด โดยปริมาณผลผลิตอ้อยในปี พ.ศ. 2579 มีปริมาณผลผลิตทั้งสิ้น 205.84 ล้านตัน โดยผลผลิตที่ประเมินได้ดังกล่าวจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินปริมาณเถ้าชานอ้อยที่จะเกิดขึ้น ดังแสดงในแผนภูมิที่ 16

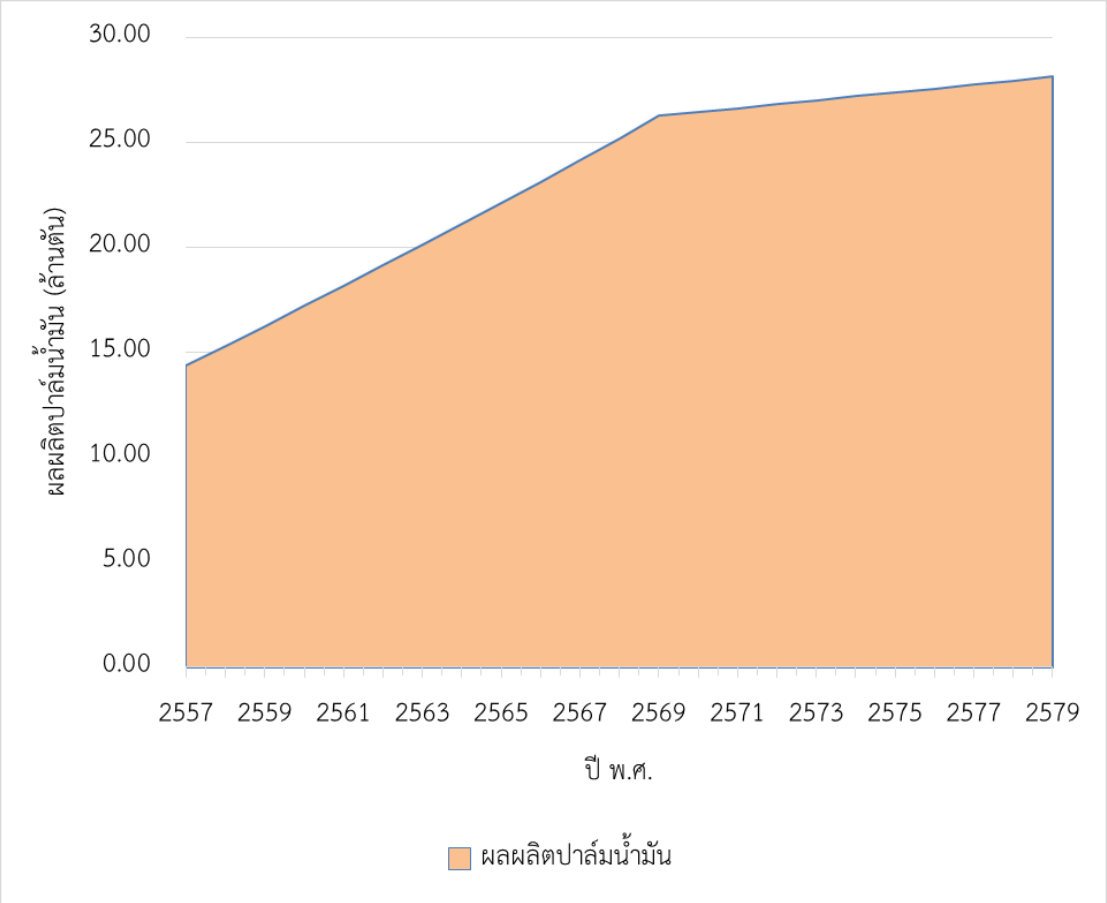


แผนภูมิที่ 16 ปริมาณเถ้าชานอ้อยและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะลดได้ระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579

ดังนั้นจากแผนภูมิที่ 16 จึงสรุปได้ว่าปริมาณเถ้าชานอ้อยเกิดขึ้นจากผลผลิตอ้อยในแต่ละปี และถูกขับเคลื่อนด้วย พื้นที่การปลูกและผลผลิตต่อไร่ โดยปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ.2579 ที่ 1.276 ล้านตัน ด้วยปริมาณดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 1.053 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์

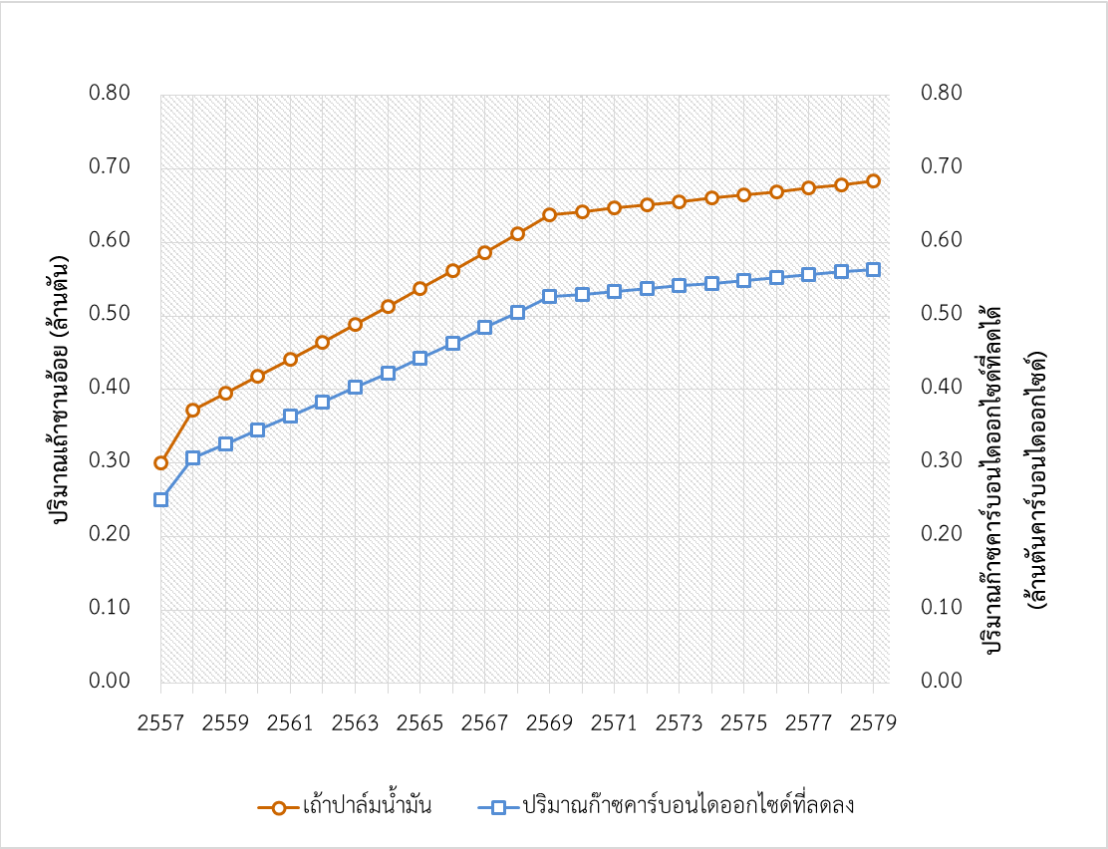
ข้อมูลชุดที่ 3 การประเมินศักยภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันจากข้อมูลคณะกรรมการร่วมภาครัฐและเอกชนเพื่อแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ (กรอ.) จัดทำร่างยุทธศาสตร์ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ข้อมูลพันธุ์ปาล์มน้ำมัน และข้อมูลจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลที่ส่งเสริมให้เกิดปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ พื้นที่การปลูก และผลผลิตต่อไร่ ทั้งปัจจัยจะถูกขับเคลื่อนจากเทคโนโลยีทางการเกษตร สภาพดินฟ้าอากาศ สภาพแวดล้อม เป็นต้น ทั้งหมดที่กล่าวมาจะเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดปาล์มน้ำมัน หรือปริมาณปาล์มน้ำมัน เถ้าปาล์มน้ำมันจะมีหรือเกิดขึ้นได้ต้องมาจากปาล์มน้ำมันที่ส่งเข้าโรงงาน ดังนั้นหากจะประเมินศักยภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันแล้ว ต้อง

ประเมินผลผลิตปาล์มน้ำมันที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วย สำหรับรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ข้อมูลปริมาณปาล์มน้ำมันแสดงดังแผนภูมิที่ 17



แผนภูมิที่ 17 ผลคาดการณ์ปริมาณผลผลิตอ้อย ระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579

จากแผนภูมิที่ 17 แสดงให้เห็นปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันตามสมมุติฐานที่ผู้วิจัยได้กำหนด โดยปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในปี พ.ศ. 2579 มีปริมาณผลผลิตทั้งสิ้น 28.13 ล้านตัน โดยผลผลิตที่ประเมินได้ดังกล่าวจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันที่จะเกิดขึ้น ดังแสดงในแผนภูมิที่ 18



แผนภูมิที่ 18 ปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คาดว่าจะลดได้ ระหว่างปี พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579

ดังนั้นจากแผนภูมิที่ 18 จึงสรุปได้ว่าปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นจากผลผลิตปาล์มน้ำมันในแต่ละปี และถูกขับเคลื่อนด้วย พื้นที่การปลูกและผลผลิตต่อไร่ โดยปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ.2579 ที่ 0.68 ล้านตัน ด้วยปริมาณดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 0.56 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์

3 วิเคราะห์ศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีต่างๆ

จากข้อมูลในข้อ 1 – 2 ที่เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้พยากรณ์ภาพอนาคตการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคต ที่แปรผันตามกับปริมาณของวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 3 ชนิด คือ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน

1.ภาพอนาคตกรณีฐาน Business As Usual (BAU Scenario)

2.ภาพอนาคตกรณีมีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ (Full Potential: FULL Scenario)

3.ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม (Zoning: ZONE Scenario)

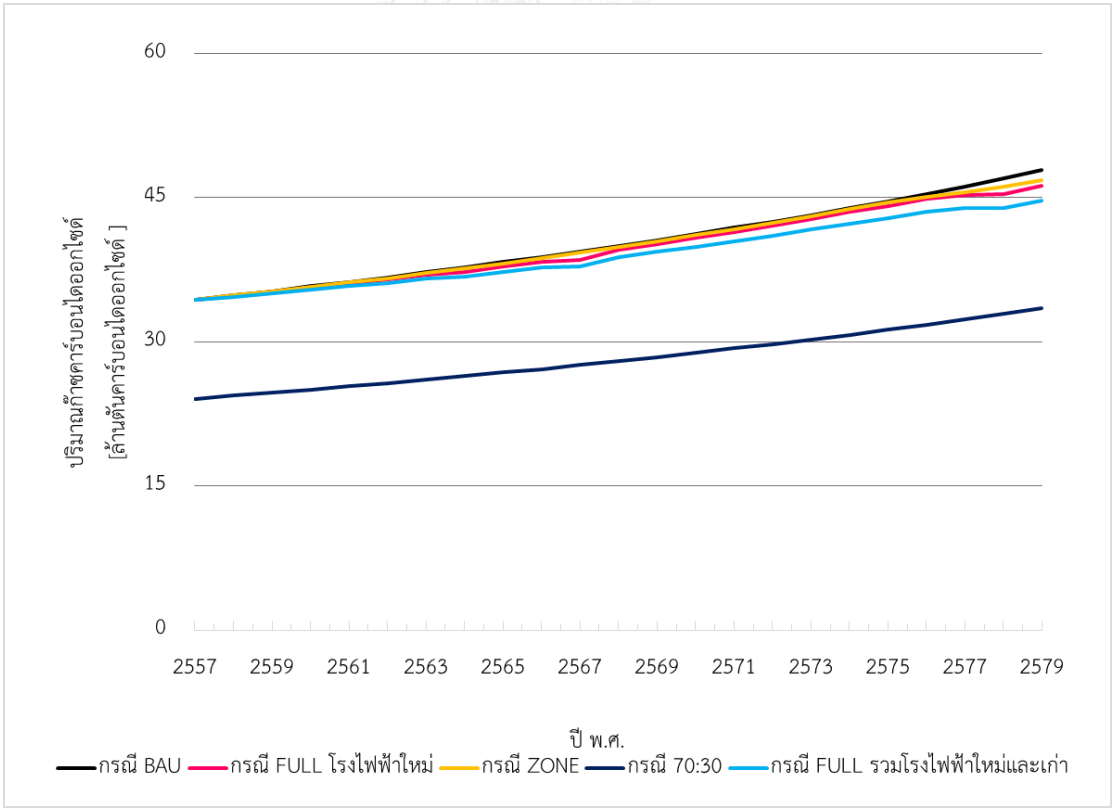
รวมทั้ง กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

ในการสร้างกราฟแสดงการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากมาตรการหรือเทคโนโลยีใดก็ตามไม่สามารถนำผลจากการประเมินศักยภาพมาใช้แสดงได้โดยตรง เนื่องจากในทางปฏิบัติการดำเนินการเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการดำเนินการแบบค่อยเป็นค่อยไป แม้ว่าผลที่ประเมินศักยภาพมีมากเพียงใดก็ตาม ส่งผลให้กราฟที่แสดงจะไม่สอดคล้องกับปริมาณจริงที่ประเมินได้ในระหว่างช่วงเวลา แต่ผลในปีเป้าหมายจะมีค่าเท่ากับผลที่ประเมินได้ในบทที่ 4

ในภาพอนาคตที่ 3 มีการกำหนดเงื่อนไขที่จำเป็นต่อการนำไปใช้คือ ราคาค่าเถ้าและอัตราค่าขนส่ง ซึ่งเพิ่มขึ้นตามความต้องการใช้งาน (Demand) โดยกำหนดให้ราคาเถ้าทุกประเภทเทียบเคียงเราเถ้าลอย ที่ 270 บาทต่อตัน และเทียบเคียงอัตราค่าขนส่งที่ 6 บาทต่อกิโลเมตร ช่วงระยะเวลา ตั้งแต่ พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 สำหรับอัตราส่วนขอบสูงใช้เถ้าลอยที่ร้อยละ 30 และเถ้าชีวมวลที่ร้อยละ 20 ต่อน้ำหนักปูนเม็ด

ผู้วิจัยได้ศึกษาปริมาณของวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่จะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทดแทนปูนเม็ดที่ผลิตได้ ในอัตราส่วน 1:1

สรุปงานวิจัยการปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังต่อไปนี้



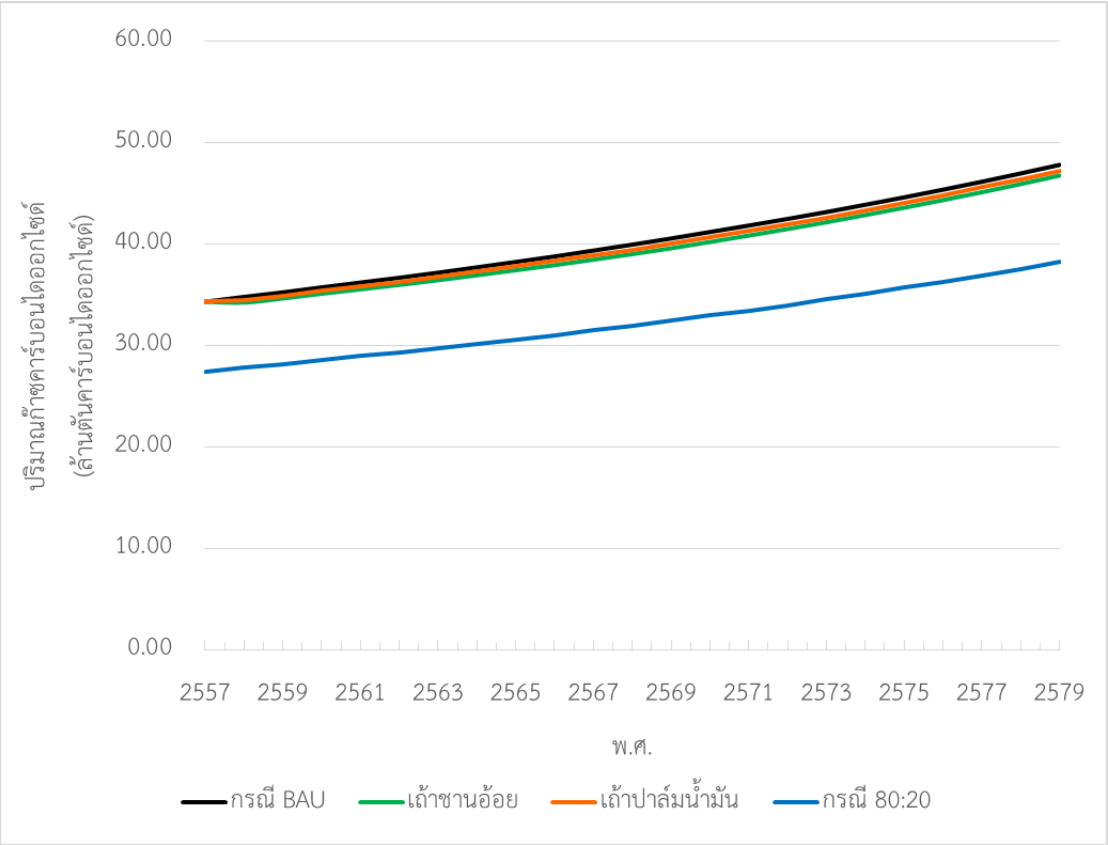
แผนภูมิที่ 19 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์การนำเถ้าลอยไปใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากแผนภูมิที่ 19 พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง เกิดจากปริมาณเถ้าลอยที่ถูกนำไปใช้ โดยปริมาณเถ้าลอยมีการแปรผันตามจำนวนกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 จากข้อมูลการประเมินศักยภาพของเถ้าลอยในกรณีต่างๆ ส่งผลให้ในปี พ.ศ.2579 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงในปริมาณ ในกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ ที่ 43.01 Mt_{CO2} กรณีการกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม ที่ 45.25 Mt_{CO2}และอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ ที่ 33.51 Mt_{CO2} ตามลำดับ สำหรับเส้นสีฟ้า คือผลการประเมินส่วนศักยภาพของโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่เหลือจากการนำไปใช้งานที่ราวร้อยละ 52.85 จะทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตปูนเม็ดลดลงที่ประมาณ 43.31 Mt_{CO2}จากการนำเถ้าประมาณ 1.5 ล้านตัน ไปใช้งาน

ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าหากในอนาคตมีการนำเถ้าลอยไปใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดมากเท่าไหร่ก็จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตลดลงเท่านั้น อย่างไรก็ตามหากนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้แล้ว ปริมาณเถ้าลอยที่จำเป็นต้องใช้ยังไม่เพียงพอต่อสัดส่วนดังกล่าว

เถ้าชีวมวล (เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน) อัตราส่วนขอบสูงสำหรับการนำเถ้าชีวมวลไปใช้งานร้อยละ 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 20 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์การนำเถ้าชีวมวลมาใช้งาน
ในกรณี FULL เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากแผนภูมิที่ 20 แสดงผลการเปรียบเทียบการนำเถ้าชีวมวล (เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน) มาใช้งานเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับ กรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ และอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ เมื่อเทียบกับกรณีฐาน พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงเป็นผลมาจากปริมาณของเถ้าชีวมวล เช่นเดียวกันกับผลของเถ้าลอย ในปีพ.ศ.2579 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากใช้เถ้าชีวมวลที่ 46.80 Mt_{CO2} และ 47.39 Mt_{CO2} เป็นผลมาจากการใช้งานเถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมันตามลำดับ หรือคิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงได้ของเถ้าชีวมวลที่ 1.518 Mt_{CO2} จากการใช้เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่ 1.28 และ 0.56 ล้านตัน หรือคิดปริมาณรวมที่ใช้ของเถ้าชีวมวลที่ 1.84 ล้านตัน ในอนาคต นอกจากจะช่วยลดปริมาณการผลิตปูนเม็ดลงตามสัดส่วนของเถ้าชีวมวลแล้วยังช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกทางหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบกับผลจากห้องปฏิบัติการแล้วยังมีปริมาณเถ้าชีวมวลในปัจจุบันยังมีไม่เพียงพอต่อความต้องการนี้ที่ 11.60 ล้านตัน ในปี พ.ศ.2579

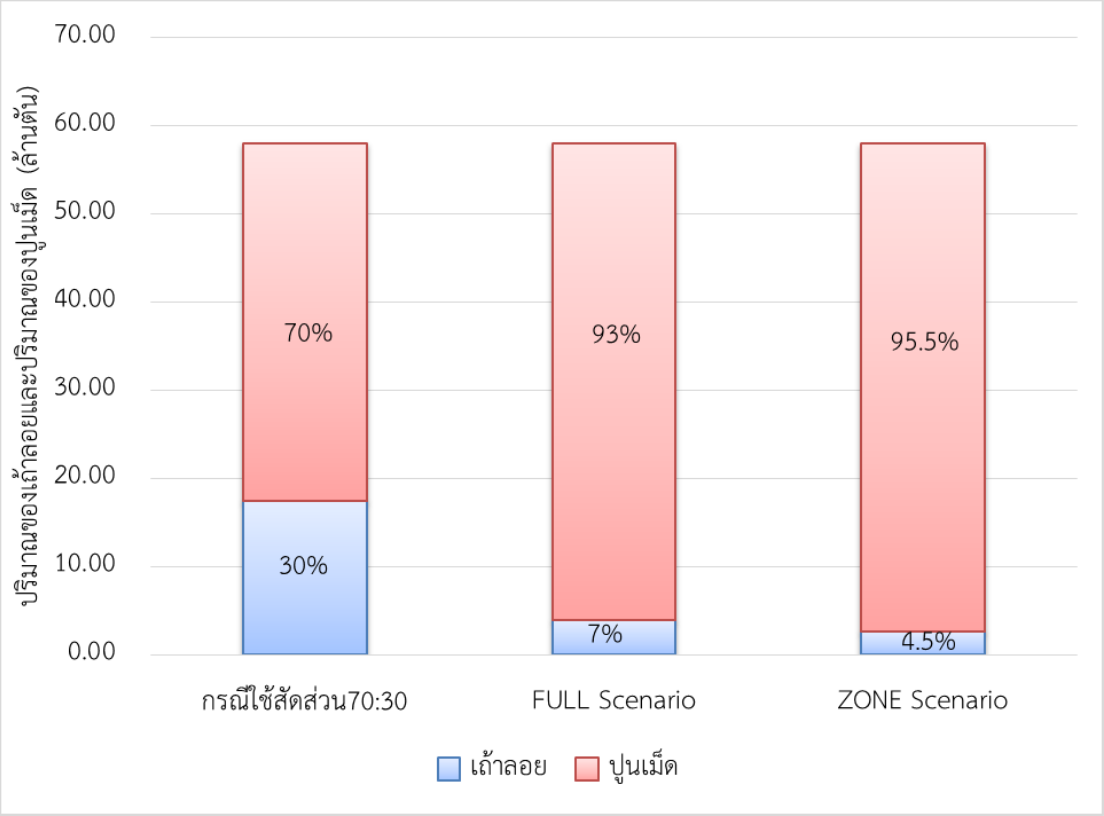
สำหรับกรณีการกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลแล้วพบว่าได้ผลเช่นเดียวกันกับภาพอนาคตกรณีใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ เนื่องจากความกระจัดกระจายของแหล่งวัตถุดิบซึ่งเป็นเงื่อนไขหลักสำหรับการกำเนิดของเถ้าชีวมวลเหล่านั้น ผลที่ได้จึงมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับผลของกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ

ดังนั้น สรุปผลจากการนำเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ด ด้วยการนำ เถ้าลอย เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน ทั้ง 3 ชนิด เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตปูนเม็ดในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทย หากมีการนำเถ้าทั้ง 3 ชนิดใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดในอนาคตแล้วจะทำให้ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ถึง 4.85 Mt_{CO2}จากการใช้เถ้าทั้ง 3 ชนิดปริมาณ 5.88 ล้านตัน จึงจะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากที่สุด คือจากภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ แม้ในสภาพความเป็นจริงอาจจะมีปัจจัยต่างๆที่นอกเหนือที่ผู้วิจัยได้ศึกษา ส่งผลกระทบต่อการใช้งานก็อาจเป็นไปได้

4 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากห้องปฏิบัติที่ผ่านการศึกษา และนำมาเปรียบเทียบปริมาณของเถ้าแต่ละชนิดที่ประเมินได้กับผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

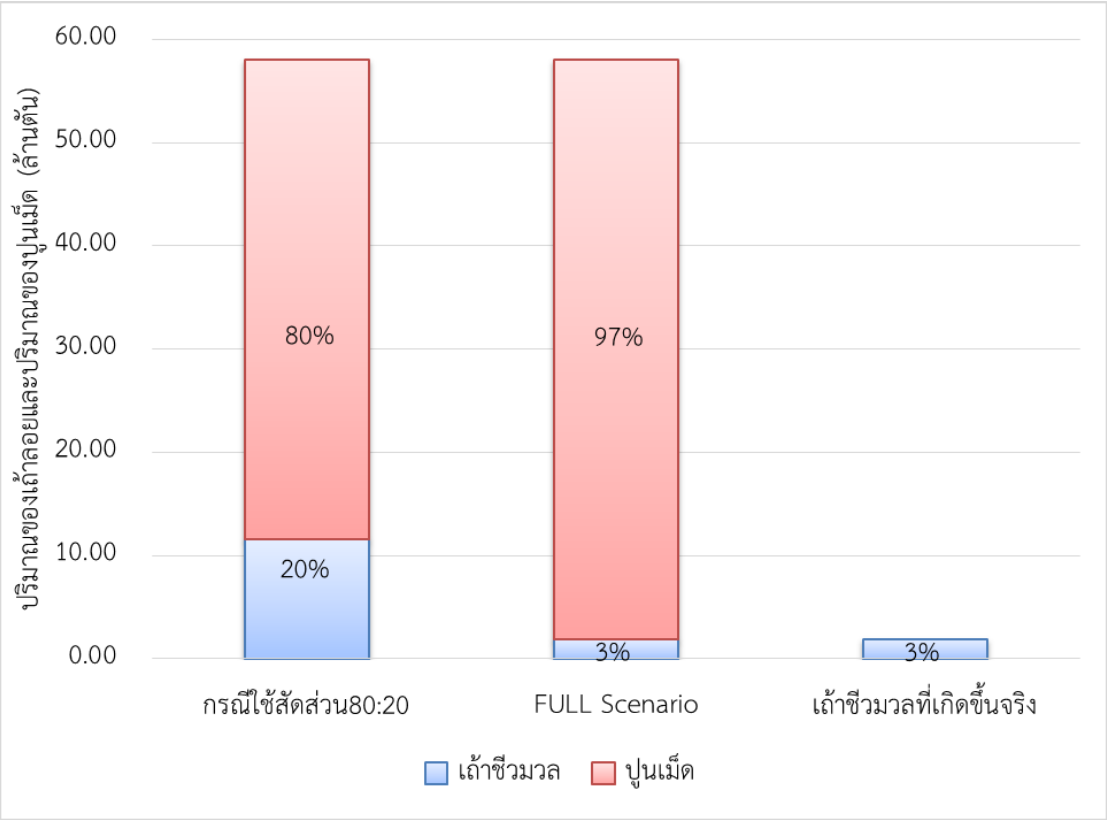
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



แผนภูมิที่ 21 แผนภูมิเปรียบเทียบสัดส่วนเถ้าลอยกับปูนเม็ดที่ผลิตได้ตามผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

จากแผนภูมิที่ 21 พบว่าในการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณความต้องการอ้างอิงอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ที่ 70:30 กับผลจากภาพอนาคตกรณีต่างๆ แสดงให้เห็นว่าแม้ในภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ จะมีปริมาณเถ้าที่ผ่านการประเมินศักยภาพที่มากที่สุดเนื่องมาจากการใช้งานโดยไม่มีเงื่อนไข ยังมีปริมาณเถ้าลอยที่สนับสนุน (Supply) ที่น้อยว่าอัตราส่วนขอบสูงที่เป็นความต้องการ (Demand) และคิดสัดส่วนแล้วมีเพียงร้อยละ 7 เมื่อเทียบกับปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้ ปริมาณดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนขอบสูงแล้วยังมีปริมาณที่น้อยกว่ามาก สำหรับในภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสม ปริมาณเถ้ามที่ประเมินได้ลดลงตามเงื่อนไขการใช้งานเถ้าในปัจจุบัน จึงสรุปได้ว่าในอนาคตหากมีการนำเถ้าลอยไปใช้งานอย่างจริงจังแล้วก็ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งาน

ในส่วนของเถ้าชีวมวลผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงได้แผนภูมิที่ 21 เป็นผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างเถ้าชีวมวลในภาพอนาคตกรณีต่างๆกับผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถนำไปใช้งานได้



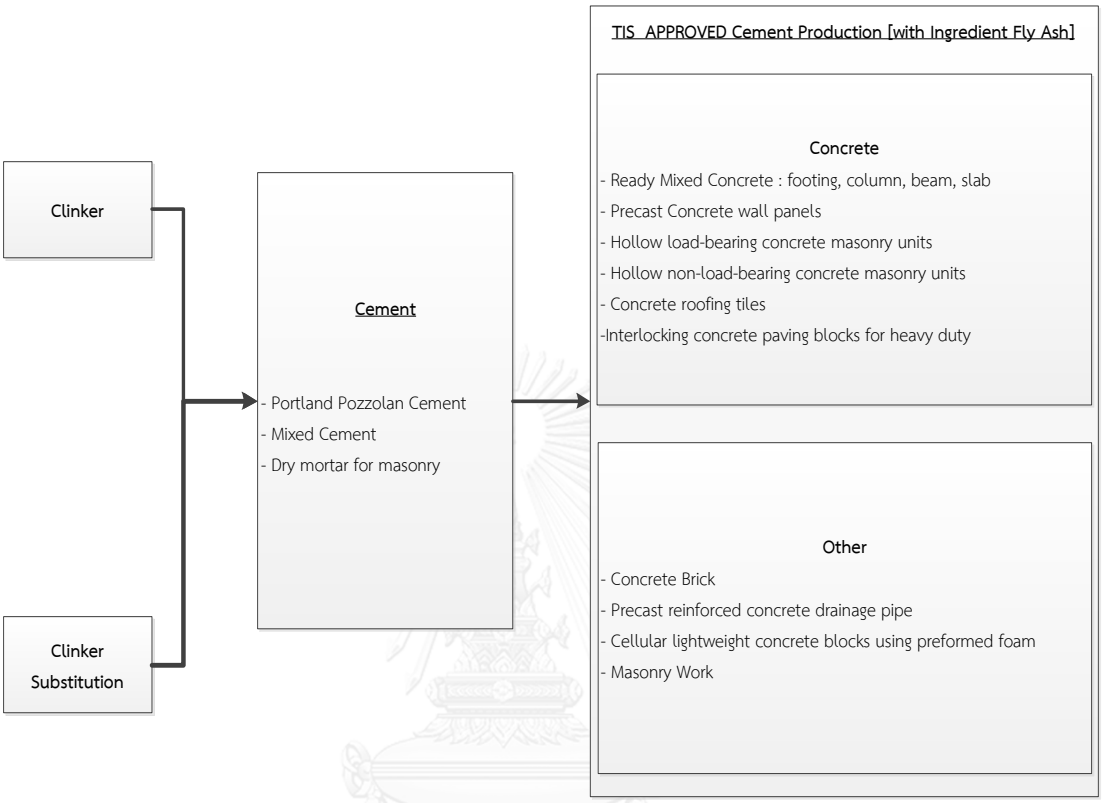
แผนภูมิที่ 22 แผนภูมิเปรียบเทียบสัดส่วนเถ้าชีวมวลกับปูนเม็ดที่ผลิตได้ตามผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้

จากแผนภูมิที่ 22 พบว่าในกรณีของเถ้าชีวมวลซึ่งได้ผลการประเมินศักยภาพระหว่างภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบและ ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสมจะมีผลเท่ากัน เมื่อนำผลที่มาวิเคราะห์กับกรณีศึกษา ฯ แล้ว ผลที่ได้ในส่วนของการสนับสนุน (supply) ยังมีปริมาณน้อย แม้ฝั่งของความต้องการ (Demand) และเมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าชีวมวลที่เกิดขึ้นจริงก็ยังมีปริมาณน้อยกว่าเช่นกัน ดังนั้นผลที่ได้ในส่วนของเถ้าชีวมวลคิดเป็นร้อยละ 3 เมื่อเทียบกับปริมาณปุนเม็ดที่ผลิตได้ และคิดเป็นร้อยละ 16 เมื่อเทียบกับอัตราส่วนของสูง

สรุปในส่วนของการวิเคราะห์กรณีศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนขอบสูงที่สามารถใช้งานได้ พบว่า หากในอนาคตมีความต้องการใช้งานเถ้าอย่างจริงจังและเป็นรูปธรรมแล้ว เถ้าที่ประเมินศักยภาพได้อาจจะมีปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงมีความจำเป็นว่าในอนาคตอาจจะต้องนำเข้าเถ้าเพื่อใช้งานเป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ด

5 ประเมินการเติบโตจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด

สำหรับผลการประเมินการเติบโตจากการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดทั้ง 3 ชนิด สรุปผลได้ดังแผนภูมิที่ 23



แผนภูมิที่ 23 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และคอนกรีตที่สามารถนำเถ้าลอยใช้เป็นส่วนผสม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

จากแผนภูมินี้ สรุปผลได้ว่า แม้กระบวนการทางห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะมีผลเป็นที่ยอมรับสำหรับการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดประเภทเถ้าลอยใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งผลิตภัณฑ์ปูน ผลิตภัณฑ์คอนกรีต และผลิตภัณฑ์อื่นๆที่เกี่ยวเนื่องกัน แต่ด้วยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่เป็นเครื่องมือในการกำหนดคุณภาพและมาตรฐานของผลิตภัณฑ์นั้น ยังไม่มีการรับรองในหลายผลิตภัณฑ์ แม้ว่าปัจจุบันจะมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต หรือ มอก.2135-2545 ช่วยให้สามารถขยายการใช้งานในผลิตภัณฑ์คอนกรีตแล้วก็ตาม ก็ยังมีเงื่อนไขข้อกำหนดในตัวผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ประเภทที่ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญเบื้องต้นแล้ว ทำให้การนำเถ้าลอยไปใช้งานปูนและคอนกรีตยังมีข้อจำกัด โดยผู้วิจัยได้ประเมินจากข้อมูลตามที่ได้มีประกาศในราชกิจจานุเบกษา เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ตามประเภทที่สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมได้ออกประกาศ ตามพระราชบัญญัติมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 จึงทำให้คาดการณ์การเติบโตที่เป็นไปได้ตามที่ผลิตภัณฑ์ที่มี มาตรฐานอุตสาหกรรมรับรองเท่านั้น คิดเป็น 10 ชนิด จาก จำนวน 27 ชนิดที่ผู้วิจัยได้รวบรวม

ในส่วนของเถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน ปัจจุบันยังมีผลิตภัณฑ์ใดเลยที่อนุญาตให้นำเถ้าทั้ง 2 ชนิด มาใช้ในงานปูน งานคอนกรีต แต่ในอนาคตกำลังมีการผลักดันร่างมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ของประเทศ ไทย คือ ร่างมาตรฐานเถ้าปาล์มน้ำมันใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต เพื่อทำให้การใช้งานเถ้าปาล์มน้ำมันในงานคอนกรีตถูกต้องตามกฎหมาย ในส่วนของเถ้าชานอ้อยก็เช่นกัน หากในอนาคตร่าง ฯ ดังกล่าวผ่านการเห็นชอบและได้รับการประกาศใช้งานในราชกิจจานุเบกษาแล้ว การนำเถ้าทั้ง 2 ชนิดมาใช้งานดังกล่าว ก็จะเกิดการเติบโตได้ในอนาคต ส่งผลให้การขับเคลื่อนการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์พัฒนาการขึ้นอีกขั้นหนึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

- ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากผลการพยากรณ์ปูนเม็ด ในกรณี BAU

ผลการวิจัยพบว่าแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยในอนาคต เกิดจากแนวโน้มของการปริมาณปูนเม็ดที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 0.74 ต่อปี ส่งผลในในอนาคตปริมาณการปล่อยก๊าซเรื่อนกระจกสูงตามไปด้วย โดยค่าเฉลี่ยของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละปีประมาณร้อยละ 0.62 ต่อปี ในปี พ.ศ.2579 เป็นปีปลายทางของการประเมินจะมีการผลิตปูนเม็ดทั้งสิ้นประมาณ 58.01 ล้านตัน และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตปูนเม็ดที่ 47.86 M t_{CO2} โดยค่าที่ได้เกิดจากการดำเนินมาตรการและเทคโนโลยีในปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการปรับปรุงประสิทธิภาพของความร้อนและไฟฟ้า เทคโนโลยีการนำเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ร่วมในกระบวนการผลิต รวมถึงการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ด เข้ามาดำเนินการ

- ศักยภาพของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในปัจจุบัน

เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดนี้ ใช้ เถ้าลอย จากเหมืองแม่เมาะ โรงไฟฟ้าแม่เมาะของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นหลัก โดยสัดส่วนในปัจจุบันที่ถูกนำไปใช้งานคือร้อยละ 47.15 หรือคิดเป็นปริมาณที่ถูกนำไปใช้งานประมาณ 1.3 ล้านตันต่อปี จากเถ้าลอยที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าในประเทศประมาณ 2.92 ล้านตันต่อปี ส่วนที่เหลือประมาณ ร้อยละ 52.85 หรือราว 1.54 ล้านตัน ที่ยังไม่ได้นำไปใช้งาน

- การประเมินในภาพอนาคตกรณีใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ

ในส่วนการประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการนำเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้นั้น มีเถ้า 3 ชนิด คือ เถ้าลอยจากโรงฟ้าถ่านหินตามแผน PDP 2015 เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน จากโรงไฟฟ้าชีวมวล ในส่วนเถ้าลอยประเมินจากจำนวนโรงไฟฟ้า กำลังการผลิต ที่ระบุในแผน PDP2015 เฉพาะโรงไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในประเทศเท่านั้น โดยเทคโนโลยีการผลิตของโรงไฟฟ้าใช้สมมุติฐานของโรงไฟฟ้าแม่เมาะในปัจจุบันเป็นหลัก ผลที่ประเมินได้ในปี พ.ศ.2579 ประมาณ 3.94 ล้านตัน มีความสามารถในการลดก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 3.25 Mt_{CO2} สำหรับเถ้าชีวมวลทั้ง 2 ชนิด คิดปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นจากปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละปีเป็นหลัก โดยในปี พ.ศ.2579 จะมีปริมาณเถ้าที่

เกิดขึ้นรวมกันที่ 1.84 ล้านตัน มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 1.51 M t_{CO2} หากนำเถ้าทั้ง 3 ชนิดไปใช้งานเต็มศักยภาพ จะส่งผลทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยจากกระบวนการผลิตปูนเม็ด ลดลงที่ 43.09 Mt_{CO2}จากข้อมูลที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ด้วยภาพอนาคตอนาคตพบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงมากที่สุดคือ ภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ ดังผลที่ได้กล่าวในข้างต้น

- การประเมินในภาพอนาคตกรณีใช้งานตามความเหมาะสม

ภาพอนาคตกรณีกำหนดพื้นที่การใช้งานตามความเหมาะสมพบว่าเงื่อนไขด้านราคาและอัตราค่าขนส่ง เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงกับเถ้าลอยทำให้ปริมาณการใช้งานจริงลดลงจากภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบประมาณ 45.25 Mt_{CO2} สำหรับเถ้าชีวมวลการกำหนดเงื่อนไขดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบเนื่องจากปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยประกอบกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดเถ้าไม่เหมือนกับเถ้าลอย การใช้ระยะทางเฉลี่ยสำหรับวิเคราะห์ผลและเงื่อนไขดังกล่าว ได้ผลเช่นเดียวกันกับภาพอนาคตกรณีการใช้งานเต็มศักยภาพวัตถุดิบ หากวิเคราะห์ลงไปถึงระดับโรงงานปูนซีเมนต์และสัดส่วนโดยใช้ผลจากห้องปฏิบัติการมาวิเคราะห์แล้วพบว่า ความต้องการใช้งานยังสูงกว่าปริมาณเถ้าที่ผลิตได้จริง แม้จะลดสัดส่วนจำนวนโรงงานปูนซีเมนต์และสัดส่วนความต้องการใช้งานลงก็ตาม สัดส่วนผลจากห้องปฏิบัติการซึ่งใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ในกรณีศึกษานั้น ทั้งเถ้าลอย และเถ้าชีวมวล ทั้ง 2 ก็ยังมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนดังกล่าว จึงเป็นไปได้ว่าหากต้องการใช้เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดอย่างจริงจัง อาจเกิดความคลาดแคลนของวัสดุทดแทนปูนเม็ดได้ และจำเป็นต้องนำเข้าวัสดุทดแทนปูนเม็ดดังกล่าวจากต่างประเทศเพื่อใช้งาน

- ประเมินการการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเติบโตจาก

ในส่วนของของการเติบโตของตลาดพบว่าข้อจำกัดมี 2 ส่วนคือ ความสามารถในใช้งานที่ผ่านการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ และมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ไม่รองรับ ปัจจุบันแม้วัสดุทดแทนปูนเม็ดหลายชนิดมีผลการค้นคว้าวิจัยซึ่งนำไปสู่การใช้งานจริงแล้ว แต่ก็ยังไม่ได้รับการรับรองให้ได้รับมาตรฐานอุตสาหกรรม เป็นผลทำให้การเติบโตของตลาดผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และคอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุทดแทนปูนเม็ดไม่สามารถเติบโตได้เท่าที่ควร เนื่องจากข้อจำกัดของกฎหมาย ในบางกรณีการกำหนดให้สามารถใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดได้ด้วยการระบุประเภทหรือชนิดที่ชัดเจนอาจจะเป็นอุปสรรคต่อการใช้งานเช่น มีการกำหนดวัสดุที่ใช้ในการผลิตและสัดส่วนทำให้เกิดข้อจำกัดในการนำไปผลิตของผู้ประกอบการ แต่หากกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมในเชิงของคุณสมบัติอาจจะเป็นผลดีเสียมากกว่าและอาจทำให้ตลาดผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเติบโตได้และลดช่องว่างของการผลิต ซึ่งในปัจจุบันมีการออกมาตรฐานอุตสาหกรรมของเถ้าลอยที่ใช้ในงานคอนกรีต และกำลังเสนอร่างมาตรฐาน

อุตสาหกรรมของเถ้าปาล์มน้ำมันเข้าสู่การพิจารณา หากมีการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมในรูปแบบนี้ก็อาจส่งผลให้เกิดความยืดหยุ่นในการใช้งานได้ ส่งลให้ตลาดการใช้งานมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น

6.2 ข้อจำกัดด้านต่างๆ

- ข้อจำกัดด้านข้อมูลงานวิจัย

ปัญหาหลักที่พบจากการดำเนินการวิจัย คือ ข้อมูล ทั้งคุณภาพและแหล่งข้อมูลที่ใช้มีความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล ทำให้จำเป็นต้องรวบรวมจากหลายแหล่งมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพ และบางแหล่งข้อมูลไม่สามารถให้ข้อมูลได้ หรือให้ข้อมูลแต่ไม่ตรงกับการรายงานหน่วยงานภาครัฐก็ตาม ถึงแม้ว่าจะเป็นหน่วยงานที่เป็นเจ้าของข้อมูล ก็ไม่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ได้เท่าที่ควร เนื่องจากเหตุผลทางธุรกิจ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1 การวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลปริมาณการผลิตปูนเม็ดที่ชัดเจน เพื่อให้การวิเคราะห์การเติบโตและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจริงได้แม่นยำที่สุด หน่วยงานรับผิดชอบตลอดจนผู้ผลิตปูนรายใหญ่มักจะไม่บอกข้อมูลหรือให้ข้อมูลไม่ครบถ้วนทำให้หน่วยงานที่ผู้วิจัยขอเก็บข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ต้องรอรับการยืนยันจากกระทรวงอุตสาหกรรมก่อน หากการเก็บข้อมูลโดยตรงไม่สามารถเก็บได้ครบถ้วยเนื่องจากเหตุผลทางด้านธุรกิจ

2 การรวบรวมข้อมูลคาดการณ์ปริมาณของเถ้าลอย เนื่องจากความไม่แน่นอนของการประมาณการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่ต้องระบุเทคโนโลยี เนื่องจากเป็น 1 ใน 3 ปัจจัยที่ทำให้เกิดปริมาณเถ้าลอย เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำ ในแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 –พ.ศ.2579 ควรระบุเทคโนโลยีที่ใช้ในโรงไฟฟ้าด้วย จะทำให้ศักยภาพที่คาดการณ์ถูกต้องยิ่งขึ้น

3 ข้อมูลของเถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน หน่วยงานต้นสังกัดไม่มีการปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน และมีข้อมูลหลายแหล่งที่ต้องวิเคราะห์ทำให้เสียเวลาในการรวบรวมค่อยข้างมาก อีกทั้งหน่วยงานที่รับผิดชอบตามภารกิจหน้าที่ของตนเองไม่มีการบูรณาการณ์ข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน

4 ข้อมูลทางด้านตลาด สำหรับการประเมินการเติบโต ค่อนข้างเป็นอุปสรรค เนื่องจากเงื่อนไขการแข่งขันทางธุรกิจ เป็นข้อมูลสำคัญของผู้ผลิต ไม่มีการเปิดเผย ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการรวบรวมและวิเคราะห์

- ข้อจำกัดด้านความไม่แน่นอนในอนาคต

ผลจากการศึกษา วิจัย ทำให้ผู้วิจัยพบว่า ในอนาคตอาจจะมีปัจจัยบางประการที่อาจจะส่งผลต่อการดำเนินงานใช้เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีรายละเอียดดังนี้

1. ความไม่แน่นอนในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินในประเทศไทย

   โรงไฟฟ้าถ่านหิน เป็นแหล่งวัตถุดิบหลักของเถ้าลอยในประเทศที่ประเมินศักยภาพตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 ปัจจุบันการดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินมีความเสี่ยงที่อาจจะไม่ได้รับการยอมรับจากภาคประชาชน อันเป็นผลมาจากขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง และภาพลักษณ์ของโรงไฟฟ้าถ่านหินในอดีตที่ไม่สวยงามส่งผลกระทบต่อชุมชนและคนในพื้นที่ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัย ทำให้เกิดอคติในด้านลบต่อโรงไฟฟ้าถ่านหินในภาพของผู้ร้ายที่สร้างความเดือดร้อน ความเชื่อมั่นของประชาชน รวมทั้งกลุ่มผู้ชุมนุมต่อต้านจึงหยิบยกประเด็นดังกล่าวมาใช้เป็นข้อต่อรองไม่ให้ก่อสร้าง หรือการมีอยู่ของโรงไฟฟ้าถ่านหินในปัจจุบันและในอนาคต หากโรงไฟฟ้าถ่านหินไม่สามารถเกิดขึ้นได้แน่นอนว่า เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหินก็ย่อมไม่มีเช่นเดียวกัน

2. ความไม่แน่นอนของพืชผลทางการเกษตรที่เป็นปัจจัยต่อการเกิดเถ้าชีวมวล

   เถ้าชีวมวลหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตรมีปัจจัยหลักจากผลผลิตในแต่ละปี โดยปัจจัยที่สำคัญทั้งพันธุ์พืช โรค แมลง ตลอดจนดินฟ้าอากาศ ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ หากในอนาคตเกิดปัญหาดังกล่าวโดยขาดวางแผนจัดการและการรับมือที่เหมาะสมแล้ว ย่อมส่งผลต่อปริมาณผลผลิตพืชในอนาคตที่เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดเถ้าชีวมวลอย่างแน่นอน

3. ความไม่แน่นอนของการออกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

   แม้ในปัจจุบันสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้ออกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของเถ้าลอยจากเถ้าถ่านหินสำหรับใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต แล้วและมีการกำหนดให้เถ้าลอยจากเถ้าถ่านหิน เป็นวัสดุผสม หรือสามารถใช้เป็นส่วนผสมในบางผลิตภัณฑ์แล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีวัสดุทดแทนปูนเม็ดหลายประเภทที่ยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม รวมทั้ง เถ้าชานอ้อย และเถ้าปาล์มน้ำมัน แม้ในตอนนี้เถ้าปาล์มน้ำมัน จะอยู่ในระหว่างรอการพิจารณาอยู่ก็ตาม

4. การใช้งานวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่ขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง

งานศึกษาวิจัยเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดทั้ง ตัววัสดุทดแทนปูนเม็ด และความสามารถที่นำไปใช้งานในผลิตภัณฑ์ต่างๆมีเพิ่มขึ้น แต่การเผยแพร่และถ่ายทอดเทคโนโลยียังอยู่ในวงจำกัด ในปัจจุบันการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดในงานปูนและงานคอนกรีต ผู้ประกอบการยังขาดองค์ความรู้ที่ถูกต้อง ทั้งคุณสมบัติและสัดส่วนที่เหมาะสม การที่จะทำให้เทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเป็นที่รู้จักและใช้งานอย่างแพร่หลายนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการถ่ายทอดความรู้ เทคนิค วิธีการ ตลอดการใช้งานอย่างเหมาะสมถูกต้องกับงาน ในฝั่งของผู้บริโภคก็ยังขาดความรู้ความเข้าใจเช่นกัน ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ความรู้ที่ผิด อาจจะเป็นอุปสรรคที่จะทำให้การใช้งานวัสดุทดแทนปูนเม็ดไม่สามารถเติบโตได้ ส่วนหนึ่งอาจจะเกิดจากความคิดหรือคติจากแหล่งกำเนิดของวัสดุเหล่านั้น เช่น เถ้าลอยจากเถ้าถ่านหิน จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน เดิมภาพลักษณ์ของโรงไฟฟ้าถ่านหินในอดีต มักจะถูกมองว่าเป็นตัวปัญหาสร้างความเดือนร้อน แก่ประชาชน ชุมชนรอบโรงไฟฟ้า ทั้งด้านสุขภาพ อนามัยตลอดจนสิ่งแวดล้อม การที่จะสร้างความเชื่อมั่นนั้นค่อนข้างยากลำบาก เช่นเดียวกันกับการที่จะสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ผลิตกับผู้บริโภคเช่นเดียวกัน เป็นต้น อีกส่วนนึ่งคือการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดไปใช้งานอย่างรู้เท่าไม่ถึงกาล คือ นำไปใช้งานผิดประเภท เกิจากความรู้ความเข้าใจที่ผิด อาจจะส่งผลให้เกิดความเสียหายในอนาคตได้ เช่น อัตราส่วนการใช้งาน งานบางประเภทไม่เหมาะกับการนำวัสดุทดแทนบางชนิดไปใช้งาน (งานที่ต้องการความแข็งแรงอย่างรวดเร็ว) ส่งผลให้เกิดความเสียหายในอนาคต และเกิดความเคลือบแคลงใจที่ใช้งาน สิ่งเหล่านี้เองจะเป็นอุปสรรคที่ทำให้การใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดลดลง ส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นและทำให้เป้าหมายการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้งานลดลงตามไปด้วย

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากปัญหาและอุปสรรคที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 แล้วนั้น จึงเป็นที่มาของข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยฉบับนี้

6.1.1 ศึกษาแนวทางอื่นๆเพื่อใช้ร่วมประกอบการพิจารณาดำเนินงานวิจัยทั้งข้อมูลทางด้านเทคโนโลยีอื่น เพื่อสร้างความชัดเจนในงานและผลที่ได้ การพิจารณาผลจากการใช้เทคโนโลยีในปัจจุบัน เช่น เทคโนโลยีปรับปรุงประสิทธิภาพไฟฟ้าและความร้อน เทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงทดแทน เป็นต้น

6.1.2 ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง โดยเฉพาะแนวคิดทางด้านการขนส่งวัสดุทดแทนปูนเม็ด สำหรับอัตราค่าขนส่ง รวมทั้งอนาคตที่ตั้งของโรงงานที่เป็นแหล่งกำเนิดวัสดุเหล่านั้น เพื่อให้เกิดการนำผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม สำหรับศึกษานี้ศึกษาเฉพาะกรอบการขนส่งทางบก โดยรถพ่วงขนส่งมาตรฐาน เท่านั้น

6.1.3 ปัจจุบันมีข้อมูลคร่าวๆสำหรับวัสดุปอซโซลานหลายชนิดที่สามารถนาใช้งานได้ ดังนั้นหากมีการนำวัสดุเหล่านั้นมาวิเคราะห์ก็ถือเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่จะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคตได้ เช่น เถ้าแกลบ เปลือกไม้ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ ผงหินปูน เป็นต้น

6.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

นโยบายที่ 1 รัฐควรนำข้อมูลการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ของภาคพลังงานประเภทโรงไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในการจัดทำแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย และ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ในการกำหนดที่ตั้งโรงไฟฟ้าและโรงงานปูนซีเมนต์ในอนาคต

เพื่อใช้เป็นแนวทางและข้อมูลสำหรับพิจารณาที่ตั้งโรงไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตที่ยังไม่ได้ระบุที่ตั้ง และโรงงานปูนซีเมนต์ ได้อย่างเหมาะสม เอื้อประโยชน์ต่อการใช้งานผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งลดข้อจำกัดต่างๆที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้งาน และสามารถวางแผนการจัดการเถ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแนวโน้มปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นอาจจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น

นโยบายที่ 2 รัฐควรกำหนดให้การขนส่งเถ้าเป็นวัตถุควบคุม

เพื่อให้เกิดมาตรฐานอย่างเป็นรูปธรรม และลดปัญหาการฟุ้งกระจายของเถ้าขณะขนส่ง หากมีการแข่งขันเนื่องจากความต้องการใช้งานในอนาคต

นโยบายที่ 3 รัฐควรสนับสนุนให้เถ้าที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประสาน หรือวัสดุทดแทนปูนเม็ด ได้รับมาตรฐานอุตสาหกรรมและควรกำหนดคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางกายภาพให้ครอบคลุมวัสดุทดแทนปูนชนิดอื่นๆที่ มีคุณสมบัติพร้อมใช้งานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการใช้งานเถ้าอย่างถูกต้องตามกฎหมาย โดยผลักดันร่างหรือจัดทำร่างมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับวัสดุทดแทนปูนที่มีการพิสูจน์ผลทางห้องปฏิบัติการหรือตามมาตรฐานสากล ว่าสามารถใช้เป็นส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตและงานปูน และเป็นการสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภค ตลอดจนผู้ผลิต เช่น เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ โดยที่ผ่านมามีการออกมาตรฐานอุตสาหกรรมการใช้เถ้าลอยจากเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุผสมคอนกรีต เลขที่ มอก.2135-2545 และร่างมาตรฐานอุตสาหกรรมการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุผสมคอนกรีต ซึ่งรอการพิจารณา เป็นต้น

นโยบายที่ 4 รัฐควรกำหนดสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีสวนผสมของวัสดุทดแทนปูนเม็ดแก่ผู้ประกอบการปูนซีเมนต์และคอนกรีต และออกฉลากคาร์บอนต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์ด้วย

เพื่อผลักดันให้มีการใช้งานอย่างจริงจัง และเป็นแนวทางที่จะช่วยลดประมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามเป้าหมายที่ประเทศไทยส่งเจตจำนงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ ช่วง 7 – 20% ในปี พ.ศ. 2563 ในลักษณะเช่นเดียวกับ ฉลากเบอร์ 5 ของกระทรวงพลังงานที่มีเป้าหมายการประหยัดพลังงาน

นโยบายที่ 5 รัฐควรกำหนดให้มีการจัดตั้งกองทุนพัฒนารอบโรงงานปูนซีเมนต์

การจัดตั้งกองทุนเพื่อพัฒนารอบโรงงานปูนซีเมนต์ใช้แนวคิดจาก การจัดตั้งกองทุนรอบโรงไฟฟ้า โดยจุดประสงค์เพื่อนำมาพัฒนาชุมชน สภาพแวดล้อม และเศรษฐกิจรอบโรงงานปูนซีเมนต์ โดยกองทุนจัดเก็บเงินสนับสนุนกองทุนจากสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตในแต่ละปีเพื่อเป็นตัวกระตุ้นให้นำวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้ หรือแม้กระทั่งเทคโนโลยีอื่นๆมาใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

นโยบายที่ 6 รัฐควรสนับสนุนในเรื่องเงินอุดหนุน ในส่วนของภาษี จากการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้งาน

เพื่อสร้างแรงจูงใจแก่ผู้ประกอบการ ด้วยการลดหย่อนภาษีสำหรับผู้ประกอบการที่มีการนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้งาน ในอัตราส่วนที่เหมาะสม หากโรงงานใดหรือผู้ประกอบการใดสามารถนำวัสดุทดแทนปูนมาใช้ร่วมการผลิต สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ ก็จะสามารถนำมายื่นเพื่อขอลดหย่อนภาษีตามสัดส่วนและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงได้

นโยบายที่ 7 รัฐควรรณรงค์ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการโรงงานปูนซีเมนต์และคอนกรีตใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆในนามของผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และรณรงค์ให้ประชาชนเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากคาร์บอนต่ำ

เพื่อส่งเสริมให้เกิดการขยายตัวในอุตสาหกรรมสีเขียว และเกิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่สามารถนำวัสดุทดแทนปูนเม็ดมาใช้เป็นส่วนผสม อีกทั้งเป็นการสร้างค่านิยมความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมให้แก่ประชาชน และเป็นการปลูกฝังให้จิตสำนึกการใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะนำไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำในอนาคต

นโยบายที่ 8 การพัฒนาวัสดุทดแทนปูนเม็ดประเภทใหม่ๆที่สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมทั้งพัฒนาบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะ โดยการสนับสนุนทุนการศึกษาและวิจัย ด้วยการสร้างความร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและสถาบันการศึกษาในการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ๆ ด้านวัสดุทดแทนปูนเม็ด

ด้วยการบูรณาการณ์ความร่วมมือระหว่างองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) ร่วมกันพัฒนาวัสดุทดแทนปูนเม็ดที่สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และคอนกรีตที่เพิ่มคุณสมบัติเฉพาะ นอกจากนี้ยังการสนับสนุนทุนการศึกษาค้นคว้าและวิจัย เป็นการพัฒนาศักยภาพของบุคลากรให้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะ เพื่อเป็นการสร้างโอกาสทางศึกษาและพัฒนาธุรกิจ เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงสร้างความรู้ที่ถูกต้องในการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด

นโยบายที่ 9 รัฐควรส่งเสริมให้ผู้ประกอบการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมาตรฐานอุตสาหกรรมเข้าร่วมประกวดผลงานนวัตกรรมด้านการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกเข้าคัดเลือกให้ได้รับฉลากคาร์บอนต่ำ

จุดประสงค์เพื่อสร้างมาตรฐาน การพัฒนาในด้านผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดเป็นส่วนผสม โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแข่งขันจะได้รับฉลากคาร์บอนต่ำ และสามารถนำไปใช้ประกอบเอกสารทางการค้าได้ เป็นการเพิ่มโอกาสทางการค้าและพัฒนาการใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ดอีกทางหนึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. Industry, M.o., *Cement Industry*, I.O.A. 2014, Editor. 2013, the Office of Industrial Economics: Bangkok.
2. Mohanty, B. *ENERGY ISSSUES IN THE CEMENT INDUSTRY*. [cited Ph.D; Available from: Http://www.faculty.ait.ac.th.
3. Raksakulkarn, V. *Greenhouse gas emissions in the industrial sector of the country.*; Available from: http://conference.tgo.or.th/download/tgo_or_th/Article/GHG_Emission/Thailand_Industry_Top5GHG_2011.pdf.
4. IEA, W.C., *Cement Technology Roadmap 2009 Carbon emissions reductions up to 2050*. 15 Cedex Fédération, Paris France 75739
5. Planning, O.o.N.R.a.E.P.a., *National Communication Report Vol.3*, in *SNC Vol.3 UNFCCC*. 2006, ONREP: Bangkok.
6. Tangthieng, C., *Greenhouse gas emissions in the cement production process.*, W. sairatanathongkham, Editor. 2015: Faculty of Engineering Chulalonglongkorn University.
7. ORGANIZATION), T.G.G.M.O.P., *The greenhouse gas / Convention UNFCCC.* 2014.
8. UNFCCC. *First steps to a safer future: Introducing The United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2014 [cited 2015 14 april]; Available from: http://unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php.
9. (EPPO), E.P.a.P.o. *Conference of Parties: COP*. [cited 2015 10 May]; Available from: http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/climatechange/unitednation/cop?orders%5BpublishUp%5D=publishUp&issearch=1.
10. Secretariat, T.I.P.o.C.C. *IPCC Factsheet: What is the IPCC?* 30 August 2013 [cited 2015 10 May]; Available from: http://www.ipcc.ch/.

11. ORGANIZATION), T.G.G.M.O.P. *NAMAs (Nationally Appropriate Mitigation Actions)*. 2014 [cited 2015 12 March]; Available from: http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=11&s2=37.
12. Cabinet, t.s.o.t., *Pledge NAMAs Thailand*. 2014 Bangkok.
13. Prasert Chindaprasert, C.J., *Cement Pozzolan and Concrete*. 6 ed. 2006, Bangkok: SCG Cement Co.,Ltd Publisher.
14. Jaturapitakkul, C., *Cement and Concrete Process*, P.C. Wisanu Sairatanathongkham, Editor. 2015, King Mongkut's University of Technology Thonburi: faculty of Engineering.
15. Association, T.C.M. *background, Scale of Industry*. 2014 [cited 2015; Available from: http://thaicma.or.th/cms/about/background/.
16. Prinya Chindaprasert and C. Jaturapitakkul, *Cement Pozzolan and Concrete*. 6 ed. 2006, Bangkok: SCG Cement Co., Ltd. 385.
17. Moyadee, C., *Production energy efficiency improvement measures for cement industry*, in *Industrial Engineering*. 2007, Chulalongkorn University: Bangkok.
18. Thongthai Witoon, *Capture and Separation Technologies of CO2 from Combustion of Fossil Fuel.* KKU Engineering Journal 2011. **38**: p. 453-467.
19. silasuwan, n. *Bringing the fly ash utilization.* Fly ash 2009 [cited 2015 April]; Available from: http://maemoh.egat.com/index_maemoh/index.php?content=sara&topic=2.
20. Franz Eugen Köhler, K.s.M.-P., *Sugar-cane*, in *Wiki pedia*. 2010.
21. OCSB, *Report sugarcane area*. 2025, The Office of the Cane and Sugar Industry Policy.: Bangkok.
22. Efficiency, D.o.A.E.D.a., *Alternative Energy Development Plan (AEDP) 2015*. 2015, Department of Alternative Energy Development and Efficiency: Bangkok.
23. Jaturapitakkul, C., *Using bagasse ash as a pozzolan materials in concrete.* Thailand Concrete Association Journal, 2012. **16**: p. 16-4.
24. Agriculture, D.o. *oilpalm*. Oilpalm 2015 [cited 2015 July]; Available from: http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oilpalm.html.
25. Chai Jaturapitakkul and Weerachart Tangjirapat, *the use of ash and residues from industrial materials to concrete*. 2 ed. 2012, Bangkok: Department of

civil engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Univesity of Technology Thonburi press Thailand.

26. Zongguo Wen, M.C., Fanxin Meng, *Evaluation of energy saving potential in China's cement industry using the Asian-Pacific Integrated Model and the technology promotion policy analysis* Energy Policy, 2014. **77**: p. 227-237.
27. Nina Zheng, et al., *Potential energy savings and CO2 emissions reduction of China's cement industry.* Energy Policy, 2012. **45**: p. 739–751.
28. Hrvoje Mikulčić, Milan Vujanović, and Neven Duić, *Reducing the CO2 emissions in Croatian cement industry.* Applied Energy, 2013. **101**: p. 41-48.
29. Nicolás Pardo, José Antonio Moya, and A. Mercier, *Prospective on the energy efficiency and CO2 emissions in the EU cement industry.* Energy, 2011. **36**(5): p. 3244-3254.
30. Ali Hasanbeigi, et al., *Energy efficiency improvement and CO2 emission reduction opportunities in the cement industry in China.* Energy Policy, 2013. **57**: p. 287-297.
31. Yufei Wanga, d., et al., *Integrated assessment of CO2 reduction technologies in China's cement industry.* International Journal of Greenhouse Gas Control, 2014. **20**: p. 27-36.
32. Atipong Laddapan, K.K., *Development of Type I Portland Cement by Bagasse Ash as Mortar for Mounting* 2008.
33. Protocol, G.G. *The Greenhouse Gas (GHG) Protocol*. About the GHG Protocol 2015 [cited 2015 April]; Available from: http://www.ghgprotocol.org/.
34. (WBCSD), W.B.C.f.S.D. and C.S.I. (CSI). *CO_2 and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry* Protocol Guidance Document 2012 [cited 2015 March]; 3:[Available from: http://www.cement-co2-protocol.org/en/.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

หน่วย คำอุปสรรค การแปลงค่า และความหมายของสัญลักษณ์ทางเคมี

คำอุปสรรค หน่วย การแปลงค่า			
Multiplication Factor	เลขยกกำลัง	คำอุปสรรค	สัญลักษณ์
1 000 000	10^6	mega	M
1 000	10^3	kilo	k
100	10^2	hecto	h
10	10^1	deca	da
0.1	10^{-1}	deci	d
0.01	10^{-2}	centi	c
0.001	10^{-3}	milli	m
0.000 001	10^{-6}	micro	μ

องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบและสัญลักษณ์ ที่เกี่ยวข้องกับปูนซีเมนต์			
องค์ประกอบเคมี	ชื่อ	สัญลักษณ์	องค์ประกอบ
CaO	แคลเซียมออกไซด์	C	องค์ประกอบหลัก
SiO_2	ซิลิกา	S	องค์ประกอบหลัก
Al_2O_3	อลูมินา	A	องค์ประกอบหลัก
Fe_2O_3	เฟอร์ริกออกไซด์	F	องค์ประกอบหลัก
MgO	แมกนีเซียมออกไซด์	M	องค์ประกอบรอง
Na_2O	ไดโซเดียมออกไซด์	N	องค์ประกอบรอง
K_2O	ไดโปรแทสเซียมออกไซด์	K	องค์ประกอบรอง
SO_3	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์	$\bar{S}$	องค์ประกอบรอง

นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอมอื่นที่จัดรวมรูปการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition: LOI) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue)

ออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากันและรวมตัวอยู่ในรูปของสารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิด

ชื่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	องค์ประกอบ	อักษรย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	Tricalcium Silicate	$3CaO{\cdot}SiO_2$	C_3S
ไดแคมเซียมซิลิเกต	Dicalcium Silicate	$2CaO{\cdot}SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	Tricalcium Aluminate	$3CaO{\cdot}Al_2O_3$	C_3A
เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรด์	Tetracalcium Aluminoferrite	$4CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}Fe_2O_3$	C_4AF

ศักยภาพของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน [CO_2e]
CO_2	200 - 450	1
CH_4	9 - 15	23
N_2O	120	296
CFC - 12	100	10,000
CF_4	50,000	5,700
SF_6	3,200	22,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน่วยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ชื่อ	อักษรย่อ	ประเภท
องศาเซลเซียส	C°	อุณหภูมิ
ตัน	ton	น้ำหนัก
กิโลกรัม	kg	น้ำหนัก
ไร่	Rai	พื้นที่
เมกะวัตต์	MW	ไฟฟ้า
ปูนเม็ด	Cli	ปูน
ตันคาร์บอน	t_{CO2}	น้ำหนักคาร์บอน
ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนเม็ด	t_{CO2}/ t_{Cli}	น้ำหนักปูนเม็ดต่อคาร์บอนไดออกไซด์
บาท	THB	เงินตรา
พันล้าน	Billion	เงินตรา
ล้าน	M	เงินตรา
ไมโครเมตร	μm	อนุภาค
เมกะปาสคาล	MPa	กำลังอัด
จูล	J	พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

มาตรฐานอุตสาหกรรม
เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต

มอก. 2135-2545

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด รายละเอียดเกี่ยวกับเถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มหรือใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานหลัก เพื่อให้ได้สมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่าง ดังต่อไปนี้

(1) เพื่อให้เกิดการประสานในเนื้อคอนกรีต (cementation) หรือกิริยาปอซโซลาน (pozzolanic action) หรือทั้งสองอย่าง

(2) เพื่อให้ได้สมบัติอื่นที่อาศัยความละเอียดของเถ้าลอย

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2:1 เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "เถ้าลอย" หมายถึง เถ้าที่ลอยขึ้นมาพร้อมกับก๊าซร้อน ซึ่งได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินที่บดละเอียดหรือผงถ่านหิน ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสมหรือขณะผสม โดยปกติเถ้าลอยที่ได้จากการเผาถ่านหินแอนทราไซต์และบิทูมินัส จะมีสมบัติปอซโซลาน ส่วนเถ้าลอยที่ได้จากการเผาถ่านหินซับบิทูมินัสหรือลิกไนต์ นอกจากจะมีสมบัติปอซโซลานแล้ว อาจมีสมบัติในการประสานด้วย

2.2 ปอซโซลาน (pozzolan) หมายถึง สารประกอบทางเคมีซึ่งส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอะลูมินา มีสมบัติในการประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่ออยู่ในรูปเป็นผงละเอียดและเมื่อมีความชื้นจะทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ และเกิดเป็นสารประกอบซึ่งมีสมบัติในการประสาน

3. ชั้นคุณภาพและชนิด

3.1 เถ้าลอยแบ่งตามคุณลักษณะทางเคมีและคุณลักษณะทางฟิสิกส์ ได้เป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ

3.1.1 ชั้นคุณภาพ 1 ใช้สำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการคุณภาพดีเป็นพิเศษ

3.1.2 ชั้นคุณภาพ 2 ใช้สำหรับงานคอนกรีตทั่ว ๆ ไป แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

3.1.2.1 ชนิด ก

3.1.2.2 ชนิด ข

3.1.3 ชั้นคุณภาพ 3 ใช้สำหรับงานที่ต้องการกำลังอัดไม่สูง เช่น งานคอนกรีตสำหรับเขื่อน งานคอนกรีตหยาบ

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 คุณลักษณะทางเคมี

เถ้าลอยต้องมีคุณลักษณะทางเคมีเป็นไปตามตารางที่ 1 แต่อาจกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมได้ตามภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ถ้ามีการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม ASTM C 311

4.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์

เถ้าลอยต้องมีคุณลักษณะทางฟิสิกส์เป็นไปตามตารางที่ 2 แต่อาจกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมได้ตามภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.2 ถ้ามีการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม ASTM C 311 ยกเว้นรายการทดสอบเรื่องพื้นที่ผิวจำเพาะ การทดสอบให้ปฏิบัติตาม ASTM C 204

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมี

(ข้อ 4.1)

หน่วยเป็นร้อยละ

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2		ชั้นคุณภาพ 3
			ชนิด ก	ชนิด ข	
1	ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ไม่น้อยกว่า	30.0	30.0	30.0	30.0
2	แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	–	น้อยกว่า 10.0	ไม่น้อยกว่า 10.0	–
3	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ไม่เกิน	5.0	5.0	5.0	5.0
4	ปริมาณความชื้น ไม่เกิน	3.0	3.0	2.0	3.0
5	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา ไม่เกิน	6.0[1)]	6.0[1)]	6.0[1)]	12.0

หมายเหตุ [1)] *ผู้ซื้ออาจยอมรับเถ้าลอยที่มีค่าน้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผาไม่เกินร้อยละ 12.0 ได้ หากผู้ขายมีบันทึกยืนยันผลคุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่ยอมรับได้จากการนำไปใช้งาน หรือจากรายงานผลการทดสอบของห้องปฏิบัติการทดสอบที่เชื่อถือได้*

มอก. 2135-2546

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์

(ข้อ 4.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2		ชั้นคุณภาพ 3
			ชนิด ก	ชนิด ข	
1	ความละเอียด (เลือกวิธีทดสอบได้)				
	ปริมาณที่ค้างบนแร่ง 45 ไมโครเมตร โดยร่อนแบบเปียก ร้อยละ ไม่เกิน	10	50	55	65
	หรือ พื้นที่ผิวจำเพาะ ทดสอบด้วยเครื่องเบลนแอร์เพอร์มีอะบิลิตี				
	(Blaine air permeability apparatus) ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ไม่น้อยกว่า	6 000	2 300	2 000	1 600
2	ดัชนีกำลัง เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 [1] ร้อยละ ไม่น้อยกว่า				
	อายุ 7 วัน หรือ	85	70	70	60
	อายุ 28 วัน หรือ	95	75	75	70
	อายุ 91 วัน [2]	100	85	85	75
3	ปริมาณน้ำที่ต้องการ (เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1) ร้อยละ ไม่เกิน	102	105	105	108
4	การคงตัว (soundness) [3]				
	การขยายตัวหรือหดตัวโดยวิธีใช้หม้อนึ่งอัดไอ (autoclave) ร้อยละ ไม่เกิน	0.8	0.8	0.8	0.8

หมายเหตุ [1] *ดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (strength activity index with portland cement type 1) มิใช่เกณฑ์กำหนดสำหรับความต้านแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยนี้ นอกจากนั้น ปริมาณของเถ้าลอยที่กำหนดให้ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักในการทดสอบนี้ ก็ไม่ใช่สัดส่วนการผสมซึ่งแนะนำสำหรับการใช้จริงในงานคอนกรีต ปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสมของเถ้าลอยซึ่งจะใช้ทดแทนปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงการก่อสร้างจริง จะต้องมีการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการในแต่ละงาน การทดสอบนี้เป็นเพียงเกณฑ์ซึ่งวัดระดับของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเถ้าลอยกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ตามแหล่งกำเนิดของเถ้าลอยและประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์*

[2] ถ้าการทดสอบดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่อายุ 7 วัน หรือ 28 วัน ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด อาจใช้ค่าดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่อายุ 91 วัน เป็นเกณฑ์ตัดสินได้

[3] ในกรณีที่ออกแบบสัดส่วนผสมโดยให้มีปริมาณเถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ให้เตรียมชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบการขยายตัวโดยวิธีใช้หม้อนึ่งอัดไอในสัดส่วนเดียวกัน

5. การบรรจุ

5.1 ในกรณีที่ใช้ถุงบรรจุ ถุงนั้นต้องแน่นหนาและแข็งแรง

5.2 มวลสุทธิของเถ้าลอยในแต่ละถุงบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ถุงบรรจุเถ้าลอยทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) คำว่า "เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต"

(2) ชั้นคุณภาพและชนิด (ถ้ามี) เช่น ชั้นคุณภาพ 2 ชนิด ก

(3) มวลสุทธิเป็นกิโลกรัม

(4) แหล่งผลิตหรือโรงงานที่เผาถ่านหิน

(5) ปี เดือน ที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ

(6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน หรือชื่อผู้บรรจุ หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย

(7) ข้อความ "เถ้าลอยไม่ใช่ปูนซีเมนต์ ดังนั้นจึงต้องใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อช่วยทำปฏิกิริยา และไม่ควรใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ผสม (mixed cement) ในงานคอนกรีตโครงสร้าง เช่น เสา คาน พื้น ฐานราก ฯลฯ"

(8) ข้อความที่มีขนาดตัวอักษรมาตรฐานขนาดความสูงไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร "ในกรณีที่ใช้เถ้าลอยแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยไม่มีการศึกษาหรือทดลองผสม ไม่ควรใช้เถ้าลอยแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนเถ้าลอย : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เกินกว่า 1 : 3 โดยน้ำหนัก"

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6.2 ในกรณีที่เถ้าลอยบรรจุภาชนะอย่างอื่นส่งให้ผู้ซื้อ ให้แจ้งรายละเอียดในใบส่งของกำกับเถ้าลอยนั้นตามข้อ 6.1 ด้วย แต่มวลสุทธิให้ใช้มวลรวม

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ตามภาคผนวก ก. ให้ไว้เป็นเพียงข้อแนะนำ

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 7.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง เถ้าลอยชั้นคุณภาพและชนิดเดียวกัน ที่ได้จากการเผาถ่านหินโดยกรรมวิธีเดียวกัน จากแหล่งผลิตหรือโรงงานที่เผาถ่านหินเดียวกัน ที่ส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน หรือที่เข้าไซโลเดียวกันหรือหลายไซโลเรียงกันตามลำดับ หรือที่บรรจุในภาชนะขนส่ง ซึ่งอาจเป็นรถหนึ่งคันหรือมากกว่าก็ได้ แต่ต้องเป็นเถ้าลอยที่ขนมาจากไซโลเดียวกัน

ก.2 ตัวอย่างเดี่ยว (grab sample) หมายถึง ตัวอย่างเถ้าลอยที่ชักครั้งหนึ่งจากถุงบรรจุ จากอุปกรณ์ลำเลียง จากไซโลเถ้าลอย หรือจากภาชนะขนส่งเถ้าลอย

ก.3 ตัวอย่างรวม (composite sample) หมายถึง ตัวอย่างที่ได้จากการนำตัวอย่างเดี่ยวจากขนาดรุ่นที่กำหนดมารวมกัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนของเถ้าลอยสำหรับทดสอบคุณลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์

ก.4 เถ้าลอยบรรจุถุง

ก.4.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.4.1.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

(1) ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.4.1.1)

ขนาดรุ่น หน่วยถุงบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยถุงบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 1 200	3	0
1 201 ถึง 3 200	8	1
เกิน 3 200	13	2

(2) จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 5. และข้อ 6. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จึงจะถือว่าเถ้าลอยรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.4.1.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ

(1) ให้ใช้ตัวอย่างจากข้อ ก.4.1.1 โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมชักตัวอย่างจากแต่ละถุงในปริมาณที่เท่า ๆ กัน นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัม เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดให้สนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ทุกรายการ จึงจะถือว่าเถ้าลอยรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.4.2 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเถ้าลอยบรรจุถุงต้องเป็นไปตามข้อ ก.4.1.1 (2) และข้อ ก.4.1.2 (2) ทุกข้อ จึงจะถือว่าเถ้าลอยรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ก.5 เถ้าลอยจากอุปกรณ์ลำเลียง ไซโล หรือภาชนะขนส่ง

ก.5.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.5.1.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบปริมาณความชื้น น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา และความละเอียด

(1) ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุก ๆ 300 ตัน หรือเศษของ 300 ตัน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัมต่อเถ้าลอย 600 ตัน เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดให้สนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 1 (รายการที่ 4 และรายการที่ 5) และตารางที่ 2 (รายการที่ 1) จึงจะถือว่าเถ้าลอยรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.5.1.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

(1) ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุก ๆ 300 ตัน หรือเศษของ 300 ตัน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัมต่อเถ้าลอย 2 000 ตัน เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดให้สนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 1 (รายการที่ 1 ถึง 3) จึงจะถือว่าเถ้าลอยรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.5.1.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปริมาณน้ำที่ต้องการ (เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1) และความอยู่ตัว

(1) ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุก ๆ 300 ตัน หรือเศษของ 300 ตัน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัมต่อเถ้าลอย 2 000 ตัน เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดให้สนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 2 (รายการที่ 2 ถึง 4) จึงจะถือว่าเถ้าลอยรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.5.2 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเถ้าลอยจากอุปกรณ์ลำเลียง ไซโล หรือภาชนะขนส่งต้องเป็นไปตามข้อ ก.5.1.1 (2) ข้อ ก.5.1.2 (2) และข้อ ก.5.1.3 (2) ทุกข้อ จึงจะถือว่าเถ้าลอยรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ข.

คุณลักษณะที่ต้องการที่อาจเพิ่มเติมได้

(ข้อ 4.1 และ ข้อ 4.2)

ข.1 คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้ ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้

(ข้อ ข.1)

หน่วยเป็นร้อยละ

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2		ชั้นคุณภาพ 3
			ชนิด ก	ชนิด ข	
1	ปริมาณแอลคาไล ($Na_2O + 0.658\ K_2O$) [1] ไม่เกิน				
	1.1 เมื่อมีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เกินร้อยละ 3.0 แต่ไม่เกินร้อยละ 5.0	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.2 เมื่อมีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ไม่เกินร้อยละ 3.0	4.0	4.0	4.0	4.0

หมายเหตุ [1] เถ้าลอยที่มีค่าร้อยละของปริมาณแอลคาไลเกินเกณฑ์ที่กำหนด อาจจะนำมาใช้กับมวลรวมที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับแอลคาไล (alkali-aggregate reaction) ได้ หากผลการทดสอบรายการประสิทธิผลในการควบคุมปฏิกิริยาแอลคาไล-ซิลิกา เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ข.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้ ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้

(ข้อ ข.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2		ชั้นคุณภาพ 3
			ชนิด ก	ชนิด ข	
1	ตัวประกอบพหุคูณ ผลคูณของน้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผากับความละเอียด (ปริมาณที่ค้างบนแร่ง 45 ไมโครเมตร โดยร่อนแบบเปียก) [1] ร้อยละ ไม่เกิน	225	225	225	225
2	การหดตัวแห้งที่เพิ่มขึ้นของแท่งมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน ค่าแตกต่างของค่าการหดตัวแห้งของแท่งมอร์ตาร์ทดสอบที่อายุ 28 วัน กับแท่งมอร์ตาร์ ควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเดียวกัน ร้อยละ ไม่เกิน	0.03	0.03	0.03	0.03
3	ความสม่ำเสมอของคอนกรีตกักกระจายฟองอากาศ ปริมาณของสารกักกระจายฟองอากาศที่ใช้เพื่อให้ได้ปริมาณฟองอากาศ ร้อยละ 18.0 โดยปริมาตรของมอร์ตาร์ ผลที่ได้จากการทดสอบไม่เกิน 10 ครั้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่า จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยได้ ร้อยละ ไม่เกิน	20	20	20	20
4	ประสิทธิผลในการควบคุมปฏิกิริยาแอลคาไล-ซิลิกา [2] การขยายตัวของมอร์ตาร์ทดสอบที่อายุ 14 วัน เทียบเป็นร้อยละของการขยายตัวของ มอร์ตาร์ควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์แอลคาไลต่ำที่อายุเดียวกัน ร้อยละ ไม่เกิน	100	100	100	100

มอก. 2135-2545

ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้ (ต่อ)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2		ชั้นคุณภาพ 3
			ชนิด ก	ชนิด ข	
5	ประสิทธิผลความทนซัลเฟต [3]				
	วิธีการ A การขยายตัวของชิ้นทดสอบเมื่อสัมผัสกับซัลเฟตเป็นเวลา 6 เดือน ร้อยละ ไม่เกิน				
	- สัมผัสกับซัลเฟตระดับปานกลาง	0.10	0.10	0.10	0.10
	- สัมผัสกับซัลเฟตระดับสูง	0.05	0.05	0.05	0.05
	วิธีการ B การขยายตัวของชิ้นทดสอบเมื่อสัมผัสกับซัลเฟตเป็นเวลา 6 เดือน เปรียบเทียบกับ การขยายตัวของชิ้นทดสอบที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟต ร้อยละ ไม่เกิน	100	100	100	100
6	ความสม่ำเสมอ				
	ความหนาแน่น ผลที่ได้จากการทดสอบ 5-10 ครั้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยได้ ร้อยละ ไม่เกิน	5	5	5	5
	หรือ ความละเอียด ปริมาณที่ค้างบนแร่ง 45 ไมโครเมตร โดยร่อนแบบเปียก ผลที่ได้จาก การทดสอบ 5-10 ครั้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยได้ ร้อยละ ไม่เกิน	5	5	5	5
	หรือ ความละเอียด พื้นที่ผิวจำเพาะ ทดสอบด้วยเครื่องเบลนแอร์เพอร์มีอะบิลิตี ผลที่ได้จาก การทดสอบ 5-10 ครั้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยได้ ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ไม่เกิน	450	450	450	450

หมายเหตุ [1] ใช้กับกรณีของคอนกรีตที่ต้องการความต้านทานความเสียหายเนื่องจากการแข็งตัวและการหลอมเหลวของน้ำสลับกัน *(freezing and thawing)*

[2] เถ้าลอยที่เป็นไปตามข้อกำหนดนี้จะมีประสิทธิผลในการควบคุมปฏิกิริยานคมีระหว่างมวลรวมกับแอลคาไล เช่นเดียวกับการใช้ปูนซีเมนต์แอลคาไลต่ำควบคุมในการทดสอบ อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าลอยจะได้ผลดี เมื่อเถ้าลอยที่ใช้มีปริมาณที่ไม่น้อยกว่าเถ้าลอยที่ใช้ในการทดสอบนี้ และเมื่อปริมาณแอลคาไลในปูนซีเมนต์ที่ใช้งานจริงมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.05 ของปริมาณแอลคาไลที่มีในปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบนี้

[3] ในการใช้งานจริงอาจจะยอมให้ส่วนผสมของคอนกรีตมีปริมาณเถ้าลอยแตกต่างจากปริมาณเถ้าลอยที่ใช้ทดสอบไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของปริมาณวัสดุประสานรวม โดยที่ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานจริงต้องมีปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนต $(3CaO \cdot Al_2O_3)$ ไม่เกินปริมาณที่มีในปูนซีเมนต์ทดสอบ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม

หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาต สำหรับผลิตภัณฑ์เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก.2135-2545

ประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาต
สำหรับผลิตภัณฑ์ เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต
มาตรฐานเลขที่ มอก.2135-2545

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละมาตรฐานให้สอดคล้องกับประกาศสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์การตรวจสอบเพื่อการอนุญาต ลงวันที่ 20 เมษายน 2554

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจึงกำหนดหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก.2135-2545 ดังรายละเอียดท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2558

หทัย อู่ไทย

(นายหทัย อู่ไทย)

เลขาธิการสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาต
สำหรับผลิตภัณฑ์เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต
มาตรฐานเลขที่ มอก.2135-2545

1. **การยื่นคำขอ**

ในการยื่นคำขอรับใบอนุญาต ให้ผู้ยื่นคำขอจัดส่งข้อมูลเพื่อประกอบการพิจารณา ดังนี้

1.1 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ซึ่งสอดคล้องกับรายละเอียดที่ระบุไว้ในมาตรฐาน และข้อ 2.1.1 พร้อมคำชี้แจงแสดงลักษณะรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ หรือภาพ หรือตัวอย่างผลิตภัณฑ์

1.2 สถานที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่ขอรับใบอนุญาต และรายชื่อผู้แทนจำหน่าย (ถ้ามี)

1.3 รายการวัตถุดิบหรือส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ขอรับใบอนุญาต

1.4 แผนภูมิและรายละเอียดแสดงวิธีการทำและการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ พร้อมรายละเอียดรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ขอรับใบอนุญาต

1.5 ใบรับรองคุณภาพหรือรายงานผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ขอรับใบอนุญาต (ถ้ามี)

2. **การตรวจสอบเพื่อการอนุญาต**

2.1 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ขอรับใบอนุญาต

2.1.1 การจำแนกผลิตภัณฑ์ ตามชั้นคุณภาพ และชนิด ดังนี้

ชั้นคุณภาพ	ชนิด
1	-
2	ก
	ข
3	-

2.1.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

1. ตัวอย่าง 1 ชุดตัวอย่าง ต่อชั้นคุณภาพ และต่อชนิด ตามที่ยื่นขอ
2. ตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วย เถ้าลอยจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต ดังนี้

2.1 กรณีบรรจุถุง จำนวน 3 ถุง สำหรับทดสอบทุกรายการ

2.2 กรณีเก็บตัวอย่างจากอุปกรณ์ลำเลียง ไซโล หรือภาชนะขนส่ง

- ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุกๆ 300 ตัน หรือเศษของ 300 ตัน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัม ต่อเถ้าลอย 600 ตัน สำหรับทดสอบรายการปริมาณความชื้น น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา และความละเอียด
- ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุกๆ 300 ตัน หรือเศษของ 300 ตัน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัม

ต่อเถ้าลอย 2000 ตัน สำหรับทดสอบรายการซิลิคอนไดออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

2.3 ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุกๆ 300 ตัน หรือเศษของ 300 ตัน แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 กิโลกรัมต่อเถ้าลอย 2 000 ตัน สำหรับทดสอบรายการดัชนีกำลัง เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ปริมาณน้ำที่ต้องการ (เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1) และการคงตัว

2.2 การตรวจประเมินระบบควบคุมคุณภาพของโรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์ มีองค์ประกอบดังนี้

2.2.1 การบริหารจัดการองค์กร และบุคลากร
2.2.2 การควบคุมเครื่องจักรและอาคารสถานที่
2.2.3 การควบคุมการออกแบบผลิตภัณฑ์
2.2.4 การจัดซื้อและการควบคุมวัตถุดิบ
2.2.5 การควบคุมกระบวนการผลิต
2.2.6 การควบคุมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป
2.2.7 การควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด
2.2.8 การชี้บ่งและสอบกลับได้
2.2.9 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์
2.2.10 การควบคุมเครื่องตรวจ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบ
2.2.11 การปฏิบัติการแก้ไข และการดำเนินการกับข้อร้องเรียน
2.2.12 การควบคุมเอกสารและควบคุมบันทึก

รายละเอียดดังภาคผนวก

2.3 ผู้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตต้องจัดให้โรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์มีการควบคุม/ตรวจสอบ/ทดสอบผลิตภัณฑ์ทุกรายการตามข้อกำหนดของมาตรฐาน โดยอาจมอบหมายให้หน่วยงานอื่นที่มีความสามารถเป็นผู้ดำเนินการแทนได้ และอย่างน้อยต้องจัดให้มีการทดสอบและมีเครื่องมือทดสอบเพื่อการทดสอบเป็นประจำของโรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์ในรายการดังต่อไปนี้

2.3.1 ปริมาณความชื้น
2.3.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์
- ความละเอียด
- ดัชนีกำลัง เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
- ปริมาณน้ำที่ต้องการ (เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1)
- การคงตัว

2.4 การออกใบอนุญาต

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจะพิจารณาออกใบอนุญาตในกรณีที่ผลการตรวจสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานและผลการตรวจประเมินระบบควบคุมคุณภาพมีความเหมาะสมเพียงพอที่จะรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยระบุรายละเอียดผลิตภัณฑ์ที่อนุญาตตามการจำแนกผลิตภัณฑ์ ข้อ 2.1.1

2.5 การตรวจติดตามผล

เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้รับใบอนุญาตยังคงมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานอย่างสม่ำเสมอ และโรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์นั้นยังมีความสามารถในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ตามระบบควบคุมคุณภาพที่ได้รับการตรวจประเมินแล้วอย่างต่อเนื่อง

2.5.1 ผู้รับใบอนุญาตต้องจัดให้มีการตรวจติดตามผลผลิตภัณฑ์ที่ได้รับใบอนุญาตและระบบควบคุมคุณภาพของโรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์นั้น

กรณีที่ผู้รับใบอนุญาตจัดให้มีการตรวจติดตามผลโดยผู้ตรวจสอบการทำผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการแต่งตั้งตามมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 ให้จัดส่งรายงานการตรวจติดตามผลดังกล่าวให้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมภายใน 30 วัน นับแต่วันที่การตรวจติดตามผลแล้วเสร็จ

2.5.2 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาจตรวจประเมินระบบควบคุมคุณภาพของโรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์นั้น และเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากสถานที่ผลิต สถานที่เก็บ และสถานที่จำหน่าย เพื่อการตรวจสอบติดตามผลเพิ่มเติมก็ได้

2.5.3 การจำแนกรายการทดสอบ

ข้อ	รายการตรวจสอบ	การจำแนกระดับความสำคัญ		
		สำคัญมาก	สำคัญ	รอง
1	คุณลักษณะทางเคมี		√	
2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์		√	
3	การบรรจุ			√
4	เครื่องหมายและฉลาก			√

ทั้งนี้ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาจปรับความถี่และระยะเวลาในการตรวจติดตามผลเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตามความเหมาะสม โดยพิจารณาจากขีดความสามารถในการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์และระบบควบคุมคุณภาพของโรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์นั้นให้เป็นไปตามมาตรฐานได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง

3. **เงื่อนไขที่ผู้รับใบอนุญาตต้องปฏิบัติ**

ผู้รับใบอนุญาตต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดตามมาตรา 25 ทวิ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2511 ซึ่งสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแจ้งให้ทราบในวันที่ได้รับใบอนุญาต

ภาคผนวก
แนบท้ายหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาต
รายละเอียดข้อกำหนดระบบควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์

1. การบริหารจัดการองค์กรและบุคลากร
เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ขอรับใบอนุญาต/ได้รับใบอนุญาต มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง
   1.1 มีการจัดโครงสร้างการบริหารงานที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของหน้าที่และความรับผิดชอบของหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง
   1.2 มีการกำหนดอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของบุคลากรในตำแหน่งต่างๆที่ชัดเจน
   1.3 มีบุคลากรที่เหมาะสมและเพียงพอในการทำผลิตภัณฑ์ที่ขอรับใบอนุญาต / ได้รับใบอนุญาต
   1.4 มีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเพียงพอในการปฏิบัติงาน โดย
      (1) กำหนดความสามารถที่จำเป็น
      (2) จัดให้มีการพัฒนาและฝึกอบรม
      (3) ประเมินผลของการพัฒนาและฝึกอบรม
      (4) จัดทำและเก็บรักษาบันทึกประวัติที่เกี่ยวกับความรู้ความสามารถของบุคลากร

2. การควบคุมเครื่องจักรและอาคารสถานที่
ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง
   2.1 มีอาคาร สถานที่ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและมีขีดความสามารถเพียงพอที่จะทำผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง
   2.2 มีระบบการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา เพื่อให้สามารถทำผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน
   2.3 มีและจัดเก็บบันทึกการซ่อมแซมและการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม

3. การควบคุมการออกแบบผลิตภัณฑ์
กรณีที่มีการพัฒนา ออกแบบ หรือปรับเปลี่ยนแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง
   3.1 มีการวางแผน ควบคุม และทบทวนการออกแบบในขั้นตอนต่างๆตามความเหมาะสม
   3.2 มีข้อมูลการออกแบบที่เพียงพอ ซึ่งรวมถึงมาตรฐานและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง
   3.3 มีผลการออกแบบในรูปแบบของสื่อที่เหมาะสม และต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ
   3.4 มีการทบทวน ทวนสอบ และยืนยันผลของการออกแบบ เพื่อแสดงว่าสามารถนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานได้
   3.5 กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบของผลิตภัณฑ์ ต้องดำเนินการตามข้อ 3.1 ถึง 3.3 โดยอนุโลม
   3.6 เก็บรักษาบันทึกผลการออกแบบ การยืนยัน และเปลี่ยนแปลงการออกแบบ

4. การจัดซื้อและการควบคุมวัตถุดิบ
วัตถุดิบ หมายรวมถึงชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ สิ่งที่ใช้เพื่อช่วยในการทำผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ งานจ้างทำหรือจ้างเหมา และสิ่งที่เป็นทรัพย์สินของลูกค้าเพื่อใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ เป็นต้น
ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง
   4.1 มีระบบควบคุมการจัดซื้อ เพื่อให้มั่นใจว่าวัตถุดิบหรือบริการที่จัดซื้อสอดคล้องกับเกณฑ์กำหนดที่ใช้ในการจัดซื้อ
   4.2 มีการตรวจรับวัตถุดิบหรือบริการที่จัดซื้อ โดยวิธีการที่เหมาะสมและจัดทำเป็นเอกสาร
   4.3 มีบันทึกผลการตรวจรับ และเก็บรักษาไว้เป็นหลักฐาน

5. การควบคุมกระบวนการผลิต

ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง

5.1 มีแผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ การควบคุมสภาวะในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ การตรวจสอบและทดสอบในขั้นตอนต่างๆระหว่างกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเกณฑ์กำหนดที่ใช้ในการควบคุม

5.2 ดำเนินการทำผลิตภัณฑ์ และควบคุม/ตรวจสอบ ตามแผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ที่กำหนด ซึ่งต้องควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้

(1) มีข้อมูลซึ่งระบุถึงข้อกำหนดหรือคุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์

(2) มีเอกสารวิธีปฏิบัติงานตามความจำเป็นสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

(3) มีการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่เหมาะสม

(4) มีการใช้เครื่องมือ สำหรับการตรวจวัด และการเฝ้าระวัง

(5) มีการดำเนินการตรวจวัด และเฝ้าระวัง

(6) มีการดำเนินการตรวจปล่อย การส่งมอบ และกิจกรรมหลังการส่งมอบ

(7) มีบันทึกที่จำเป็นเพื่อเป็นหลักฐานแสดงว่ากระบวนการในการทำผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

5.3 ในกรณีที่ผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ไม่สามารถแสดงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง ต้องมีหลักฐานที่สามารถพิสูจน์ให้เห็นว่ากระบวนการในการทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้ สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน

6. การควบคุมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง

6.1 ตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามวิธีการที่กำหนด และสอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐาน ทั้งนี้ก่อนการตรวจปล่อยผลิตภัณฑ์ต้องมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปนั้น ได้ผ่านการตรวจสอบ/ทดสอบที่จำเป็นและได้กำหนดไว้ในขั้นตอนต่างๆ ครบถ้วนแล้ว และเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานทุกรายการ

6.2 จัดทำบันทึกผลการตรวจสอบ/ทดสอบ และเก็บรักษาไว้เป็นหลักฐาน

7. การควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง

7.1 ควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในขั้นตอนต่างๆ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่รับคืนจากลูกค้า เพื่อป้องกันการนำไปใช้งานหรือการส่งมอบให้แก่ลูกค้าอื่น และต้องดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ นั้นตามวิธีการที่เหมาะสมโดยจัดทำเป็นเอกสาร

7.2 จัดทำและเก็บรักษาบันทึกรายละเอียดของข้อบกพร่อง รวมทั้งการดำเนินการกับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

8. การชี้บ่งและสอบกลับได้

ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง

8.1 ชี้บ่งผลิตภัณฑ์และสถานะของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนต่างๆด้วยวิธีการที่เหมาะสม

8.2 ชี้บ่งผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดที่สอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

กรณีที่มีข้อกำหนดหรือกฎหมายกำหนดให้ต้องเรียกคืนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องหรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนดใดๆ ต้องกำหนดวิธีการในการชี้บ่งผลิตภัณฑ์ให้สามารถสอบกลับได้ เพื่อให้สามารถใช้ในการเรียกคืนผลิตภัณฑ์ได้

9. การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์
ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้องเก็บรักษาวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิต และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ให้มีสภาพที่เหมาะสมและเป็นไปตามข้อกำหนดที่จะนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนต่างๆ และการส่งมอบให้แก่ลูกค้า ทั้งนี้ รวมถึงการเคลื่อนย้าย การบรรจุ การจัดเก็บ และการป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์

10. การควบคุมเครื่องตรวจ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบ
ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง
10.1 มีเครื่องตรวจ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบที่จำเป็นเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอน และในการตรวจสอบควบคุมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป อย่างน้อยต้องมีเครื่องตรวจ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบ เพื่อใช้เป็นประจำ ณ โรงงานที่ทำผลิตภัณฑ์ตามหลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาตที่กำหนดไว้
10.2 สอบเทียบหรือทวนสอบ เครื่องตรวจ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบ ที่มีผลต่อคุณภาพ โดยต้อง
(1) ดำเนินการตามช่วงเวลาที่กำหนดหรือก่อนการใช้งาน และสามารถสอบกลับได้ถึงมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในระดับชาติหรือระดับสากล
(2) แสดงสถานะการสอบเทียบไว้ชัดเจน และสามารถตรวจสอบได้
(3) มีการป้องกันการปรับแต่งเครื่องมือที่สอบเทียบแล้ว
(4) มีการป้องกันความเสียหายและเสื่อมสภาพระหว่างการเคลื่อนย้าย การบำรุงรักษา และเก็บรักษา
10.3 ดำเนินการเพื่อจัดการกับเครื่องตรวจ เครื่องวัดและเครื่องทดสอบ รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้รับผลกระทบ หากพบว่าเครื่องตรวจ เครื่องวัด และเครื่องทดสอบ ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ด้วยวิธีการที่เหมาะสม
10.4 มีและเก็บรักษาบันทึกผลการสอบเทียบและการทวนสอบไว้เป็นหลักฐาน

11. การปฏิบัติการแก้ไขและการดำเนินการกับข้อร้องเรียน
ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง
11.1 ดำเนินการแก้ไขและปฏิบัติการแก้ไขข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์และระบบควบคุมคุณภาพเพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่องซ้ำ
11.2 ดำเนินการกับข้อร้องเรียนที่ได้รับจากลูกค้าหรือผู้เกี่ยวข้องโดยมิชักช้า โดยต้องมีบันทึกการดำเนินการและผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการดังกล่าว และเก็บรักษาไว้เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้
11.3 มีวิธีการเรียกคืนผลิตภัณฑ์ที่ส่งมอบหรือวางจำหน่ายในท้องตลาดกรณีที่พบว่าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน
11.4 มีการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อบกพร่องและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์และระบบควบคุมคุณภาพ และนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และระบบควบคุมคุณภาพ

12. การควบคุมเอกสารและควบคุมบันทึก
ผู้ทำผลิตภัณฑ์ต้อง
12.1 จัดให้มีเอกสารที่ถูกต้อง ทันสมัย และจำเป็นต้องใช้ในการปฏิบัติงาน
12.2 มีวิธีการป้องกันการใช้เอกสารที่ล้าสมัยหรือยกเลิกแล้ว
12.3 มีการชี้บ่ง รวบรวม จัดเก็บ และรักษาบันทึกต่างๆไว้เพื่อแสดงความเป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์และระบบควบคุมคุณภาพ ตามระยะเวลาที่เหมาะสมและสอดคล้องกับข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง
เอกสารและบันทึกอาจอยู่ในรูปแบบใดๆ เช่น กระดาษ สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ร่าง มาตรฐานอุตสาหกรรม เถ้าปาล์มน้ำมันใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต

มอก.xxxx.255x

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เถ้าปาล์มน้ำมันใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต

1.ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด รายละเอียดเกี่ยวกับเถ้าปาล์มน้ำมันใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มหรือใช้แทนปูนซิเมนต์บางส่วนในคอนกรีตที่ใช้ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานหลัก เพื่อให้ได้สมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่าง ดังต่อไปนี้

(1) เพื่อให้เกิดการประสานในเนื้อคอนกรีต (cementation) หรือปฏิกิริยาปอซโซลาน (pozzolanic reaction) หรือทั้งสองอย่าง

(2) เพื่อให้ได้สมบัติอื่นที่อาศัยความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมัน

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 เถ้าปาล์มน้ำมัน หมายถึง เถ้าที่ได้จากการเผากากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลาและเส้นใยของผลปาล์มที่อุณหภูมิประมาณ 800-900°C เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้มีลักษณะเป็นผงฝุ่นและมีสมบัติปอซโซลาน

2.2 ปอซโซลาน (pozzolan) หมายถึง สารประกอบทางเคมีซึ่งส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอะลูมินา มีสมบัติในการประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่ออยู่ในรูปเป็นผงละเอียดและเมื่อมีความชื้นจะทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ และเกิดเป็นสารประกอบซึ่งมีสมบัติในการประสาน

3. ชั้นคุณภาพและชนิด

3.1 เถ้าปาล์มน้ำมันแบ่งตามคุณลักษณะทางเคมีและคุณลักษณะทางฟิสิกส์ ได้เป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ

3.1.1 ชั้นคุณภาพ 1 ใช้สำหรับงานคอนกรีตทั่วๆ ไป

3.1.2 ชั้นคุณภาพ 2 ใช้สำหรับงานที่ต้องการกำลังอัดของคอนกรีตไม่สูง หรืองานคอนกรีตที่ไม่ใช่งานโครงสร้าง เช่น งานคอนกรีตหยาบ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ท่อคอนกรีตไม่อัดแรง

มอก.xxxx.255x

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 คุณลักษณะทางเคมี

เถ้าปาล์มน้ำมันต้องมีคุณลักษณะทางเคมีเป็นไปตามตารางที่ 1 แต่อาจกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมได้ตามภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.1 ถ้ามีการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม ASTM C 311

4.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์

เถ้าปาล์มน้ำมันต้องมีคุณลักษณะทางฟิสิกส์เป็นไปตามตารางที่ 2 แต่อาจกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมได้ตามภาคผนวก ข. ตารางที่ ข.2 ถ้ามีการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม ASTM C 311

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมี

(ข้อ 4.1) หน่วยเป็นร้อยละ

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2
1	ผลรวมของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)อะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3)และไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3)ไม่น้อยกว่า	50	50
2	แคลเซียมออกไซด์ (CaO)ไม่เกิน	10	-
3	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)ไม่เกิน	3	3
4	ปริมาณความชื้นไม่เกิน	3	3
5	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา ไม่เกิน	12	15

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์

(ข้อ 4.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2
1	ความละเอียด (fineness)ปริมาณที่ค้างบนแร่ง 45 μm โดยร่อนแบบเปียก ร้อยละ ไม่เกิน	10	30
2	ดัชนีกำลัง เมื่อเทียบกับปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 [1] ร้อยละ ไม่น้อยกว่า		
	อายุ 7 d หรือ	75	70
	อายุ 28 d	75	70
3	ปริมาณน้ำที่ต้องการ เมื่อเทียบกับปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ ไม่เกิน	105	110
4	การคงตัว (soundness)[2]		
	การขยายตัวหรือหดตัวโดยวิธีใช้หม้ออัดไอน้ำ(autoclave) ร้อยละ ไม่เกิน	0.8	0.8

หมายเหตุ [1] โดยทั่วไปเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากการเผาโดยตรงจะมีความละเอียดต่ำ และมีปริมาณที่ค้างบนตะแกรง 45μm เกินเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อให้เถ้าปาล์มน้ำมันมีความละเอียดสูงขึ้นให้นำไปบดหรือทำให้มีความละเอียดสูงขึ้น จนมีปริมาณที่ค้างบนตะแกรง 45 μm เป็นไปตามเกณฑ์ที่ต้องการ

[2] ดัชนีกำลังเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (strength activity index with Portland cement type I) มิใช่เกณฑ์กำหนดสำหรับความต้านแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันนี้ นอกจากนั้น ปริมาณของเถ้าปาล์มน้ำมันที่กำหนดให้ใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักในการทดสอบนี้ ก็ไม่ใช่สัดส่วนการผสมซึ่งแนะนำสำหรับการใช้จริงในส่วนผสมคอนกรีต ปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสมของเถ้าปาล์มน้ำมันซึ่งจะใช้แทนปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงการก่อสร้างจริง ต้องมีการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการในแต่ละงาน การทดสอบนี้เป็นเพียงเกณฑ์ซึ่งวัดระดับของปฏิกิริยาพื้นฐานระหว่างเถ้าปาล์มน้ำมันกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งค่านี้อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ตามแหล่งกำเนิดของเถ้าปาล์มน้ำมันและประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

[1] โดยทั่วไปเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากการเผาโดยตรงจะมีความละเอียดต่ำ และมีปริมาณที่ค้างบนตะแกรง 45 μm เกินเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อให้เถ้าปาล์มน้ำมันมีความละเอียดสูงขึ้นให้นำไปบดหรือทำให้มีความละเอียดสูงขึ้น จนมีปริมาณที่ค้างบนตะแกรง 45 μm เป็นไปตามเกณฑ์ที่ต้องการ

5. การบรรจุ

5.1 ในกรณีที่ใช้ถุงบรรจุ ถุงนั้นต้องแน่นหนาและแข็งแรง

5.2 น้ำหนักสุทธิของเถ้าปาล์มน้ำมันในแต่ละถุงบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

6. เครื่องหมายและฉลาก

6.1 ที่ถุงบรรจุเถ้าปาล์มน้ำมันทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) คำว่า "เถ้าปาล์มน้ำมันใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต"
(2) ชั้นคุณภาพของเถ้าปาล์มน้ำมัน
(3) น้ำหนักสุทธิเป็นกิโลกรัมหรือเมตริก
(4) แหล่งผลิตหรือโรงงานที่เผากากปาล์มน้ำมัน
(5) วัน เดือน ปี หรือรหัสรุ่นที่ทำ
(6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน หรือชื่อบรรจุ หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย
(7) ข้อความ "เถ้าปาล์มน้ำมันไม่ใช่ปูนซิเมนต์ ดังนั้นจึงต้องใช้ร่วมกับปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อช่วยทำปฏิกิริยา และไม่ควรใช้ร่วมกับปูนซิเมนต์ผสม (mixed cement) ในงานคอนกรีตโครงสร้าง เช่น เสาคาน พื้น ฐานราก ฯลฯ"
(8) ข้อความที่มีขนาดตัวอักษรมาตรฐานขนาดความสูงไม่น้อยกว่า 10 mm "ในกรณีที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยไม่มีการทดลองผสม ไม่ควรใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนเถ้าปาล์มน้ำมัน : ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เกินกว่า 1: 4 โดยน้ำหนัก"

ในกรณีใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6.2 ในกรณีที่เถ้าปาล์มน้ำมันบรรจุภาชนะอย่างอื่นส่งให้ผู้ซื้อ ให้แจ้งรายละเอียดในใบส่งของกำกับเถ้าปาล์มน้ำมันนั้นตามข้อ 6.1 ด้วย แต่มวลสุทธิให้ใช้มวลรวม

7. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

7.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ตามภาคผนวก ก. ให้ไว้เป็นเทียงข้อแนะนำ

มอก.xxxx.255x

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 7.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง เถ้าปาล์มน้ำมันชั้นคุณภาพเดียวกัน ที่ได้จากการเผากากของผลปาล์มน้ำมัน โดยกรรมวิธีเดียวกัน จากแหล่งผลิตหรือโรงงานที่เผากากของผลปาล์มน้ำมันเดียวกัน ที่ส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน หรือที่เข้าไซโลเดียวกันหรือหลายไซโลเรียงกันตามลำดับ หรือที่บรรจุในภาชนะขนส่ง ซึ่งอาจเป็นรถหนึ่งคันหรือมากกว่าก็ได้ แต่ต้องเป็นเถ้าปาล์มน้ำมันที่ขนมาจากไซโลเดียวกัน

ก.2 ตัวอย่างเดี่ยว (grab sample) หมายถึง ตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมันที่ชักครั้งหนึ่งจากถุงบรรจุ จากอุปกรณ์ลำเลียงจากไซโลเถ้าปาล์มน้ำมัน หรือจากภาชนะขนส่งเถ้าปาล์มน้ำมัน

ก.3 ตัวอย่างรวม (composite sample) หมายถึง ตัวอย่างที่ได้จากการนำตัวอย่างเดี่ยวจากขนาดรุ่นที่กำหนดมารวมกันเพื่อใช้เป็นตัวแทนของเถ้าปาล์มน้ำมันสำหรับทดสอบคุณลักษณะทางเคมีและทางฟิสิกส์

ก.4 เถ้าปาล์มน้ำมันบรรจุถุง

ก.4.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.4.1.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

(1) ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.4.1.1)

ขนาดรุ่นหน่วยหน่วยบรรจุถุง	ขนาดตัวอย่างหน่วยบรรจุถุง	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 1 200	3	0
1 201 ถึง 3 200	8	1
เกิน 3 200	13	2

(2) จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 5. และ ข้อ 6. ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จึงจะถือว่าเถ้าปาล์มน้ำมันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.4.1.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะที่ต้องการ

(1) ให้ใช้ตัวอย่างจากข้อ ก.4.1.1 โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมชักตัวอย่างจากแต่ละถุงในปริมาณที่เท่าๆ กัน นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 kg เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดให้สนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ทุกรายการ จึงจะถือว่าเถ้าปาล์มน้ำมันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.4.2 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมันบรรจุถุงต้องเป็นไปตามข้อ ก.4.1.1 (2) และข้อ ก.4.1.2 (2) ทุกข้อ จึงจะถือว่าเถ้าปาล์มน้ำมันรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

5 เถ้าปาล์มน้ำมันจากอุปกรณ์ลำเลียง ไซโล หรือภาชนะขนส่ง

ก.5.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.5.1.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบปริมาณความชื้น น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา

(1) ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุกๆ 300 t หรือเศษของ 300 t แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 kg ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน 600 t เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดสนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 1 (รายการที่ 4 และรายการที่ 5) จึงจะถือว่าเถ้าปาล์มน้ำมันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.5.1.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการวิเคราะห์การคงตัว แคลเซียมออกไซด์ ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และผลรวมของปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ อะลูมินัมออกไซด์ และไอรอนออกไซด์

(1) ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุกๆ 300 t หรือเศษของ 300 t แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 kg ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน 2000 t เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดสนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 2 (รายการที่4) และตารางที่ 1 (รายการที่ 1 ถึงรายการที่ 3) จึงจะถือว่าเถ้าปาล์มน้ำมันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.5.1.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความละเอียด ดัชนีกำลัง (เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1) และปริมาณน้ำที่ต้องการ (เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1)

(1) ให้ชักตัวอย่างเดี่ยวทุกๆ 300 t หรือเศษของ 300 t แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง นำมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างรวมไม่น้อยกว่า 4 kg ต่อเถ้าปาล์มน้ำมัน 2000 t เก็บไว้ในภาชนะที่สะอาด แห้ง กันความชื้นได้ และปิดสนิท

(2) ตัวอย่างต้องเป็นไปตามตารางที่ 2 (รายการที่ 1 ถึงรายการที่3) จึงจะถือว่าเถ้าปาล์มน้ำมันรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.5.2 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมันจากอุปกรณ์ลำเลียง ไซโล หรือภาชนะขนส่งต้องเป็นไปตามข้อ ก.5.1.1 (2) ข้อ ก.5.1.2 (2) และข้อ ก.5.1.3 (2) ทุกข้อ จึงจะถือว่าเถ้าปาล์มน้ำมันรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ภาคผนวก ข.
คุณลักษณะที่ต้องการที่อาจเพิ่มได้
(ข้อ 4.1 และ ข้อ 4.2)

ข.1 คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้ ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้
(ข้อ ข.1)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2
1	ปริมาณแอลคาไลน์($Na_2O + 0.658\ K_2O$) ไม่เกิน	4	4

หมายเหตุ *เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีค่าร้อยละของปริมาณแอลคาไลน์เกินเกณฑ์ที่กำหนด อาจจะนำมาใช้กับมวลรวมที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาด้านแอลคาไลน์ (alkali-aggregate reaction) ได้ หากผลทดสอบรายการประสิทธิผลในการควบคุมปฏิกิริยาแอลคาไลน์-ซิลิกา เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด*

ข.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้ ให้เป็นไปตามตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้

(ข้อ ข.2)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2
1	การหดตัวแบบแห้งที่เพิ่มขึ้นของแท่งมอร์ตาร์ที่อายุ 28 d ค่าแตกต่างของค่าการหดตัวแห้งของแท่งมอร์ตาร์ทดสอบที่อายุ 28 d กับแท่งมอร์ตาร์ควบคุมที่ใช้ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเดียวกัน ร้อยละ ไม่เกิน	0.03	0.03
2	ความสม่ำเสมอของคอนกรีตกักกระจายฟองอากาศ ปริมาณของสารกักกระจายฟองอากาศที่ใช้เพื่อให้ได้ปริมาณฟองอากาศ ร้อยละ 18.0 โดยปริมาตรของมอร์ตาร์ ผลที่ได้จากการทดสอบไม่เกิน 10 ครั้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยได้ร้อยละ ไม่เกิน	20	20
3	ประสิทธิผลในการควบคุมปฏิกิริยาแอลคาไลน์-ซิลิกา [1] การขยายตัวของมอร์ตาร์ทดสอบที่อายุ 14 d เทียบเป็นร้อยละของการขยายตัวของมอร์ตาร์ควบคุมที่ใช้ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์แอลคาไลน์ต่ำที่อายุเดียวกัน ร้อยละ ไม่เกิน	100	100

ตารางที่ ข.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้ (ต่อ)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		ชั้นคุณภาพ 1	ชั้นคุณภาพ 2
1	ประสิทธิผลความทนซัลเฟต [2)] วิธีการ A การขยายตัวของชิ้นทดสอบเมื่อสัมผัสกับซัลเฟตเป็นเวลา 6 เดือน ร้อยละ ไม่เกิน - สัมผัสกับซัลเฟตระดับปานกลาง - สัมผัสกับซัลเฟตระดับสูง	0.10	0.10
	วิธีการ B การขยายตัวของชิ้นทดสอบเมื่อสัมผัสกับซัลเฟตเป็นเวลา 6 เดือน เปรียบเทียบกับการขยายตัวของชิ้นทดสอบที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟต ร้อยละ ไม่เกิน	0.05	0.05
2	ความสม่ำเสมอ ความหนาแน่น ผลที่ได้จากการทดสอบ 5-10 ครั้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยได้ร้อยละ ไม่เกิน	5	5
	หรือ ความละเอียด ปริมาณที่ค้างบนแร่ง 45 μm โดยร่อนแบบเปียก ผลที่ได้จากการทดสอบ 5-10 ครั้ง ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยได้ ร้อยละ ไม่เกิน	10	5

หมายเหตุ *1)* *เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีค่าร้อยละของปริมาณแอลคาไลน์เกินเกณฑ์ที่กำหนด อาจจะนำมาใช้กับมวลรวมที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับแอลคาไลน์ (alkali-aggregate reaction) ได้ หากผลทดสอบรายการประสิทธิผลในการควบคุมปฏิกิริยาแอลคาไลน์-ซิลิกา เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด*

2) *ในการใช้งานจริงอาจจะยอมให้ส่วนผสมของคอนกรีตมีปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันแตกต่างจากปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันที่ใช้ทดสอบไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานรวม โดยที่ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานจริงต้องมีปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ($3CaO{\cdot}Al_2O_3$) ไม่เกินปริมาณที่มีในปูนซีเมนต์ทดสอบ*

ภาคผนวก ค

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

Materials Science Forum (ISSN: 9752-1662, Trans Tech Publications)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Potential of Fly Ash Utilization for the Clinker Substitution in Cement Industry in Thailand

Wisanu Sairatanathongkham [1, a], Weerin Wangjiraniran[2,b]

[1]Energy Technology and Management Graduate School Chulalongkorn University, Thailand

[2]Energy Research Institute Chulalongkorn University, Thailand 10330

[3]254 Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok Thailand. 10330

[a]hiragobig@gmail.com, [b]weerin_w@yahoo.com

Keywords: Clinker Substitution, Fly ash, Carbon Dioxide Emission, Cement

Abstract. The main objective of this article is to forecast CO_2 mitigation from clinker production and to evaluate Fly Ash potential, used Clinker Substitution for CO_2 mitigation in cement industry between years 2015-2036 in Thailand following information of the Thailand's power developments plan (PDP2015). PDP2015 forecasts the potential of fly ash in the year 2036 which is estimated at 3.94 M ton and 48.76 M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$ of CO_2 emission from 58.01 M Ton of clinker production process. The methodology which is used for potential evaluation of fly ash and amount of CO_2 can evaluate from Mae Moh power plant technology. 1 MW can occur 952.3427 Ton and amount of CO_2 emission from utilizing is 0.825M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$ which is a default value of CSI (Cement Sustainability Initiative).The three different scenarios are used to analysis in this study. The condition of Business As Usual (BAU) scenario is the need of technology, used in 2015 as a base case. For Full Potential (FP) scenario, used fly ash 100%. The final scenario is called Zoning scenario (Z scenario) which consists of price rate (270 THB per Ton) and transportation rate (6 THB per kilometer of fly ash). From the result, in 2036 fly ash occur 7.46 M Ton that can mitigate CO_2 volume up to 6.15 M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$.

Introduction

Currently, the rate of cement demand per capita is higher than the past [1] because of economy expansion and residential requirement including government infrastructure projects such as mega infrastructure project and special economic zone etc. The following factors affect to high rate of cement production. Consequently, the amount of carbon dioxide emission tends to increase also. Previous information shows that the amount of carbon dioxide emissions from cement industry is the third highest of industrial sector [2, 3]. The main procedure of carbon dioxide emission is clinker production process. About 60% of carbon dioxide emission comes from calcination in kiln [4]. Clinker is the main raw material for cement production of various types. Hence, attempt to find solutions that will mitigate the emissions such as thermal and electric efficiency. Besides, alternative fuel is used for materials that are suitable for production and CO_2 mitigation which do not affect the quality and demand in the future. So, using fly ash to be clinker substitution reduces environmental pollution impact and cement producing cost. [5, 6]

Fly ash potential evaluation in the future depends on number and capacity of coal-fired power plants [7]. During the last few decades, there has been a dramatic increasing of coal ash production in the world due to the amounts of energy increasing from coal-fired power plants [8]. The growth rate of fly ash increases due to new construction and expansion of coal-fired thermal power plants in the future [9]. There are three main factors that affect to generate fly ash which are number, capacity and technology of coal-fired power plants.

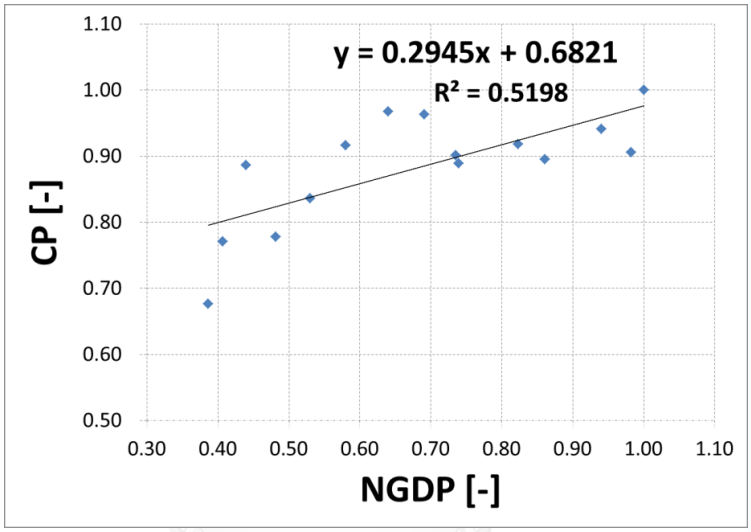
Objective

To forecast the amount of carbon dioxide emissions from the cement industry and evaluate the potential of fly ash using as Clinker Substitution between 2015-2036.

Methodologies

Scenario 1 Business As Usual (BAU Scenario). BAU Scenario is a present information that refers to amount of CO_2 emission when freezing fly ash proportion and using cement production technology in cement sector 2014 as a base for stipulation. Then, forecasting a volume of clinker between 2015-2036 and use following data to analysis amount of CO_2 emissions.

Fig.1 the relevant of clinker production and GDP during 14 years (2000 – 2014)



The forecast volume of carbon dioxide emissions. Collecting the amount of produced clinker in the past and forecasting GDP during 14 years (2000 - 2014) that passed normalization process, are analyzed by simple linear regression equation. The output is to generate a model for forecasting the volume of clinker production in the future following figure 1.

From figure1 can find the CP and NGDP as following

$$CP = \frac{CP_i}{Max(CP_i)} \quad (1)$$

Where

CP = the amount of normalized clinker

CP_i = the amount of clinker production in year and i is year (Ton/year)

Max = the maximum amount of clinker produced during that period (Ton/year)

$$NGDP = \frac{GDP_i}{Max(GDP_i)} \quad (2)$$

Where

GDP = the value of normalized GDP

GDP_i = the value of GDP in year and i is year (Billion THB)

Max = the maximum value of GDP during that period (Billion THB)

Data passed normalization for analysis by simple linear regression equation shows in equation no.3 and R^2= 5.198

$$y = 0.2945x + 0.6821 \quad (3)$$

Where

x = value of GDP in the future (Billion THB)

y = amount of clinker produced that year (Ton/ Year)

Table 1 Forecasting result

Year	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Clinker [M Ton]	42.23	42.77	43.37	43.95	44.52	45.13	45.76	46.41	47.07	47.77	48.48
GDP [Billion THB]	13.59	14.19	14.86	15.50	16.13	16.81	17.51	18.23	18.96	19.74	20.53
Year	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Clinker [M Ton]	49.21	49.98	50.76	51.55	52.37	53.24	54.13	55.04	56	56.98	58.01
GDP [Billion THB]	21.35	22.20	23.07	23.95	24.86	25.83	26.81	27.83	28.88	29.98	31.12

From equation (3), to forecast clinker production in the future during year 2015 - 2036 shows the relation of clinker growth rate that follows the GDP increasing, shown in table 1

Carbon Dioxide from clinker production is forecasted the emissions by a default value of CSI (Cement Sustainability initiative). Let CO_2 emitted value is 0.825 $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$

Scenario 2 Full Potential (FP Scenario). The condition of FP Scenario refers to volume of CO_2 emission from 100% of fly ash, substituted to clinker. Evaluating the potential by varying quantities of fly ash follows PDP2015.

Evaluation fly ash potential. From PDP2015's data, the demand of electricity is higher and consistent with economic expansion that needs to construct more the power plant especially coal-fired power plant to be sufficient and security in energy section.

$$FA = CA \times F \quad (4)$$

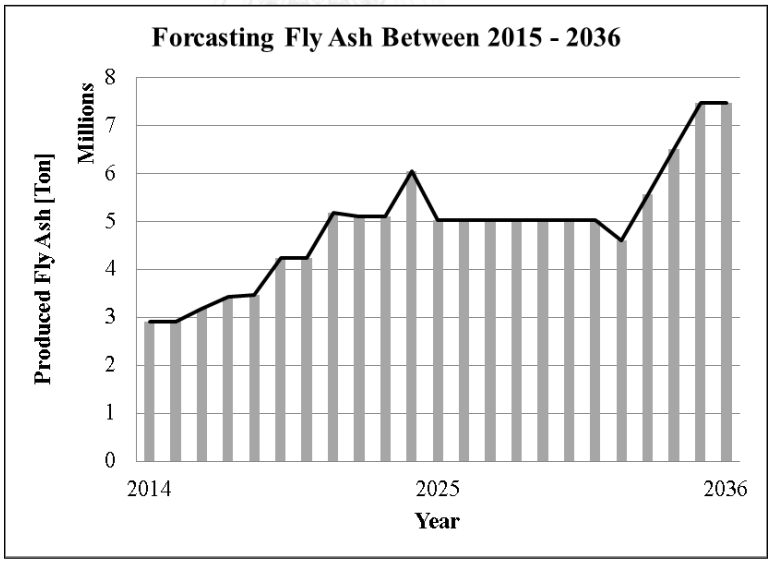
Where

FA is Fly ash (Ton/Year)

CA is a capacity of power plant (MW)

F is default value of MW to Fly ash (Ton/MW)

Fig.2 Calculated fly ash from coal-fired power plant according to PDP2015



Assumption from Mae Moh power plant technology, EGAT found that generating electricity 1 MW can occur fly ash 952.3427 Ton. It is approximately 83.33% of Coal Ash (fly ash and bottom ash) [10]. Hence, can evaluate the fly ash from electricity capacity following equation 4 and shows in figure 2

Trend of fly ash increases following the PDP 2015 both number and capacity of power plants. Although, some year the amount of fly ash decreases because of the

retiring of old power plant PDP2015. Besides, additional study of Prof. Chai Jaturapitakkul and Mae Moh Technology's data found that the fly ash about 47% is used in cement industrial sector. So, the real using of fly ash in the future can be evaluated [11].

Table 2 The distance between cement plant and power plant (kilometer)

Cement Plant / Coal Power Plant	MaeMoh	BLCP	National Supply	Krabi	Tepha	New*
The Siam Cement (Ta Luang) Co.,Ltd.	557	293	149	911	1,123	293
The Siam Cement (Khao Wong) Co.,Ltd.	560	294	151	930	1,142	294
The Siam Cement (Kaeng Khoi) Co.,Ltd.	588	285	130	922	1,134	285
The Siam Cement (Thung Song) Co.,Ltd.	1,407	933	889	102	260	933
The Siam Cement (Lampang) Co.,Ltd.	65	801	700	1,425	1,637	801
TPI Polene Public Company Limited	592	293	145	929	1,142	293
Jalaprathan Cement Public Company Limited Takli Plant	467	369	254	993	1,205	369
Jalaprathan Cement Public Company LimitedCha-am Plant	809	336	292	642	854	336
Cemex (Thailand) Co.,Ltd. Saraburi Plant	531	293	150	929	1,141	293
Siam City Cement Public Company Limited Saraburi Plant	594	290	142	927	1,139	290
Asia Cement Public Company Limited Saraburi Plant	548	299	156	920	1,133	299
* be forecasting in 2032 increase in East Regional replacing BLCP Retirement						

Scenario 3 Zoning (Z Scenario). The condition of Z Scenario refers to volume of CO_2 emission by defining the distance information in Table 2 and combining the fly ash price and transportation rate. Forecasting fly ash price at 270 Baht per Ton and transportation rate at 6 Baht per kilometer following the higher demand and price combine with clinker production capacity of cement plant in order to analyze the fly ash potential for clinker substitution.

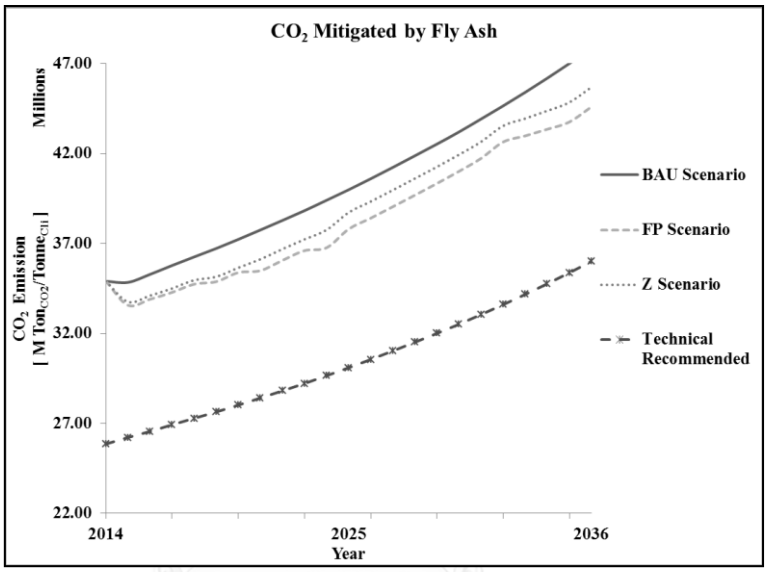
Lastly, the case study from laboratory result about fly ash qualification and proportion is utilized with clinker for cement production at the optimality point. So, the optimum point for clinker substitution uses [12] the upper bound selection at 30% of fly ash per 70% of clinker for technical recommendation.

Result

The forecasting volume of carbon dioxide emissions. A result of clinker forecasting equation directed variation with value of GDP, trend of CO_2 increases continuous. In 2036, CO_2 will emit at 48.76 M Ton_{CO2}/$Tonne_{Cli}$ from clinker production about 58.01 M Ton that represents an average growth rate of 1.52% per year.

Evaluation fly ash potential. In 2036, the fly ash potentials, used clinker substitution about 3.94 M Ton which can reduce the volume of CO_2 about 3.25 M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$. If average over 20 years (period 2015 – 2036), the fly ash potential is about 5% per year.

Fig.3 The evaluation of CO_2 result from 3 scenarios including technical recommendation between 2015-2036



From the result of *BAU scenario*, the volume of CO_2 forecasting from clinker production is 47.85 M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$ in year 2036.

From the result of *FP scenario,* the volume of CO_2 is 44.60 M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$ from the utilized fly ash about 3.94 M Ton (potential remaining to evaluate), accounted for 6.79% of BAU scenario.

In the *final scenario*, combined the price and transportation rate, the result of CO_2 emissions from clinker production process in year 2036 is 46.03 M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$ from fly ash utilization, evaluated volume of 2.20 M Ton to mitigate or account for 3.79% from BAU scenario.

Furthermore, considering the *technical recommended* data for the clinker substitution proportion 30 : 70;thus, the CO_2 emissions could mitigate in 2036 about 34.39 M $Ton_{CO2}/Tonne_{Cli}$ from the 17.40 M Ton of fly ash utilized, shows in figure 3.

Conclusion

After applying the Clinker Substitution in cement sector by three scenarios for analysis, the volume of CO_2 emission from clinker production process in 2036 is about 58.01 M Ton. The result of BAU scenario is a volume of CO_2 emission about 47.85 M Ton_{CO2}/$Tonne_{Cli}$. The FP scenario uses fly ash 3.94 M Ton to mitigate CO_2 about 6.79% when comparing with BAU scenario. The final scenario (Zoning scenario) uses fly ash 2.20 M Ton to mitigate CO_2 about 3.79%. If concludes the laboratory result, 17.40 M Ton (approximately 4.4 times) of fly ash is used for evaluation the fly ash potential in 2036. It reduces the CO_2 emission from cement industrial sector more than 14.35 M Ton_{CO2}/$Tonne_{Cli}$ (about 30% of BAU scenario).

References

[1] Cement Industry, Industry Overview Annual 2014, Report of the Office of Industrial Economics, 2014

[2] SNC Vol.3 UNFCCC, National Communication Report Vol 3, National Report of Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2006

[3] Information on http://www.tgo.or.th/

[4] P.A. Vesilind,S.M. Morgan and L.G. Heine, in: Introduction to Environmental engineering,chapter,14,Print Replica (2009).

[5] M. Ahmaruzzaman,: submitted to Journal of Progress in Energy and Combustion Science (2009)

[6] E.R. Teixeira, R. Mateus, A.F. Camoes , L. Bragança : submitted to Journal of Cleaner Production (2016)

[7] Cement Road Map, Cement Technology Roadmap 2009 Carbon emissions reductions up to 2050, Report of the International Energy Agen and World Business Council for Sustainable Development, 2009.

[8] T.R. Naik and S.S. Singh, in: Fly Ash Generation and Utilization, Recent Trend in Fly Ash Utilization, An Overview (1993, June)

[9] Y. Ishikawa: submitted to world of coal ash Conference (2007)

[10] Jaturapitakkul, C: submitted to Thailand Concrete Association Journal (2015)

[11] PDP2015,Thailand Power Development Plan 2015-2036, Report of Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy, 2015.

[12] Chindaprasirt, P. and Jaturapitakkul, C., in: Cement Pozzolan and Concrete,6 Edition,chapter,17,SCG Cement Co.,Ltd. Publisher (2006)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทความที่ได้รับการเผยแพร่

ASEAN++ 2016Towards Geo-resources Education in ASEAN Economic Community,

The 9th AUN/SEED-Net Regional Conference on Geological and Geo-resources Engineering,

The 12th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering and

The 9th International Conference on Earth Resources Technology.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

POTENTIAL OF BIOMASS ASH UTILIZATION FOR THE CLINKER SUBSTITUTION IN CEMENT INDUSTRY IN THAILAND

Wisanu Sairatanathongkham[1], Weerin Wangjiraniran[2]

[1]Energy Technology and Management, Graduate School, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road Pathumwan, Bangkok, Thailand, Email: hiragobig@gmail.com

[2]Energy Research Institute, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road Pathumwan, Bangkok, Thailand, Email: weerin_w@yahoo.com

Received Date June 15th 2016

Abstract

This research aims to study the potential of bagasse ash and palm oil fuel ash. Using a material for clinker substitution is the CO_2 mitigation in the cement production process of cement industry in Thailand during 2015 – 2036. Bagasse ash and palm oil fuel ash forecasting are evaluated from area and yield conditions. In 2036 biomass ash generate 2 Mt which come from bagasse ash at 1.27 Mt and palm oil fuel ash at 0.75 Mt. Hence, amount of CO_2 from clinker production process is 47.85 M t_{CO2}/t_{Cli} from 58.01 M ton of Clinker. Methodology to evaluate CO_2 mitigation 1 Ton of clinker equivalence emission is using a default values (0.825 Mt_{CO2}/t_{Cli}). 3 difference scenarios are using for analyzing. First of all, the base line scenario is to freeze the production technology. Secondly, biomass ash utilizes 100% of generation. Final scenario is to determine the zoning condition that is price rate equivalence fly ash at 270 THB/ton, transportation rate at 6 THB/km and demand follow technical recommendation at 20% of proportion using. As a result, in 2036, base line scenario is amount of CO_2 emission at 47.85 Mt_{CO2}. Full potential scenario has 2.02 M Ton of biomass ash which evaluated to help CO_2 mitigation at 1.67 Mt_{CO2} and to mitigate from baseline at 46.18 Mt_{CO2}. Finally scenario result concludes the demand for using follow technical recommendation higher than generation. Although, the cement plant demand was reduced whereas biomass ash capacity is inadequate to account for 3.48% of clinker.

Keywords: Bagasse Ash, Carbon Dioxide Emission, Cement, Clinker Substitution,

Palm Oil Fuel Ash

Introduction

Nowadays, agricultural industrial waste is rapidly because of demand and economics expansions. In Thailand, tends of various wastes from agricultural industry increase resulting from the economic growth and infrastructure projects forecasting [1]. To support the AEC expansion in the future, it will cause the demand of cement production, especially in clinker which is the main raw material in cement. [2].The increasing rate of clinker is high culminate in CO_2 emission also [3]. Cement Industry group attempt to find CO_2 mitigation such as thermal and electric efficiency, alternative fuel use and clinker substitution. The clinker substitution such interesting is ash from agricultural industry -biomass ash or agricultural ash-. There will be an increasing amount of waste that needs efficient management, benefits and reduces environmental pollution also [4].

Evaluation the potential of bagasse ash and palm oil fuel ash is used as a clinker substitute for CO_2 mitigation. The main result depends on the productivity [5] the projected area of the plant and yield. Natural pozzolan' material is availability depend on local situation[6].The information from Balance Sheet Department of Agricultural set sugarcane's area target at 26,720 km^2 and yield at 7,666.43 ton/ km^2 in 2026[7]. The draft of strategic plan of palm and palm oil during 2015 – 2026 will be expansion at 12,000 km^2 and 2,500 Ton/km^2 in 2026[8,9]. There are two factors of agricultural ash which generated the productivity from area and yield. Hence, higher productivity depend on agricultural technology to help yield increasing and factor of natural (rain, weather, etc.).

In the future, if there are using by-product from agricultural industry such as bagasse ash and palm oil fuel ash is biomass ash for the clinker substitution should mitigate CO_2 in cement sector and foreword to low carbon society [10].

Objective

To evaluate the potential of Biomass Ash (Bagasse ash and Palm Oil Fuel Ash) utilizing as Clinker Substitution for the carbon dioxide mitigation in cement industry in Thailand during 2015 – 2036.

Methodologies

The methodology for analysis, use the same assumption and method as well as the research "Potential of Fly Ash Utilization for the Clinker Substitution in Cement Industry in Thailand “which researcher studied mitigate CO_2 from using biomass ash in Thailand 'cement industry by detail of methodology present according to below [11].

First Scenario is Business As Usual (BAU Scenario)

The BAU scenario is present information of CO_2 emission from clinker production process only with basis of clinker production technology in 2014 as a main proviso. Then, forecasting a volume of clinker between 2015-2036 and use following data to analysis amount of CO_2 emissions.

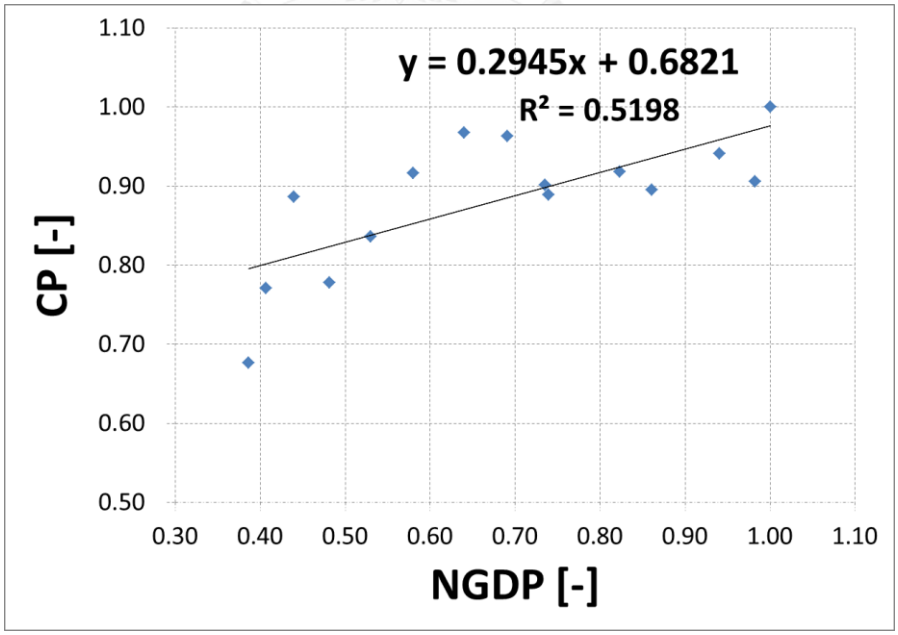


Fig.1 the relevant of clinker production and GDP during 14 years (2000 – 2014)

The Forecast Volume of Carbon Dioxide Emissions.

Collecting the amount of produced clinker in the past and forecasting GDP during 14 years (2000 - 2014) that passed normalization process, are analyzed by simple linear regression equation. The output is to generate a model for forecasting the volume of clinker production in the future following figure 1.

From figure1 can find the CP and NGDP as following

$$CP = \frac{CP_i}{Max(CP_i)} \quad (1)$$

Where

CP = the amount of normalized clinker

CP_i = the amount of clinker production in year and i is year (ton/year)

Max = the maximum amount of clinker produced during that period (ton/year)

$$NGDP = \frac{GDP_i}{Max(GDP_i)} \quad (2)$$

Where

GDP = the value of normalized GDP

GDP_i = the value of GDP in year and i is year (Billion THB)

Max = the maximum value of GDP during that period (Billion THB)

Data which passed normalization for analysis by simple linear regression equation shows in equation no.3 and R^2= 5.198

$$y = 0.2945x + 0.6821 \quad (3)$$

Where

x = value of GDP in the future (Billion THB)

y = amount of clinker produced that year (ton/year)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 1 Forecasting result

Year	Ash [Million ton]	GDP [Billion THB]
2015	42.23	13.59
2016	42.77	14.19
2017	43.37	14.86
2018	43.95	15.50
2019	44.52	16.13
2020	45.13	16.81
2021	45.76	17.51
2022	46.41	18.23
2023	47.07	18.96
2024	47.77	19.74
2025	48.48	20.53
2026	49.21	21.35
2027	49.98	22.20
2028	50.76	23.07
2029	51.55	23.95
2030	52.37	24.86
2031	53.24	25.83
2032	54.13	26.81
2033	55.04	27.83
2034	56.00	28.88
2035	56.98	29.98
2036	58.01	31.12

From equation (3), to forecast clinker production in the future during year 2015 - 2036 shows the relation of clinker growth rate that follows the GDP increasing, shown in table 1

Carbon Dioxide from clinker production is forecasted the emissions by a default value of CSI (Cement Sustainability initiative). CO_2 emitted value is 0.825 t_{CO2}/t_{Cli}

Second Scenario is Full Potential scenario (FULL Scenario).

Assumption of the condition of FULL Scenario refers to volume of CO_2 emission from 100% of 2 kind of Biomass ash, substituted to clinker. The process to evaluate the potential is vary quantities of Biomass ash according to production of "Sugar Cane and Palm Oil" during 2015 – 2036.

Evaluation Biomass Ash Potential.

The evaluation of Biomass ash was divided to 2 parts. First part is bagasse ash from sugar cane productivity .Using Ministry of Agriculture and Cooperative's data and Office of The Cane and Sugar Board's data to evaluate bagasse ash in the future. There are two main factors that affect to generate bagasse ash which are cultivation's area and yield. The contributing factors are the yield increasing or decreasing which consisted of agriculture technology development and weather. Can be evaluated the productivity of sugarcane according to equation below.

$$PSC = A \times Y \quad (4)$$

Where

PSC = Productivity of Sugarcane

A = Cultivation's area (km^2)

Y = Yield (ton/km^2)

The data contribute above and after 2026 which were used to penetrate the increasing rate of yield constant at 94 kg/km^2 from 7,664,468.58 kg/km^2 in 2015. In 2036, yield increase at 7,666.43 Ton/km^2 and 26,720 km^2 of cultivation's area. Then, evaluate the sugarcane's productivity which can calculate bagasse ash and CO_2 mitigation values after bagasse ash utilizing. According to assumption, ash 1 ton substitute clinker 1 ton. Let cane change to ash at 0.62% from cane weight and CO_2 emission value at 0.825 t_{CO2}/t_{Cli} show below.

Table 2 Evaluating result of Bagasse ash

Year	Ash [Million ton]	CO_2 [ton_{CO2}]
2015	0.81	
2016	0.86	0.67
2017	0.90	0.71
2018	0.94	0.74
2019	0.98	0.77
2020	1.02	0.81
2021	1.06	0.84
2022	1.10	0.88
2023	1.15	0.91
2024	1.19	0.94
2025	1.23	0.98
2026	1.27	1.01
2027	1.27	1.05
2028	1.27	1.05
2029	1.27	1.05
2030	1.27	1.05
2031	1.27	1.05
2032	1.27	1.05
2033	1.27	1.05
2034	1.27	1.05
2035	1.27	1.05
2036	1.27	1.05

From table 2, show the result after evaluation ash and amount of CO_2 in the future during 2015 – 2036 which conform to volume of productivity growth up according to the predictive of factors.

Second part is palm oil fuel ash from palm productivity. Using Ministry of Agriculture and Cooperative's data and draft of strategic plan of palm and palm oil during 2015 – 2026 evaluate palm oil fuel ash in the future. There are two main factors that affect to generate palm oil fuel ash which are cultivation's area and yield. The contributing factors determine the increasing or decreasing of yield which consisted of agriculture technology development and weather. Can be evaluated the productivity of palm according to equation below.

$$PP = A \times Y \quad (4)$$

Where

PP = Productivity of Palm

A = Cultivation's area (km^2)

Y = Yield (ton/km^2)

The data contribute above and after 2026 which were used to penetrate the increasing rate of yield constant at 31.25 ton/km^2 from 1,770.23 ton/km^2 in 2015. In 2036, yield increase at 2,500 ton/km^2 and 12,000 km^2 of cultivation's area. Then, evaluate the sugarcane's productivity which can calculate bagasse ash and CO2 mitigation values after bagasse ash utilizing. According to assumption, ash 1 ton substitute clinker 1 ton. Let cane change to ash at 2.43% from cane weight and CO_2 emission value at 0.825 t_{CO2}/t_{Cli} show below.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Table 3 Evaluating result of Palm Oil Fuel ash

Year	Ash [Million ton]	CO_2 [t_{CO2}]
2015	0.33	0.27
2016	0.35	0.27
2017	0.38	0.29
2018	0.40	0.31
2019	0.43	0.33
2020	0.46	0.35
2021	0.49	0.38
2022	0.51	0.40
2023	0.54	0.42
2024	0.57	0.45
2025	0.61	0.47
2026	0.64	0.50
2027	0.65	0.53
2028	0.66	0.54
2029	0.67	0.55
2030	0.68	0.56
2031	0.69	0.57
2032	0.70	0.58
2033	0.72	0.59
2034	0.73	0.60
2035	0.74	0.61
2036	0.75	0.62

From table 3 shows the result after evaluation ash and amount of CO_2 in the future during 2015 – 2036 which conform to volume of productivity growth up according predictive of factors.

All in all, both of them conform to volume of productivity growth up according to main factors.

The Final scenario is Zoning (ZON Scenario).

From the assumption of condition ash price, transportation rate and demand accounted for proportion from the lab at 20% [12,13]. The price and transportation rate account from equivalent price and transportation of Fly ash. Which nowadays biomass ash (bagasse ash and palm oil fuel ash) no data because of it is a by-product from industry (waste) from agricultural industry.

Forecasting fly ash price at 270 Baht per Ton and transportation rate at 6 Baht per km following the higher demand and price combine with clinker production capacity of cement plant is analyzed the biomass ash potential for clinker substitution.
For optimum distance between cement plant and material source account at 788.33 km. Although, in this case biomass plant can specify but ash generation depends on the productivity. Hence, optimum distance is used in form radius.

Lastly, the case study from laboratory result about biomass ash qualification and proportion is utilized with clinker for cement production at the optimality point. So, the optimum point for clinker substitution uses [12] the upper bound selection at 20% of biomass ash per 80% of clinker for technical recommendation [14,15].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Result

The Forecasting Volume of Carbon Dioxide Emissions.

A result of clinker forecasting equation directed variation with value of GDP, trend of CO_2 increases continuous. In 2036, CO_2 will emit at 48.76 M Ton_{CO2} from clinker production about 58.01 M Ton that represents an average growth rate of 1.52% per year.

Evaluation Biomass ash potential

In 2036, the biomass ash potential, used clinker substitution about 2.02 Mt which can reduce the volume of CO_2 about 1.67 Mt_{CO2}. If average over 20 years (period 2015 – 2036), the biomass ash potential is about 0.16% per year.

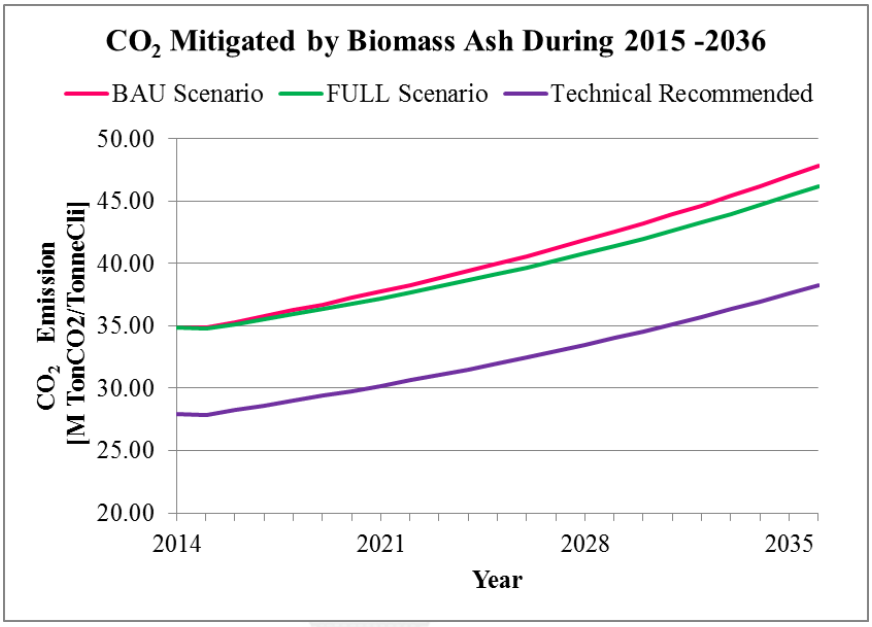


Fig.2 The evaluation of CO_2 result from BAU scenarios and FULL scenario including technical recommendation between 2015-2036

From the result of *BAU scenario*, the volume of CO_2 forecasting from clinker production is 47.85 Mt_{CO2} in year 2036.

From the result of *FULL scenario,* the volume of CO_2 is 47.09 Mt_{CO2} from the utilized biomass ash about 2.02 Mt, and CO_2 mitigation at 1.67 Mt_{CO2} accounted for 3.49% of BAU scenario.

Furthermore, considering the *technical recommended* data for the clinker substitution proportion 20: 80; thus, the CO_2 emissions could mitigate in 2036 about 38.29 Mt_{CO2} from the 9.57 Mt of biomass ash utilized, shows in figure 3.

For the result of ZON Scenario, analysis found that it is covering every cultivated areas but inadequate demand when compared with technical recommended as shown in the graph below.

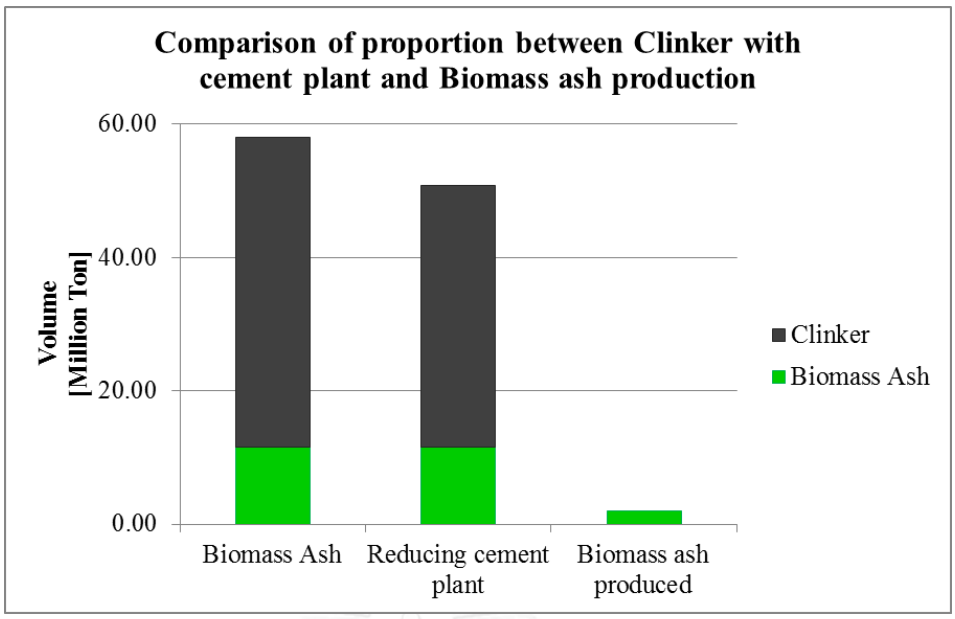


Fig.3 Comparison of proportion between clinker from Cement plant and biomass ash production

From the graph, the proportion between clinker and biomass ash found that in first column proportion of biomass ash from laboratory is at 20 % demand. In the column second has reduced a number of cement plant which reached to 1 plant but remain as proportion of biomass ash same the first column. Final column represent real production to generate of ash from evaluated agriculture productivity. Although, the clinker decreasing from the cement plant remains inadequate biomass when comparison real biomass ash production. Hence, result of equal with FULL scenario.

Conclusion

After applying the Biomass Ash in Clinker Substitution technology in cement sector by three scenarios for analysis, the volume of CO_2 emission from clinker production process in 2036 is about 58.01 Mt. The result of BAU scenario is volume of CO_2 emission about 47.85 Mt_{CO2}. The FULL scenario uses biomass ash 2.02 Mt to mitigate CO_2 at about 3.48% when comparing with BAU scenario. For the ZON scenario has result equal the FULL scenario. Hence, biomass ash implement to conduct on cement sector can be mitigated CO_2 at 1.67 Mt_{CO2} or accounted for 3% of clinker production emission in 2036.

References

[1] *Yearly-2557 Trend-2558 final*, Report of the Bank of Thailand,2015.

[2] Cement Industry, *Industry Overview Annual 2014*, Report of the Office of Industrial Economics, 2014

[3] SNC Vol.3 UNFCCC, *National Communication Report Vol 3*, National Report of Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2006

[4] P.A. Vesilind,S.M. Morgan and L.G. Heine, in: Introduction to Environmental engineering,chapter,14,Print Replica (2009).

[5] J. Chai,“ Biomass ash from industrial : problems and limitations. Implementations“*Thailand Concrete Association Journal*, Vol.17,pp.17-2, 2015.

[6] Cement Road Map, *Cement Technology Roadmap 2009 Carbon emissions reductions up to 2050*, Report of the International Energy Agen and World Business Council for Sustainable Development, 2009.

[7] “Balance Sheet”, Available: http://www.oae.go.th/download/bapp/2558/08.pptx. [Accessed: November 2015]

[8] B.Nicha, *Palm oil to produce electricity,* Research and Development, the secretariat of the house of representatives,Bangkok,Thailand,2015

[9] “Current situation and future trends”, Available: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/trend/index.php. [Accessed: April 2015]

[10] C.Dechkachorn, “Green concrete” *Thailand Concrete Association Journal*, Vol.16,pp.16-2, 2012

[11] S.Wisanu, and W.Weerin “Potential of Fly Ash Utilization for the Clinker Substitution in Cement Industry in Thailand”, *journal of Materials Science Forum*, ISSN: 1662-9752, Trans Tech Publications, 2016.

[12] C. Prasert. and J.Chai., in: Cement Pozzolan and Concrete,6 Edition,chapter,17,SCG Cement Co.,Ltd. Publisher (2006)

[13] J.Chai, “Using bagasse ash as a pozzolan materials in concrete.”, *Thailand Concrete Association Journal*, Vol.16,pp.16-4, 2012

[14] C.Nuntachai, J.Chai, and K.Kraiwood , “Utilization of Bagasse Ash as a Pozzolanic Material in Concrete”, Construction and Building Materials, Vol. 23, pp. 3352-3358. 2009

[15] J.Chai, T. Weerachart, *The use of ash and residues from industrial materials to the concrete,* Department of civil engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut’s University of Technology Thonburi press, Bangkok, Thailand,2012.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อภิธานศัพท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อภิธานศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

Alternative Energy Development Plan: AEDP	แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก คือแผนที่มีการจัดการและวางแผนเกี่ยวกับการกำหนดเป้าหมาย เรื่องพลังงานทดแทน ทั้งพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น ของประเทศไทย 20 ปี (ดูเพิ่มเติม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน)
Alternative Fuel	พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานใดๆ ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทดแทนแหล่งพลังงานซึ่งสะสมตามธรรมชาติและใช้หมดไป เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ฯ พลังงานทดแทนภายในประเทศซึ่งมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า มีอาทิ พลังงานจากแสงอาทิตย์ ลม ความร้อนใต้พิภพ น้ำ พืช วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ขยะ ฯ เนื่องจากพลังงานทดแทนดังกล่าวมีกระจายอยู่ตามธรรมชาติและไม่มีความสม่ำเสมอ (ดูเพิ่มเติม สวทช.)
Alternative Fuel Use	การใช้เชื้อเพลิงทดแทน เป็นเทคโนโลยีสำหรับการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยการใช้เชื้อเพลิงทดแทนประเภทต่างๆ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ขยะ เป็นต้น (ดูเพิ่มเติม Cement Technology Roadmap 2009 Carbon Emission Reductions up to 2050)
Anthracite	แอนทราไซต์ ถ่านหินชนิดหนึ่ง มีการแปรสภาพสูงที่สุด ประกอบด้วยคาร์บอน ร้อยละ 92-98 (ภายใต้สภาวะที่แห้งและไม่มีแร่อื่นปะปน) เนื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	แข็ง สีดำ ความวาว แบบกึ่งโลหะ มักแตกแบบก้นหอย ติดไฟยากเมื่อไหม้ ให้เปลวไฟสีน้ำเงินไม่มีควัน ให้ความร้อนสูงที่สุดในบรรดาถ่านหินด้วยกัน (ดูเพิ่มเติม สวทช.)
Artificial Pozzolan	ปอซซโซลานประดิษฐ์ หรือหรือ ปอซโซลานที่ได้จากกระบวนการผลิต คือ วัสดุที่ผลิตขึ้นใช้งานเฉพาะไม่ได้เกิดเองตามธรรมชาติ ตัวอย่าง เช่น ดินเผา เป็นต้น
Asia-Pacific Integrated Model (AIM)	เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ตั้งแต่กระบวนการผลิตที่ประกอบด้วย วัตถุดิบ กระบวนการ ตลอดจน ผลผลิตหลัก และผลพลอยได้ (ดูเพิ่มเติม www-iam.nies.go.jp/aim)
ASTM	สมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน หรือ American Society for Testing and Materials (ASTM) คือ องค์กรสากลที่ตั้งขึ้นมาเพื่อดูแลและกำหนดมาตรฐานการทดสอบวัสดุ ผลิตภัณฑ์ ระบบและบริการ ย่อมาจาก American Society of Testing and Materials (ดูเพิ่มเติม สวทช.)
ASTM C618	ข้อกำหนดสำหรับเถ้าลอยและวัตถุดิบหรือเผาธรรมชาติปอซโซลานเพื่อใช้เป็นสารผสม หรือส่วนผสมแร่ในคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์(ดูเพิ่ม https://www.astm.org)
Bagasse Ash หรือ Bagasse Fly Ash	เถ้าชานอ้อย เป็นวัสดุพลอยได้จาโรงงานอตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ชานอ้อยเผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
Biomass Ash	เถ้าชีวมวล เป้นวัสดุพลอยได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิง ปรเภทชีวมวลต่างๆ เช่น แกลบ ชานอ้อย กะลาปาล์ม เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Biomass Fuel	เชื้อเพลิงมวลชีวภาพ (ดูเพิ่มเติม ศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน)
Biomass Power plant	โรงไฟฟ้าที่ใช้เศษวัสดุจากเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ กากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กากจากผลผลิตทางการเกษตรที่ผ่านการแปรรูปแล้ว เช่น แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ กากปาล์ม กากมันสำปะหลัง ซังข้าวโพด กากและกะลามะพร้าว ส่าเหล้า เป็นต้น นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และพลังไอน้ำ ซึ่งอาจเป็นเศษวัสดุชนิดเดียว หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ โดยชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป สำหรับโรงไฟฟ้าที่เลือกใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากแกลบมีความชื้นต่ำ จึงให้ค่าความร้อนสูง และมีหลักการทำงานคล้ายกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน
Bituminous	ถ่านหินบิทูมินัส, ถ่านหินชนิดหนึ่งมีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ ประกอบด้วยคาร์บอนประมาณ 80-90% ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีคุณภาพดีกว่าลิกไนต์ (ดูเพิ่มเติม สวทช.)
Blast furnace slug	ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (blast-furnace slag) คือผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่โลหะซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิเกตและอลูมิโนซิลิเกตของแคลเซียมและอื่นๆ ซึ่งเกิดขึ้นในขณะหลอมละลายพร้อมกับเหล็กในเตาถลุงเหล็ก นอกจากนี้ยังให้คำจำกัดความของเม็ดตะกรันเตาถลุงเหล็ก (granulated blast-furnace slag) หมายถึงเม็ดวัสดุที่ไม่เป็นผลึกซึ่งได้จากการทำตะกรันที่หลอมเหลวในเตาถลุงเหล็กให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยการจุ่มลงในน้ำหรือใช้น้ำฉีดเพื่อให้ตะกรันเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว (ดูเพิ่มเติม American Concrete Institute)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Bottom Ash	เถ้าก้นเตา หรือ เถ้าหนัก เป็นเถ้าถ่านหินที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่จะตกลงก้นเตา
Calcination Reaction	ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในเตาเผา ในกระบวนการผลิตปูนเม็ด เกิดจากการวัตถุดิบได้รับความร้อนแล้วเปลี่ยนสภาพ หรือ หลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการหลอมรวมความร้อนจากการเผาไหม้ในเตาเผาทำให้แร่ธาตุและสารเคมีทำปฏิกิริยากัน
Carbon Capture and Storage	เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการเผาไหมเชื้อเพลิง มี 3 เทคโนโลยี คือ เทคโนโลยีกักเบก่อนเผาไหม้ เทคโนโลยีกักเก็บหลังการเผาไหม้ และเทคโนโลยีกักเก็บหลังจากการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจน
Carbon Dioxide Emission	การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
Cement grinding	กระบวนการบดปูนเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ
Cement Mill	หม้อบดซีเมนต์
Cement Process	กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ มีกระบวนการผลิต 3 แบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียก กระบวนการผลิตแบบกึ่งหมาด และกระบวนการผลิตแบบแห้ง
Cement Silo	ยุ้งเก็บปูนซีเมนต์
China Clay	ดินขาวจีน หมายถึง ดินขาวที่ประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์ หรือแร่ฮาลลอยไซต์ (Halloysite) เป็นส่วนใหญ่
Clay	ดินเหนียว หมายถึง ดินซึ่งมีความซึมได้ต่ำ มีความละเอียด ขนาดเม็ดเล็กว่า 4ไมครอน แร่ดินเหนียว แร่กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกตที่เป็นผลึก ซึ่งประกอบด้วยแผ่นของซิลิกาและ อะลูมินาซ้อนกันแบบ 1:1 หรือ 2:1 มีทั้งชนิดขยายตัวได้และขยายตัวไม่ได้ มีขนาดในกลุ่มอนุภาคดินเหนียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	แร่ดินเหนียวที่พบทั่วไป คือ เคโอลิไนต์ (kaolinite) อิลไลต์ (illite) มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) และ เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite Clean Coal Technology
Cement Sustainability Initiative: CSI	กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ภายใต้ สภานักธุรกิจโลกเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน WBCSD
Clinker Production	การผลิตปูนเม็ด
Clinker Substitution	วัสดุทดแทนปูนเม็ด เป็นเทคโนโลยีการใช้วัสดุต่างๆที่มีคุณสมบัติประสาน หรือ วัสดุปอซโซลาน มาใช้ทดแทนปูนเม็ดเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลง เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยวัสดุทดแทนเทนปูนเม็ดที่ใช้ได้แก่ เถ้าลอย ตระกรันจากเตาถลุงเหล็กผงหินปูน และเถ้ัวมวล เป็นต้น (ดูเพิ่มเติม Cement Technology Roadmap 2009 Carbon Emission Reductions up to 2050)
Clinker	ปูนเม็ด เกิดจากกระบวนการที่นำส่วนผสมต่างๆ ได้แก่หินปูน หินดินดาน วัสดุปรับแต่งคุณสมบัติและอื่นๆ นำเข้าสู่กระบวนการผลิตในเตาเผา Kiln ที่อุณหภูมิ 1200 -1650 องศาเซลเซียส จนเกิดปฏิกิริยาเคมีจนได้ปูนเม็ด
Crusher	เครื่องย่อย ใช้สำหรับลดขนาดของหินปูนก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตปูนเม็ด
Coal	ถ่านหิน (coal) คือหินตะกอนชนิดหนึ่งซึ่งสามารถติดไฟได้ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือสารประกอบของคาร์บอน ซึ่งจะมีอยู่ประมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักหรือร้อยละ 70 โดยปริมาณ ถ่านหินมีกำเนิดมาจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของพืชพันธุ์ไม้ต่างๆที่สลายตัวและสะสมอยู่ในลุ่มน้ำหรือแอ่งน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	ต่างๆ นับเป็นเวลาหลายร้อยล้านปี เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของ ผิวโลกเช่น เกิดแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด หรือมีการทับถมของตะกอนมากขึ้น ทำให้แหล่งสะสมตัวนั้นได้รับความกดดันและความร้อนที่มีอยู่ภายในโลกเพิ่มขึ้น ซากพืชเหล่านั้นก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นถ่านหินชนิดต่างๆ โดยถ่านหินแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลักคือ แอนทราไซต์ บิทูมินัส ซับบิทูบินัส ลิกไนต์ และพีต (ดูเพิ่มเติม www.thaicapital.co.th)
Coal Fired Power Plant	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงใน กระบวนการเผาไหม้
Concrete	คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่ง ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร และ สาธารณุปโภค ต่างๆ ตั้งแต่ ขนาดใหญ่ จนถึง ขนาดเล็ก เช่น อาคาร บ้านเรือน สะพาน และ เขื่อน ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วนคือ วัดสุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์และน้ำผสมกับ วัสดุผสม ได้แก่ ทราย หิน หรือ กรวด และสารผสมเพิ่มต่างๆ เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งนานพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเต็มที่แล้ว จะมีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มาก ทั้งนี้จะแปรไปตามอายุของคอนกรีต ที่เพิ่มขึ้น ช่วงที่วัสดุต่างๆผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง เราเรียกคอนกรีตช่วงนี้ว่า คอนกรีตสด (Fresh concrete) หลังจากเทเข้าแบบคอนกรีตจะเริ่มก่อตัวและแข็งตัวขึ้นตามลำดับจนถึงสภาพที่ใช้งานได้ โดยในช่วงของการก่อตัวและแข็งตัว แล้ว เราเรียกว่าคอนกรีตแข็งตัว (Hardened concrete) คอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	โดยทั่วไปประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ มวลรวม และ สารผสมเพิ่ม ต่างๆ (ดูเพิ่มเติม www.inseeconcrete.com)
Corrective Materials	วัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติ เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเพิ่มเติมสารประกอบบางตัว ซึ่งมีไม่เพียงพอในดินดำหรือดินดาน วัตถุดิบเหล่านี้ได้แก่ ทราย (ในกรณีที่ต้องการซิลิคอนไดออกไซด์) แร่เหล็กหรือดินลูกรัง (ในกรณีที่ต้องการเฟอร์ริกออกไซด์) และดินอะลูมินา (ในกรณีที่ต้องการอะลูมินัมออกไซด์) เป็นต้น (ดูเพิ่มเติม การผลิตปูนเม็ด)
Direct Emission	กระบวนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงจากกระบวนการผลิต มี ส่วนคือ กระบวนการที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี และ กระบวนการที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง
Dry mortar	ปูนสำเร็จรูป คือ วัสดุผสมระหว่างปูนซีเมนต์ วัสดุคละ และสารเคมีชนิดพิเศษที่มีการคัดเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของงาน โดยส่วนผสมต่างๆ จะผลิมสำเร็จจากโรงงานให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
Dry Process	กระบวนการผลิตแบบแห้ง
Emission Factor	ค่าคงที่สำหรับใช้คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตปูนเม็ดที่ 0.825 t_{CO2}/t_{Cli}
Fly Ash	เถ้าลอย Pulverized Fuel Ash หรือ เถ้าปลิว หรือ ฟลายแอช (fly ash) คือ ขี้เถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหิน มีขนาดเล็กและละเอียดมาก ประกอบด้วยสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยจะปลิวปนไปกับก๊าซร้อนออกจากปล่องควันของโรงผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	เป็นเชื้อเพลิง (ดูเพิ่มเติม Fly Ash Facts for Highway Engineers)
Fuel Combustion	กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทั้งเชื้อเพลิงที่เป็นเชื้อเพลิงฟอซซิล และเชื้อเพลิงทดแทน ที่ใช้สร้างความร้อนในกระบวนการผลิตปูนเม็ด
GHG Inventory	บัญชีก๊าซเรือนกระจก คือ บัญชีแสดงรายละเอียดการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจก
GHG Protocol	พิธีสารก๊าซเรือนกระจกเป็นมาตรฐานความร่วมมือในการจัดหาและเป็น แนวทางสำหรับบริษัท หน่วยงานและองค์กรต่างๆ ที่จะเตรียมการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
High Early Strength Portland Cement	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว หรือ Rapid Hardening Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูง เพราะปริมาณ C_3S สูงและความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็ว
Indirect Emission	กระบวนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อมจากการแหล่งภายนอก อาทิเช่น ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า ซึ่งได้คำนวณการปล่อยจากภาคพลังงานแล้ว
Insoluble Residue	กากที่ไม่ละลายในกรดและด่างออกไซด์จะทำปฏิกิริยากันและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบ
Kiln	เตาเผา หรือห้องเผาไหม้ ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์
Kiln Combustion	การเผาไหม้ที่ห้องเผาไหม้ หรือเตาเผา
Kyoto Protocol	เป็นพิธีสารที่จัดตั้งขึ้นภายใต้อนุสัญญาฯ เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของพันธกรณี โดยจำกัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศอุตสาหกรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	หรือที่เรียกว่าประเทศในกลุ่มภาคผนวกที่ 1 (Annex I Countries) ให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปีพ.ศ. 2533 ประมาณร้อยละ 5 โดยจะต้องดำเนินการให้ได้ภายในช่วงปี พ.ศ. 2550-2555 (ค.ศ. 2008-2012) มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2548
Lignite	ถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ อยู่ระหว่างพีตกับถ่านหิน ซับบิทูมินัส เนื้อแข็ง มีความชื้นต่ำ ไม่ค่อยมีโครงสร้างของพืชปรากฏอยู่ เมื่อเผาลิกไนต์ที่มีความชื้นและไม่มีแร่อื่นปน จะให้ค่าความร้อนน้อยกว่า 8,300 บีทียูต่อปอนด์
Lime Stone	หินปูน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า แร่แคลไซต์ (Calcite) เป็นหินตะกอนคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนตในท้องทะเล ทั้งจากสารอินทรีย์ และซากสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการัง และกระดองของสัตว์ทะเล ซึ่งถับถมกันภายใต้ความกดดันและตกผลึกใหม่เป็นแร่แคลไซต์จึงทำปฏิกิริยากับกรด เนื้อแน่นละเอียดทึบ มีสีออกขาว เทา ชมพู หรือสีดำ (ดูเพิ่มเติม siamchemi.com)
Loss on Ignition: LOI	การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา
Low-heat Portland Cement	ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ต่ำมากเพราะมีปริมาณของ C_3S ต่ำ คือโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 แต่จะมี C_2S ที่ค่อนข้างสูง คือโดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 50 ถึง 60 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตหลา
Marl	ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ต่ำมากเพราะมีปริมาณของ C_3S ต่ำ คือโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 แต่จะมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	C_2S ที่ค่อนข้างสูง คือโดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 50 ถึง 60 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตหลา
Masonry	งานก่อ หมายถึง งานก่อวัสดุผนังโดยรอบอาคารและภายในอาคาร งานหล่อเสาเอ็น และคานทับหลังคอนกรีต เสริมหลัก และงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ตามที่ระบุในแบบก่อสร้าง และรายการก่อสร้าง
Mixed Cement	คือปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับวัสดุเฉื่อยเช่น ทราย หิน เหมาะสำหรับงาน ก่อ ฉาบ ปั้นปูน
Modified Portland Cement	เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนัก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่สูงกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (ประเภทที่ 4) และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง เหมาะ สำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่
Mortar	ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย (ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและทราย)
Natural Gas	ก๊าซธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ตั้งแต่ 1-4 อะตอม กับไฮโดรเจน (H) จับตัวกันเป็นโมเลกุลโดยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ตามชั้นหินดินเป็นเวลาหลายร้อยล้านปี เนื่องจากความร้อนและความกดดันจึงแปรสภาพเป็นก๊าซธรรมชาติ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ เบากว่าอากาศ ก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นส่วนใหญ่ และ

	อาจมีก๊าซอีเทน (C_2H_6) โปรเพน (C_3H_8) และบิวเทน(C_4H_{10}) ปนอยู่บ้าง นอกจากนี้ก็อาจมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน ฮีเลียม ไอน้ำ ปนอยู่ด้วย ประโยชน์ของก๊าซธรรมชาติ คือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเคมี
Natural Pozzolan	สารปอซโซลานธรรมชาติ เป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใดๆ เช่น เถ้าลอย เขม่าซิลิกา เถ้าชีวมวล เป็นต้น
Non-Kiln Combustion	กระบวนการเผาไหม้นอกห้องเผาไหม้
Normalization	การทำให้เป็นมาตรฐาน
Nuclear Power Plant	โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์, โรงไฟฟ้านิวเคลียร์, โรงไฟฟ้าพลังความร้อนรูปแบบหนึ่งที่ใช้ปฏิกิริยานิวเคลียร์จากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เป็นแหล่งผลิตความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ จนเดือดเป็นไอร้อนไปหมุนกังหันไอน้ำซึ่งจะขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้ผลิตไฟฟ้าออกมาเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั่วไป
Oil-well Cement	ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน
Ordinary Portland Cement	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา Ordinary Portland Cement ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ใช้กันมากในงานคอนกรีต ประมาณได้ร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ที่ผลิต ใช้สำหรับการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและใช้ในงานก่อสร้าง ตามปกติทั่วไป
Oxy Fuel Combustion Technology	เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาต่อมาจากการกักเก็บหลังการเผาไหม้ โดยเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนบริสุทธิ์ทำให้ได้พลังงานและความร้อน
Palm Oil	ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชตระกูลปาล์ม ลักษณะลำต้นเดี่ยว ชื่อทางวิทยาศาตร์ Elaeis guineensis

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	Jacq. จัดอยู่ในหมวด Magnoliophyta ชั้น Guineensis อันดับ Elaeis วงศ์ Palmae
Palm Oil Fuel Ash	หรือ Palm Oil Fuel Fly Ash เป็นวัสดุพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เส้นใย เศษกะลา และทะลายปาล์มเปล่าของผลปาล์ม เผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีอุณภูมิเผาไหม้ประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส
Power Development Plan: PDP	แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (Power Development Plan: PDP) เป็นแผนแม่บทในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ว่าด้วยการจัดหาพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว 15 -20 ปี
Post Combustion Technology	กระบวนการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังจากการเผาไหม้
Pozzolan	วัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบไปด้วย ซิลิกา และอลูมินา อยู่ปริมาณสูง เมื่อบดเป็นผงละเอียด จะมีความสามารถทำปฏิกริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิปกติและเมื่อมีความชื้นแล้วเกิดเป็นสารประกอบซึ่งมีสมบัติในการยึดประสาน
Pre Combustion Technology	กระบวนการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนการเผาไหม้เชื้อเพลิง
Pre-calcining	กระบวนการก่อนการเผาไหม้
Precast Concrete	ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป
Pre-heater	ชุดเพิ่มความร้อน
Quarrying raw materials	กระบวนการระเบิดเหมืองสำหรับกระบวนการเตรียม วัตถุดิบ
Raw Meal	วัตถุดิบสำเร็จ
Raw Meal grinding	กระบวนการบดวัตถุดิบ
Raw Meal Homogenizing Silo	ยุ้งผสมวัตถุดิบสำเร็จ
Raw Mill	หม้อบดวัตถุดิบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Reactor	เตาปฏิกรณ์
Ready Mixed Concrete	คอนกรีตผสมเสร็จ
Rotary Kiln	เตาเผาแบบหมุน หรือโรตารี่ เป็นเตาเผาสำหรับผลิตปูนเม็ด
Semi-Dry Process	กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้งหรือแบบเผาหมาด
Shaft Kiln	เตาเผาแบบเพลา
Shale	หินดินดาน หินชั้นซึ่งประกอบด้วยแร่ดิน (clay minerals) เป็นส่วนใหญ่ แร่ดินนี้เป็นสารผสมของอะลูมิเนียมซิลิเกตกับแมกนีเซียมซิลิเกตในส่วนต่างๆ กันและมีสมบัติประจำ คือ ละเอียดมาก บี้กับน้ำแล้วเหนียวติดมือ หินดินดานบางชนิดย่างไฟแล้วให้น้ำมัน ซึ่งเมื่อนำมากลั่นจะได้น้ำมันคุณภาพต่างๆ กัน จึงเรียกหินดินดานนั้นว่า หินน้ำมัน (oil shale)
Silica Fume	เขม่าซิลิกา
Simple Linear Regression Equation	สมการถอถอยเชิงเส้นอย่างง่าย
Slurry Mill	หม้อบดดิน
Storage Yard	กองเก็บวัตถุดิบ
Sub-bituminous	ถ่านหินซับบิทูมินัส ถ่านหินชนิดหนึ่ง สีดำ อยู่ระหว่างลิกไนต์กับถ่านหินบิทูมินัส บางแห่งเรียกว่า ลิกไนต์สีดำ แตกต่างจากลิกไนต์เพราะมีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า แต่ความชื้นน้อยกว่า เมื่อเผาจะให้ค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 8,300-13,000 บีทียูต่อปอนด์
Sugar-cane	อ้อย เป็นพืชในกลุ่ม พืชตระกูลหญ้า ชื่อทางวิทยาศาสตร์ Saccharunm officinarum Linn จัดอยู่ใน หมวด Magnoliophyta ชั้น Lilopsida อันดับ Poales วงศ์ Poaceae สกุล Saccharum L.
Sulfate Resistance Portland Cement	เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีปริมาณของ C_3A ต่ำมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

	โดยทั่วไปไม่เกินร้อยละ 5 เพราะ C_3A จะทำให้เกิดการรวมตัวกับซัลเฟตได้ง่าย
The Cement CO_2 and Energy protocol	เป็นเครื่องมือสำหรับโรงงานปูนซีเมนต์ทั่วโลก โดยมาตรฐานการรายงานผลการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการผสานวิธีการความร่วมมือสำหรับการคำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
Thermal and Electric Efficiency	การปรับปรุงประสิทธิภาพความร้อนและไฟฟ้าเป็นหนึ่งในเทคโนโลยี ช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (ดูเพิ่มเติม Cement Technology Roadmap 2009 Carbon Emission Reductions up to 2050)
TIS	Thailand Industrial Standards มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)
Volcano Ash	เถ้าภูเขาไฟ
VSD	Variable Speed Drive: VSD อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์
VSPP	Very Small Power Producer ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก
WBCSD	World Business Council Sustainable Development สภานักธุรกิจโลกเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน
Wet Process	กระบวนการผลิตแบบเปียก
White Cement	ปูนซีเมนต์ขาว เป็นปูนซีเมนต์ที่มีวัสดุเฉื่อย เช่น ทราย หรือ หินปูนบดละเอียดรวมอยู่ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยชื่อ นายวิษณุ นามสกุล สายรัตนทองคำ

เกิดวันพุธที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2528

การศึกษา

ระดับ ปริญญาตรี

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ.2551

อาชีพ

ประกอบอาชีพเป็น พนักงานรัฐวิสาหกิจ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง นักโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระดับ 5 บริษัท ไปรษณีย์ไทย จำกัด สังกัด กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

ภูมิลำเนา

20 หมู่ที่ 3 ตำบลนิคมสร้างตนเองลำโดมน้อย อำเภอสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี 34350

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ hiragobig@gmail.com

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University