

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในงานก่อสร้างปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีราคาค่อนข้างสูง ถ้าสามารถลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ลง โดยคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จะเป็นการประหยัด และสามารถลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ได้ในอดีตที่ผ่านมาจึงมีผู้สนใจใช้วัสดุธรรมชาติ เช่น เถ้าหนัก เถ้าลอย ถ่านหิน เถ้าแกลบ มาแทนที่ปูนซีเมนต์ เพื่อที่จะลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง เนื่องจากการนำวัสดุธรรมชาติมาแทนปูนซีเมนต์นั้น ไม่สามารถที่จะนำปูนซีเมนต์ที่ถูกแทนด้วยวัสดุธรรมชาติมาใช้ในงานคอนกรีตได้โดยตรง เนื่องจากยังขาดข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้จากปูนซีเมนต์ที่ถูกแทนที่ด้วยวัสดุธรรมชาติ

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคูณสมบัติคอนกรีตที่ได้จากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ โดยทำการศึกษาคูณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวจากปูนซีเมนต์ที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าแกลบของเถ้าแกลบ โดยทำการศึกษาจากข้อมูลต่อไปนี้

- ข้อมูลของวัสดุที่ทำการวิจัย
- ปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration) และ ปฏิกริยาปอซโซลาน (Pozzolan)
- งานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 ข้อมูลของวัสดุที่ทำการวิจัย

แกลบข้าว (Rice Husk) คือผลผลิตที่ได้จากการสีข้าว มีลักษณะสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวล แล้วแต่ภูมิภาค นอกจากการนำแกลบข้าวไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่างๆแล้ว ยังสามารถนำไปผสมกับวัสดุอื่นๆทำเป็นวัสดุก่อสร้าง แกลบข้าวยังถูกนำเผาให้เป็นเถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เพื่อนำเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรเพื่อคลุมหน้าดินใช้ผสมดินเพื่อปลูกไม้ดอกและผลิตเชื้อเพลิงแก่ง

2.1.1 การใช้ประโยชน์จากแกลบ

1. ด้านเกษตรกรรม

- เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์
- รองพื้นโรงเลี้ยงสัตว์ เช่น เป็ด ไก่
- ผสมดินเพราะดันกล้าทางการเกษตร

2. ด้านอุตสาหกรรม

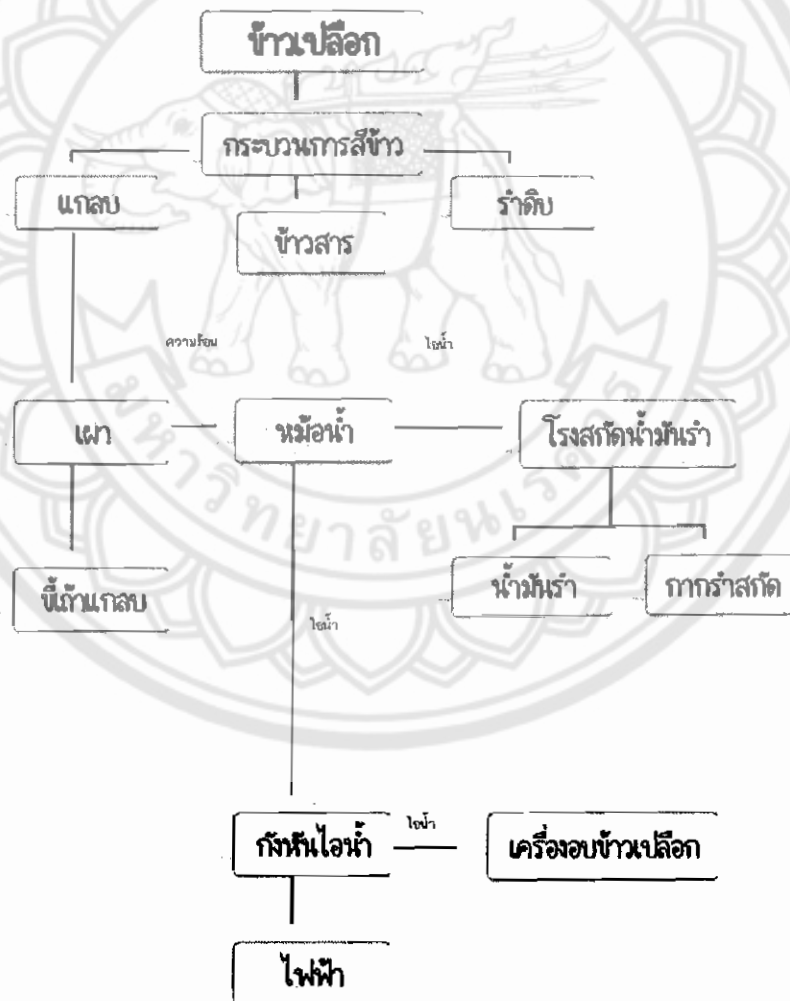
- เป็นเชื้อเพลิงเพื่ออบข้าวให้แห้ง

- การทำเป็นฉนวน

- ใช้ผสมดินในการทำบ้านดิน

- เป็นเพลิงในการผลิตอิฐมอญ

จากข้อมูลยังพบว่า แกลบมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผิวของเนื้อเหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลืองหรือบรอนซ์ เมื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้นและยังคงใช้ได้ดีกับการขัดส่วนเล็กๆ ที่ทำด้วยพลาสติก



ภาพแสดงการใช้ประโยชน์จากแกลบ

เถ้าแกลบ คือ สิ่งที่ได้จากการเผาแกลบ มีองค์ประกอบทางเคมีดังตาราง

Constituents	Percent by weight
SiO ₂	86.9 - 97.3
K ₂ O	0.6 - 2.5
Na ₂ O	0 - 1.8
CaO	0.2 - 1.5
MgO	0.12 - 1.96
Fe ₂ O ₃	tr* - 0.6
P ₂ O ₅	0.2 - 2.9
SO ₃	0.1 - 1.1
Cl	tr - 0.4

* trace

ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

ปูนซีเมนต์ คือ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างมีองค์ประกอบทางเคมีดังตาราง

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
Na ₂ O+K ₂ O	0.5-1.3
TiO ₂	0.1-0.4
P ₂ O ₅	0.1-0.2
SO ₃	1-3

ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

ตารางเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้ากลบ

ส่วนประกอบทางเคมี	ส่วนประกอบทางเคมี (%)	
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	เถ้ากลบ
SiO ₂	20.20	94.8
CaO	63.82	0.4
Al ₂ O ₃	5.42	1.27
Fe ₂ O ₃	2.92	0.20
MgO	1.50	0.20
K ₂ O	0.48	1.25
MnO ₂	-	0.14
TiO ₂	-	0.08
SO ₃	2.55	0.08
ZnO	-	-
PbO	-	-
ZrO ₂	-	0.01
SrO	-	-
Na ₂ O	0.25	0.20
CuO	-	-

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเถ้าแกลบดำเปรียบเทียบกับสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM [5]

คุณสมบัติทางเคมี	วัสดุปอซโซลาน			เถ้าแกลบดำ (ผ่านการบด)
	N	F	C	
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min., %	70.0	70.0	50.0	78.66
Sulfur Trioxide (SO ₃), max., %	4.0	5.0	5.0	0.04
Alkalis as Na ₂ O, Na ₂ O (%) + 0.658 K ₂ O (%), max., %	1.5	1.5	1.5	0.71
Loss on Ignition, max., %	10.0	6.0	6.0	8.31
คุณสมบัติทางกายภาพ	วัสดุปอซโซลาน			เถ้าแกลบดำ (ผ่านการบด)
	N	F	C	
Amount retained when wet sieved No. 325, max., %	34	34	34	14.77
Water Requirement, max., %	115	105	105	107
Strength Activity Index				
At 7 days, min., %	75	75	75	76
At 28 days, min., %	75	75	75	88
Moisture Content, max., %	3.0	3.0	3.0	2.35
ความฉ่ำจำเพาะ		-		2.02
ความละเอียดโดยวิธีเบลน (ตร.ชม./กรัม)		-		6185

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 พบว่าเถ้าแกลบดำมีปริมาณ SO₂ สูง ในขณะที่องค์ประกอบอื่นมีเพียงเล็กน้อยและจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM [5] พบว่าเถ้าแกลบดำจัดเป็นวัสดุปอซโซลานประเภท N จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผสมคอนกรีตเพื่อลดปริมาณปูนซีเมนต์ได้

2.2 ปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration) และปฏิกริยาปอซโซลาน (Pozzolan)

ปฏิกริยาไฮเดรชันเป็นปฏิกริยาหลักในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้เป็นสารเชื่อมประสานเพื่อพัฒนากำลังของคอนกรีต สารประกอบที่สำคัญต่อการพัฒนากำลังสน คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C₃S) และ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C₂S) เมื่อทำปฏิกริยาไฮเดรชันกับน้ำแล้วจะเกิด

สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท Calcium silicate Hydrate (CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Calcium Hydrate, Ca(OH)_2

โดยขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา คือ เมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำแล้วจะเกิดเป็นไฮเดรทคอมพาวด์ (Hydrate Compound) โดยไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) จะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วนเป็นไปตามสมการเคมีดังนี้

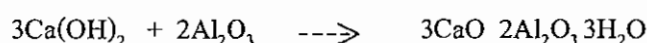
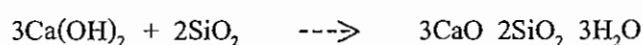


ปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไป โดยแคลเซียมออกไซด์ CaO จะแยกตัวออกมาจากแคลเซียมซิลิเกต CaO SiO_2 เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 จนสารละลายเริ่มอิ่มตัวด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 หรือสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต CaO SiO_2 ทำปฏิกิริยาจนหมด

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันทั้ง 2 ส่วนคือ

1. แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ($3\text{CaO SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ซึ่งเป็นสารเชื่อมประสาน
2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 แคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระนี้สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ ถ้ามีธาตุที่เหมาะสมมาร่วมทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (POZZOLANIC REACTION) เกิดขึ้นเป็นวัสดุปอซโซลานซึ่งความหมายของปอซโซลานนั้นหมายถึง วัสดุซึ่งตัวมันเองไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน แต่สามารถทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ แล้วก่อตัวเป็นสารเชื่อมประสานดังนั้นเมื่อใส่วัสดุปอซโซลานในส่วนผสมซิลิกา SiO_2 และ อลูมินา Al_2O_3 จากวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระซึ่งเป็นสารประกอบที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงแรก โดยมีสมการเคมีดังนี้



สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท $3\text{CaO SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ และสารประกอบอลูมินาไฮเดรท $3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ เป็นสารประกอบที่ทำให้กำลังคอนกรีตเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

จากข้อมูลพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นช้ากว่าปฏิกิริยาไฮดรชั่นของปูนซีเมนต์ และการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์บางส่วน เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นจะเป็นการลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮดรชั่นลงด้วย

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

ประจิด จิรปภา (พ.ศ. 2552) พบว่าเมื่อปริมาณซีเมนต์คงที่ การเติมซีเถ้าลอยเข้าไปจะทำให้กำลังคอนกรีตสูงขึ้นตามปริมาณซีเถ้าที่เติมเข้าไป และซีเถ้าลอยที่เติมเข้าไปในคอนกรีต สามารถใช้แทนซีเมนต์ได้ 25-29 เปอร์เซ็นต์ในคอนกรีตอายุ 28 วัน และ 2 ½ เดือน ตามลำดับ โดยที่ยังได้กำลังคอนกรีตเท่าเดิม

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ อินทรชัย หอวิจิตร (พ.ศ. 2528) พบว่ากำลังรับแรงอัดระยะเริ่มแรกของปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าลอยมีค่าลดลงตามปริมาณซีเถ้าลอย เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานยังไม่เกิดขึ้นเมื่อเวลานานขึ้นกำลังรับแรงอัดจะดีขึ้นเพราะปฏิกิริยาปอซโซลาน โดยที่ซีเถ้าลอยที่ใช้แทนซีเมนต์สามารถแทนได้ถึง 40% โดยที่กำลังอัดยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้นอกจากนี้ปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าลอยยังมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดาอีกด้วย

กรกฎ วิจิตรพงศ์ (พ.ศ. 2531) พบว่า การเติมซีเถ้าลอยในส่วนผสมคอนกรีตจะสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสด ในรูปของการยุบตัว การไหล และการทำให้แน่น โดยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณซีเถ้าลอยที่เติม ในส่วนผสม กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมซีเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณซีเถ้าลอยที่เติมในส่วนผสม โดยจะมีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกล่าวคือ จะลดค่าประมาณ ทุกๆ 10% ของปริมาณซีเถ้าลอย

อุดม หงส์ประธานพร (พ.ศ. 2533) พบว่าการพัฒนากำลังรับแรงและการพัฒนาสารเชื่อมประสานของส่วนผสมที่มีอัตราส่วนซีเถ้าที่เหมาะสม จะให้ลักษณะการพัฒนากำลังรับแรงและสารเชื่อมประสานที่อายุช่วงแรกน้อยกว่าปูนซีเมนต์ด้วย แต่ในอายุช่วงหลังกำลังรับแรง และสารเชื่อมประสานจะมากกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา โคนที่ปริมาณซีเถ้าแกลบและเถ้าลอยที่เหมาะสมในส่วนผสมคือ ประมาณ 20% โดยน้ำหนักซีเมนต์

ธนิต วิชานศิริวัฒน์ และ ทิเชษฐ เลหาพจนาด (พ.ศ. 2533) พบว่า ส่วนผสมคอนกรีตที่มีซีเถ้าลอยจะมีค่าการยุบตัวสูง คือ ยังมีซีเถ้าลอยมากย่อมมีการยุบตัวสูง ซึ่งสามารถทำให้การทำงานคอนกรีตง่ายขึ้น ส่วนกำลังการรับแรงอัด แรงดึง และแรงยึดเหนี่ยวนั้น พบว่าในช่วงแรกของคอนกรีตที่ผสมซีเถ้าลอยจะมี

กำลังน้อยกว่าคอนกรีตล้วน แต่หลังจาก 14 วัน ไปแล้วคอนกรีตผสมซีเมนต์ลอยที่ผสมในคอนกรีตที่ผสมเหมาะสมคือ 10-30 %

ธงชัย ดลศรีชัยและชนินทร์ รุ่งเรืองพัฒนา (พ.ศ. 2533) พบว่า ซีเมนต์มอร์ต้าที่มีส่วนผสมซีเมนต์แกลบจะมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีความสามารถในการต้านทานซัลเฟตสูงมาก (ยิ่งผสมแกลบมากยิ่งต้านทานซัลเฟตมากตามไปด้วย) อีกทั้งแกลบมีความพรุนในตัวเองสูง เหมาะกับการทำเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบา และมีแนวโน้มในการเก็บเสียงได้ดี ปริมาณซีเมนต์แกลบที่เหมาะสมสามารถผสมได้ในอัตราส่วนซีเมนต์ 70% ต่อแกลบ 30% โดยที่กำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 20-40% นอกจากนี้กำลังรับแรงอัดยังพัฒนาให้สูงขึ้นได้อีกถ้าสามารถบดซีเมนต์แกลบให้มีความละเอียดมากขึ้น และมีการเผาซีเมนต์แกลบในปริมาณที่เหมาะสม

พลสันธิ์ พุกะทรัพย์ และ ธนณัฐ วานิชชินนัย (พ.ศ. 2536) พบว่า คอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ต่อ ซีเมนต์แกลบ ต่อ ซีเมนต์ลอย เท่ากับ 90:5:5 , 80:10:10 และ 70:5:25 จะเป็นคอนกรีตที่ให้กำลังอัดสูงสุดในระยะเวลาบ่ม 60 วัน และคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 90% และ 80% ให้กำลังการรับแรงดึงและกำลังยึดเหนี่ยวให้กำลังใกล้เคียงกับคอนกรีตล้วน

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิमितยงสกุล (พ.ศ. 2539) พบว่าการแทนที่ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์แกลบบดละเอียดคนาน 75 นาที ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุผงและใช้สารลดน้ำพิเศษในปริมาณร้อยละ 1.43 โดยน้ำหนักของวัสดุผง ทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตอยู่ในเกณฑ์ดี

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ทวิสันท์ คงทรัพย์ (พ.ศ. 2545) พบว่าคอนกรีตผสมแกลบดำจะมีการหดตัวแบบแห้งและความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นสูงกว่าคอนกรีตปกติ โดยที่การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมแกลบดำที่ร้อยละ 20 จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 40 และ ความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นจะแปรตามกับอัตราส่วนผลรวมของซิลิกิน ไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และ ไอร์รอนออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์ $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) / \text{CaO}$

อย่างไรก็ตามการหดตัวแบบไฮโมจิเนียสและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากสารละลายกรดของคอนกรีตผสมแกลบดำจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ