

บทที่ 2

วรรณคดีวิจารณ์

2.1 คำนำ

การใช้คอนกรีตกำลังสูงได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นตามลำดับ การนำคอนกรีตกำลังสูงมาประยุกต์ใช้ในโครงสร้างอาคารสูงเพื่อช่วยลดขนาดของโครงสร้างลงได้ อันนำไปสู่การลดน้ำหนักชิ้นส่วนของโครงสร้างและจะทำให้การก่อสร้างเสร็จเร็วขึ้นเป็นอย่างมาก การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงสามารถทำได้โดยการใช้สารผสมเพิ่มให้เกิดการลื่นไหลสูง (Super-plasticizer) เพื่อการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีต และการใช้สารปอซโซลานเพื่อปรับปรุงกำลังรับแรงที่อายุมาก คอนกรีตที่ผลิตด้วยวิธีนี้ นอกจากจะให้กำลังสูงแล้ว ยังมีความสามารถทำงานได้สูง

2.2 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มคือวัตถุที่ไม่ใช่ น้ำ ปูนซีเมนต์ และมวลรวม และใช้ผสมทำคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติคอนกรีตให้ได้ตามคุณสมบัติตามต้องการ

มาตรฐาน ASTM ได้แบ่งประเภทของสารผสมเพิ่มออก ตามชนิดของสารที่เป็นองค์ประกอบของสารผสมเพิ่มหรือแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 4 ประเภท

1. สารกระจายกักฟองอากาศ (Air-Entraining Agents) ใช้ในการเพิ่มความคงทนของคอนกรีตต่อสภาพที่อากาศเย็นจัด

2. สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixtures) มีลักษณะเป็นผงละเอียดใช้สำหรับทำให้ความสามารถทำงานได้และความทนทานดีขึ้น และยังสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้บางส่วน ซึ่งสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

ก. วัสดุเฉื่อย (Inert Materials)

ข. วัสดุซีเมนต์ (Cementitious Materials)

ค. วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials)

3. สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) เป็นสารประกอบเคมีที่ละลายน้ำได้ ใช้สำหรับลดความต้องการน้ำและปรับเวลาในการก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีตสด

มาตรฐาน ASTM C494 ได้จำแนกสารเคมีผสมเพิ่มออกเป็น 7 ประเภทดังนี้

ประเภท A สารลดน้ำ (Water-Reducing Admixtures)

ประเภท B สารหน่วงการก่อตัว (Retarding Admixtures)

ประเภท C สารเร่งการก่อตัว (Accelerating Admixtures)

ประเภท D สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water-Reducing and Retarding Admixtures)

ประเภท E สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (Water-Reducing and Accelerating Admixtures)

ประเภท F สารลดน้ำพิเศษ (Water-Reducing High Range Admixtures)

ประเภท G สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (Water-Reducing High Range and Retarding Admixtures)

4. สารผสมเพิ่มชนิดอื่น ๆ (Miscellaneous Admixtures) เป็นสารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่ไม่อยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งทีกล่าวมาข้างต้น เป็นสารผสมเพิ่มที่ใช้เพื่อจุดประสงค์โดยเฉพาะ เช่น สารผสมเพิ่มการบดเหนียว สารผสมเพิ่มกันซึม และสารผสมเพิ่มอุดซ่อมรูโพรงคอนกรีต

2.3 วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน ได้แก่ วัสดุที่มีส่วนประกอบเคมี คือ ซิลิกา (SiO_2) หรือ ซิลิกาและอลูมินา ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) เป็นสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม ซึ่งโดยตัวของมันเองมีคุณสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย อยู่ในสภาพที่เป็นเม็ดละเอียดและสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ที่อุดมภูมิปกติได้ แล้วเกิดเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติยึดประสาน ตัวอย่างได้แก่ ขี้เถ้าแกลบ และขี้เถ้าลอย วัสดุปอซโซลานเมื่อใช้ผสมคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปฏิกิริยาปอซโซลานคล้ายกับปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่า ดังนั้นสามารถใช้วัสดุปอซโซลานเพื่อลดความร้อนของปฏิกิริยาและเพิ่มกำลังคอนกรีต ที่อายุมากได้ (ปริณิชา, 2529)

ขี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปศุสัตว์ที่มียูเรียในเมืองไทยปริมาณมาก ในปีหนึ่งประเทศไทย มีแกลบที่ได้จากการสีข้าวประมาณ 3 ล้านตัน การนำแกลบไปเผาไฟจะได้ขี้เถ้าแกลบเหลือ อยู่ประมาณ 20% ของน้ำหนักเดิม จากการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าขี้เถ้าแกลบมีซิลิกาเป็น องค์ประกอบสูงถึง 90% คุณสมบัติของขี้เถ้าแกลบจะแตกต่างกันตามอุณหภูมิและระยะเวลา เผา (Cook, 1983) ขี้เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำจะมีสารอินทรีย์ที่ยังเผาไม่ หมดเหลืออยู่มาก การเผาแกลบที่อุณหภูมิพอเหมาะในช่วง 600-800°C จะทำให้ซิลิกาอยู่ใน รูปอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (ปริญญ, 2529) แต่ ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงไป ซิลิกาที่ได้จะอยู่ในรูปผลึก (Crystal) ซึ่งจะเฉื่อยต่อการทำ ปฏิกิริยา ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ นอกจากนี้ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของขี้เถ้า แกลบยังขึ้นอยู่กับความละเอียดของขี้เถ้าแกลบ (Chindaprasirt, 1983)

การเผาแกลบที่อุณหภูมิสูงและมีอากาศถ่ายเทได้เพียงพอ จะได้ขี้เถ้าแกลบสีเทาขาว ขี้เถ้าแกลบที่ได้จากการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีไฟจะมีสีดำ (ปริญญ, 2529) Chindaprasirt และ Hovichitr (1987) พบว่าขี้เถ้าแกลบเทาขาวและขี้เถ้าแกลบ ดำมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ส่วนประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบเทาขาวและขี้เถ้าแกลบดำ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 การนำขี้เถ้าแกลบมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะต้องนำ มาบดให้ละเอียดก่อน การนำขี้เถ้าแกลบดำจากโรงสีไหมมาใช้ไม่ต้องบด จึงทำให้ต้นทุนมี เพียงค่าขนส่งและค่าบด ปัจจุบันประเทศไทยยังมีการนำขี้เถ้าแกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์ น้อยและก่อให้เกิดปัญหาในการนำเอาไปทิ้งด้วย ชาวบ้านนิยมเอาไปใช้ถมที่ ดังนั้นการใช้ ขี้เถ้าแกลบมาทำซีเมนต์เป็นการนำเอาขี้เถ้าแกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางอุตสาหกรรม มากขึ้น (อนุชิต, 2522)

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงนั้นมีมานานแล้ว ในการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงนั้น จะ ได้ขี้เถ้าเหลือจากการเผาไหม้ของถ่านหินประมาณ 20% ของน้ำหนักของถ่านหิน ขี้เถ้ามีอยู่ 3 จำพวก คือขี้เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) ซึ่งมีขนาดใหญ่และตกลงที่ก้นเตา พวกที่ สองเป็นขี้เถ้าตะก้น (Slag Ash) ที่สลายละลายเกาะเป็นตะก้นที่ผนังของเตาหรือหม้อ น้ำ พวกที่สามเป็นขี้เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งมีปริมาณมากที่สุดคือประมาณ 80% ของขี้เถ้า ทั้งหมด เป็นขี้เถ้าเม็ดละเอียดซึ่งลอยไปกับอากาศที่ร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ไปยังปล่อง ไฟ ขี้เถ้านี้จะถูกดักจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) และถูกส่งต่อไปยังถังเก็บ

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ซีเมนต์ผสม และซีเมนต์ลอย
(ปริญา, 2529)

ส่วนประกอบทางเคมี (%)				
ส่วนประกอบ	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์	ซีเมนต์ผสม เทาขาว	ซีเมนต์ผสม ดำ	ซีเมนต์ลอย* แม่เมาะ
CaO	60-67	0.5	0.5	12.5-49.4
SiO ₂	17-25	88.3	89.9	12.0-45.6
Al ₂ O ₃	3-8	0.5	0.5	5.2-17.7
Fe ₂ O ₃	0.5-0.6	3.4	1.9	9.0-18.7
MgO	0.1-5.0	0.3	0.2	1.5-5.0
SO ₃	1-3	0.1	1.5	2.0-30.0
Na ₂ O	{ 0.5-1.3	0.2	0.1	0.1-1.1
K ₂ O		2.8	1.5	0.5-2.6
การสูญเสีย				
เนื่องจาก	2.0	3.7	4.7	1.3-12.2
การเผา				
ถ.พ.	3.15	2.20	2.20	2.90
ความละเอียด	3,500	12,000	10,000	3,700

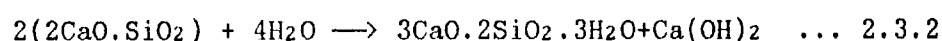
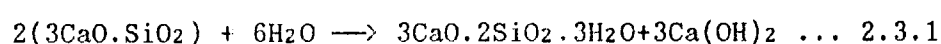
หมายเหตุ 1. * เป็นค่าเฉลี่ยของซีเมนต์ลอยแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
2. ความละเอียดวัดโดยวิธีแอร์เพอร์มิเมตริ (ซม²/กรัม)

ส่วนประกอบหลักของซีเมนต์ที่ละลายได้แก่ ซิลิกาและอลูมินา (ปริญญา, 2529) ซีเมนต์นี้มีรูปร่างทรงกลมขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เล็กน้อย ขึ้นอยู่กับการเผาที่อุณหภูมิสูง ขนาดของถ่านหินที่บดเข้าไปในการเผาไหม้ และการถ่ายเทของอากาศ ทำให้ขนาดของเม็ดซีเมนต์แตกต่างกัน (วิชัย, 2530)

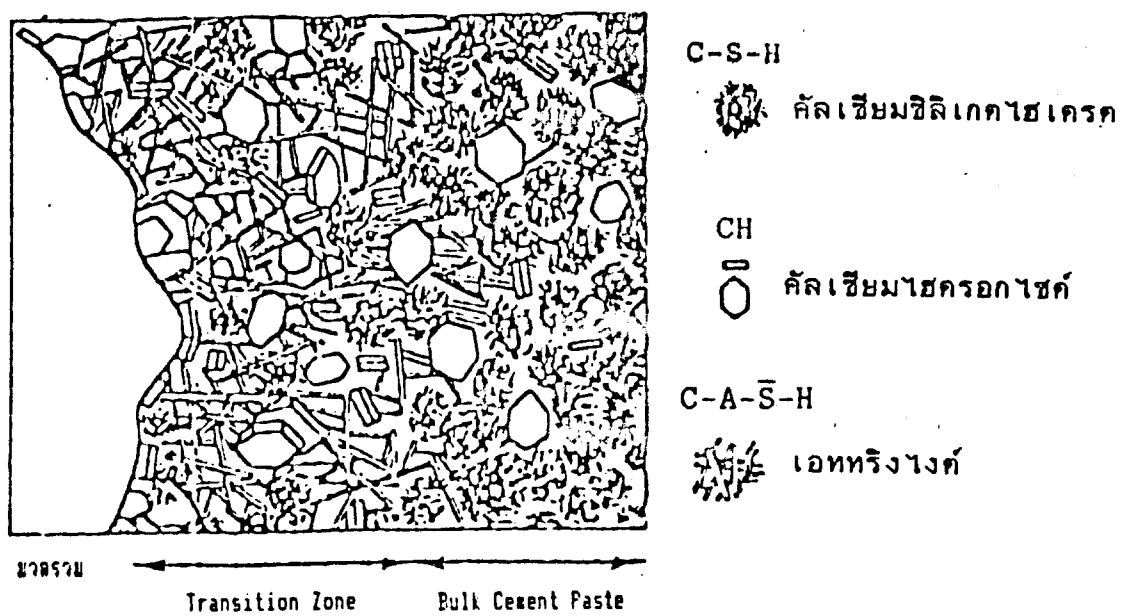
ถ่านหินที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทย เป็นถ่านหินลิกไนต์ แหล่งผลิตถ่านหินลิกไนต์ที่สำคัญอยู่ที่จังหวัดลำปางและจังหวัดกระบี่ ประมาณว่าที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีถ่านหินลิกไนต์ประมาณ 1,400 ล้านตัน (กพท, 2526) ขณะนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ใช้ถ่านหินลิกไนต์เฉลี่ยวันละ 3 หมื่นตันต่อวัน (กพท, 2534) ซีเมนต์ที่ได้จากถ่านหินลิกไนต์มีปริมาณของคลอโรไฮดรอกไซด์สูง บางครั้งถึง 40% ทำให้ซีเมนต์ที่ละลายจากถ่านหินลิกไนต์มีคุณสมบัติเป็นวัตถุซีเมนต์ในตัวเอง แต่กำลังรับแรงอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ปริญญา, 2529) เนื่องจากซีเมนต์แม่เมาะมีซิลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) สูง SO_3 จะทำปฏิกิริยาได้เอทริงไจต์(Ettringite) เอทริงไจต์มีลักษณะเป็นผลึกแนวยาวและเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเช่นกัน โดยจะเกิดจาก C_3A มากกว่าสารเคมีตัวอื่น เอทริงไจต์ที่เกิดจะเป็นตัวประสานการยึดเกาะระหว่างผิวมวลรวมกับซีเมนต์เฟสส์ ทำให้การยึดเหนี่ยวดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.1 และสามารถทำให้กำลังของคอนกรีตพัฒนาได้สูงตาม

ส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์ที่ละลายได้จากถ่านหินลิกไนต์ในประเทศไทยได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 (ปริญญา, 2529) ซีเมนต์ที่ละลายได้จากการเอาถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นมีปริมาณมาก ก่อให้เกิดปัญหาที่เก็บและสภาวะแวดล้อม ที่ผ่านมาการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยนำซีเมนต์ที่ละลายไปใช้ประโยชน์งานดินในด้านเป็นวัสดุถมกลับ (Back Fill) ใช้เพิ่มความมั่นคงกับผิวลาดเอียง (Slope Stability) และทำคันทาง เป็นต้น ถ้าสามารถนำซีเมนต์ที่ละลายไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ก็จะสามารถลดปัญหาที่เก็บและมลภาวะที่เกิดขึ้นได้ เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพสูง

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S , C_2S ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ สามารถเขียนได้ง่าย ๆ ดังนี้ (Neville, 1973)

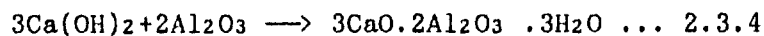
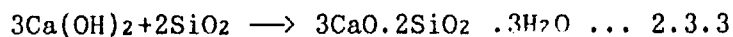


และเมื่อผสมสารปอซโซลานเช่น ซีเมนต์กลบและซีเมนต์ที่ละลายทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน



รูปที่ 2.1 แผนภูมิโครงสร้างของคอนกรีต (เอกสิทธิ์, 2533)

เพิ่มขึ้น โดยแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ สามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอลูมินา แล้วก่อตัวเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ดังสมการ (Mindess และ Young 1981)



การเพิ่ม $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (CSH) จากปฏิกิริยาปอซโซลานจะทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น

2.4 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมซีเมนต์แกลบและซีเมนต์ลอย

2.4.1 ความต้องการน้ำและความสามารถทำงานได้

จากการศึกษาของ Metha (1974), Damer (1976) และ Chindaprasirt (1983) เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์แกลบในคอนกรีตจะทำให้ความต้องการน้ำของส่วนผสมเพิ่มขึ้นเพื่อให้ความสามารถทำงานได้เท่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากซีเมนต์แกลบมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นอกจากนี้ Farooq-e-Azam (1982) พบว่าในการผสมคอนกรีตถ้าซีเมนต์แกลบมีความละเอียดเพิ่มขึ้น จะทำให้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนต่อสารซีเมนต์คงที่มีความสามารถทำงานได้ลดลง

จากการศึกษาของ Lane และ Best (1982) ซีเมนต์ลอยจะทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้เพิ่มขึ้น ความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปริมาตรของซีเมนต์เฟสส์ สัดส่วนของส่วนผสม อัตราส่วนของน้ำต่อสารซีเมนต์ ขนาดและรูปร่างและความพรุนของมวลรวม ซีเมนต์ลอยในคอนกรีตจะให้เฟสส์มีปริมาตรเพิ่มขึ้น และแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของมวลรวม ซีเมนต์ลอยมีรูปร่างทรงกลม จะช่วยลดความเสียหายระหว่างมวลรวมกับเฟสส์ พิชัย (2530) พบว่าที่ความสามารถทำงานได้เท่ากัน ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ลอยทดแทนปูนซีเมนต์ใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมลดลง จากการศึกษานี้ของปริญาและอินทราชัย (2528) และบัณฑิต (2534) พบว่าอัตราที่ใช้ซีเมนต์ลอยเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

2.4.2 การคายน้ำ

เนื่องจากน้ำเป็นส่วนผสมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำสุด การหลุดร่วงของมวลรวมในคอนกรีตทำให้น้ำบางส่วนจะลอยขึ้นสู่ผิวบนของคอนกรีต เนื่องจากส่วนผสมอื่นที่เป็นของแข็ง

ไม่สามารถอุ้มน้ำได้ทั้งหมด จากการศึกษาของ Damer (1976) ขี้เถ้าเกลบในปูนซีเมนต์ ทำให้อัตราการคายน้ำลดลง

พิชัย (2530) พบว่าการผสมขี้เถ้าลอยทำให้ส่วนผสมคอนกรีตคายน้ำลดลง ปริญา และอินทรีชัย (2528) ได้อธิบายว่า การผสมขี้เถ้าลอยในคอนกรีตจะไปขัดขวางมวลรวม ขนาดเล็กที่ขาดแคลนและปิดช่องทางการคายน้ำไม่ให้ต่อเนื่อง จึงทำให้การคายน้ำลดลง และจากการศึกษาของเจลิมพล (2527) การผสมขี้เถ้าลอยในมอร์ตาร์ ทำให้อัตราการคายน้ำและความสามารถในการคายน้ำลดลง

2.4.3 ระยะเวลาการก่อตัว

จากการศึกษาของ Paul (1976) การผสมขี้เถ้าเกลบตั้งแต่ร้อยละ 0-60 ในปูนซีเมนต์จะทำให้เวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายเพิ่มขึ้น แต่จากการศึกษาของ Metha (1977) การผสมขี้เถ้าเกลบร้อยละ 30 ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น เมื่อผสมขี้เถ้าเกลบร้อยละ 50 ระยะเวลาการก่อตัวจะลดลงมาเท่ากับปูนซีเมนต์ล้วน และเมื่อผสมขี้เถ้าเกลบร้อยละ 70 ระยะเวลาการก่อตัวจะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา

เจลิมพล (2527) พบว่าระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมขี้เถ้าลอยร้อยละ 0-40 เพิ่มขึ้นตามปริมาณขี้เถ้าลอย การศึกษาของประจิต (2526) ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน แต่ถ้าขี้เถ้าลอยเกินร้อยละ 40 ระยะเวลาการก่อตัวระยะต้น จะเริ่มลดลง และระยะเวลาการก่อตัวระยะปลายจะเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของปริญาและอินทรีชัย (2530) เมื่อผสมขี้เถ้าเกลบและขี้เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น แต่การศึกษาของบัณฑิต (2534) การผสมขี้เถ้าเกลบหรือขี้เถ้าลอยหรือทั้งขี้เถ้าเกลบและขี้เถ้าลอยปริมาณไม่เกิน 20% ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเปลี่ยนแปลง

2.4.4 กำลังรับแรงอัด

Farooq-e-Azam (1982) พบว่าเมื่อความละเอียดของขี้เถ้าเกลบเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมขี้เถ้าเกลบเพิ่มขึ้น Damer (1976) พบว่าขี้เถ้าเกลบสามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 20 โดยไม่มีผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตมากนัก และจากการศึกษาของบัณฑิต (2534) ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน ปริญาและอินทรีชัย (2528) สามารถใช้ขี้เถ้าเกลบแทนปูนซีเมนต์ได้ถึง 50-60% โดยที่ กำลังรับแรงอัดประมาณเท่าเดิม

จากการศึกษาของเจลิมพล (2527) การผสมซี่เถ้าลอยร้อยละ 20% ให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์สูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน และการผสมซี่เถ้าลอยร้อยละ 40 ให้กำลังรับแรงอัดที่อายุ 180 วัน ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนเล็กน้อย Brink และ Halsted (1956) ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซี่เถ้าลอยและพบว่าซี่เถ้าลอยสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้มากถึง 50% โดยมีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 365 วันเท่าเดิม

จากการศึกษาของปริญาและอินทรชัย (2530) มอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซี่เถ้ากลบและซี่เถ้าลอยในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซี่เถ้ากลบหรือซี่เถ้าลอยเพียงอย่างเดียว โดยที่ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากัน และจากการศึกษาของบัณฑิต (2534) ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

2.4.5 กำลังรับแรงดึง

Farooq-e-Azam (1982) พบว่าการเพิ่มความละเอียดของซี่เถ้ากลบจะเพิ่มกำลังรับแรงดึง และกำลังรับแรงดึงจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของซี่เถ้ากลบ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Damer, 1976) การทดสอบคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซี่เถ้าลอยของ Hague และคณะ (1984) ก็ให้ผลเช่นเดียวกับคอนกรีตที่ผสมซี่เถ้ากลบ

จากการศึกษาของปริญาและอินทรชัย (2530) กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์:ซี่เถ้ากลบ:ซี่เถ้าลอย เป็น 20:40:40, 40:40:20 และ 60:20:20 ที่อายุ 56 วัน มีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน และจากการศึกษาของบัณฑิต (2534) มอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซี่เถ้ากลบหรือซี่เถ้าลอย 20% จะมีกำลังรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนเล็กน้อย

2.4.6 กำลังรับแรงค้ำ

จากการศึกษาของ Hague และคณะ (1984) กำลังรับแรงค้ำจากการทดสอบโดยวิธีโมดูลัสของการแตกหัก (Modulus of Rupture) จะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของซี่เถ้ากลบและอัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์และพบว่าการเพิ่มความละเอียดของซี่เถ้ากลบ

จะเพิ่มกำลังรับแรงดัด

2.5 สารลดน้ำพิเศษ

สารลดน้ำพิเศษเป็นสารเคมีผสมเพิ่ม มีพฤติกรรมคล้ายกับสารลดน้ำทั่วไป คือ ช่วยลดแรงระหว่างอนุภาคเม็ดซีเมนต์ในเฟสที่สด ข้อแตกต่างจากสารลดน้ำทั่วไปคือ จะไม่มีผลต่อแรงตึงผิว (Surface Tension) ของน้ำ ดังนั้นจึงใช้สารลดน้ำพิเศษในปริมาณมาก โดยไม่ทำให้เกิดฟองอากาศ(ACI Committee, 1989) ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้เฟสที่มีความชื้นไหลเพิ่มขึ้น สารลดน้ำพิเศษที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 ชนิดได้แก่

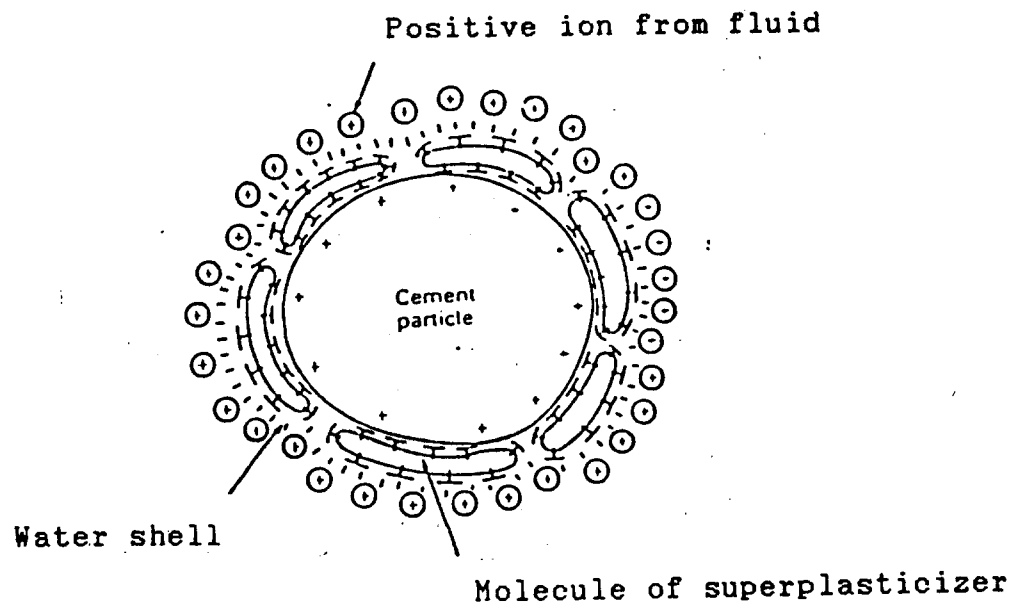
1) Sulphonated Naphthalene Formaldehyde Condensates

ผลิตจากกรรมวิธีทางเคมี โดยใช้ Naphthalene($C_{10}H_6$) ผ่านกระบวนการซัลโฟเนชัน (Sulphonation) ด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จะได้สารประกอบของแนพทาลีนกับกรดซัลโฟนิก (SO_3H) และนำสารที่ได้ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde, CH_2O) ได้สารประกอบชนิดใหม่ แล้วนำไปทำการแปรรูปโดยวิธีโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) แต่เนื่องจากสารประกอบชนิดใหม่นี้มีสภาพเป็นกรด ดังนั้นกลุ่มกรดซัลโฟนิกจึงถูกทำลายให้เป็นกลาง (Neutralization) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) ได้สารประกอบทางเคมีของเกลือ Sulphonated Naphthalene Formaldehyde Condensates

2) Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates

เป็นสารเคมีที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมีโดยใช้เมลามีน (Melamine, $C_3H_6N_6$) ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ ได้สารประกอบของไตรเมทธีรอลเมลามีน (Trimethylol-melamine) แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium Bisulphite, $NaHSO_3$) ได้สารประกอบชนิดใหม่แล้วจึงนำไปทำการแปรรูปโดยวิธี โพลิเมอร์ไรเซชัน ได้เป็นสารประกอบของเกลือ Sulphonated Melamine Formaldehyde Condensates

พฤติกรรมของสารลดน้ำพิเศษ เกิดจากการกระตุ้นที่ผิวทำให้ประจุไฟฟ้าไม่สมดุลย์ (Unbalanced Charge) สารลดน้ำพิเศษที่เติมลงไปก็จะหนีขึ้นมาอยู่บนผิวน้ำ โดยประจุลบจะถูกดูดไปอยู่ที่ผิวของเม็ดซีเมนต์ ทำให้เกิดประจุลบขึ้นรอบ ๆ เม็ดซีเมนต์ ยิ่งผลให้เม็ดซีเมนต์ไม่รวมตัวกันเนื่องจากมีประจุเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (Heinz, 1983)



รูปที่ 2.2 แสดงประจุไฟฟ้าที่ล้อมรอบเม็ดซีเมนต์เมื่อผสมสารลดน้ำพิเศษ
(Heinz, 1983)

สามารถลดแรงเสียดทานทำให้เพสต์มีความลื่นไหลสูง และเพิ่มพื้นที่ผิวของซีเมนต์ที่จะทำปฏิกิริยามีมากขึ้นจึงเกิดแรงยึดเกาะกันระหว่างเม็ดซีเมนต์กับมวลรวมมากขึ้น เป็นผลให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้น

ประโยชน์ของสารลดน้ำพิเศษ คือการผลิตคอนกรีตไหล (Flowing Concrete) ที่มีค่าการยุบตัวสูงถึง 200 มม. หรือมากกว่านี้ ใช้ในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) ซึ่งทำให้ลดปริมาณน้ำได้ถึง 30% ในขณะที่ยังรักษาความสามารถทำงานได้เช่นเดิม และยังใช้เพื่อลดปริมาณซีเมนต์ ซึ่งลดได้อย่างน้อยที่สุด 10-20% ในขณะที่ยังคงรักษาความสามารถในการทำงานได้และกำลังคอนกรีตเท่าเดิมได้

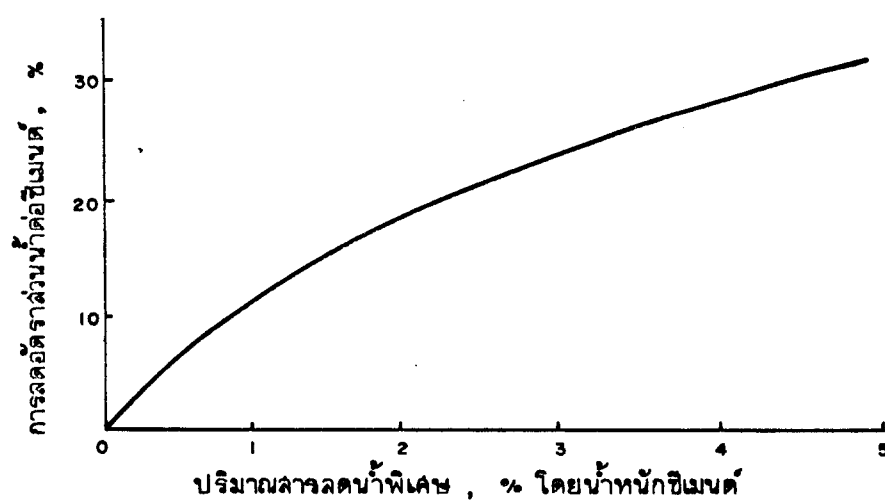
2.6 คุณสมบัติของมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ผสมสารลดน้ำพิเศษ

2.6.1 ความต้องการน้ำและความสามารถทำงานได้

สารลดน้ำพิเศษจะช่วยทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้สูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงเดิม นอกจากนี้สารลดน้ำพิเศษยังสามารถทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้สูงมากโดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียการเกาะตัว (Cohesion) มากเกินไป และยังพบว่าเมื่อปริมาณสารลดน้ำพิเศษเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถทำงานได้สูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงเดิม (Rixom, 1978) สารลดน้ำพิเศษจะช่วยทำให้คอนกรีตมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลงเมื่อความสามารถทำงานได้คงเดิม และเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดน้ำพิเศษขึ้น จะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลงมากขึ้น เมื่อความสามารถทำงานได้คงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.6.2 การคายน้ำ

โดยทั่วไปเมื่อใส่สารลดน้ำพิเศษเพื่อลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แล้ว การคายน้ำจะลดลง ยกเว้นคอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้สูงมาก การลดการคายน้ำทำได้โดยปรับส่วนผสมโดยให้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบสูงขึ้นหรือใช้วัสดุละเอียด (ACI Committee, 1989) ในคอนกรีตที่พร่องส่วนละเอียด (มวลรวมละเอียดหรือซีเมนต์) สารลดน้ำพิเศษสามารถลดการคายน้ำ (Bleeding) และการแยกแยะ (Segregation) ได้ (Raymond, 1983) และจากการศึกษาของบัณฑิต (2534) การให้สารลดน้ำพิเศษ 1.25% ทำให้อัตราการคายน้ำและความสามารถในการคายน้ำของมอร์ตาร์ลดลง



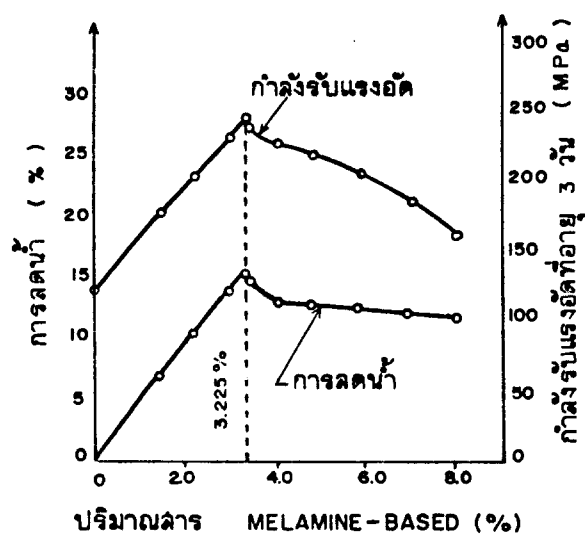
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการลดน้ำพิเศษกับการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
(RIXOM, 1978)

2.6.3 ระยะเวลาการก่อตัว

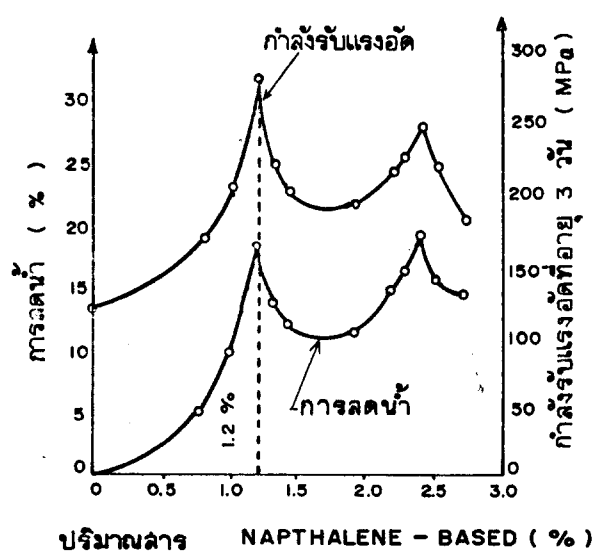
การใส่สารลดน้ำพิเศษจะไม่ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเปลี่ยนไป (Rixom, 1978 และ Raymond, 1983) แต่บัณฑิต (2534) พบว่าการใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาการก่อตัวอยู่ในช่วงที่กำหนดให้ตามมาตรฐาน ASTM 494-86 Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete

2.6.4 กำลังรับแรง

การใส่สารลดน้ำพิเศษโดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม จะทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่ถ้าใส่สารลดน้ำพิเศษแล้วลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ด้วยจะทำให้กำลังรับแรงอัดคอนกรีตสูงขึ้นอีก (ACI Committee, 1989) ปริมาณสารลดน้ำพิเศษสำหรับการลดน้ำมากที่สุดไม่จำเป็นเสมอไปว่าจะให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 และ 2.5 (Stuart และคณะ, 1980) และจากการศึกษาของบัณฑิต (2534) พบว่าเมื่อใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% จะทำให้กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์สูงขึ้นประมาณ 8% โดยเฉลี่ย ส่วนผสมคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษโดยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ กำลังรับแรงดึงจะประมาณเท่าเดิม ส่วนกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำพิเศษสำหรับลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะสูงขึ้น แต่ไม่เป็นสัดส่วนกับการเพิ่มกำลังรับแรงอัด (ACI Committee, 1989)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดน้ำ และกำลังรับแรงอัด กับปริมาณ
SULPHONATED MELAMINE FORMALDEHYDE CONDENSATE
(STUART และคณะ , 1980)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดน้ำ และกำลังรับแรงอัด กับปริมาณ
SULPHONATED NAPHTHALENE FORMALDEHYDE CONDENSATE
(STUART และคณะ , 1980)