

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

##### 2.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่

1. ออกไซด์หลัก ได้แก่  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ซึ่งรวมกันประมาณ 90% ของน้ำหนักซีเมนต์
2. ออกไซด์รอง ได้แก่  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  และยิปซัม ปริมาณออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-70
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0.5-1.3
TiO <sub>2</sub>	0.1-0.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1-0.2
SO <sub>3</sub>	1-3

ออกไซด์หลักจะรวมตัวในระหว่างการเกิดปูนเม็ด(Clinker)เกิดเป็นสารประกอบ 4 อย่าง ดังแสดงในตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
ไดแคลเซียม ซิลิเกต	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
ไตรแคลเซียม อลูมิเนต	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
เตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

เราสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบหลักทั้ง 4 ในปูนซีเมนต์ได้โดยประมาณจากผลวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ชนิดต่างๆ และอัตราส่วนการรวมตัวทางเคมีของสารประกอบนั้นๆ โดยใช้สูตรการคำนวณของ Bogue

$$\text{ปริมาณ } \text{C}_3\text{S} = 4.07(\text{CaO}) - 7.60(\text{SiO}_2) - 6.72(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.43(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2.85(\text{SO}_3)$$

$$\text{ปริมาณ } \text{C}_2\text{S} = 2.87(\text{SiO}_2) - 0.754(\text{C}_3\text{S})$$

$$\text{ปริมาณ } \text{C}_3\text{A} = 2.65(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.69(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{ปริมาณ } \text{C}_4\text{AF} = 3.04(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

ตัวเลขในวงเล็บคือ เปอร์เซ็นต์ของออกไซด์ในเนื้อของซีเมนต์ทั้งหมด และปริมาณ CaO ในสูตรที่ใช้คำนวณหาปริมาณต้องเป็น CaO ที่ทำปฏิกิริยาเท่านั้น ไม่รวม Free Lime

ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลักตามสูตรของ Bogue อยู่ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลัก

ออกไซด์ต่างๆ (%) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		สารประกอบหลักคำนวณจากสมการของ Bogue
CaO	64.73	$C_3S = 4.07(64.73 - 1.60) - 7.60(21.20) -$
SiO <sub>2</sub>	21.20	$6.72(5.22) - 1.43(3.08) - 2.85(2.01)$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.22	= 50.6%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.08	
		$C_2S = 2.87(21.20) - 0.754(50.6)$
MgO	1.04	= 22.7%
SO <sub>3</sub>	2.01	
Na <sub>2</sub> O	0.19	$C_3A = 2.65(5.22) - 1.69(3.08)$
		= 8.6%
K <sub>2</sub> O	0.42	
Loss of Ignition	1.45	$C_4AF = 3.04(3.08)$
Insoluble Residue	0.66	= 9.4%
Free Lime	1.60	

## คุณสมบัติสำคัญของสารประกอบหลัก

- C<sub>3</sub>S มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเร็วภายในไม่กี่ชั่วโมง และมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก

ในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อนปานกลาง(500 J/g)

- C<sub>2</sub>S เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมีอัตราการเกิดช้าเป็นวัน ความร้อนที่ปล่อยออกมา น้อย

(250J/g) มีการพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C<sub>3</sub>S

- C<sub>3</sub>A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อให้เกิด Flash set และความร้อนจำนวนมาก(850 J/g) การ ป้องกัน

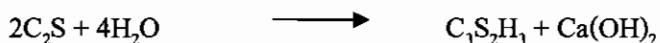
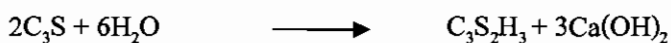
Flash set ทำได้โดยการเติมยิปซั่มในระหว่างการบดซีเมนต์ กำลังอัดของ C<sub>3</sub>A จะพัฒนาภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ

- C<sub>4</sub>AF ทำปฏิกิริยากับน้ำได้รวดเร็วมาก ก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดปานกลาง(420 J/g) กำลังอัดของ C<sub>4</sub>AF ค่อนข้างต่ำ

## 2.1.2 ปฏิกริยาไฮเดรชัน

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ดังนี้

- คัลเซียมซิลิเกต ( $C_3S$ ,  $C_2S$ )



คัลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด  $Ca(OH)_2$  และ Calcium Silicate Hydrate

(CSH)

ซึ่งสิ่งที่เราต้องการคือ CSH เพราะมีลักษณะเหมือนกาว ทำหน้าที่เชื่อมประสาน ส่วน  $Ca(OH)_2$  มีคุณสมบัติเป็นต่างอย่างมาก ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

- ไตรคัลเซียมอลูมิเนต ( $C_3A$ )



ในปฏิกิริยานี้จะก่อให้เกิด Flash set ทำให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีต เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็วจึงใส่ยิปซัม ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) เข้าไปในระหว่างกระบวนการบดซีเมนต์ยิปซัม

จะทำปฏิกิริยากับ  $C_3A$  ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค  $C_3A$  ดังสมการ



- เตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ ( $C_4AF$ )



$3CaSO_4$

เวลาที่ใช้เพื่อให้บรรลุ 80% ของปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักทั้ง 4 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลัก สำเร็จ 80%

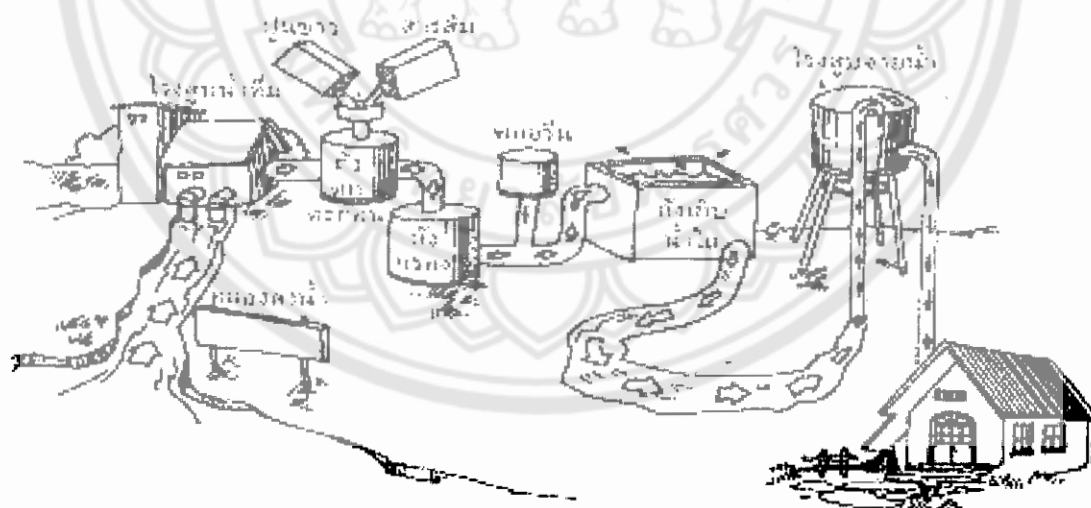
สารประกอบหลัก	เวลา(วัน)
$C_3S$	10
$C_2S$	100
$C_3A$	6
$C_4AF$	50

## 2.2 ตะกอนน้ำประปา

ตะกอนน้ำประปา คือ ตะกอนที่เหลือจากการผลิตน้ำประปาเกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดตะกอนความขุ่น

### 2.2.1 กระบวนการเกิด

การผลิตน้ำประปา น้ำดิบที่ได้จากการสูบขึ้นมาจากแหล่งน้ำดิบจะถูกส่งไปยังถังกวนเร็ว (โรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนครราชสีมา ใช้ Static Mixer) ในขั้นตอนนี้ก่อนที่น้ำดิบจะเข้าสู่ถังกวนเร็ว จะถูกเติมสารเคมีเพื่อทำหน้าที่จับตัวกับตะกอนแขวนลอยในน้ำและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ สารเคมีที่เติมในโรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนครราชสีมา คือ สารส้ม  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$ , PE Polymer, โซดาแอส จากนั้นน้ำดิบจะถูกส่งไปยังถัง Solid Contact ซึ่งรวมถึงกวนช้าและถังตกตะกอนไว้ด้วยกัน ในถัง Solid Contact นี้ จะเกิดกระบวนการกวนช้าซึ่งทำให้เกิดฟล็อก (floc) จับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นแล้วก็จะเกิดการตกตะกอนจมลงสู่ก้นถัง ในถังนี้เองตะกอนประปาจะมีมากที่สุด เมื่อถึงเวลาตะกอนน้ำประปาจะถูกขับทิ้งไปยังบ่อพักตะกอน



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

### 2.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำประปาจะประกอบไปด้วยออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาเป็นส่วนใหญ่ ถูกแสดงในรูปออกไซด์ดังในตารางที่ 2.5

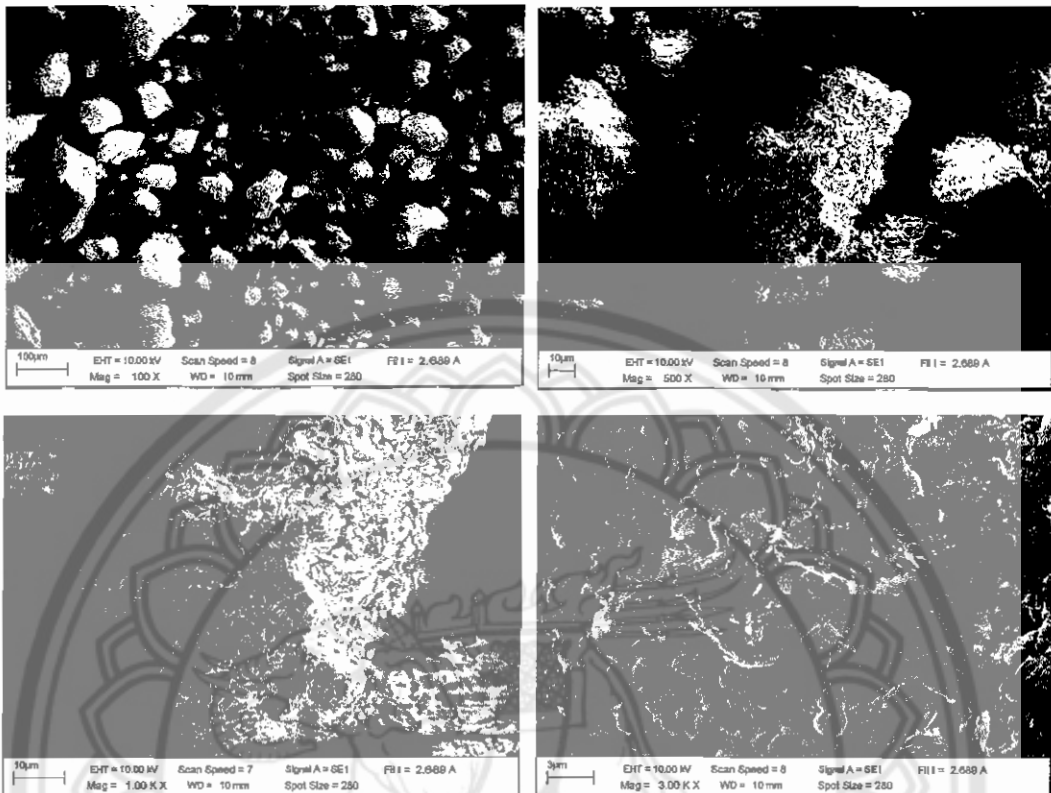
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของตะกอนน้ำประปา

สารประกอบ	ปริมาณ(ร้อยละ)
SiO <sub>2</sub>	52.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.94
CaO	0.81
MgO	1.27
Na <sub>2</sub> O	0.33
K <sub>2</sub> O	2.12
TiO <sub>2</sub>	0.74
LOI	11.42

ที่มา งานวิจัยของคุณ นพปฎล เสริมศักดิ์ และ คุณ เรืองรุชดี ชีระโรจน์

### 2.2.3 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของตะกอนน้ำประปาที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมื่อดูภาพที่ กำลังขยาย 100 เท่าจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม มีขนาดกระจายตัว ส่วนภาพที่ กำลังขยาย 500 เท่า, 1000 เท่าและ 3000 เท่า จะเห็นลักษณะของอนุภาคตะกอนน้ำประปาเป็นเหลี่ยมมุมอย่างชัดเจน ส่วนผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นขุย มีแผ่นเล็กๆจำนวนมากมารวมตัวกันทำให้เกิดเป็นก้อน อนุภาคดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อนุภาคของตะกอนน้ำประปาที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ที่ภาพกำลังขยาย 100X, 500X, 1000X, 3000X, เรียงจากซ้ายไปขวา บนลงล่างตามลำดับ

สำหรับการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนเรศวร ผลิตน้ำประปา  
ประมาณ  
3000 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีการใช้สารส้มประมาณ 150 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะเกิดตะกอนประปาขึ้น  
ดังสมการ



ในสมการนี้ตะกอนประปาก็คือ  $2\text{Al}(\text{OH})_3$  หาปริมาณได้จาก

ใช้  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$  1 กิโลกรัม เกิด  $2\text{Al}(\text{OH})_3 = 0.260$  กิโลกรัม

ใช้  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$  150 กิโลกรัม เกิด  $2\text{Al}(\text{OH})_3 = 0.26 \cdot 150/1 = 39$  กิโลกรัม/วัน

ดังนั้นในหนึ่งปีจะมีจำนวนตะกอนน้ำประปาประมาณ 14040 กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่  
มากและไม่มีประโยชน์อะไรอีกทั้งต้องหาที่กอบทิ้ง

## 2.3. ถ่านห้ก (Bottom Ash)

### 2.3.1 กระบวนการผลิตของถ่านห้ก

โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ด้วยการแปรสภาพพลังงานสะสมของถ่านลิกไนต์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ไอน้ำเป็นตัวกลาง กระบวนการแปรสภาพพลังงานดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้ เปลี่ยนพลังงานสะสมในถ่านลิกไนต์ให้เป็นพลังงานความร้อน โดยการเผาไหม้หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการสันดาป (Combustion or Oxidation) พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถูกส่งผ่านไปให้ต้มน้ำทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิและความดันสูง เปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำให้เป็นพลังงานกล โดยใช้ไอน้ำไปหมุนกังหันไอน้ำ เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยให้กังหันไอน้ำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นการสิ้นสุดขั้นตอนการแปรสภาพพลังงาน

ถ่านลิกไนต์ที่ขุดจากเหมืองแม่เมาะ ถูกส่งเข้ามาบดในเครื่องย่อยถ่านชุดแรกและผ่านออกมาในขนาดไม่โตกว่า 30 ลบ.ซม. จากนั้นจะใช้สายพานลำเลียงมากองไว้ยังบานกองย่อย ถ่านจากถ่านกองจะถูกส่งขึ้นมายังโรงย่อยถ่าน โดยมีระบบแม่เหล็กไฟฟ้าและระบบตรวจสอบโลหะเพื่อแยกโลหะไม่พึงประสงค์ออก ก่อนจะผ่านไปยังเครื่องย่อยถ่านชุดที่สอง ซึ่งจะย่อยถ่านให้มีขนาดไม่โตกว่า 3 ลบ.ซม. และส่งไปเก็บไว้ในขังถ่าน (Coal Bunker) ในตัวโรงไฟฟ้าเพื่อเตรียมใช้งานต่อไป ถ่านลิกไนต์ติดไฟค่อนข้างยาก ในช่วงแรกของการจุดเตาจึงต้องใช้ Light Oil จุดนำก่อน โดยใช้หัวฉีดน้ำมัน ฉีด Light Oil ให้กระจายเป็นฝอยเข้าไปในตัวเตาใช้ระบบจุดระเบิด โดยการ Spark ของไฟฟ้าแรงสูง ทำให้ Light Oil ลูกไหม้ภายในเตา เมื่อการเผาไหม้ Light Oil อยู่ในสภาวะคงที่ (Stable) และอุณหภูมิภายในเตาสูงพอ จึงจะเริ่มเผาถ่านลิกไนต์ ถ่านลิกไนต์จากขังเก็บถ่านถูกป้อนเข้า โม่บดขังเครื่องป้อนถ่าน (Coal Feeder) ซึ่งเป็นตัวควบคุมปริมาณถ่านที่จะเผา ในโม่บดถ่านจะมีลมร้อนจากเครื่องอุ่นอากาศเป่าเข้าไปใน โม่ ถ่านจะถูกบดโดยมีลมร้อนเป็นตัวควนให้การบดมีประสิทธิภาพดีและไล่ความชื้นออกจากถ่าน ถ่านที่บดแล้วจะมีขนาดประมาณ 75/1000 มิลลิเมตร และอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ถูกลมร้อนพาขึ้นไปตามท่อส่งถ่าน ไปยังหัวฉีดถ่าน (Coal Burner) หัวฉีดถ่านจะทำหน้าที่ควบคุมให้ถ่านกระจายเข้าไปในเตาอย่างมีระเบียบ เมื่อผงถ่านปะทะกับ Light Oil ที่กำลังลุกไหม้และมีอุณหภูมิสูง ผงถ่านจะติดไฟและเกิดการเผาไหม้ขึ้น ในช่วงนี้ก็จะหยุดใช้ Light Oil และใช้ถ่านเพียงอย่างเดียวได้ การเผาถ่านจะทำให้เกิดขี้เถ้า

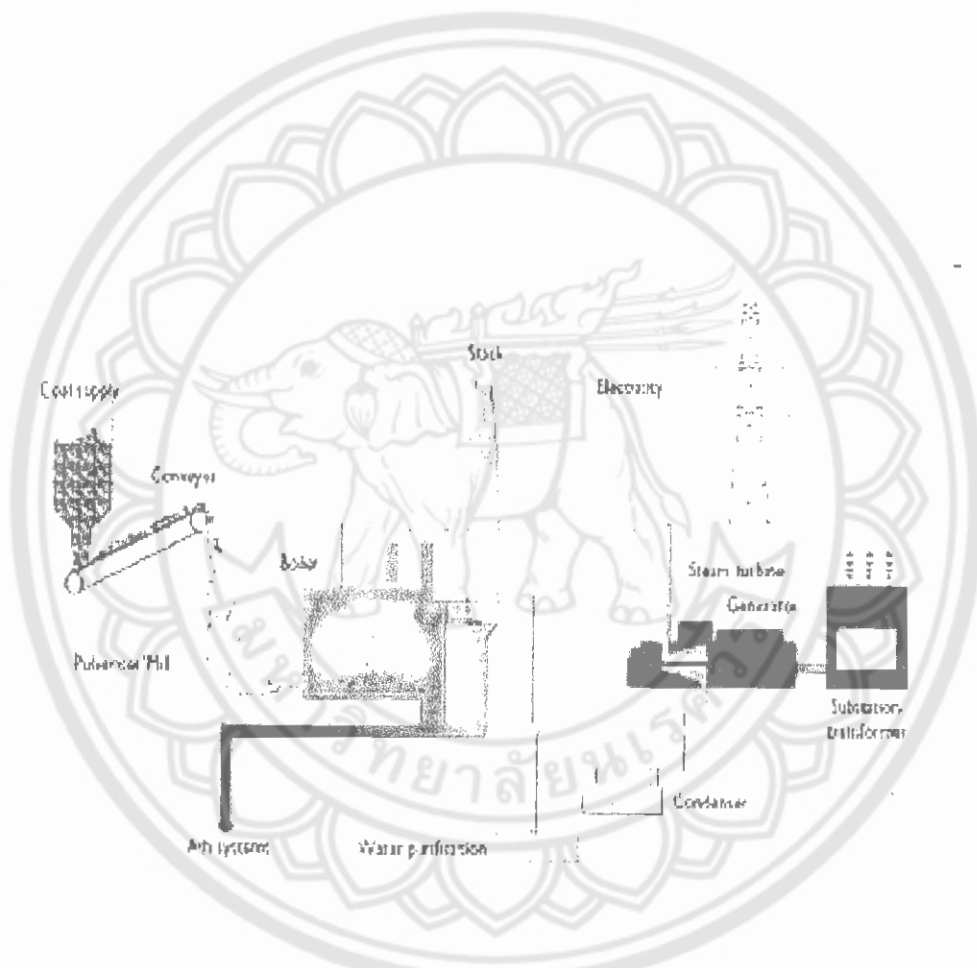
ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ขี้ถ่านห้ก (Bottom Ash) จะตกลงสู่ก้นเตาและถูกลำเลียงออกจากเตาโดยระบบสายพานเหล็ก (Scrapper Conveyor)



ขี้เถ้าเบา (Fly Ash or Dry Ash) จะปนไปกับก๊าซร้อน ปริมาณขี้เถ้าเบาที่เกิดขึ้นมีปริมาณร้อยละ 80-95 ของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนจะปล่อยก๊าซออกทางปล่องควัน

วัตถุดิบที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้า คือ ถ่านลิกไนต์ (lignite) เป็นถ่านหินที่ยังพอมีซากพืชเหลือปรากฏให้เห็นอยู่เล็กน้อยมีสีน้ำตาลเข้มจน ถึงดำมีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างน้อยและมีปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 30-70 ส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงและถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ



รูปที่ 2.3 รูปแสดงขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า

### 2.3.2 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำประปาจะประกอบไปด้วยออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาเป็นส่วนใหญ่ ถูกแสดงในรูปออกไซด์ดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของ Bottom ash

Table 1  
Chemical composition of starting bottom ash (RI) (% by weight)

LOI	4.6
IR	5.2
SiO <sub>2</sub>	34.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.6
CaO	21.9
MgO	2.6
SO <sub>3</sub>	3.3
Na <sub>2</sub> O	2.1
K <sub>2</sub> O	1.9
Cl <sup>-</sup>	3.6
Zn	0.44
Cd	0.0013
Pb	0.13
Cr	0.032

LOI is loss on ignition at 1100°C; IR is insoluble residue.

ที่นางานวิจัยของ ( Raúl Peña, Ana Guerrero, Sara Goñi\* )

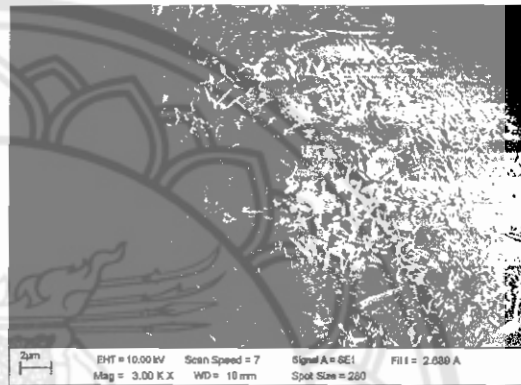
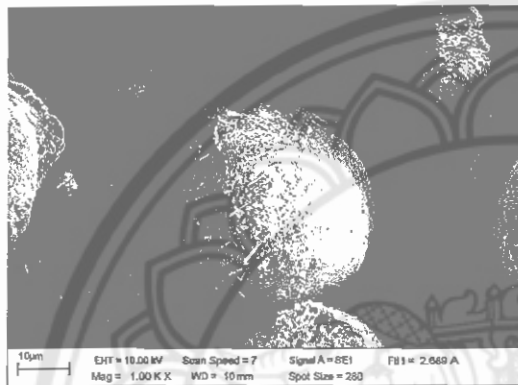
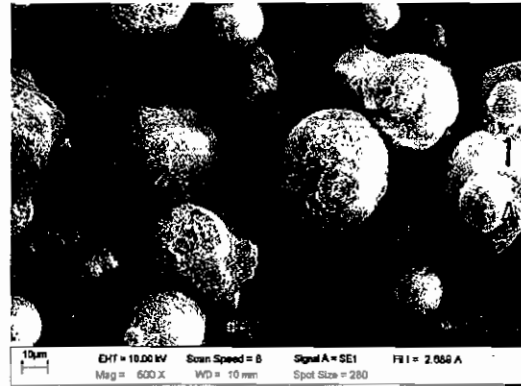
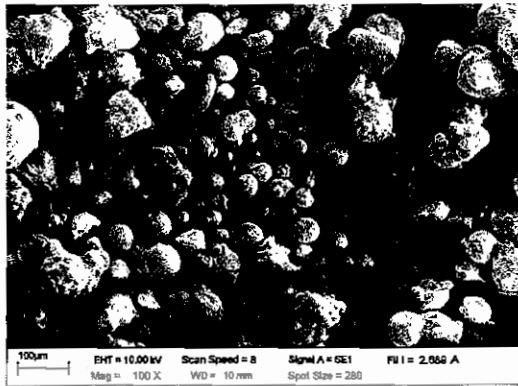
### 2.3.3 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของถ้ำกั้นเตาที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมื่อดูภาพที่กำลังขยาย 100 เท่าจะมีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมมุมและกลมคละกัน มีขนาดกระจายตัว ส่วนภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า, 1000 เท่าและ 3000 เท่า จะเห็นลักษณะของอนุภาคถ้ำกั้นเตาเป็นก้อนกลมอาจมีเหลี่ยมมุมบ้างอย่างชัดเจน ส่วนผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นขุย มีแผ่นเล็กๆจำนวนมากมา รวมตัวกันทำให้เกิดเป็นก้อนอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 2.3

TA  
AA1  
ปฐพี 25  
2551



สำนักหอสมุด  
15 ต. ๒. 2552  
4515687



รูปที่ 2.4 อนุภาคของเถ้าถ่านที่ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ที่ภาพกำลังขยาย 100X, 500X, 1000X, 3000X, เรียงจากซ้ายไปขวา บนลงล่างตามลำดับ

## 2.4 เถ้าลอย (Fly Ash)

การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะ เป็นเชื้อเพลิง ประมาณวันละกว่า 40,000 ตัน การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์จะได้เถ้าลิกไนต์ออกมา ประมาณวันละ 10,000 ตัน ซึ่งในจำนวนนี้จะเป็นเถ้าลอยประมาณ 8,000 ตัน

### 2.4.1 องค์ประกอบทางเคมี

การยื่นตัวอย่างรวดเร็วของเถ้าลอยลิกไนต์ หลังจากผ่านการเผาถ่านหินลิกไนต์ ที่ อุณหภูมิสูง ทำให้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะ มีองค์ประกอบทางแร่วิทยา ดังนี้ เป็นผลึก (Crystalline) 15 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี กับค่า  $\text{Ca(OH)}_2$  และตรวจพบว่า ประมาณ 65 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ของเถ้าลอยลิกไนต์ อยู่ในรูปอสัณฐาน ที่ไม่เป็นโครงสร้าง ซึ่งมี

รูปแน่นอน (Amorphous) และไม่มีความเป็นผลึก (Non-Crystalline) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น  $\text{SiO}_2$  กับ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ที่อยู่ใน Glass phase ซึ่งเป็นส่วนสำคัญ ที่สามารถ เกิดปฏิกิริยาเคมี กับด่าง  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ได้

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย (Fly Ash)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก
	เถ้าลอย
$\text{SiO}_2$	20-55
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5-40
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1-15
$\text{CaO}$	1-35
$\text{MgO}$	0-5
$\text{Na}_2\text{O}$	0-2
$\text{K}_2\text{O}$	0-5
$\text{SO}_3$	0-10

( ที่มา บทความของคุณ ทวีพล ตั้งศรีสำโรง )

#### 2.4.2 ลักษณะทางกายภาพ

เถ้าลอยเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียด ซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อน ที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่บดละเอียด (Pulverized Coal) ใน โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า และจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บ ซึ่งถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วย สารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น ดินดาน ดินเหนียว ซัลไฟด์ และคาร์บอนเนต เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผา คุณสมบัติของสารประกอบต่าง ๆ ในถ่านหินจะเปลี่ยนไป ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผา รวมทั้งวิธีการที่ทำให้เย็นตัวของเถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยนี้ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิกา และอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้วสารปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าสารปอซโซลานมีความละเอียดมากๆ และมีน้ำเพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียม ไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติยึดประสาน

ความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.00-2.60 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) และ เฟอร์ริกออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) อัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ, สภาพแวดล้อมขณะเผา และชนิดของถ่านหินที่ใช้เผา

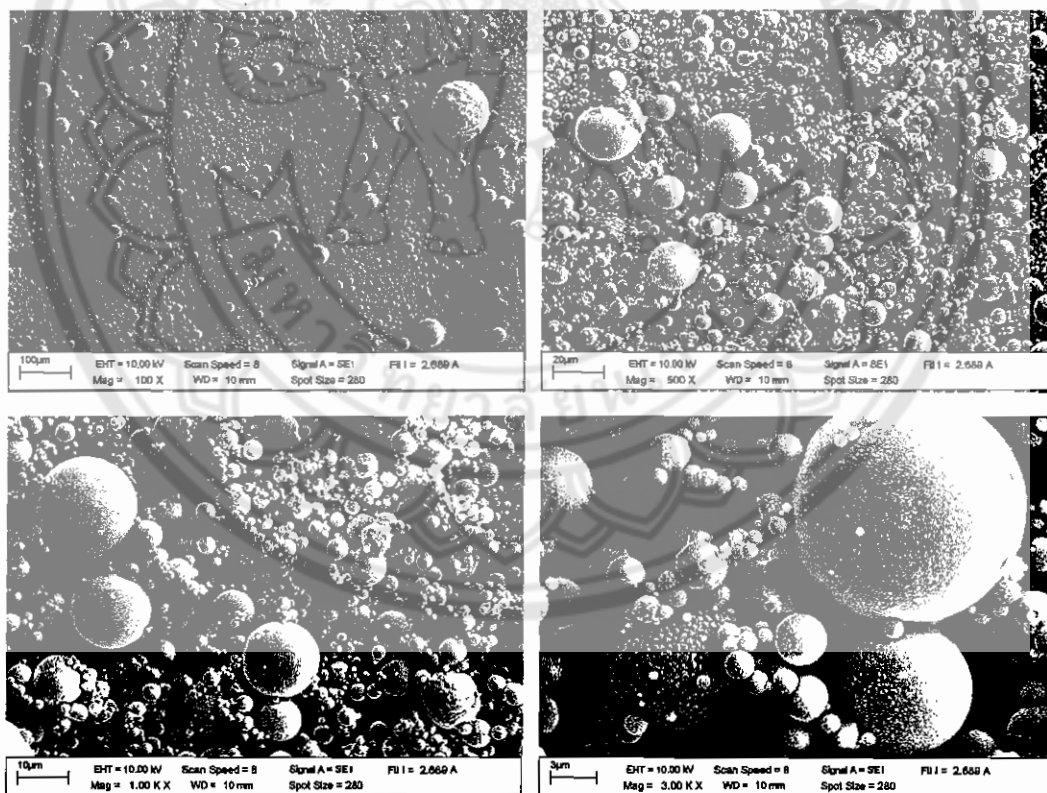
มาตรฐาน ASTM C 618 "Specification for Fly ash and Raw or Calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete" ได้จัดแยกประเภทของเถ้าลอยไว้ 2 ชนิดคือ Class F และ Class C

Class F มีปริมาณ  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$  มากกว่า 70% โดยน้ำหนัก

Class C มีปริมาณ  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$  ระหว่าง 50-70% โดยน้ำหนัก

เถ้าลอยที่ไนต์โดยทั่วไปแล้วจะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ ลักษณะทั่วไปเป็นรูปทรงกลม มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (0.001 มิลลิเมตร) จนถึง 150 ไมโครเมตร (0.15 มิลลิเมตร)

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเถ้าลอย เมื่อดูภาพที่กำลังขยาย 100 เท่าจะมีลักษณะเป็นก้อนกลมกละกัน มีขนาดกระจายตัว ส่วนภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า, 1000 เท่าและ 3000 เท่า จะเห็นลักษณะของอนุภาคของเถ้าลอยเป็นก้อนกลมอย่างชัดเจน ส่วนผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นขุยค่อนข้างละเอียด อัดจนทำให้เกิดเป็นก้อนอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 2.5



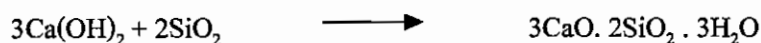
รูปที่ 2.5 อนุภาคของเถ้าลอย ที่ภาพกำลังขยาย 100X, 500X, 1000X, 3000X,

เรียงจากซ้ายไปขวา บนลงล่างตามลำดับ

## 2.5 ปฏิกิริยาปอซโซลานิก

สารประกอบในสารปอซโซลานซึ่ง ได้แก่  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  จะทำปฏิกิริยากับ Calcium Hydroxide

$\text{Ca(OH)}_2$  ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ดังสมการ



หรือ



ซึ่ง CSH นี้ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน ช่วยให้ส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกัน ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตให้ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกำลังอัด , การต้านทานการซึมผ่านน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาปอซโซลานิกนี้จะเกิดช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ จึงต้องใช้เวลาระยะหนึ่งกว่าปฏิกิริยาจะสมบูรณ์ สำหรับสารปอซโซลานนั้นเหมาะกับงานคอนกรีตหลา เพราะความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจะไม่มาก มีอัตราการพัฒนากำลังอัดช้าแต่ในระยะหลังอาจจะเท่ากันหรือมากกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา โดยบ่มขึ้นให้นานกว่าปกติ

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- อิฐบล็อกผสมเถ้าก้นเตา (ศิริชัย ดันรัตน์วงศ์, 2550)
- บล็อกประสานผสมเถ้าก้นเตาและเถ้าแกลบ (นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์ / เรืองรุชดี ชีระโรจน์, 2551)
- คุณสมบัติทางปอซโซลานของเถ้าก้นเตาผสมเถ้าแกลบ(อาภา สรณเสาวภาคย์ / ปริญาจินดาประเสริฐ, 2549)
- มวลรวมประติษฐ์ (เถ้าลอยผสมตะกอนน้ำประปา)(Harikrishnan, K. I. / Ramamurthy, K, 2006)
- มวลรวมประติษฐ์ (ดินเหนียว+ตะกอนน้ำประปา) (นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์ / เรืองรุชดี ชีระโรจน์, 2551)
- บล็อกประสานที่ผสมตะกอนน้ำประปา (นพปฎล เสงี่ยมศักดิ์ / เรืองรุชดี ชีระโรจน์, 2551)

### 2.5.1 หลักการ

เป็นเครื่องที่ใช้หลักการการหมุนและเอียงจานผสม ทำให้ส่วนผสมเมื่อผสมกับน้ำแล้วจะจับตัวกันเป็นก้อน และเมื่อถูกหมุนไปกระทบกับใบที่ก้นก็จะแยกตัวและตกลงมาในขนาดที่เหมาะสม ขนาดของเม็ดมวลรวมประคิษฐ์และลักษณะต่างๆของมวลรวมประคิษฐ์ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

#### 2.5.1.1 องศาของจานผสม

องศาของจานผสมมีส่วนสำคัญมากในการกำหนดขนาดของเม็ดมวลรวมประคิษฐ์ ถ้าองศาของจานผสมเป็นศูนย์ ส่วนผสมจะจับตัวเป็นก้อนใหญ่และ ไปติดอยู่ที่ใบที่ก้น แต่ถ้าปรับองศาให้มากขึ้นเม็ดมวลรวมประคิษฐ์ก็จะเริ่มแยกตัวออกเป็นขนาดและมีลักษณะกลม การที่องศามากขึ้นนี้เม็ดมวลรวมประคิษฐ์ก็จะมีขนาดเล็กลง จนถึงจุดหนึ่งจะไม่สามารถเอียงจานองศาได้อีก เพราะจะทำให้เม็ดมวลรวมประคิษฐ์กระเด็นตกออกมา องศาที่เอียงได้มากที่สุดประมาณ 50-60 องศา

#### 2.5.1.2 ความเร็วรอบของจานผสม

ความเร็วรอบในการหมุนก็มีส่วนสำคัญในการกำหนดขนาดเม็ดมวลรวมประคิษฐ์ด้วยเช่นกัน โดยการที่ความเร็วรอบมีค่าน้อย เม็ดมวลรวมประคิษฐ์จะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าความเร็วรอบมีค่ามาก เม็ดมวลรวมประคิษฐ์ก็จะมีขนาดเล็ก

#### 2.5.1.3 เวลา

เวลามีส่วนสำคัญในการกำหนดความแน่นและความอยู่ตัวของเม็ดมวลรวมประคิษฐ์ คือถ้าใช้เวลาที่ผสมแต่ละชั้นคือน้อยส่วนผสมก็จะไม่เข้ากัน ความแน่นของเม็ดมวลรวมประคิษฐ์ก็จะน้อย แต่ถ้าใช้เวลามากเกินไปจะทำให้เม็ดมวลรวมประคิษฐ์แตกและแยกตัวออกเป็นเม็ดเล็กๆ เนื่องจากน้ำที่อยู่ในเม็ดมวลรวมประคิษฐ์นั้นออกไปจนหมดเป็นผลมาจากการหมุนนานๆ ดังนั้นเวลาที่ใช้แต่ละชั้นต้องเหมาะสมทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่จะนำมาผสมด้วย

#### 2.5.1.4 น้ำ

น้ำจะเป็นตัวกำหนดขนาด การรวมตัว การแยกตัวและความแน่น ถ้าใช้น้ำน้อยการจับตัวของมวลรวมประคิษฐ์ก็จะเกิดขึ้นไม่ดีทำให้เกิดการแยกตัวเป็นเม็ดเล็กๆ และไม่มี ความแน่น จึงนำไปใช้งานไม่ได้ แต่การที่ใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมจับตัวเป็นก้อนใหญ่และเป็นการยากที่จะทำให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละส่วนผสม ผู้ที่ทำการผสมต้องระวังเรื่องนี้ให้มาก