

### บทที่ 3 วิธีการวิจัย

#### 3. วิธีที่ใช้ในการทดสอบความเข้ากันได้

จากในหัวข้อที่แล้วก็ได้ทราบแล้วว่าปัจจัยที่ทำให้เม็ดซีเมนต์นั้นกระจายออกจากกันเป็นผลมาจากสารลดน้ำอย่างแรง แต่ในสารลดน้ำอย่างแรงแต่ละชนิดก็มีลักษณะ โครงสร้างที่แตกต่างกันไปเช่น จำนวน  $\beta$  Sulfonated ความยาวโมเลกุลเฉลี่ย และช่วงของความยาวโมเลกุล ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้วัดได้ยากและมีผลต่อการกระจายเม็ดปูนซีเมนต์ด้วย ซึ่งอาจทำให้สูญเสียความสามารถในการเทได้อย่างรวดเร็วถ้าปูนซีเมนต์และสารลดน้ำอย่างแรงไม่เข้ากัน ดังนั้นวิธีในการทดสอบความเข้ากันได้ระหว่างปูนซีเมนต์กับสารลดน้ำอย่างแรงจึงจำเป็นมาก ซึ่งในการวิจัยนี้เลือกใช้อยู่ 2 วิธีคือ

- วิธีการทดสอบโดยใช้โคน (Marsh Cone Method)
- วิธีการทดสอบมินิสลัมพ์ (Minislump Method)

วิธีการทดสอบมินิสลัมพ์นั้นใช้วัสดุน้อยกว่ามาก แต่ผลการทดสอบที่ได้นั้นเป็นผลทางสถิติศาสตร์จึงไม่เป็นที่นิยมนัก ส่วนวิธีการทดสอบโดยใช้โคนนั้นใช้วัสดุในการทดสอบมากกว่า แต่ผลที่ได้เป็นผลทางพลศาสตร์ซึ่งเหมาะที่จะใช้ทดสอบความหนืดมากกว่า

#### 3.1 วิธีการทดสอบโดยใช้โคน (Marsh Cone Method)

วิธีการทดสอบโดยใช้โคนนี้ใช้ในการทดสอบความหนืดของของไหล โดยโคนจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป เส้นผ่านศูนย์กลางของปลายโคนจะมีขนาดตั้งแต่ 5 มม. ถึง 12.5 มม. ในรูปที่ 3.1 เป็นกรวยพลาสติกมาตรฐานที่ใช้ทดสอบความหนืดของโคลนที่เจาะได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และในการทดสอบสารละลายเบนโทไนท์ก็ใช้กรวยที่มีขนาดเดียวกันนี้ ซึ่งกรวยจะมีความจุ 1.2 ลิตร สามารถนำมาใช้ศึกษาความเข้ากันได้ของซีเมนต์และสารลดน้ำอย่างแรงได้เช่นเดียวกัน

โดยทั่วไปแล้วในการทดสอบจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสมต่ำ เพื่อให้การทดสอบใกล้เคียงกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังอัดสูงจริงๆ ขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์และทดสอบจะมีดังนี้

#### 3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- กรวยซึ่งมีขนาดตามรูปที่ 3.1 มีความจุ 1.2 ลิตร
- บีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
- บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ

- บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
- กระจกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
- เครื่องผสม
- นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน
- เครื่องชั่ง 1 เครื่อง
- ปูนซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบ
- สารลดน้ำอย่างแรงที่ต้องการทดสอบ
- น้ำสะอาด
- น้ำแข็งเพื่อใช้ปรับอุณหภูมิ
- ถังน้ำ 3 ใบ
- ถังมือยาง
- เทอร์โมมิเตอร์

### 3.1.2 ขั้นตอนในการทดลอง

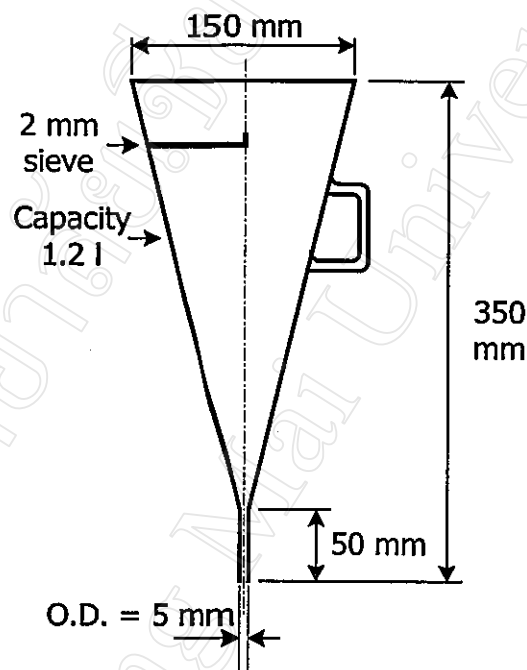
#### ก. หาปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม

ในการทดสอบนั้น ก่อนเริ่มทดสอบจริงเราต้องหาปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยวิธีในการหานี้เหมือนกับวิธีการทดสอบทุกประการ เริ่มจากใช้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 และปริมาณสารลดน้ำอย่างแรง 1 เปอร์เซ็นต์ ตรวจสอบดูว่าที่เวลา 5 นาทีซีเมนต์เพสต์ใช้เวลาในการไหลออกจากโคนอยู่ระหว่าง 60 - 90 วินาทีหรือไม่ ถ้ายังก็ให้ปรับเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ จนกว่าเวลาที่ซีเมนต์เพสต์ที่เวลา 5 นาทีใช้ในการไหลจนหมดโคนอยู่ระหว่าง 60 - 90 วินาที

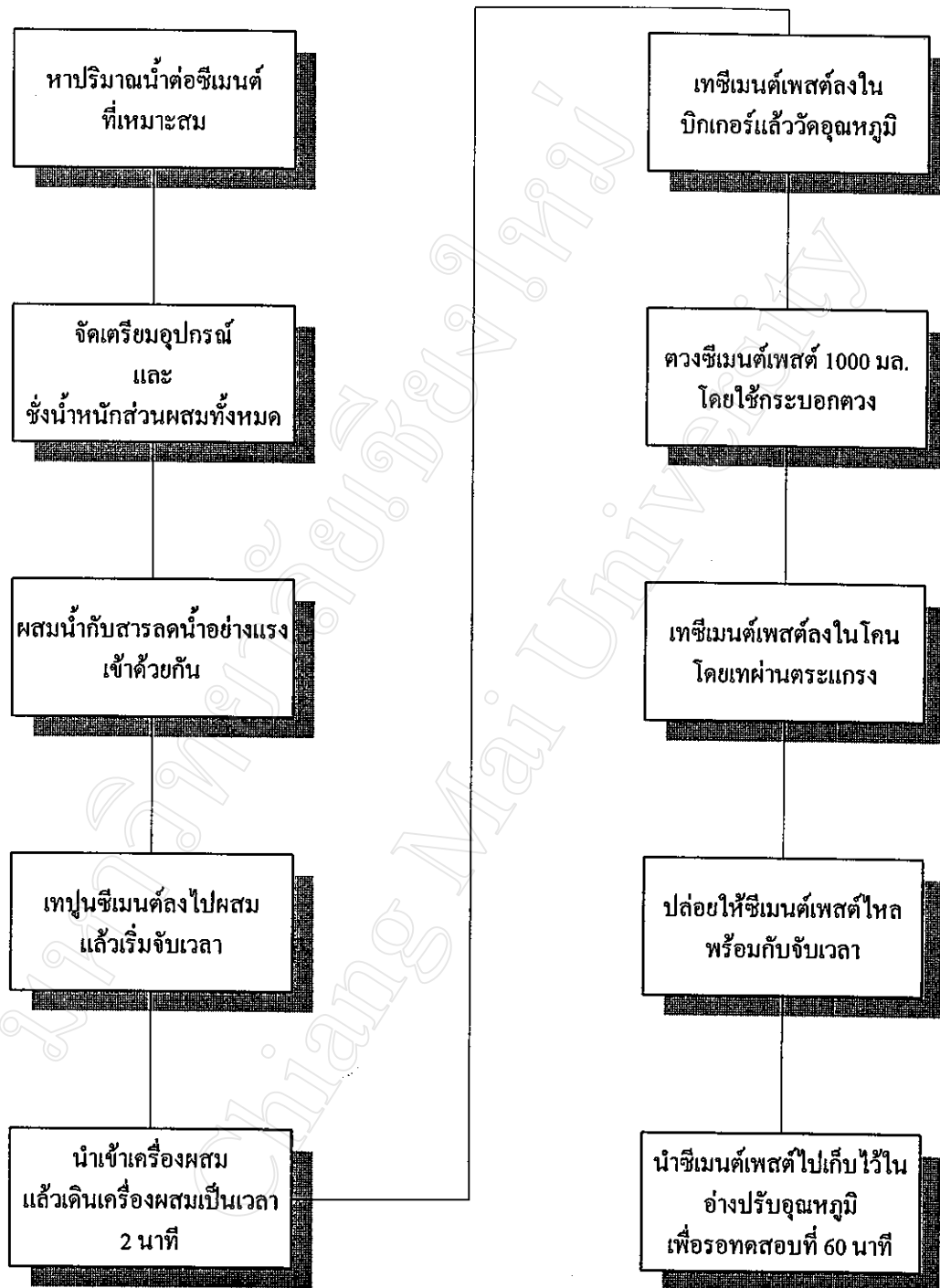
#### ข. วิธีการในการทดลอง

- ชั่งน้ำหนักน้ำ ปูนซีเมนต์และสารลดน้ำอย่างแรง
- ผสมน้ำ และสารลดน้ำอย่างแรงเข้าด้วยกันในภาชนะ
- เทปูนซีเมนต์ลงในภาชนะจนหมดแล้วเริ่มจับเวลา
- นำภาชนะใส่ในเครื่องผสมแล้วเปิดเครื่องเป็นเวลา 2 นาที
- เทซีเมนต์เพสต์ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 ม.ล. วัดอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์ (อุณหภูมิควรอยู่ที่ประมาณ 20 – 23 องศาเซลเซียส) ใช้เวลาโดยรวมประมาณ 100 วินาที

- เทซีเมนต์เพสต์ 1000 ม.ล. ลงในกระบอกตวงขนาด 1000 ม.ล.
- เทซีเมนต์เพสต์ลงในโคนโดยเทผ่านตระแกรง แล้วจับเวลาที่ซีเมนต์เพสต์ไหลออกจากโคนจนหมด
- วัดเวลาในการไหลอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที โดยจะต้องวัดอุณหภูมิ ก่อนทำการจับเวลาในการไหล



รูปที่ 3.1 โคนที่ใช้ในการทดสอบเวลาในการไหล  
ที่มา: Aïtcin (1998)



รูปที่ 3.2 กระบวนการทดสอบโดยวิธีใช้โคนวัดเวลาในการไหล



ภาพ 1 การเตรียมส่วนผสม



ภาพ 2 ผสมน้ำกับสารลดน้ำอย่างแรง



ภาพ 3 เทปูนซีเมนต์ลงไปภาชนะ



ภาพ 4 ผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องผสม



ภาพ 5 เทซีเมนต์เพสต์ลงในบีกเกอร์แล้ววัด  
อุณหภูมิ



ภาพ 6 เทซีเมนต์เพสต์ลงในกระบอกลง



ภาพ 7 เทซีเมนต์เพสต์ผ่านตระแกรง



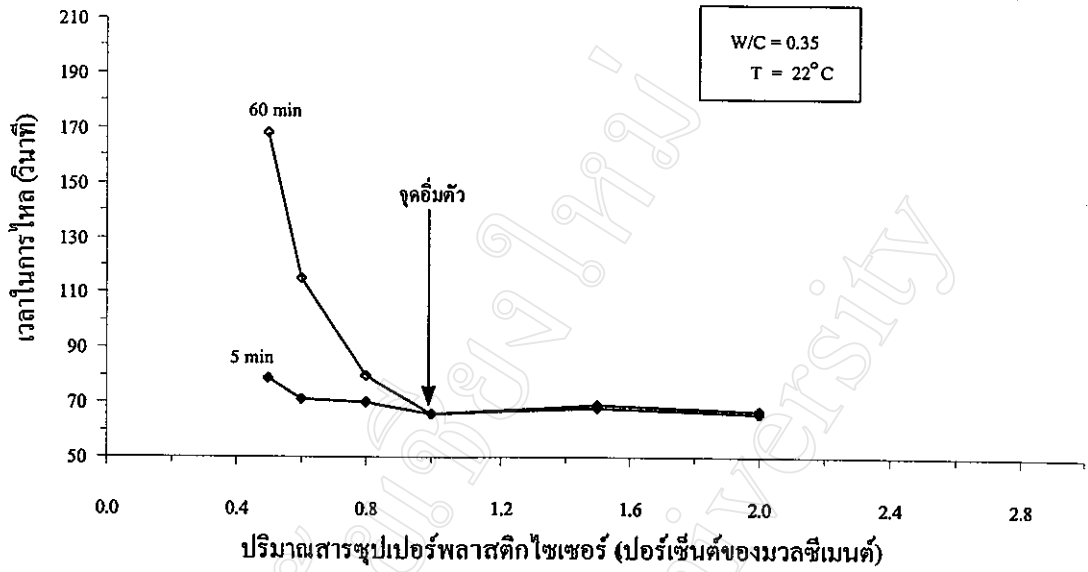
ภาพ 8 ปล่อยให้ซีเมนต์เพสต์ไหลแล้วจับเวลา



ภาพ 9 นำซีเมนต์เพสต์เก็บไว้ให้อ่างควบคุม  
อุณหภูมิเพื่อรอทดสอบต่อไป

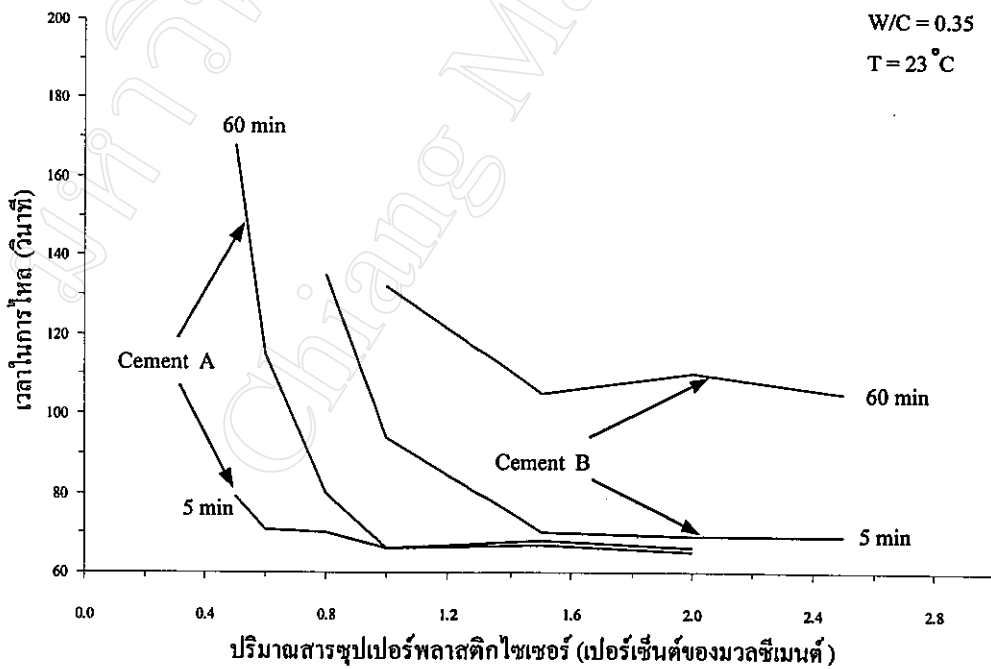
### รูปที่ 3.3 ภาพในการทดสอบวิธีใช้โคนวัดเวลาในการไหล

เมื่อทำการทดลองเรียบร้อยแล้ว ถ้าวัดเวลาในการไหลที่ได้ของซีเมนต์เพสต์ที่เวลา 5 นาที กับที่เวลา 60 นาที ใกล้เคียงกัน นั่นถือว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งกับสารลดน้ำอย่างแรงเข้ากันได้ดี และเมื่อดูจากกราฟถ้าใส่สารลดน้ำอย่างแรงมากเกินไป ปริมาณหนึ่ง ผลก็จะเหมือนเดิม คือเวลาในการไหลหรือความชันเหลวไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังรูปที่ 3.4 จุดที่กราฟแต่ละกันนั้น เราจะเรียกว่า “จุดอึดตัว” ซึ่งเป็นปริมาณของสารลดน้ำอย่างแรงที่เหมาะสมสำหรับซีเมนต์เพสต์ แต่เมื่อนำสารลดน้ำอย่างแรงไปผสมคอนกรีตจุดอึดตัวที่ได้ อาจไม่ใช่ปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงที่เหมาะสม เนื่องจากมีหินและทรายเข้ามาผสมร่วมด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองผสมคอนกรีตก่อน เพื่อหาส่วนผสมต่างๆ ที่เหมาะสมและได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามต้องการ แต่ถ้าเส้นกราฟที่ได้ เป็นเหมือนปูนซีเมนต์ B ดังรูปที่ 3.5 ก็สรุปได้ว่าปูนซีเมนต์เข้ากับสารลดน้ำอย่างแรงได้ไม่ดี



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของซีเมนต์เพสต์

ที่มา: Aïtcin (1998)



รูปที่ 3.5 แสดงเวลาในการไหลของซีเมนต์เพสต์ A และซีเมนต์เพสต์ B ที่มีปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงต่างกัน ซึ่งปูนซีเมนต์ B นั้นเข้ากับสารลดน้ำอย่างแรงได้ดี

ที่มา: Aïtcin (1998)

### 3.2 วิธีการทดสอบมินิสลัมพ์ (Minislump Method)

วิธีนี้คล้ายกับการทดสอบความยุบตัวของคอนกรีต แต่ใช้ซีเมนต์เพสต์จำนวนเพียงเล็กน้อยแทนคอนกรีต โดยใช้มินิสลัมพ์โคนที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ซึ่งวิธีในการจัดเตรียมอุปกรณ์และทดสอบมีดังนี้

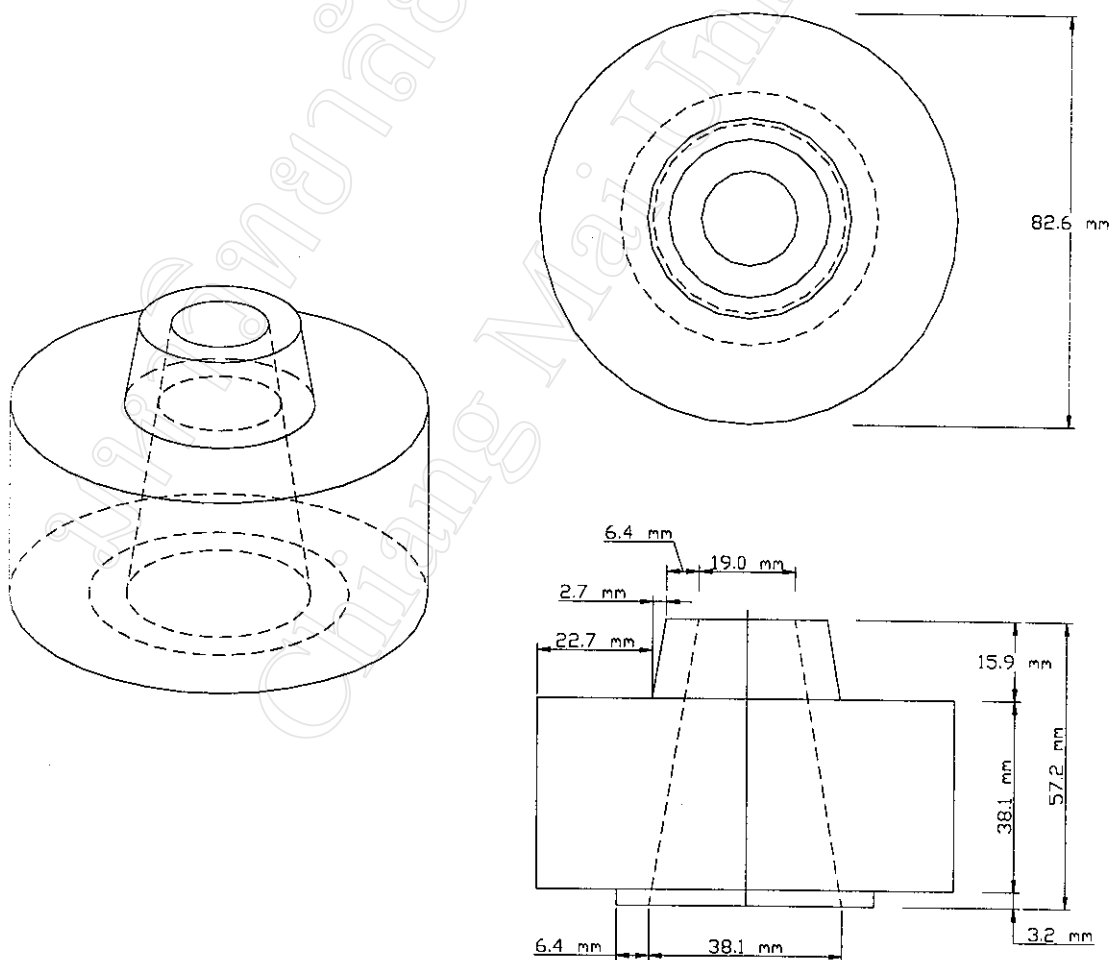
#### 3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- มินิสลัมพ์โคนซึ่งมีขนาดตามรูปที่ 3.6
- แผ่นแก้ว
- บีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
- บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
- บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
- เครื่องผสม
- นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน
- เครื่องชั่ง 1 เครื่อง
- ปูนซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบ
- สารลดน้ำอย่างแรงที่ต้องการทดสอบ
- น้ำสะอาด
- น้ำแข็งเพื่อใช้ปรับอุณหภูมิน้ำ
- ถังน้ำ 3 ใบ
- ถูมมือยาง
- เทอร์โมมิเตอร์
- ระดับน้ำ เพื่อปรับให้ระดับแผ่นแก้วขนานพื้น

#### 3.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง

- วางแผ่นแก้วลงบนโต๊ะ แล้วตรวจดูให้ได้ระดับ
- เตรียมปูนซีเมนต์ที่จะใช้ในการทดสอบจำนวน 700 กรัม
- ชั่งน้ำหนักน้ำในบีกเกอร์ โดยในการทดสอบจะใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับในวิธีทดสอบความชื้นเหลวโดยวิธีการจับเวลาที่ซีเมนต์เพสต์ไหลออกจากโคน น้ำต้องมีอุณหภูมิต่ำเพราะซีเมนต์เพสต์ที่จะทดสอบต้องมีอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส
- ชั่งสารลดน้ำอย่างแรงแล้วนำมาผสมกับน้ำในบีกเกอร์แล้วเทลงในภาชนะ

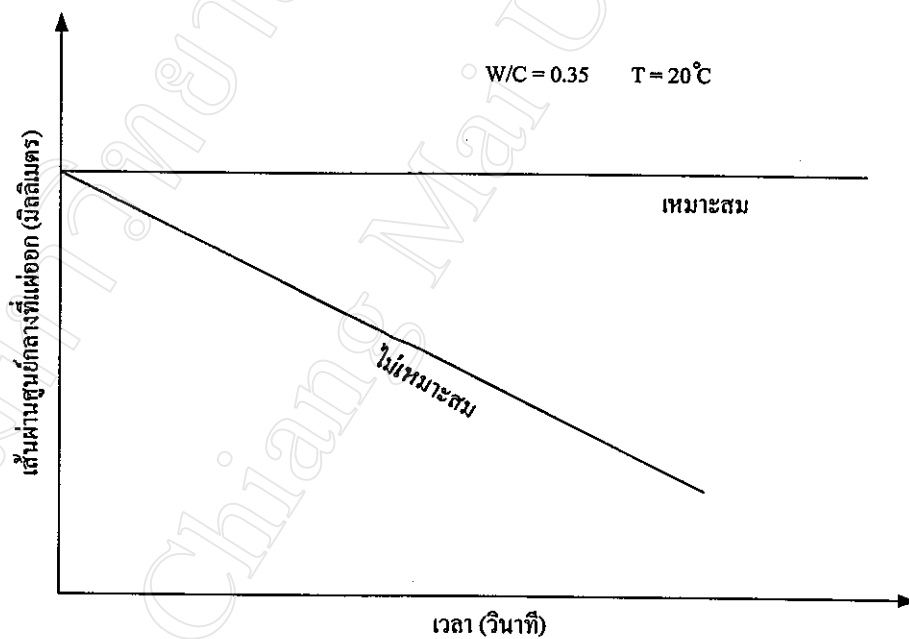
- เทปูนซีเมนต์ลงในภาชนะแล้วนำภาชนะใส่เข้าไปในเครื่องผสม
- ผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องผสมเป็นเวลา 2 นาที
- เทซีเมนต์เพสต์ลงในบีกเกอร์แล้ววัดอุณหภูมิ จากนั้นนำบีกเกอร์วางไว้ในถังน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิของซีเมนต์เพสต์
- เมื่อได้เวลาทดสอบ วางโคนลงตรงกลางแผ่นแก้ว ผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยแท่งคนสารอีกครั้งประมาณ 15 วินาทีเพื่อให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทซีเมนต์เพสต์ลงในโคน
- เคาะบนโคน 10 ครั้งก่อนที่จะยกโคนขึ้นอย่างรวดเร็ว ซีเมนต์เพสต์ก็จะแผ่กระจายบนแผ่นแก้ว



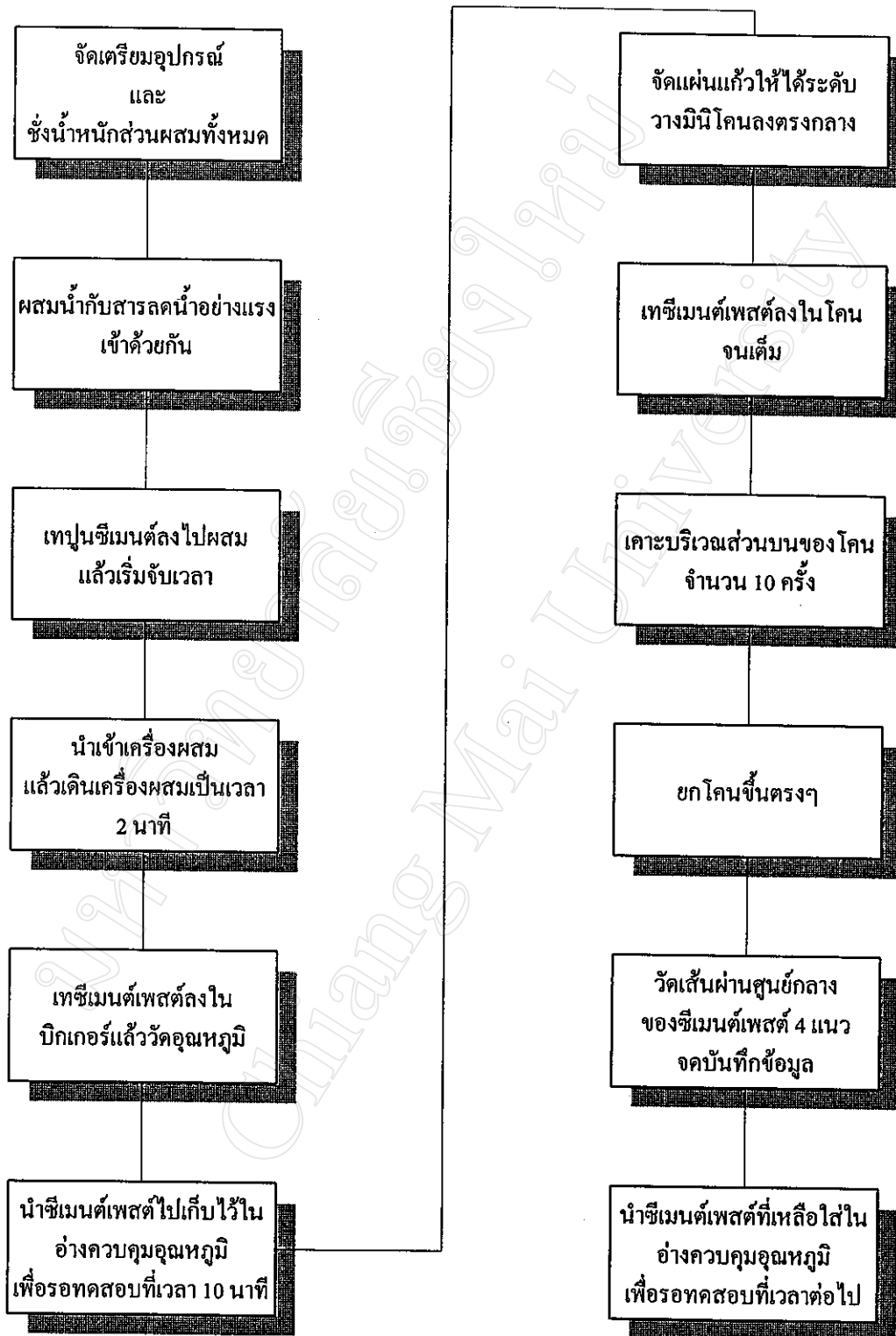
รูปที่ 3.6 รูปของมินิสลัมพ์โคน

- วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 แนวซึ่งตั้งฉากกันแล้ว หาค่าเฉลี่ย กรณีที่ซีเมนต์เพสต์แผ่อกไม่ก่อเป็นวงกลมเท่าที่ควร ให้วัดเพิ่มอีก 2 แนว
- นำบิกเกอร์ใส่ลงในอ่างเพื่อควบคุมอุณหภูมิ
- ล้างแผ่นแก้วและโคนให้สะอาดและเช็ดให้แห้งเพื่อรอทดสอบครั้งต่อไป

ในการทดสอบนั้นจะวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เวลา 10, 30, 40, 60, 90 นาที แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์กับเวลา ถ้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งกับสารลดน้ำอย่างแรงเข้ากันได้ดีเส้นกราฟจะเป็นเส้นตรงขนานแกนนอน เพราะสารลดน้ำอย่างแรงกระจายเม็ดซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี ทำให้ซีเมนต์เพสต์ไม่สูญเสียความสามารถในการเทได้เร็วเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะกราฟที่ปูนซีเมนต์กับสารลดน้ำอย่างนั้นเหมาะสมและไม่เหมาะสมกัน  
ที่มา: Aïtcin (1998)



รูปที่ 3.8 กระบวนการทดสอบโดยวิธีมินิสลัมพ์



ภาพ 1 การเตรียมส่วนผสม



ภาพ 2 ผสมน้ำกับสารลดน้ำอย่างแรง



ภาพ 3 การผสมโดยใช้เครื่องผสม



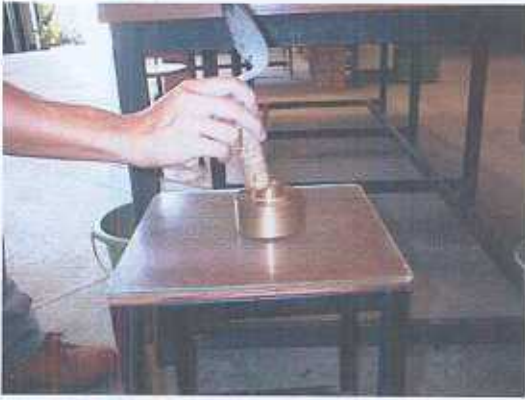
ภาพ 4 เทซีเมนต์พิเศษลงในบีกเกอร์แล้ว  
วัดอุณหภูมิ



ภาพ 5 นำซีเมนต์พิเศษแช่อยู่ในถังควบคุม  
อุณหภูมิ



ภาพ 6 มินีสลัมพ์โคนวางอยู่บนแผ่นแก้วซึ่งจัด  
ระดับเรียบร้อยแล้ว



ภาพ 7 เคาะบนมินิสถัมภ์โคน



ภาพ 8 วัดเส้นผ่านศูนย์กลางซีเมนต์เพสต์ที่  
แผ่นบนแผ่นแก้ว

รูปที่ 3.9 ภาพในการทดสอบวิธีมินิสถัมภ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Chiang Mai University