

รายงาน  
SPECIAL PROJECT



โครงการ

" การศึกษาคุณสมบัติเมื่อผสมซีเอนกลอนแทนซีเมนต์ "

จัดทำโดย

นายชนินทร์ รุ่งเรืองวัฒนา No. 29. 1903

นายธงชัย ศิลป์ชัย No. 29. 1906

ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ์

( รายงานการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา SPECIAL PROJECT. )

## หน้าอนุมัติ

ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี-  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้แนบรายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

.....

( อาจารย์ สุรัตน์ หวังเจริญ )

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง

กรรมการวัดผลการฝึกงาน :

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ศิลปชัย จานสุวรรณ)

..... กรรมการ

(อ.พศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ อำนวย นามิขกุลนงศ์)

..... กรรมการ

(อ.ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ)

..... 3/5/33 กรรมการ

(อาจารย์ วิบูลย์ ภูมิภณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ เกษม อมันตกุล)

..... กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(อาจารย์ ตักศิยา สถาบันฯ)

## กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีของรายงานการวิจัยฉบับนี้ ขอมอบให้แก่บุคคลที่ให้ความอนุเคราะห์  
ตลอดจนคำแนะนำต่างๆต่อผู้จัดทำดังมีรายนามต่อไปนี้

อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ

- อาจารย์ที่ปรึกษา และให้คำชี้แนะในการค้นคว้าวิจัยโครงการ

อาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล

อาจารย์ ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ

- อาจารย์ที่ให้คำชี้แนะและแนวทางในการค้นคว้า

ตลอดจนคณะเจ้าหน้าที่ประจำ SHOP , เพื่อนๆและรุ่นน้องที่ให้ความช่วยเหลือ.

คณะผู้จัดทำ

นาย ชรินทร์ รุ่งเรืองวัฒนา

นาย ธงชัย ศลศรีชัย

## คำนำ

รายงานการวิจัย SPECIAL PROJECT ฉบับนี้เป็นโครงการที่ทำการศึกษาค้นคว้าถึงคุณสมบัติบางประการของขี้เถ้าแกลบ (Rice Hull Ash) เมื่อนำมาผสมแทนที่ Cement โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาหาแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำเอาขี้เถ้าแกลบมาใช้แทน Cement ซึ่งในการศึกษาค้นคว้านี้จะพิจารณาในแง่ของคุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบของสารตัวอย่าง และคุณสมบัติทางกายภาพ ทางผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการวิจัยฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและผู้ที่จะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

คณะผู้จัดทำ.

นาย ชนิษฐ์ รุ่งเรืองวัฒนา 29.1903

นาย ธงชัย ศตศิริชัย 29.1906

อาจารย์ที่ปรึกษา.

อาจารย์ ศิลาปัสัย จานสุวรรณ

## สารบัญ

|                            | หน้า |
|----------------------------|------|
| บทนำ                       | 1    |
| วัตถุประสงค์               | 7    |
| ขั้นตอนการทำการวิจัย       | 8    |
| เบื้องต้นเกี่ยวกับการทดลอง | 9    |
| ขั้นตอนในการทดลองทางเคมี   | 15   |
| ขั้นตอนในการทดลองทางกายภาพ | 20   |
| ผลการทดลองทางเคมี          | 34   |
| ผลการทดลองทางกายภาพ        | 40   |
| กราฟแสดงผลการทดลอง         | 57   |
| ผลการทดลอง                 | 72   |
| บทสรุป                     | 75   |
| บรรณานุกรม                 | 76   |
| ภาคผนวก                    | 77   |
| - ตาราง                    | 78   |
| - รูปประกอบผลการทดลอง      | 82   |

## บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่ง มากกว่า 75 ประเทศในโลกที่สามารถปลูกข้าวได้จากการเก็บเกี่ยวโดยตรงได้เรียกว่า ข้าวเปลือก เมื่อนำข้าวเปลือกไปสีจะได้ข้าวสารที่มนุษย์นำมาบริโภค เปลือกข้าวที่ได้จากการสีนี้เรียกว่า "แกลบ" ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำไม่เหมาะที่มนุษย์จะนำไปบริโภค แกลบเป็นกากเหลือ (residue) ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากการสีข้าวครั้งหนึ่งจะได้แกลบ 16-26% หรือประมาณ 20% ของน้ำหนักข้าวเปลือก ปริมาณของแกลบจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดู ฤดูภูมิสภาพทางภูมิศาสตร์ วิธีการเพาะปลูก และประสิทธิภาพในการสีข้าวของแต่ละโรงสี นั่นคือในปีหนึ่งๆโลกจะมีปริมาณแกลบถึง 60 ล้านตัน โดยประมาณ

สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมและประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่วัยหนึ่งของโลก ปริมาณแกลบภายในประเทศในปีหนึ่งๆมีเป็นจำนวนมิใช่น้อย ดังแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 1 และ 2 จากตารางจะพบว่าในปีนั้นประเทศไทยมีแกลบอยู่ถึง 4.5 ล้านตัน ทำให้เกิดปัญหาอย่างมากในการนำแกลบมาใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือในการกำจัดผลพลอยได้ที่มีราคาต่ำนี้ (โดยปกติแกลบขายในราคาระหว่าง 25-250 บาทต่อตัน)

ปัจจุบันประเทศไทยเรามีการใช้แกลบส่วนใหญ่สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการสีข้าว เช่น ในปีพ.ศ. 2523 มีการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง 0.7 ล้านตัน หรือคิดเป็น 15% ของแกลบที่มีอยู่ใช้เป็นเชื้อเพลิง นอกนั้นใช้อีกเล็กน้อยในการบรรจุหีบห่อ เช่น ใส่ป้องกันไม่ให้เชื้อแบคทีเรียระหว่างการขนส่ง ใส่ป้องกันน้ำแข็งละลาย นั่นคือมีแกลบอีกประมาณ 85% ของปริมาณแกลบทั้งหมดหรือประมาณ 3.8 ล้านตันต่อปี ที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดปัญหาในการนำไปกำจัดหรือต้องนำไปทิ้งอย่างน่าเสียดายจึงน่าที่จะมีการส่งเสริมให้มีการค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับแกลบมากขึ้น เพื่อนำสิ่งที่ประเทศเรามีอยู่อย่างมากมายนี้ สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่าในแนวทางที่เป็นไปได้

### ลักษณะและองค์ประกอบของแกลบ

แกลบ คือ เปลือกข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวขาว มีลักษณะเหนียว แข็งคล้ายไม้ คม มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ หนานดัดดินฟ้าอากาศ และมีปริมาณเถ้าสูง แกลบมีความยาวประมาณ 5-10 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 1-2 มม. หนาประมาณ 0.5 มม.

แกลบในธรรมชาติ ประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ๆคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซลลูโลส (cellulose)

- ลิกนิน (lignin)

- siliceous material คือส่วนที่จะกลายเป็นเถ้า เมื่อทำการเผาด้วยความร้อนซึ่งเถ้านี้จะประกอบไปด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ (มากกว่า 95%)

แกลบประกอบด้วยทั้งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วลา ส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ซึ่งมักพิจารณาเมื่อกลายเป็นเถ้า และส่วนที่เป็นเถ้าซึ่งมี 13-29% ของแกลบ ดังแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 3 และที่ 4

ซิลิกอนปรากฏในแกลบ (เช่นเดียวกับที่อยู่ในส่วนอื่นของต้นข้าวและพืชอื่น) ปรากฏอยู่ในรูปซิลิกาอสัณฐานที่มีน้ำล้อมรอบ (hydrated amorphous silica) พืชนำซิลิกายืนมาจากดินและส่งไปยังลำต้นในรูปกรดโมโนซิลิกที่ละลายน้ำ เคลื่อนสู่ผิวหน้าขึ้นนอก และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการระเหย และพอลิเมอร์อยู่ในรูปเยื่อซิลิกา-เซลลูโลส เถ้าจากแกลบเป็นซิลิกาไม่บริสุทธิ์เล็กน้อย เมื่อเผาแกลบจนไม่มีคาร์บอนเหลืออยู่เถ้าที่ได้จะไม่มีสีหรือสีชมพู และเมื่อปริมาณของคาร์บอนที่เหลือเพิ่มขึ้น เถ้าที่ได้จะเป็นสีเทาไปจนถึงดำ แสดงว่ายังคงมีซิลิกาอสัณฐานหลงเหลืออยู่ จากการศึกษาด้วยเอกซ์-เรย์ดิฟแฟรกชัน แสดงให้เห็นว่าเถ้าสีชมพูประกอบด้วย ไตรดีไมต์ (tridymite) และ คริสโทบาลิต (cristobalite) ซึ่งเป็นรูปของผลึกซิลิกา (crystalline silica) ที่อุณหภูมิสูง

#### การใช้ประโยชน์จากแกลบ

การใช้แกลบทำให้เกิดประโยชน์ ได้รับความสนใจมานานหลายทศวรรษแล้ว เป็นผลให้มีการตีพิมพ์เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง โดยแบ่งการใช้ประโยชน์ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

##### 1. ทางด้านโภชนาการ

- ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เช่น เบ็ด ไก่ วัว ควาย เพื่อลดต้นทุน
- บำรุงให้สัตว์พวกเบ็ด ไก่ นอน เป็นการใช้ประโยชน์ที่เก่าแก่ที่สุด
- จากข้อมูลการวิเคราะห์แกลบพบว่ามีความสมดุลเป็นปุ๋ยได้เพียงเล็กน้อย

เท่านั้น แต่เมื่อปล่อยให้แกลบถูกย่อยสลายในดินจะทำให้ดินมีฟอสฟอรัสมากขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มการนำซิลิกายืนไปโดยพืช ซึ่งจะช่วยในการต้านทานแมลง

- ได้มีการใช้แกลบเป็นตัวค้ำจุลินทรีย์สำหรับพืชที่กำลังเจริญเติบโต โดยเทคนิคที่ไม่ต้องอาศัยดินที่เรียกว่า ไฮโดรพอนิกส์(hydroponic) สารอาหารที่จำเป็นจะอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งยังคงมีค่าใช้จ่ายจำกัดและแกลบจำเป็นต้องได้รับวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม

## 2. ทางด้านอุตสาหกรรม

- เป็นเชื้อเพลิง

ในการสีข้าวสำหรับโรงสี ในการทำให้เกิดความร้อนสำหรับเผาข้าวเปลือกให้แห้งก่อนที่จะนำไปเก็บและนำไปสี แกลบมีค่าความร้อน 1000-1600 แคลอรี และจากการคำนวณพบว่ากำลัง 1 แรงม้า ต้องการแกลบ 1.8-2.4 กก. นอกจากนี้ยังใช้แกลบอัดเป็นฟืนสำหรับเตาหุงข้าววิธีเดียวกันกับการทำจากเศษไม้ ค่าความร้อนที่ได้เป็นค่าความร้อนที่ได้เป็น 6113 บีทียู/ปอนด์ สำหรับแกลบ และสำหรับไม้ประมาณ 8450 บีทียู/ปอนด์

- คาร์บอนไนเซชัน(carbonization)

การกลั่นแห้งหรือคาร์บอนไนเซชันของแกลบ คือการให้ความร้อนในปริมาณที่จำกัดหรืออากาศไม่เพียงพอ ซึ่งให้คาร์บอนละเอียดน้ำหนักเบา ของเหลวที่มีลักษณะเหมือนน้ำมันดินและแก๊ส กระบวนการนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในสหรัฐอเมริกาในการผลิต (นอกเหนือจากถ่าน) สารเคมี เช่น กรดแอซิดิก เมทานอล แอซีโตน เมทิลเอทิลคีโตน และน้ำมันดิน แต่ความสำคัญของกระบวนการนี้ได้ลดน้อยลงเมื่อสารเคมีสามารถผลิตได้โดยวิธีอื่นที่ถูกกว่า

- ทำเป็นฉนวน

เนื่องจากแกลบมีค่าการนำไฟฟ้า (k value) ต่ำจึงเป็นฉนวนที่ดี ใช้ทำฝ้าเพดาน แกลบที่นำมาใช้ต้องถูกทำให้แห้งน้ำ ไฟ แผลง พบว่ากรดฟอสฟอริก 20% หรือกรดบอริกต่อบอแรกซ์ 60:40 ให้ผลที่ดีในการทนไฟ แกลบที่ถูกทำปฏิกิริยากับกรดจะมีค่าการนำไฟฟ้า 0.02 ต่ำกว่าแกลบที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์น้อยลงเนื่องจากมีพอลิยูรีเทนเข้ามาแทนที่

- ทำเป็นวัสดุก่อสร้าง

เช่น บล็อกคอนกรีต อิฐ กระเบื้องปูพื้น ฯลฯ จุดประสงค์สำคัญคือเพื่อทำเป็นอิฐหรือคอนกรีตน้ำหนักเบาและมีสมบัติเป็นฉนวนดีขึ้น ตัวอย่างเช่น บล็อกที่ทำจากซีเมนต์ต่อซีเถ้าแกลบเป็นอัตราส่วน 1:2:1 น้ำหนักประมาณ 16 ปอนด์ จะมีความ

ทนแรงดึง (tensile strength) ประมาณ 1100 psi. และอ่อนกว่าคอนกรีตบล็อก สามารถตัดได้ด้วยเลื่อยมือธรรมดา ตอกตะปูหรือสกรูได้เช่นเดียวกับไม้ นอกจากนี้ยังทนไฟ และเป็นฉนวนที่ดี ดังแสดงความทนแรงอัด (compressive strength) ของซีเมนต์ที่ผลิตได้ ในตารางภาคผนวกที่ 5

#### - ทำกระดาก

นอกจากปริมาณแอลฟาเซลลูโลสในแกลบจะต่ำกว่าไม้แล้ว เส้นใยยังสั้นเกินไป ทำให้กระดากที่ได้มีสมบัติไม่ดี และยังมีปัญหาเกี่ยวกับการเอาเพนโทซาน (pentosan เป็นเฮมิเซลลูโลสในแกลบ) และซีเถ้าที่เหลือออกเพิ่มอีก จึงไม่เป็นที่ยอมรับ การนำไปใช้เชิงพาณิชย์

#### - ทำวัสดุสำหรับขัด

การใช้ประโยชน์นี้แบ่งออกเป็นหลายระดับ คือ

1. เป็นสารขัดถู (lumber-cleaning and polishing agents)
2. เป็นวัสดุสำหรับเป่า (soft-grit blasting materials)
3. เป็นสารขัดในสบู่มือ (abrasives in handsoaps)

จากการทดลองพบว่าแกลบยังคงมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผิวหน้าของท่อที่ทำด้วยเหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลืองหรือบรอนซ์ เมื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้น และยังคงใช้ได้กับการขัดส่วนเล็กๆที่ทำด้วยพลาสติก เราสามารถใช้แกลบทั้งอันสำหรับเป็นสารขัดถู ถึงแม้มันจะมีขนาดเล็กกว่าระหว่างการใช้ก็ตาม

- ใช้เป็นฟیلเลอร์และสารเติมแต่ง

- ใช้เป็นตัวพาและสารดูดซับ

- เป็นแหล่งของซิลิกา

ในแกลบมีซิลิกาประมาณ 20% ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีสิ่งปนเปื้อนอื่นต่ำ ซิลิกาจากแกลบต้องแข่งขันกับแหล่งของซิลิกาที่มีราคาถูกอื่นๆ เช่น หวายเบนโทไนท์ (bentonite) และดินไดอะตอม (diatomaceous earth) แต่ซิลิกาจากแกลบยังคงได้เปรียบเนื่องจากมีปริมาณของธาตุที่ไม่ต้องการต่ำ

#### การใช้ประโยชน์ซีเถ้าจากแกลบ

ซีเถ้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (สีเทา) หรือปราศจากคาร์บอน (ชมพูหรือขาว) สามารถใช้แทนซีเถ้าที่มีคาร์บอนสูง (สีดำ) ได้หลายประการ สิ่งหนึ่งที่ยังคงใช้คือใช้ทำสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบเครื่องจักร สบู่กวนมือ เช่นเดียวกับการใช้แกลบบดทำ ดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้วก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวปรับสภาพดินตลอดไปจนถึงเป็นส่วนประกอบของสารขัดพื้นในยาสีพื้น

### 1. ใช้ทำเป็นสารดูดและขจัดน้ำมัน

ระหว่างการเผา ผิวหน้าของซิลิกาที่อยู่ในรูปของกรดอะลิกซิลิก (polysilicic acid) จะถูกดึงเอาน้ำออกบางส่วนและเข้ากันได้ดีกับน้ำมันมากกว่าน้ำ จากลักษณะนี้รวมกับอนุพันธ์ที่มีอยู่มาก ทำให้ซิลิกาสามารถดูดซับและเก็บน้ำมันหรือจารบีไว้ได้ ในปริมาณมาก ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการใช้เป็นสารกำจัดน้ำมัน ตามสถานประกอบการ น้ำมัน โรงปฏิบัติการเครื่องจักร เครื่องยนต์ เป็นต้น

### 2. ใช้เป็นตัวพา

เนื่องจากอนุพันธ์ที่มีมากทำให้ซิลิกาที่มีประสิทธิภาพในการเป็นตัวพาสำหรับ ตัวเร่งปฏิกิริยา ยาฆ่าแมลง และยาฆ่าเชื้อราได้อีกด้วย

### 3. ใช้เป็นสารทำให้ข้น (thickening agent)

4. ใช้เป็นสารดูดความชื้น โดยการนำไปผลิตเป็นซิลิกาเจล (precipitated silicic acid)

### 5. ทำวัสดุทนไฟ

นอกจากอนุพันธ์แล้วยังมีการต้านทานความร้อนสูงด้วยจึงเหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุทนไฟชนิดต่างๆ เช่นมีการผลิตอิฐทนไฟน้ำหนักเบามาก และแผ่นเซรามิกดูด ความร้อนที่มีอนุพันธ์ละเอียด แผ่นนี้ใช้เครื่องให้ความร้อนจากการใช้อากาศร้อน อิฐที่ได้มีความ แข็งดี มีปริมาตรคงที่และมีความเป็นฉนวนสูง และไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการทำให้มีขนาด หรือรูปร่างตามต้องการ อย่างไรก็ตามตลาดสำหรับอิฐทนไฟนี้ยังคงอยู่ในวงจำกัด

นอกจากนี้ยังมีการนำซิลิกาไปใช้ในฐานะที่เป็นแหล่งซิลิกาอีกมากมาย รวมทั้ง ไปถึงการใช้ซิลิกาที่ละเอียดเป็นสารช่วยการแขวนลอย (suspension agent) ใน พอร์ซีเลนอีนาเมล ซิลิกาใช้ในการทำแก้วซิลิกา (silica glasses) ชนิดพิเศษหรือ ทำเป็นแก้วโซดา (soda-lime glasses) ถ้าแกลบนั้นถูกนำไปทำกับด่างก่อนนำมาเผา

กล่าวได้ว่าซิลิกาที่มีคาร์บอนต่ำเป็นแหล่งดีเลิศสำหรับการผลิตวัสดุพิเศษ ซิลิกเกต การไม่มีคาร์บอนและสารอินทรีย์ทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซิลิกา ที่เหลือจากกระบวนการผลิตซิลิกาคลอไรด์ ก็เหมาะสำหรับการนำมาผลิตซิลิกเกต

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การใช้ประโยชน์จากแถบขึ้นกับการพิจารณาทาง  
เศรษฐกิจ สังคม ข้อมูลการตลาด และเทคนิคในการผลิต

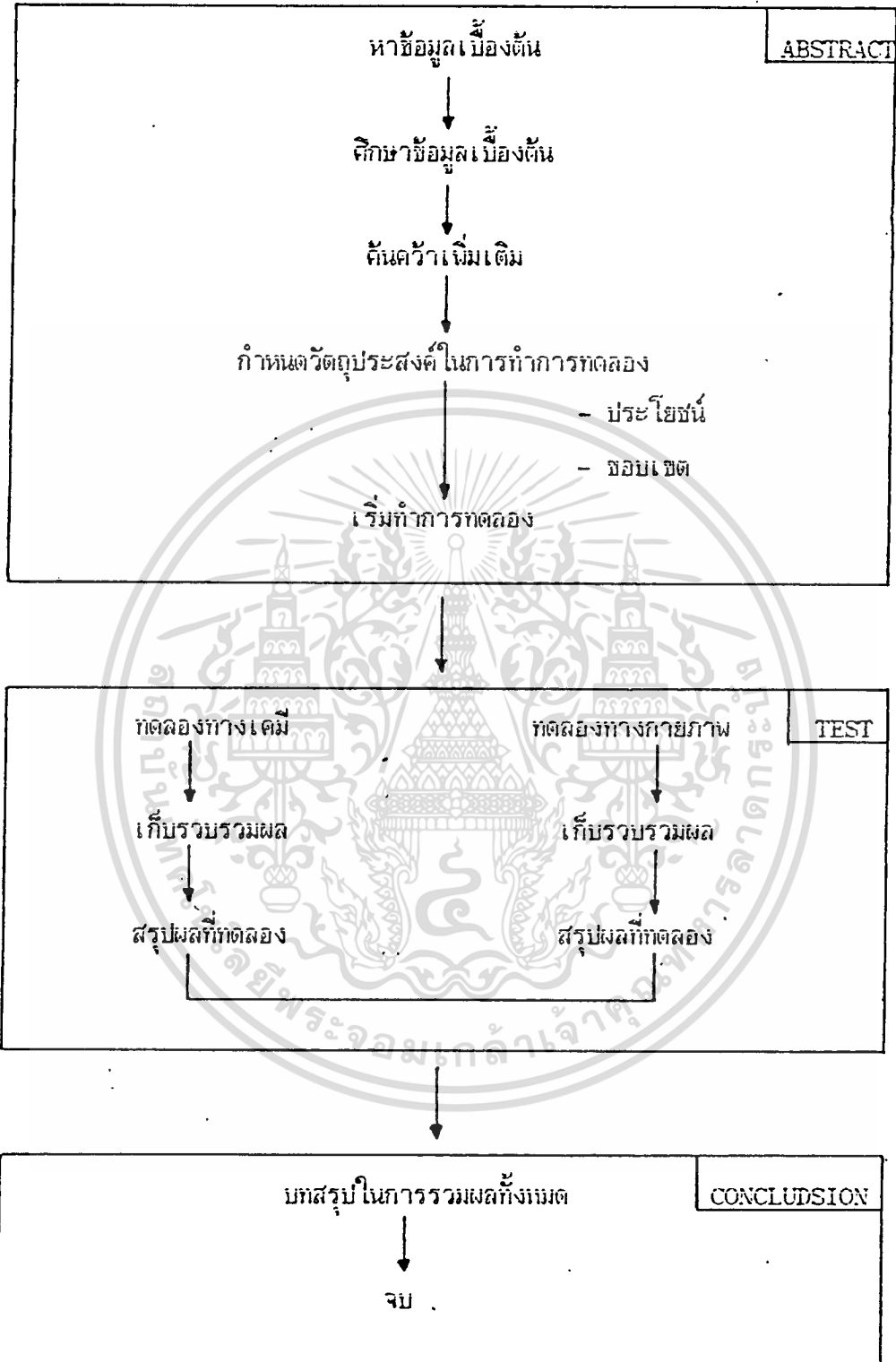


## วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โครงงานวิจัยนี้ "การศึกษาคุณสมบัติเมื่อผสมซีเมนต์เก่าทดแทนซีเมนต์" เป็นงานวิจัยประยุกต์เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำซีเมนต์เก่าทดแทน ซึ่งปกติเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและยังมีการนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์น้อยมาก มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า โดยการนำซีเมนต์เก่ามาศึกษาหาคุณสมบัติ ทางเคมีและทางกายภาพ โดยเฉพาะในแง่ที่เกี่ยวกับการทดแทนซีเมนต์ ซึ่งในปัจจุบัน เป็นวัสดุก่อสร้างที่มักจะขาดแคลน และมีแนวโน้มว่าราคาจะสูงขึ้น



# ขั้นตอนในการทำการวิจัย



## เบื้องต้นเกี่ยวกับการทดลอง

ในการวิจัยที่จัดทำขึ้นนั้น ผู้จัดทำได้พยายามที่จะทดสอบและตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารตัวอย่าง โดยสามารถที่จะจำแนกรายละเอียดของการทดลองออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ที่สำคัญคือ

หมวดที่ 1 เป็นการทดลองทางด้านคุณสมบัติ องค์ประกอบทางด้านเคมีของสารซีเมนต์ (Rice - Hull - Ash) โดยได้ทำการแยกสารเพื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของซีเมนต์

หมวดที่ 2 เป็นการทดลองทางด้านกายภาพ และคุณสมบัติการรับแรงของตัวอย่างซีเมนต์มอลต้าที่นำมาผสมกับซีเมนต์ (Rice - Hull - Ash) ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้น และหาความสัมพันธ์ที่แปรเปลี่ยนไป ซึ่งเงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นนั้นจะเป็นเงื่อนไขที่สามารถแปรเปลี่ยนไปได้ เช่น ปริมาณทราย, ปริมาณแกลบ และ Water / Cement Ratio เป็นต้น



## หมวด 1 การศึกษาทางเคมี

- 1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกาและองค์ประกอบย่อยอื่นๆในแกลบ
  - โดยปริมาตร
  - โดยน้ำหนัก
  - เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์
- 1.2 การหาปริมาณแคลเซียม
- 1.3 การหาปริมาณฟอสฟอรัส
- 1.4 การหาปริมาณซัลเฟอร์

## หมวด 2 การศึกษาทางกายภาพ

- 2.1 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์แกลบ  
(Test for Specific Gravity of RHA)
- 2.2 การทดสอบความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ต้า  
(Test for Consistency of Cement Mortar)
- 2.3 การทดสอบแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้าผสมซีเมนต์แกลบ  
(Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortar Plus RHA)
- 2.4 การทดสอบหาค่ารับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมซีเมนต์แกลบ  
(Test for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar Plus RHA)
- 2.5 การทดสอบหาส่วนขนาดละเอียดของมวลละเอียดของซีเมนต์แกลบ  
(Sieve Analysis of Fine Aggregate of RHA)
- 2.6 การทดสอบหาปริมาณความชื้นของซีเมนต์แกลบ  
(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)
- 2.7 การทดสอบหาแรงดึง และแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า  
(Test for Compressive-Tensile Strength of Cement Mortar)
- 2.8 การทดสอบโดยการผสมปูนขาวเพิ่มเข้าไป
- 2.9 การทดสอบแรงกระแทก และความทนทาน
- 2.10 การทดสอบการทนต่อการไฮโดรคลอริค และ กรดซัลฟูริก

หมายเหตุ ในหัวข้อ 2.3, 2.4 ได้แยกเป็น Case ต่างๆ ดังนี้

2(3-4).1 Vary % แกลบ โดยน้ำหนัก

| W   | C   | H   | S   |
|-----|-----|-----|-----|
| 0.6 | 1.0 | 0.0 | 2.0 |
| 0.6 | 65  | 35  | 2.0 |
| 0.6 | 50  | 50  | 2.0 |

\* Curing 3 วัน

ทรายผ่าน Sieve เบอร์ 30

2(3-4).2 Vary ขนาดแกลบ

| W   | C    | H    | S   |
|-----|------|------|-----|
| 0.6 | 0.75 | 0.25 | 2.0 |

\* Curing 3 วัน

ทรายผ่าน Sieve เบอร์ 30

แกลบผ่าน Sieve เบอร์ 10

เบอร์ 20

เบอร์ 40

2(3-4).3 Vary การบ่ม

| W   | C   | H   | S   |
|-----|-----|-----|-----|
| 0.6 | 0.8 | 0.2 | 2.0 |

\* Curing 3, 7, 28 วัน

ทรายผ่าน Sieve เบอร์ 30

2(3-4).4 Vary ปริมาณทราย

| W   | C   | H   | S    |
|-----|-----|-----|------|
| 0.6 | 0.6 | 0.4 | 1.75 |
| 0.6 | 0.6 | 0.4 | 2.0  |
| 0.6 | 0.6 | 0.4 | 2.25 |

\* Curing 24 ชั่วโมง

ทรายผ่าน sieve เบอร์ 30

(มีการ Check Void ด้วย)

2(3-4).5 Vary W/C Ratio

| W   | C    | H    | S   |
|-----|------|------|-----|
| 0.5 | 0.75 | 0.25 | 2.0 |
| 0.6 | 0.75 | 0.25 | 2.0 |
| 0.7 | 0.75 | 0.25 | 2.0 |

\* Curing 3 วัน

ทรายผ่าน sieve เบอร์ 30

หมายเหตุ ในหัวข้อ 2.7-2.10 แยกเป็นกรณี ดังนี้

## 2.7 การทดสอบหาแรงดึงและแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า

| W   | C   | H   | S   |
|-----|-----|-----|-----|
| 0.6 | 1.0 | 0.0 | 2.0 |

+ Curing 5,13,17 วัน  
ทรายผ่าน Sieve เบอร์ 30

## 2.8 การทดสอบโดยการผสมปูนขาวเริ่มเข้าไป

| W   | C   | H   | S   | L   |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.6 | 0.7 | 0.3 | 2.0 | 0.1 |
| 0.6 | 0.7 | 0.3 | 2.0 | 0.2 |
| 0.6 | 0.7 | 0.3 | 2.0 | 0.3 |

+ No Curing.

## 2.9 การทดสอบแรงกระแทกและความทนทาน

| W   | C    | H    | S   |
|-----|------|------|-----|
| 0.6 | 1.0  | 0.0  | 2.0 |
| 0.6 | 0.65 | 0.35 | 2.0 |
| 0.6 | 0.50 | 0.50 | 2.0 |

+ Curing 3 วัน  
ทรายผ่าน Sieve เบอร์ 30

## 2.10 การทดสอบการทนต่อการไฮโดรคลอริค และ กรดซัลฟูริก

| W   | C   | H   | S   |
|-----|-----|-----|-----|
| 0.6 | 0.8 | 0.2 | 2.0 |
| 0.6 | 0.6 | 0.4 | 2.0 |
| 0.6 | 1.0 | 0.0 | 2.0 |

+ Curing 3 วัน

Curing กรด 5 วัน

ใช้กรดเข้มข้น 25 %





ขั้นตอนในการทดลองทางเคมี

## การวิเคราะห์หาปริมาณซิลิกาและองค์ประกอบย่อยอื่น ๆ ในแกลบ

ทำการทดสอบหาซิลิกาโดยวิธีการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์โดยปริมาตร เทคนิคเอกซ์-เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ และองค์ประกอบย่อยอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีนหยาบ ปริมาณเส้นใยหยาบ

### การหาปริมาณซิลิกา

#### 1. โดยวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (gravimetric analysis)

นำซี้แกลบ 0.3244 กรัม ใส่ลงในชามระเหย เติมน้ำ 15 มล. เติมหกรดไฮโดรคลอริก 1:1.25 มล. ระเหยของเหลวให้แห้งในอ่างน้ำเดือด คนด้วยแท่งแก้วตลอดเวลา เมื่อแห้งแล้วนำชามระเหยไปอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมหกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มล. รินน้ำ 75 มล. ลงในชามระเหย นำไปให้ความร้อนบนอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที กรองแยกซิลิกาออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนที่กรองได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1:20 อุ่น ๆ 20 มล. แล้วล้างด้วยน้ำร้อน จนกระทั่งไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่ น้ำของเหลวที่ได้จากการกรอง (filtrate) เกล่งในชามระเหยครึ่งแรก นำไประเหยให้แห้งบนอ่างน้ำเดือด นำชามระเหยไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมหกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มล. รินน้ำ 75 มล. ลงในชาม นำไปอุ่นบนอ่างน้ำเดือด กรองผ่านกระดาษกรองอีกอันหนึ่ง ล้างตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1:100 อุ่น ๆ 20 มล. และล้างครั้งสุดท้ายด้วยน้ำร้อนเล็กน้อย ทับกระดาษกรองที่ขึ้น ๆ ทั้ง 2 อัน ลงในถ้วยกระเบื้องที่ได้ซึ่งน้ำหนักไว้แล้ว วางถ้วยให้เอียงเล็กน้อย ปล่อยให้เหลวไหลทิ้ง ๆ ทำให้กระดาษกรองเป็นเถ้าแล้วเผาคาร์บอนด้วยเปลวไฟต่ำ ๆ เมื่อคาร์บอนทั้งหมดถูกออกไซด์สหมดแล้ว ตั้งถ้วยตรงปิดฝาถ้วย ให้ความร้อนด้วยเปลวไฟสูงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ซึ่งน้ำหนัก นำไปเผาอีก จนได้น้ำหนักที่คงที่ เติมน้ำ 1 มล. กรดซิลิกาวีริกเข้มข้น 3 หยด และกรดไฮโดรฟลูออริก 48% 5 มล. ลงในถ้วยกระเบื้องให้ความร้อนด้วยถ้วยกระเบื้องด้วยเปลวไฟต่ำ จนของเหลวแห้ง ให้ความร้อนอีกจนน้ำหนักคงที่ ซึ่งน้ำหนัก น้ำหนักที่หายไปเป็นน้ำหนักของซิลิกา

#### 2. โดยวิธีการวิเคราะห์โดยปริมาตร (volumetric analysis)

นำซี้แกลบ 0.3309 กรัม ใส่ลงในถ้วยพลาสติก เติมน้ำ 20 มล. กรดไฮโดรฟลูออริก 48% 1.5 มล. เติมหงรีชเดียมฟลูออไรด์มากเกินไปจนคนจนละลาย เติมนินดิ

เคเตอร์ของ 0.2% บรอมโทมอลบลู และ 0.1% เป็นอัลฟากาซีน 1 มล. หยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นที่ละหยด จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง หยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 นอร์แมล จากบิวเรตต์ที่ละหยด จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีเขียวน้ำเงิน เติมน้ำกลั่นต้มเดือด 200 มล. โทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 นอร์มอล จนกระทั่งสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม บันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

#### การคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณซิลิกา ใช้สูตรการคำนวณดังนี้

1 มล. ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 นอร์แมล = 0.045 กรัมซิลิกา

3. โดยใช้เทคนิคเอกซ์-เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ (x-ray fluorescence) ส่งตัวอย่างนี้ไปทำการวิเคราะห์ที่กรมทรัพยากรธรณี

#### การหาปริมาณแคลเซียม

1. โดยการทำให้ตกตะกอนในรูปของแคลเซียมออกไซด์

นำเกล็ด 4.0094 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องนำไปเผาที่อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ถ่ายลงในบีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 40 มล. น้ำ 60 มล. และกรดไนตริกเข้มข้น 3 หยดลงในบีกเกอร์ ต้มให้เดือด 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นล้างสารละลาย และตะกอนทั้งหมดลงในขวดวัดปริมาตร 250 มล. เติมน้ำถึงปริมาตร เขย่า กรอง บีบอัด สารละลาย 50 มล. ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมกรดไฮดริก 5 มล. หยด เมทิลเรด 5 หยด เติมสารละลายแอมโมเนีย 1:1 สารละลายจะเป็นสีเหลือง เติมแอมโมเนียม 1:1 สารละลายเป็นสีแดง นำไปต้มจนเดือด เติมสารละลายแอมโมเนียมออกไซด์ที่เย็นลงไปจนข้น แล้วเติมสารละลายนี้ให้มากเกินพออีก 15 มล. คนสารละลาย ต้มจนเดือด ยกออกจากเตา ปิดด้วยกระดาษฟองน้ำ ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนปริมาณน้อย ๆ 5 ครั้ง ใช้แท่งแก้วคนเจาะกระดาษกรองจนทะลุ ล้างตะกอนลงในบีกเกอร์ด้วยน้ำร้อน หยดกรดไฮโดรคลอริกที่ร้อน 1:5 10 มล. ลงบนขอบกรวยและกระดาษกรอง ล้างด้วยน้ำร้อนอีกครั้ง เติมน้ำ 30 มล. นำสารละลายนี้ไปอุ่นที่ 80 องศาเซลเซียส โทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.1 นอร์แมล จนได้สีชมพูจาง ๆ ปรากฏอยู่ประมาณ 1 นาที บันทึกปริมาตรที่ใช้ไป

#### การคำนวณ

$$\% \text{ แคลเซียม} = \frac{\text{ml. KMnO}_4 \times 0.002 \times 100}{\text{น้ำที่สกัดตัวอย่าง}}$$

น้ำที่สกัดตัวอย่าง

## 2. โดยการไทเทรตด้วย อีดีทีเอ

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง ทำโดยชั่งซีไธำแกลบ 0.2507 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 500 มล. โดยใช้น้ำช่วยเล็กน้อย หยดกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลลงไปที่ละหยด จนกระทั่งไม่เกิดฟองและสารละลายใส เติมสารละลายไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์จนสารละลายเกือบเป็นกลาง เติมน้ำจนเต็มปริมาตร

ปิเปตต์สารละลายตัวอย่าง 25 มล. ใส่ลงในขวดรูปชมพู่เติมน้ำกลั่น 25 มล. สารละลายฟอสเฟอรัส 2 มล. Mg-EDTA 0.1 โมล 1 มล. เอจีไอโครมบลัดที่ 4 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลาย อีดีทีเอ 0.01 โมล จนกระทั่งสีเปลี่ยนจากสีแดงเหลืองไปเป็นสีฟ้าใส

การคำนวณ

$$1 \text{ มล. } 0.01 \text{ โมล EDTA} = 0.4008 \text{ มก. แคลเซียม}$$

การหาปริมาณฟอสเฟอรัส

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ทำโดยอบโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ซึ่งให้ได้น้ำหนัก 0.2203 กรัม ละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 500 มล. เขย่าให้เข้ากัน สารละลายนี้จะมีฟอสเฟอรัส 0.1 กรัม ต่อ 1000 มล. ปิเปตต์สารละลายที่ 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มล. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 50 มล. นำไปวัดแอมมอร์เนียม นำค่าที่วัดได้และมก. ของฟอสเฟอรัสมาทำกราฟมาตรฐาน (calibration curve) จะได้กราฟเส้นตรง

นำแกลบ 5.0326 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง เติมน้ำที่อุณหภูมิ 470 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เติมกรดไฮโดรคลอริก 1:1 15 มล. วางถ้วยกระเบื้องเหนืออ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที เติมน้ำในขวดวัดปริมาตร 250 มล. ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมด เติมน้ำจนได้ปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ข้ามคืน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์หนึ่ง ปิเปตต์สารละลายนี้มา 10 มล. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล. ใช้น้ำล้างคอขวดเล็กน้อย เติมกรดไนตริก 1:2 ลงไป 5 มล. เติมน้ำลงไปจนถึงครึ่งขวดแล้วนำไปตั้งไฟขนาดกลางจนเดือด ต้มต่อไปอีก 5 นาที เติมสารละลายแอมโมเนียมวานาเดต 15 มล. เขย่าขวดทันที เติมน้ำจนได้ปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เป็นเวลา 4 ชั่วโมง วัดความเข้มข้นของสีโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ช่วงคลื่น 420 นาโนเมตร เทียบกับเบลงค์ปกติ ซึ่งใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์เมื่อตัวอย่างทุกประการ

การคำนวณ

$$\% \text{ ฟอสฟอรัส} = \frac{P \times 250 \times 100}{W \times 10}$$

เมื่อ P = ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐานของสารตัวอย่าง

W = น้ำหนักของสารตัวอย่างมีหน่วยเป็นกรัม

สารละลายซีเ็ก้า = 250 มล.

ปริมาตรของสารละลายซีเ็ก้าที่มีเปิดมาวัด = 10 มล.

การหาปริมาณซีเ็ก้า

เผาแกลบ 3.1025 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง นำไปเผาด้วยตะเกียงเบนเซนในตู้อบควันจนหมดควัน แล้วนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\% \text{ ซีเ็ก้า} = \frac{\text{น้ำหนักซีเ็ก้า} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$



ขั้นตอนการทดลองทางกายภาพ

## การทดลองที่ 2.1

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์แก่กลบ

(Test for Specific Gravity)

A S T M : C 188-72

### วัตถุประสงค์

เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์แก่กลบคือ อัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร เนื้อแท้ของตัวมันเอง ซีเมนต์แก่กลบแต่ละชนิดจะมีความถ่วงจำเพาะเฉพาะตัวคงที่เสมอไป วัสดุและการจัดเตรียมตัวอย่าง

1. ซีเมนต์แก่กลบ ให้ตัดออกจากถุงหรือภาชนะเก็บได้เลขตามจำนวนที่ต้องการ (ประมาณ 100 กรัม) ให้เลือกตัดจากส่วนตอนกลางถุงหรือภาชนะเก็บในปริมาณ 5 กรัม แล้วนำมาทำ quartering คือการเก็บตัวอย่างแบบแบ่งเป็น 4 ส่วนแล้วเลือกเอาเฉพาะ 2 ส่วนตรงข้ามมาอีก หรือมาแบ่ง 4 ส่วนซ้ำอีก เพื่อให้ปริมาณที่ต้องการ
2. น้ำมันก๊าด หรือน้ำมันเบนซิน ประมาณ 500 มล.

### อุปกรณ์การทดลอง

1. ขวดแก้วสำหรับหาความถ่วงจำเพาะของเลอชาตาลีเย (La Chatalie) เป็นขวดแก้วใส มีขนาดบรรจุประมาณ 290 มล. กับขวดเป็นกะเปาะกลมหักและขยาย เป็นปล่องกลมเหนือกันขวด
2. ตาชั่ง (ความละเอียดอย่างต่ำ 0.2 กรัม)
3. ถ้วยตวง
4. ลวดแยง
5. ผ้าแห้งและแผ่นยาง
6. เฮอร์มิคเตอร์

### ขั้นตอนการทดลอง

1. เช็ดขวดแก้วให้สะอาด แล้วเติมน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันเบนซินลงในขวดแก้ว ให้ปริมาณอยู่ในระหว่าง 250 มล. และ 251 มล.
2. ใช้ผ้าน้ำมันที่ค้างอยู่ในช่องหลอดตีบทั้งหมด เสร็จแล้วนำขวดแก้วลงแช่น้ำ ที่ทราบอุณหภูมิอย่างน้อย 30 นาที จึงยกขึ้นมาอ่านระดับของน้ำมันครั้งแรก โดยให้ค่าที่อ่าน ได้เป็น  $m_1$  เนื่องจากระดับของน้ำมันก๊าดไม่เรียบตรงเหมือนน้ำธรรมดา ระดับของผิว

น้ำมันก๊าดจะเข้าเป็นรูปโค้งหงาย ดังนั้นการอ่านค่าระดับน้ำวัดที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้ง

3. ค่อยๆเติมขี้เถ้ากลบที่จัดเตรียมไว้ทีละน้อย ลงในขวดแก้ว มีข้อควรระวังคืออย่าให้ขี้เถ้ากลบหก และอย่าให้มีสารอื่นเจือปน ถึงตอนนี้ระดับของน้ำก๊าดหรือเบนซีนจะสูงขึ้นมาถึงคอขวดส่วนบนเมื่อเรียบร้อยแล้วให้กลิ้งขวดแก้วไปมาเพื่อไล่ฟองอากาศ การกลิ้งควรใช้ฝ่ามือหรือแผ่นยางนุ่มมารองรับและข้อสำคัญ คือ ควรปิดจุกขวดแก้วเสียก่อนเพื่อป้องกันการกระฉอกของน้ำมัน

หมายเหตุ ก่อนถึงขั้นตอนนี้หากเกรงว่าขี้เถ้ากลบจะขาดไปจากที่ได้เตรียมไว้ให้นำขวดแก้วที่เติมน้ำมันก๊าดแล้วไปซึ่งบันทึกน้ำหนักไว้ก่อน และเมื่อเติมขี้เถ้ากลบแล้วก็นำไปชั่งอีกครั้ง จะได้น้ำหนักที่แท้จริงของซีเมนต์ในขวดแก้ว

4. จากนั้นนำไปแช่น้ำที่ทราบอุณหภูมิ นานประมาณ 30 นาที ก่อนหยกขวดแก้วขึ้นให้ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำเสียก่อนว่าแตกต่างจากภาววัตถุที่วางแช่เกิน 0.2 องศาเซลเซียสหรือไม่ หากเกินจะต้องรอจนกว่าอุณหภูมิจะลดหรือเพิ่มให้อยู่ภายในขอบเขตที่ได้กล่าวแล้ว จึงจะยกขวดแก้วขึ้นมาได้ และอ่านระดับของน้ำมันก๊าดอีกครั้งหนึ่ง โดยให้เป็นระดับ  $n_2$

5. ค่าความกว้างจำเพาะของขี้เถ้ากลบจะได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 2 ครั้ง ค่าที่ได้จะต้องต่างกันไม่เกิน 0.01 โดยการแทนค่าเพื่อหาความกว้างจำเพาะจากสมการข้างล่างนี้

$$\text{ความกว้างจำเพาะ (Sp gr)} = \frac{\text{น้ำหนักขี้เถ้ากลบที่แท้จริงในขวดแก้ว}}{\text{ปริมาตรน้ำมันก๊าดส่วนที่เพิ่ม (n2-n1)}}$$

## การทดสอบที่ 2.2

การทดสอบหาความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์

(Test for Consistency of Cement mortar)

A S T M : C 230 - 61 T

### วัตถุประสงค์

เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เติร์บซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มาตรฐาน จากซีเมนต์ 1 ส่วนและทรายมาตรฐาน 3 ส่วน โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากันดี

2. เติร์บวัดความคุมการไหลให้พร้อม ด้วยการขีดส่วนต่างๆให้แห้งสนิท โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนจานกลม (plate) ที่จะวางบนซีเมนต์มอร์ตาร์ วางแบบทองเหลือง (mould) ลงตรงศูนย์กลางของจาน

3. ผสมซีเมนต์มอร์ตาร์ส่วนหนึ่งให้พอดีกับที่จะบรรจุลงในแบบ ด้วยอัตราส่วนของน้ำที่ต่ำสุด (ปากติควรเริ่มที่ 10%) คลุกเคล้าให้ทั่วกันดีแล้วจึงนำมาใส่ลงในแบบ โดยการแบ่งใส่เป็น 2 ชั้นๆละครึ่งแบบ แต่ละชั้นให้กะหุงด้วยไม้กระหุงมาตรฐานขนาด 1"x 5"x 0.5" จำนวน 20 ครั้ง เมื่อครบ 2 ชั้นแล้วจึงปาดมอร์ตาร์ส่วนเกินออกให้พอดีปากแบบ นำส่วนเกินออกไปให้พ้นจาน จากนั้นจึงค่อยๆยกแบบขึ้นตรงๆ อย่างระมัดระวัง

4. หมุนลูกเบี้ยวของโต๊ะควบคุมการไหล เพื่อให้จานเลื่อนสูงขึ้น 0.5" แล้วกระแทกลงกับแกนด้วยน้ำหนักของตัวมันเองให้ได้ 25 ครั้ง ภายในระยะเวลา  $15 \pm 1$  วินาที

5. เมื่อครบจำนวนครั้งแล้ว ทำการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่กระจ่ายออกไปรอบๆโดยวัดตามแนวเส้นที่ขีดไว้บนจานทั้งหมด 4 แนว รวมเป็น 4 ค่า บันทึกผลรวมทั้ง 4 ค่านี้ไว้พร้อมกับการวัดของน้ำที่ใส่

6. ผลรวมของเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่กระจ่าย เมื่อวัดตามแนวเส้นทั้ง 4 ค่า แล้วได้ค่าอยู่ระหว่าง 100-115 มม. ปริมาณน้ำที่ใส่จะเป็นปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับสมการความชื้นเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์

7. การทดลองไม่สามารถที่จะทำครั้งเดียวให้ได้ค่าดังแสดงงานขั้นตอนที่ 6 ได้ จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ แต่ละครั้งที่ทดลอง เพื่อให้ได้ค่าที่เพียงพอสำหรับนำ

มาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าการกระจายที่วัดได้กับอัตราส่วนของน้ำ แล้วจึงใช้  
กราฟเป็นอัตราส่วนหาค่าเหมาะสมต่อไป ในการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้ซีเมนต์มอร์ต้า  
มาตรฐานที่คลุกเคล้าเตรียมไว้ก่อนแล้วทุกครั้ง



## การทดลองที่ 2.3

การทดสอบหากล้างรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้า

(Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortar)

A S T M : C 190-72

### วัตถุประสงค์

เพื่อหากล้างรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้า เพื่อเปรียบเทียบกับกล้างรับแรงดึงตามมาตรฐาน

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1.ซีเมนต์ประมาณ 1000 ถึง 1200 กรัม สำหรับการทดสอบ 6 ตัวอย่าง และประมาณ 1500 ถึง 1800 กรัม สำหรับการทดสอบ 9 ตัวอย่าง
- 2.ทรายมาตรฐาน ปกติทรายมาตรฐานควรเป็นทรายจากอวดตาวา ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 30
- 3.ตะแกรงเบอร์ 20 และ 30
- 4.ตาชั่ง
- 5.Briquet Gang Molds ทำด้วยวัสดุที่ซีเมนต์ไม่ยึดเกาะ เช่น ทองเหลือง ภาชนะมีช่องสำหรับบรรจุซีเมนต์มอร์ต้ารูปโค้งรีและสอดเหล็กตรงกลาง
- 6.กระบอกล้างล้างน้ำ
- 7.เกรียงเหล็ก
- 8.เครื่องผสมมอร์ต้าตามมาตรฐาน ASTM
- 9.เครื่องทดสอบกำลังดึง ที่มีความสามารถในการให้แรงดึงต่อตัวอย่างโดยต่อเนื่องอัตรา 600  $\pm$  25 ปอนด์ต่อนาที
- 10.ถุงมือยาง

### ขั้นตอนการทดลอง

- 1.เตรียมซีเมนต์มอร์ต้ามาตรฐานและแกลบ ตามที่กำหนดในเงื่อนไข
- 2.การบรรจุซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบ
  - 2.1 ก่อนบรรจุซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบให้ทำผิวด้านที่สัมผัสกับซีเมนต์ด้วยน้ำมันพืชบางๆเตรียมไว้ก่อน จึงค่อยอัดซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบโดยไม่ต้องออกแรงกดใดๆเมื่อเต็มแล้วจึงใช้หัวแม่มือกดลงไป โดยออกแรงประมาณ 6-9 กก. จำนวน 12 ครั้งต่อช่องแบบ ซีเมนต์มอร์ต้าจะล้นแบบขึ้นมาเล็กน้อย ใช้เกรียงเหล็กปาดแต่งให้เรียบ
  - 2.2 นำแผ่นโลหะที่ทำน้ำมันพืชแล้วหรือแผ่นกระดาษมาปิดประกบปากแบบไว้ แล้วพลิกแบบกลับเอาด้านล่างขึ้นและอัดซีเมนต์มอร์ต้าด้วยวิธีการเดิม
  - 2.3 จากนั้นจึงเอาผ้าชุบน้ำพอหมาดมาปิดคลุม ตั้งทิ้งไว้ 20-24 ชม. จึงแกะแบบนำแท่งตัวอย่างไปบ่มในน้ำสะอาดให้ครบอายุตามต้องการ

3. เมื่อต้องการทดสอบตัวอย่างที่อายุครบกำหนด ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ  
ทิ้งให้ผิวแห้ง แล้วจึงนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องทดสอบ



## การทดลองที่ 2.4

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า

(Test for Compressive strength of Hydraulic Cement Mortar)

A S T M : C 109 - 70

### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้า โดยทำการหล่อก่อนทดสอบรูป  
ลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ลบ.ซม. เปรียบเทียบความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นหรือที่เปลี่ยนแปลง  
เนื่องจากปริมาณของน้ำผสม และระยะเวลาของการบ่ม

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1.ซีเมนต์(ประมาณ 500 กรัม สำหรับ 6 ตัวอย่างและ 750 กรัม สำหรับ 9  
ตัวอย่าง)
- 2.ทรายมาตรฐานที่คัดขนาดแล้ว
- 3.ตะแกรง
- 4.แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ลบ.ซม. ทำด้วยวัสดุที่ซีเมนต์ไม่ยึดเกาะ
- 5.หลอดแก้วกระทุ้งหรือวัสดุอื่นที่ไม่ดูดซึมน้ำ ไม่สึกหรอเมื่อถูกเสียดสี และไม่  
เปราะหักง่าย อาทิ แท่งยางแข็ง ไม้ ที่มีขนาดหน้าตัดประมาณ 13x25 มม. และมีความ  
ยาวประมาณ 120 ถึง 150 มม. หน้าตัดของปลายที่ใช้กระทุ้งต้องตั้งฉากกับแกนยาวของแท่ง
- 6.เครื่องผสมมอร์ต้า
- 7.เกรียงเหล็ก
- 8.เครื่องทดสอบกำลังอัด อาจเป็นแบบไฮดรอลิกหรือแบบกลีเยาหมุนโยกด้วยมือ
- 9.โต๊ะควบคุมการไหลพร้อมแบบกรวย (Flow Table)

### ขั้นตอนการทดลอง

- 1.การเตรียมอัตราส่วนของซีเมนต์, แกลบและทรายมาตรฐานเป็นไปตามเงื่อนไข
- 2.ผสมซีเมนต์มอร์ต้าด้วยเครื่องผสม ตามหลักการเดียวกันกับวิธีทดสอบที่ผ่านมา
- 3.จากนั้นใส่ซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบโดยใส่ลงไปครึ่งหนึ่งของความสูงแบบ(1")  
แล้วใช้แท่งกระทุ้งมาตรฐาน กระทุ้งให้ได้ 32 ครั้ง ใน 10 วินาที เมื่อเสร็จแล้วจึงใส่  
ซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบที่เหลือจนเต็ม และกระทุ้งอีก 32 ครั้ง ใน 10 วินาที เสร็จแล้ว  
ปาดผิวหน้าให้เรียบ ใช้ผ้าชุบน้ำพอหมาดคลุมและตั้งทิ้งไว้เฉยๆเป็นเวลา 24 ชม. จึงแกะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบน้ำแห้งตัวอย่างไปบ่มในน้ำ

4.ทดสอบกำลังยึดของตัวอย่างที่อายุ ตามเงื่อนไขที่กำหนด ตามลำดับ การนำ  
แห้งตัวอย่างขึ้นจากน้ำหากนำขึ้นมาก่อนเวลาทดสอบ 24 ชม.ให้คลุมด้วยผ้าหมาดไว้จนถึง  
เวลาทดสอบ เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง บัดเม็ดทรายหรือสะเก็ดที่ติดผิวน้ำออก ข้อควรระวัง  
ก็คือ จะต้องให้ผิวหน้าเรียบจริงๆหากரிคังหรือไม่สม่ำเสมอเพียง เล็กน้อย ให้นำด้วย  
กระดาษทรายน้ำละเอียด ถ้าริคังหรือขรุขระมากเกินไปให้นำมาทดสอบ



## การทดลองที่ 2.5

การทดสอบหาส่วนขนาดละเอียดของซีเมนต์

(Sieve Analysis of F-H-A)

A S T M : T 27 - 78

### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาขนาดของซีเมนต์ที่ใช้ตะแกรงขนาดมาตรฐาน สำหรับหาค่าพิถีความละเอียด (Fineness modulus) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิกิริยาโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคนิวคลีอัมที่กำหนดให้ นั่นคือมวลรวมที่ยังหยาบ ค่าพิถีความละเอียดก็ยิ่งสูงขึ้น

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. มวลรวมหยาบ คือ ซีเมนต์ประมาณ 5 กก.
2. ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100
3. เครื่องเขย่าตะแกรง
4. ตาชั่งขนาดใหญ่
5. เตาดอบ

### ขั้นตอนการทดลอง

การหาส่วนขนาดละเอียดของซีเมนต์

1. เตรียมซีเมนต์สำหรับทดสอบ ด้วยการตรวจดูว่าชื้นหรือไม่ ปกติควรเป็นทรายที่แห้งหากชื้นเกินไปควรอบเสียก่อน

2. เตรียมชุดของตะแกรง ด้วยการทำความสะอาด ให้นำมีดเชือดมาแทงค้ำอยู่จนช่องซึ่งน้ำหนักของตะแกรงทุกขนาด และบันทึกไว้ พร้อมกับจัดเรียงซ้อนตามลำดับ พร้อมภาตรองอยู่ล่างสุด

3. ค่อยๆ เทซีเมนต์ที่เตรียมพร้อมไว้ ลงในชุดตะแกรงปิดฝาให้สนิท แล้วนำไปเข้าเครื่องเขย่า จับเวลาประมาณ 10 นาที

4. ถึงขณะนี้ซีเมนต์ที่มีขนาดต่างๆจะถูกแยกแยะไปอยู่ในตะแกรงขนาดต่างๆ เช่นกัน ให้นำตะแกรงที่มีเกล็ดค้ำค้ำอยู่นั้นไปชั่ง และจดบันทึกไว้อีกครั้งหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าพิถีความละเอียดต่อไป

## การทดลองที่ 2.6

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม

(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying)

A S T M : C 566 - 67

### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาอัตราของปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวม คือ ชี้แก้วแกลบ โดย การทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับซึ่ง พหุคูณกรวด

### วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. ชี้แก้วแกลบใช้ประมาณ 0.5 กก.
2. ทรายที่วัดละเอียดถึง 0.1%
3. เตาเผา
4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง
5. แท่งเหล็กสำหรับคนมวลรวม

### ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักของชี้แก้วแกลบซึ่งนำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุ นำไป ใส่หือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนแกลบระยะๆ เพื่อให้แกลบได้รับความร้อนทั่วถึงกัน
2. เมื่อชี้แก้วแกลบแห้งสนิทดีแล้วนำไปหาน้ำหนักอีกครั้ง
3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในชี้แก้วแกลบ จะหาได้จากสูตร

$$p = 100(W-D)/D$$

p = ปริมาณความชื้น, %

W = น้ำหนักชี้แก้วแกลบก่อนเผา

D = น้ำหนักชี้แก้วแกลบหลังเผา

ส่วนปริมาณความชื้นรอบผิวของชี้แก้วแกลบจะหาได้จากค่าแตกต่างระหว่าง ปริมาณความชื้นรวมกับอัตราการดูดซึมของชี้แก้วแกลบนั่นเอง

## การทดลองที่ 2.7 และ 2.8

การทดสอบแรงดึง แรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์และซีเมนต์มอร์ตาร์เมื่อผสมปูนขาว

### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาค่ารับแรงดึงและแรงอัดของ Cement mortar และของ Cement mortar เมื่อผสมปูนขาวเข้าไปบางส่วนเพื่อทำการเปรียบเทียบ

### ขั้นตอนการทดลอง

ใช้ขั้นตอนการทดลองตามการทดลองที่ 2.3 และ 2.4 และตามหมายเหตุที่กำหนดไว้



## การทดลองที่ 2.9

การทดสอบแรงกระแทกและความทนทาน

### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบความทนทานที่มีต่อการกระแทก การทดลองในหัวข้อนี้เป็นภาวทดลองโดยคร่าวๆเพื่อหาค่าความทนทานของตัวอย่าง

### วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. ตัวอย่างตามหมายเหตุ 9 ตัวอย่าง
2. ตาชั่งที่วัดละเอียดถึง 0.1%

### ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเอาตัวอย่างตามหมายเหตุที่กำหนดมาซึ่งน้ำหนัก บันทึกค่าเก็บไว้
2. นำตัวอย่างปล่อยลงจากที่สูง 1 เมตร จำนวน 100 ครั้ง
3. นำตัวอย่างมาทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อทำการเปรียบเทียบน้ำหนักที่หายไป

## การทดลองที่ 2.10

การทดสอบการทนต่อกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริก

### วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการทนต่อกรดที่มีอยู่ในธรรมชาติ ทั้งนี้โดยการนำเอาตัวอย่างของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์กลบในปริมาณที่แตกต่างกันมาทดสอบ

### วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. ตัวอย่างของ Cement mortar ที่ผสมซีเมนต์กลบในอัตราส่วนต่างๆตามหมายเหตุ จำนวน 9 ตัวอย่าง
2. ตาชั่งที่วัดละเอียดถึง 0.1%
3. โหลแก้วสำหรับใส่แช่ตัวอย่างที่จะทดสอบกับกรดจำนวน 2 ชุด
4. กรด HCl และกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 25% จำนวนอย่างละ 2,000 cc.

### ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำเอาตัวอย่างที่กำหนดไว้ตามหมายเหตุมาทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าเก็บไว้
2. นำเอาตัวอย่างที่ทำการชั่งน้ำหนักเสร็จแล้ว มาแช่ลงในกรดที่เตรียมไว้เป็นเวลา 120 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างขึ้นจากกรดมาทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบการถูกกัดกร่อน



ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์การหาปริมาณเรซิดูในซีเมนต์  
(ผลจากการทดลอง 1.1)

| วิธีการทดลอง           | ผลการวิเคราะห์      | $\bar{x} \pm SD$ |
|------------------------|---------------------|------------------|
| การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก | 79.25, 91.51, 87.24 | $86.00 \pm 5.33$ |
| การวิเคราะห์โดยปริมาตร | 80.11, 92.34, 69.00 |                  |
|                        | 75.72, 80.91, 79.56 | $88.41 \pm 9.09$ |
|                        | 73.91, 76.10, 84.11 |                  |
|                        | 76.42               |                  |
| เทคนิค X R F           | 91.18               | 91.18            |

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การหาปริมาณ แคลเซียมในซีเมนต์  
(ผลจากการทดลอง 1.2)

| วิธีการทดลอง                        | ผลการวิเคราะห์                                           | $\bar{x} \pm s$ |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|
| ตกตะกอนอยู่ในรูปของแคลเซียมออกซาลेट | 0.03, 0.02, 0.04, 0.02                                   | $0.03 \pm 0.01$ |
| ไทเทรตด้วย วิธี E D T A             | 0.03, 0.13, 0.11, 0.11<br>0.13, 0.13, 0.13, 0.08<br>0.11 | $0.11 \pm 0.02$ |

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำดื่ม  
(ผลจากการทดลอง 1.3 โดยวิธี สารประกอบเชิงซ้อน ฟอสโฟโมลด์โมลิบดีนัม)

| ครั้งที่ 1       | ผลการวิเคราะห์  |
|------------------|-----------------|
| 1                | 0.02            |
| 2                | 0.04            |
| $\bar{x} \pm SD$ | 0.03 $\pm$ 0.01 |

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณกาก  
(เผาที่ Temp. 550°C เวลา 12 ชม.)

| ครั้งที่ 1 |          | ผลการวิเคราะห์ |                   |
|------------|----------|----------------|-------------------|
| 1          |          |                | 18.97             |
| 2          |          |                | 18.23             |
| 3          |          |                | 18.02             |
| $\bar{x}$  | $\pm SD$ |                | 18.94 $\pm$ 1.861 |

ตารางที่ 5 องค์ประกอบที่ได้จากซีเมนต์กลบ

| องค์ประกอบ | ปริมาณ (%)   |
|------------|--------------|
| ซีเมนต์    | 68.59 ± 2.12 |
| แกลบดิบ    | 0.07 ± 0.05  |
| ฟอสเฟอรัส  | 0.03 ± 0.01  |
| อื่น ๆ     | 11.36 ± 0.72 |



**RESULT 2.1** การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์กลบ

$$\begin{aligned}\text{ความถ่วงจำเพาะ (Sp.gr)} &= \frac{\text{น้ำหนักซีเมนต์กลบที่แท้จริงในขวดแก้ว}}{\text{ปริมาตรน้ำมันก๊าดส่วนที่เพิ่ม (m2-m1)}} \\ &= \frac{45.55}{12.45} \\ &= 3.65\end{aligned}$$



TABLE 2.2 CONSISTENCY OF CEMENT MORTAR

| % Water | Specimen | Wet Weight | Average Wet Weight |
|---------|----------|------------|--------------------|
| 10      | 1        | 10.5       | 10.40              |
|         | 2        | 10.4       |                    |
|         | 3        | 10.4       |                    |
|         | 4        | 10.3       |                    |
| 20      | 5        | 16.4       | 16.28              |
|         | 6        | 16.0       |                    |
|         | 7        | 16.5       |                    |
|         | 8        | 16.2       |                    |
| 30      | 9        | 20.8       | 20.98              |
|         | 10       | 20.9       |                    |
|         | 11       | 21.2       |                    |
|         | 12       | 21.0       |                    |

Remark : Dry Weight = 10

GRAPH 22  
SHOW CONSISTANT OF CEMENT MUF-4 BY 22

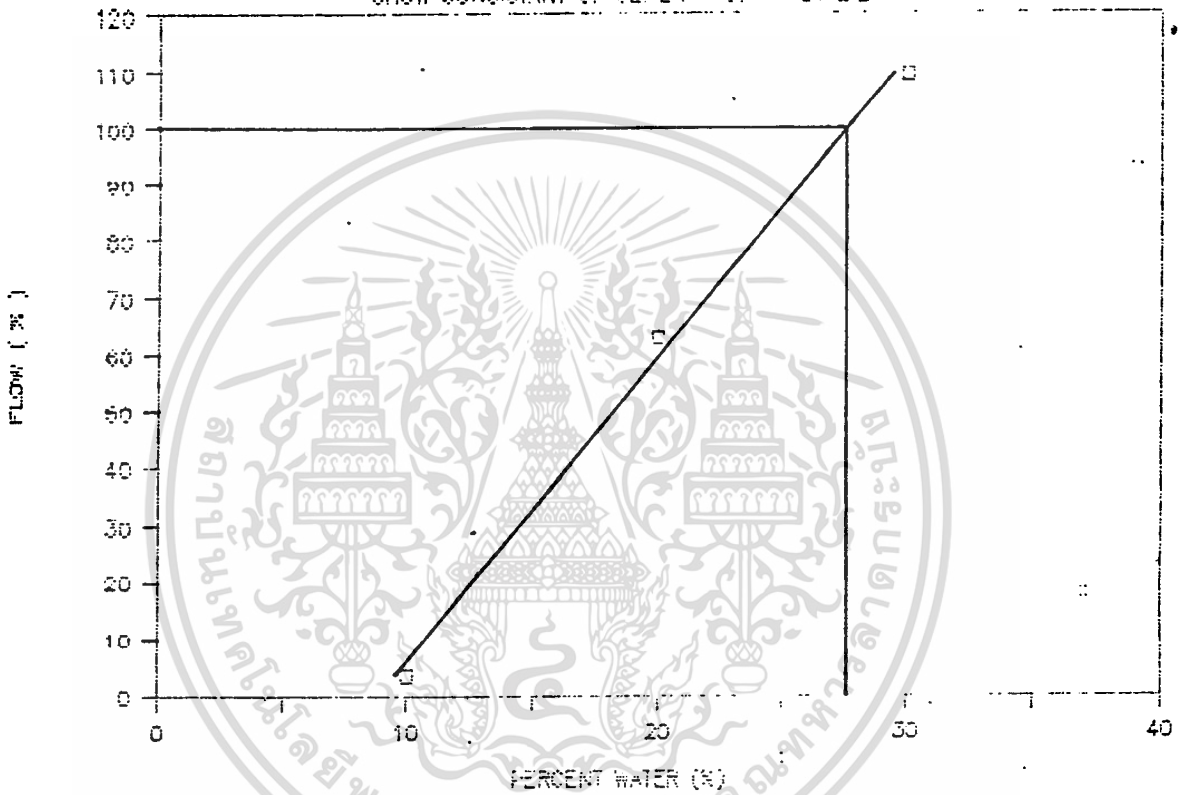


TABLE 2(3-4)1 TEST VARY QUANTITY OF RHA  
 Condition Curing 3 days Sand & RHA Pass Sieve # 30  
 Remark : W/C/H/S CASE 1 0.6/1/0/2 CASE 2 0.6/.65/.35/2 CASE 3 .6/1.5/1.5/2

| CASE | Specimen | Dimension     |        | CO M P R E S S I O N |              | U L T I M A T E Load |                      | C O M P R E S S I O N       |                             | T E N S I O N  |               | Tensile Strength<br>psi |
|------|----------|---------------|--------|----------------------|--------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------------------|
|      |          | Cross Section | Height | Weight<br>gram       | Weight<br>kg | Ultimate Load<br>kg  | Ultimate Load<br>ksc | Compression Strength<br>psi | Compression Strength<br>ksc | Weight<br>gram | Weight<br>psi |                         |
| 1    | 1        | 26.010        | 5.10   | 277.35               |              | 6195                 | 238.18               | 3380.58                     |                             | 137.70         |               | 470                     |
|      | 2        | 25.502        | 5.05   | 278.10               |              | 6045                 | 237.04               | 3364.37                     |                             | 136.85         |               | 360                     |
|      | 3        | 26.010        | 5.10   | 278.90               |              | 7215                 | 277.39               | 3937.19                     |                             | 137.60         |               | 390                     |
| 2    | 4        | 26.010        | 5.10   | 236.15               |              | 1800                 | 69.20                | 982.25                      |                             | 114.80         |               | 120                     |
|      | 5        | 26.523        | 5.15   | 235.05               |              | 1665                 | 62.73                | 891.03                      |                             | 112.10         |               | 110                     |
|      | 6        | 26.010        | 5.10   | 233.05               |              | 1890                 | 72.66                | 1031.56                     |                             | 115.00         |               | 150                     |
| 3    | 7        | 25.502        | 5.05   | 215.69               |              | 870                  | 34.11                | 484.20                      |                             | 110.40         |               | 45                      |
|      | 8        | 25.502        | 5.05   | 212.90               |              | 735                  | 31.17                | 442.46                      |                             | 107.65         |               | 60                      |
|      | 9        | 25.502        | 5.05   | 215.08               |              | 930                  | 36.47                | 517.60                      |                             | 108.80         |               | 65                      |

TABLE 2(3-4)2 TEST VARY OF SIZE RHA  
 Condition constant ratio W/C/H/S on 0.6/0.75/0.25/2 Sand Pass Sieve # 30  
 Remark : CACF RHA Pass Sieve CASE 1 # 40 CASE 2 # 20 CASE 3 # 10 Curing 3 days

| Specimen | Cross Section | Dimension Height | C O M P R E S S I O N |                  |                          | T E N S I L E |             |             | Tensile Strength psi | Tensile Strength psi |
|----------|---------------|------------------|-----------------------|------------------|--------------------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|
|          |               |                  | Weight gram           | Ultimate Load kg | Compression Strength psi | Weight gram   | Weight gram | Weight gram |                      |                      |
| 1        | 25.502        | 5.05             | 251.60                | 2595             | 101.75                   | 1444.26       | 136.30      | 270         |                      |                      |
| 2        | 26.010        | 5.10             | 253.35                | 2790             | 107.27                   | 1522.49       | 141.20      | 290         |                      |                      |
| 3        | 26.010        | 5.10             | 256.85                | 3495             | 134.37                   | 1907.20       | 145.20      | 260         |                      | 273.33               |
| 4        | 25.502        | 5.05             | 239.30                | 1860             | 73.72                    | 1046.32       | 126.35      | 230         |                      |                      |
| 5        | 25.502        | 5.05             | 243.45                | 1695             | 66.46                    | 943.36        | 127.40      | 240         |                      |                      |
| 6        | 26.523        | 5.15             | 227.30                | 2030             | 76.34                    | 1086.35       | 135.10      | 210         |                      | 226.67               |
| 7        | 26.010        | 5.10             | 233.60                | 1200             | 46.14                    | 651.83        | 122.30      | 170         |                      |                      |
| 8        | 26.010        | 5.10             | 238.75                | 1185             | 45.56                    | 646.65        | 124.50      | 200         |                      |                      |
| 9        | 26.010        | 5.10             | 231.95                | 1575             | 60.55                    | 859.47        | 117.70      | 210         |                      | 193.33               |

TABLE 2(3-4)3 TESTING VARY CURING  
condition W/C/H/S constant on 0.6/0.75/0.2/2 Sand & RHA Pass Sieve # 30  
Remark : CASE 1 curing 3 days CASE 2 curing 7 days CASE 3 curing 28 days

| CASE | Specimen | Cross Section | Dimension Height | Weight gram | Compressive Load kg | Compression Strength ksc | Compression Strength psi | Weight gram | Tensile Strength psi | Tensile Strength psi |
|------|----------|---------------|------------------|-------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|----------------------|----------------------|
| 1    | 1        | 26.010        | 5.10             | 253.50      | 3405                | 130.91                   | 1358.09                  | 126.25      | 240                  | 240                  |
|      | 2        | 26.010        | 5.10             | 261.60      | 2880                | 110.73                   | 1571.60                  | 131.55      | 280                  | 280                  |
|      | 3        | 27.040        | 5.20             | 264.75      | 2910                | 107.62                   | 1527.48                  | 124.00      | 280                  | 266.67               |
| 2    | 4        | 26.523        | 5.15             | 256.80      | 3870                | 145.91                   | 2071.03                  | 122.60      | 300                  | 300                  |
|      | 5        | 25.000        | 5.00             | 262.75      | 4200                | 168.00                   | 2384.51                  | 125.95      | 310                  | 303.33               |
|      | 6        | 26.523        | 5.15             | 244.25      | 3405                | 128.38                   | 1822.19                  | 122.70      | 300                  | 370                  |
| 3    | 7        | 26.010        | 5.10             | 246.55      | 4530                | 166.47                   | 2362.86                  | 128.70      | 360                  | 373.33               |
|      | 8        | 25.502        | 5.05             | 253.90      | 4875                | 191.16                   | 2713.20                  | 126.55      | 390                  | 373.33               |
|      | 9        | 26.010        | 5.10             | 262.69      | 5145                | 197.81                   | 2807.60                  | 127.45      | 390                  | 373.33               |



TABLE 2(3-4)4 TEST VARY QUANTITY OF SAND  
condition : curing 24 hours sand pass sieve #30 rha pass sieve #30  
remark : w/c/h/s case 1 .6/.6/.4/1.75 case 2 .6/.6/.4/2 case 3 .6/.6/.4/2.25

| Specimen | Gross Section | Dimension<br>Section Height | C O M P R E S S I O N |                     |                                 | T E N S I L E  |                         |        |
|----------|---------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|--------|
|          |               |                             | Weight<br>gram        | Ultimate load<br>kg | Compression Strength<br>ksi psi | Weight<br>gram | Tensile Strength<br>psi |        |
| 1        | 26.010        | 5.10                        | 225.30                | 1740                | 66.90 949.51                    | 114.80         | 195                     |        |
| 2        | 26.523        | 5.15                        | 226.95                | 1350                | 50.90 722.45                    | 112.45         | 155                     |        |
| 3        | 26.010        | 5.10                        | 226.00                | 1080                | 41.52 589.35                    | 107.45         | 140                     | 163.33 |
| 4        | 26.010        | 5.10                        | 219.40                | 900                 | 34.60 491.13                    | 110.41         | 110                     |        |
| 5        | 26.523        | 5.15                        | 220.65                | 950                 | 35.32 503.39                    | 101.50         | 90                      |        |
| 6        | 26.010        | 5.10                        | 218.45                | 970                 | 35.37 502.04                    | 104.60         | 80                      | 93.33  |
| 7        | 26.010        | 5.10                        | 214.55                | 660                 | 25.37 360.16                    | 96.90          | 45                      |        |
| 8        | 26.010        | 5.10                        | 215.75                | 847                 | 32.56 462.20                    | 97.60          | 50                      |        |
| 9        | 25.502        | 5.05                        | 206.65                | 555                 | 21.76 308.89                    | 106.60         | 50                      | 48.33  |

TABLE 2(3-4)5 TEST VARY WATER  
condition Cutting 3 days Sand & RHA Pass Sieve # 30  
Remark : W/C/H/S CASE 1 0.5/0.75/.25/2 CASE 2 0.6/0.75/.15/2 CASE 3 0.7/0.75/.15/2

| CASE | Specimen | Gross Section | Dimension<br>Height | C O N C R E T E |                     | S T R E N G T H    |         | T E N S I L E  |     | Tensile Strength<br>psi | Tensile Strength<br>psi |
|------|----------|---------------|---------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------|----------------|-----|-------------------------|-------------------------|
|      |          |               |                     | Weight<br>gram  | Ultimate Load<br>kg | Compression<br>ksc | psi     | Weight<br>gram | psi |                         |                         |
| 1    | 1        | 26.010        | 5.10                | 261.15          | 4980                | 191.46             | 2717.56 | 130.30         | 310 |                         |                         |
|      | 2        | 26.010        | 5.10                | 261.65          | 5015                | 192.81             | 2736.66 | 128.10         | 290 |                         |                         |
|      | 3        | 26.010        | 5.10                | 261.35          | 4550                | 174.93             | 2482.91 | 126.80         | 270 |                         |                         |
| 2    | 4        | 26.010        | 5.10                | 255.50          | 3975                | 152.83             | 2169.14 | 125.30         | 235 |                         |                         |
|      | 5        | 26.010        | 5.10                | 253.10          | 3700                | 147.94             | 2128.21 | 132.30         | 270 |                         |                         |
|      | 6        | 26.010        | 5.10                | 253.90          | 3840                | 147.64             | 2075.47 | 127.70         | 265 |                         |                         |
| 3    | 7        | 25.502        | 5.05                | 248.95          | 3685                | 144.50             | 2050.90 | 133.95         | 260 |                         |                         |
|      | 8        | 26.010        | 5.10                | 251.30          | 3605                | 133.60             | 1967.23 | 132.10         | 250 |                         |                         |
|      | 9        | 25.502        | 5.05                | 250.45          | 3915                | 153.51             | 2178.91 | 137.87         | 230 |                         |                         |

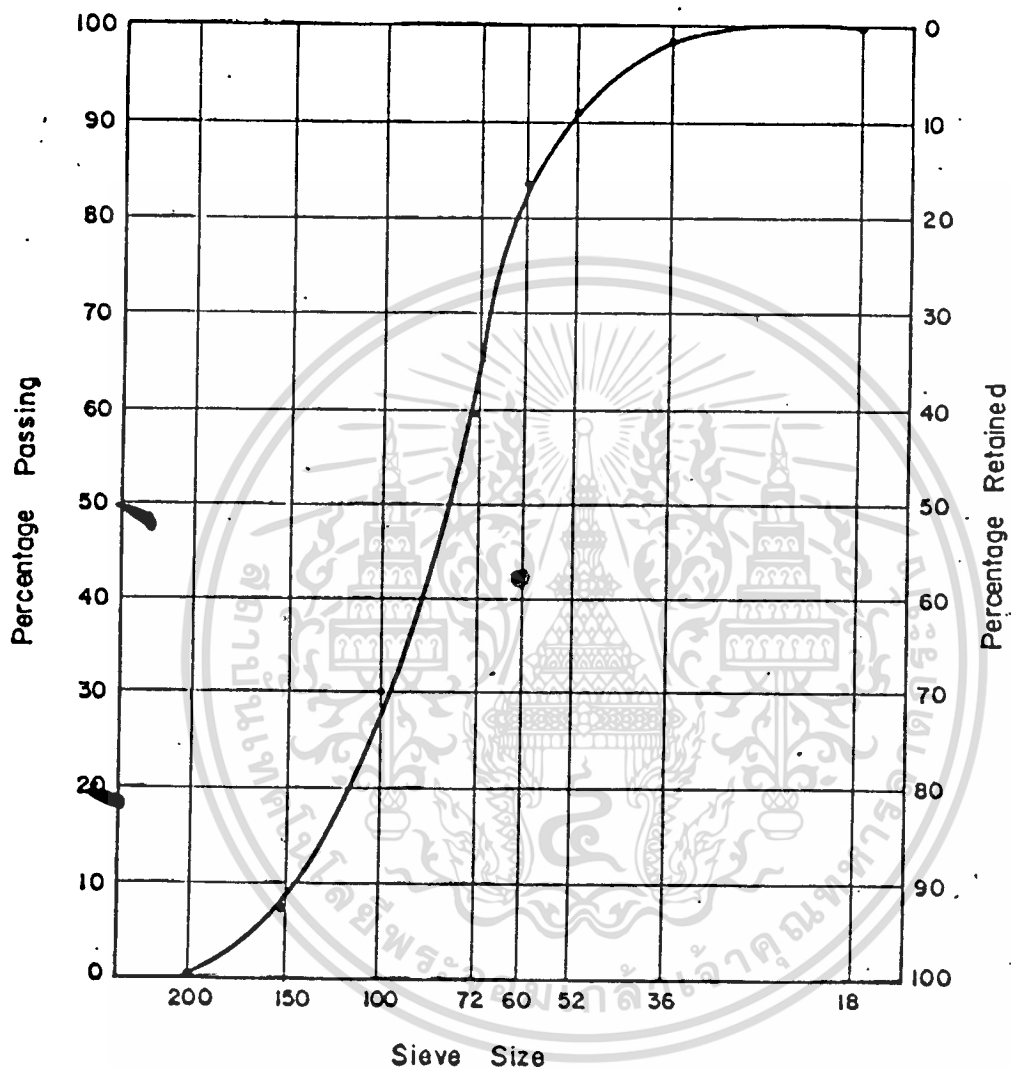


Fig. 1 Grading Curve of Rice Hull Ash

**RESULT 2.6** Test for total Moisture Content of RHA

$$\text{Moisture Content} = \frac{\text{Wet-Dry}}{\text{Wet}} \times 100$$

$$= \frac{60.0-45.5}{60.0} \times 100$$

$$= 24.17\%$$



TABLE 2.7 TEST VARY CURING OF CEMENT MORTAR  
 Condition : W/C/H/S : 0.6/1/0/2 Sand Pass Sieve # 30  
 Remark : CASE 1 Curing 5 days CASE 2 13 days CASE 3 21 days

| Specimen | Gross Section | Dimension | Weight | Ultimate Load | Compression | Strength | Weight | Tensile Strength |
|----------|---------------|-----------|--------|---------------|-------------|----------|--------|------------------|
|          |               | Height    | gram   | kg            | ksc         | psi      | gram   | psi              |
| 1        | 25.502        | 5.05      | 261.00 | 3940          | 134.49      | 2192.82  | 124.65 | 420              |
| 2        | 25.000        | 5.00      | 253.00 | 3570          | 142.80      | 2026.83  | 125.80 | 450              |
| 3        | 26.010        | 5.10      | 261.80 | 3835          | 147.44      | 2092.74  | 127.30 | 430              |
| 4        | 25.502        | 5.05      | 280.00 | 4740          | 145.86      | 2638.07  | 137.40 | 540              |
| 5        | 25.502        | 5.05      | 271.10 | 4850          | 187.39      | 2688.16  | 136.70 | 530              |
| 6        | 25.502        | 5.05      | 275.90 | 4350          | 170.57      | 2421.01  | 140.80 | 560              |
| 7        | 26.523        | 5.15      | 279.85 | 7725          | 291.26      | 4134.03  | 138.95 | 610              |
| 8        | 26.010        | 5.10      | 276.25 | 7900          | 303.73      | 4310.99  | 139.50 | 620              |
| 9        | 25.502        | 5.05      | 66.00  | 6250          | 245.07      | 3478.46  | 142.50 | 640              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิได้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 2.8 TEST ADD LIME

Condition : no curing Sand & RHA Pass Sieve # 30

Remark :

| Specimen | Gross Section | Dimension Height | Weight gram | Ultimate Load ky | Compression Load ksc | Compression Strength psi | Compression Strength psi | Weight gram | Tensile Strength psi | Tensile Strength psi |
|----------|---------------|------------------|-------------|------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|----------------------|----------------------|
|          |               |                  |             |                  |                      |                          |                          |             |                      |                      |
| 1        | 25.502        | 5.05             | 188.05      | 1275             | 50.00                | 709.61                   |                          | 92.15       | 90                   |                      |
| 2        | 25.502        | 5.05             | 184.85      | 1080             | 42.35                | 601.08                   |                          | 94.20       | 75                   |                      |
| 3        | 25.502        | 5.05             | 187.55      | 1290             | 50.58                | 717.93                   | 676.21                   | 94.30       | 80                   | 81.67                |
| 4        | 25.000        | 5.00             | 209.20      | 1725             | 69.00                | 979.35                   |                          | 101.36      | 160                  |                      |
| 5        | 26.010        | 5.10             | 220.80      | 2040             | 78.43                | 1113.22                  |                          | 99.55       | 90                   |                      |
| 6        | 25.502        | 5.05             | 211.05      | 1920             | 75.29                | 1068.58                  | 1053.72                  | 77.15       | 140                  | 130.00               |
| 7        | 26.010        | 5.10             | 213.85      | 2115             | 81.31                | 1154.14                  |                          | 103.80      | 150                  |                      |
| 8        | 25.502        | 5.05             | 208.65      | 2260             | 88.62                | 1257.81                  |                          | 104.75      | 180                  |                      |
| 9        | 26.010        | 5.10             | 208.10      | 2250             | 86.51                | 1227.81                  | 1213.26                  | 110.30      | 170                  | 166.67               |

Table 2.9 Test for Resistance of Impact and Durable

| Case | Specimen | Weight Before<br>Drop (gm.) | Total<br>(gm.) | Weight After<br>Drop (gm.) | Total<br>(gm.) | %Lost |
|------|----------|-----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|-------|
| 1.   | 1.1      | 73.8                        |                | 71.5                       |                |       |
|      | 1.2      | 73.1                        |                | 70.15                      |                |       |
|      | 1.3      | 75.0                        | 221.9          | 72.85                      | 214.5          | 3.33  |
| 2.   | 2.1      | 58.9                        |                | 55.3                       |                |       |
|      | 2.2      | 51.6                        |                | 48.9                       |                |       |
|      | 2.3      | 55.8                        | 166.3          | 52.7                       | 156.9          | 5.65  |
| 3.   | 3.1      | 51.45                       |                | 44.5                       |                |       |
|      | 3.2      | 50.6                        |                | 43.8                       |                |       |
|      | 3.3      | 52.1                        | 154.15         | 45.25                      | 133.55         | 13.36 |

**RESULT 2.10**

การทดสอบการทนต่อกรด HCl และกรดซัลฟูริก



## CHEMICAL ATTACK

CASE 1 กรวด  $\text{HCl}$  ตามเกณฑ์ 25%

|       | น้ำที่ป้อนก่อนการปฏิบัติจริง<br>ปริมาณ $\text{HCl}$ (กรัม) | น้ำที่ป้อนหลังจากการปฏิบัติจริง<br>ปริมาณ $\text{HCl}$ (กรัม) |
|-------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 9.1.1 | 60.45                                                      | 57.00                                                         |
| 9.1.2 | 43.70                                                      | 57.30                                                         |
| 9.1.3 | 72.50                                                      | 57.35                                                         |
| 9.2.1 | 58.15                                                      | 43.35                                                         |
| 9.2.2 | 51.40                                                      | 18.70                                                         |
| 9.2.3 | 43.30                                                      | 10.00                                                         |
| 9.3.1 | 59.20                                                      | 3.70                                                          |
| 9.3.2 | 64.05                                                      | 68.00                                                         |
| 9.3.3 | 61.35                                                      | 59.75                                                         |

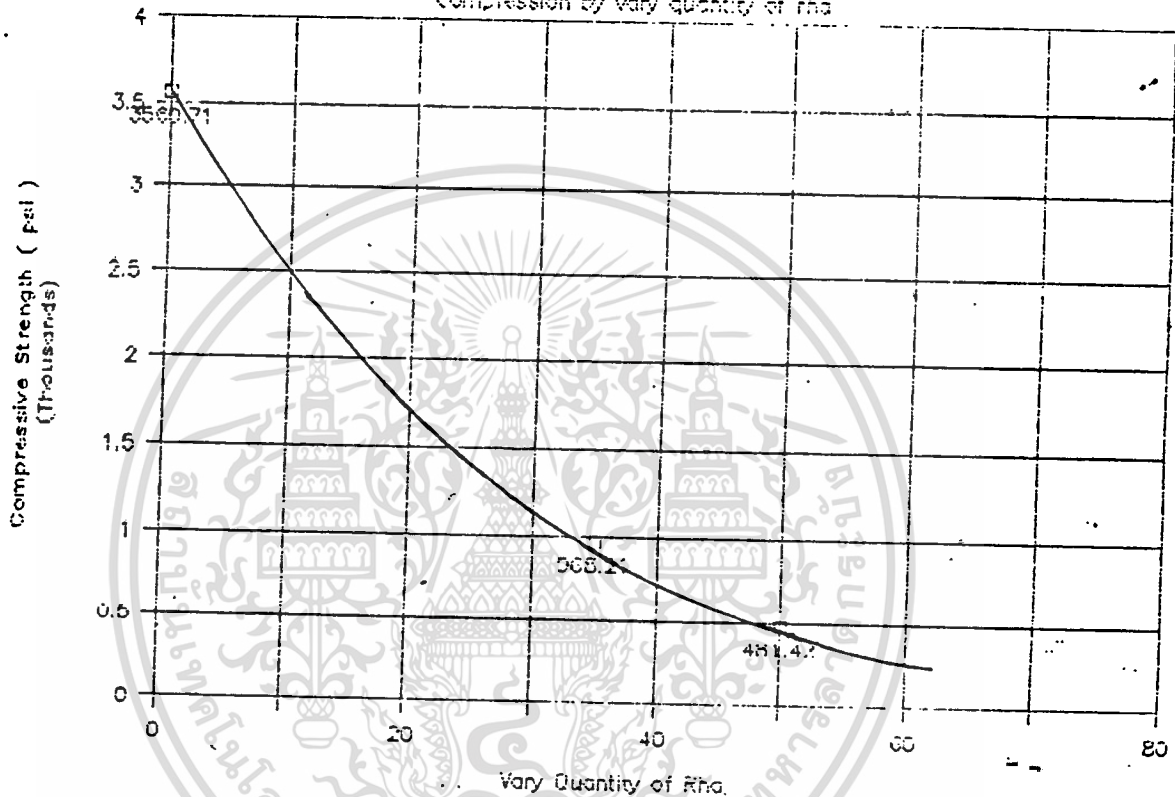




**กราฟแสดงผลการทดลอง**

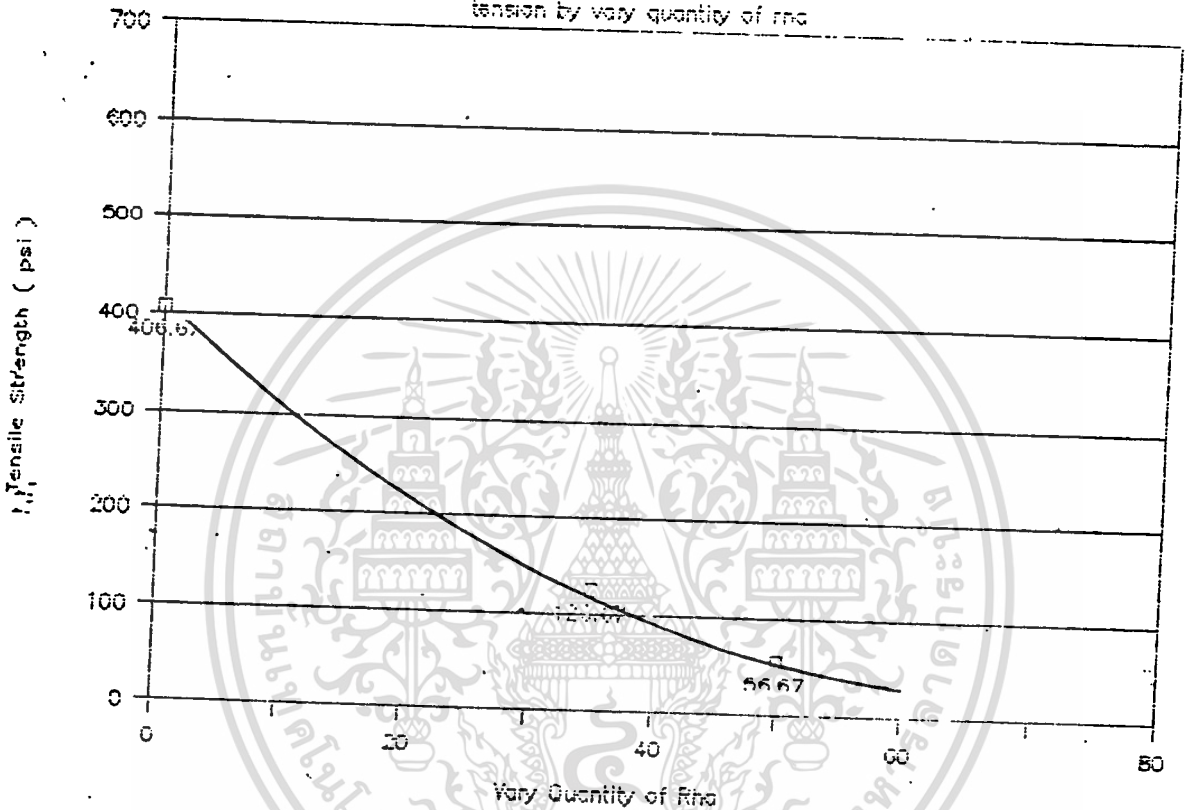
# GRAPH 2(3-4)1

compression by vary quantity of rho



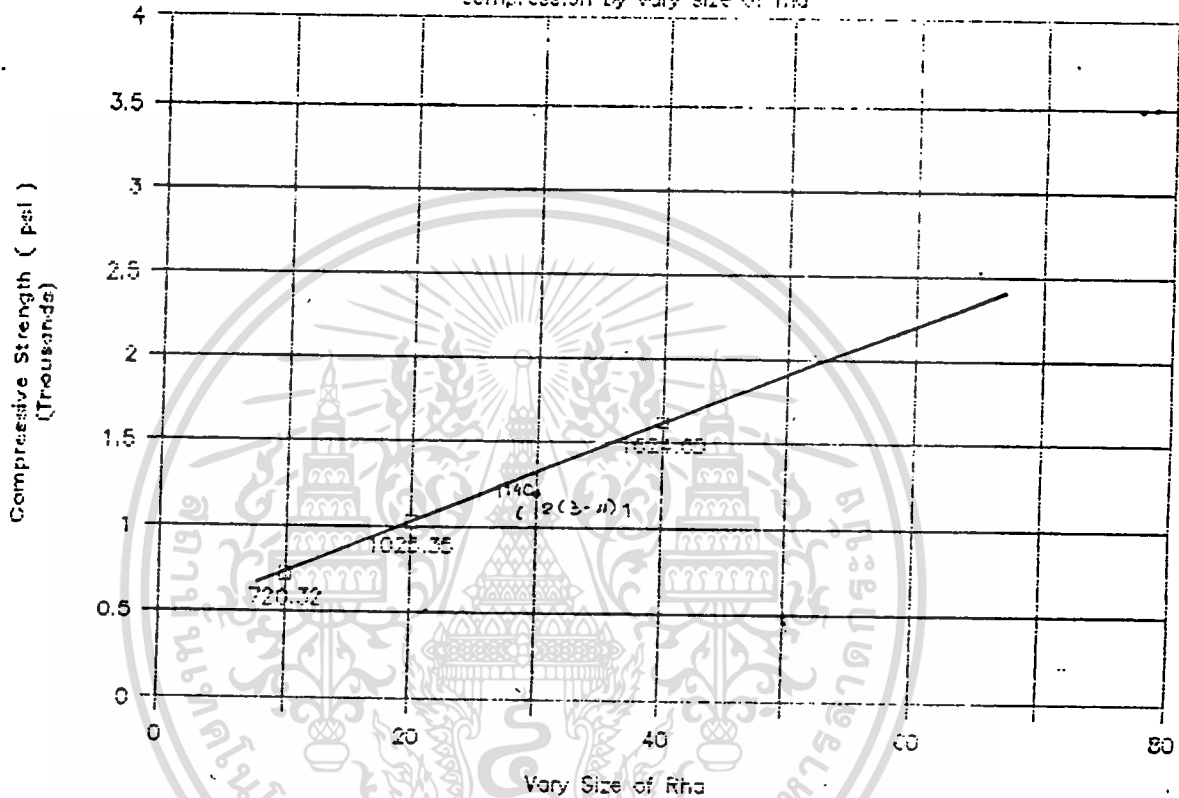
GRAPH 2(3-4)1

tension by vary quantity of rho



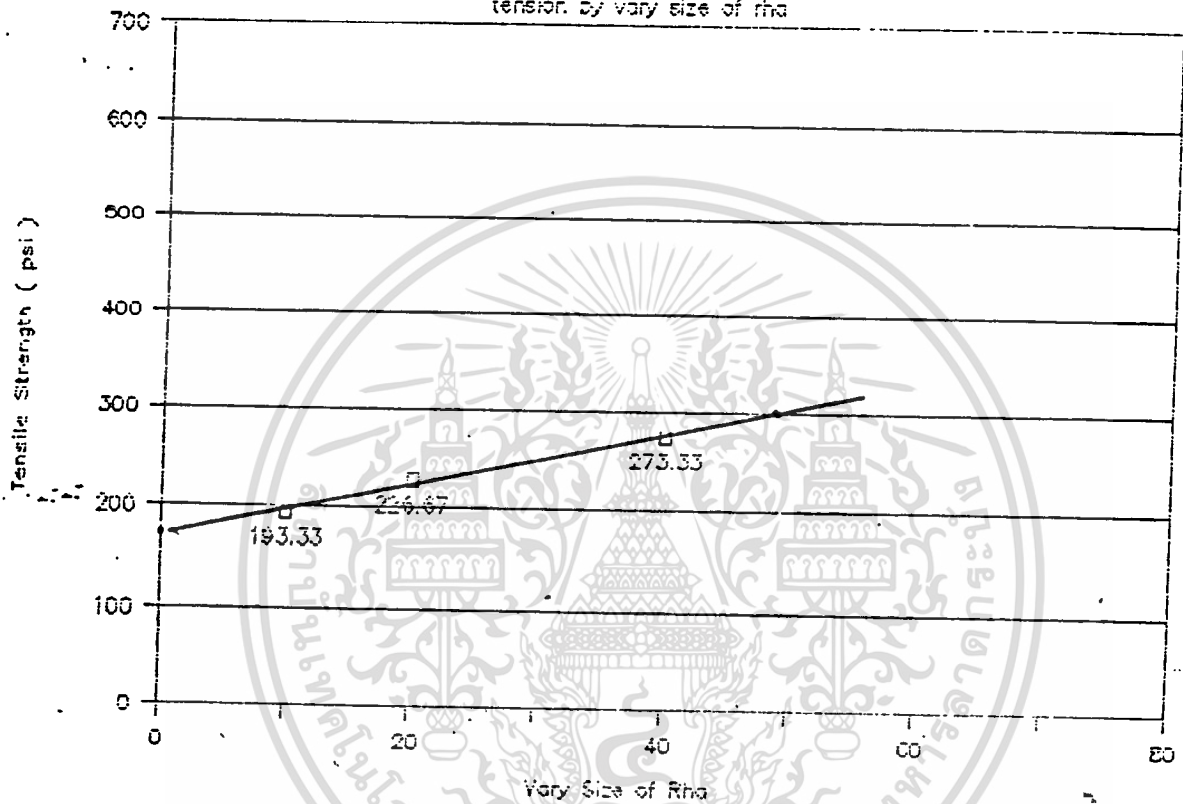
# GRAPH 2(3-4)2

compression by vary size of rho



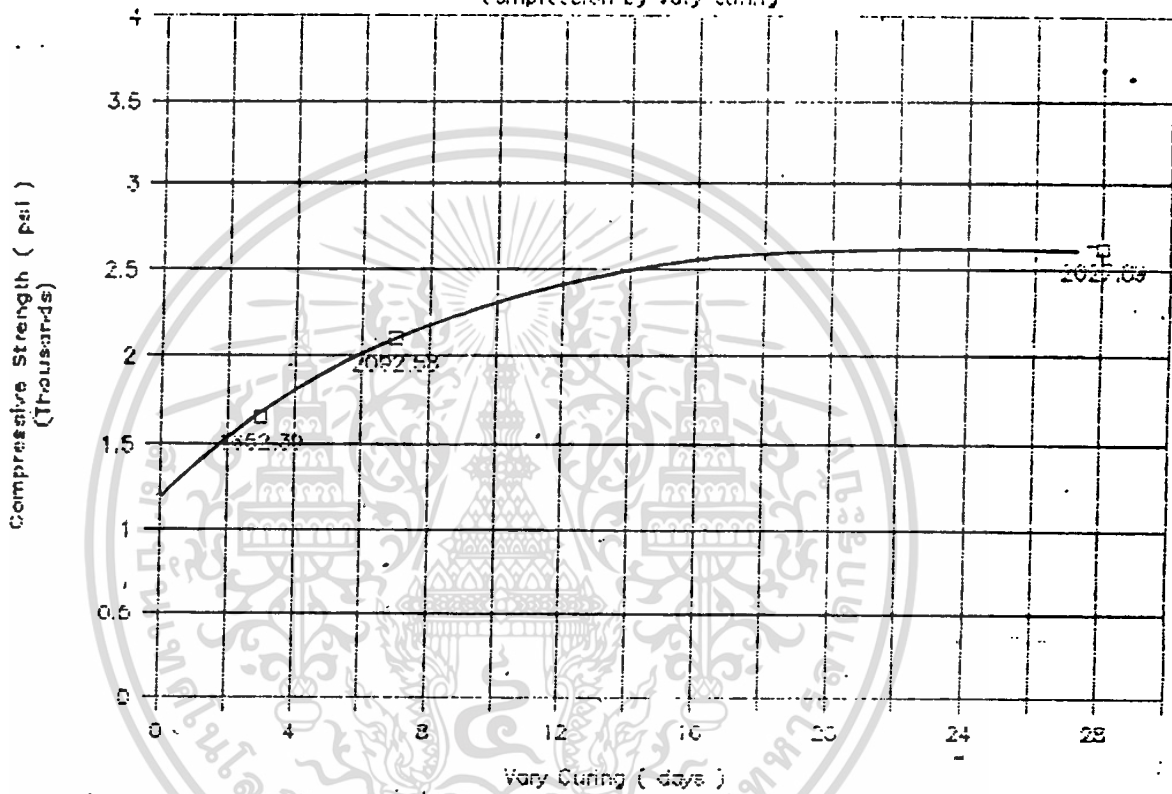
GRAPH 2(3-4)2

tension. by vary size of rha



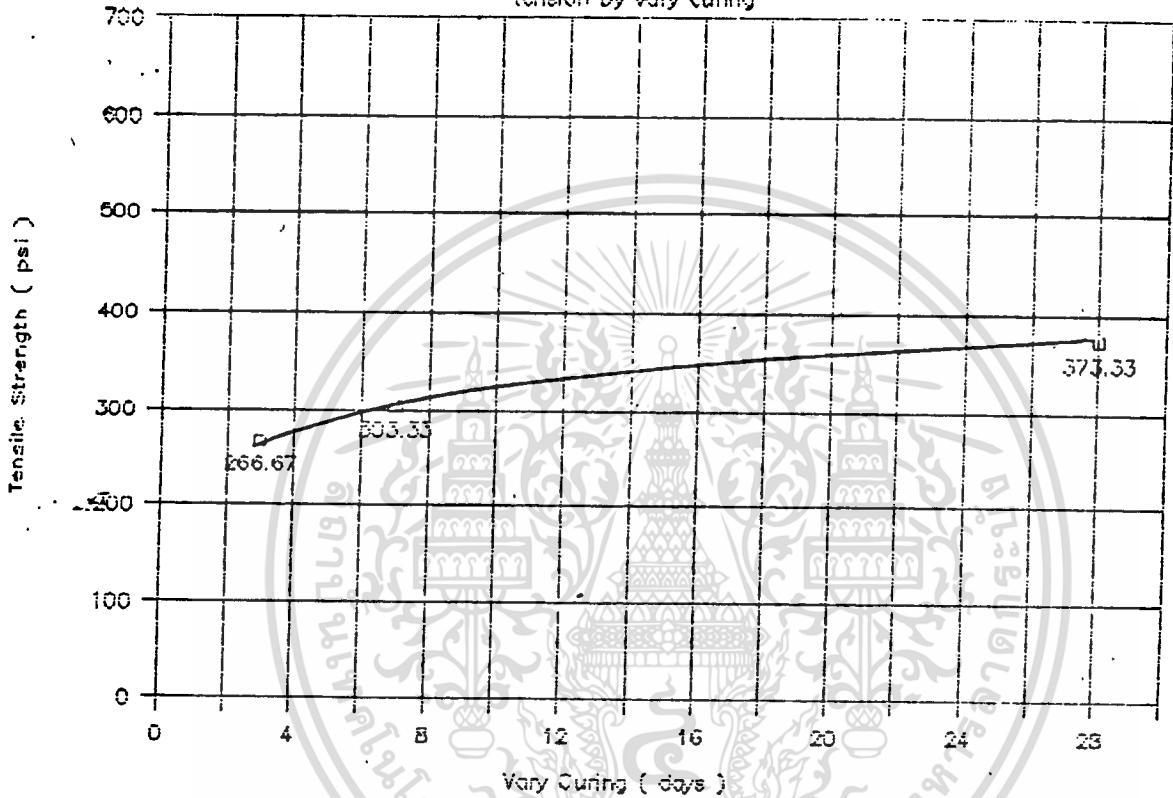
GRAPH 2(3-4)3

compression by vary curing



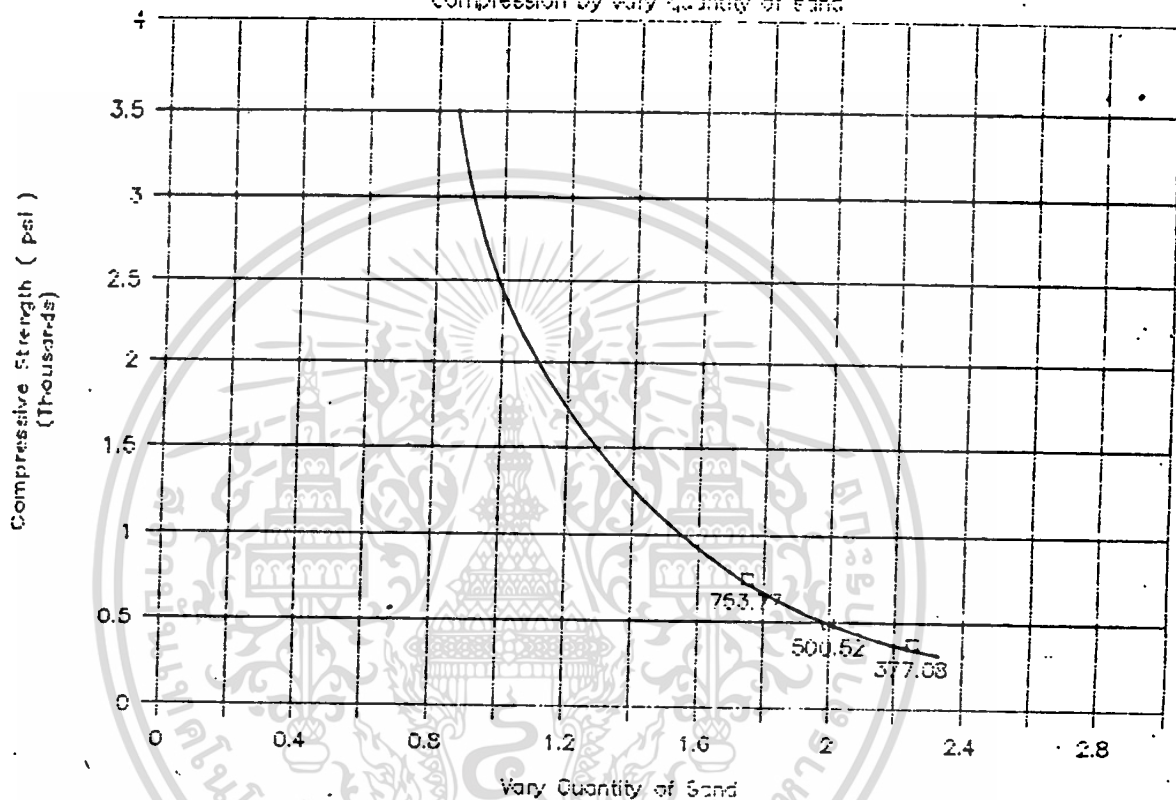
# GRAPH 2(3-4)3

tension by vary curing



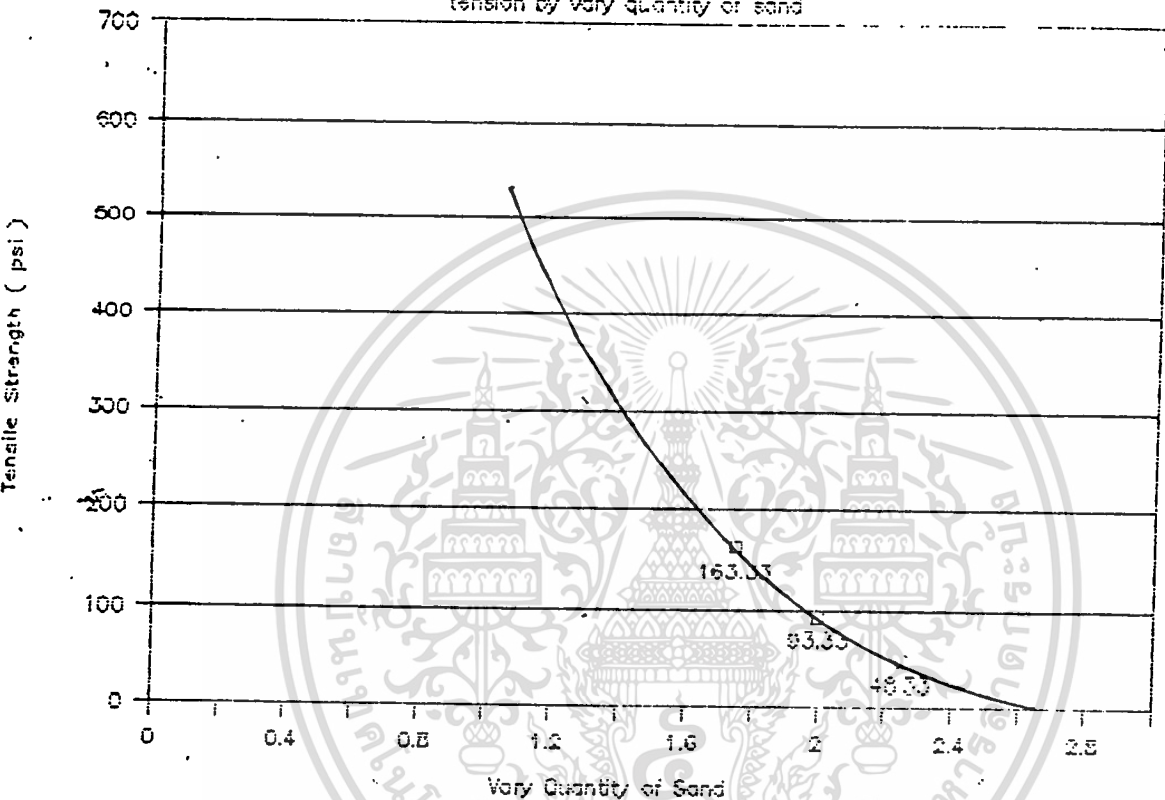
# GRAPH 2(3-4)4

compression by vary quantity of sand



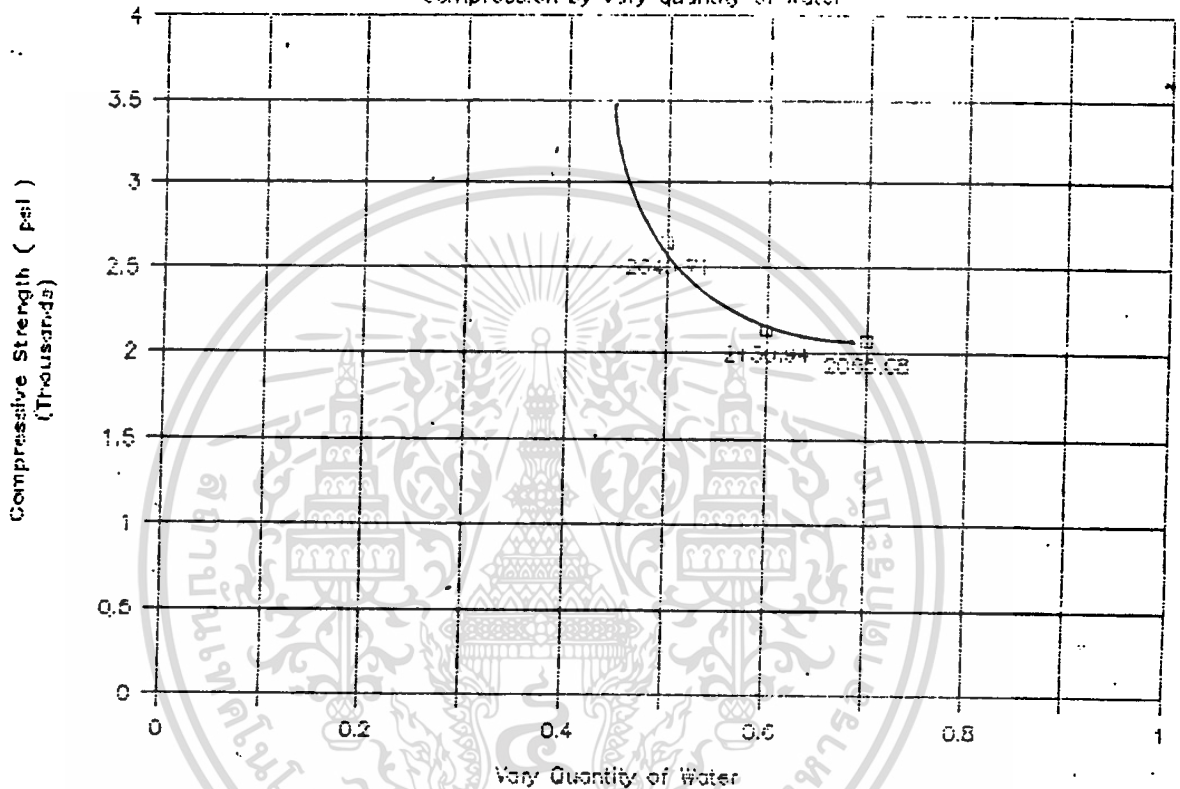
GRAPH 2(3-4)4

tension by vary quantity of sand



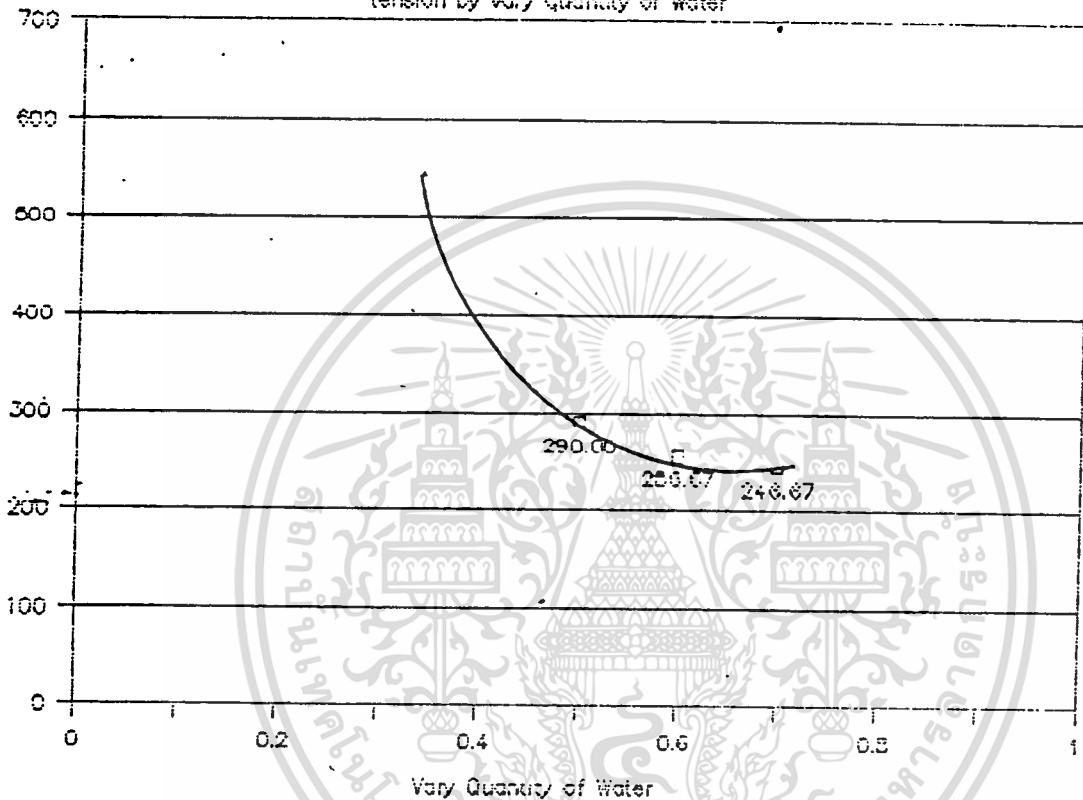
# GRAPH 2(3-4)5

compression by vary quantity of water



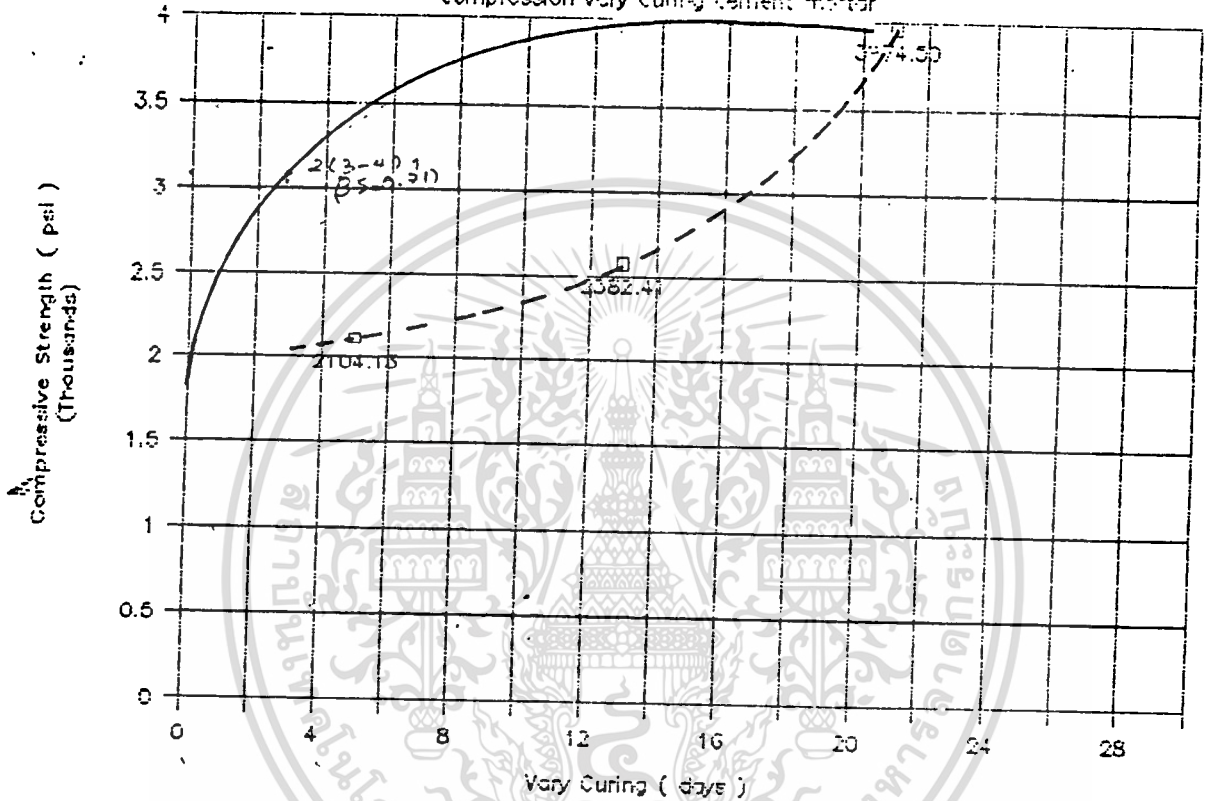
GRAPH 2(3-4)5

tension by vary quantity of water



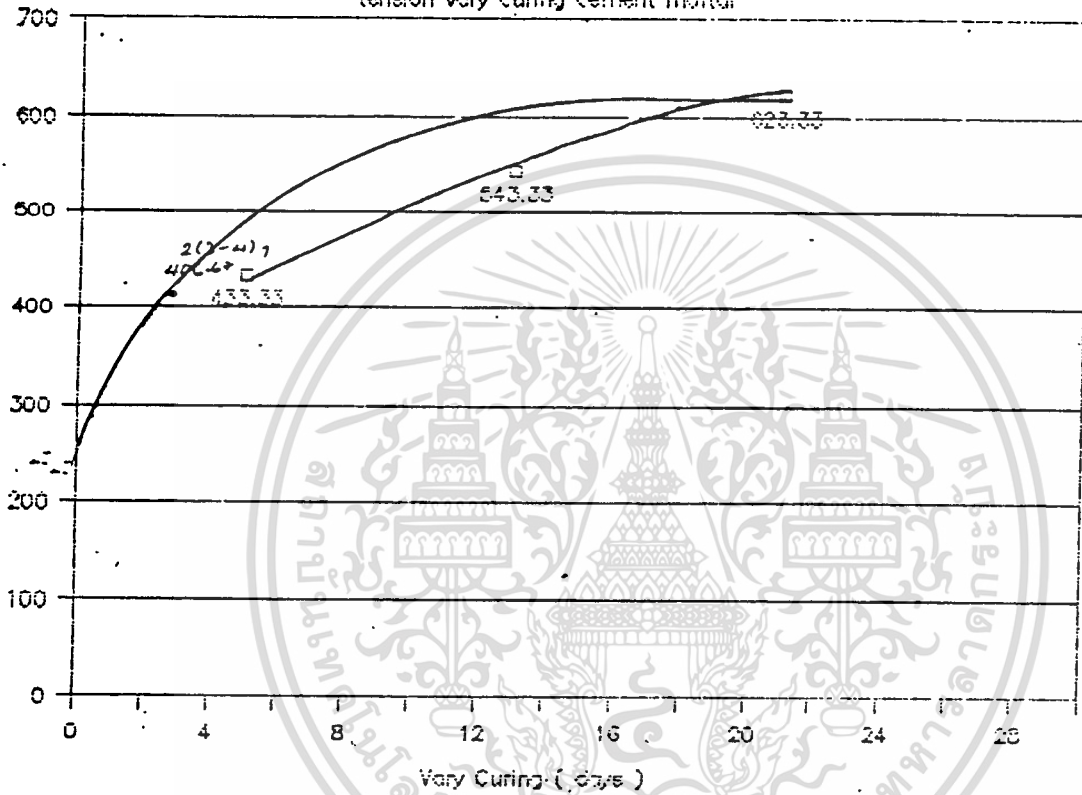
# GRAPH 2.7

compression vary curing cement mortar



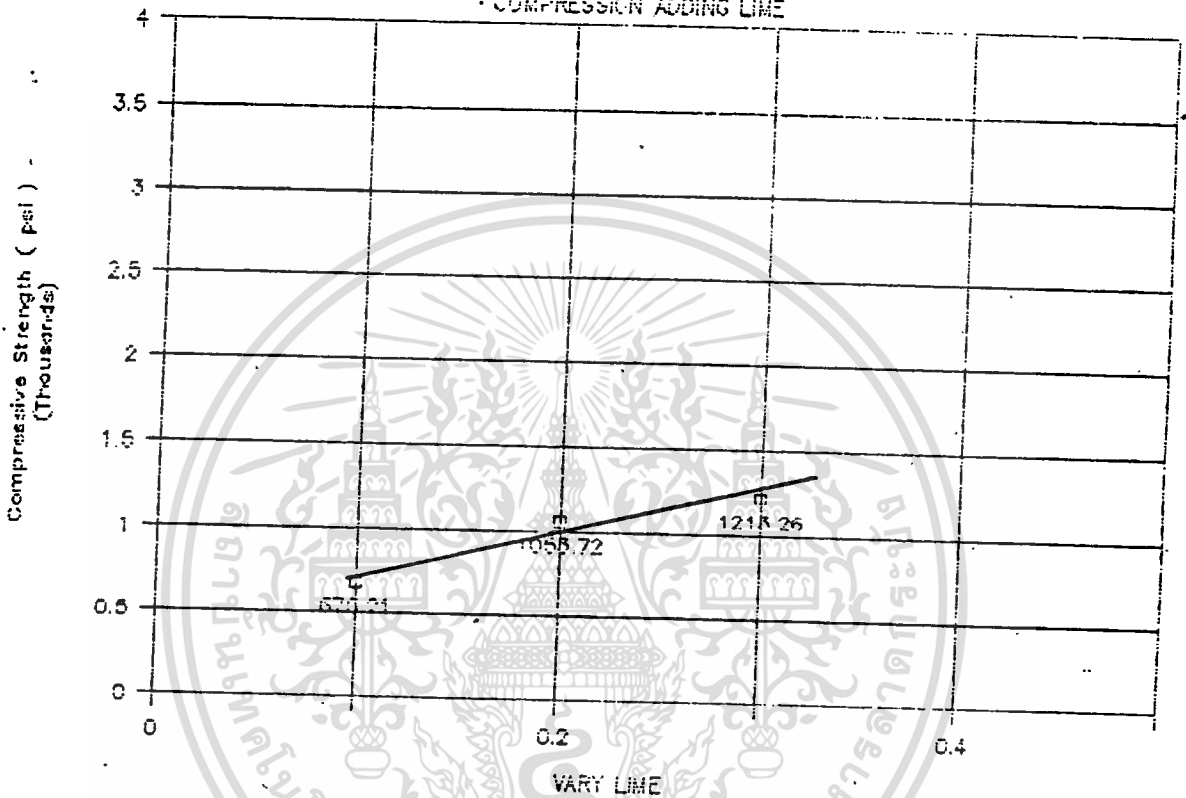
GRAPH. 2.7

tension vary curing cement mortar



# GRAPH 2.8

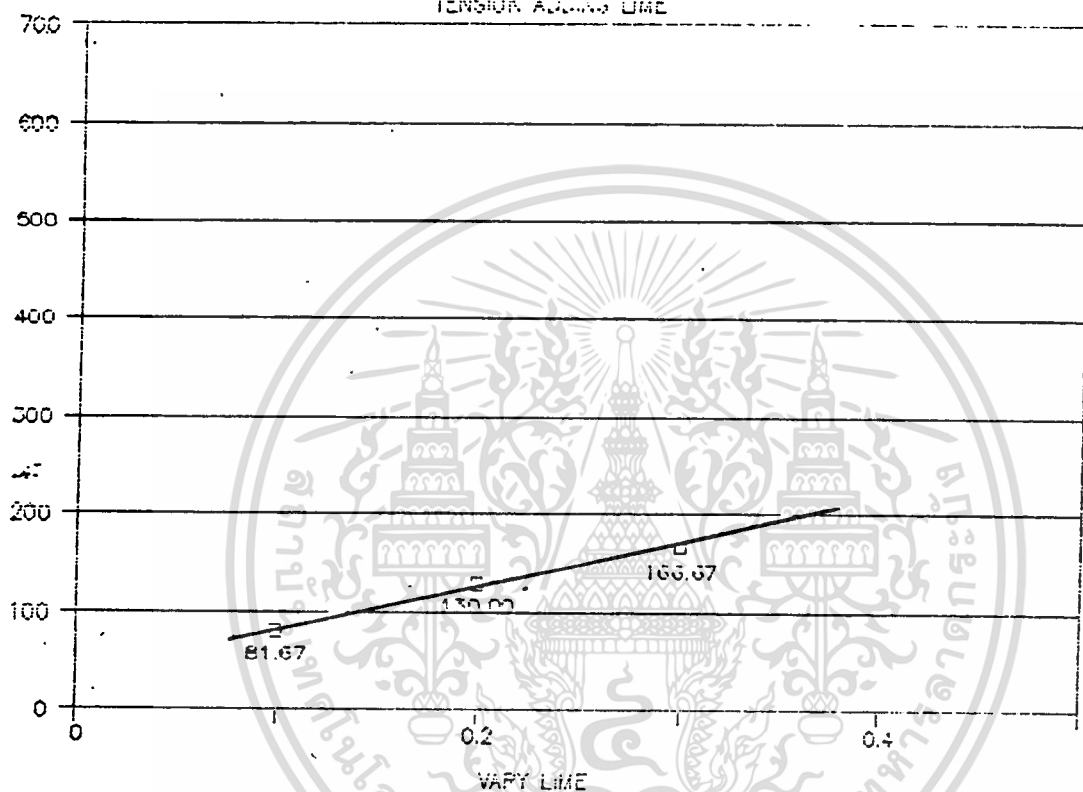
• COMPRESSION ADDING LIME



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRAPH 2.8  
TENSION ADDING LIME



## ผลจากการทดลอง

ผลการทดลองหมวดที่ 1.2.1, 2.2, 2.5, 2.6 เป็นคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว ได้แสดงให้เห็นตามผลการทดลองที่กล่าวมาแล้ว เราจึงจะไม่พูดถึงในที่นี้ โดยจะขออนุญาตถึงเฉพาะหมวดที่สำคัญ คือ

2.(3-4) การทดสอบแรงดึงและแรงอัดของ Cement mortar เมื่อผสมซีเมนต์กับ (RHA)

2.7 การทดสอบแรงดึงและแรงอัดของ Cement mortar

2.8 การทดสอบแรงดึงและแรงอัดของ Cement mortar เมื่อผสมซีเมนต์กับ (RHA) และปูนขาว (Lime)

2.9 การทดสอบแรงกระแทกและความทนทาน

2.10 การทดสอบการทนต่อการกัด HCl และการดัดสี

ดังจะกล่าวต่อไปนี้

### - การทดลองที่ 2.(3-4)

จากผลการทดลองในหมวด 2.(3-4) การทดลองหาแรงดึงและแรงอัดของ Cement mortar เมื่อผสมซีเมนต์กับ (RHA) ซึ่งได้แยกการทดลองออกเป็น กรณีต่างๆ ดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงปริมาณของ RHA

2. เปลี่ยนแปลงขนาดของ RHA

3. เปลี่ยนแปลงระยะเวลาการบ่ม

4. เปลี่ยนแปลงปริมาณของทราย

5. เปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำ

### กรณีที่ 1 จากกราฟ 2.(3-4).1

ค่า Compression และ Tension จะลดลงอย่างรวดเร็วมากในช่วงแรก โดยจะมีค่า 50% Compression จากที่ไม่ทนอะไรเลย เมื่อแทน RHA 18%

14% Compression จากที่ไม่ทนอะไรเลย เมื่อแทน RHA > 60%

50% Tension จากที่ไม่ทนอะไรเลย เมื่อแทน RHA 22%

8% Tension จากที่ไม่ทนอะไรเลย เมื่อแทน RHA > 60%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กรณีที่ 2 การเปลี่ยนแปลงขนาดของ RHA

จากผลการทดลองโดยเปลี่ยนขนาดของ RHA ได้พบว่าเมื่อขนาดของ RHA เปลี่ยนไปคือมีขนาดเล็กลง ค่า Compressive และ Tensile Strength เพิ่มขึ้น

- ค่า Compression จะมีค่าสูงขึ้นได้ถึง 2,800 psi. เมื่อผ่าน Sieve No.80 และมีค่า 400 psi. เมื่อผ่าน Sieve No.0

- ค่า Tension นั้นจะมีอัตราการเพิ่มน้อยกว่าค่า Compression เมื่อมีการเปลี่ยนให้หิ่ได้แก่กลบมีขนาดเล็กลง โดยมีค่าประมาณ 385 psi.เมื่อผ่าน Sieve No.80 และ 160 psi. เมื่อผ่าน Sieve No.0

## กรณีที่ 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการบ่ม

ค่า Compression ของตัวอย่างจะขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลาการบ่มที่ 17 วัน

ค่า Tension ของตัวอย่างจะขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน

โดยอัตราการเพิ่มของค่า Compressive และ Tensile Strength ของตัวอย่างในกรณีนี้ยังมีค่าน้อยกว่าอัตราการเพิ่มของตัว Cement mortar ทั่วไป (case 1)

## กรณีที่ 4 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของทราย

โดยถ้า % อัตราส่วนของทรายลดน้อยลง ค่า Compression และ Tension ของตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มขึ้น

## กรณีที่ 5 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำ

ค่า Compression จะมีค่าสูงสุดประมาณ 3500 psi. เมื่อใช้น้ำปริมาณ 0.45 โดยน้ำหนัก

ค่า Tension จะมีค่าสูงสุดประมาณ 550 psi. เมื่อใช้น้ำปริมาณ 0.35 โดยน้ำหนัก

- การทดลองที่ 2.7 การทดสอบหาแรงดึงและแรงอัดของ Cement mortar

จากผลการทดลองกำลังรับแรงดึงและแรงอัดของ Cement mortar ที่

อัตราส่วน W/C/S = 0.6/1/2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อให้ระยะเวลาการบ่มนานขึ้น โดยที่จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

มีค่าของ Compression และ Tension สูงสุดประมาณ 3,974 psi. และ 623.3 psi. ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน การพัฒนาของค่า Compression และ Tension มีแนวโน้มของการพัฒนาสูงในช่วงแรก และจะค่อยๆ ลดลงมาเมื่อผ่านวัน 7 วันไปแล้ว

- การทดลองที่ 2.8

การทดสอบเมื่อมีการเพิ่มปูนขาวลงไป ค่าของ Compression และ Tension จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

- การทดลองที่ 2.9 การทดสอบแรงกระแทกและความทนทาน

จากตัวอย่าง 3 case คือ ปริมาณส่วนผสม RHA 0% , 35% และ 50% พบว่าความทนทานของตัวอย่างหลังจากที่ได้รับแรงกระแทกแล้ว % การสูญเสียมวลเพิ่มขึ้น จาก 3.33% เป็น 5.65% และ 13.36% ตามลำดับนั้นแสดงว่า สภาพความทนทานของตัวอย่างที่ผสม RHA จะมีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ผสม RHA เลย

- การทดลองที่ 2.10 การทดสอบการทนต่อการกัด HCl และการดัดรูป

จากการแช่ในกรดทั้ง 2 ชนิด เป็นเวลา 120 ชั่วโมงพบว่า ในกรดซัลฟูริก ตัวอย่างที่มีส่วนผสมของซีเมนต์มากเกินไปจะมีสภาพการทนต่อการกัดชนิดนี้ได้ดีกว่าตัวอย่างที่มีการผสมซีเมนต์มากเกินไปหรือไม่เลย ส่วนกรด HCl สภาพการทนต่อการกัดใกล้เคียงกัน

## บทสรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของการนำเอาซีเมนต์แกลบมาศึกษา เราสามารถเห็นจุดเด่นของสารตัวอย่างอย่างเด่นชัดในเรื่องของความสามารถในการต่อต้าน Sulphate โดยดูจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของซีเมนต์แกลบในส่วนผสมมากขึ้น ความต่อต้าน Sulphate ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งซีเมนต์แกลบยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูกมาก คุณสมบัติที่ดีอีกประการคือมีความพรุนในตัวเองสูง เหมาะกับการทำเป็นวัสดุที่ใช้ประกอบการก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบาและมีแนวโน้มที่จะมีความสามารถในการเก็บเสียงได้ดี นอกจากนี้ตามที่ได้ทำการทดลอง ความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดึงยังสามารถพัฒนาให้สูงขึ้นได้โดยการให้ซีเมนต์แกลบที่จะนำมาใช้ผสมมีขนาดเล็กลง (ผ่าน Sieve No. สูงๆ) ในการทดลองพบว่าถ้าซีเมนต์แกลบที่ใช้ผ่าน Sieve No. 60 ขึ้นไป และใช้ผสมแทน Cement ในอัตราส่วน Cement 70% RHA 30% จะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ โดยที่ค่า Compressive Strength ลดลงประมาณ 20-40%

อย่างไรก็ตามค่าความร้อนที่ใช้ในการเผา, ชนิดของสารตัวอย่างคือแกลบ ยังเป็นปัญหาที่มีผลต่อการควบคุมคุณภาพ ซึ่งเป็นข้อเสียที่ยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนตายตัว จากการศึกษาพบว่าเราสามารถที่จะนำ RHA มาผสมแทน Cement ในอัตราส่วนที่พอเหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการการรับกำลังสูง และไม่ต้องการอัตราการเพิ่มของ Strength สูงในระยะแรก

ข้อเสนอแนะในการทำการศึกษาค้นคว้าต่อ

- การศึกษาผลของการก่อให้เกิดขึ้นกับเหล็ก
- การศึกษาถึง Strength เมื่อเพิ่มปูนขาว (Lime) เข้าไป เนื่องจาก RHA มีค่า CaO ต่ำ ซึ่งการเพิ่มปูนขาวอาจช่วยให้ Strength ดีขึ้น เพราะ CaO ในปูนขาวอาจช่วยในเรื่องของการยึดเกาะให้ดียิ่งขึ้น
- การทดลองในสภาพที่ RHA มีความละเอียดมากขึ้น
- การทดลองในสภาพที่ RHA ถูกเผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

## บรรณานุกรม

- 1.บริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด : เอกสาร "เรื่องของคอนกรีต"
- 2.WE ALEX B.,Production of RHA and its Application in mortar and Concrete.MEngg Thesis no.ST 81-20 AIT BKK.,1981
- 3.MASSAZZAF ,COSTA U.,Aspect of the Pozzolanic Activity and Properties of Pozzolanic Cement, Informal Seminar on Cement Chemistry,C.A.C.A in Wexhamsprings, UK,September 1977.
- 4.LEE F.M.,The Chemistry of Cement and Concrete, Edward Arnold (Plublisher) Ltd.London
- 5.วินิต ช่อวิเชียร,คอนกรีตเทคโนโลยี,พิมพ์ครั้งที่ 7,พ.ศ.2529
- 6.ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ,ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี,ภาควิชาเทคโนโลยีการก่อสร้าง, คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2530



ภาคผนวก



ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงส่วนต่างๆที่ได้จากการสีข้าวเปลือก 1 ตันจากโรงสีหลายขนาด

| SIZES<br>OF | PRODUCTS OF ONE TON PADDY MILLING |          |               |             |
|-------------|-----------------------------------|----------|---------------|-------------|
| RICE MILL : | RICE HUSK :                       | RICE :   | BROKEN RICE : | RICE BRAN : |
| LARGE :     | 259.23 :                          | 603.29 : | 47.78 :       | 89.7 :      |
| MEDIUM :    | 262.82 :                          | 604.23 : | 46.41 :       | 86.54 :     |
| SMALL :     | 262.04 :                          | 605.48 : | 43.73 :       | 88.75 :     |
| AVERAGE :   | 261.36 :                          | 604.33 : | 45.97 :       | 88.33 :     |

FIGURES IN PARENTHESIS ARE PERCENT

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงปริมาณแกลบแต่ละภาคในประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2523

THIS FIGURE SHOW QUANTITY OF RICE MILLS  
IN EACH PART OF THAILAND ( 2523 )

| REGION :       | NUMBER OF<br>RICES MILL : | RICE PRODUCTION<br>( * 16 <sup>6</sup> TON ) : | RICE HUSK<br>( * 16 <sup>6</sup> TON ) : |
|----------------|---------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------|
| NORTHERN :     | 9420.00 :                 | 4.86 :                                         | 1.27 :                                   |
| NORTHEASTERN : | 20444.00 :                | 5.81 :                                         | 1.52 :                                   |
| CENTRAL :      | 4975.00 :                 | 5.54 :                                         | 1.45 :                                   |
| SOUTHERN :     | 4631.00 :                 | 1.15 :                                         | 0.30 :                                   |
| TATAL :        | 39470.00 :                | 17.40 :                                        | 4.54 :                                   |

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงองค์ประกอบต่างวในแกลบ (จาก Ref.4,p.308.)

| H <sub>2</sub> O | Crude Protein | Crude Fat         | Nitrogen-Free Extract | Crude Fiber  | (% by wt.) Ash | Pentosans    | Cellulose          | Other        | Year  | Ref. |
|------------------|---------------|-------------------|-----------------------|--------------|----------------|--------------|--------------------|--------------|-------|------|
| 9.7              | 3.4           | 1.4               | 37.0                  | 42.8         | 15.7           | ...          | ...                |              | 1871  | 256  |
| 8.27             | 2.87          | 0.85              | 34.99                 | 38.15        | 13.85          | ...          | ...                |              | 1889  | 302  |
| 8.97             | 3.50          | 0.49              | 37.86                 | 41.89        | 18.29          | 17.24        | ...                |              | 1914  | 225  |
| 10.0             | 3.7           | 1.4               | 32.3                  | ...          | ...            | ...          | 38.1               |              | 1907  | 113  |
| 8.5              | 3.6           | 0.9               | 29.4                  | 39.1         | 18.6           | 18.14        | ...                |              | 1916  | 65   |
| 6.62, 6.12       | 7.56, 7.69    | 0.50, 0.86        | ...                   | 35.99, 36.08 | 18.70, 20.10   | 18.17, 18.14 | ...                |              | 1916  | 225  |
| ...              | 4.4           | 1.6               | 35.5                  | 4.15         | 17.1           | ...          | ...                |              | 1919  | 167  |
| 11.04            | 1.7           | 0.4               | 28.95                 | ...          | ...            | ...          | 43.12              |              | 1920  | 35   |
| ...              | 5.95          | 2.22              | 38.97                 | 31.71        | 21.13          | ...          | ...                | 1.76 starch  | 1924  | 83   |
| 9.2              | 7.26          | 0.90              | ...                   | ...          | 18.0           | ...          | 65.00 <sup>b</sup> |              | 1926  | 137  |
| 8.80             | ...           | 0.89              | ...                   | ...          | 17.80          | ...          | 34.34              | 46.97 lignin | 1926  | 78   |
| 9.3              | 3.3           | 1.1               | 34.0                  | 35.4         | 16.9           | ...          | ...                |              | 1927  | 50   |
| 11.35            | 3.90          | 1.27              | 25.83                 | 40.22        | 17.43          | ...          | ...                |              | 1928  | 102  |
| 9.8-11.00        | 2.94-3.62     | 0.8-1.20          | 24.70-27.90           | ...          | 15.68-18.24    | ...          | 41.10-42.90        |              | 1928  | 25   |
| 7.7, 6.8         | 1.8, 2.0      | 0.6, 0.6          | 32.7, 30.0            | 35.0, 38.9   | 22.3, 21.7     | ...          | ...                |              | 1933  | 243  |
| 9.03             | 1.79          | 0.44              | 25.79                 | 40.67        | 22.29          | ...          | ...                |              | 1940  | 174  |
| 8.25             | ...           | ...               | ...                   | ...          | 21.30          | 20.90        | ...                |              | 1943  | 257  |
| 3.74             | 6.06          | 1.33 <sup>b</sup> | 27.25                 | ...          | 17.03          | 16.94        | 35.48              |              | 1943  | 114  |
| 8.1              | 3.0           | 0.9               | ...                   | ...          | 18.5           | 18.1         | 39.1               |              | 1944  | 110  |
| 8.1              | 3.1           | 0.9               | 28.9                  | 40.1         | 18.9           | ...          | ...                |              | 1946  | 66   |
| ...              | ...           | ...               | ...                   | ...          | 13.6           | ...          | 43.7               | 39.2 lignin  | 1947  | 42   |
| ...              | 2.86          | 0.92              | ...                   | 38.43        | 21.41          | 19.32        | ...                |              | 1949  | 47   |
| 8.49             | 3.56          | 0.93              | 29.36                 | ...          | 18.59          | ...          | ...                |              | ...   | 198  |
| 8.3              | 2.88          | 3.5 <sup>a</sup>  | ...                   | ...          | 22.6           | 26.0         | 42.2               | 19.2 lignin  | 1950  | 166  |
| 9.23             | 6.38          | 0.65              | 31.58                 | 31.30        | ...            | ...          | 39.03              |              | 1952  | 16   |
| 0.0              | ...           | ...               | ...                   | ...          | 19.03-29.04    | ...          | ...                |              | 1953  | 150  |
| 10.0             | 2.00          | 1.20 <sup>b</sup> | ...                   | ...          | 17.60          | 21.95        | 41.22              | 32.88 lignin | 1953  | 240  |
| 10.23            | 1.91          | 0.52              | 29.6                  | ...          | 18.33          | ...          | 39.39              |              | 1954  | 15   |
| 8.9              | 3.0           | 0.8               | 28.4                  | 40.7         | ...            | ...          | ...                |              | 1956  | 158  |
| ...              | 1.75          | 2.98              | 26.05                 | 44.81        | 24.16          | ...          | ...                |              | 1962  | 138  |
| 8-11             | 2-3           | 0.5-1             | 25-30                 | 36-45        | 22-24          | ...          | ...                |              | 1964  | 5    |
| 0.0              | 1.8-2.6       | 0.56, 0.81        | 29.9, 30.8            | 44.5, 46.3   | 21.2-24.0      | ...          | ...                |              | 1969  | 249  |
| 0.0              | 2.18-4.84     | 0.38-0.78         | 26.0-34.1             | 47.28-49.92  | 15.27-20.92    | ...          | ...                |              | 1970  | 184  |
| 2.4-11.35        | 1.7-7.26      | 0.38-2.98         | 24.7-38.79            | 31.71-49.92  | 13.16-29.04    | 16.94-21.95  | 34.34-40.8         | 21.4-40.97   | Range |      |

<sup>a</sup> Alcohol extract, <sup>b</sup> Cellulose plus pectin.

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงองค์ประกอบต่างวในหัวแกลบ (จาก Ref.4,p.312.)

| (% d.b.)           |                   |                   |         |      |                                |                               |                 |      | Year | Ref. |
|--------------------|-------------------|-------------------|---------|------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|------|------|------|
| SiO <sub>2</sub>   | K <sub>2</sub> O  | Na <sub>2</sub> O | CaO     | MgO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | Cl   |      |      |
| 93.21              | 1.53              | 0.30              | 0.51    | 0.07 | 0.45                           | 2.69                          | 0.42            | 0.15 | 1870 | 123  |
| 89.71              | 1.60              | 1.58              | 1.01    | 1.96 | 0.54                           | 1.86                          | 0.92            | ...  | 1871 | 256  |
| 96.97              | 0.58              | ...               | 0.57    | 0.12 | ...                            | 0.57                          | ...             | ...  | 1916 | 65   |
| ...                | ...               | 1.75              | ...     | ...  | ...                            | ...                           | ...             | ...  | 1917 | 72   |
| 97.3               | ...               | ...               | 0.43    | ...  | 0.38 <sup>a</sup>              | 1.44                          | ...             | ...  | 1925 | 168  |
| ...                | ...               | ...               | 1.38    | ...  | ...                            | 2.78                          | ...             | ...  | 1928 | 102  |
| 94.50              | 1.10              | 0.78              | 0.25    | 0.23 | tr                             | 0.53                          | 1.13            | tr   | 1928 | 29   |
| ...                | 0.75              | ...               | 1.3     | ...  | ...                            | 0.23                          | ...             | ...  | 1929 | 134  |
| 95.4               | ...               | ...               | ...     | ...  | ...                            | ...                           | ...             | ...  | 1930 | 86   |
| 95.49              | 1.86 <sup>b</sup> | ...               | 0.86    | 0.28 | 0.94 <sup>a</sup>              | 0.36                          | ...             | ...  | 1933 | 243  |
| ...                | 1.8-2.5           | ...               | 1.0-1.5 | ...  | ...                            | 0.5-2.0                       | ...             | ...  | 1941 | 103  |
| 96.5               | 1.00              | 0.4               | 0.25    | 0.25 | tr                             | 0.3                           | 1.00            | tr   | 1952 | 176  |
| 96.62 <sup>c</sup> | 1.59              | 0.0               | 0.32    | 0.76 | ...                            | ...                           | 0.40            | 0.42 | 1953 | 150  |
| ...                | ...               | ...               | 0.52    | ...  | ...                            | 0.32                          | ...             | ...  | 1962 | 138  |
| 96.20              | 0.79              | ...               | 0.24    | 0.24 | ...                            | 0.46                          | ...             | ...  | 1966 | 15   |
| 92.47-95.04        | 1.70              | ...               | 0.25    | 0.23 | ...                            | 0.67                          | ...             | ...  | 1966 | 32   |
| 92.6               | ...               | ...               | 0.2     | ...  | ...                            | 0.2                           | ...             | ...  | 1966 | 173  |
| 96.9-96.2          | ...               | ...               | ...     | ...  | ...                            | ...                           | ...             | ...  | 1966 | 136  |
| 93.96              | ...               | ...               | 0.88    | 0.76 | ...                            | 2.85                          | ...             | ...  | 1968 | 14   |
| 91.16              | 4.75 <sup>b</sup> | ...               | 0.65    | 0.99 | 0.21                           | ...                           | 0.10            | ...  | 1970 | 77   |

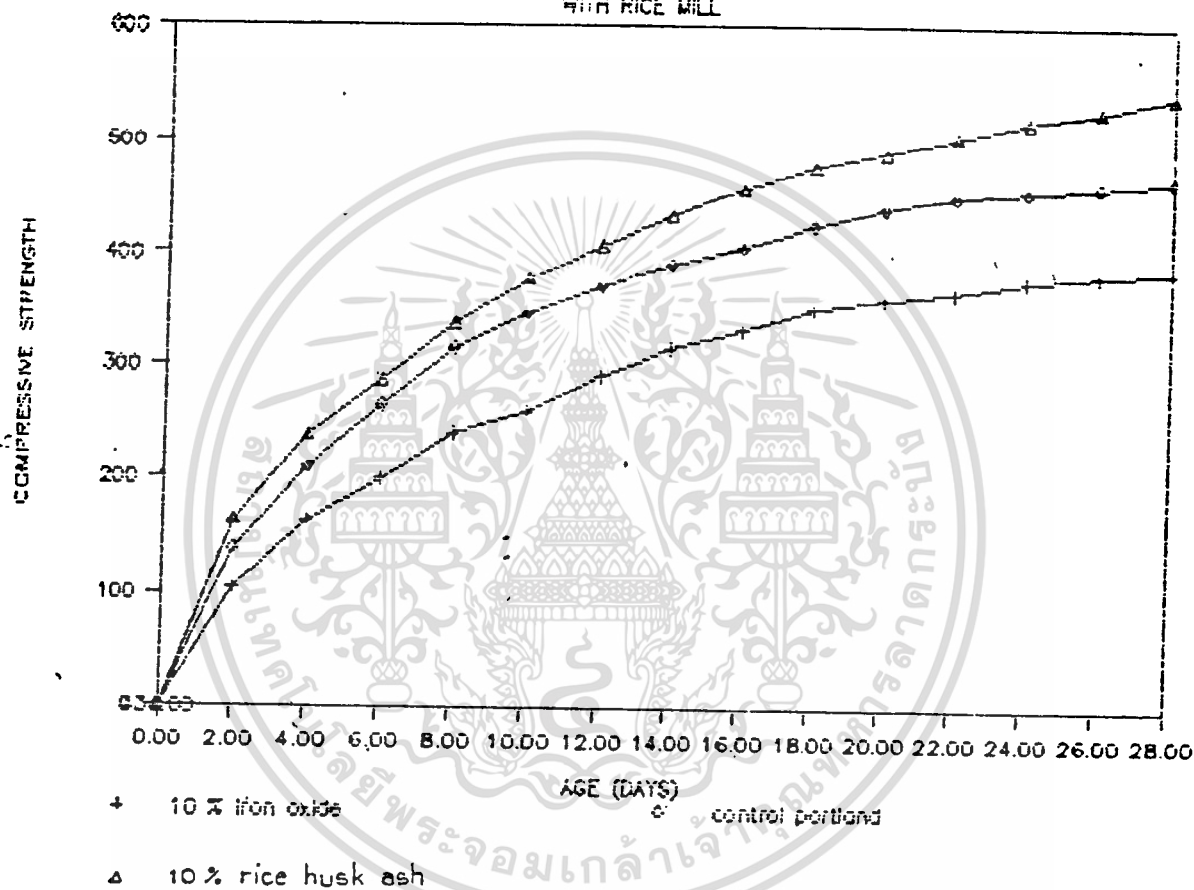
86.9-97.3 0.58-2.5 0.0-1.75 0.2-1.5 0.12-1.96 tr-0.54 0.2-2.85 0.10-1.13 tr-0.42 Range

<sup>a</sup> Total of iron plus aluminum as oxides.

<sup>b</sup> Total of potassium plus sodium as oxides.

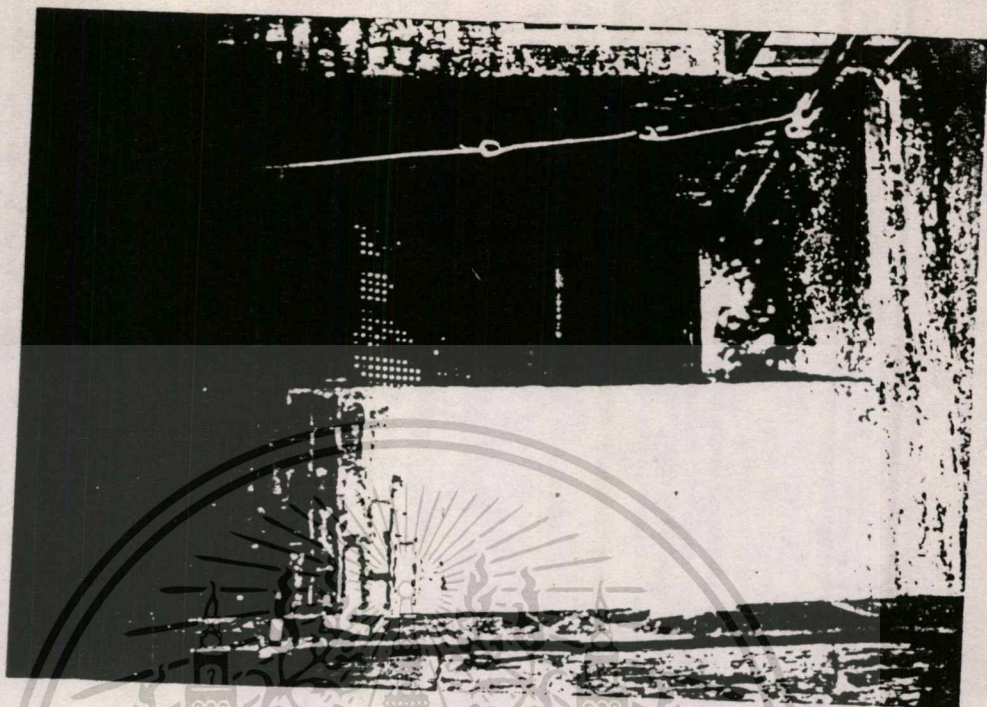
<sup>c</sup> Trace elements present include aluminum, copper, iron, manganese as well as detectable amounts of barium, boron, and zinc. Tin was not found.

## COMPRESSION STRENGTH OF CEMENT WITH RICE MILL



ตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงความทนแรงอัดของซีเมนต์ที่ผลิตจากแกลบ



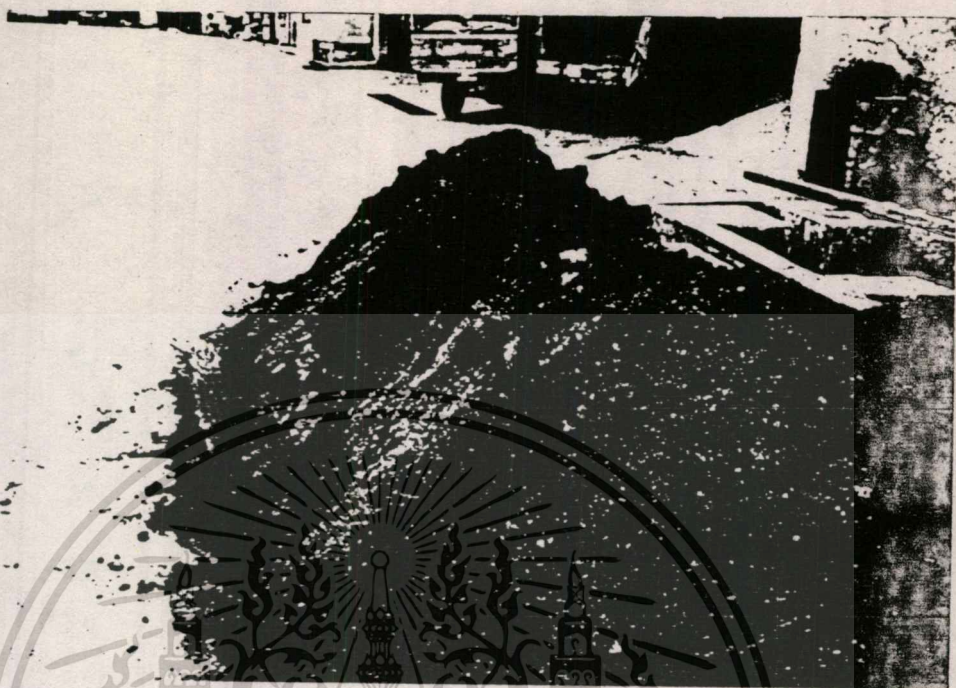


สภาพของเตาเผาที่โรงสี

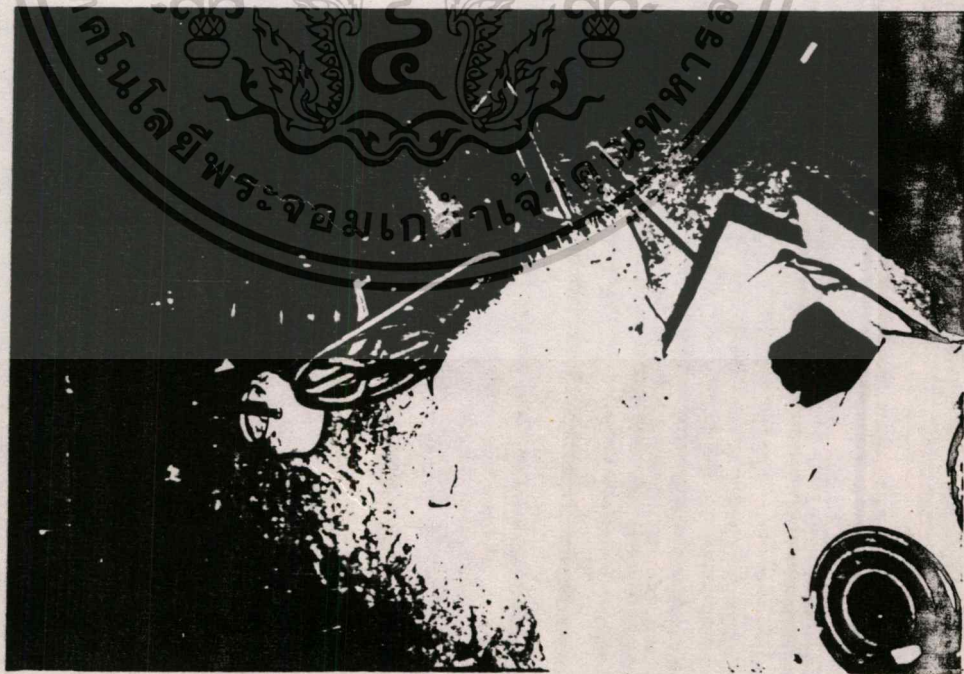


สภาพของเตาเผาที่เผาที่อุทุมมิ 400 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ซีเมนต์ที่ถูกเผาแล้วบริเวณโรงสี จ.พิษณุโลก

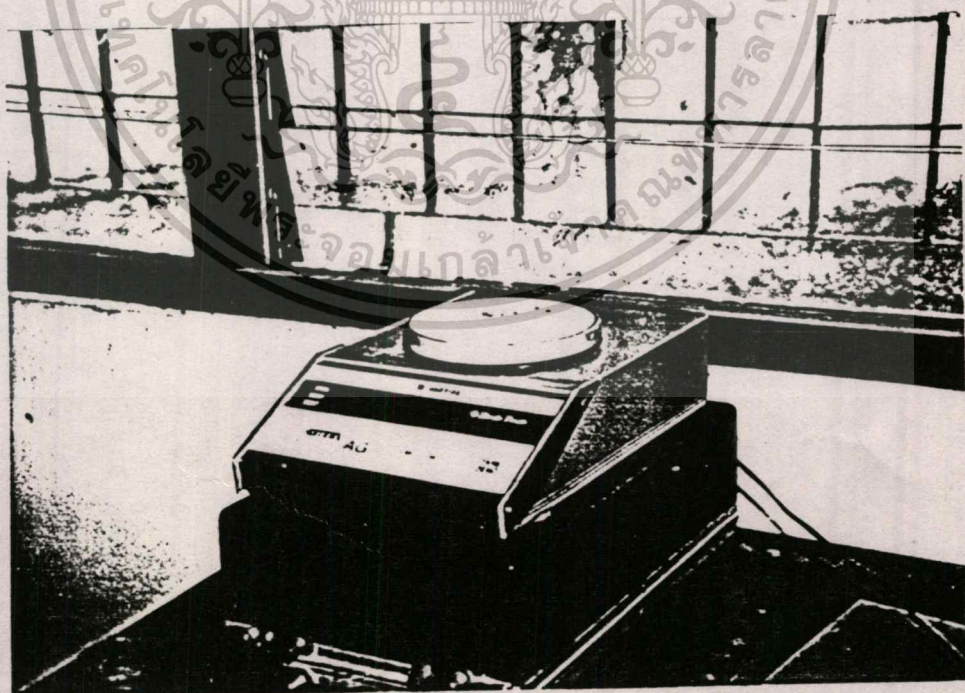


แกลขี้นี้เก็บที่บริเวณ โรงฝึกงานเทคโนโลยีก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

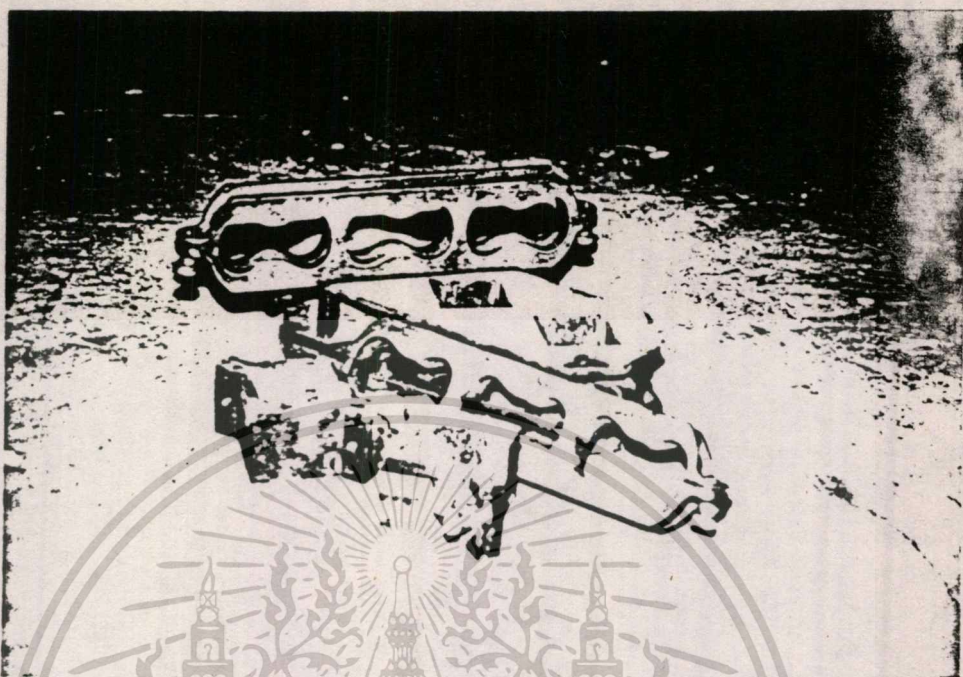


เครื่องช่วยให้อาหารแล่นผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ

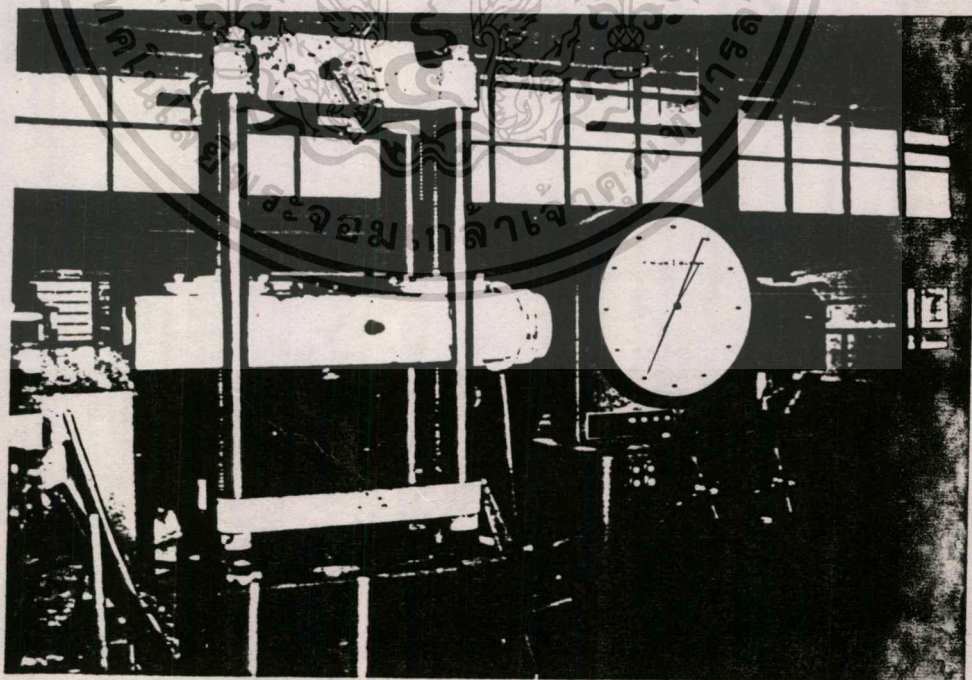


เครื่องชั่งน้ำหนักคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

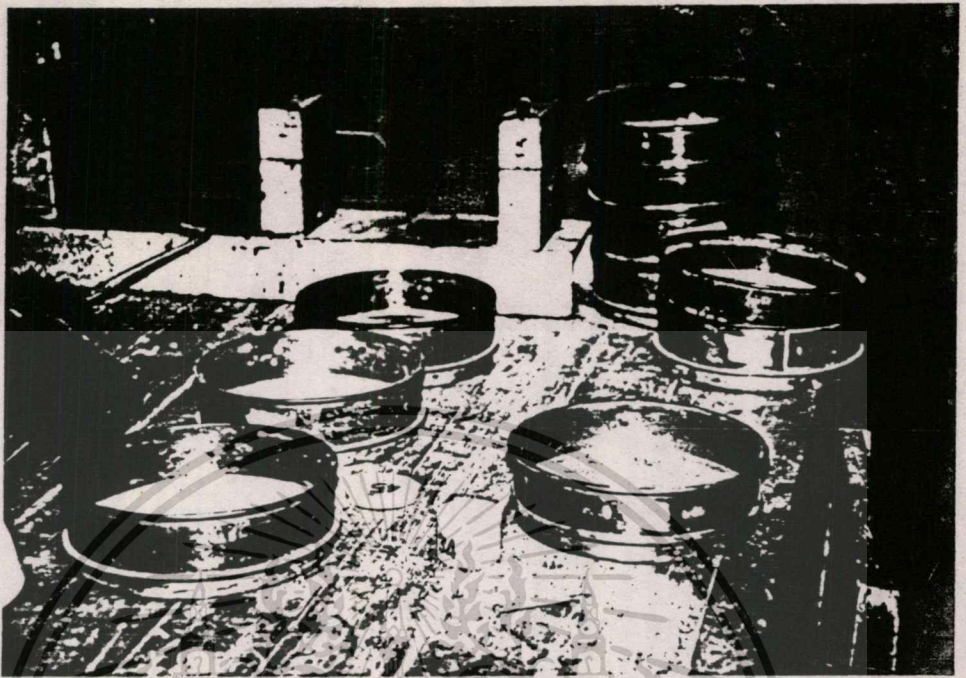


แบบทองเหลืองที่ใช้บรรจุมอร์ดาเพื่อทดสอบแรงกด แรงดึง

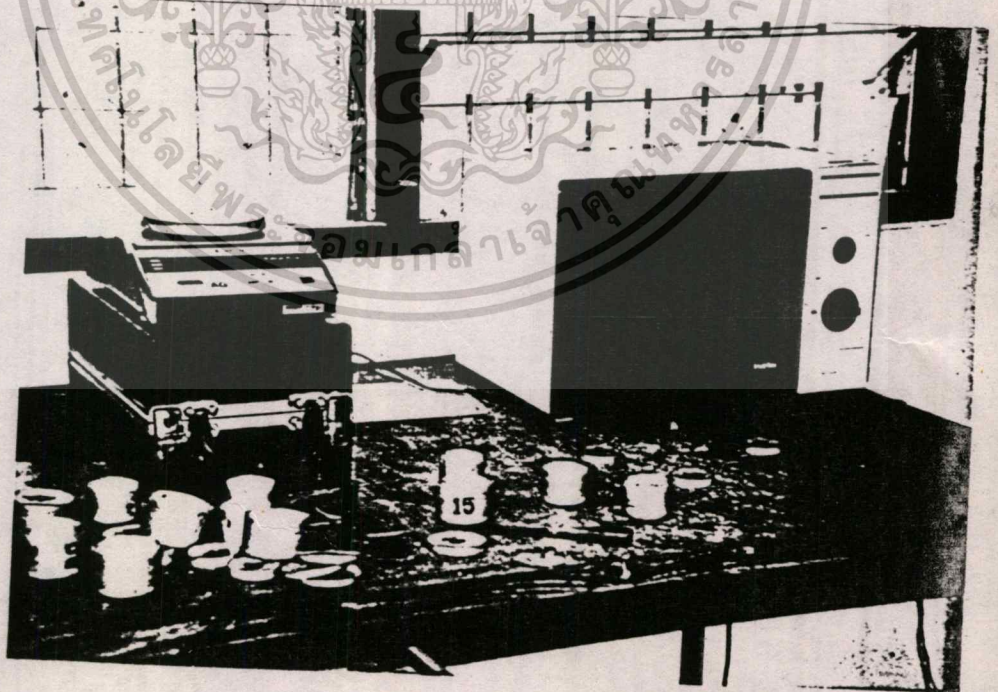


เทสที่ตึง แมชชีน เครื่องมือทำการกดถ่ายน้ำหนักแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

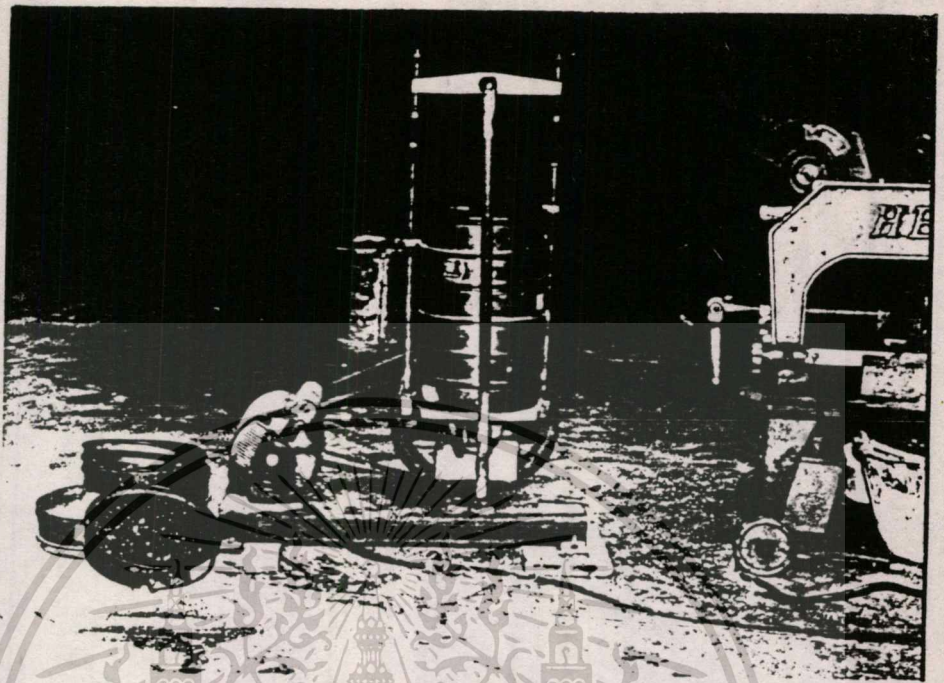


ตระแกรง ขนาดความถี่ต่างๆที่ใช้ล่อนแกลบ



เครื่องชั่ง และเตาอบที่ใช้ประกอบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

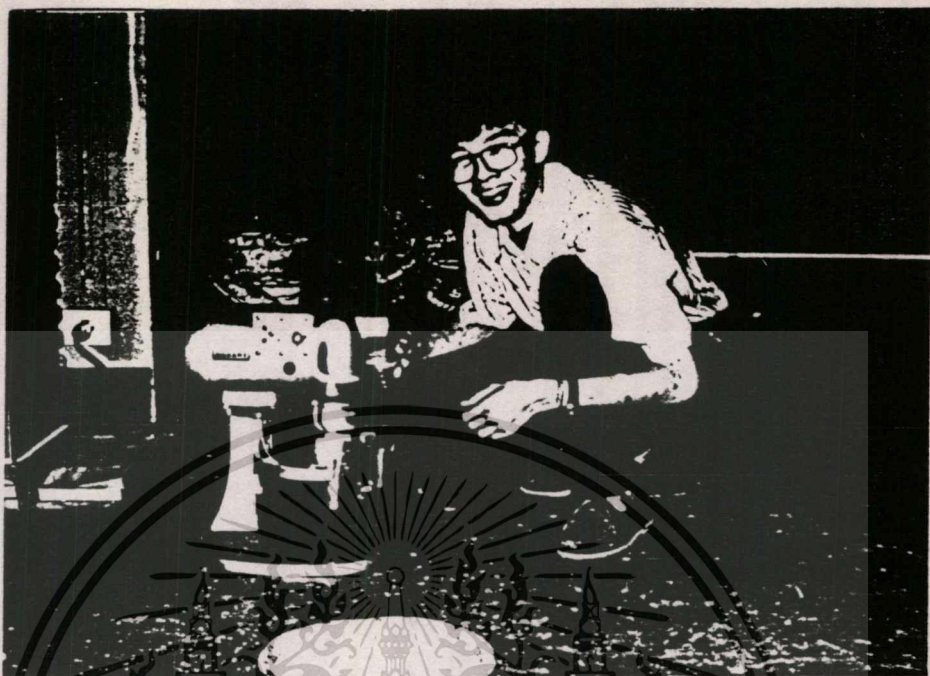


การทำการแยกขนาดของซี แก้วผ่านตะแกรงแยกขนาดต่างๆ

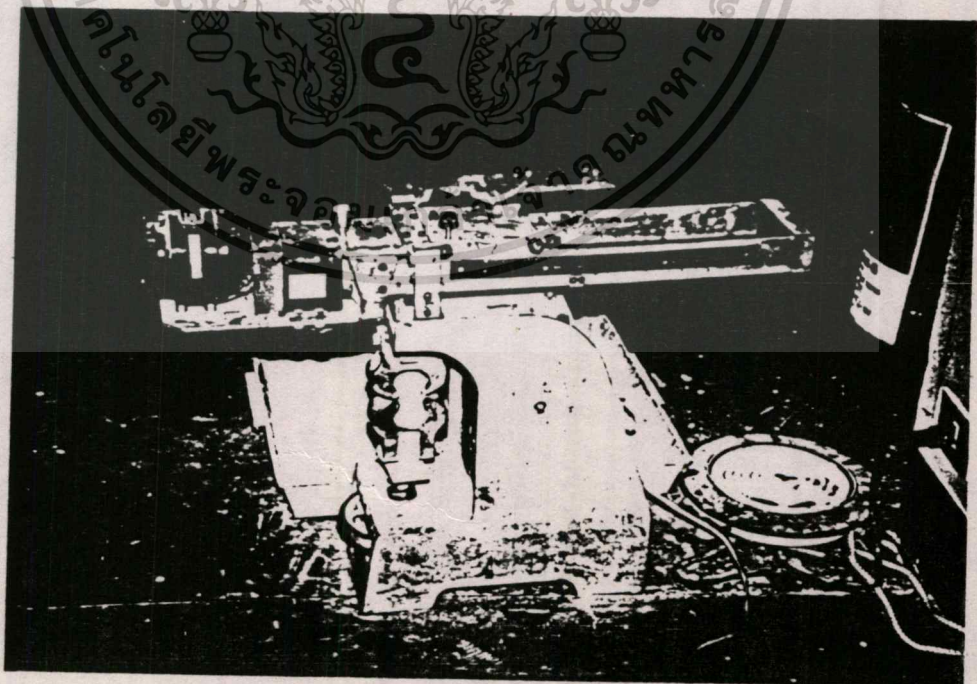


ทำการ ชั่งน้ำหนักเตรียมการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

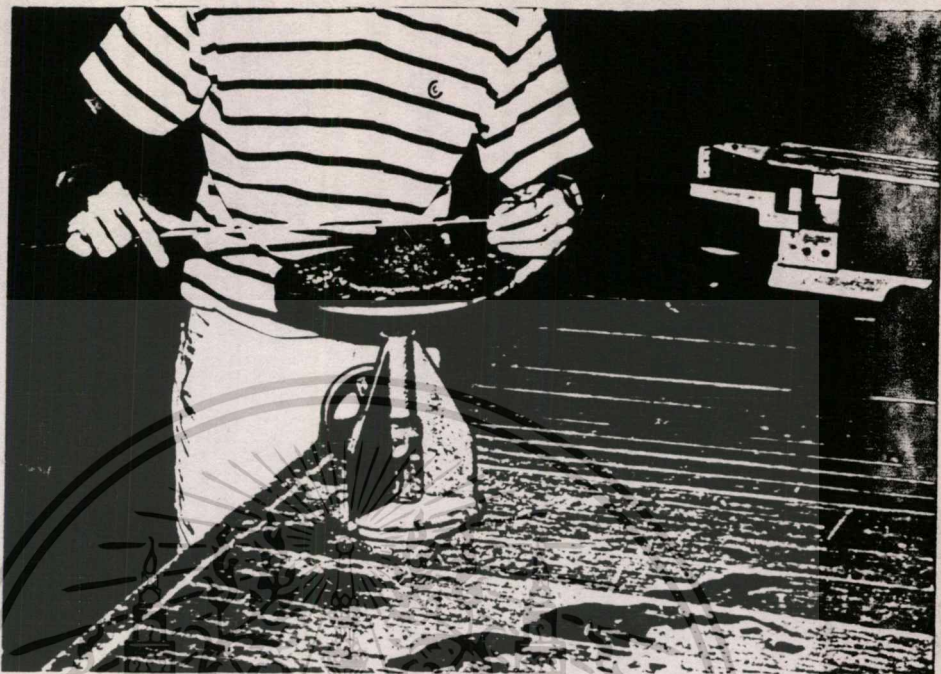


การทำการผสมมอร์ต้ากับซีเมนต์ผ่านเครื่องผสม

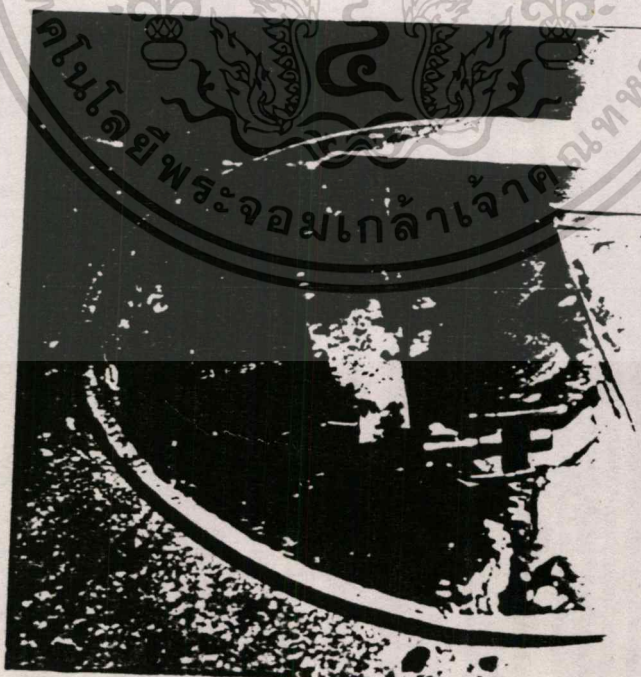


ตัวอย่างผ่านการทดสอบแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

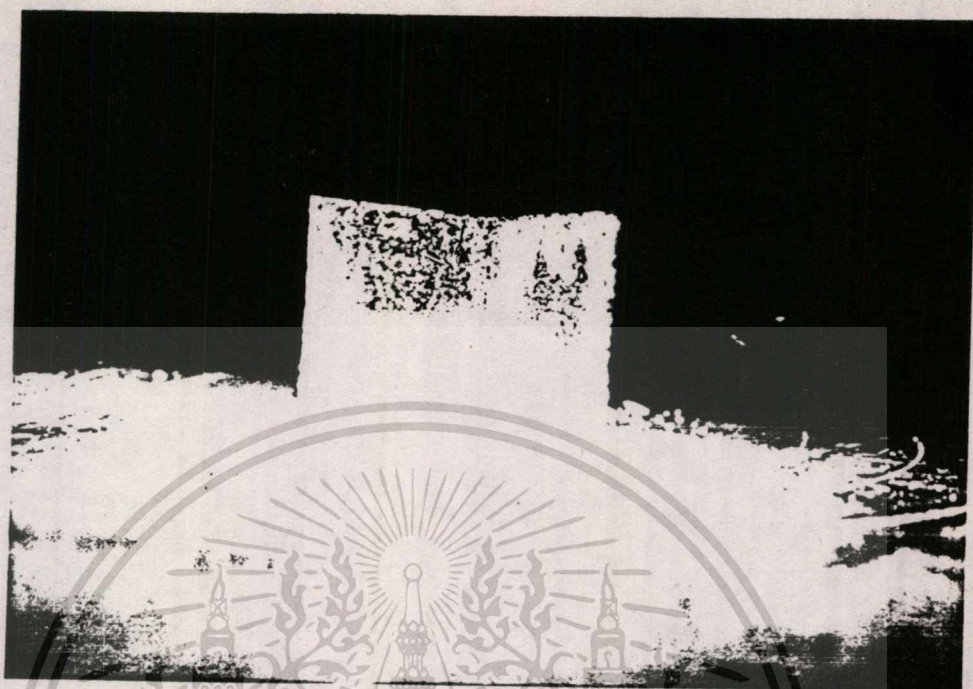


การทดสอบองค์ประกอบของน้ำในซีเมนต์มอร์ต้า



เมื่อนำเอามอร์ต้าผสมเกลบลงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

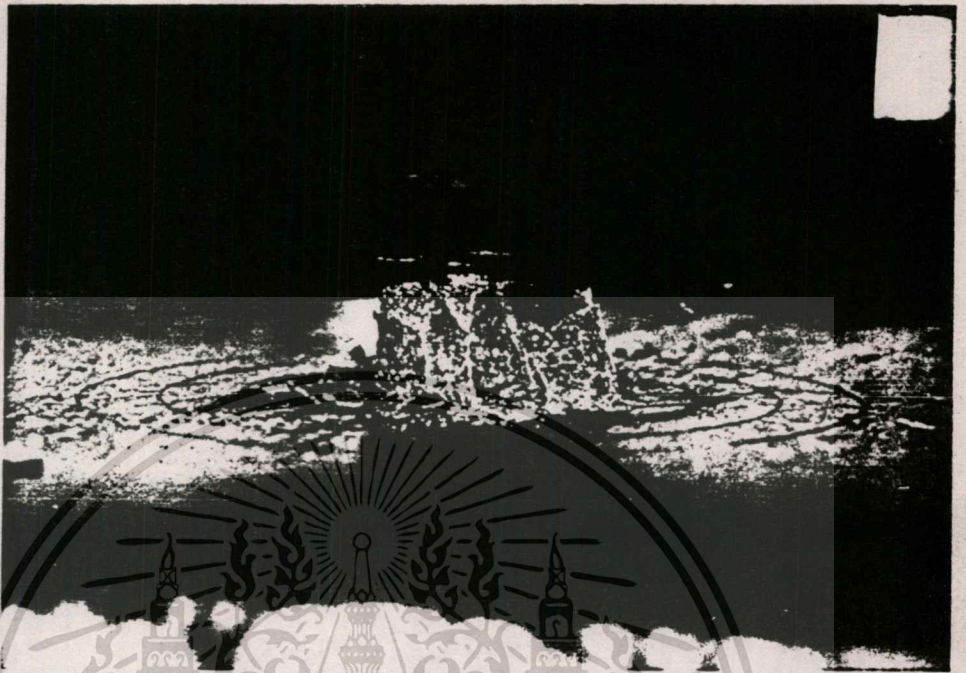


ตัวอย่างที่ทำการทดสอบการรับแรงกด

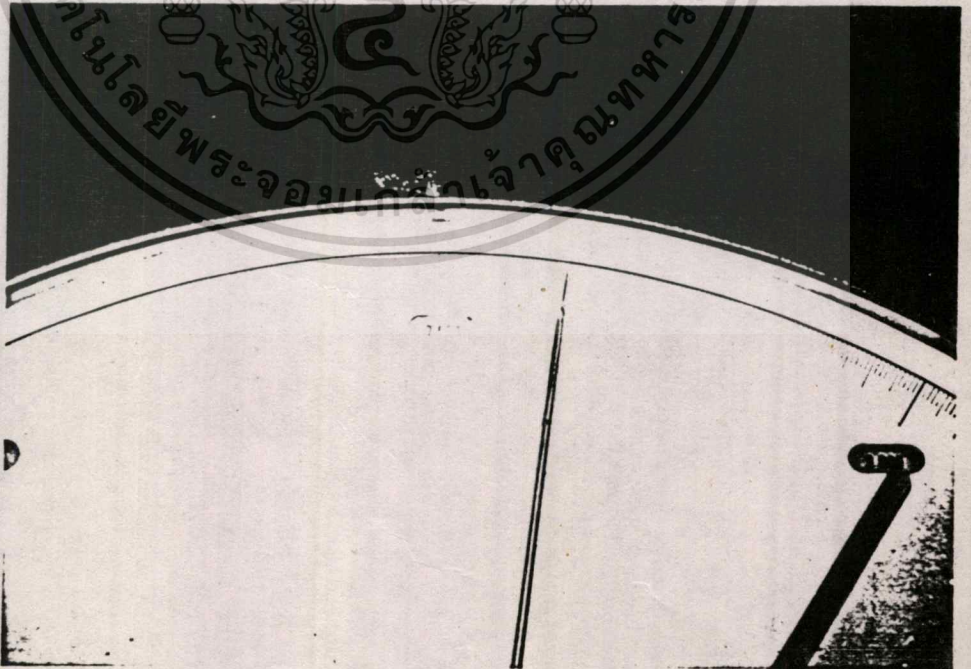


ตัวอย่างที่ทำการทดสอบรับแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

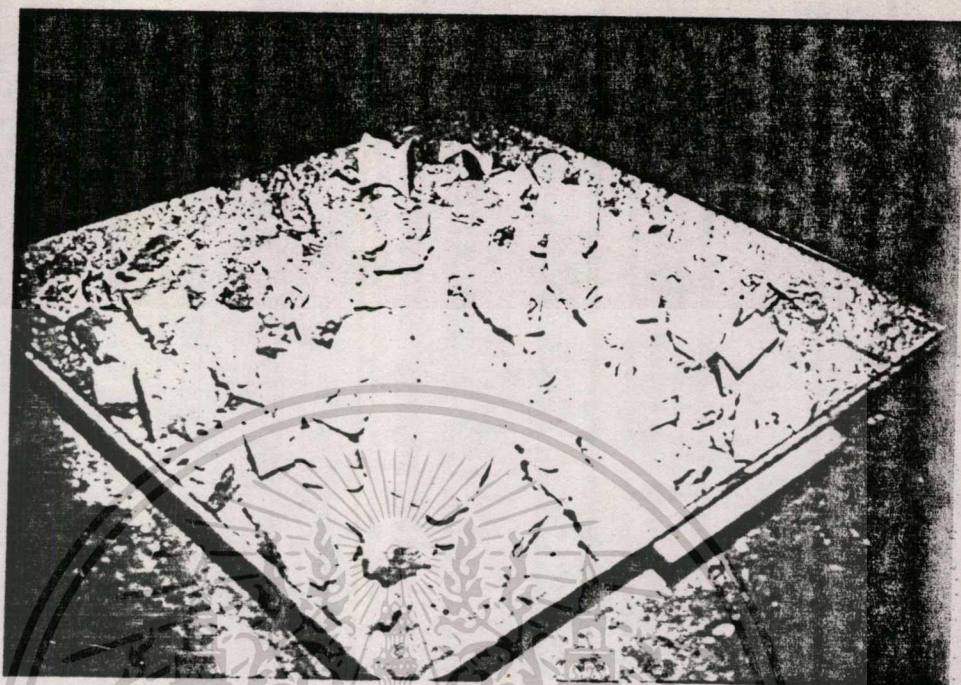


ตัวอย่างที่ทำการทดสอบรับแรงกด

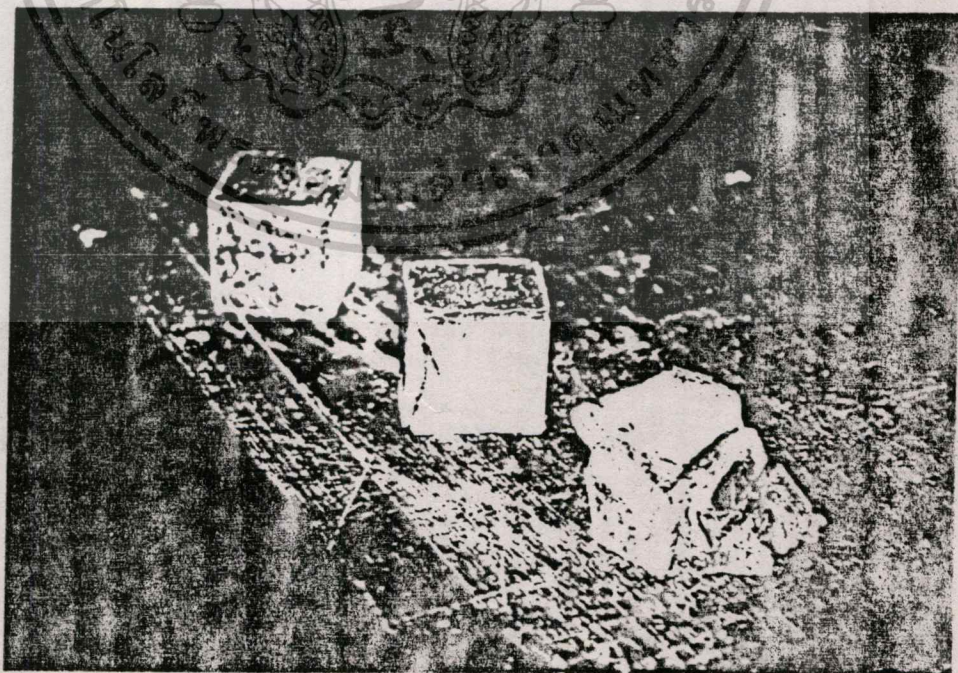


ส.ก.อ.ของเครื่องทดสอบแสดงความสามารถในการรับแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

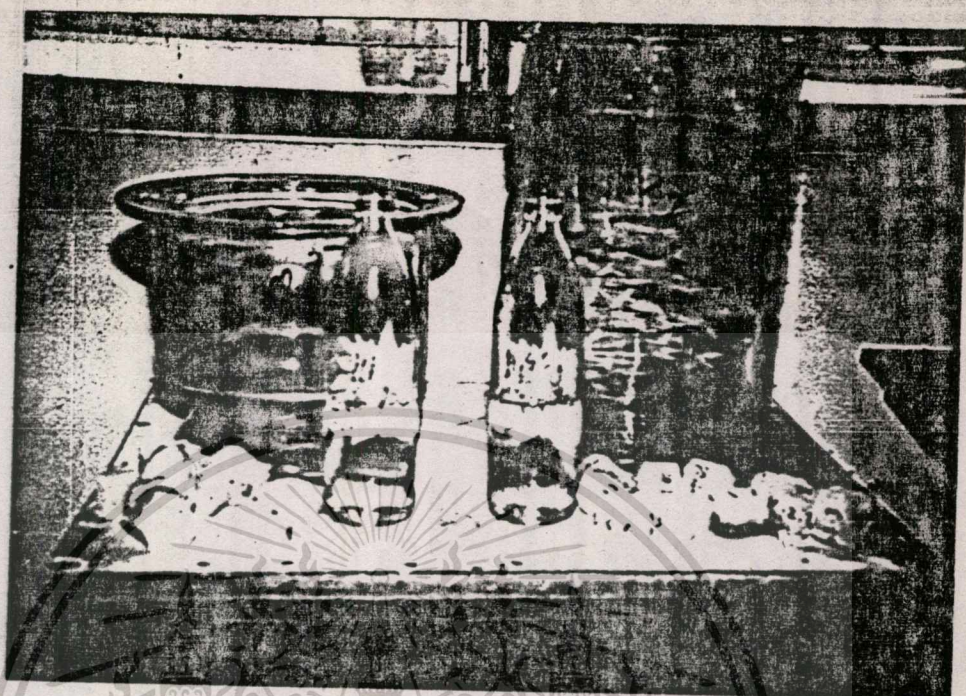


ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบ

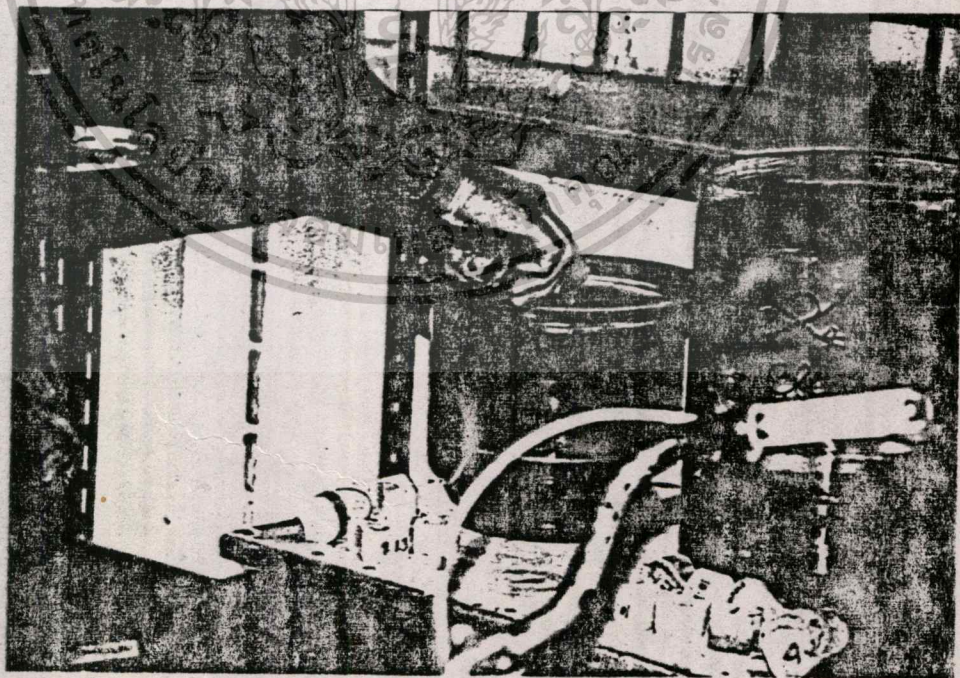


สภาพตัวอย่างหลังการทดสอบการรับแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

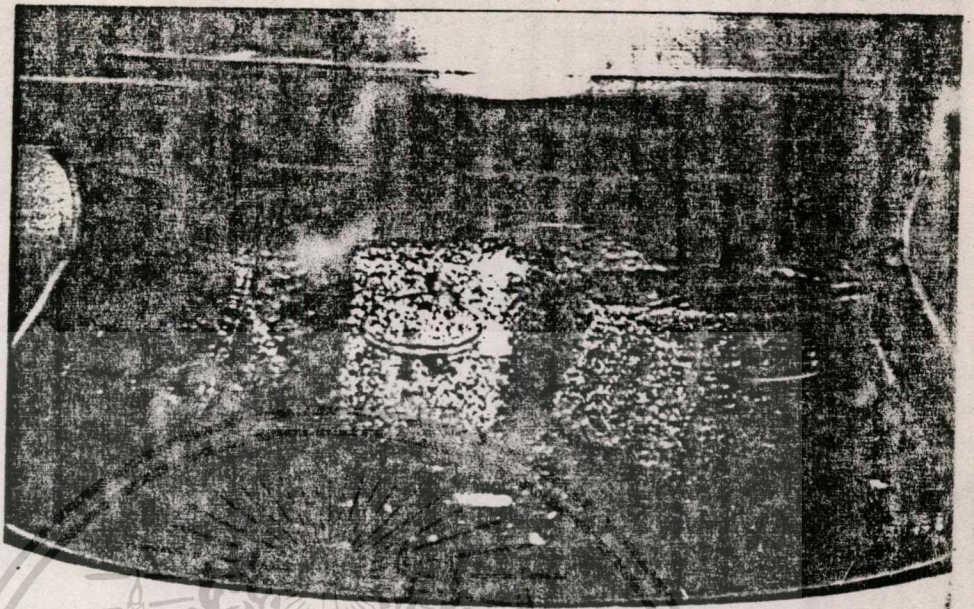


การเตรียมการทดสอบการทนต่อกรด

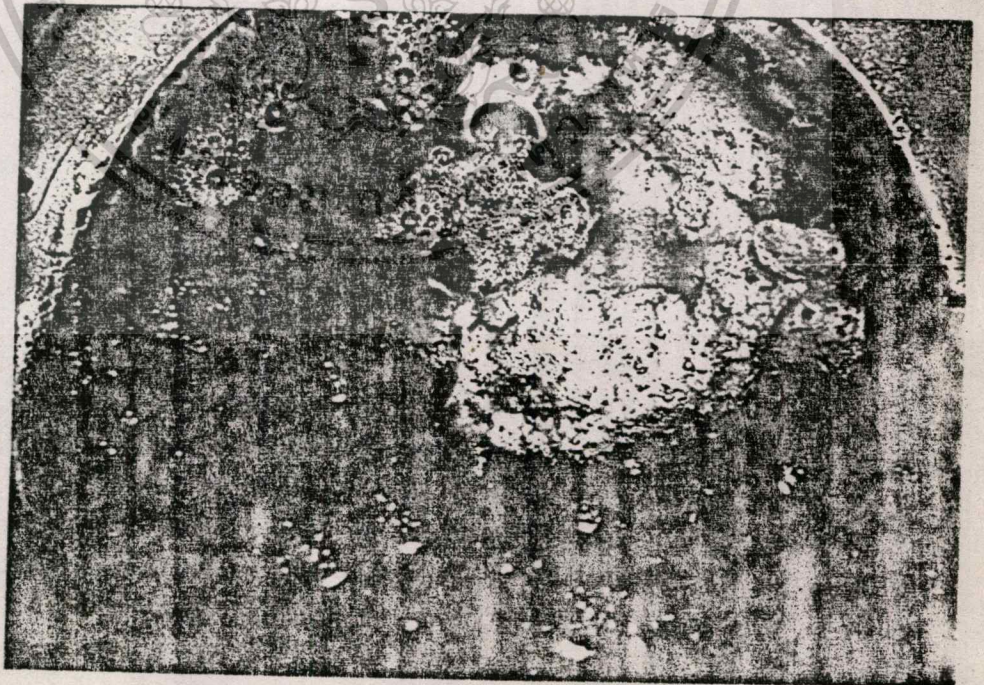


เทรคใส่โหลแช่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

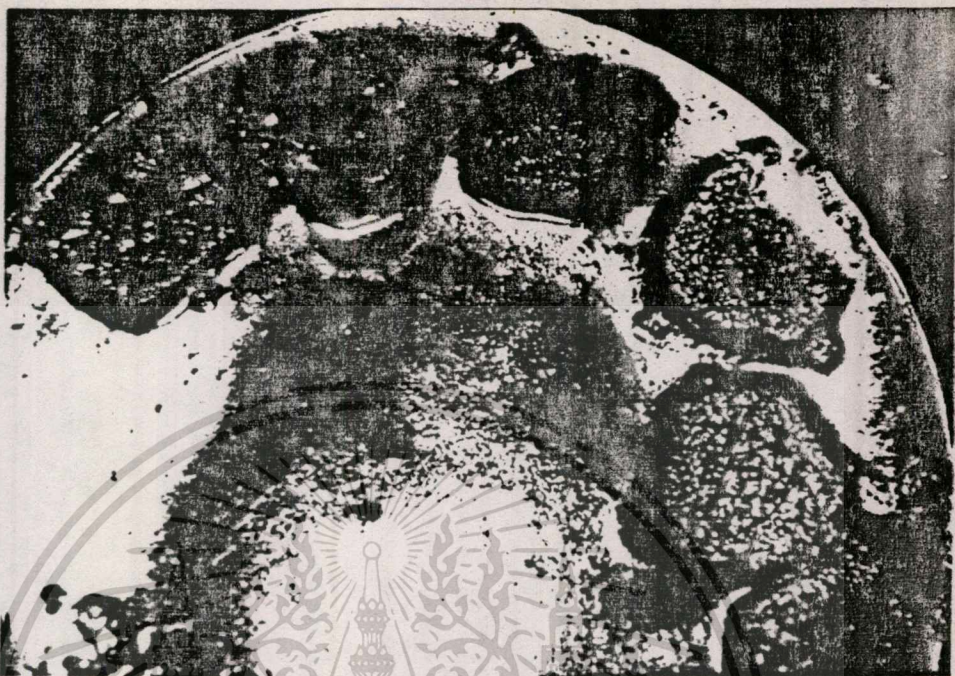


สภาพของตัวอย่างเมืองเข็กรคในตอนแรก

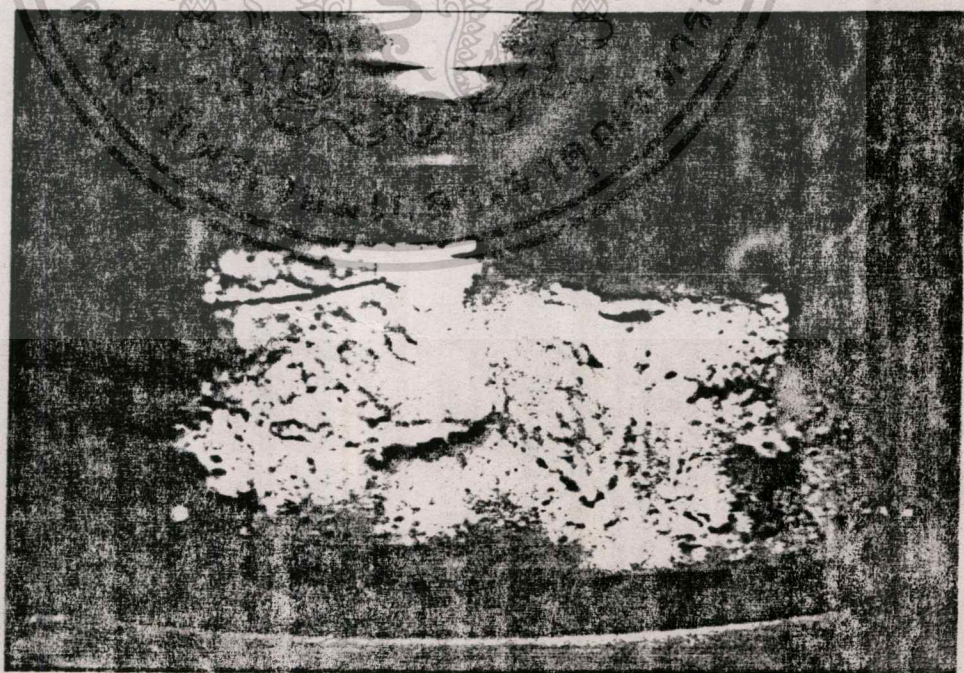


สภาพตัวอย่างเมื่อผ่านการกัดของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

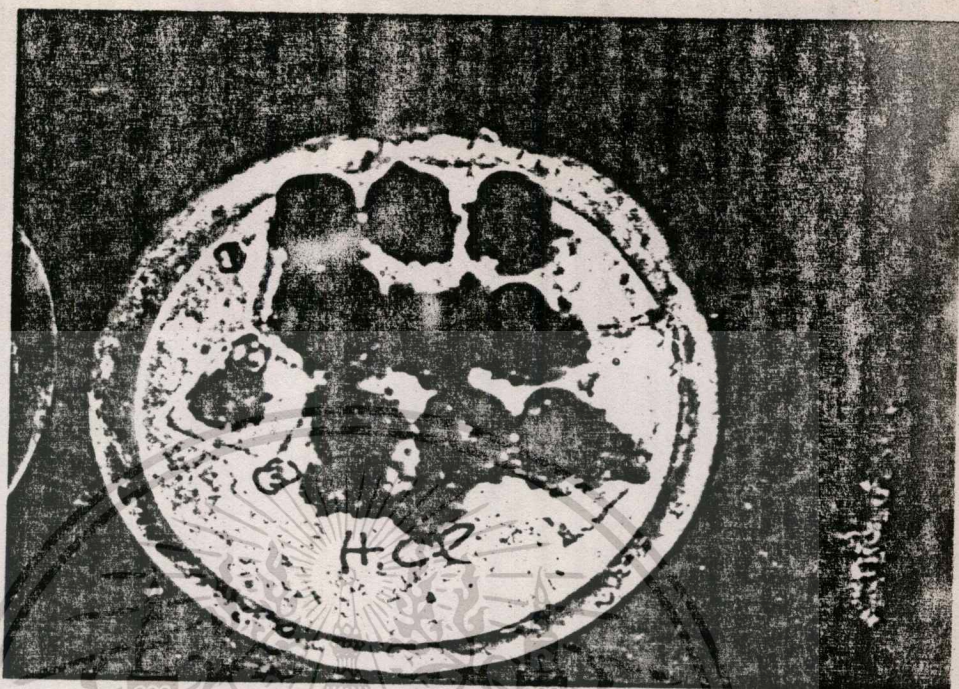


สภาพตัวอย่างเมื่อผ่านการกัดของกรด

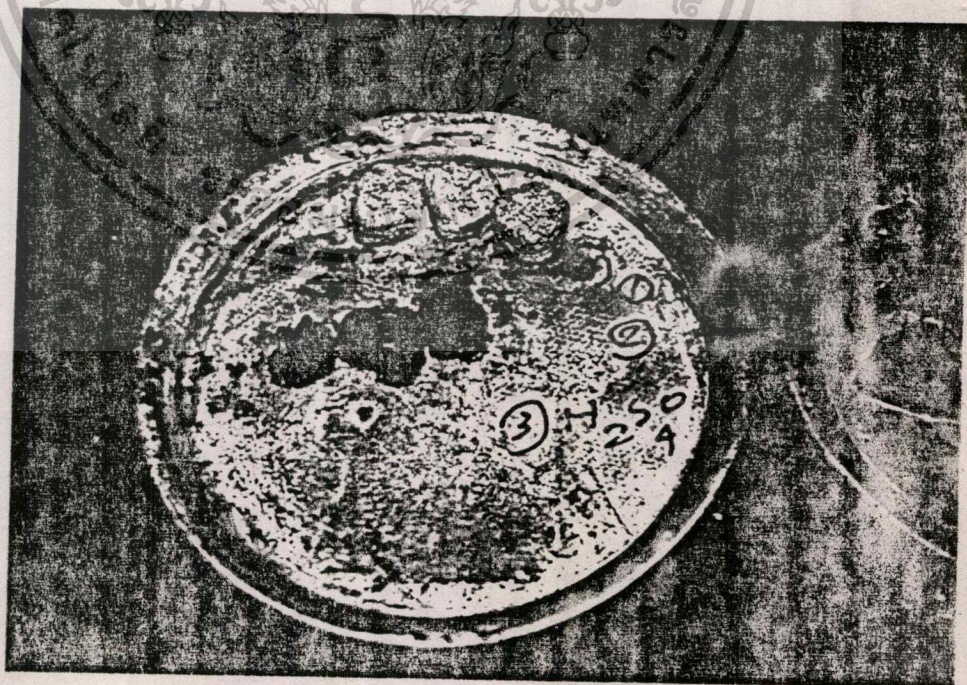


สภาพตัวอย่างที่ผ่านการกัดของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างหลังจากแช่น้ำกรด



ตัวอย่างหลังจากผ่านกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้