# บทที่ 4

## การดำเนินงานวิจัยและผลการวิจัย

### 4.1 การจัดหาและเตรียมวัสดุอุปกรณ์

ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี่ ซึ่งมีการทดลอง ทดสอบ การจัดหาและเตรียมวัสดุอุปกรณ์ให้พร้อมจึงเป็นขั้นตอนแรกของงานวิจัย ในที่นี้พิจารณาวัสดุและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการผสมคอนกรีต ซึ่งวัสดุบางอย่างจะต้องทราบคุณสมบัติและจัดการให้เหมาะสมพร้อมที่จะใช้งานได้

#### 4.1.1 การลดขนาดของแร่

แร่ต่าง ๆ ที่จัดหาได้อันได้แก่ แร่แบไรท์ เฮมาไทท์ อิลเมไนท์ และแร่กาลีนา ซึ่งจะใช้เป็นวัสดุผสมในการหล่อคอนกรีตหนัก เป็นสินแร่ธรรมชาติ มีแร่อิลเมไนท์เท่านั้นที่มีลักษณะเป็นผงขนาดเล็กเท่าเม็ดทรายสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมละเอียดในการผสมคอนกรีตได้เลย ส่วนแร่อื่น ๆ มีขนาดหยาบและมีฝุ่นทรายหรือดินติดอยู่ จึงต้องทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำและผึ่งให้แห้งก่อน แล้วจึงทำการลดขนาดแร่ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนตามวัตถุประสงค์ดังนี้

(1) ลดขนาดเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมหยาบ ต้องการแร่มีขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ $\frac{3}{4}$ นิ้ว โดยการใช้ Jaw crusher เป็นเครื่องย่อย เมื่อแร่ผ่านเครื่องย่อยได้ขนาดตามต้องการแล้ว จึงใช้ตะแกรงมาตรฐาน ( sieve) เบอร์ 4 ( 4.75 มม ) ร่อนคัดขนาด แล้วใช้ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเป็นวัสดุผสมหยาบ

ขนาดของวัสดุผสมละเอียด

| ขนาดของตะแกรง (เมช) | ร้อยละของวัสดุผสมที่ผ่านตะแกรง | | | |
|---|---|---|---|---|
| | แบไรท์ | กาลีนา | เฮมาไทท์ | อิลเมไนท์ |
| 5 | 71.5 | 81.5 | 69.5 | |
| 10 | 21.3 | 29.5 | 20.0 | |
| 18 | 3.5 | 6.0 | 4.4 | |
| 25 | 1.12 | 32.8 | 2.4 | 82.0 |
| 52 | 0.68 | 1.85 | 1.6 | 9.5 |
| 100 | 0.38 | 0.95 | 1.1 | 0.2 |

ขนาดของวัสดุผสมหยาบ

| ขนาดของตะแกรง (เมช) | ร้อยละของวัสดุผสมที่ผ่านตะแกรง | | |
|---|---|---|---|
| | แบไรท์ | กาลีนา | เฮมาไทท์ |
| $\frac{3}{4}$ | 89.7 | 67.9 | 63.9 |
| $\frac{1}{2}$ | 15.01 | 3.15 | 5.7 |
| $\frac{3}{8}$ | 0.18 | 0.05 | 0.5 |

(2) <u>ลดขนาดเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมละเอียด</u> นำแร่ที่ผ่านการลดขนาดครั้งแรกบางส่วน ผ่านเข้าเครื่องย่อย ( roll crusher) ซึ่งกะระยะของเพลาของลูกกลิ้งให้มีขนาดพอสมควรที่เมื่อแร่ผ่านออกมาแล้วจะมีขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ $\frac{3}{8}$ นิ้ว แล้วทำการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เบอร์ 30 และเบอร์ 200 ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ใช้เป็นวัสดุผสมหยาบรวมกับแร่ที่ลดขนาดครั้งแรก ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 30 และเบอร์ 200 ใช้เป็นวัสดุผสมละเอียด สำหรับส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นฝุ่นซึ่งไม่ต้องการ

### 4.1.2 <u>การหาความถ่วงจำเพาะของแร่</u>

ความถ่วงจำเพาะของแร่ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของแร่ที่ชั่งในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะของแร่ขึ้นอยู่กับ

(1) น้ำหนักของอะตอมของธาตุองค์ประกอบ ถ้าธาตุในสารประกอบของแร่มีน้ำหนักอะตอมสูง ความถ่วงจำเพาะของแร่นั้นก็มีค่าสูงด้วย

(2) การจัดเรียงตัวของอะตอม ถ้าหากมีการจัดตัวของโครงสร้างภายในแน่นกระชับมาก ( closely packed structure) แร่จะมีความถ่วงจำเพาะสูง แต่ถ้ามีการจัดตัวของโครงสร้างเป็นแบบหลวม ๆ ( loosely packed structure ) แร่ก็จะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า วัสดุที่เหมาะในการกำบังรังสีแกมมาจะต้องมีน้ำหนักอะตอมสูง ดังนั้นการหราบค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ที่จะใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อกำบังรังสีแกมมา เพื่อเป็นการเปรียบกับความสามารถกำบังรังสีของคอนกรีตหนักแต่ละชนิดที่ตรวจวัดได้ ซึ่งคอนกรีตหนักที่ผสมขึ้นจากแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงย่อมมีความสามารถในการกำบังรังสีแกมมาได้ดีกว่าคอนกรีตที่ผสมขึ้นจากแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ

การหาความถ่วงจำเพาะของของแข็งสามารถทำได้หลายวิธีตามเหมาะสม ในการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของแร่ครั้งนี้ปฏิบัติตามวิธีการของ Le Chatelier โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไพซ์โนมีเตอร์ ( Pycnometer) แต่ได้ดัดแปลงอุปกรณ์ที่มีอยู่ขั้นใช้ในการทดลองนี้เพื่อความประหยัด

รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์และการจัดตั้งเพื่อใช้ในการหาความถ่วงจำเพาะของแร่ ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

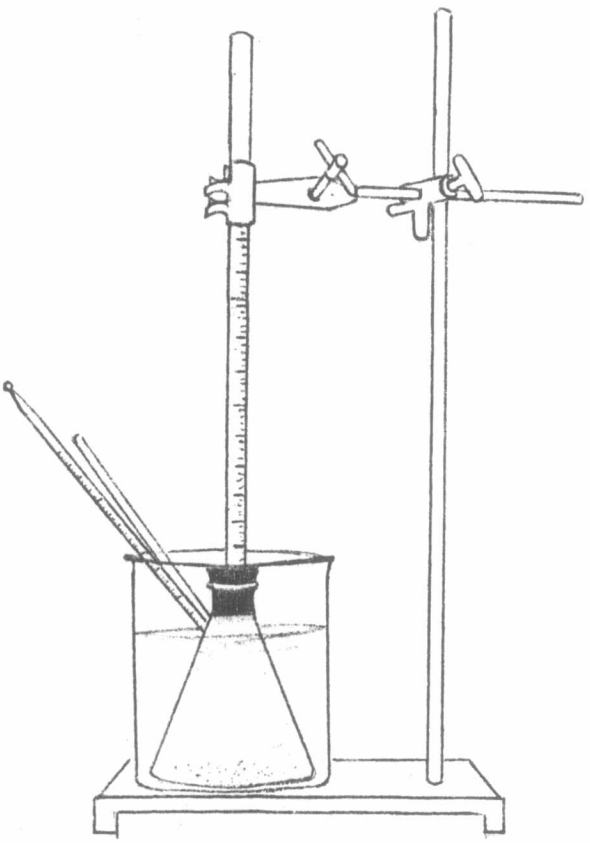
(1) นำแร่ที่ต้องการหาความถ่วงจำเพาะบดให้เป็นผงละเอียดพอสมควร แล้วใส่ลงในบีกเกอร์ (beaker) ที่ทราบน้ำหนัก นำแร่นี้ไปอบที่อุณหภูมิ 110 °ซ. ประมาณ 2 ชม. หลังจากนั้นจึงนำไปใส่ในดีสซิเคเตอร์ ( desicator) เพื่อดูดความชื้นและทำให้เย็น

(2) ล้างฟลาส (flask ) และหลอดแก้วให้สะอาด ทำให้แห้ง แล้วนำหลอดแก้วพร้อมจุกยางสวมลงในฟลาส กดให้แน่น อุปกรณ์ชุดนี้จะใช้เป็นไพซ์โนมีเตอร์ บรรจุน้ำกลั่นลงในไพซ์โนมีเตอร์จนสามารถอ่านระดับน้ำที่หลอดแก้วได้

(3) นำไพซ์โนมีเตอร์ แช่ลงในบีกเกอร์ ซึ่งบรรจุน้ำอยู่ ควบคุมอุณหภูมิน้ำในบีกเกอร์ให้คงที่ที่ 20 °ซ. แล้วอ่านระดับปริมาตรของน้ำที่หลอดแก้วเป็นค่า $L_1$

(4) ใส่แร่ที่ชั่งน้ำหนักแล้วลงในไพซ์โนมีเตอร์ จากนั้นควบคุมอุณหภูมิน้ำในบีกเกอร์ให้คงที่ที่ 20 °ซ.อีกครั้ง แล้วอ่านระดับปริมาตรน้ำที่หลอดแก้วเป็นค่า $L_2$

(5) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของแร่จากสมการที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงอุปกรณ์ในการหาความถ่วงจำเพาะของแร่

$$S = \frac{W}{(L_2 - L_1)\, d} \qquad \text{(13)} \qquad \ldots\ldots 4.1$$

เมื่อ S เป็นความถ่วงจำเพาะของแร่

W เป็นน้ำหนักของแร่มีหน่วยเป็นกรัม

$L_1$ เป็นระดับปริมาตรของน้ำที่ ๒๐ °ซ. ก่อนใส่แร่ลงในไพซ์โนมีเตอร์ มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร

$L_2$ เป็นระดับปริมาตรของน้ำที่ ๒๐ °ซ. หลังจากใส่แรงลงในไพซ์โนมีเตอร์แล้ว มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร

d ความหนาแน่นของน้ำที่ ๒๐ °ซ. มีค่าเท่ากับ ๐.๙๙๘๒ กรัม/มิลลิลิตร

4.2 การผสมคอนกรีต ( Mixing concrete )

การผสมคอนกรีตเป็นการนำเอาวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีต คือปูนซีเมนต์ วัสดุผสม และน้ำมาผสมคลุกเคล้ากันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตที่สม่ำเสมอและมีความข้นเหลวดี อันจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดี การผสมคอนกรีตที่ถูกต้องนั้น มีข้อควรพิจารณาตามลำดับดังต่อไปนี้

4.2.1 เลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีและถูกต้องตามที่ต้องการ

การพิจารณาคุณภาพของวัสดุที่ใช้นับว่าจำเป็น เพราะเป็นผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ทำขึ้น ปูนซีเมนต์ต้องกำหนดชนิดและประเภทให้ตรงกับความต้องการของงาน สำหรับวัสดุผสมจะต้องมีความแข็งแกร่ง ทนทานต่อการสึกกร่อน ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คงตัวต่อปฏิกิริยาเคมี มีความเฉลี่ยของขนาดและมีความสะอาด ทั้งต้องมีการทดสอบคุณภาพของวัสดุผสมด้วย เช่นการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่าง ( unit weight and void) และทดสอบหาการดูดซึมและการพองตัว

| ชนิดของแร่ | W (กรัม) | $L_1$ (มิลลิลิตร) | $L_2$ (มิลลิลิตร) | S | $S_{av}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ทราย | 52.94032 | 9.2 | 29.35 | 2.632 | 2.622 |
| | 42.6433 | 11.6 | 27.95 | 2.612 | |
| แบไรท์ | 60.7293 | 11.1 | 25.65 | 4.181 | 4.197 |
| | 38.69962 | 10.15 | 19.35 | 4.214 | |
| เฮมาไทท์ | 46.09272 | 9.9 | 19.5 | 4.809 | 4.776 |
| | 40.72446 | 7.1 | 15.7 | 4.743 | |
| อิลเมไนท์ | 50.78886 | 10.85 | 22.95 | 4.204 | 4.221 |
| | 31.50912 | 9.45 | 16.9 | | |
| กาลีนา | 101.3795 | 8.8 | 29.4 | 4.9302 | 4.928 |
| | 57.54404 | 9.3 | 21 | 4.927 | |
| กาลีนาที่แตงแล้ว | 104.08079 | 7.1 | 21.38 | 7.302 | 7.319 |
| | 92.64581 | 8.85 | 21.5 | 7.336 | |

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการหาความถ่วงจำเพาะของแร่ชนิดต่าง ๆ

4.2.2 <u>การเลือกใช้วิธีการผสมที่ถูกต้องเหมาะสมและประหยัด</u>

วิธีการผสมคอนกรีตที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็น 2 อย่างคือ โดยปริมาตร และโดยน้ำหนัก การผสมโดยวัดปริมาตรทำได้ง่ายแต่ผลที่ได้คลาดเคลื่อนได้มาก และไม่แน่นอน ดังนั้นจึงพิจารณาวัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งขนาดเล็ก

4.2.3 <u>การกำหนดอัตราส่วนในการผสม</u>

การกำหนดอัตราส่วนผสมของคอนกรีตขึ้นอยู่กับกำลังของคอนกรีตที่ต้องการและคุณสมบัติอื่น ๆ อัตราส่วนผสม 1:2:4 หมายถึงใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน วัสดุผสมละเอียด 2 ส่วน และวัสดุผสมหยาบ 4 ส่วน ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่นิยมใช้กัน

ทั่วไป ส่วนผสม 1:3:5 เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา หรือโครงสร้างที่ไม่สำคัญ สำหรับคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์สูง เช่น 1 : $1\frac{1}{2}$ : 3 หรือ 1: 1: 2 นั้น ให้กำลังสูง แต่ราคาแพงเพราะใช้ปริมาณของปูนมาก เป็นการไม่ประหยัดสำหรับโครงสร้างธรรมดาทั่ว ๆ ไป

4.2.4 การเลือกใช้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์

ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ เป็นผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ถ้าอัตราส่วนนี้ต่ำได้เพียงใด ก็จะได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นและมีกำลังสูง แต่จะต้องมีความข้นเหลวพอและสามารถเทได้

4.2.5 การบำรุงรักษาหลังจากการเทคอนกรีต

หมายถึงการบ่มคอนกรีต เป็นการป้องกันน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ระเหยออกจากคอนกรีตที่เทลงแบบหล่อและแข็งตัวแล้วเร็วเกินไป เพื่อให้ได้คุณสมบัติดีในการรับแรง

การผสมคอนกรีตเพื่อใช้เป็นเครื่องกำบังรังสี ใช้อัตราส่วนผสม 1:2:4 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดา ตราดอกจิก มีหิน แร่แบไรท์ เฮมาไทท์ และกาลีนา เป็นวัสดุผสมหยาบ และทราย แร่อิลเมไนท์ แบไรท์ เฮมาไทท์ และกาลีนา เป็นวัสดุผสมละเอียด สำหรับแบบหล่อคอนกรีตเป็นแบบไม้รูปลูกบาศก์ ขนาด 8×8×8 ซม$^3$. ซึ่งก่อนใส่คอนกรีตทุกครั้งแบบจะต้องสะอาด และเคลือบผิวหน้าของแบบด้วยน้ำมัน ช่วยในการป้องกันไม่ให้มีการซึมของน้ำเข้าไปในเนื้อแบบ และทำให้ถอดแบบได้ง่าย

การผสมคอนกรีตเริ่มโดยชั่งวัตถุผสมละเอียดใส่ลงในถังก่อน แล้วชั่งซีเมนต์ใส่ทับลงไป คลุกแห้ง ๆ จนปูนกับวัสดุผสมละเอียดเข้ากันสนิทเป็นสีเดียว แล้วจึงชั่งวัสดุผสมหยาบใส่ลงไป ผสมแห้งอีกครั้ง แล้วจึงค่อย ๆ เทน้ำลงไป ลงมือผสมจนกระทั่งคอนกรีตเข้าเนื้อกันดีจึงใส่คอนกรีตลงในแบบ โดยแบ่งใส่ 2 ชั้น ๆละเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นต้องกระทุ้งคอนกรีตให้แน่น แล้วปาดผิวปากของแบบหล่อให้

เรียบร้อยด้วยเกรียง จากนั้นนำแบบที่หล่อคอนกรีตแล้วนี้วางบนพื้นราบ ทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วจึงถอดแบบ นำแท่งคอนกรีตไปบ่มชื้นโดยการแช่ลงในอ่างน้ำ

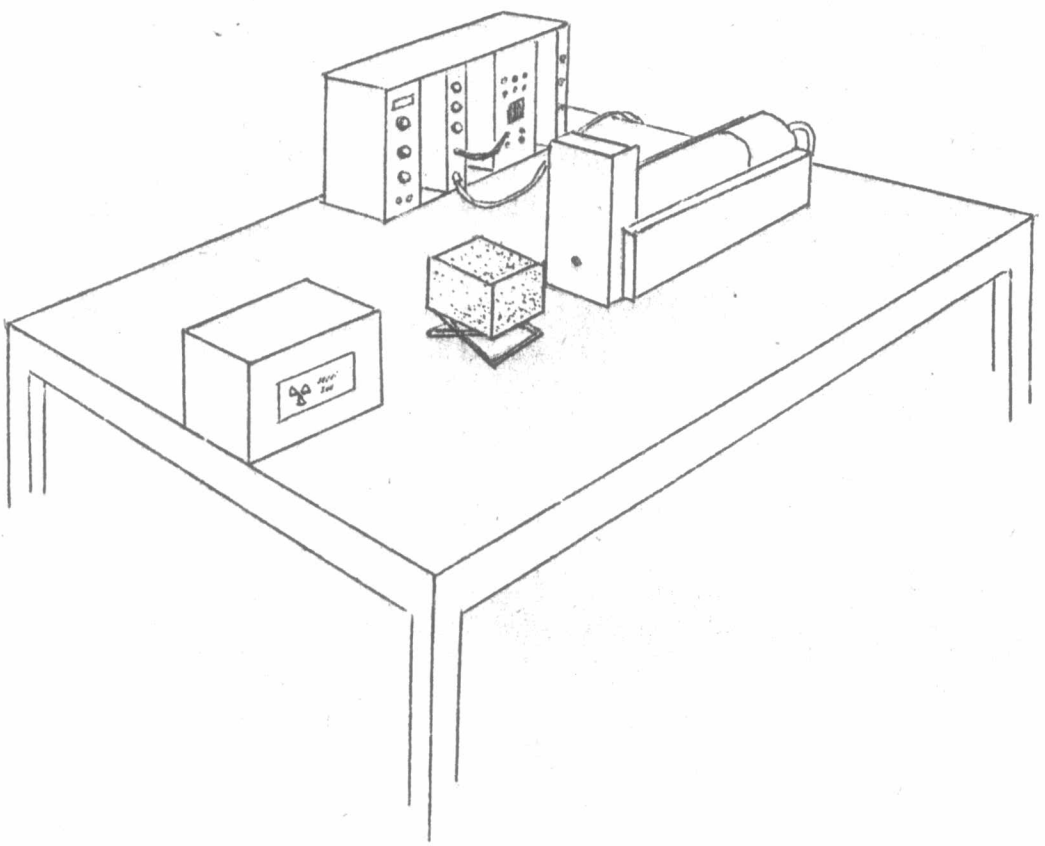
4.3 การหาความหนาแน่น (Density) ของคอนกรีต

ความหนาแน่นของคอนกรีต หมายถึง มวลของคอนกรีตต่อหน่วยปริมาตร คอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงจะมีประสิทธิภาพในการกำบังรังสีแกมมาได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความสามารถกำบังรังสีของคอนกรีตชนิดต่าง ๆ ที่ได้ทดลองหล่อขึ้นนั้น จึงต้องหาความหนาแน่นของคอนกรีต โดยการชั่งน้ำหนักของคอนกรีตแต่ละแท่งแล้วหารด้วยปริมาตร มีหน่วยเป็น กรัม/ซม.$^3$

4.4 การจัดตั้งเครื่องมือเพื่อทดสอบความสามารถกำบังรังสี

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการจัดตั้งเครื่องมือ มีวัสดุที่จะทดสอบการกำบังรังสีวางอยู่บนแม่แรงขนาดเล็ก ( small jack ) ซึ่งอยู่ระหว่างต้นกำเนิดรังสีแกมมากับหัววัดรังสี ทั้ง 3 ส่วนนี้อยู่ในแนวระดับเดียวกัน และมีระยะห่างคงที่ สำหรับแท่งตะกั่วที่เจาะรูเล็ก ๆ ไว้ตรงกลางวางอยู่หน้าหัววัดรังสี เพื่อเป็นการจัดให้ลำของรังสีที่ผ่านเข้าหัววัดเป็นลำขนาดแคบ ๆ ค่าที่วัดได้จึงเป็นปริมาตรรังสีที่ทำอันตรกิริยากับวัสดุกำบังแล้วผ่านเข้าหัววัดรังสี จากการปรับค่าต่าง ๆ ของวงจรอิเลคโทรนิคได้ค่าคงที่ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| - High Voltage | = | 900 volt |
| - Coarse Gain | = | 16 |
| - Fine Gain | = | 1 |
| - Discriminator | = | 1 |
| - Amplifier | = | neg |
| - Preamplifier | = | in |
| - Time | = | 1 วินาที |



รูปที่ 4.2 แสดงผังการจัดตั้งเครื่องมือเพื่อทดสอบการกำบังรังสี

4.5 การทดสอบความสามารถกำบังรังสี

4.5.1 ทดสอบความสามารถกำบังรังสีของแร่ชนิดต่าง ๆ ที่นำมาเป็นวัสดุผสมในการทำ คอนกรีตหนัก โดยใช้ไม้อัดชนิดบางประกอบเป็นกล่องทรงลูกบาศก์ขนาด 8×8×8 ซม.$^3$ แล้วบรรจุแร่ที่จะทดสอบลงไป นำกล่องนี้วางบนแม่แรงเวลาทดสอบ ซึ่งต้องวัดค่าแบคกราวด์ และอัตราการนับรังสีเมื่อไม่มีเครื่องกำบังก่อน ผลจากการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าความสามารถกำบังรังสีของแร่จะสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะ แร่กาลีนา ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 4.93 มีความสามารถกำบังรังสีได้ดีกว่าแร่เฮมาไทท์ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 4.5 และแร่แบไรท์ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 4.2 สำหรับแร่อิลเมไนท์ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าแร่แบไรท์ แต่กลับมีความสามารถกำบังรังสีได้น้อยกว่า เนื่องจากแร่อิลเมไนท์มีลักษณะเป็นผง เล็กๆ จึงมีความพลุนมากกว่าแร่แบไรท์ ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อน รังสีแกมมาจึงสามารถทะลุผ่านได้มากกว่า

4.5.2 ทดสอบความสามารถกำบังรังสีของคอนกรีตชนิดต่าง ๆ นำคอนกรีตที่บ่มชื้นไว้วางในที่มีอากาศถ่ายเทเพื่อให้คอนกรีตแห้งก่อน แล้วจึงนำไปทดสอบ

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ความสามารถกำบังรังสีก็จะเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับคอนกรีตที่หล่อขึ้นนั้น กาลีนาคอนกรีตซึ่งมีแร่กาลีนาเป็นวัสดุผสมหยาบและวัสดุผสมละเอียดจะมีความสามารถกำบังรังสีได้ดีที่สุด คือสามารถกำบังรังสีให้มีอัตราการนับรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านเหลือเพียง 1 ใน 13 ส่วน ของอัตราการนับรังสีสุทธิเมื่อไม่มีเครื่องกำบัง

แบคกราวด์ = 7514 ครั้ง/วินาที

อัตราการนับรังสีเมื่อไม่มีเครื่องกำบัง = 86342 ครั้ง/วินาที

อัตราการนับรังสีสุทธิ = 78828 ครั้ง/วินาที

| เครื่องกำบังรังสี | อัตราการนับรังสีที่ทะลุผานเครื่องกำบัง ( ครั้ง/วินาที ) | อัตราการนับรังสีสุทธิที่ทะลุผานเครื่องกำบัง ( ครั้ง/วินาที) | ความถ่วงจำเพาะ |
|---|---|---|---|
| อิลเมไนท์ | 29091 | 21577 | 4.221 |
| แบไรท์ | 26872 | 19358 | 4.197 |
| เฮมาไทท์ | 25864 | 18350 | 4.776 |
| กาลีนา | 19339 | 11825 | 4.928 |
| กาลีนาที่แตงแล้ว | 11782 | 4268 | 7.319 |

ตารางที่ 4.2 แสดงความสามารถกำบังรังสีของแร่ชนิดต่าง ๆ

แบคกราวด์ = 7366 ครั้ง/วินาที

อัตราการนับรังสีเมื่อไม่มีเครื่องกำบัง = 85962 ครั้ง/วินาที

อัตราการนับรังสีสุทธิ = 78596 ครั้ง/วินาที

| เครื่องกำบังรังสี | อัตราการนับรังสีที่ทะลุผานเครื่องกำบัง ( ครั้ง/วินาที ) | อัตราการนับรังสีสุทธิที่ทะลุผานเครื่องกำบัง ( ครั้ง/วินาที ) | ความหนาแน่น ( กรัม/ซม.$^3$ ) |
|---|---|---|---|
| คอนกรีตธรรมดา | 25974 | 18608 | 2.486 |
| แบไรท์ ทราย คอนกรีต | 20338 | 12972 | 2.938 |
| แบไรท์ อิลเมไนท์ คอนกรีต | 20281 | 12915 | 3.225 |
| แบไรท์ คอนกรีต | 19707 | 12341 | 3.225 |
| เฮมาไทท์ ทราย คอนกรีต | 22705 | 15339 | 2.979 |
| เฮมาไทท์ อิลเมไนท์ คอนกรีต | 18378 | 11012 | 3.410 |
| เฮมาไทท์ คอนกรีต | 17460 | 10094 | 3.472 |
| กาลีนา ทราย คอนกรีต | 16283 | 8917 | 3.369 |
| กาลีนา อิลเมไนท์ คอนกรีต | 15049 | 7683 | 3.636 |
| กาลีนา คอนกรีต | 13417 | 6351 | 3.698 |

ตารางที่ 4.3 แสดงความสามารถกำบังรังสีของคอนกรีตชนิดต่าง ๆ

4.5.3 ทดสอบความสามารถกำบังรังสีของคอนกรีต เมื่อมีอัตราผสมต่างกัน โดยใช้กาลีนาคอนกรีต อัตราส่วนผสม 1:1:2 เปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสม 1:2:4

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่ากาลีนาคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม 1:2:4 ซึ่งมีปริมาณของแร่กาลีนามาก และมีความหนาแน่นสูงกว่าจะมีความสามารถกำบังรังสีได้ดีกว่า กาลีนาคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสม 1:1:2 ซึ่งมีปริมาณของปูนซีเมนต์มากและมีความหนาแน่นต่ำกว่า ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำบังรังสีของคอนกรีตแต่ละชนิดจึงต้องเพิ่มปริมาณของวัสดุผสมในการหล่อคอนกรีตให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

แบคกราวด์ = 8196 ครั้ง/วินาที

อัตราการนับรังสีเมื่อไม่มีเครื่องกำบัง = 88867 ครั้ง/วินาที

อัตราการนับรังสีสุทธิ = 79971 ครั้ง/วินาที

| เครื่องกำบังรังสี | อัตราการนับรังสีที่ทะลุผานเครื่องกำบัง ( ครั้ง/วินาที ) | อัตราการนับรังสีสุทธิที่ทะลุผานเครื่องกำบัง ( ครั้ง/วินาที ) | ความหนาแน่น (กรัม/ซม.$^3$ ) |
|---|---|---|---|
| กาลีนา คอนกรีต 1:1:2 | 16001 | 7805 | 3.359 |
| กาลีนา คอนกรีต 1:2:4 | 14350 | 6154 | 3.698 |

ตารางที่ 4.4 แสดงความสามารถกำบังรังสีของกาลีนาคอนกรีต เมื่อมีอัตราส่วนผสมต่างกัน

## 4.6 การทำเครื่องกำบังรังสีแกมมาโดยใช้กัมกรีตและการหาค่า HVL, TVL

ในการปฏิบัติงานด้านรังสี บางครั้งจำเป็นต้องใช้เครื่องกำบังรังสีที่มีขนาดเล็กและสะดวกกว่าคอนกรีต จึงพิจารณาใช้แร่กาลีนาที่แต่งแล้วเพื่อให้ได้แร่ที่มีความบริสุทธิ์และมีความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำบังรังสี แล้วใช้กัมกรีตซึ่งเป็นกาวอีพอกซี่เป็นตัวประสานทำให้เป็นแท่ง จะได้เครื่องกำบังรังสีที่มีความทนทานต่อการกระแทกและการเสียดสีได้ดี ไม่มีการยืดหดตัวทนต่อความร้อนได้สูงด้วย อีกทั้งยังใช้ประโยชน์เป็นวัสดุเชื่อมต่อหรือซ่อมแซมอุโพลงที่เกิดขึ้นในเครื่องกำบังรังสีชนิดอื่น เพราะมีคุณสมบัติในการยึดเกาะได้ดี ทนต่อการดัดงอสูง สามารถรับแรงดึงได้ดี ไม่ดูดซึมน้ำ และไม่อ่อนตัวหรือหลุดล่อนเมื่อถูกน้ำ ในการวิจัยนี้จะทดสอบความสามารถกำบังรังสีแกมมาของกาลีนากัมกรีตนี้ พร้อมทั้งหาค่า HVL และ TVL

### 4.6.1 การผสมกาลีนากัมกรีต

ผสมน้ำยาเบอร์ 1 และเบอร์ 2 เข้าด้วยกันในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำยาเบอร์ 2 ประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำยาเบอร์ 1 ใช้แท่งแก้วคนประมาณ 2 – 3 นาที เสร็จแล้วค่อย ๆ เทแร่กาลีนาที่แต่งแล้วลงไป คนให้เข้ากันจนเหนียวพอ เช็ดกระป๋องพลาสติกใส เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้วให้สะอาด แล้วเอากาลีนากัมกรีตใส่ลงในกระป๋องแต่ละใบ โดยให้มีระดับสูง 1, 1.5, 2, 3, 4, และ 5 ซม. ตามลำดับ ทิ้งไว้จนแข็งตัว จะมีความหนาแน่น 3.316 กรัม/ซม.$^3$

### 4.6.2 การทดสอบความสามารถกำบังรังสีของกาลีนากัมกรีต พร้อมทั้งหาค่า HVL และ TVL

ผลการทดสอบความสามารถกำบังรังสีแกมมาของกาลีนากัมกรีตที่ความหนาต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าการลดของรังสีขึ้นอยู่กับความหนาของเครื่องกำบัง

เมื่อ แบคกราวด์ = 7472 ครั้ง/วินาที

อัตราการนับรังสีเมื่อไม่มีเครื่องกำบัง = 87209 ครั้ง/วินาที

จะได้ $I_o$ = อัตราการนับรังสีสุทธิเมื่อไม่มีเครื่องกำบัง = 79737 ครั้ง/วินาที

และ $I_x$ = อัตราการนับรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านเครื่องกำบัง ครั้ง/วินาที

x = ความหนาของกาลีนากัมกรีต ซม.

เขียนกราฟระหว่าง ค่า x และ $\ln I_x/I_o$ ลงในกระดาษลอก ที่ค่า $\ln I_x/I_o = 0.37$ จะหาค่าสัมประสิทธิการลดของรังสีแกมมา( $\mu$ ) ได้

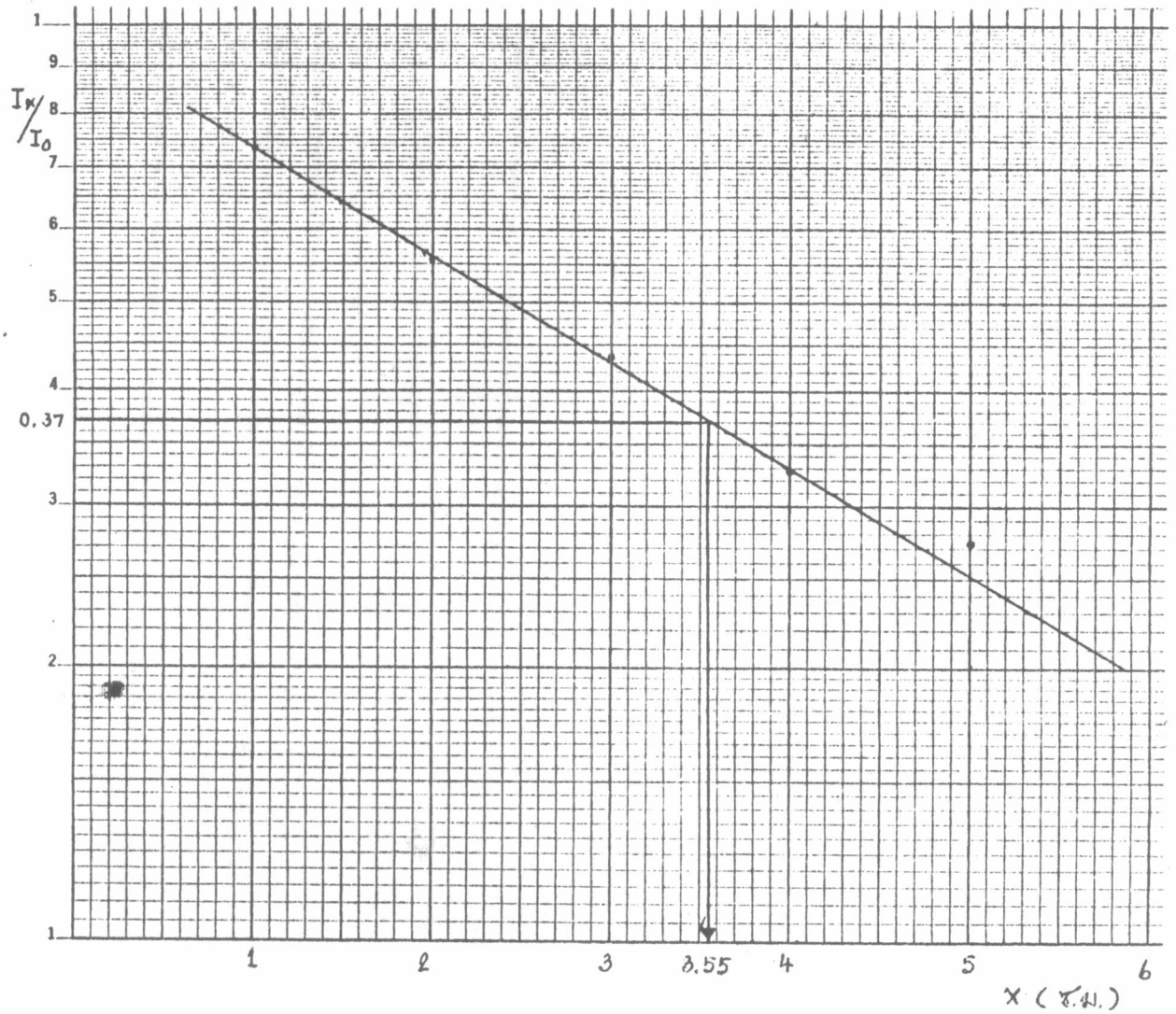
เมื่อ $\ln I_x/I_o = 0.37$ จะได้ x = 3.55 ซม.

ดังนั้น $\mu = \frac{1}{3.55}$ ซม.$^{-1}$

$= 0.2816901$ ซม.$^{-1}$

| ความหนา (ซม.) | อัตราการนับรังสีที่ทะลุผานกาลีนากัมกรีต ( ครั้ง/วินาที ) | อัตรากุารนับรังสีสุทธิที่ทะลุผานกาลีนากัมกรีต $I_x$ | $I_x/I_o$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 65909 | 58437 | 0.7328718 |
| 1.5 | 58753 | 51281 | 0.6431267 |
| 2 | 51737 | 44265 | 0.5551375 |
| 3 | 42074 | 34602 | 0.4339516 |
| 4 | 33754 | 26282 | 0.3296085 |
| 5 | 29198 | 21696 | 0.2720945 |

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบการกำบังรังสีของกาลีนากัมกรีต ที่ความหนาต่าง ๆ กัน




รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของกาลีนากัมกรีต ( x )
กับค่า $\ln I_x/I_o$

จะหาค่า HVL ได้จากสมการที่ 2.17

$$HVL = \frac{0.693}{0.2816901} \text{ ซม.}$$

$$= 2.46015 \text{ ซม.}$$

และจากสมการที่ 2.18

$$TVL = \frac{0.23}{0.2816901} \text{ ซม.}$$

$$= 8.165 \text{ ซม.}$$

แสดงว่ากาลีนากัมกรีตที่มีความหนา 2.46 และ 8.16 ซม. สามารถกำบังรังสีแกมมาให้มีอัตราการนับรังสีเหลือเพียง $\frac{1}{2}$ และ $\frac{1}{10}$ ของอัตราเดิมตามลำดับ

4.6.3 <u>การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า x กับ $\ln I_x/I_o$</u>

จากกราฟระหว่าง x และ $\ln I_x/I_o$ จะพิจารณาว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงดีหรือเปล่า จากสูตรความสัมพันธ์ร่วม ( Correlation) ในกรณีที่เป็นเส้นตรง

กำหนดให้ r = ความสัมพันธ์ร่วม ( Correlation)

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right]\left[n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]}} \quad \text{(11)} \quad \ldots\ldots 4.2$$

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล x กับ y จะเป็นเส้นตรงสมบูรณ์ที่สุดเมื่อ $r = \pm 1$ จากข้อมูล

| ความหนาของกาลีนา กัมกรีต (ซม.) x | $\ln I_x / I_o$ y |
|---|---|
| 1 | - 0.3107844 |
| 1.5 | - 0.4414135 |
| 2 | - 0.5885394 |
| 3 | - 0.8348222 |
| 4 | - 1.1098497 |
| 5 | - 1.3016058 |

จากข้อมูลจะได้ว่า

$n = 6$ $\quad\quad$ $\sum_{i=1}^{6} x_i y_i = -15.601878$

$\sum_{i=1}^{6} x_i = 16.5$ $\quad\quad$ $\sum_{i=1}^{6} y_i = -4.587015$

$\sum_{i=1}^{6} x_i^2 = 57.25$ $\quad\quad$ $\sum_{i=1}^{6} y_i^2 = 4.2606835$

$(\sum_{i=1}^{6} x_i)^2 = 272.25$ $\quad\quad$ $(\sum_{i=1}^{6} y_i)^2 = 21.040707$

แทนค่าต่าง ๆ เหล่านี้ลงในสมการที่ 4.2

$$r = \frac{(6)(-15.601878) - (16.5)(-4.587015)}{\sqrt{[(6)(57.25) - (272.25)][(6)(4.2606835) - (21.040707)]}}$$

$$= \frac{-17.925521}{17.952488}$$

$$= -0.9984978$$

จากที่คำนวณได้ r = - 0.9984978 ซึ่ง r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าข้อมูล x และ y มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงดีมาก และ $r^2$= 0.9969978 แสดงว่าร้อยละ 99 ของข้อมูล y มีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรงกับข้อมูล x

ดังนั้น จึงแสดงว่า การหาค่า HVL และ TVL มีความถูกต้องมาก

4.6.4 การหาสมการรีเกรสชัน ( Linear Regression Analysis)

จากการวิเคราะห์แบบโครีเลชัน (Correlation Analysis) ทำให้ทราบว่าค่าของ x และy ($l_n I_x/I_o$ ) มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงแล้ว ก็จะคณนวณหาสมการรีเกรสชัน ( Regression Equation ) ของข้อมูลดังกล่าวต่อไป จากสมการ (4.3)

$$\bar{Y}_x = a + bx \qquad .....4.3$$

เมื่อ $\bar{Y}_x = l_n I_x/I_o$

x = ความหนาของกาลีนากัมกรีต

b = ค่าความชัน ( slope) ของเส้นรีเกรสชัน

ซึ่งคณนวณหาค่า b ได้จากสมกราที่ ( 4.4 )

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \qquad .....4.4$$

(11)

และ a = ระยะตัดแกน y ( y - intercept )

คำนวณหาค่า a ได้จากสมการที่ ( 4.5 )

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \qquad .....4.5$$

เมื่อ $\bar{x}$ = ตัวกลาง ( mean ) ของข้อมูล x

$\bar{y}$ = ตัวกลาง ( mean ) ของข้อมูล y

พิจารณาจากข้อมูล x และ y แทนค่าลงในสมการที่ (4.4)

$$b = \frac{(6)(-15.601878)-(16.5)(-4.587015)}{(6)(57.25)-(272.25)}$$

$$= \frac{-17.925521}{71.25}$$

$$= -0.2515862$$

แทนค่า b ลงในสมการที่ (4.5) และเมื่อ

$\bar{x}$ = 2.75 $\bar{y}$ = - 0.7645025

จะได้ a = - 0.7645025 - (- 0.2515862)(2.75)

= - 0.7645025 + 0.691862

= - 0.0726404

แทนค่า a และ b ลงในสมการที่ (4.3) จะได้

$$\bar{Y}_x = -0.0726404 - 0.2515862x$$

ดังนั้นสมการรีเกรสชันของข้อมูลระหว่างความหนาของกาลีนากัมกรีต(x) กับค่าของ $\ln I_x/I_o$ คือ

$$\ln I_x/I_o = -0.0726404 - 0.2515862x$$

## 4.7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต

คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะต้องมีกำลังตามต้องการ มีความสม่ำเสมอ น้ำไม่ซึม และทนต่อดินฟ้าอากาศ กำลังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีตซึ่งมีหลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังต้านทานแรงดึง กำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงเฉือน และกำลังยึดเหนี่ยวเป็นต้น แต่ที่สำคัญที่สุดคือกำลังต้านทานแรงอัด เพราะเป็นตัวบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติอื่น ๆ ได้ ด้วยเหตุที่กำลังต้านทานหรือรับแรงแบบอื่นเป็นสัดส่วนกับกำลังต้านทานแรงอัด

สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตหนักที่หล่อขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กัน การทำแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อหากำลังอัด ใช้แบบหล่อแท่งคอนกรีตทรงกระบอก ( mold) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 4 นิ้ว ซึ่งต้องทำความสะอาดแบบพร้อมทั้งแผ่นเหล็กให้เรียบร้อย ไม่ให้มีฝุ่นหรือปูนของเก่าติดเหลืออยู่ในแบบ แล้วทาน้ำมันให้ทั่วเพื่อไม่ให้น้ำปูนเกาะหรือรั่วไหลออกมาตามรอยต่อ

การผสมคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัดนี้ใช้วิธีแบบลองผิดลองถูกหาโดยเริ่มทดลองผสมคอนกรีตในอัตราส่วนซึ่งมีปริมาณของวัสดุผสมน้อย (ปูนซีเมนต์มาก) แล้วจึงเปลี่ยนอัตราผสมซึ่งมีปริมาณของวัสดุผสมมากขึ้น จนกระทั่งได้อัตราส่วนผสมซึ่งดีที่สุดที่ปริมาณของซีเมนต์เพสท์มีเพียงพอที่อุดช่องว่างระหว่างมวลหยาบและมวลละเอียด การใส่คอนกรีตลงในแบบให้ใส่ 2 ชั้น ๆ ละเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นใช้เหล็กกระทุ้งเป็นการทำให้คอนกรีตแน่น ไม่เกิดโพรงอากาศ แล้วปาดผิวปากของแบบหล่อให้เรียบด้วยเกรียงปิดด้วยแผ่นเหล็กเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ หลังจากการหล่อเสร็จแล้ว วางแบบหล่อไว้บนพื้นราบที่ไม่มีการสะเทือน แล้วใช้กระสอบชุบน้ำคลุมไว้จนครบ 24 ชม. จึงถอดแบบออก จากนั้นจึงทำการบ่มชื้น โดยนำแท่งคอนกรีตไปแช่ไว้ในอ่างน้ำที่เตรียมไว้จนครบกำหนด 7 วันแล้วจึงนำไปทดสอบกำลัง ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของแต่ละอัตราส่วนได้จากแท่งตัวอย่าง 2 แท่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดโดยใช้เครื่อง AMSLER ของแผนกโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กระทำโดยกดหรืออัดแรงเข้าไปในแท่งทดสอบซึ่งอยู่ในสภาพชื้นด้วยอัตรากดที่สม่ำเสมอ จนกระทั่งถูกอัดแตก กำลังต้านทานแรงอัดคือน้ำหนักกดสูงสุด หน่วยกำลังต้านทานแรงอัดหาได้จาก การหารน้ำหนักกดสูงสุดด้วยพื้นที่หน้าตัดของแท่งทดสอบ

| แท่งตัวอย่าง | อัตราผสม | กำลังต้านทานแรงอัด (กก.) | กำลังต้านทานแรงอัด/พื้นที่ (กก./ซม.$^2$) | อัตราการนับรังสีที่ทะลุผ่าน (ครั้ง/วินาที) | ความหนาแน่น (กรัม/ซม.$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| แบไรท์ อิลเมไนท์ คอนกรีต | 1:2:3 | 2975 | 157.7 | 16338 | 3.43 |
| | 1:2:4 | 1545 | 81.9 | 15454 | 3.47 |
| | 1:3:6 | 1325 | 70.2 | 15122 | 3.56 |
| เฮมาไทท์ อิลเมไนท์ คอนกรีต | 1:2:3 | 3230 | 189 | 14103 | 3.72 |
| | 1:2:4 | 2750 | 145.8 | 13874 | 3.82 |
| | 1:3:6 | 2210 | 117.1 | 13564 | 3.89 |
| กาลีนา อิลเมไนท์ คอนกรีต | 1:2:3 | 3885 | 206 | 11656 | 3.78 |
| | 1:2:4 | 2735 | 145 | 11317 | 3.89 |
| | 1:3:6 | 2340 | 124 | 11298 | 4.05 |
| แบไรท์ คอนกรีต | 1:2:3 | 4125 | 218.7 | 16564 | 3.23 |
| | 1:2:4 | 3085 | 163.5 | 16073 | 3.29 |
| | 1:2.5:4.5 | 1195 | 63.3 | 15939 | 3.35 |
| กาลีนา คอนกรีต | 1:1:2 | 4445 | 235.6 | 14349 | 3.58 |
| | 1:2:3 | 2675 | 141.8 | 13632 | 3.68 |
| | 1:2:4 | 1700 | 90.1 | 12780 | 3.84 |

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตชนิดต่าง ๆ และความสามารถกำบังรังสี