# บรรณานุกรม


A. FERAILLE, A. DIMASSI, V. H. NGUYEN, R. L. ROY, L. A. ALAOUI. (2007). Experimental study of sulfoaluminate concrete based materials.*CONSEC'07 Tours.*Paris, France.

J. Pera and J.Ambroise. (17 October 2004). New application of calcium sulfoaluminate cement.*Cement and Concrete Research 34*, (หน้า 671-676).

K. Quillin. (2001). Performance of belite-sulfoaluminate cements.*Cement and Concrete Research 31*, (p. 1341-1349).

M. Monteiro. (1993). *Concrete Microstructure, Properties, and Materials third edition.*New York: The MvGraw-Hill Companies.

R. Sahamitmongkol, D. N. Tien, L. N. Trong and S. Tangtermsirikul (2553). Shrinkage cracking age of shrinkage compensating concrete with and without fly ash.*การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15.* อุบลราชธานี.

R. F. Rathbone, K. R. Henke and R. B. J. T. Duvallet. (2009). Low-Energy, Low CO2-Emitting Cements Produced from Coal Combustion By-Products and Red Mud.*World of Coal Ash (WOCA) Conference.*Lexington, KY, USA.

S. Courtois, S. Peysson, J. Ambroise, J. Pera. (27 May 2009). Calcium sulfoaluminate cement blended with OPC: A potential binder to encapsulate low-level radioactive slurries of complex chemistry.*Cement and Concrete Research 39*,(p. 740-747).

T. Duvallet, R. F. Rathbone, K. R. Henke and R. B. Jewell.(2009). Low-Energy, Low CO2-Emitting Cements Produced from Coal Combustion By-Products and Red Mud.Lexington, KY, USA.

V. Zivica. (2000). Properties of blended sulfoaluminate belite cement.*Construction and Building Materials 14*, (p. 433-437).

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2548). *การใช้ SPSS for windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล*. กรุงเทพ: บริษัทธรรมสาร จำกัด.

ไพบูลย์ แย้มเพื่อน. (2548). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. กรุงเทพ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

จุฑา มีพฤกษ์, รักติพงษ์ สหมิตรมงคล และ วิทิต ปานสุข. (2553). อิทธิพลของสารก่อการขยายตัวที่มีต่อการหดตัวของคอนกรีตสมรรถนะสูงมากเสริมเส้นใย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15*. อุบลราชธานี.

ชนาภา วรรณศรี. (2551). *การประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแก๊ซซิฟิเคชั่นของไม้โตเร็ว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ณัฐวุฒิ ริมวิทยากร. (2553). *การวิเคราะห์ต้นทุนและผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลของโรงไฟฟ้าต้นแบบจังหวัดลำพูน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ. (2543). คุณสมบัติด้านความต้านทานและกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 23*, (หน้า 17-29).

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2547). *การใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต*. กรุงเทพ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2549). *Cement Pozzolan and Concrete*. สมาคมคอนกรีตไทย.

วิศว จักรไพศาล. (2544). *การพัฒนาปูนซีเมนต์ชดเชยการหดตัว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมนึก ตั้งเดิมสิริกุล และคณะ. (2548). *คู่มือสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับงานคอนกรีต*. กรุงเทพ: สมาคมคอนกรีตไทย (ส.ค.ท.).

สารพล ตรีสุวรรณ และ คมสัน มาลีสี. (2553). ผลกระทบของวัสดุอนินทรีย์ผสมเพิ่มต่อการหดตัวของมอร์ต้าสด. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15*. อุบลราชธานี.

อินทิรา อ้นเทียน. (2545). *ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยในงานท่อคอนกรีตสำเร็จรูป*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

# ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ

# และตารางแสดงสัดส่วนส่วนผสมของมอร์ต้าร์ชดเชยการหดตัว

ตาราง ก-1 ตารางคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 3 - ตราช้าง

ปูนช้างรับกำลังอัดเร็ว

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3 มีคุณสมบัติให้กำลังอัดสูงได้เร็วในช่วงต้น จึงช่วยให้การทำงานเสร็จ เร็วขึ้น เหมาะสำหรับใช้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปชนิดอัดแรง อาทิ แผ่นพื้น เสาเข็ม เสาไฟฟ้า

| ข้อกำหนดคุณภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2547<br>ACCORDING TO THE THAI INDUSTRIAL STANDARD SPECIFICATION FOR<br>PORTLAND CEMENTS, TIS 15-2547 | | | | TEST RESULTS |
|---|---|---|---|---|
| **คุณสมบัติทางเคมี** (CHEMICAL REQUIREMENTS) | | | | |
| แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) | เปอร์เซ็นต์ (%), | สูงสุด (max) | 6.0 | 1.2 |
| ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ($SO_3$) | | | | |
| เมื่อมีไตรคัลเซียมอลูมิเนต ($C_3A$) ≤ 8 % | เปอร์เซ็นต์ (%), | สูงสุด (max) | 3.5 | 3.8 |
| เมื่อมีไตรคัลเซียมอลูมิเนต ($C_3A$) > 8 % | เปอร์เซ็นต์ (%), | สูงสุด (max) | 4.5 | |
| การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOSS ON IGNITION) | เปอร์เซ็นต์ (%), | สูงสุด (max) | 3.0 | 1.0 |
| กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (INSOLUBLE RESIDUE) | เปอร์เซ็นต์ (%), | สูงสุด (max) | 0.75 | 0.10 |
| ไตรคัลเซียมอลูมิเนต ($C_3A$) | เปอร์เซ็นต์ (%), | สูงสุด (max) | 15 | 8.5 |
| **คุณสมบัติทางฟิสิกส์** (PHYSICAL REQUIREMENTS) | | | | |
| **ความอยู่ตัว** (SOUNDNESS) | | | | |
| การขยายตัวโดยวิธีออโตเคลฟ (Autoclave expansion) | เปอร์เซ็นต์ (%), | สูงสุด (max) | 0.80 | -0.03 |

ตาราง ก-1 ตารางคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ชนิดที่ 3 - ตราช้าง (ต่อ)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **ระยะเวลาการก่อตัว** (TIME OF SETTING) | | | | |
| ทดสอบแบบไวแคต (Vicat test) | | | | |
| การก่อตัวระยะต้น (Intial Set) | นาที (minutes), | ต่ำสุด (min) | 45 | 75 |
| การก่อตัวระยะปลาย (Final Set) | นาที (minutes), | สูงสุด (max) | 375 | 110 |
| **ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์** (AIR CONTENT OF MORTAR) | เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Volume %), | สูงสุด (max) | 12 | 5 |
| **แรงอัด** (COMPRESSIVE STRENGTH) | | | | |
| ก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ (Mortar cubes) : | | | | |
| 1 วัน (1 days) | กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(kgf/cm$^2$), | ต่ำสุด (min) | 120 | 220 |
| 3 วัน (3 days) | กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(kgf/cm$^2$), | ต่ำสุด (min) | 240 | 350 |

มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3 มอก. 15-2547

ตาราง ก-2 ตารางแสดงคุณสมบัติของสารผสมเพิ่มที่ใช้ทดสอบ ยี่ห้อ HI-FLOW CC9

| ชนิดของสารเคมี | เนฟทาลีน (Napthalene Based) |
|---|---|
| ลักษณะ/สี | ของเหลวสีน้ำตาลเข้ม |
| ความถ่วงจำเพาะ | 1.18-2.0 |
| PH | 8.50-10.50 (ประมาณ) |
| สารผสมเพิ่มชนิด | F |

ตาราง ก-3 ตารางแสดงคุณสมบัติของสารเพิ่มการขยายตัว แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต

| ลักษณะ/สี | ผงสีขาวออกเทา |
|---|---|
| ความหนาแน่น | 2600-2900 kg/m3 |
| PH | 11.5-12.5 |
| องค์ประกอบทางเคมี | |
| $4CaO.3Al_2O_3$ บริสุทธิ์ | 85% Min |
| CaO | 35% Min |
| $Al_2O_3$ | 36% Min |
| $SO_3$ | 15% Max |
| Fe | 0.1% Max |
| $SiO_2$ | 0.5% Max |
| $TiO_2$ | 0.5% Max |
| $NaO_2$ | 10% Max |

ตาราง ก-4 ตารางแสดงคุณสมบัติของเถ้าลอย

| วัตถุดิบ | ปริมาณ |
|---|---|
| Free Lime | 1.43 |
| $SO_3$ | 2.48 |

ตาราง ก-5 ตารางแสดงสัดส่วนส่วนผสมของมอร์ต้าร์ชดเชยการหดตัว

| ร้อยละส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ | | | ส่วนผสมหลัก (100 Kg) | | | | ส่วนผสมเพิ่ม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เถ้าลอย | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต | ปูนซีเมนต์ | เถ้าลอย | ทราย | น้ำ | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต |
| | | | kg | kg | kg | kg | kg | kg |
| 0 | 4 | 0 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 0.00 |
| 0 | 4 | 5 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 1.67 |
| 0 | 4 | 10 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 3.33 |
| 0 | 4 | 15 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 5.00 |
| 15 | 4 | 0 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 0.00 |
| 15 | 4 | 5 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 1.67 |
| 15 | 4 | 10 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 3.33 |
| 15 | 4 | 15 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 5.00 |
| 25 | 4 | 0 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 0.00 |
| 25 | 4 | 5 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 1.67 |

ตาราง ก-5 ตารางแสดงสัดส่วนส่วนผสมของมอร์ต้าร์ชดเชยการหดตัว (ต่อ)

| ร้อยละส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ | | | ส่วนผสมหลัก (100 Kg) | | | | ส่วนผสมเพิ่ม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เถ้าลอย | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต | ปูนซีเมนต์ | เถ้าลอย | ทราย | น้ำ | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต |
| | | | kg | kg | kg | kg | kg | kg |
| 25 | 4 | 10 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 3.33 |
| 25 | 4 | 15 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 5.00 |
| 35 | 4 | 0 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 0.00 |
| 35 | 4 | 5 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 1.67 |
| 35 | 4 | 10 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 3.33 |
| 35 | 4 | 15 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 1.33 | 5.00 |
| 0 | 8 | 0 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 0.00 |
| 0 | 8 | 5 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 1.67 |
| 0 | 8 | 10 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 3.33 |
| 0 | 8 | 15 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 5.00 |

ตาราง ก-5 ตารางแสดงสัดส่วนส่วนผสมของมอร์ต้าร์ชดเชยการหดตัว (ต่อ)

| ร้อยละส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ | | | ส่วนผสมหลัก (100 Kg) | | | | ส่วนผสมเพิ่ม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เถ้าลอย | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต | ปูนซีเมนต์ | เถ้าลอย | ทราย | น้ำ | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต |
| | | | kg | kg | kg | kg | kg | kg |
| 15 | 8 | 0 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 0.00 |
| 15 | 8 | 5 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 1.67 |
| 15 | 8 | 10 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 3.33 |
| 15 | 8 | 15 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 5.00 |
| 25 | 8 | 0 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 0.00 |
| 25 | 8 | 5 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 1.67 |
| 25 | 8 | 10 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 3.33 |
| 25 | 8 | 15 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 5.00 |
| 35 | 8 | 0 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 0.00 |
| 35 | 8 | 5 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 1.67 |

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ตาราง ก-5 ตารางแสดงสัดส่วนส่วนผสมของมอร์ต้าร์ชดเชยการหดตัว (ต่อ)

| ร้อยละส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ | | | ส่วนผสมหลัก (100 Kg) | | | | ส่วนผสมเพิ่ม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เถ้าลอย | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต | ปูนซีเมนต์ | เถ้าลอย | ทราย | น้ำ | สารผสมเพิ่มประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต |
| | | | kg | kg | kg | kg | kg | kg |
| 35 | 8 | 10 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 3.33 |
| 35 | 8 | 15 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 2.67 | 5.00 |
| 0 | 12 | 0 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 1.67 |
| 0 | 12 | 5 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 3.33 |
| 0 | 12 | 10 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 5.00 |
| 0 | 12 | 15 | 33.33 | 0.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 0.00 |
| 15 | 12 | 0 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 1.67 |
| 15 | 12 | 5 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 3.33 |
| 15 | 12 | 10 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 5.00 |
| 15 | 12 | 15 | 28.33 | 5.00 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 0.00 |

ตาราง ก-5 ตารางแสดงสัดส่วนส่วนผสมของมอร์ต้าร์ชดเชยการหดตัว (ต่อ)

| ร้อยละส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ | | | ส่วนผสมหลัก (100 Kg) | | | | ส่วนผสมเพิ่ม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เถ้าลอย | สารผสมเพิ่ม ประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต | ปูนซีเมนต์ | เถ้าลอย | ทราย | น้ำ | สารผสมเพิ่ม ประเภท F | แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต |
| | | | kg | kg | kg | kg | kg | kg |
| 25 | 12 | 0 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 5.00 |
| 25 | 12 | 5 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 0.00 |
| 25 | 12 | 10 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 1.67 |
| 25 | 12 | 15 | 25.00 | 8.33 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 3.33 |
| 35 | 12 | 0 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 5.00 |
| 35 | 12 | 5 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 0.00 |
| 35 | 12 | 10 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 1.67 |
| 35 | 12 | 15 | 21.67 | 11.67 | 66.67 | 10.67 | 4.00 | 3.33 |

# ภาคผนวก ข

## การวิเคราะห์สมการทำนายค่ากำลังอัดและค่าความเครียดการขยายตัวจาก SPSS

## Regression

**Variables Entered/Removed[a]**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|---|---|---|---|
| 1 | Fly ash | . | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100). |
| 2 | Day | . | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100). |
| 3 | Superplasticizer | . | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100). |
| 4 | Calcium Sulfoaluminate | . | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100). |

a. Dependent Variable: Compressive Strength

**Model Summary[e]**

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .562[a] | .316 | .313 | 122.2916 |
| 2 | .764[b] | .584 | .580 | 95.5962 |
| 3 | .850[c] | .723 | .720 | 78.1259 |
| 4 | .913[d] | .834 | .831 | 60.6756 |

a. Predictors: (Constant), Fly ash

b. Predictors: (Constant), Fly ash, Day

c. Predictors: (Constant), Fly ash, Day, Superplasticizer

d. Predictors: (Constant), Fly ash, Day, Superplasticizer, Calcium Sulfoaluminate

e. Dependent Variable: Compressive Strength

**ANOVA[e]**

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Regression | 1645131.078 | 1 | 1645131.078 | 110.004 | .000[a] |
| | Residual | 3559343.811 | 238 | 14955.226 | | |
| | Total | 5204474.889 | 239 | | | |
| 2 | Regression | 3038616.992 | 2 | 1519308.496 | 166.251 | .000[b] |
| | Residual | 2165857.898 | 237 | 9138.641 | | |
| | Total | 5204474.889 | 239 | | | |
| 3 | Regression | 3764012.765 | 3 | 1254670.922 | 205.561 | .000[c] |
| | Residual | 1440462.124 | 236 | 6103.653 | | |
| | Total | 5204474.889 | 239 | | | |
| 4 | Regression | 4339315.021 | 4 | 1084828.755 | 294.668 | .000[d] |
| | Residual | 865159.868 | 235 | 3681.531 | | |
| | Total | 5204474.889 | 239 | | | |

a. Predictors: (Constant), Fly ash

b. Predictors: (Constant), Fly ash, Day

c. Predictors: (Constant), Fly ash, Day, Superplasticizer

d. Predictors: (Constant), Fly ash, Day, Superplasticizer, Calcium Sulfoaluminate

e. Dependent Variable: Compressive Strength

**Coefficients[a]**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 589.118 | 13.903 | | 42.372 | .000 |
| | Fly ash | -19.207 | 1.831 | -.562 | -10.488 | .000 |
| 2 | (Constant) | 506.440 | 12.765 | | 39.673 | .000 |

a. Dependent Variable: Compressive Strength

**Coefficients[a]**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 2 | Fly ash | -19.207 | 1.431 | -.562 | -13.417 | .000 |
| | Day | 7.800 | .632 | .517 | 12.348 | .000 |
| 3 | (Constant) | 640.938 | 16.157 | | 39.670 | .000 |
| | Fly ash | -19.207 | 1.170 | -.562 | -16.417 | .000 |
| | Day | 7.800 | .516 | .517 | 15.110 | .000 |
| | Superplasticizer | -50.437 | 4.627 | -.373 | -10.902 | .000 |
| 4 | (Constant) | 575.224 | 13.605 | | 42.281 | .000 |
| | Fly ash | -19.207 | .909 | -.562 | -21.139 | .000 |
| | Day | 7.800 | .401 | .517 | 19.455 | .000 |
| | Superplasticizer | -50.437 | 3.593 | -.373 | -14.037 | .000 |
| | Calcium Sulfoaluminate | 26.285 | 2.103 | .332 | 12.501 | .000 |

a. Dependent Variable: Compressive Strength

**Excluded Variables[e]**

| Model | | Beta In | t | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Tolerance |
| 1 | Portland Cement | -63.863[a] | -.823 | .411 | -.053 | 4.780E-7 |
| | Water | -.044[a] | -.801 | .424 | -.052 | .966 |
| | Superplasticizer | -.373[a] | -7.789 | .000 | -.451 | 1.000 |
| | Calcium Sulfoaluminate | .332[a] | 6.760 | .000 | .402 | 1.000 |
| | Day | .517[a] | 12.348 | .000 | .626 | 1.000 |
| 2 | Portland Cement | -63.863[b] | -1.054 | .293 | -.068 | 4.780E-7 |
| | Water | -.044[b] | -1.026 | .306 | -.067 | .966 |
| | Superplasticizer | -.373[b] | -10.902 | .000 | -.579 | 1.000 |
| | Calcium Sulfoaluminate | .332[b] | 9.239 | .000 | .515 | 1.000 |
| 3 | Portland Cement | -63.863[c] | -1.291 | .198 | -.084 | 4.780E-7 |
| | Water | .026[c] | .735 | .463 | .048 | .935 |
| | Calcium Sulfoaluminate | .332[c] | 12.501 | .000 | .632 | 1.000 |
| 4 | Portland Cement | -63.863[d] | -1.666 | .097 | -.108 | 4.780E-7 |
| | Water | -.045[d] | -1.623 | .106 | -.106 | .896 |

a. Predictors in the Model: (Constant), Fly ash

b. Predictors in the Model: (Constant), Fly ash, Day

c. Predictors in the Model: (Constant), Fly ash, Day, Superplasticizer

d. Predictors in the Model: (Constant), Fly ash, Day, Superplasticizer, Calcium Sulfoaluminate

e. Dependent Variable: Compressive Strength

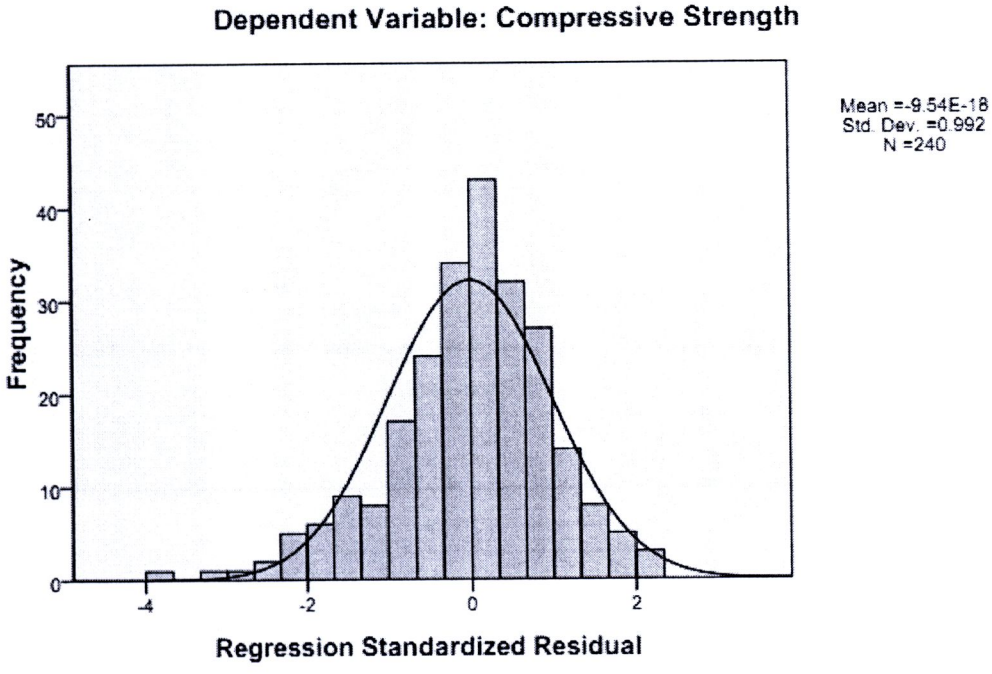
**Residuals Statistics[a]**

| | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation | N |
|---|---|---|---|---|---|
| Predicted Value | 157.138 | 857.963 | 469.077 | 134.7447 | 240 |
| Residual | -2.2422E2 | 131.0510 | .0000 | 60.1657 | 240 |
| Std. Predicted Value | -2.315 | 2.886 | .000 | 1.000 | 240 |
| Std. Residual | -3.695 | 2.160 | .000 | .992 | 240 |

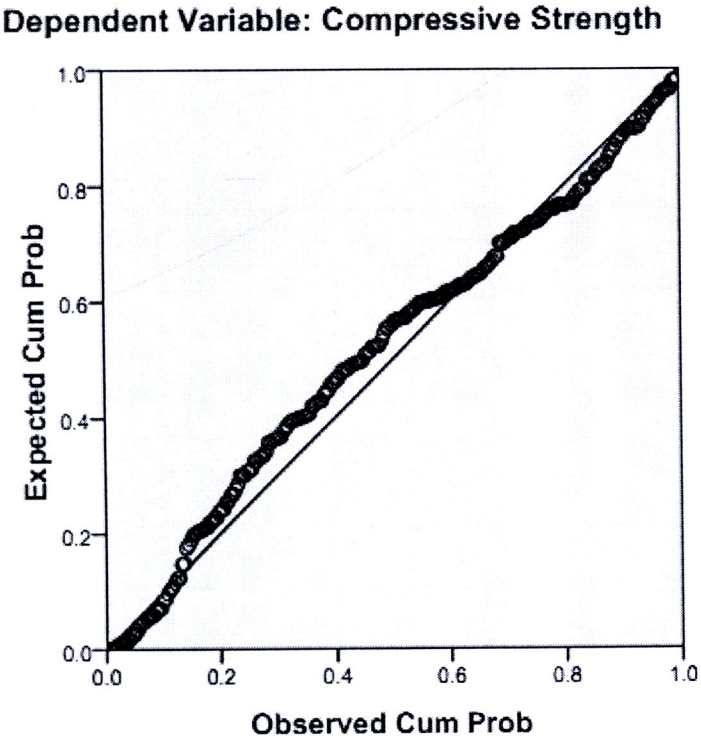
a. Dependent Variable: Compressive Strength

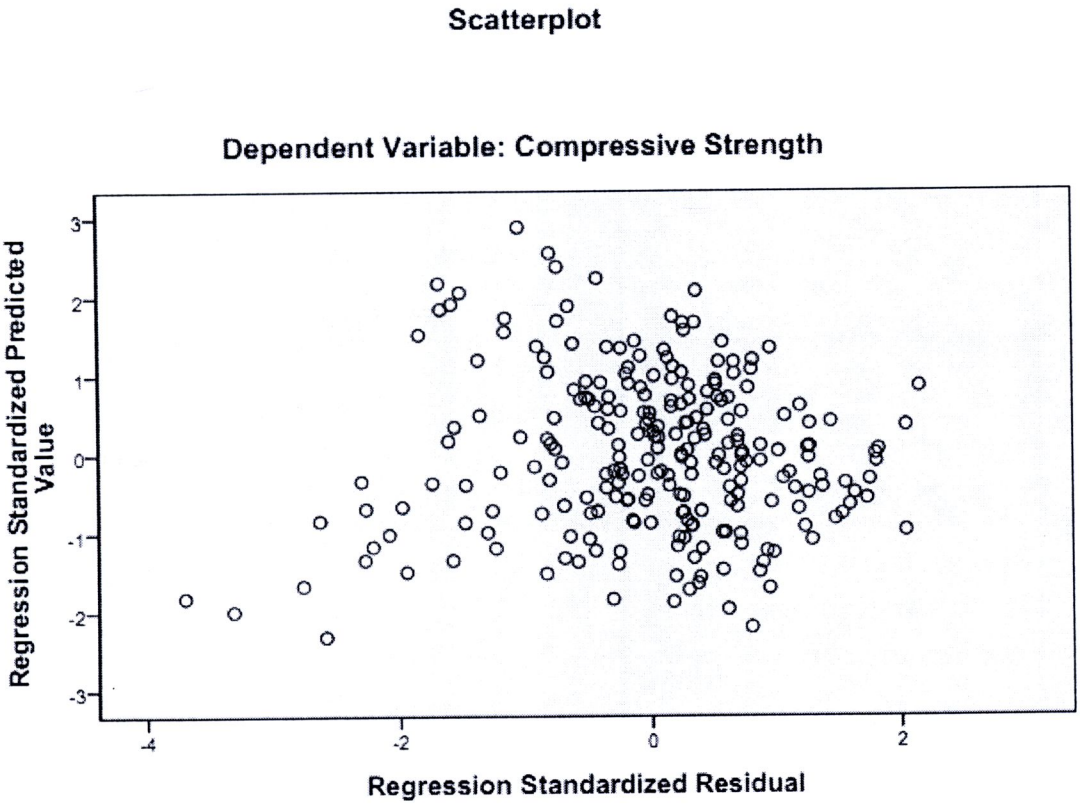
## Charts

**Histogram**



**Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual**




Scatterplot
Dependent Variable: Compressive Strength
Regression Standardized Predicted Value
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
-2
0
2
Regression Standardized Residual

# Regression

**Notes**

| | | |
|---|---|---|
| Output Created | | 14-..-2554, 21 34 |
| Comments | | |
| Input | Data | C:\Documents and Settings\Stat User\My Documents\ \pink\data_for_model2.sav |
| | Active Dataset | DataSet1 |
| | Filter | <none> |
| | Weight | <none> |
| | Split File | <none> |
| | N of Rows in Working Data File | 240 |
| Missing Value Handling | Definition of Missing | User-defined missing values are treated as missing. |
| | Cases Used | Statistics are based on cases with no missing values for any variable used. |
| Syntax | | REGRESSION<br>/MISSING LISTWISE<br>/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA<br>/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)<br>/NOORIGIN<br>/DEPENDENT y2M<br>/METHOD=STEPWISE X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7<br>/SCATTERPLOT=(*ZPRED , *ZRESID)<br>/RESIDUALS HIST(ZRESID) NORM (ZRESID). |
| Resources | Processor Time | 0 0 0 |
| | Elapsed Time | 0 0 0 |

**Variables Entered/Removed[a]**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|---|---|---|---|
| 1 | Day | . | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100). |
| 2 | Calcium Sulfoaluminate | . | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100). |
| 3 | Superplasticizer | . | Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100). |

a. Dependent Variable: y2M

**Model Summary[d]**

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .775[a] | .600 | .598 | 130.13372 |
| 2 | .846[b] | .716 | .714 | 109.87108 |
| 3 | .866[c] | .751 | .747 | 103.20538 |

a. Predictors: (Constant), Day

b. Predictors: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate

c. Predictors: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate, Superplasticizer

d. Dependent Variable: y2M

**ANOVA[d]**

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Regression | 6044818.563 | 1 | 6044818.563 | 356.947 | .000[a] |
| | Residual | 4030478.932 | 238 | 16934.785 | | |
| | Total | 1.008E7 | 239 | | | |
| 2 | Regression | 7214315.383 | 2 | 3607157.691 | 298.812 | .000[b] |
| | Residual | 2860982.113 | 237 | 12071.654 | | |
| | Total | 1.008E7 | 239 | | | |
| 3 | Regression | 7561578.845 | 3 | 2520526.282 | 236.639 | .000[c] |
| | Residual | 2513718.650 | 236 | 10651.350 | | |
| | Total | 1.008E7 | 239 | | | |

a. Predictors: (Constant), Day

b. Predictors: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate

c. Predictors: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate, Superplasticizer

d. Dependent Variable: y2M

**Coefficients[a]**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 77.723 | 12.395 | | 6.271 | .000 |
| | Day | 16.245 | .860 | .775 | 18.893 | .000 |
| 2 | (Constant) | -15.969 | 14.147 | | -1.129 | .260 |
| | Day | 16.245 | .726 | .775 | 22.377 | .000 |
| | Calcium Sulfoaluminate | 37.477 | 3.808 | .341 | 9.843 | .000 |
| 3 | (Constant) | -109.027 | 21.028 | | -5.185 | .000 |
| | Day | 16.245 | .682 | .775 | 23.823 | .000 |
| | Calcium Sulfoaluminate | 37.477 | 3.577 | .341 | 10.478 | .000 |
| | Superplasticizer | 34.897 | 6.112 | .186 | 5.710 | .000 |

a. Dependent Variable: y2M

**Excluded Variables[d]**

| Model | | Beta In | t | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics: Tolerance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Portland Cement | -.001[a] | -.025 | .980 | -.002 | 1.000 |
| | Fly ash | .001[a] | .025 | .980 | .002 | 1.000 |
| | Water | .148[a] | 3.694 | .000 | .233 | 1.000 |
| | Superplasticizer | .186[a] | 4.727 | .000 | .294 | 1.000 |
| | Calcium Sulfoaluminate | .341[a] | 9.843 | .000 | .539 | 1.000 |

a. Predictors in the Model: (Constant), Day

b. Predictors in the Model: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate

c. Predictors in the Model: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate, Superplasticizer

d. Dependent Variable: y2M

**Excluded Variables[d]**

| Model | | Beta In | t | Sig. | Partial Correlation | Collinearity Statistics: Tolerance |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Portland Cement | -.001[b] | -.030 | .976 | -.002 | 1.000 |
| | Fly ash | .001[b] | .030 | .976 | .002 | 1.000 |
| | Water | .084[b] | 2.406 | .017 | .155 | .962 |
| | Superplasticizer | .186[b] | 5.710 | .000 | .348 | 1.000 |
| 3 | Portland Cement | -.001[c] | -.032 | .974 | -.002 | 1.000 |
| | Fly ash | .001[c] | .032 | .975 | .002 | 1.000 |
| | Water | .051[c] | 1.527 | .128 | .099 | .930 |

a. Predictors in the Model: (Constant), Day

b. Predictors in the Model: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate

c. Predictors in the Model: (Constant), Day, Calcium Sulfoaluminate, Superplasticizer

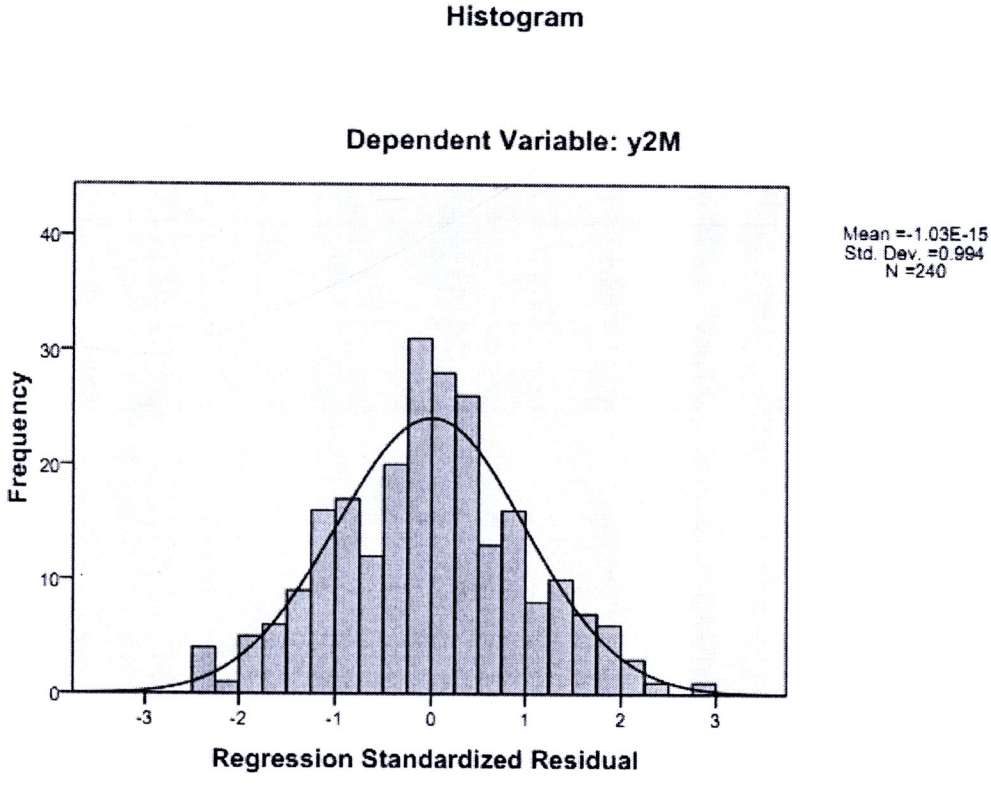
d. Dependent Variable: y2M

**Residuals Statistics[a]**

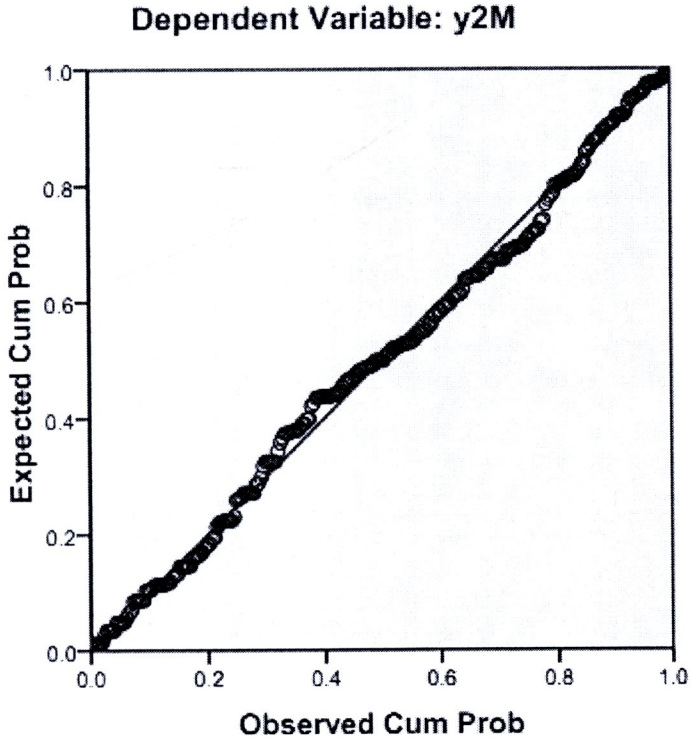
| | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation | N |
|---|---|---|---|---|---|
| Predicted Value | -46.3694 | 672.8060 | 2.4992E2 | 177.87188 | 240 |
| Residual | -2.3419E2 | 2.92386E2 | .00000 | 102.55560 | 240 |
| Std. Predicted Value | -1.666 | 2.377 | .000 | 1.000 | 240 |
| Std. Residual | -2.269 | 2.833 | .000 | .994 | 240 |

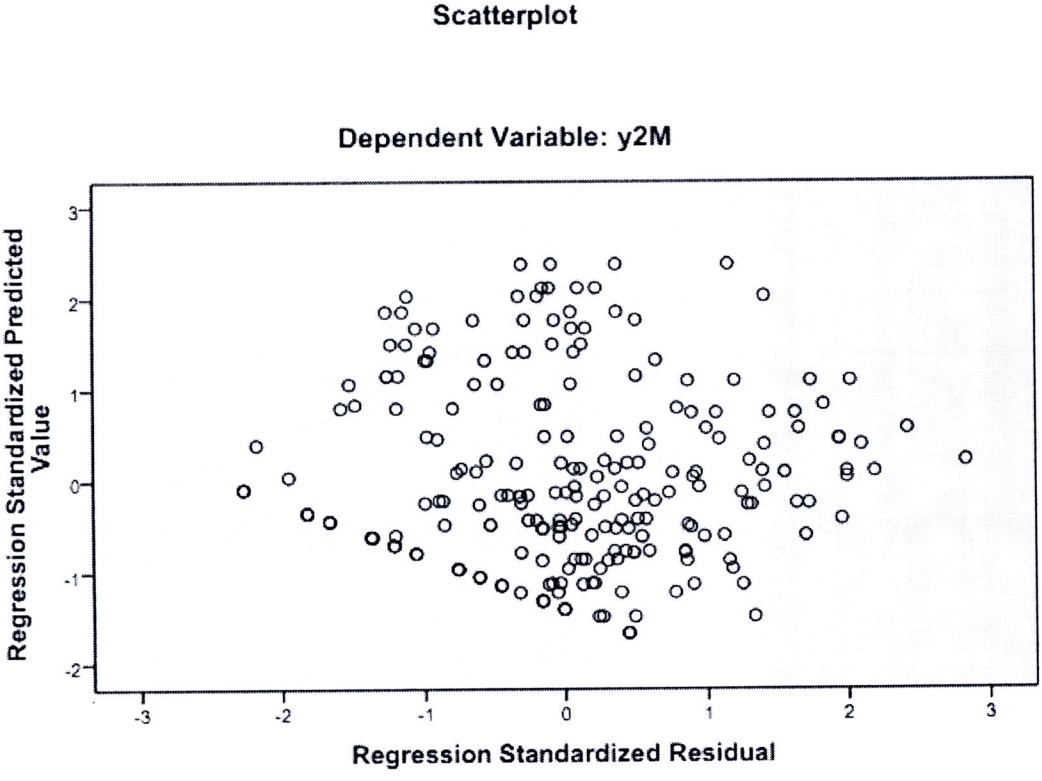
a. Dependent Variable: y2M

## Charts


Histogram
Dependent Variable: y2M
Mean =-1.03E-15
Std. Dev. =0.994
N =240
Frequency
40
30
20
10
0
-3
-2
-1
0
1
2
3
Regression Standardized Residual

**Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual**




Scatterplot
Dependent Variable: y2M
Regression Standardized Predicted Value
Regression Standardized Residual
3
2
1
0
-1
-2
-3
-2
-1
0
1
2
3

# ภาคผนวก ค

# การคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและพลังงานของมอร์ต้าร์ชดเชยการหดตัว

ตาราง ค-1 แสดงถึงขั้นตอนการคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ (แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)

| วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต | ปริมาณ (Kg) | ค่า Emission Factor | ปริมาณ (Kg $CO_2$/Kg) |
|---|---|---|---|
| หินปูน | 1280 | 1.0676 | 1367 |
| ดินเหนียว | 240 | 0.0029 | 0.696 |
| แร่เหล็ก | 80 | 0.00472 | 0.3776 |
| ยิปซั่ม | 5 | 0.00203 | 0.01015 |
| รวม | | | 1368 |

หมายเหตุ : ใช้สัดส่วนส่วนผสมของวัตถุดิบต่อซีเมนต์ 1 ตัน และข้อมูลของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ อ้างอิงจาก Life Cycle Assessment of Cement in Malaysia (Ong Chin How, 2007)

ตาราง ค-2 แสดงถึงขั้นตอนการคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการผลิตสารเพิ่มการขยายตัว (แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554)

| วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต | ปริมาณ (Kg) | ค่า Emission Factor | ปริมาณ (Kg $CO_2$/Kg) |
|---|---|---|---|
| $CaCO_3$ | 404.3 | 1.0676 | 432 |
| $Al_2O_3$ | 412.4 | 0.0029 | 1.20 |
| $CaSO_4$ | 183.3 | 0.00203 | 0.37 |
| รวม | | | 434 |

หมายเหตุ : ใช้สัดส่วนส่วนผสมของวัตถุดิบต่อสารเพิ่มการขยายตัว 1 ตัน

## ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ – สกุล** นางสาว ภัณฑิรา ชนะชมภู

**วัน เดือน ปีเกิด** 14 กรกฎาคม พ.ศ.2530

**ประวัติการศึกษา** สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโพฒิสารศึกษา จังหวัดนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2541

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสตรีนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2547

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2551

**ผลงานทางวิชาการ** บทความวิจัยเรื่อง "ผลกระทบของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตที่มีต่อซีเมนต์ชดเชยการหดตัว" ตีพิมพ์ในงานวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16 ปีพ.ศ. 2554