บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

$$6_c = \frac{P}{A}$$

$$\text{กำลังอัดประลัย} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

- ข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM C 150 ได้กำหนดค่ากำลังอัดประลัยต่ำสุดของคอนกรีตที่จะใช้สำหรับโครงสร้างประเภท A (งานโครงสร้างและผิวถนน) ที่ 210 ก.ก./ตร.ซม.ที่ อายุการบ่ม 28 วัน

มาตรฐานการก่อสร้างถนนภายในเขตเทศบาลนครปากเกร็ด

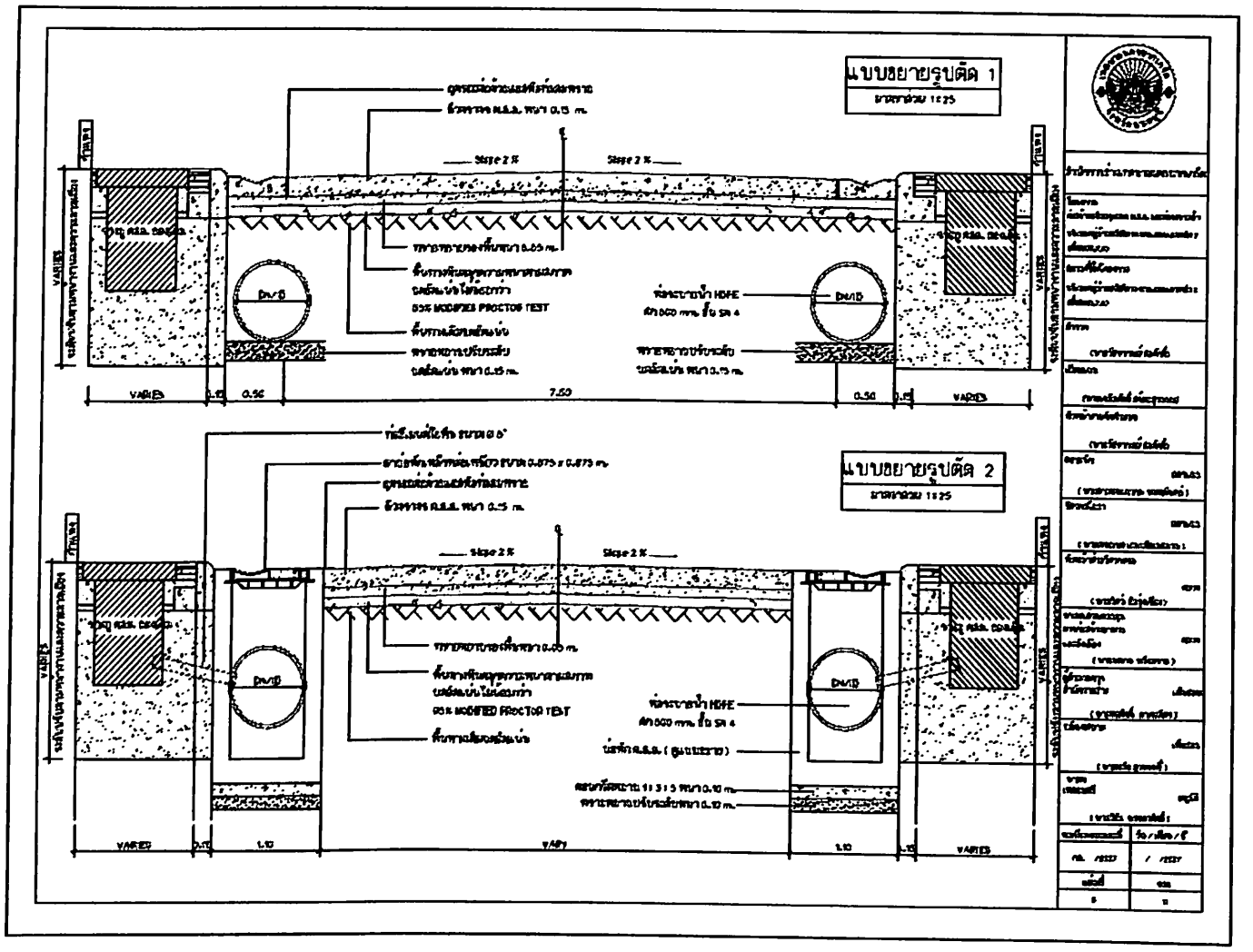
การก่อสร้างพื้นฐานของถนนรวมถึงการสร้างพื้น (Base) และพื้นชั้นรองพื้น (Sub Base) ของคอนกรีตตามที่กำหนดไว้ในแบบแปลโดยได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ก่อนที่จะลงมือทำการสร้างพื้นฐานของถนน พื้นฐานล่างที่ได้เตรียมไว้แล้วจะต้องมีคุณสมบัติได้รับการตรวจสอบว่า อยู่ในสภาพเรียบร้อย โดยบดอัดด้วยวัสดุที่กำหนดให้ได้ระดับแนวทางตามกำหนดในแบบแปลนและรายการมาตรฐานว่าด้วยงานดินลำดับรับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมการก่อสร้างก่อน
2. วัสดุที่จะใช้เป็นพื้นฐานของถนนจะต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในแบบแปลนและรายละเอียดโดยอนุญาตให้ใช้เสียก่อน
3. วัสดุที่ได้รับอนุญาตให้เป็นพื้นฐานของถนน ต้องนำมาเทบนพื้นชั้นล่าง ซึ่งเตรียมไว้เกลี่ยเป็นชั้นๆ ตามความหนาที่แสดงไว้ในแบบแปลน การเกลี่ยต้องเป็นแนวเป็นชั้นสม่ำเสมอ
4. ให้บดอัดชั้นพื้นทางของถนนซึ่งเกลี่ยไว้เรียบร้อยแล้ว แต่ละชั้นด้วยเครื่องมือกลที่เหมาะสมตามประเภทของดิน และได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมการก่อสร้าง ถ้าใช้รถบดต้องวิ่งด้วยอัตราความเร็ว 10 กม./ชม. ในระหว่างการบดจะต้องมี

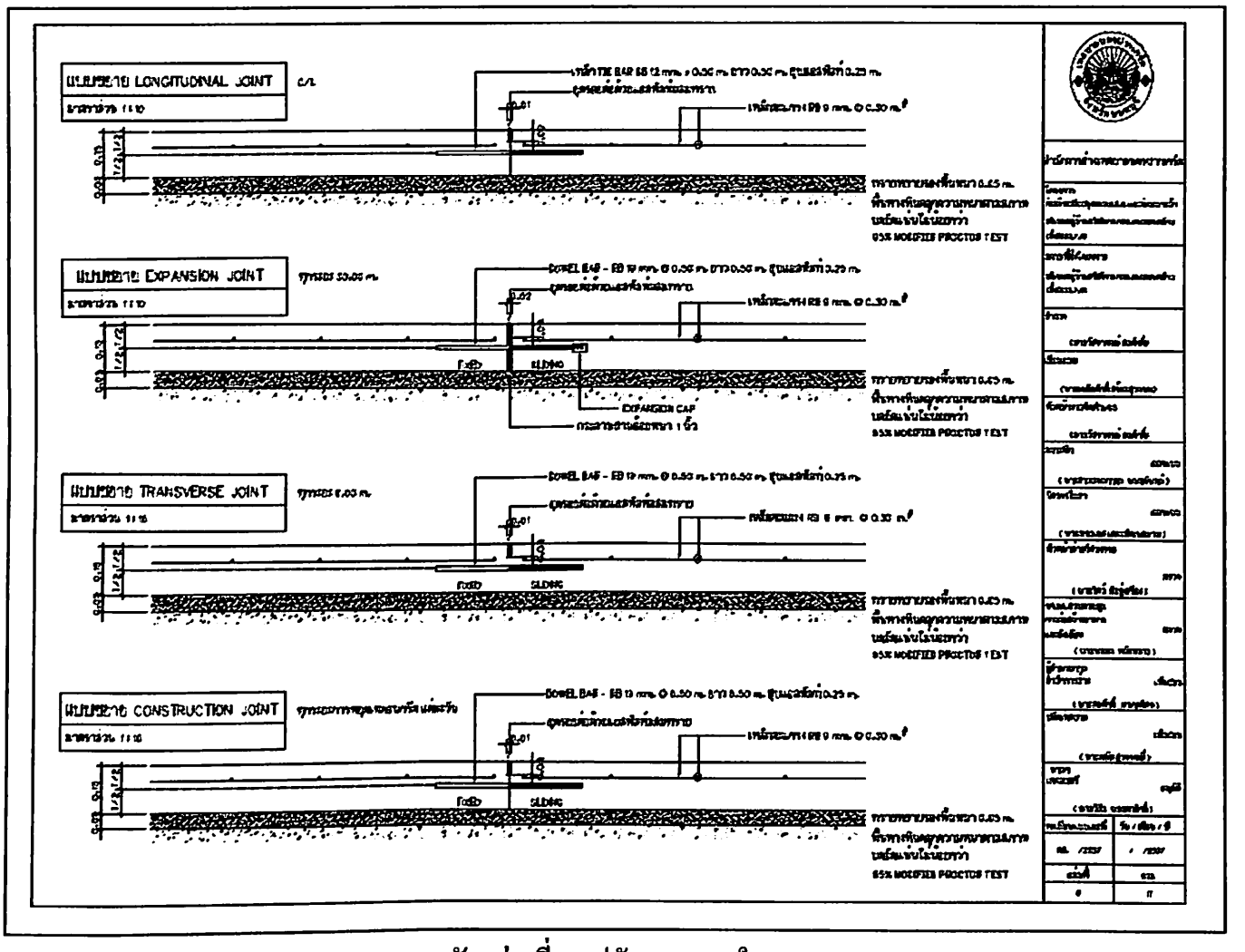
ความชื้นถูกต้องตามที่กำหนดให้ ต้องบดอัดแน่นให้สัมพันธ์ไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในแบบแปลน

5. ในบริเวณรถบดอัดไม่สามารถเข้าบดอัดได้ให้เกลี่ยวัตถุพื้นฐานของถนนและบดอัดเป็นชั้นๆ แต่ละชั้น
6. ในระว่างการเกลี่ยใส่วัสดุและบดอัดพื้นฐานของถนนแต่ละชั้นดังกล่าวอาจมีอุปสรรคเกิดขึ้นและทำให้งานชะงักเป็นการชั่วคราว ผู้รับจ้างจะต้องแต่งดินเป็นลาด เพื่อให้ระบายน้ำตลอดเวลา
7. ผิวหน้าของพื้นฐานของถนนจะต้อง ได้รับการตกแต่งให้มีรูปลักษณะตามที่ปรากฏแบบแปลนด้วยรถบดล้อเรียบขนาด 8-10 ตัน

ในการก่อสร้างผิวถนน คือส่วนที่ถัดจากพื้นฐานมาของถนนคอนกรีต คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ผสม เช่น ซีเมนต์ ทราย หิน ต้องเป็นไปตามรายละเอียดมาตรฐานการก่อสร้างงานถนนคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีต เมื่อมีการทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 15×15×15 ซม.จะต้องมีกำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) ไม่น้อยกว่า 210 กก. ที่อายุ 7 วัน และไม่น้อยกว่า 280 กก. ที่อายุ 28 วัน เหล็ก ชนิด ขนาดและคุณสมบัติของเหล็กจะต้องเป็นไปตามที่ ม.อ.ก. กำหนด



ภาพตัวอย่างที่ 1 รูปตัดถนนภายในเขตเทศบาล



ภาพตัวอย่างที่ 2 รูปตัดถนนภายในเขตเทศบาล

เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการที่ได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่ได้เคยมีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องงานคอนกรีตไว้หลายท่าน ไม่ว่าจะเป็นปัญหาอุปสรรคใน ข้อบกพร่องต่างๆในการทดสอบ มีงานวิจัยที่วิเคราะห์และให้ข้อเสนอแนะในเรื่องดังกล่าวไว้ดังนี้

อาวุธโส โพธิ์อุดม1 ร.อ.พิพัฒน์ สอนวงษ์2 จุฑา สุนิตย์กุล3อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์4(2553) ได้ศึกษาประเมินความแข็งแรงของวัสดุผิวทางเดิม ปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม กรณีศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบและหาคุณสมบัติด้านกายภาพของวัสดุโครงสร้างทางเดิมโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เป็นการหาค่าพัฒนาความสัมพันธ์ สามารถใช้เป็นแนวทางกำหนดค่า field CBR ในสภาพจริงของงานถนน เพื่อใช้ในงานตรวจสอบวิเคราะห์และนำมาใช้สำหรับการควบคุมงานและการออกแบบงานถนน

สุรชัย โกเมนธรรมโสภณ (2555)ได้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ฝุ่นแกรนิตเป็นส่วนผสมแทนทรายและนำมาทดสอบเป็นแท่งทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM C192 บ่มคอนกรีตโดยวิธีแช่น้ำที่ 7,14,21,28 วัน และนำมาทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตปรากฏว่าค่าการรับกำลังอัดคอนกรีตเมื่ออายุการบ่ม 28 วัน ความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ผสมทราย มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่ใช้ฝุ่นแกรนนิตแทนทรายบางส่วนสามารถนำไปใช้งานในงานโครงสร้างบางประเภทได้ เช่นงานโครงสร้างประเภท A (งานโครงสร้างและผิวถนน) ตามข้อกำหนดใน ASTM C 150 ที่ระบุค่ากำลังรับแรงอัดประลัยไม่น้อยกว่า 210 ก.ก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน

มงคล ดัชนีย์ (2553) ได้ศึกษากำลังอัดของถนนที่ซ่อมแซมโดยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ โดยศึกษาด้านเปียกของความชื้นเหมาะสมสำหรับการบดอัด จะดำเนินการจากในสนามและห้องปฏิบัตการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ ปัจจัยที่มีผลให้เกิดความแตกต่างกันของกำลังอัดดินซีเมนต์ ในสนามและห้องปฏิบัติการคือ วิธีการบ่มที่แตกต่าง

ดร.จุฑา สุนิตย์สกุล, ดร.อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช ,นายจอมปวีร์ จันทร์หิรัญ,นายนิคม เทพบุตร (สำนักวิจับและพัฒนางานทาง,สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง)ได้ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดเบื้องต้นของวัสดุงานทางที่ปรับปรุงคุณสมบัติงานทางที่ปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้านกำลังรับแรงอัดด้วยปูนซีเมนต์ จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบแกนเดียวก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์พบว่า วัสดุมวลรวมดินมีความสามารถในการ Autogenously Heal เมื่อวัสดุฯ ถูกแรงภายนอกกระทำจนพ้นจุดรับที่สามารถรับแรงได้สูงสุด โดยค่ากำลังต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นภายหลังจากการบ่มก้อน ตัวอย่างมวลรวมดินซีเมนต์ เมื่อทำการทดสอบก้อนตัวอย่างดิน

ซีเมนต์ที่ค่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการเตรียมก้อนตัวอย่างลดลงโดยที่ปริมาณดินคงที่ จำสามารถเพิ่มค่ากำลังต้านทานแรงอัดของวัสดุงานทางดินซีเมนต์ได้ ดังนั้นการผสมวัสดุงานทางดินซีเมนต์ในด้านแห้งจะสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ลงได้โดยยังคงได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ต้องการ

วรากร หมั่นสระเกษ (2554) ได้ศึกษาการพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในการผลิตบล็อกเพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ พร้อมทั้งนำเสนอส่วนผสมที่เหมาะสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกาเซทีลีน และเถ้าลอยเป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า คอนกรีตบล็อกผลิตขึ้นจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุเชื่อมประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนที่นิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.75 ให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสูงสุด ปริมาณน้ำที่เหมาะจะเป็นตัวหล่อลื่นให้อนุภาคของหินฝุ่นเถาลอย และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เคลื่อนตัวเขาอุดโพรงส่วนผสมได้สะดวก ปริมาณน้ำที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการเยิ้มและไม่สามารถอัดให้แน่นได้ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.75 ไม่เพียงแต่ให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสูงที่สุด แต่ยังบล็อกสูงที่สุดไปด้วย สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าอัตรานี้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างเถาลอยและหินฝุ่นที่สมบรูณ์ที่สุด วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถาลอยมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 40

(กรมทางหลวง) ***www.smith-kmitnb.com/concrete%20sheet*** **การทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรี (Compressive Strength and Tensile Strength of Concrete)กำลังของคอนกรีต (Strength) เป็นคุณสมบัติสำคัญของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งจะแสดงความสามารถในการรับแรงของคอนกรีต โดยการทดสอบกำลังของคอนกรีตสามารถทำได้ คือ**

1. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต (Compression Test)

ถึงแม้ในทางปฏิบัติคอนกรีตจะได้รับทั้งแรงกด แรงดึง หรือแรงเฉือนใน 2 ทิศทางหรือมากกว่านั้น แต่การทดสอบที่สะดวกที่สุดที่กระทำในห้องทดสอบ คือ การทดสอบกำลังอัดด้วยวิธี Uniaxial Compression Test ซึ่งกำลังอัดของคอนกรีตที่ทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวที่อายุ 28 วัน ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายให้เป็นดัชนีทั่วไปในการวัดกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งการทดสอบทำโดยการหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐาน ซึ่งที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 2 รูปทรง คือ

- **รูปทรงรูปบาศก์** ตามมาตรฐานอังกฤษ BS 1881 : PART 3 ขนาดที่ใช้คือ 15 X 15 X 15 ซม.

- **รูปทรงกระบอก** ตามมาตรฐานอเมริกา ASTM C 192 ขนาดที่ใช้ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

หลังจากคอนกรีตแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชม. จึงถอดแบบออก ต่อจากนั้นจึงนำก้อนตัวอย่างไปบ่มในน้ำเพื่อรอการทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่องทดสองกำลังอัดของทั้ง 2 รูปทรงที่ได้จากเครื่องทดสอบนี้ จะให้ค่ากำลังอัดที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจาก

1. องค์ประกอบเรื่องความชะลูด กล่าวคือ รูปทรงกระบอกมีสัดส่วนความสูงต่อความกว้าง (Slenderness Ratio) มากกว่ารูปทรงลูกบาศก์ ซึ่งอัตราส่วนความชะลูดดังกล่าว ส่งผลให้กำลังอัดรูปทรงกระบอกต่ำกว่ารูปทรงลูกบาศก์

2. ขณะที่กดก้อนตัวอย่างนั้น ก้อนตัวอย่างจะแตกออกด้านข้าง ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกด แรงเสียดทานดังกล่าวจะก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่างที่เรียกว่า Confining Stress ดังรูป โดยค่า Confining Stress นี้จะมีค่ามากถ้าผิวสัมผัสของก้อนตัวอย่างกับเครื่องกดมีค่ามาก ดังนั้นผลทดสอบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์จึงให้ค่าสูงกว่ารูปทรงกระบอก

ตามมาตรฐานสำหรบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 5

ในทางปฏิบัตินั้นผิวด้านบนของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกมักจะไม่เรียบ ทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้ ดังนั้นก่อนการทดสอบจะต้องทำการ Cap ก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ด้านด้วยกำมะถันเสียก่อน ส่วนก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์นั้นไม่ต้อง Cap ก้อนตัวอย่างเพราะมีผิวด้านข้างอีก 4 ด้านเรียบที่สามารถนำมาทดสอบได้ ปัจจัยอื่นในด้านการทดสอบที่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต

วิธีการทำก้อนตัวอย่าง คอนกรีตที่ได้รับการทำให้แน่น โดยการกระทุ้งด้วยเหล็ก จะให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่าจากการทำให้แน่นด้วยเครื่องเขย่า

1. **ขนาดและลักษณะของก้อนทดสอบ** การใช้แท่งทดสอบที่ขนาดต่างจากขนาดมาตรฐานที่กำหนดให้ความสูงเป็น 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง จะมีผลให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเกิดความแตกต่างกัน เช่น ก้อนตัวอย่างที่ได้จากการเจาะทดสอบ (Core Test) ถ้าความสูงที่เจาะออกมาสั้นกว่า 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางจะต้องปรับแก้กำลังของคอนกรีตด้วย

ตารางที่ 1 ผลของอัตราส่วนความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ต่อกำลังอัด

สัดส่วนของความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D)	ค่าปรับแก้ของกำลังอัด
2.00	1.00
1.75	0.95
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

2. อัตราการกด ถ้าใช้อัตราการกดสูงทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงตามไปด้วย ดังนั้นถึงควรใช้อัตราการกดตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 1.43-3.47 กก./ตร.ซม./วินาที สำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก และ 1.12-2.72 กก./ตร.ซม./วินาที สำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

3. ความชื้นของก้อนตัวอย่าง ก้อนตัวอย่างที่มีความชื้นจะให้กำลังอัดที่ต่ำกว่าก้อนตัวอย่างที่แห้งเพราะการขยายตัวของซีเมนต์เพสท์ อันเนื่องมาจากการดูดซึมน้ำจะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสท์กับมวลรวมลดลง โดยมาตรฐาน ASTM C 39 แนะนำให้ทำการทดสอบก้อนตัวอย่างในสภาพชื้น ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความผันแปรอันเนื่องมาจากระดับของความแห้ง

การประเมินผลกำลังอัดของคอนกรีต

เมื่อทดสอบกำลังอัดแล้วต้องดำเนินการประเมินผล โดยทำตามมาตรฐาน ACI 31 8R Chapter E Concrete Quality, Mixing, and Placing หรือตามมาตรฐาน วสท. ภาค 3 เกณฑ์กำหนดในการก่อสร้างซึ่งมีวิธีการประเมินดังนี้

ค่ากำลังอัดที่ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

1. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดจากการทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกัน มากกว่าค่ากำลังอัดที่กำหนด (f'_c)
2. ค่ากำลังอัดแต่ละครั้งต่ำกว่ากำลงอัด (f'_c) ที่ต้องการได้ไม่เกิน 30 กก./ตร.ซม.

ในกรณีที่ต้องเจาะก้อนคอนกรีตในโครงสร้างมาทดสอบ (Core Test) การประเมินผล มีดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดจะต้องได้ค่าไม่น้อยกว่า 85% ของค่ากำลังอัดที่กำหนด (f'_c)
2. ค่ากำลังอัดแต่ละก้อนต้องได้ค่าไม่น้อยกว่า 75% ของค่ากำลังอัดที่กำหนด (f'_c)

2. การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีต (Tensile Strength Test)

ถึงแม้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังดึงนี้จะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากผลกระทบต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิและการหดตัว

การเตรียมตัวอย่าง

1. รักษาความชื้นของตัวอย่างทดสอบอยู่ตลอดเวลา หลังจากนำขึ้นจากบ่อ บ่มจนกระทั่งทำการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างเหล่านี้ ต้องทำการทดสอบในขณะที่อยู่ในสภาพชื้น

2. ตรวจสอบตัวอย่างทดสอบ สังเกตดูว่ามีตัวอย่างทดสอบใดที่มีขนาดแตกต่างจากมาตรฐานมาก ๆ อย่างเห็นได้ชัด ถ้าพบให้ตัดตัวอย่างทดสอบนั้นทิ้งไป

วิธีทดสอบ

1. วัดและบันทึกค่าความสูง ความกว้าง และความยาวของก้อนตัวอย่างทดสอบ โดยวัดระยะระหว่างหน้าตัดแนวดิ่งให้ละเอียดถึงระดับมม. (กรณีก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์)

2. วัดและบันทึกความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างทดสอบโดยวัด 2 แนว ที่ตั้งฉากกัน ให้วัดให้ละเอียดถึงระดับมม. (กรณีก้อนตัวอย่างทรงกระบอก)

3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบ และบันทึกค่ากรณีก้อนตัวอย่างทรงกระบอกให้ทำการ Capping ตัวอย่างทดสอบด้วยกำมะถันเพื่อให้มั่นใจว่า ผิวหน้าตัดตัวอย่างทดสอบตั้งฉากกับแกนของตัวอย่างทดสอบ

4. นำก้อนตัวอย่างวางบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบโดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด

5. เปิดเครื่องทดสอบ โดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอประมาณ 1.43-3.47 กก./ตร.ซม./วินาที สำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก และ 1.12-2.72 กก./ตร.ซม./วินาที สำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

6. กดก้อนตัวอย่างจนพัง บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้นำค่าน้ำหนักและพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัย} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$