

บันทึกวิชาการฉบับที่ 16

การจัดสัดส่วน ส่วนผสมคอนกรีต (CONCRETE MIXES PROPORTION)

บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยี จำกัด

บันทึกวิชาการฉบับที่ 16

การจัดสัดส่วน ส่วนผสมคอนกรีต

(CONCRETE MIXES PROPORTION)

สารบัญ

	หน้า
1. คำนำ	1
2. ท้ายไป	1
3. วิธีการแสดงสัดส่วน	4
4. ความสัมพันธ์ของมวลรวม - น้ำปูน	5
5. ตัวแปรในการจัดสัดส่วน	7
6. การจัดสัดส่วนโดยวิธีลองดู	8
7. การปรับส่วนผสม	8
8. วิธีการจัดสัดส่วนของ ACI	9
รูปที่ 1 : อัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยที่ต้องการ f_{cr} ต่อ กำลังที่ระบุ f_c' สำหรับสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและโอกาสที่จะต่ำกว่ากำลังที่ระบุ	3
รูปที่ 2 : รูปแบบอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และกำลังรับแรงอัด	6
ตารางที่ 1 : ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพของส่วนผสมต่อปริมาณทรายที่ดีที่สุด และปริมาณในคอนกรีต	9
ตารางที่ 2 : ค่ายุบตัวแนะนำสำหรับประเภทต่าง ๆ ของการก่อสร้าง	10
ตารางที่ 3 : ขนาดมวลรวมใหญ่สุด แนะนำสำหรับประเภทของการก่อสร้าง	11
ตารางที่ 4 : ปริมาณความต้องการน้ำผสมโดยประมาณสำหรับค่ายุบตัวที่แตกต่างกัน และขนาดมวลรวมใหญ่สุด	11
ตารางที่ 5 : อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงสุดที่ยินยอมสำหรับประเภทของโครงสร้าง ที่แตกต่างกันและอัตราการกระทบ (Degree of Exposure) หน่วย กก./ลบ.ม	12
ตารางที่ 6 : กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่าง ๆ	13
ตารางที่ 7 : ปริมาตร (Bulk Volume) ของมวลรวมหยาบกระทุ้งแห้ง ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต	14

การจัดสัดส่วน ส่วนผสมคอนกรีต (CONCRETE MIXES PROPORTION)

1. คำนำ

สัดส่วนส่วนผสมคอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ความคงทนของคอนกรีต (Durability) การหดตัว (Shrinkage), Creep เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องพิจารณาสัดส่วนให้เหมาะสม ในบางครั้งผู้ควบคุมงานของฝ่ายนายจ้างไม่ว่าจะเป็นระดับวิศวกร หรือระดับนายตรวจ (Inspector) นั้น รับทราบและอนุมัติสัดส่วนที่ผู้รับเหมานำเสนอ โดยอาจจะไม่ได้ตรวจสอบหรือตรวจสอบโดยไม่มีข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงสัดส่วน โดยให้เป็นความรับผิดชอบของผู้รับเหมาทั้งสิ้น ซึ่งวิศวกรหรือนายตรวจควรมีบทบาทตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะสัดส่วนส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสม เพื่อให้คุณสมบัติของคอนกรีตดีที่สุดสำหรับสถานะเฉพาะนั้น ๆ ซึ่งในเรื่องนี้วิศวกรหรือนายตรวจของฝ่ายนายจ้างจะต้องมีความเข้าใจในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงจะเสนอแนะได้อย่างเหมาะสมและไม่เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายกับผู้รับเหมา

2. ทัวไป

สัดส่วนส่วนผสมคอนกรีต ประกอบด้วย การพิจารณาปริมาณสัมพัทธ์ของวัสดุที่จะนำมาใช้ในคอนกรีตแต่ละโมที่ทำการผสมสำหรับวัตถุประสงค์เฉพาะ ขบวนการนี้ในบางครั้ง เรียกว่า “การออกแบบ” ส่วนผสม ถึงแม้ว่าข้อความหรือคำนี้อาจเกิดความสับสนกับการออกแบบโครงสร้าง การจัดสัดส่วนอาจเป็นแบบกำหนดขึ้น (Empirical) นั่นคือ ขึ้นกับประสบการณ์หรือการสังเกตการณ์แต่เพียงประการเดียว หรืออาจมีพื้นฐานทางวิชาการจากการทดสอบหรือคำนวณการจัดสัดส่วนเกี่ยวข้องกับการพิจารณาวัสดุที่มีอยู่และราคา ความต้องการของการเทคอนกรีตและการแต่งหน้าคอนกรีต และคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว เช่น ความคงทนถาวร, กำลังและความคงตัวของปริมาณ (Volume Constancy) วัตถุประสงค์เพื่อผลิตคอนกรีตที่ประหยัด โดยมีสภาพการทำงานที่น่าพึงพอใจขณะยังเหลวอยู่ และคุณภาพที่น่าพึงพอใจเมื่อแข็งตัวแล้ว

การจัดสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตเป็นขั้นตอนที่สำคัญ คือ เป็นวิถีทางเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการด้านคุณภาพและการประหยัด คอนกรีตอาจผลิตจากวัสดุที่มีอยู่จำนวนหนึ่ง โดยมีคุณภาพและราคาแตกต่างกันไป รวมทั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันอาจนำมาใช้ผลิตคอนกรีตซึ่งมีคุณสมบัติเป็นที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสำคัญที่จะต้องมีความเข้าใจและควบคุมความสัมพันธ์ของการผลิตเพื่อให้ได้คุณสมบัติสูงสุด โดยมีราคาพอสมควร

อาจไม่จำเป็นที่คอนกรีตจะต้องมีคุณภาพสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ตามที่กำหนดโดยมาตรฐาน ยกตัวอย่างเช่น บางส่วนของโครงสร้างควรมีกำลังมากกว่าอีกโครงสร้างหนึ่ง และคอนกรีตภายในโดยพื้นฐานต้องให้สอดคล้องกับความต้องการด้านกำลังขณะที่คอนกรีตภายนอกอาจจำเป็นต้องมีความต้านทานต่อดินฟ้าอากาศ (Weather Resistant) และในทำนองที่คล้ายคลึงกันคอนกรีตที่การใช้งานเทคอนกรีตนำฟุ้งพองสำหรับการเทในแบบขนาดใหญ่ไม่มีสิ่งกีดขวาง อาจไม่เหมาะสมสำหรับใช้เทส่วนของโครงสร้างเสริมเหล็กเป็นจำนวนมากและมีขนาดเล็ก

เป็นธรรมเนียมที่จะประเมินคุณภาพคอนกรีต โดยวัดจากกำลังคอนกรีต แม้ว่ากำลังคอนกรีตถือได้ว่าเป็นเพียงตัวชี้ของคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความต้านทานต่อสภาพดิน น้ำ อากาศ หรือความต้านทานต่อการแตกร้าว จากประสบการณ์ได้มีการกำหนดกำลังที่เหมาะสมของโครงสร้างประเภทต่าง ๆ กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตที่ทำการกำหนดสัดส่วนควรจะต้องสูงกว่าที่กำหนดหรือสมมติในการออกแบบโครงสร้าง ดังนี้

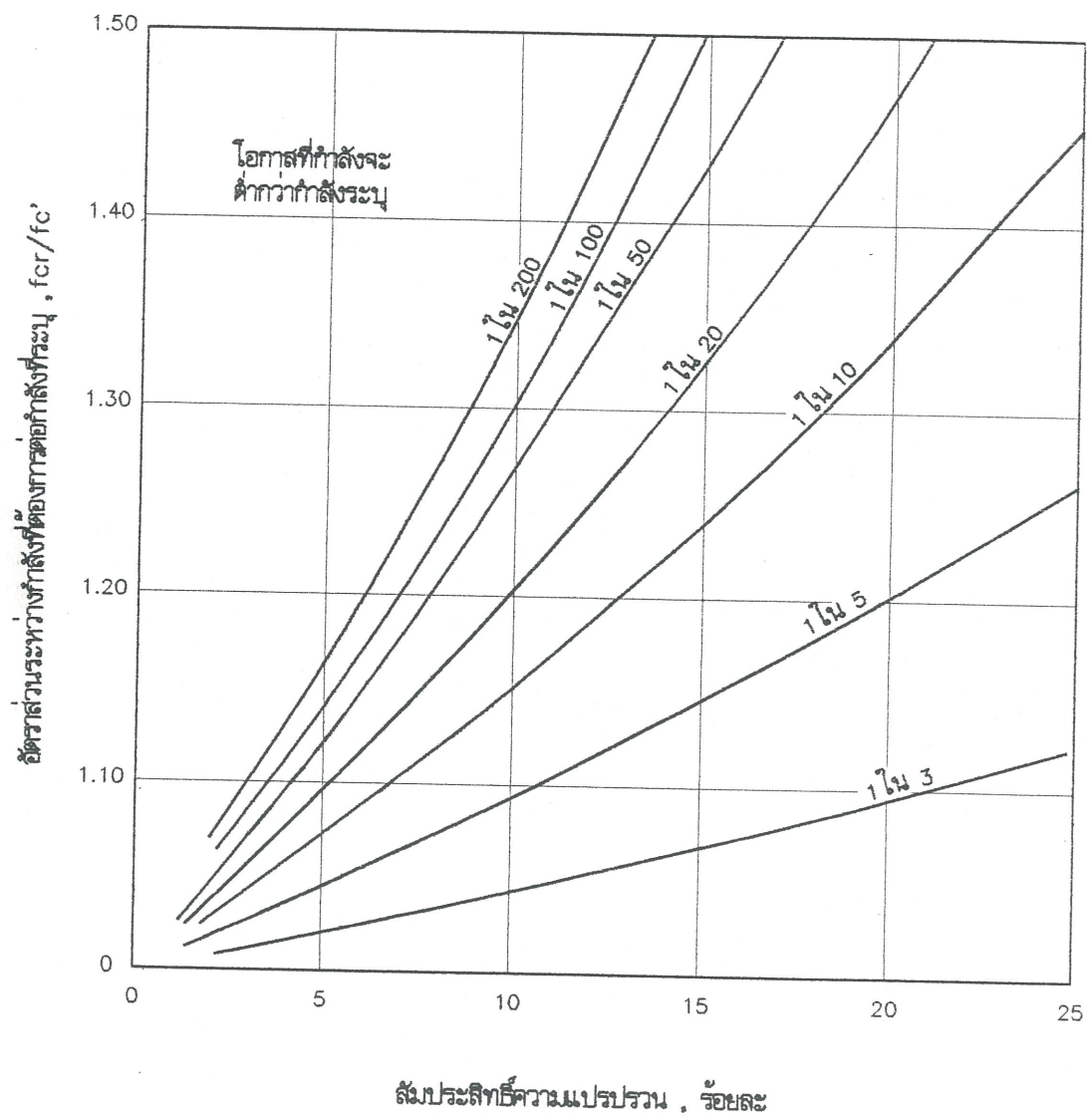
กำลังเฉลี่ยที่ต้องการ

เนื่องจากผลการแปรเปลี่ยนของกำลังของแท่งทดสอบทรงกระบอกสำหรับแต่ละงาน และความต้องการให้ค่าทดสอบเป็นจำนวนน้อย ต่ำกว่ากำลังที่กำหนด fc' จำเป็นที่กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการสูงกว่าค่า fc' ส่วนเกินของกำลังขึ้นกับความสม่ำเสมอของคอนกรีตที่ทำการผลิตและส่วนของกำลังทดสอบต่ำที่ยินยอมได้ กำลังเฉลี่ยที่ต้องการสำหรับการออกแบบส่วนผสมอาจประมาณได้จาก **รูปที่ 1**

ส่วนประหยัดของส่วนผสมคอนกรีตโดยสัมพัทธ์ในงานก่อสร้าง โดยปฐมเหตุแล้วขึ้นกับราคาของวัสดุมากกว่าค่าแรงหรือองค์ประกอบที่สัมพันธ์อื่น ๆ แม้ว่าค่าแรงงานและอื่น ๆ ของการจัดเตรียมแบบหล่อ, การขนและการเทคอนกรีตจะเป็นสัดส่วนที่สูงของราคาทั้งหมด แต่ส่วนต่างของสัดส่วนของคอนกรีตที่แตกต่างกันจะน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้เครื่องมือกลขนถ่ายคอนกรีต ดังนั้นแล้วในการจัดสัดส่วนส่วนผสม โดยหลักสำคัญแล้วควรให้ความสนใจกับหลักการดังนี้

- (ก) ราคาของวัสดุที่มีอยู่ ที่สัมพันธ์กับปริมาณที่ต้องการในส่วนผสม
- (ข) ผลิตส่วนผสมที่มีสภาพการทำงานที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าเทและค่าแต่งผิวต่ำสุด โดยมีความสม่ำเสมอกับคุณภาพของโครงสร้างที่เสร็จสมบูรณ์ตามที่ต้องการ

ปัจจุบันราคาของปูนซีเมนต์จะสูงกว่าราคาของหินมวลรวมประมาณ 5 ถึง 6 เท่า ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงราคาแล้วจะต้องพยายามใช้ปูนซีเมนต์ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะกระทำได้โดยต้องสอดคล้องกับความต้องการด้านกำลังและอื่น ๆ ราคาของส่วนผสมเพิ่ม (Admixture) อาจมีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่อสัดส่วนของมวลรวมและปูนซีเมนต์ จากประสบการณ์ของผู้เขียน (นายวิทยา เรืองวรวิทย์) เมื่อ 10 ปีมาแล้ว ซึ่งผู้เขียนควบคุมการผลิตคอนกรีตอยู่ที่ Batching Plant ประมาณ 150,000 ลูกบาศก์เมตรในเวลา 3 ปีเต็ม นั้น ค่า Admixture ตกประมาณ 20 บาทต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 1 อัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยที่ต้องการ f_{cr} ต่อ กำลังที่ระบุ f_c' สำหรับสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนและโอกาสที่จะต่ำกว่ากำลังที่ระบุ

โดยทั่วไปก็คือเมื่อสภาพต่าง ๆ เท่าเทียมกัน (เช่น วัสดุและความชื้นเหลว) คอนกรีตกำลังสูงจำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์มากและราคาคอนกรีตจะแพง การออกแบบโครงสร้าง คอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีราคาต่อหน่วยแพงกว่า อาจประหยัดกว่าโดยขนาดของโครงสร้างที่เล็กลง เช่น เสา ทั้งนี้เนื่องจากการใช้แรงเค้นการใช้งานที่ยินยอมสูงขึ้น

3. วิธีการแสดงสัดส่วน

ส่วนผสมของคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์, น้ำ, มวลรวม และในบางกรณีมีส่วนผสมเพิ่ม (Admixtures) หรือ มีฟองอากาศกักเก็บโดยการใช้ส่วนผสมเพิ่ม มวลรวมละเอียดและหยาบกองแยกกัน ทั้งนี้ในส่วนหนึ่งเพื่อลดการแยกตัวแต่โดยหลักการเป็นวิธีการเพื่อปรับขนาดลดหลั่น (Gradation) ของมวลรวมผสมทั้งหมดปกติจะใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด และหินย่อยเป็นมวลรวมหยาบ ในทำนองที่คล้ายกันมวลรวมหยาบอาจประกอบวัสดุที่แยกขนาดตั้งแต่ 2 ขนาดขึ้นไป โดยเฉพาะเมื่อขนาดใหญ่สุด เช่นตั้งแต่ $1\frac{1}{2}$ " ขึ้นไป สำหรับคอนกรีตมวล

วิธีการสามัญแสดงสัดส่วนวัสดุรวดก่อนในส่วนผสมคอนกรีต คือในรูปของส่วนหรืออัตราส่วนของปูนซีเมนต์, มวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ โดยให้ปูนซีเมนต์เป็น 1 หน่วย ยกตัวอย่างเช่น สัดส่วน 1:2:4 ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน มวลรวมละเอียด 2 ส่วน และมวลรวมหยาบ 4 ส่วน เป็นต้น วิธีปฏิบัติเช่นนี้กำหนดขึ้นก่อนที่จะทราบหรือเข้าใจอิทธิพลสำคัญของปริมาณน้ำต่อคุณภาพคอนกรีต และพิจารณาคอนกรีตเป็นส่วนผสมของวัสดุรวดก่อน (Granular Materials) โดยมีน้ำเติมสำหรับให้เป็นของไหล (Fluidity) กอปรความคิดเช่นนั้นถูกแทนที่ด้วยวิธีการที่มีพื้นฐานโดยมองภาพสัดส่วนเป็น 2 องค์ประกอบคือ น้ำปูน (Paste) และมวลรวม

เพื่อความชัดเจนของสัดส่วนควรกำหนดให้แน่ชัด มิฉะนั้นจะไม่กระจ่างชัดว่าสัดส่วนนั้นโดยน้ำหนัก, โดยปริมาตรทึบ (Solid or Absolute Volume) หรือโดยปริมาตรรวม (Bulk Volume) นอกจากนี้ถ้าเป็นปริมาตรรวมต้องแสดงด้วยว่าเป็นปริมาตรหลวมหรืออัดแน่น และโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับทรายต้องระบุว่าเป็นขณะทรายเปียกชื้น (Damp) หรือแห้ง ปริมาณของฟองอากาศที่ถูกกักเก็บโดยบังเอิญหรือโดยจงใจ ในคอนกรีตแสดงเป็นร้อยละโดยปริมาตรของคอนกรีต ส่วนผสมเพิ่มแสดงในหน่วยสัมพันธ์กับน้ำหนักของซีเมนต์

พื้นฐานเบื้องต้นสำหรับการจัดสัดส่วนคือโดยปริมาตรทึบ ทั้งนี้โดยความจำเป็นต้องพยายามให้มวลรวมมีขนาดลดหลั่น และที่ว่างที่ถูกแทรกโดยวัสดุเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณปริมาตรที่ผลิต (Yield) เมื่อสัดส่วนแสดงในหน่วยน้ำหนัก จะต้องเกี่ยวข้องกับความถ่วงจำเพาะของมวลรวมและซีเมนต์ การกำหนดสัดส่วนโดยปริมาตรรวมจะไม่จำกัดเฉพาะลงตัวทั้งนี้ เนื่องจากความแตกต่างหรือความแปรปรวนในการอัดแน่นและปริมาตร (Bulking) และควรหลีกเลี่ยงการกำหนดโดยใช้ปริมาตรนอกจากเป็นงานที่ไม่สำคัญมากนัก

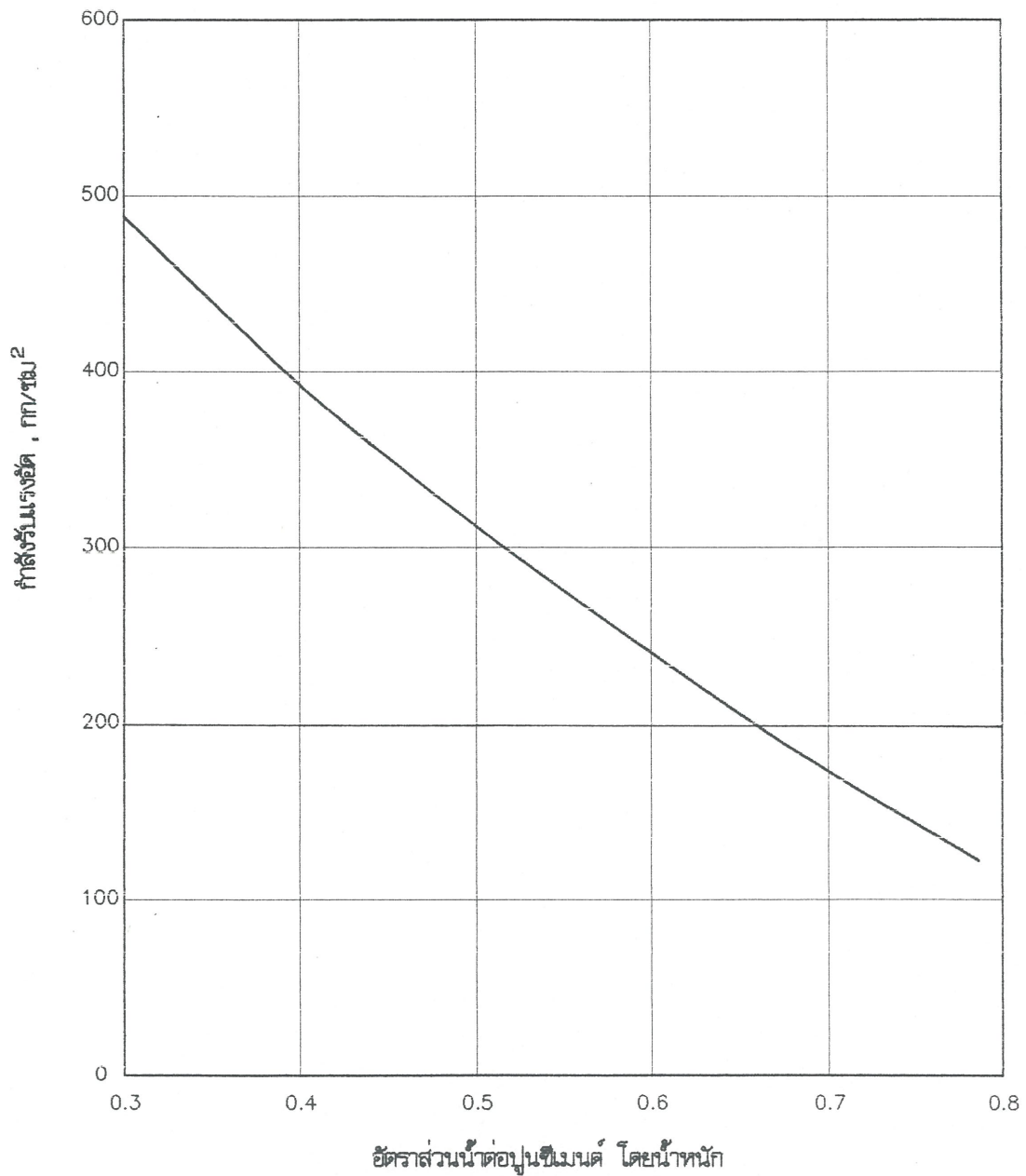
4. ความสัมพันธ์ของมวลรวม - น้ำปูน

คอนกรีตประกอบส่วนของน้ำปูน (Cement - water Paste) ซึ่งเป็นส่วนประกอบปฏิกิริยา (Active Ingredient) และมวลรวมซึ่งเฉื่อย (Inert Aggregate) ความสะดวกในการใช้งาน (Workability) ของมวลคอนกรีตเกิดจากผลการหล่อลื่นของน้ำปูนและเป็นอิทธิพลโดยปริมาณและความเจือจาง (Ditution) ของน้ำปูน กำลังของคอนกรีตถูกจำกัดด้วยกำลังของน้ำปูน เนื่องจากมวลรวมแล้วจะมีกำลังสูงกว่าส่วนของน้ำปูน โดยมีข้อยกเว้นน้อยมาก การซึมผ่านของคอนกรีตจะถูกควบคุมโดยคุณภาพและความต่อเนื่องของน้ำปูน เนื่องจากน้ำจะไหลผ่านมวลร่วนน้อยมากไม่ว่าจะโดยภายใต้ความดันหรือโดยการดึงดูดของอนุ (Capillarity) นอกจากนี้ส่วนรวมหลักของการหดตัวเนื่องจากแห้ง (Drying Shrinkage) คือส่วนของน้ำปูน

เนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตขึ้นกับน้ำปูนโดยขอบเขตพอสมควร ดังนั้นจึงต้องพิจารณาโครงสร้างของน้ำปูน น้ำปูนขณะที่เป็นของเหลวเป็นส่วนผสมแขวนลอย ไม่ใช่สารละลายระหว่างซีเมนต์และน้ำ ถ้า น้ำปูนยิ่งใสเท่าไร ระยะห่างของเม็ดปูนก็ยิ่งมากและน้ำปูนเมื่อแข็งตัวจะมีกำลังน้อยลงไม่ว่าในชั้นใดของปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) ในเชิงคุณภาพสรุปได้ว่าเมื่อส่วนอื่น ๆ เท่าเทียมกัน กำลังของคอนกรีตเป็นสัดส่วนผกผันกลับ กับอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยที่อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็นวิธีแสดงอัตราความเจือจางของน้ำปูน รูปแบบโดยทั่วไปของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และกำลังคอนกรีต แสดงในรูปที่ 2* สำหรับลักษณะเฉพาะขึ้นกับองค์ประกอบอื่น เช่น วัสดุเฉพาะ (ที่สำคัญคือปูนซีเมนต์) ระยะเวลาบ่มคอนกรีต และสภาพความชื้นและอุณหภูมิของการบ่มและการทดสอบ

ที่เรียกว่า “กฎอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์” ก็คือสำหรับวัสดุที่กำหนดให้และสภาพของการเทและบ่มคอนกรีต กำลังคอนกรีต (Concrete Strength) โดยหลักการสำคัญถูกควบคุมโดยอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ กำลังคอนกรีตยังมีผลมาจากลักษณะสมบัติของปูนซีเมนต์ ขอบเขตของปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) และในอัตราที่น้อยลงโดยรูปร่าง, เนื้อผิว (Texture), ขนาดใหญ่สุด, ขนาดลดหลั่น, ความแข็งเกร็ง (Stiffness) และปริมาณของมวลรวม อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์โดยปฐมนิยามระหว่างอัตราส่วนน้ำ - ปูนซีเมนต์ และกำลังคอนกรีตเป็นประโยชน์สูงสุดในการจัดสัดส่วนและนิยามใช้กันอย่างกว้างขวาง

* ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นคำแนะนำใน ACI “Recommended Practice for Selecting” ซึ่งสำหรับประเทศไทยแล้วปูนซีเมนต์แต่ละยี่ห้อ แต่ละตราอาจแตกต่างกันไป ผู้เขียนเคยรวบรวมและสรุปไว้เมื่อ 15 ปีที่แล้วสำหรับปูนซีเมนต์ของประเทศไทย แต่ได้สูญหายไปแล้ว



รูปที่ 2 รูปแบบอย่างของความสัมพันธ์ระหว่าง
อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และ กำลังรับแรงอัด

5. ตัวแปรในการจัดสัดส่วน

โดยวัสดุที่กำหนดให้ องค์ประกอบตัวแปร 4 ประการที่จะต้องพิจารณาในการระบุส่วนผสมคอนกรีต คือ

- (ก) อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์
- (ข) ปริมาณซีเมนต์หรืออัตราส่วนซีเมนต์ต่อมวลรวม *
- (ค) ขนาดลดหลั่นของมวลรวม และ
- (ง) ความชื้นเหลือของคอนกรีตสด

โดยทั่วไปตัวแปรทั้งสี่ซึ่งสัมพันธ์ซึ่งกันและกันไม่สามารถเลือกหรือกำหนดโดยไม่มีหลักเกณฑ์ ปกติองค์ประกอบสองหรือสามประการจะถูกระบุและองค์ประกอบอื่น ๆ จะถูกปรับเพื่อให้สภาพการทำงานและความประหยัดสูงสุด ความต้องการหลักปกติจะถูกกำหนดโดยประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพการออกแบบโครงสร้าง, ความคงทนและสภาพการเทคอนกรีต

ตามที่ได้กล่าวไว้ก่อนแล้วว่า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แสดงความเจือจางของน้ำปูน ปริมาณซีเมนต์แปรผันโดยตรงกับปริมาณของน้ำปูนที่ความเจือจางที่กำหนดให้ และอาจจะแปรผันกับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบอื่น ในส่วนที่เกี่ยวกับการสัดส่วนของวัสดุที่กำหนดให้ ขนาดลดหลั่นของมวลรวมถูกควบคุมโดยการแปรผันปริมาณของมวลรวมหยาบและละเอียดที่กำหนดให้ ความชื้นเหลือกำหนดโดยความต้องการด้านปฏิบัติการเทคอนกรีต และโดยเหตุนี้ไม่อาจจัดการโดยตามอำเภอใจในการจัดสัดส่วน เช่นเดียวกับตัวแปรอื่นอีก 3 ประการ โดยปกติความชื้นเหลือจะแสดงในหน่วย การยุบตัว (Slump) หรือ Ball Penetration ควรใช้ความชื้นเหลือที่ขั้นที่สุด (Stiffest Consistency) เท่าที่สามารถเทได้โดยมีประสิทธิภาพ

ถึงแม้ว่าตัวแปรการจัดสัดส่วนอาจจะแสดงในหน่วยอื่นได้ แต่ที่แสดงไว้ข้างต้นมีนัยสำคัญเป็นปฐมภูมิ และใช้กันโดยทั่วไป

การพิจารณายิ่งขึ้นไป ก็คือปริมาณของน้ำปูนในคอนกรีต โดยย่อก็คือพยายามจัดสัดส่วนคือการใช้ปริมาณน้ำปูนต่ำสุดและนั่นก็คือปริมาณปูนซีเมนต์ซึ่งสามารถหล่อลื่นมวลขณะยังเป็นของเหลว และเมื่อแข็งตัวจะต้องเชื่อมเกาะก้อนมวลรวมเข้าด้วยกันและเติมเต็มช่องว่างระหว่างมวลรวม น้ำปูนที่มากเกินไปทำให้ราคาสูงขึ้น การหดตัวเนื่องจากการแห้งสูงขึ้น และการซึมผ่านของน้ำสูงขึ้น และโดยเหตุนี้จะถูกกระทำจากน้ำที่กัดเซาะหรือดินฟ้าอากาศ

เพื่อลดปริมาณน้ำปูนจำเป็นที่ก้อนมวลรวมจะต้องมีขนาดลดหลั่นเพื่อให้ปริมาณช่องว่างต่ำ

* โดยประสบการณ์ของผู้เขียน ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้สัมพันธ์กับกำลังคอนกรีต โดยจะเรียกว่าประสิทธิภาพปูนซีเมนต์ (Cement Efficiency) คือ อัตราส่วนของกำลังคอนกรีตต่อปูนซีเมนต์ สำหรับปูนซีเมนต์โดยทั่วไปน่าจะอยู่ในระดับ 0.8 ksc/ 1 กก.ซีเมนต์

6. การจัดสัดส่วนโดยวิธีลองดู

โดยความเข้าใจพื้นฐานของความสัมพันธ์และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง อาจจัดสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพโดยการทดลองดู โดยมีพื้นฐานการควบคุมอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ และวิธีนี้ใช้กันแพร่หลาย

วิธีการต้องการตัวอย่างของซีเมนต์ มวลรวมละเอียด และหยาบและต้องทราบหรือสมมติความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และกำลังคอนกรีต

โดยย่อขบวนการการจัดสัดส่วนของวัสดุที่กำหนดให้สำหรับวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยวิธีการลองดูล่วงหน้าก่อนการก่อสร้างประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- ก. เลือกอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับความต้องการด้านกำลังคอนกรีตและคุณสมบัติอื่น เช่น ความคงทน
- ข. ทดลองผสมคอนกรีตหนึ่งโมหรือมากกว่า โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ และความชื้นเหลวที่ต้องการ เพื่อพิจารณาสัดส่วนที่ดีที่สุด (Optimum Proportions) และปริมาณของมวลรวมที่ให้ส่วนผสมที่ทำงานได้โดยมีปริมาณน้ำปูนต่ำสุด (ซึ่งรวมถึงปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำสุด)

7. การปรับส่วนผสม

ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นเหลว และ/หรือ สัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตจะโดยบังเอิญหรือโดยความตั้งใจอาจจะชดเชยหรือควบคุมได้หลายทางเลือก ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์คงที่ การเพิ่มการยุบตัวกระทำโดยการเพิ่มปริมาณของน้ำปูน (หรือที่สะดวกกว่าโดยการลดปริมาณมวลรวม) เป็นผลให้ส่วนผสมแก่ปูน (Richer Mix) และแน่นขึ้นต้องแพงขึ้น ถ้าต้องการคงปริมาณปูนซีเมนต์ การเพิ่มการยุบตัวกระทำโดยการเพิ่มปริมาณน้ำ ซึ่งทำให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงขึ้นเป็นผลให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลง

ปูนซีเมนต์และทรายอาจจะแทนที่กันด้วยปริมาณทึบ (Solid Volume) ที่เท่ากัน ทั้งนี้อยู่ในช่วงพอสมควร เป็นผลเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยไม่กระทบต่อปริมาณน้ำหรือการยุบตัว

การปรับเชิงปริมาณโดยประมาณสำหรับการเปลี่ยนแปลงส่วนผสม อาจกระทำโดยให้สอดคล้องกับค่าในตารางที่ 1 ค่าความแปรปรวนวัดจากส่วนผสมพื้นฐาน ประกอบด้วย มวลรวมกลม (Rounded Aggregate) มีขนาดลดหลั่นโดยเฉลี่ยและมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.46 และการยุบตัวเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร

8. วิธีการจัดสัดส่วนของ ACI

สำหรับวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการพิจารณาล่วงหน้า โดยมีพื้นฐานเชิงปริมาณการจัดสัดส่วนวัสดุเพื่อผลิตส่วนผสมมีคุณสมบัติตามที่ปรารถนา วิธีการนี้วิเคราะห์จำนวนหนึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมา ขณะที่วิธีการดังกล่าวนี้ก็ยังเป็นการกำหนดขึ้น (Empirical) ในความหมายที่ว่ายังขึ้นกับข้อมูลจากการสังเกตการณ์จากส่วนผสมที่ทดลองดูจำนวนหนึ่ง ซึ่งทำให้สามารถคำนวณปริมาณของส่วนผสมสำหรับสภาพแตกต่างกันไป

ตารางที่ 1

ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพของส่วนผสมต่อปริมาณทรายที่ดีที่สุด
และปริมาณในคอนกรีต

สภาพการเปลี่ยนแปลง	ผลต่อปริมาณทราย ที่ดีที่สุด เป็นร้อยละ (Optimum Percentage of Sand)	ผลต่อปริมาณน้ำ ต่อหน่วย
เพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ทุก 0.05 (ปริมาณน้ำคงที่, ปริมาณซีเมนต์เปลี่ยนแปลง)	+1	0
เพิ่ม Fineness Modulus ของทรายทุก 0.1	+0.5	0
เพิ่มการยุบตัวทุก 1 นิ้ว		+3%
เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ทุก 1%		+1.5 กก./ลบ.เมตร
มวลรวมหยาบเป็นเหลี่ยม	+3 ถึง +5	+9 ถึง 15 กก./ม ³
ทรายที่ผลิตขึ้นมา (แหลมและเป็นเหลี่ยม)	+2 ถึง +3	+6 ถึง 9 กก./ม ³
สำหรับคอนกรีตที่ต้องการสภาพการทำงานต่ำลง เช่น ผิว ถนนคอนกรีต	-3	- 4.7 กก./ม ³

วิธีการของ American Concrete Institute สำหรับการจัดสัดส่วนส่วนผสมคอนกรีตตีพิมพ์ในหัวข้อ “Recommended Practice for Selecting Proportions for Concrete” ประกอบตารางจำนวน 6 ตาราง พร้อมกับผลการทดสอบในห้องทดลองเพื่อพิจารณา Fineness Modulus ของมวลรวมละเอียด ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมหยาบ น้ำหนักต่อหน่วยของมวลรวมหยาบกระทุ้งแน่นแห้ง (Dry - rodded Coarse Aggregate) และความถ่วงจำเพาะของมวลรวม เป็นข้อมูลสำหรับการเลือก ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์สมมติให้เท่ากับ 3.15 จะต้องทราบก่อนว่าจะมีการกักเก็บฟองอากาศในคอนกรีตหรือไม่ เช่นเดียวกับวิธีการอื่น ๆ การจัดสัดส่วนถือได้ว่าเป็นการประมาณเท่านั้น ซึ่งควรที่จะตรวจสอบโดยการผสมลองดู และควรปรับแก้ขณะก่อสร้างตามความจำเป็น เพื่อคงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และปริมาตรส่วนผสมสูงสุด (Optimum Yield) ที่ความชื้นเหลวตามกำหนด

โดยย่อวิธีการประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- 1) ความชันเหลว ในหน่วยการยุบตัวที่เหมาะสมกับสภาพการเทคอนกรีตเลือกจากตารางที่ 2 ควรเลือกใช้คอนกรีตที่มีความชันเหลวที่ชันมากที่สุดเท่าที่จะเทคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

ตารางที่ 2

ค่ายุบตัวแนะนำสำหรับประเภทต่าง ๆ ของการก่อสร้าง

ประเภทของการก่อสร้าง	ค่ายุบตัว, นิ้ว	
	สูงสุด	ต่ำสุด
- กำแพงฐานรากและฐานราก เสริมเหล็ก	5	2
- ฐานราก, ปล้องฐานราก (Caissons) และกำแพงโครงสร้างส่วนล่าง คอนกรีตธรรมดา	4	1
- แผ่นพื้น, คานและกำแพงเสริมเหล็ก	6	3
- เสาอาคาร	6	3
- ผิวถนน	3	2
- การก่อสร้างมวลรวมใหญ่	3	1

- 2) ขนาดมวลรวมใหญ่สุด แนะนำสำหรับประเภทของการก่อสร้างเลือกจากตารางที่ 3 ภายในขอบเขตที่แสดงควรใช้ขนาดมวลรวมใหญ่สุดยกเว้นแต่จะถูกกำหนดด้วยวัสดุที่มีอยู่และความประหยัด ค่า Fineness Modulus ของทรายและน้ำหนักต่อหน่วยของมวลรวมหยาบ กระทั่งแน่นแข็ง และความถ่วงจำเพาะและการซึมซับของมวลรวม พิจารณาจากการทดสอบ
- 3) ปริมาณน้ำอิสระในหน่วย กก.ต่อลูกบาศก์เมตรของคอนกรีต เลือกจากตารางที่ 4 ซึ่งขึ้นกับค่าการยุบตัวและขนาดใหญ่สุดของมวลรวม ในตารางที่ 4 ยังแสดงปริมาณฟองอากาศที่ถูกกักเก็บทั้งคอนกรีตที่ไม่มีการกระจายฟองอากาศและกระจายฟองอากาศ (Non-air-entrained and Air - entrained Concrete)
- 4) เลือกอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จากการพิจารณาขีดจำกัดกำหนดโดยความต้องการด้านความคงทนและกำลัง ตารางที่ 5 แสดงค่าแนะนำอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงสุดที่ยินยอมจากการพิจารณาความคงทนสำหรับประเภทเฉพาะของโครงสร้างและอัตราการกระทบ (Degree of Exposure) จากตารางที่ 6 แสดงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงสุดที่ยินยอมสอดคล้องกับกำลังแรงอัดที่ต้องการ ให้ใช้ค่าต่ำกว่าจากตารางทั้งสอง

ตารางที่ 3

ขนาดมวลรวมใหญ่สุด แนะนำสำหรับประเภทโครงสร้างต่าง ๆ

มิติต่ำสุด ของหน้าตัด, นิ้ว	ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม, นิ้ว			
	กำแพง, คาน และ เสาเสริมเหล็ก	กำแพงไม่ เสริมเหล็ก	แผ่นพื้น เสริมเหล็กแน่น	แผ่นพื้นเสริม เหล็กเบาบาง หรือไม่เสริมเหล็ก
$2\frac{1}{2} - 5$	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4} -$	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$
6 - 11	$\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2} - 3$
12 - 29	$1\frac{1}{2} - 3$	3	$1\frac{1}{2} - 3$	3
30 หรือ มากกว่า	$1\frac{1}{2} - 3$	6	$1\frac{1}{2} - 3$	3 - 6

ตารางที่ 4

ปริมาณความต้องการน้ำผสมโดยประมาณสำหรับค่ายุบตัวที่แตกต่างกัน
และขนาดมวลรวมใหญ่สุด

ค่ายุบตัว นิ้ว	ปริมาณน้ำ, กก/ลบ.เมตร ของคอนกรีตสำหรับขนาดใหญ่สุดของมวลรวม							
	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1"	$1\frac{1}{2}$	2"	3"	6"
คอนกรีตที่ไม่กักเก็บฟองอากาศ (Non - air - entrained Concrete)								
1 ถึง 2	208	198	183	178	163	153	143	124
3 ถึง 4	227	212	206	193	178	168	158	138
6 ถึง 7	242	227	212	206	188	178	168	148
ปริมาณฟองอากาศ โดยประมาณ, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตกักเก็บฟองอากาศ (Air - entrained Concrete)								
1 ถึง 2	183	178	163	153	143	133	124	109
3 ถึง 4	206	193	178	168	158	148	138	119
6 ถึง 7	212	206	188	178	168	158	148	128
ปริมาณฟองอากาศ โดยแนะนำ, %	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 5

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงสุดที่ยินยอมสำหรับประเภทของโครงสร้างที่แตกต่างกัน
และอัตราการกระทบ (Degree of Exposure) หน่วย กก./ลบ.เมตร

ประเภทของโครงสร้าง	สภาพการกระทบ (Exposure Conditions)					
	อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในช่วง กว้าง (ต้องเป็นคอนกรีตแบบ Air - entrained)			สภาพอุณหภูมิไม่รุนแรง (Mild Temperature)		
	ใน อากาศ	ที่ระดับน้ำหรืออยู่ใน ช่วงที่น้ำขึ้นลง		ใน อากาศ	ที่ระดับน้ำหรืออยู่ใน ช่วงน้ำขึ้นลง	
		น้ำจืด	น้ำทะเล		น้ำจืด	น้ำทะเล
- รูปตัดบาง เช่น ราว, คันทันหรือคอนกรีต ประดับ, เข็มเสริมเหล็ก, ท่อและรูปตัด ทั้งหมดที่มีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กน้อยกว่า 1 นิ้ว	0.49	0.44	0.40 [⊕]	0.53	0.49	0.40 [⊕]
- รูปตัดปานกลาง เช่น กำแพงกันดิน, ตอม่อริมฝั่ง, ตอม่อกลางน้ำ, ตง, คาน	0.53	0.49	0.44 [⊕]	⊕⊕	0.53	0.44 [⊕]
- ส่วนด้านนอกของหน้าตัดขนาดใหญ่	0.58	0.49	0.44 [⊕]		0.53	0.44 [⊕]
- คอนกรีตที่เทโดยใช้ Tremie ใต้น้ำ		0.44	0.44		0.44	0.44
- แผ่นพื้นคอนกรีตวางบนดิน	0.53	-	-			
- คอนกรีตที่ถูกปกป้องจากดินฟ้าอากาศ, ภายในอาคาร, คอนกรีตอยู่ต่ำกว่าดิน	⊕⊕	-	-	⊕⊕		

⊕ เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ต้านซัลเฟต อาจเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ได้อีกประมาณ 0.02

⊕⊕ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ควรเลือกจากพื้นฐานความต้องการของกำลังคอนกรีตและการใช้งาน

ตารางที่ 7

ปริมาตรรวม (Bulk Volume) ของมวลรวมหยาบ

กระทุ้งแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม, นิ้ว	ปริมาตรรวมของมวลรวมหยาบกระทุ้งแห้ง ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตสำหรับ Fineness Modulus ของทรายที่แตกต่างกัน					
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40
$\frac{3}{8}$	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36
$\frac{1}{2}$	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45
$\frac{3}{4}$	0.65	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55
1	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60
$1\frac{1}{2}$	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
2	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69
3	0.84	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74
6	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80