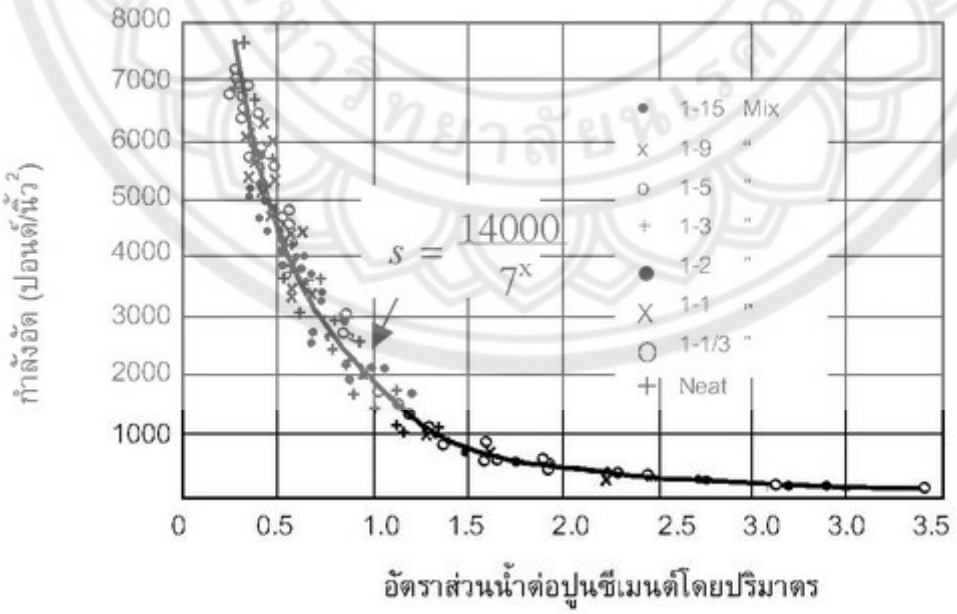
บทที่ 2
หลักการและเหตุผล

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการทำคอนกรีตและเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วโลกเนื่องจากการผลิตใช้เทคโนโลยีไม่สูงมาก วัตถุดิบหาได้ง่ายเกือบทั่วโลก และที่สำคัญมีการใช้ปูนซีเมนต์อย่างต่อเนื่องมาได้ประมาณ 200 ปีแล้ว (การผลิตปูนซีเมนต์ที่เป็นต้นแบบปัจจุบันเริ่มในปี พ.ศ. 2356) ดังนั้นคนทั่วไปจึงมีความคุ้นเคยต่อการใช้ปูนซีเมนต์หรือคอนกรีตอย่างมาก และที่สำคัญการพัฒนาปูนซีเมนต์และคอนกรีตในรอบเกือบ 200 ปี ยังไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก กล่าวคือ คอนกรีตยังประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย หิน และ น้ำ เป็นหลัก โดยอาจมีการเติม ซูปเปอร์พลาสติไซเซอร์ ใช้วัสดุปอซโซลาน (เช่น เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าชานอ้อย หรือซิลิกาฟูม) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน แต่คอนกรีตเมื่อเกือบ 200 ปีก่อนกับคอนกรีตในปัจจุบันยังคงไม่แต่ต่างกันมากนัก กฎของ Abrams ซึ่งเสนอไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2461 ยังคงใช้ได้เช่นเดิม กล่าวคือกำลังอัดของคอนกรีตจะแปรผกผันตามอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (หรือวัสดุประสาน ในกรณีที่ใช้วัสดุปอซโซลานร่วมกับปูนซีเมนต์) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



ตาราง 2.1 (อ้างอิงจาก Lightweight Aggregate Concrete)

ซีเมนต์บล็อกประกอบด้วยส่วนผสมที่สำคัญ คือ ปูนซีเมนต์ หินฝุ่น และน้ำ แล้วนำมาผสมขึ้นรูปในอัตราส่วนที่เหมาะสม ใช้หลักการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโดยการนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดซีเมนต์บล็อก หลังจากนั้นซีเมนต์บล็อกจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้ตามอายุของคอนกรีตที่มากขึ้น ซึ่งในซีเมนต์บล็อกนั้นมีมวลรวมเป็นส่วนผสมที่สำคัญ เนื่องจากมวลรวมมีปริมาตรร้อยละ 70-80 ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด จะเห็นได้ว่ามวลรวมมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของซีเมนต์บล็อก โดยมวลรวมเป็นตัวแทรกประสานที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์บล็อก และมวลรวมต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงตัวของซีเมนต์บล็อก

2.1 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คอนกรีตมีลักษณะเปรียบเสมือนหินประดิษฐ์ (Artificail Stone) ที่ได้จากส่วนประกอบต่างๆนำมารวมกัน และนำมาใช้ในงานก่อสร้างต่างๆโดยเฉพาะใช้เป็น
โครงสร้างอื่นๆ

2.2 องค์ประกอบของงานคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุผสม (Composite Material) โดยเนื้อคอนกรีตแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่

- ซีเมนต์เพสท์ (Cement Paste)
- วัสดุผสม(Aggregate)

ซีเมนต์เพสท์ เป็นส่วนผสมของซีเมนต์กับน้ำมีอยู่ 25 ถึง 40 เปอร์เซ็น ทำหน้าที่เป็นตัวประกอบโดยจะไปห่อหุ้มวัสดุผสม และอุดช่องว่างของวัสดุผสม ที่จะทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น ดังนั้นกำลังของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับกำลังของซีเมนต์เพสท์ด้วยกำลังและความหนาแน่นของซีเมนต์เพสท์ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่จะบรรจุอยู่ในช่องว่างรอบเม็ดซีเมนต์ซึ่งปกติจะระบุในรูปของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water Cement Ratio , W/C) นอกจากนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่เป็นปฏิกิริยาเคมีเรียกว่าไฮเดรชั่น (Heat of Hydration) ซึ่งก่อให้เกิดความร้อนในเนื้อซีเมนต์เพสท์ และคอนกรีตวัสดุผสมมีอยู่ 60 ถึง 75 เปอร์เซ็น เป็นตัวแทรกประสาน (Filler Material) กระจายอยู่ในซีเมนต์เพสท์ ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานแข็งแรง และมีราคาถูก ด้วย วัสดุผสมจะแบ่งออกเป็นสองพวก ได้แก่ วัสดุผสมละเอียด (Find Aggregate) และวัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate) วัสดุผสมละเอียด หมายถึง วัสดุที่มีขนาดเล็ก ที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนเบอร์สี่ (StandardSieve Size NO.4) ซึ่งได้แก่ ทราย วัสดุผสมหยาบ หมายถึง วัสดุที่โต

ขึ้น ไม่สามารถรอดผ่านตะแกรงร่อนเบอร์สี่ ได้แก่ หินย่อย หรือกรวดในเนื้อคอนกรีตทั้งหมด โดยทั่วไป จะมีปริมาณของซีเมนต์เพสท์ประมาณ 25-40 เปอร์เซ็นต์ โดยจะเป็นปริมาณซีเมนต์ 7-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม เป็นปริมาณน้ำ 14-21 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเป็นปริมาตรของอากาศ (Air and Free Water) ที่แทรกตามช่องว่าง ส่วนปริมาตรของวัสดุผสม ซึ่งเป็นส่วนที่มากในปริมาตรคอนกรีต จะมีปริมาตรประมาณ 50-75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมเท่ากัน

2.3 มวลรวม

วัสดุผสมหรือมวลรวมเป็นส่วนสำคัญของงานคอนกรีต เนื่องจากมีปริมาตรประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต วัสดุผสมหรือมวลรวมมีลักษณะเป็นเม็ดเป็นก้อน (Granular Material) โดยได้จากธรรมชาติ อาทิ หินอัคนี (Natural Rock) หินย่อย (Crushed Stone)ตลอดจนกรวด (Natural Gravel) และทราย ปัจจุบันอาจมีพวกวัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Materials) อาทิพวก Scales และ Expanded Clay หรือ Shale นำมาใช้เป็นส่วนผสม สำหรับงานคอนกรีตเบา (Lightweight Concrete) เป็นต้น

2.4 คุณสมบัติของวัสดุผสม

คุณสมบัติของวัสดุผสมทางกายภาพ มีอิทธิพลต่อคุณภาพของคอนกรีตสัดส่วนผสมของคอนกรีต และราคาของคอนกรีต หิน ทรายที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ต้องสะอาด แข็งแกร่งทนทาน มีเหลี่ยมคมไม่ขยายตัวมาก มีสารหรือสิ่งสกปรกที่จะทำให้คอนกรีตเสื่อคุณภาพน้อยที่สุด มีส่วนขนาดคละอยู่ภายในพิกัดที่ กำหนดสิ่งต่างๆ ดังกล่าวจะช่วยให้คอนกรีตที่ได้มีเนื้อแน่น สม่ำเสมอ คุณภาพดี และประหยัด วัสดุผสมที่ไม่ควรนำมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตได้แก่ วัสดุผสมที่อ่อน ป่นง่าย พรุนและแยกได้เป็นชิ้นๆ หรือพวกดินดานต่างๆ ซึ่งไม่ทนทานต่อดินฟ้าอากาศ

1. ความแข็งแกร่ง (Strength) วัสดุผสมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดอัดได้ไม่น้อยกว่ากำลังรับแรงอัดที่ต้องการของคอนกรีตหินที่ใช้ทำคอนกรีตโดยทั่วไปถ้าเป็นหินที่มิได้ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงโดยสภาพดินฟ้าอากาศจะดีพอผสมทำคอนกรีตเพราะกำลังรับแรงอัดของหินทั่วไปสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาก ความต้านทานแรงอัดของหินมีค่าประมาณ 700 ถึง 3,500 กก./ซม.2

2. ความทนทานต่อการสึกกร่อน (Abrasion Resistance) เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของหินที่จะนำมาใช้งาน หินที่ดีต้องทนทานต่อแรงกระแทกและเสียดสีมากๆ ได้

3. ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับความพรุนและอำนาจการดูดซึมของวัสดุผสม วัสดุผสมต้องมีรูพรุนพอที่จะดูดซึมน้ำ มีช่องว่างพอที่จะให้น้ำขยายตัวได้ในอากาศหนาว มิฉะนั้น จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

4. ความคงตัวต่อปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Stability) วัสดุผสมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ วัสดุผสมในบางท้องถิ่นที่มีสารเคมีผสมอยู่ในเนื้อหินจะทำปฏิกิริยากับด่างในปูนซีเมนต์ เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวทำให้เกิดรอยร้าวทั่วไปในคอนกรีตในกรณีที่ไม่อาจเหลียกเลี่ยงการใช้วัสดุผสมเหล่านี้ จะต้องใช้กับปูนซีเมนต์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของด่างต่ำ (Low-alkali Cement)

5. ลักษณะรูปร่างและผิว (Particle Shape and Surface Texture) มีความสำคัญต่อการควบคุม"ความสามารถเทได้" ของคอนกรีตที่ผสมใหม่ๆวัสดุที่ใช้ควรมีลัษณะเป็นแง่ มีเหลี่ยมคม วัสดุผสมก้อนกลมช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่าวัสดุผสมที่มีก้อนเป็นแง่เป็นมุม แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนกับซีเมนต์เพสต์ต่ำกว่า วัสดุผสมที่ผิวหยาบหรือด้านจะช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

6. ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุผสมต้องสะอาด ปราศจากสิ่งสกปรกหรือสารที่จะทำให้คอนกรีตเกิดการเสื่อมคุณภาพ

7.ความลดหลั่นของขนาดหรือส่วนขนาดคละ (Gradation) วัสดุผสมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตต้องมีความลดหลั่นของขนาดตามเกณฑ์กำหนด ซึ่งจะช่วยให้วัสดุผสมนั้นเรียงตัวกันได้แน่นและมีช่องว่างน้อย ช่วยให้ทำงานได้ง่าย ปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะต้องใช้ก็น้อยลงชนิดของวัสดุผสม หรือมวลรวมพิจารณาจากแหล่งกำเนิด แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. วัสดุผสมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Material) เช่นกรวด หิน และทรายที่มีอยู่ตามแหล่งต่างๆทั่วไป

2. วัสดุผสมที่เกิดจากการสังเคราะห์ (Synthetic Material) จากฝีมือมนุษย์โดยกรรมวิธีต่างๆกันถ้าพิจารณาชนิดของวัสดุผสม โดยพิจารณาจากความหนาแน่น แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. วัสดุน้ำหนักเบา (Light Weight Aggregate)
2. วัสดุน้ำหนักปกติ(Normal Weight Aggregate)
3. วัสดุน้ำหนักหนัก(Heavy Weight Aggregate)

สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป วัสดุผสมที่ใช้กันจะเป็นพวกวัสดุผสมน้ำหนักปกติการจะทราบถึงว่าวัสดุชนิดใดเบากว่ากันจะอาศัยหลักการของความถ่วงจำเพาะ ค่าความถ่วงจำเพาะจะหาจาก

ถ.พ. = มวล (กก.)/ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

การหาปริมาตรโดยอาศัยการแทนที่น้ำปริมาตรน้ำที่ได้คือปริมาตรของวัตถุ จากนั้นนำวัตถุที่หาปริมาตรแล้วไปชั่งหาน้ำหนัก ถ้าวัตถุมีความถ่วงจำเพาะมากว่าแสดงหนักกว่า ซึ่งใช้วิธีนี้หาว่าวัตถุใดหนักหรือเบากว่ากัน

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต

กำลังของคอนกรีต เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ เพราะหน้าที่ของโครงสร้างของคอนกรีตคือ การรับน้ำหนักหรือแรงต่างๆ นอกจากนั้นกำลังของคอนกรีตยังเป็นตัวชี้คุณสมบัติอื่นๆอีกด้วย เช่น ความคงทน ความต้านทานการเสียดสี ความต้านทานการเสียดสี ความต้านทานการซึมน้ำ เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบ และควบคุมการก่อสร้าง จึงกำหนดกำลังของคอนกรีตเป็นเกณฑ์ กำลังของคอนกรีตหมายถึงความเค้นของคอนกรีตก่อนประลัย

2.6 ประเภทของกำลัง (Type of Strength)

2.6.1 กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive strength)

คอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถรับแรงอัดได้ดีกว่าแรงชนิดอื่นๆมาก ในการออกแบบจึงให้คอนกรีตรับแรงอัด ดังนั้น กำลังต้านแรงอัดจึงใช้เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติของคอนกรีต กำลังต้านแรงอัดนี้จะบอกเป็นกำลังอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแท่งทดสอบมาตรฐานซึ่งมีอยู่สองลักษณะ คือ

2.6.1.1 ทรงกระบอก (Cylinders) เป็นแท่งทดสอบมาตรฐานของอเมริกา แท่งทดสอบทรงกระบอกจะมีความสูงเป็น 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาดของทรงกระบอกที่ใช้มีหลายขนาด ตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. (2 นิ้ว) ถึง 900 มม. (36 นิ้ว) ขนาดของทรงกระบอกที่ใช้ทดสอบขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกจะต้องโตกว่าขนาดใหญ่สุดของมวลรวมไม่น้อยกว่า 3 เท่า ในการก่อสร้างโดยทั่วไปขนาดใหญ่สุดของหินจะประมาณ 25-50 มม. (1-2 นิ้ว) ดังนั้นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 150 มม. (6 นิ้ว) จึงนิยมใช้มากที่สุด กำลังของคอนกรีตที่วัดได้จากทรงกระบอกขนาดใหญ่ จะมีค่าน้อยกว่าที่วัดได้จากทรงกระบอกขนาดเล็ก สาเหตุอันหนึ่งก็คือของใหญ่ย่อมมีโอกาสมีตำหนิ (defect) ซึ่งเป็นจุดอ่อน (weak point) มากกว่าของเล็ก

2.6.1.2 แท่งทดสอบลูกบาศก์ (Cube) เป็นแท่งทดสอบมาตรฐานของอังกฤษ ขนาดของลูกบาศก์ มีตั้งแต่ 50 มม. (2 นิ้ว) ขึ้นไป เช่นเดียวกับทรงกระบอกแต่ที่ใช้เป็นมาตรฐานก็คือ ขนาด 150 มม. (6 นิ้ว) และขนาดโตสุดของหิน ต้องไม่โตกว่า 1/3 ของขนาดแท่งทดสอบ เช่น แท่งทดสอบขนาด 150x150x150 มม. ขนาดโตสุดของหินในคอนกรีต 50 มม. หรือ 2 นิ้ว

การเก็บตัวอย่างมาทดสอบการทำแท่งทดสอบทรงกระบอก แท่งทดสอบทรงกระบอกที่ใช้มาก คือทรงกระบอกขนาด 150 มม. (6 นิ้ว) ในการหล่อให้หล่อเป็น 3 ชั้น เท่าๆกัน โดยแต่ละชั้นให้กระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้ง ไปทั่วๆโดยกระทุ้งให้เลยรอยต่อของชั้นลงมาเล็กน้อย แล้วแต่งผิวให้เรียบ แล้วเอาวัสดุที่ไม่ดูดน้ำมาปิดกันน้ำระเหยออกจากคอนกรีตทันที เช่น แผ่นเหล็ก แผ่นพลาสติก หรือพวกวัสดุอุ้มน้ำก็ได้แต่ต้องทำให้มีความชื้นอยู่เสมอ ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง (ไม่

เร็วกว่า 20 ชั่วโมง) และไม่ช้ากว่า 48 ชั่วโมง จึงถอดแบบและทำการบ่มชิ้นที่อุณหภูมิ 23 C จนกระทั่งนำออกไปทดสอบ ลักษณะการทำชิ้นทดสอบ แตกต่างกันไปบ้างตามขนาดและเครื่องมือที่ใช้ใน

การทำให้คอนกรีตอัดแน่นการทำแท่งทดสอบลูกบาศก์ การทำแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ก็มีลักษณะคล้ายกับการทำแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก คือ ใส่คอนกรีตเป็นชั้นๆ และกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง แต่เหล็กกระทุ้งสำหรับรูปลูกบาศก์นี้ เป็นเหล็กแท่งหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 25 มม. (1 นิ้ว) ตรงปลายหัวป้านมน หลังจากปาดผิวคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว นำแท่งทดสอบไปเก็บไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ 18-22 C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 90 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบและนำคอนกรีตมาบ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิ 19-21 C จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบ

มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัด ASTM. C 39-86 สำหรับแท่งทรงกระบอก และ ASTM. C 116 สำหรับลูกบาศก์

2.6.2 กำลังต้านทานแรงดึง (Splitting tensile strength)

ความต้านทานของคอนกรีตในด้านรับแรงดึงมีค่าต่ำมาก ประมาณ 10 % ของกำลังอัดประลัย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่เปราะด้วย ดังนั้น การออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงถือว่าคอนกรีตรับแรงดึงไม่ได้เลย ให้เหล็กเสริมรับแรงทั้งหมด

การทดสอบกำลังรับแรงดึงสามารถทำได้โดยการทดสอบหาแรงดึงโดยตรง (Direct Tension Test) แรงดึงแยกตัว (Tensile Splitting Test) หรือ แรงดัด (Flexure Test)

การทดสอบหาความต้านแรงดึงของคอนกรีตโดยตรงนั้น ไม่สะดวกเหมือนกับการทดสอบหากำลังอัดประลัยของคอนกรีต เนื่องจากเครื่องมือทดสอบอาจทำให้เกิดหน่วยแรงที่ไม่ต้องการขึ้นได้ ทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดได้

การทดสอบกำลังต้านแรงดึงที่นิยมกันมากก็คือ การทดสอบกำลังต้านแรงดึงแยก (Tensile SplittingTest -ASTM 14 C 496) ซึ่งการทดสอบใช้แท่งทดสอบรูปทรงกระบอกมากดด้านข้าง ด้วยอัตราการเพิ่มแรง 689-1380 kPa / นาที (100-200 ปอนด์ / ตารางนิ้ว / นาที)

กำลังต้านทานแรงดึงแยก :

$$\text{ทรงกระบอก} = 2P / LD \text{ Mpa}$$

$$\text{ลูกบาศก์} = 2P / D2 \text{ Mpa}$$

เมื่อ

P = แรงกระทำสูงสุด (N)

L = ความยาวของแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก (mm)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกหรือความกว้างของแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ (mm)

ค่ากำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตที่คำนวณได้จากวิธีการนี้ มีค่าสูงกว่าค่ากำลังต้านทานแรงดึงจริงของคอนกรีต ประมาณ 15%

ค่ากำลังต้านทานแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตมีค่าอยู่ระหว่าง 7 ถึง 11% และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10%ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต จากการทดสอบพบว่าเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตยิ่งสูง ค่ากำลังต้านแรงดึงสัมพัทธ์ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ยิ่งมีค่าต่ำลง

2.6.3 กำลังต้านแรงดัด (Flexural Strength)

โครงสร้างที่มีคอนกรีตล้วนๆรับแรงดัดที่เห็นบ่อยๆก็ได้แก่ ถนน ลานบิน ทางเท้า เป็นต้น โครงสร้างเหล่านี้มักกำหนดกำลังต้านแรงดัดเป็นเกณฑ์ตัดสินกำลังต้านแรงดัดวัดออกมาเป็นโมดูลัสแตกร้าว (Modulus Of Rupture) ซึ่งได้แก่ค่าความเค้นสูงสุดในเนื้อคอนกรีต เมื่อแตกหักโดยแรงดัดโดยการคำนวณหาจากสูตร การหาความเค้นในคานที่ถูกแรงกระทำโดยแรงดัด (f = MC / I) การทดสอบเพื่อหากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต ทำได้โดยการทดสอบเพื่อหาคานตัวอย่างมาตรฐาน ซึ่งอาจเป็นไปตามมาตรฐานอเมริกันหรืออังกฤษ

สำหรับมาตรฐานอเมริกันใช้คานคอนกรีตมาตรฐานมีขนาดความยาวประมาณ 3 เท่าของส่วนสูงกับอีกอย่างน้อย 5 ซม. โดยทั่วไปใช้ขนาด 15x15x50 ซม. สำหรับวัสดุผสมที่ไม่โตกว่า 50 มม. (2 นิ้ว) แต่ถ้าวัสดุผสมโตกว่า 50 มม. (2 นิ้ว) ก็ใช้คานทดสอบมาตรฐานขนาด 20x20x70 ซม. แทน สำหรับคานขนาด 15x15x50 ซม.ให้ใส่คอนกรีตลงในแบบ สองชั้นๆละเท่าๆกันและกระทุ้งขั้นละ 60 ที ส่วนคานขนาด 20x20x70ซม. ให้ส่วนคอนกรีตลงในแบบ 3 ชั้นๆละเท่าๆกัน และกระทุ้งขั้นละ 112 ที โดยใช้เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม.ยาว 60 ซม. ปลายมน มาตรฐานอังกฤษใช้คานคอนกรีตขนาด 15x15x70 ซม. สำหรับวัสดุผสมโตกว่า 20 มม. และใช้ขนาด 10x10x50 ซม. สำหรับวัสดุผสมที่ไม่โตกว่า 20 มม. โดยเทคอนกรีตหนาชั้นละ 5 ซม. และกระทุ้งแน่นด้วยเหล็กกระทุ้ง ซึ่งหนัก 4 ปอนด์

วิธีการทดสอบคานตัวอย่าง มักจะกระทำโดยวิธีแรงกดที่จุดแบ่งสาม (Third point loading-ASTM14 C 78) ซึ่งใช้น้ำหนักกดลงบนจุดแบ่งสามของระยะห่างของที่รองรับ จากค่าน้ำหนักสูงสุดที่คานสามารถรับไว้ได้นั้น นำมาคำนวณหากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตโดยใช้สูตรแรงดัด จะได้ค่าโมดูลัสของการแตกร้าว

$$R = PL / bd^2$$

P = น้ำหนักกดสูงสุด (นิวตัน)

L = ระยะห่างของจุดรองรับ (มม.)

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน (มม.)

d = ความลึกหรือความหนาเฉลี่ยของคาน (มม.)

2.6.4 กำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear Strength)

โดยทั่วไปจะไม่พบสภาพการรับแรงเฉือนอย่างเดียว (Pure Shear) แต่จะพบทั้งแรงเฉือนและแรงดึง การทดสอบแรงเฉือนทำได้ยากมาก เพราะคอนกรีตมีกำลังรับแรงดึงต่ำมาก ในการทดสอบด้วยการบิด (Torsion Test) แท่งทดสอบรูปทรงกระบอก คอนกรีตจะวิบัติเนื่องจากแรงดึงก่อน และในการทดสอบแรงเฉือนโดยใช้คานคอนกรีตสั้น และใส่แรงกระทำที่ใกล้จุดรองรับ (ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแรงเฉือนกระทำมากที่สุด) ผลที่ได้ก็ไม่แน่นอน การประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต หาได้จากแผนภูมิการวิบัติของมอร์ (Mohr RuptureDiagram) กำลังแรงเฉือนของคอนกรีตหาโดยวิธีนี้มีขนาด 20 เปอร์เซนต์ของกำลังต้านแรงอัด ถ้าหาด้วยวิธีอื่นอาจจะได้มากถึง 50 เปอร์เซนต์ของกำลังต้านแรงอัด ACI กำหนดค่ากำลังรับแรงเฉือนปลอดภัยไว้ สำหรับการคำนวณออกแบบคาน คานเสริมเหล็กไว้เท่ากับ 0.29(fc1/2) และสำหรับรากฐานไว้เท่ากับ 0.53 (fc 1/2) เมื่อ fc เป็นกำลังต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีตอายุ 28 วัน

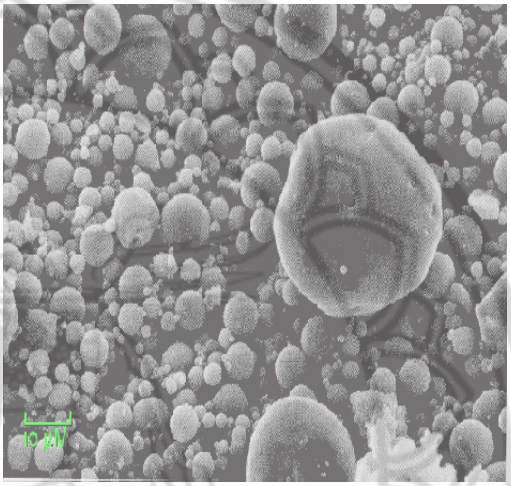
หมายเหตุ : แต่ในการทดลองจะทำการทดลองหาค่ากำลังอัด

เถ้าลอยลิกไนต์ (ดูรูปที่ 2.2) มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน[2] ซึ่งสารนี้เป็นวัสดุที่มีซิลิกา หรือ ซิลิกาและอลูมินา เป็นองค์ประกอบหลักโดยทั่วไปแล้วสารปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าสารปอซโซลานมีความละเอียดมากและมีน้ำเพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติยึดประสานและจากการที่ โรงไฟฟ้าแม่เมาะได้มีการควบคุมการผสมถ่านให้มีปริมาณ CaO และ SO_3 ของถ่านหินให้อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมตั้งแต่ปี พ.ศ.2533 ทำให้เถ้าลอยลิกไนต์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีองค์ประกอบทางเคมีอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C 618 เป็น Class F จากการวิจัยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและสถาบันการวิจัย สถาบันการศึกษาต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ แสดงให้ เห็นว่าการใช้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้คุณภาพ ของคอนกรีตดีขึ้นในงานตามความต้องการแต่ละประเภท ช่วยทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตต่ำลงจากการประหยัด ปูนซีเมนต์ไปได้บางส่วน สนับสนุนให้เกิดการนำทรัพยากรของประเทศไปใช้อย่างคุ้มค่าให้เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ ช่วยบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมและช่วยอนุรักษ์พลังงานในทางอ้อม (รูปที่ 2.2 แสดงผงเถ้าลอยลิกไนท์)

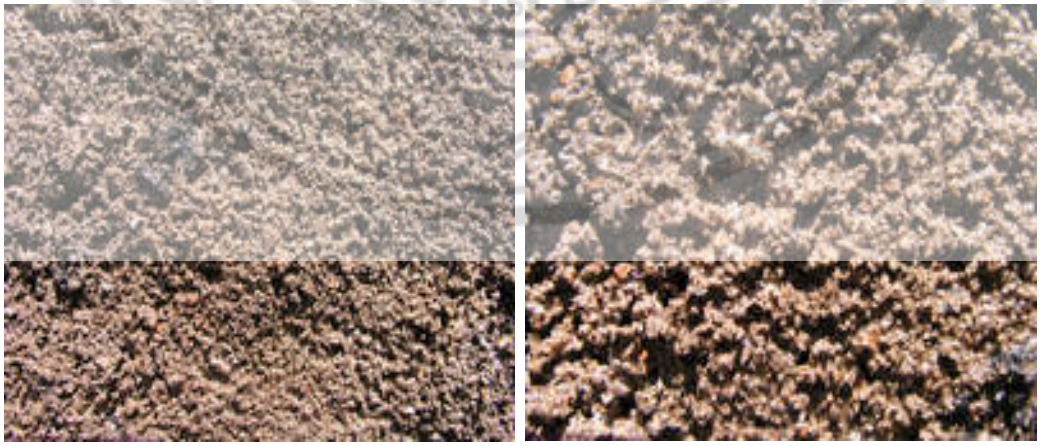
ส่วนเถ้าเปียก (ดูรูปที่ 2.3) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของถ่านลิกไนต์ตกลงสู่ก้นเตาและถูกลำเลียงออกจากเตาโดยระบบสายพานเหล็ก (Scrapper Conveyer) มีลักษณะใกล้เคียงกับเถ้าลอย แต่มีขนาดเฉลี่ยใหญ่กว่าเถ้าลอย เถ้าเปียกจะมีสีเทาปนดำถึงสีดำ เม็ดเถ้าเปียกมีลักษณะเป็นรูพรุนทั่วเม็ดและมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตหรือส่วนประกอบอื่นที่ใช้ในวัสดุ

ก่อสร้างที่มีผงปูนซีเมนต์เป็นตัวประสาน และจากคุณสมบัติที่มีลักษณะเป็นรูพรุนทั่วเม็ด ทำให้มีหน่วยน้ำหนักเบาน่าจะมีคุณสมบัติ ในด้านการต้านทานความร้อนได้ดี

รูปที่ 2.1 เถ้าลอย



รูปที่ 2.2 เถ้าลอย (Fly Ash)



รูปที่ 2.3 เถ้าเปียก (Wet Ash)