Lab Direction / คู่มือแล็บ

CE 215

วัสดุงานโครงสร้างและวิธีทดสอบ

Structural Materials and Testing

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สัญลักษณ์

ρ /โร/ ความหนาแน่น (density)
σ /ซิกมา/ ความเค้นดึง (tensile stress)
ε /เอปซิลอน/ ความเครียดดึง (tensile strain)
τ /เทา/ ความเค้นเฉือน (shear stress)
γ /แกมมา/ ความเครียดเฉือน (shear strain)
E Young's modulus
G shear modulus หรือ modulus of rigidity
S section modulus

คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ความหนาแน่นเหล็กข้ออ้อย	7.85 กรัม/ลบ.ซม.
ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1	3.15

การแปลงหน่วย

1 Pa = 1 N/m^2
1 MPa = 10.197 ksc
1 Mg/m^3 = 1 g/cm^3

วัสดุงานโครงสร้างและวิธีทดสอบ

CE 215 Structural Materials and Testing

(วศ.ย. 215)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มือปฏิบัติการการทดสอบวัสดุได้ถูกเรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้เป็น เอกสารประกอบการเรียนวิชาวัสดุงานโครงสร้างและวิธีทดสอบ สำหรับ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยได้รวบรวม ข้อมูลอ้างอิงรูปแบบและวิธีการทดสอบจากสถาบันระดับชาติที่ได้รับการ ยอมรับรวมถึง มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ของ สำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.) มาตรฐานเอเอสทีเอ็มนานาชาติ (ASTM International) มาตรฐานสถาบันคอนกรีตอเมริกัน (American Concrete Institute - ACI) และ มาตรฐานไอเอสโอ (ISO)

จุดประสงค์ของคู่มือเล่มนี้ ได้มีเป้าหมายให้นักศึกษาได้

- เข้าใจคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่สำคัญในงานวิศวกรรมโยธา
- เข้าใจกระบวนการทดสอบ และสามารถปฏิบัติตามกระบวนการ ทดสอบวัสดุเพื่อหาค่าคุณสมบัติต่างๆ
- วิเคราะห์ผลลัพธ์ของการทดสอบ และสามารถวิจารณ์ผลลัพธ์ได้

ผู้จัดทำ
อ.ดร. มานพ แก้วโมราเจริญ
อ.ดร. ปิติวัฒน์ วัฒนชัย
อ.ดร.สุริยะ ทองมุณี
และนักศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่

แนวทางในการเขียนรายงาน

[ผศ.ดร. อนุสรร์ อินทรังษี]

การทดสอบวัสดุทางวิศวกรรมอาจแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1. การทดสอบตามมาตรฐาน เพื่อเอาผลไปใช้ในงานวิศวกรรม
2. การทดสอบเพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของวัสดุ
3. การทดสอบเพื่อเรียนรู้วิธีทดสอบวัสดุ
4. การทดสอบเพื่อค้นคว้าวิจัยพฤติกรรมของวัสดุที่ไม่เคยรู้มาก่อน

การทดสอบในวิชาปฏิบัติการในหลักสูตรของวิชาวิศวกรรม โยธา มีวัตถุประสงค์ข้อ 2 และ 3 ร่วมกัน ถึงแม้การทดสอบหลาย อันจะเป็นการทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในข้อ 1 นักศึกษาจึงพึงคำนึงถึง วัตถุประสงค์ทั้ง 2 ข้อในระหว่างการทดสอบและในการเขียนรายงาน การเขียนรายงานที่ดีและสนองวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ข้อข้างต้น มีข้อแนะนำ ดังนี้

1. บทนำหากจะเขียนบทนำอย่าเขียนว่า “หากผิดพลาดประการใด ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย..” หรืออะไรทำนองนี้ เราไม่ได้เขียนสูจิบัตรงานแต่ง หรืองานศพ ในรายงานทางวิชาการหรือวิชาชีพผู้เขียนไม่ควรเรียกร้องขอการให้อภัย ต้องแสดงความมั่นใจว่าการทดลองนั้นถูกต้อง ถ้าผิดก็ต้องยอมรับผิด ในรายงานเพื่อการเรียนก็เช่นกัน เมื่อบกพร่องก็ต้องยอมรับในคะแนนที่ได้ไม่ใช่มาร้องขอความเห็นใจ
2. วัตถุประสงค์ของการทดลองที่ “คู่มือการทดลอง” เขียนไว้ ไม่ต้องปรับปรุงแก้ไขของเขา และไม่ต้องลอกใหม่ถ้าสามารถถ่ายเอกสารหรือแนบเอกสารเดิมไปได้ อย่าเสียเวลาทำงานที่ไม่ได้ใช้สมอง!
3. รายการเครื่องมือทดลอง ควรตรวจสอบว่าเมื่อเข้าห้องปฏิบัติการจริงแล้ว ได้เครื่องมือครบตามนั้น หรือถูกต้องตามนั้นหรือเปล่า เช่นเครื่องทดสอบต้องใช้คนละรุ่นกับที่ระบุในคู่มือการทดลอง เมื่อพบกรณีเหล่านี้ต้องระบุไว้ในรายงาน
4. รายการวัสดุที่จะต้องทดสอบ บางครั้งอาจไม่ได้ตามที่ระบุไว้ในคู่มือการทดลอง หรือได้แต่ไม่เหมือนหรือไม่ได้ตามมาตรฐานต้องระบุในรายงานเช่นกัน
5. วิธีการทดลอง หัวใจสำคัญของการทดลองคือการสังเกตสิ่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริง และบันทึกไว้อย่างละเอียด (ในส่วนที่เป็นสาระสำคัญ) ตามจริง ไม่ว่าจะเป็นการกระทำของเราเองพฤติกรรมของวัสดุที่ทดสอบ พฤติกรรมของเครื่องมือที่ใช้ อย่าลอกตาม “คู่มือการทดลอง” เขียนไว้ทุกประการ (เราทำได้จริงตามนั้นหมดหรือ?) ดังนั้น รายงานวิธีการทดลองจึงไม่ควรเขียนเป็นประโยคคำสั่งเช่นที่เขียนไว้ใน “คู่มือการทดลอง” เช่น ประโยคที่ขึ้นต้นด้วยคำว่า “ให้.....” หรือประโยคแนะนำ เช่น ประโยคที่ขึ้นต้นด้วยคำว่า “ควร.....” ทางที่ดีควรเขียนประโยคที่ขึ้นต้นด้วยคำว่า “ได้.....” ซึ่งจะได้ชัดเจนว่าเป็นสิ่งที่ได้ทำไปแล้วในห้องทดลอง
6. ผลการทดลองควรใช้ตารางหรือกราฟช่วยในการรายงานผลทุกกรณีที่สามารถทำได้ วิศวกรมีความสามารถพิเศษกว่าคนในวิชาชีพอื่นคือเรามีความถนัดในการใช้ตารางหรือกราฟสื่อความหมาย ทำให้เข้าใจได้ง่าย เพราะฉะนั้น พึงใช้ให้เป็นประโยชน์
7. การวิเคราะห์วิจารณ์ผลการทดลอง มีแนวในการวิเคราะห์ วิจารณ์ดังนี้
   - วิเคราะห์วิจารณ์วัสดุหรือตัวอย่างที่ทดสอบ ปกติการที่จะบอก ว่าวัสดุมีคุณสมบัติเป็นอย่างไรในเชิงคุณภาพ ควรต้องมีตัว เปรียบเทียบ เช่นเราจะบอกว่าเหล็กมีกำลังรับแรงดึงสูงหรือ ต่ำเราต้องรู้ก่อนว่าเหล็กประเภทที่ทดสอบนั้นปกติมีกำลังเท่า ไหร่ ฉะนั้น จึงต้องค้นหนังสือหาค่าปกติดังกล่าว อย่าพูดวิจารณ์ลอยๆ โดยที่ไม่รู้ส่าค่านั้นสูงต่ำมากน้อยเพียงใด ถ้าไม่รู้ก็ไม่ต้อง วิจารณ์ดีกว่า
   - วิจารณ์วิธีทดสอบ เราคงไม่วิจารณ์วิธีมาตรฐานที่เขาที่กำหนด ให้ แต่เราสามารถวิจารณ์วิธีที่เราทำจริงกรณีที่วิธีทำของเรา ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน และอาจส่งผลให้การทดลองผิดพลาด และควรอย่างยิ่งที่จะต้องหยิบมาวิเคราะห์วิจารณ์ทุกกรณีที่การ ทดสอบผิดเพี้ยนไปจากวิธีมาตรฐาน
   - อย่ารีบบอกว่า “การทดลองผิดพลาด.....” จริงอยู่ การทดลองทุกชนิดมี “error” แต่ error ในระดับหนึ่งก็ถือว่ายอมรับได้หรือดีมากแล้ว ก็ต้องไม่พูดต่อ มิฉะนั้นผู้อ่านจะเกิดความไม่ มั่นใจในผลการทดลองที่ได้ จะยอมรับว่าการทดลองผิดพลาดก็ ต่อเมื่อดูผลแล้วเห็นได้ชัดว่าผิดจากค่าที่รู้กันทั่วไป
   - อันที่จริง error ในการทดลอง แยกได้เป็น 2 ประเภท คือ mistake ซึ่งเป็นความพลาด ในการทดลอง ซึ่งน่าจะเห็นได้ ชัดเจนจากการทบทวนวิธีการทดลอง กับ inaccuracy หรือ ความผิดเพี้ยน ซึ่งจะพูดก็ต่อเมื่อผลที่ได้ หยาบกว่าที่ควรจะทำได้ สำหรับเครื่องมือและวิธีการทดลองที่ใช้ก็ต้องวิเคราะห์ หาสาเหตุให้ด้วย ซึ่งมักจะหาสาเหตุไม่ได้ชัดเจนนักและบ่อยครั้ง ก็อาจนำไปสู่การค้นพบใหม่ๆ ได้กลายเป็นสิ่งที่ดีไป (การค้นพบ ทางวิทยาศาสตร์หลายชิ้นเกิดด้วยเหตุนี้)

การนำเสนอผลงาน

[อ.ดร. มานพ แก้วโมราเจริญ]

การนำเสนอหรือพรีเซนต์เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทดลอง เพื่อนำข้อมูลการคำนวณ และบทวิเคราะห์เสนอต่อผู้อื่น การนำเสนอ ที่ดีช่วยให้ผู้ทำการทดลองสามารถสื่อสารถึงผู้รับฟังได้อย่างครบถ้วน ซึ่ง แนวทางในการเสนอทั่วไป ควรมีลักษณะดังนี้

1. มีการเตรียมพร้อมและเตรียมตัวอย่างดี ก่อนการนำเสนอ ทั้ง เครื่องมือที่ช่วยนำเสนอ รวมถึงตัวผู้นำเสนอเองที่ได้ซักซ้อม การนำเสนอล่วงหน้า
2. เข้าใจในเนื้อหาทุกอย่างที่ต้องการนำเสนอ และพร้อมที่จะตอบ คำถามที่เกี่ยวข้องที่อยู่นอกเหนือการนำเสนอนั้น
3. ให้ใช้เครื่องมือสื่อสารช่วย อาทิเช่น PowerPoint, Impress, Keynote หรือซอฟต์แวร์อื่นๆ ตามความเหมาะสม
4. ทราบถึงระยะเวลาในการนำเสนอ และวางแผนในการนำเสนอ ให้สอดคล้องกับเวลานั้น อย่าใช้เวลามากเกินไปหรือน้อยเกินไป
5. การพรีเซนต์ที่ดีนั้นผู้พรีเซนต์จะเป็นศูนย์กลางของการนำเสนอ ไม่ใช่ตัวเนื้อหาที่อยู่บนจอภาพ ดังนั้นการออกไปอ่านเนื้อหา แสดงถึงความไม่พร้อม และยังไม่เป็นมืออาชีพอีกด้วย

การจัดเตรียมเนื้อหาสำหรับนำเสนอ

1. เนื้อหาในการนำเสนอต้องกระชับ และครบถ้วน
2. พยายามใส่รูปภาพ(ที่สื่อความหมาย) รูปภาพที่ดีสามารถช่วยให้ ผู้นำเสนอ กับผู้ฟังสื่อความหมายได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
3. ระวังการใช้ตัวอักษรที่มีขนาดเล็กเกินไป ไม่ว่าจะเป็นตัวอักษร ในเนื้อหา ตัวอักษรในตาราง หรือตัวอักษรในรูปภาพ หากคุณ อ่านไม่ออก แน่นอนว่าผู้รับฟังย่อมอ่านไม่ออก
4. ระวังการใช้ สี หรือลูกเล่นที่เกินความจำเป็น นอกจากจะทำให้ดู ได้ยากแล้ว ยังทำให้เกิดความน่ารำคาญอีกด้วย
5. เนื้อหาที่ไม่ต้องการนำเสนอ ให้นำออกจากตัวสไลด์ที่จะปรากฏ บนหน้าจอภาพ หากคุณไม่ต้องการนำเสนอและจะใส่เข้าไป ทำไม

ความแม่นยำความถูกต้องและเลขนัยสำคัญ

ในงานวิศวกรรม ข้อมูลที่ได้มาจากการวัดจะมีค่าความละเอียด ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้วัดและความต้องการของงานใน แต่ละงาน ซึ่งค่าที่ออกมาแสดงถึงความแม่นยำ(precision) ของการวัด ครั้งนั้น ตัวอย่างเช่น

- วัดความกว้างเสาและบันทึกค่าไว้ที่ 15 ซม. ผู้ที่มาอ่านข้อมูลจะ เข้าใจว่า ความกว้างของเสาต้นนี้ น่าจะอยู่ที่ขนาดไม่เกิน 15.5 ซม. และไม่ต่ำกว่า 14.5 ซม. (หากเสามีความกว้างเกินกว่า 15.5 ซม. ควรจะถูกบันทึกไว้ที่ 16 ซม. และหากต่ำกว่า 14.5 ซม. ควรจะถูกบันทึกไว้ที่ค่า 14 ซม. ที่ความละเอียดเท่าเดิม)
- ขณะเดียวกัน หากวัดความกว้างของเสาและบันทึกค่าไว้ที่ 15.0 ซม. ผู้ที่มาอ่านข้อมูลจะเข้าใจว่า ขนาดเสาจะอยู่ในช่วง 14.95-15.05 ซม. (หากเสามีความกว้างต่ำกว่า 14.95 หรือเกิน กว่า 15.05 ค่าที่จะถูกบันทึกคือ 14.9 ซม. และ 15.1 ซม. ตาม ลำดับ ที่ความละเอียดเท่าเดิม)

จะเห็นได้ว่ายิ่งค่าที่บันทึกมีความละเอียดสูง ความแม่นยำของ ข้อมูลจะสูงตามขึ้นไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่าที่สามารถวัดได้นั้น จะขึ้น อยู่กับเครื่องมือเป็นหลัก อาทิเช่น หากคุณมีเทปวัดที่มีความละเอียดมาก ที่สุดที่ 0.1 ซม. คุณไม่สามารถบอกได้ว่า เสาที่คุณวัดได้มีขนาด 15.0241 ซม. เป็นแน่

ในการวัดแต่ละครั้ง ความไม่แน่นอนเกิดจากการเดาของผู้อ่าน จากช่องเล็กที่สุดบนหน้าปัด หรือจากการประมาณค่าระหว่างสองจุด จึง ควรมีการวัดและหาค่าเฉลี่ยจากการอ่านหลายๆ ครั้ง ความแม่นยำและ ความถูกต้องจะเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยนั้นจะมีเลขนัยสำคัญมากกว่าการอ่านต่อ ครั้ง 1 หลัก หาก ค่าเฉลี่ยเกิดจากการอ่านเจ็ดครั้งขึ้นไป

ภายหลังจากการวัดในทางวิศวกรรมเสร็จ ข้อมูลเหล่านั้นจะถูก นำมาใช้ในการคำนวณใช้ในการออกแบบ ก่อสร้าง หรือตัดสินปัญหา ซึ่ง คำถามถัดไปคือความละเอียดของผลลัพธ์จะมีค่าความละเอียดเท่าใด เช่น ในการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกของเสาขนาดพื้นที่หน้าตัด 15.0 x 15.0 ซม. ที่ออกแบบรับน้ำหนัก 12,000 กก. หน่วยแรงที่คำนวณได้เมื่อ กดเครื่องคำนวณจะมีค่าเป็น 53.333333... กก./ซม.2 และเราจะบันทึก ค่าที่คำนวณได้เท่าไรถึงจะไม่เกิดความผิดพลาดและแม่นยำเพียงพอ ไม่ ว่า 53, 53.3, 53.33 หรือแม้แต่ 53.33333 กก./ซม.2

ซึ่งเมื่อย้อนกลับไปดูค่าที่ถูกวัดมาได้นั้น ขนาดของเสาจริงที่แท้จริงอาจจะมีค่า 15.0321 x 15.0284 ซม. ซึ่งเมื่อกดเครื่องคำนวณออก มาใหม่สำหรับการรับน้ำหนักที่ 12,000 กก. จะได้ค่าเป็น 53.11872... กก./ซม.2 เราจะเห็นได้ทันทีว่า หากเราบันทึกค่าการคำนวณจากครั้งแรก เป็น 53.33 หรือ 53.3 ค่าที่จะได้ไม่ถูกต้อง โดยค่าที่ควรจะถูกบันทึกคือ ค่าที่ยังมีความถูกต้องและมีความละเอียดที่สุด ในการคำนวณครั้งนี้ ค่าที่ เราสามารถบันทึกได้ในการคำนวณครั้งนี้คือ 53 กก./ซม.2 การที่จะตัดสิน ว่าควรใช้เลขกี่หลักในการแสดงค่านั้น จะใช้เลขนัยสำคัญเข้ามาช่วย

เลขนัยสำคัญ (significant figure) คือจำนวนของตัวเลขที่แสดงถึง ความแม่นยำของตัวเลขชุดนั้น โดยนับได้จาก

- เลขที่ไม่ใช่ศูนย์ เช่น 92 มีเลขนัยสำคัญสองหลัก (9 และ 2)
- เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างเลขที่ไม่ใช่ศูนย์ เช่น 108.9 มีเลขนัย สำคัญสี่หลัก (1 0 8 และ 9)
- เลขศูนย์นำหน้าไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 0.0069 มีเลข นัยสำคัญสองหลัก (6 และ 9)
- เลขศูนย์ตามหลังที่อยู่ในเลขที่มีทศนิยม เช่น 12.3400 มีเลขนัยสำคัญหกหลัก (1 2 3 4 0 และ 0) และ 0.00123400 ยังคงมีเลขนัยสำคัญหกหลักเช่นกัน แต่ 123400 อาจมีเลขนัยสำคัญเพียงสี่หลัก (1 2 3 และ 4)
- เลขที่กำกวมคือเลขที่มีศูนย์ตามหลังแต่ไม่มีเลขทศนิยม เช่น 123400 อาจมีนัยสำคัญสี่หลัก (1 2 3 4) หรือห้าหลัก (1 2 3 4 0) หรือแม้แต่หกหลัก (1 2 3 4 0 0) ขึ้นอยู่กับ ค่าที่ผู้วัดค่าวัดได้ว่ามีความแม่นยำที่หลักร้อย หลักสิบ หรือ หลักหน่วย ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงด้วยการแสดงในลักษณะ ตัวคูณของสิบยกกำลัง เช่น
    i. 1.234×10^5 มีเลขนัยสำคัญสี่หลัก
    ii. 1.2340×10^5 มีเลขนัยสำคัญห้าหลัก และ
    iii. 1.23400×10^5 มีเลขนัยสำคัญหกหลัก

การปัดเศษ (rounding) คือ การแทนตัวเลขค่าหนึ่ง ด้วยตัวเลขอีกค่า หนึ่งที่สั้นลงแต่ความถูกต้องเท่าเดิม สามารถทำได้โดยลดจำนวนเลขนัย สำคัญของค่าสำหรับค่าที่คำนวณมาได้

- ในการบวกและลบ ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกปัดเศษให้มีค่าทศนิยม เท่ากับค่าทศนิยมที่น้อยที่สุดของค่าที่วัดได้ เช่น
    - 15.025 - 3.2 = 11.825 จะถูกปัดเศษเป็น 11.8
    - 1 + 1.1 = 2.1 จะถูกปัดเศษเป็น 2
- ในการคูณและหาร ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกปัดเศษให้มีเลขนัยสำคัญ เท่ากับจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดของค่าที่นำมาคำนวณ
    - 27.925 x 15.0 = 418.875 จะปัดเศษเป็น 419 (27.925 เลขนัยสำคัญ 5 หลัก, 15.0 เลขนัยสำคัญ 3 หลัก ดังนั้นผลลัพธ์จึงใช้เลขนัยสำคัญเท่าตัวน้อยที่สุด)
    - 70.3 x 45.695 = 3212.3585 ปัดเศษเป็น 3210 (70.3 เลขนัยสำคัญ 3 หลัก, 45.695 เลขนัยสำคัญ 5 หลัก ดังนั้นผลลัพธ์จึงใช้เลขนัยสำคัญเท่าตัวน้อยที่สุด)

ข้อควรระวังในการปัดเศษคือไม่ควรปัดเศษในช่วงระหว่างการ คำนวณ หากผลลัพธ์ที่ได้ไม่ใช่ผลลัพธ์สุดท้าย ให้คงค่าตัวเลขทั้งหมดไว้เหมือนเดิมโดยไม่ต้องปัดเศษเพื่อหลีกเลี่ยงความคาดเคลื่อนจากการ ปัดเศษ

การควบคุมขนาดของความผิดพลาด

ในการทดลองหาค่าต่างๆ ถ้าหากว่าต้องทำการทดลองมากกว่าหนึ่งครั้งขึ้นไปนั้นโดยทั่ว ๆ ไปจะมีการควบคุมขนาดของความผิดพลาด (random error) ที่เกิดขึ้น ในการควบคมปรกติจะถือว่าผลต่างของการทดลอง (สมมุติ) สองครั้ง จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ จึงจะถือว่าค่าทั้งสองนั้นใช้ได้ ค่าที่กำหนดไว้เป็นการควบคุมมีอยู่ 2 ประเภทซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีทดลองดังนี้

1. ความผิดพลาดเกิดจากการทำซ้ำ (repeatability) เป็นขนาดของความผิดพลาดซึ่งเกิดจาการทำการทดลองของคนๆเดียวกันในห้องปฏิบัติการอันเดียวกันโดยใช้วัสดุ เครื่องมือและวิธีการทดลองแบบเดียวกัน

2. ความผิดพลาดเกิดจากการทำใหม่ (reproducibility) เป็นขนาดของความผิดพลาดซึ่งเกิดขึ้นจาการทดลองของคนหลายคน ในห้องปฏิบัติการคนละแห่ง โดยใช้วัสดุ เครื่องมือและวิธีการทดลองแบบเดียวกัน

Cement Properties

การทดสอบที่ 1
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิก
Test for Specific Gravity of Hydraulic Cement

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของซีเมนต์ไฮดรอลิค (Hydraulic Cement)

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 188

ทฤษฎี

ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ คือค่าอัตราส่วนของน้ำหนักของซีเมนต์ในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4° ซ. ที่มีปริมาตรเท่ากับซีเมนต์ ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ โดยปกติมักใช้ประกอบในการคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ของซีเมนต์ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการบอกถึงความละเอียด (Fineness) ของซีเมนต์ นอกจากนั้นความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ยังใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม (Mix Proportion or Mix Design) ของคอนกรีตอีกด้วย ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ยังใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม (Mix Proportion or Mix Design) ของคอนกรีตอีกด้วย ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.05 – 3.20 ซึ่งค่าจะมากหรือน้อยนั้นโดยทั่ว ๆ ไปขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อซีเมนต์และความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ผสมหรือซีเมนต์ซิลิกาจะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าค่าดังกล่าวข้างต้น ซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ในกรณีที่ไม่ได้มีการทดสอบหาค่ามาก่อนมักจะสมมุติค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ปริมาณ 3.15

ในการทดลองหาค่าต่าง ๆ ถ้าหากว่าต้องทำการทดสอบมากกว่าหนึ่งครั้งขึ้นไปนั้นโดยทั่ว ๆ ไปจะมีการควบคุมขนาดของความผิดพลาด (Random Error) ที่เกิดขึ้น ในการควบคุมปกติจะถือว่าผลต่างของการทดลอง (สมมุติว่า) สองครั้ง จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้จึงจะถือว่าค่าทั้งสองนั้นใช้ได้ ค่าที่กำหนดไว้เป็นการควบคุมมีอยู่ 2 ประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีทดลองดังนี้

1. **ความผิดพลาดเกิดจากการทำซ้ำ (Repeatability)** เป็นขนาดของความผิดพลาด ซึ่งเกิดจากการทำการทดลองของคน ๆ เดียวกัน ในห้องปฏิบัติการอันเดียวกันโดยใช้วัสดุ เครื่องมือและวิธีการทดลองแบบเดียวกัน
2. **ความผิดพลาดเกิดจากการทำใหม่ (Reproducibility)** เป็นขนาดของความผิดพลาดซึ่งเกิดขึ้นจากการทดลองของคนหลายคน ในห้องปฏิบัติการคนละแห่ง โดยใช้วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการทดลองแบบเดียวกัน

สำหรับการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิคนี้ ค่า Repeatability และ Reproducibility ที่ยอมรับกันเป็น 0.03 และ 0.10 ตามลำดับ ดังนั้นผลของการทดสอบสองครั้งไม่ควรจะแตกต่างกันมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ข้างบน

วัสดุทดสอบ

ซีเมนต์ผงที่ต้องการทดสอบหนักประมาณ 200 กรัม

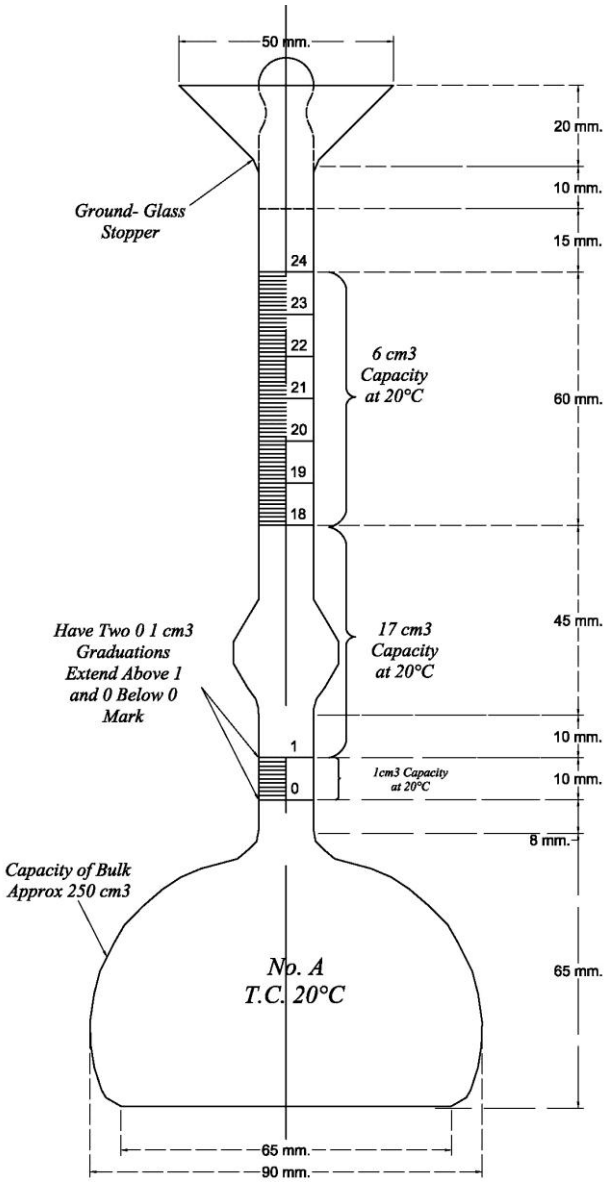
เครื่องมือทดสอบ

1. ขวดทดลองมาตรฐานเลอแชททีเลียร์ (Standard Le Chatelier Flask) จำนวน 1 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 1
2. หลอดกรวยสำหรับกรอกซีเมนต์ผงลงในขวดมาตรฐาน จำนวน 1 ใบ
3. เทอร์โมมิเตอร์ (0o – 100o ซ.) จำนวน 1 อัน
4. น้ำมันก๊าด (Kerosene) ปริมาตรประมาณ 1000ml
5. อ่างน้ำขนาดประมาณ 2000 มล. จำนวน 1 ใบ
6. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 ก.
7. ถาดสำหรับใส่ซีเมนต์ จำนวน 1 ใบ

วิธีทดสอบ

1. จัดเตรียมน้ำในอ่างให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20 เซลเซียส ตามที่กำหนดไว้ พยายามควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำให้มีอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลอง
2. เทน้ำมันก๊าดลงในขวดทดลองมาตรฐานเลอแชททีเลียร์ จนกระทั่งระดับของน้ำมันก๊าดอยู่ระหว่างขีดบอกปริมาตร 0 และ 1 มิลลิลิตร คอขวดซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าดควรเช็ดให้แห้ง
3. จุ่มขวดทดลองในอ่างน้ำในข้อที่ 1. แล้วให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดและน้ำในอ่างเท่ากัน อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำและขีดค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง
4. ชั่งน้ำหนักของขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งแรก จากนั้นค่อย ๆ ใส่ซีเมนต์ลงในขวดทดลอง การใส่ซีเมนต์ควรไม่ให้ซีเมนต์ตกกระจาย และจะต้องระวังไม่ให้ซีเมนต์เกาะติดตามคอขวดทดลองด้วย
5. ให้หยุดใส่ซีเมนต์เมื่อระดับของน้ำมันก๊าดขึ้นมาอยู่ระหว่างช่วงของขีดบอกปริมาตรส่วนบนของขวดทดลอง จากนั้นทำการไล่ฟองอากาศซึ่งอาจเกาะอยู่กับผงซีเมนต์ การไล่ฟองอากาศให้ปิดปากขวดทดลองด้วยจุกแก้ว แล้วเอียงขวดและหมุนช้า ๆ จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมาอีก
6. จุ่มขวดทดลองในอ่างน้ำอีกครั้งหนึ่ง เช่นเดียวกับข้อที่ 3. ก่อนจะอ่านปริมาตรทุกครั้ง ผู้ทำการทดลองจะต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในขวดทดลองเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่าง เพื่อที่จะไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในการอ่านครั้งแรกและครั้งที่สองต่างกันไม่เกินกว่า 0.2 เซลเซียส
7. อ่านอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง
8. ชั่งน้ำหนักของขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งหลัง ผลต่างของน้ำหนักของการชั่งสองครั้งจะเท่ากับน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง
9. ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จากข้อ 2. ถึงข้อ 8. จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

****หมายเหตุ** :** ในการทำความสะอาดขวดทดลองให้ใช้น้ำมันก๊าดล้างเท่านั้น **ห้ามใช้น้ำล้างเป็นอันขาด**



รูปที่ 1 ขวดมาตรฐานเลอแชททีเลียร์

<u>การคำนวณ</u>

1. ผลต่างระหว่างปริมาตรที่อ่านได้ของครั้งแรกและครั้งที่สองจะเท่ากับปริมาตร ของน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่โดยซีเมนต์ที่ใช้
2. ผลต่างของน้ำหนักของขวดทดลองและน้ำมันก๊าดทั้งสองครั้งจะเท่ากับน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง
3. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ให้ได้ละเอียดถึงจุดทศนิยม 3 ตำแหน่ง ดังนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.)} = \frac{\text{น้ำหนักของซีเมนต, (ก.)}}{\text{ปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่, (มล.)}}$$

หมายเหตุ : ความหนาแน่นของน้ำที่ 4 เซลเซียสเท่ากับ 1 กรัม/ มิลลิลิตร

4. ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยให้ปัดเศษตัวเลขเหลือเพียงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	CE215 Structural Materials and Testing Specific Gravity of Hydraulic Cement Test การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิก -	มาตรฐาน ASTM C 188 แผ่นที่ / ref.

ผู้ทดสอบ		วันที่ทดสอบ	
รหัสนักศึกษา		ชนิดของซีเมนต์	
กลุ่ม		อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ	°C
		ความชื้นสัมพัทธ์, %	

ลำดับ	รายการ	การทดลองครั้งที่			หมายเหตุ
		1	2	3	
1	ขีดปริมาตรของน้ำมันก๊าดครั้งแรก, มิลลิลิตร.				
2	อุณหภูมิของน้ำในอ่างครั้งแรก, เซลเซียส				
3	น้ำหนักขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งแรก, กรัม				
4	ขีดปริมาตรของน้ำมันก๊าดครั้งหลัง, มิลลิลิตร				
5	อุณหภูมิของน้ำในอ่างครั้งหลัง, เซลเซียส				
6	น้ำหนักขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งหลัง, กรัม				
7	น้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้, กรัม				
8	ปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่, มิลลิลิตร				
9	ความถ่วงจำเพาะ				
	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย				

การทดลองที่ 2
การทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติและระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต
Test for Normal Consistency and Time of Setting of Cement by Vicat Apparatus

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติ และระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

มาตรฐาน ASTM C 187, C 191

มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 8, เล่ม 9

<u>ทฤษฎี</u>

ในการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ได้มาตรฐานนั้นปริมาณน้ำที่นำไปผสมกับซีเมนต์จะต้องเป็นปริมาณที่เหมาะสมและตรงตามมาตรฐาน มิเช่นนั้นแล้วผลของการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้ย่อมไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกันได้

ปริมาณน้ำที่พอเหมาะหรือเหมาะสมนั้นหมายถึงปริมาณน้ำ (คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักของซีเมนต์) ที่เมื่อผสมกับซีเมนต์แล้วทำให้ซีเมนต์เพสท์มีความข้นเหลวปกติ (Normal Consistency) สภาพความข้นเหลวปกติของซีเมนต์หมายถึงสภาพที่เมื่อปล่อยเข็มมาตรฐานไวแคต (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร) แล้วเข็มนั้นจะจมลงไปในซีเมนต์เพสท์ 10 มิลลิเมตร ในระยะเวลา 30 วินาที

กล่าวโดยสรุป การทดสอบเรื่องนี้เป็นการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติอื่น ๆ ของซีเมนต์ต่อไปนั่นเอง

ระยะเวลาก่อตัว (Time of Setting) ของซีเมนต์ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งของซีเมนต์ หากซีเมนต์ที่ใช้งานก่อตัวเร็วเกินไปแล้ว เมื่อนำไปใช้ในงานคอนกรีตทั่ว ๆ ไป ผู้ดำเนินงานก็อาจจะไม่มีเวลาเพียงพอในการนำคอนกรีตไปเทลงแบบได้อย่างสมบูรณ์ ซีเมนต์อาจก่อตัวก่อน ซึ่งหมายความว่าหลังจากเวลานั้นแล้วเราไม่ควรจะเคลื่อนย้ายคอนกรีตสดอีกต่อไป เพราะอาจทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพได้ อย่างไรก็ตามหากระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตนานมากจนเกินควร ก็อาจมีอุปสรรคต่อการก่อสร้างได้ อาทิเช่น ทำให้ถอดแบบได้ช้ำ การถอดแบบได้ช้าทำให้เสียเวลาก่อสร้าง เป็นต้น

โดยทั่ว ๆ ไปเกณฑ์กำหนดระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทุกประเภท โดยวิธีนี้จะต้องไม่ต่ำกว่า 45 นาที

การหาระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคตนั้น หมายถึงระยะเวลา (นับตั้งแต่เมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จ) ที่เมื่อนำเข็มไวแคตมาตรฐานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ปล่อยลงไปในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมน้ำและมีความข้นเหลวปกติแล้ว เข็มนั้นจะจมลงไป 25 มิลลิเมตร หลังจากเมื่อปล่อยเข็มได้ 30 วินาที

อุณหภูมิและความชื้น

1. อุณหภูมิของอากาศในบริเวณที่ทำการทดลอง ควรอยู่ระหว่าง 20 ถึง 27.5 เซลเซียส อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมและของห้องเก็บความชื้นควรอยู่ระหว่าง 23 $\pm$1.7 เซลเซียส

2. ความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณที่ทำการทดลอง ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 50
3. ความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บความชื้นที่ใช้เก็บตัวอย่างทดลองไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 90

วัสดุทดลอง

ซีเมนต์ผงที่ต้องการทดสอบหนักประมาณ 3650 กรัม

เครื่องมือ

1. เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต ซึ่งมีลักษณะและรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 1
2. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม
3. หลอดแก้วสำหรับตวงขนาด 200 มิลลิลิตร และมีขีดอ่านปริมาตรได้ละเอียดถึง 1 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
4. เกรียงเหล็ก จำนวน 1 อัน
5. ถาดสำหรับผสมซีเมนต์ 1 ใบ
6. ภาชนะสำหรับใส่ซีเมนต์ 1 ใบ
7. ถุงมือยาง 1 คู่

วิธีทดสอบ

การทดสอบหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์

1. ชั่งซีเมนต์จำนวน 650 กรัม และใส่ลงในถาดสำหรับผสม
2. เกลี่ยซีเมนต์ให้มีลักษณะเป็นรูปกรวยภูเขาไฟ แล้วเทน้ำที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไป (ในการทดสอบครั้งแรกอาจใช้น้ำประมาณ 26%) และในขณะที่เทน้ำนั้นให้ใช้เกรียงเกลี่ยซีเมนต์ด้านนอกเข้าไปด้านในด้วยเพื่อกันการระเหยของน้ำ ให้เทน้ำให้หมดภายในระยะเวลา 30 วินาที
3. ปล่อยทิ้งไว้ให้ซีเมนต์ดูดซึมน้ำอีกเป็นเวลา 30 วินาที ในระหว่างนี้อาจใช้เกรียงช่วยป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออกไป
4. หลังจากนั้นให้ใช้มือบีบ นวด ขยำ อย่างแรงเพื่อให้น้ำกับซีเมนต์ผสมเข้ากันอย่างทั่วถึงเป็นระยะเวลา 90 วินาที
5. จากนั้นให้ใช้มือทั้งสองปั้นซีเมนต์เพสท์ที่ได้ให้เป็นก้อนกลม ๆ อย่างรวดเร็ว แล้วโยนจากมือหนึ่งไปอีกมือหนึ่ง สลับกันไป จำนวน 6 ครั้ง โดยให้มือทั้งสองห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร
6. จากนั้นในขณะที่มือข้างหนึ่งถือซีเมนต์เพสท์ลูกกลมอยู่นั้น ให้อัดซีเมนต์เพสท์เข้าไปทางด้านใหญ่ของแบบวงแหวนรูปกรวยของเครื่องมือไวแคต ซึ่งถือไว้ด้วยมืออีกข้างหนึ่ง
7. ปาดซีเมนต์เพสท์ที่เกินอยู่ทางด้านใหญ่ของแบบออก โดยใช้มือเลื่อนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น
8. วางแบบด้านใหญ่ลงบนแผ่นแก้ว แล้วปาดซีเมนต์เพสท์ที่เกินอยู่ทางด้านเล็กออกโดยใช้เกรียงตัดเฉียง ๆ กับด้านบนของแบบ จากนั้นให้ตกแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย โดยใช้ปลายเกรียงแตะ ๆ เท่านั้นห้ามมิให้มีการอัดซีเมนต์เพสต์ด้วยแรงใด ๆ ทั้งสิ้น
9. วางซีเมนต์เพสต์ให้อยู่ใต้เข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ของเครื่องมือไวแคต (ควรตรวจสอบเครื่องมือก่อนว่าเข็มของเครื่องมือไวแคตสามารถเลื่อนขึ้นลงได้อย่างสม่ำเสมอ)
10. เลื่อนปลายเข็มให้แตะกับผิวของเพสท์ตรงกลางแบบจากนั้นอ่านสเกลหน้าปัทม์ (หรืออาจตั้งให้อ่านสเกลที่ศูนย์ก็ได้)
11. ให้ปล่อยเข็มทันทีเมื่อผสมซีเมนต์เสร็จแล้ว 30 วินาที

12. อ่านสเกลหน้าปัทม์อีกครั้งหนึ่งหลังจากที่ปล่อยเข็มไปได้ 30 วินาที ซึ่งจะทำให้ทราบได้ว่าเข็มจมลงไปเท่าใด
13. ให้เขียน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ (เป็น %) กับส่วนที่เข็มจม (เป็น มิลลิเมตร)
14. ให้ทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้ง (จากข้อ 1 ถึงข้อ 13) โดยใช้ซีเมนต์ใหม่ทุกครั้งจนกระทั่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้กับส่วนที่เข็มจมลงไป 10 มิลลิเมตรได้จากกราฟ ปริมาณน้ำที่หาได้ก็คือความข้นเหลวปกติของซีเมนต์นั้น ๆ

การทดสอบหาระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์

1. ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 1-8 ของการทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติของซีเมนต์ โดยใส่น้ำในปริมาณที่ทำให้ซีเมนต์มีความข้นเหลวปกติ
2. ให้ทำการทดสอบหาระยะที่เข็มจมลงไปเมื่อปล่อยเข็มขนาด 1 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป หลังจากที่เตรียมตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว 30 นาที และให้ทำการทดสอบซ้ำทุก ๆ 15 นาที หลังจากนั้น (ทุก ๆ 10 นาที สำหรับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม) จนกระทั่งได้ระยะเข็มจมน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
3. ในการทดสอบแต่ละครั้งให้เลื่อนปลายเข็มให้แตะกับผิวของเพสต์ จากนั้นให้อ่านสเกลหน้าปัทม์ (หรืออาจตั้งสเกลให้อ่านที่ศูนย์ก็ได้) แล้วปล่อยเข็มให้เลื่อนลงทันทีเป็นระยะเวลา 30 วินาที จากนั้นจึงอ่านสเกลอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ทราบว่าเข็มจมลงไปเท่าใด (ในกรณีที่เพสต์เหลวมาก อาจใช้มือช่วยเพื่อป้องกันเข็มงอก็ได้)
4. ในการทดสอบแต่ละครั้งไม่ควรทดสอบใกล้กว่า 6.4 มิลลิเมตร จากจุดเดิมหรือ 9.5 มิลลิเมตร จากขอบด้านในของแบบรูปวงแหวน
5. หาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ผ่านไปในขณะที่เข็มจมลงไป 25 มิลลิเมตร ได้จากกราฟ ระยะเวลาที่หาได้คือระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์นั้น ๆ

****หมายเหตุ****

1. ระยะเวลาก่อตัวที่หาได้จากการทดลองครั้งนี้เป็นระยะเวลาก่อตัวเบื้องต้น (initial setting time) เท่านั้น ส่วนระยะเวลาก่อตัวขั้นสุดท้าย (final setting time) นั้นหมายถึงระยะเวลาที่ผ่านไปเมื่อปล่อยเข็มไม่จมลงเลย
2. ในการทดลองแต่ละครั้งควรทำความสะอาดเข็ม และดัดเข็มให้ตรงอยู่เสมอ

การคำนวณ

ปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้ได้ความข้นเหลวปกติ ให้คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์แห้งโดยคำนวณให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.1 และต้องรายงานให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.5

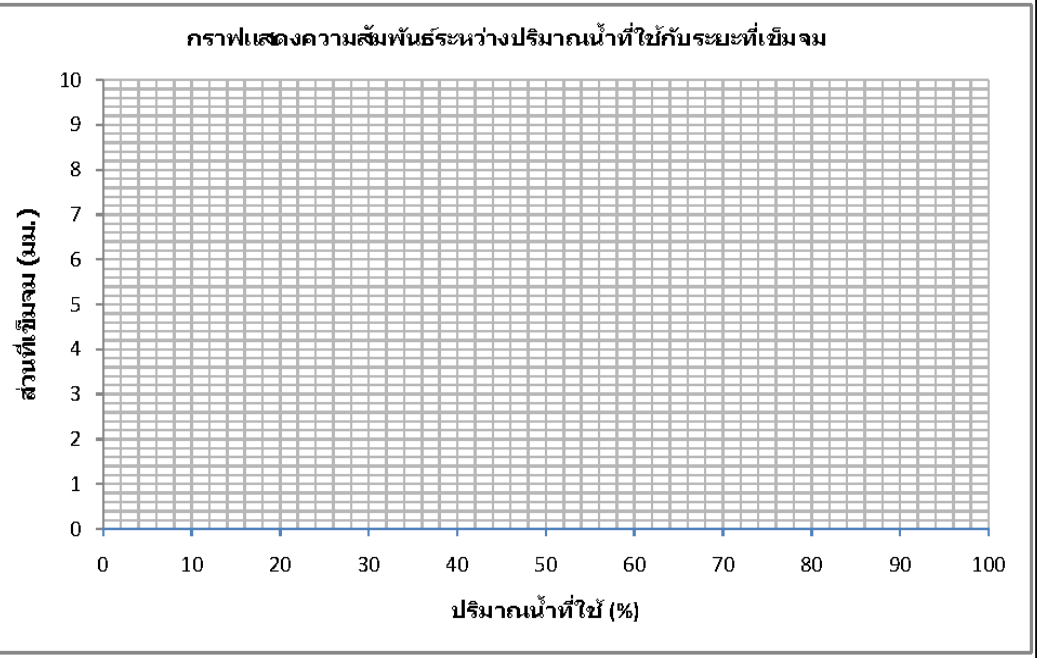
$$\text{ปริมาณน้ำ, \%} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ใช้(ก.)}}{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์แห้ง(ก.)}} \times 100$$

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	CE215 Structural Materials and Testing Normal Consistency of Cement by Vicat Apparatus Test การทดสอบหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์	ASTM C 187 มอก. 15 เล่ม 8 แผ่นที่ /

ผู้ทดสอบ		วันที่ทดสอบ	
รหัสนักศึกษา		ชนิดของซีเมนต์	
กลุ่ม		อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ	°C
		ความชื้นสัมพัทธ์, %	

ทดสอบครั้งที่	น้ำหนักซีเมนต์ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)	ระยะเข็มจม (มิลลิเมตร)	หมายเหตุ
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					



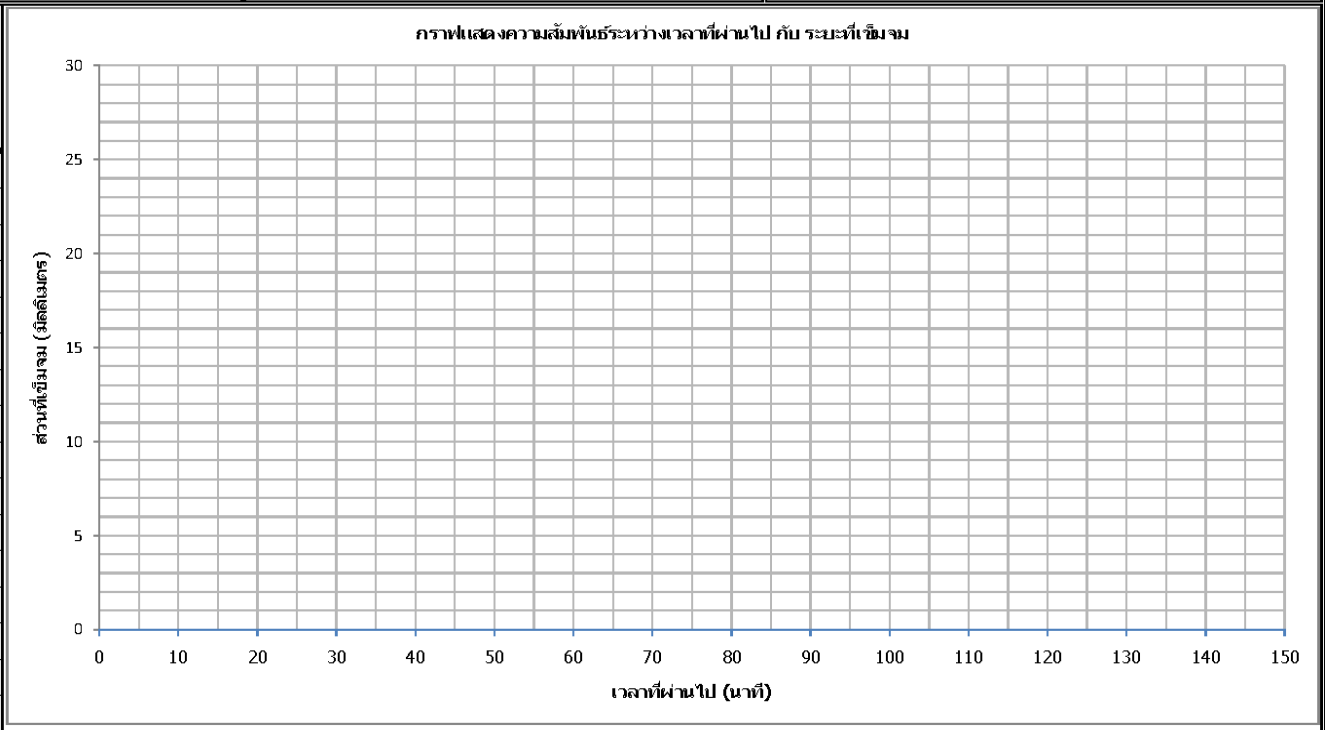
จากกราฟ, ค่าความข้นเหลวปกติ (Normal Consistency), P = ……%

ข้อมูลและผลการทดสอบ

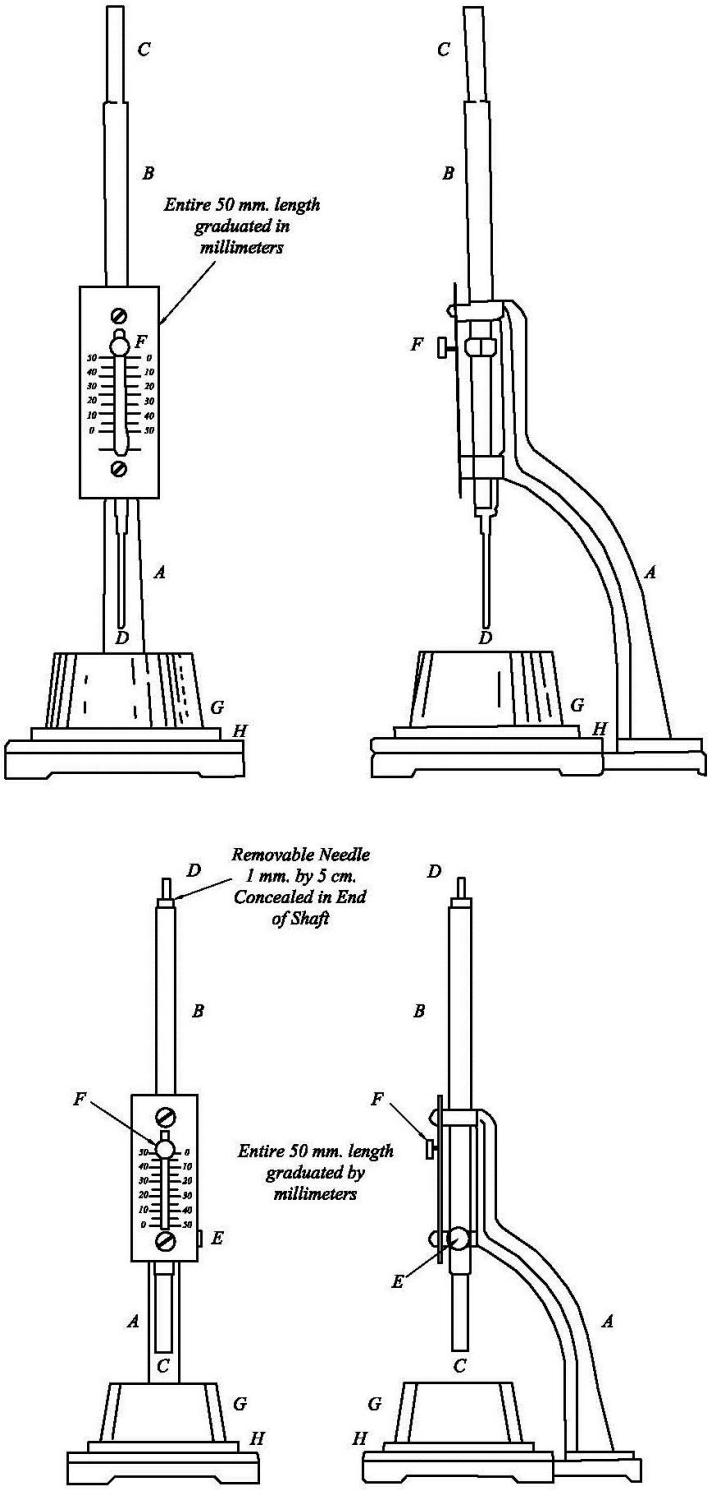
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	CE215 Structural Materials and Testing Time of Setting of Cement by Vicat Apparatus การทดสอบหาระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์	ASTM C 191 มอก. 15 เล่ม 9 แผ่นที่ /

ผู้ทดสอบ		วันที่ทดสอบ	
รหัสนักศึกษา		ชนิดของซีเมนต์	
กลุ่ม		ค่าความข้นเหลวปกติ (P), %	
		ห้องปฏิบัติการ	ห้องเก็บความชื้น
		อุณหภูมิเฉลี่ย, เซลเซียส	อุณหภูมิเฉลี่ย, เซลเซียส
		ความชื้นสัมพัทธ์, %	ความชื้นสัมพัทธ์, %

ทดสอบครั้งที่	เวลาที่ผ่านไป (นาที)	ระยะเข็มจม (มิลลิเมตร)	หมายเหตุ
1			
2			
3			
4			
5			
6			



จากกราฟ, ระยะเวลาก่อตัวระยะต้น (Initial Setting Time) = …… นาที



รูปที่ 1 : เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต

Aggregates Properties

การทดลองที่ 3
การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมด้วยตะแกรง
Gradation of Aggregates by Sieve Analysis

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าการกระจายขนาดอนุภาคของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด โดยการร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 136, C 33

ทฤษฎี

ส่วนขนาดคละที่เหมาะสมของมวลรวมในปฏิภาคส่วนของคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตมีราคาถูก มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ คุณภาพดี และทำงานง่าย นอกจากนี้ยังมีผลต่อการแยกตัวของคอนกรีต ปริมาณน้ำที่ผสม ความสะอาดในการทำงาน ความยากง่ายในการตบแต่งผิวหน้าคอนกรีต

การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมโดยการร่อนผ่านตะแกรงโดยทั่ว ๆ ไปใช้ตะแกรงอยู่ 2 ชนิด คือ

1. ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Sieve)

เป็นตะแกรงชั่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตะแกรงที่ใช้วัดขนาดของหินเริ่มจากเบอร์ 3/8” , ½” , ¾” , 1” , 1 ½ “ และ 2” สำหรับตะแกรงคัดขนาดทรายมีขนาดเรียงกันคือเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 ตัวเลขเบอร์บอกถึงจำนวนตาของตะแกรงต่อความยาว 1 นิ้ว เช่น ตะแกรงเบอร์ 30 หมายความว่า 1 นิ้ว แบ่งออกเป็น 30 ช่อง ดังนั้นใน 1 ตารางนิ้วจะมีจำนวนช่องทั้งสิ้น 900 ช่อง

2. ตะแกรงมาตรฐานของเทเลอร์ (Tyler Sieve)

เป็นตะแกรงซึ่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่นเดียวกับตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน แต่มีขนาดแตกต่างไปเล็กน้อย อย่างไรก็ตามตะแกรงมาตรฐานของเทเลอร์ไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันนี้

รายละเอียดของตะแกรงมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด ที่ใช้สำหรับงานคอนกรีตทั่ว ๆ ไป ได้แสดงไว้ในตาราง 1

โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)

โมดูลัสความละเอียด เป็นค่าที่แสดงถึงความละเอียดของมวลรวมว่ามีมากน้อยเพียงใด (ค่าที่น้อยกว่าแสดงว่าละเอียดมากกว่า) สามารถหาได้จากการวิเคราะห์มวลรวมด้วยตะแกรงมาตรฐาน โดยนำค่าร้อยละสะสมของน้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐาน แต่ละตะแกรงมารวมกันแล้วหารด้วย 100

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณหาโมดูลัสความละเอียดนั้นคือ เบอร์ 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8”, 1 ½ “ และขนาดใหญ่กว่าในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ทั้งนี้ไม่รวมตะแกรงที่มีขนาดครึ่งหนึ่ง (Half size) ของขนาดมาตรฐาน

ความหมายของโมดูลัสอีกอย่างหนึ่ง หมายถึง “ขนาดตะแกรงเฉลี่ย” ทั้งหมดของรวมนั้น ๆ โดยที่ตะแกรงเบอร์ 100 เป็นตะแกรงที่ 1 ตะแกรงเบอร์ 50 เป็นตะแกรงที่ 2 ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าหากว่าทรายชนิดหนึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.00 หมายความว่าทรายนั้นมีขนาดตะแกรงเฉลี่ยเป็นตะแกรงที่ 3 ซึ่งหมายถึงตะแกรงเบอร์ 30 นั่นเอง

ค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย ที่ใช้ในงานคอนกรีตมีช่วงระหว่าง 2.20 สำหรับทรายละเอียดถึง 3.20 สำหรับทรายหยาบ

ตารางที่ 1 : รายละเอียดตะแกรงมาตรฐาน

ตะแกรงอเมริกัน (U.S. Sieve)	ขนาดช่องว่าง (มิลลิเมตร)
1 ½”	38.10
(1”)	25.40
¾”	19.05
(½”)	12.70
$^{3}/_{8}$”	9.53
No. 4	4.75
No. 8	2.38
No. 16	1.19
No. 30	0.589
No. 50	0.297
No.100	0.15

ตะแกรงเทเลอร์ (Tyler Sieve)	ขนาดช่องว่าง (มิลลิเมตร)
1 ½”	38.10
(1”)	26.67
¾”	18.85
(½”)	13.34
$^{3}/_{8}$”	9.42
No. 4	4.70
No. 8	2.36
No. 16	1.17
No. 30	0.589
No. 50	0.295
No.100	0.147

( ) แสดงขนาด “Half size” ซึ่งบางครั้งนิยมใช้ในงานก่อสร้าง

มาตรฐาน ASTM C 33 ได้กำหนดส่วนนาดคละของมวลรวมแต่ละชนิดที่ใช้ในงานคอนกรีตไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : ข้อกำหนดส่วนขนาดคละของมวลรวม

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักร้อยละสะสมที่ค้างบนแต่ละตะแกรง					
	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ				มวลรวมผสม
		¾” –No.4	1” –No.4	1½”– No.4	2” –No.4	1 ½” - 0
2”				0	0 – 5	
1 ½”			0	0 – 5		0 – 2
1”		0	0 – 5		30 – 65	
¾”		0 – 10		30 – 65		20 – 32
½”			40 – 75		70 – 90	
$^{3}/_{8}$”	0	45 - 80		70 – 90		43 – 53
No.4	0 – 5	90 – 100	90 – 100	95 - 100	95 - 100	55 – 65
No.8	0 – 20	95 - 100	95 - 100			64 – 74
No.16	15 – 50					73 - 82
No.30	40 – 75					81 – 89
No.50	70 – 90					92 – 98
No.100	90 - 98					98 - 99

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Maximum Size)

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมนั้น มักนิยมใช้เรียกขนาดของมวลรวมหยาบเท่านั้น เช่น หิน ¾" หรือหิน 2" เป็นต้น ความหมายที่แท้จริงขอขนาดใหญ่สุดของมวลรวม จะต้องหาจากการวิเคราะห์มวลรวมด้วยตะแกรง ซึ่งขนาดใหญ่สุดหมายถึงขนาดของตะแกรงที่ใหญ่กว่าถัดขั้นไปจากตะแกรงที่ใหญ่ที่สุดที่มีมวลรวมค้างอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15

ตะแกรงที่ใช้หาขนาดใหญ่สุดของมวลรวมนั้น อาจจะเป็นตะแกรงมาตรฐาน หรือตะแกรงที่ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งรวมตะแกรงขนาด Half size ด้วยก็ได้

แผนภูมิขนาดคละ (Grading Chart)

ผลของการวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมด้วยตะแกรง มักจะแสดงด้วยแผ่นภูมิขนาดคละ ซึ่งทำให้เห็นถึงการกระจายของขนาดอนุภาคของมวลรวมอย่างละเอียด แกนตั้งของแผนภูมิจะเป็นน้ำหนักร้อยละที่ค้าง (หรือที่ผ่าน) ตะแกรง ส่วนแกนนอน (Los Scale) จะแสดงขนาดของช่องว่างของตะแกรงหรือแสดงขนาดหมายเลขของตะแกรง

วัสดุทดลอง

ทรายและหินโม่ (หรือกรวด) ที่ต้องการทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Sieves) สำหรับร่อนทรายเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50, 100
2. ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Sieves) สำหรับร่อนหิน ขนาด 2", 1 ½ ", 1", 3/4" ,1/2", 3/8" และเบอร์ 4
3. เครื่องชั่งซึ่งมีความละเอียดไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักของมวลรวมที่ต้องการทดสอบ
4. แปรงทำความสะอาดตะแกรง
5. เกรียง
6. เครื่องร่อนมวลรวมละเอียดและเครื่องร่อนมวลรวมหยาบ

วิธีทดสอบ

การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรง

1. แบ่งทรายที่ต้องการทดสอบจากที่เก็บมาประมาณ 500 กรัม โดยวิธีการแบ่งสี่ (Quartering Method) ให้ระมัดระวังอย่าให้ฝุ่นที่มีอยู่สูญเสียไปด้วย โดยอาจทำทรายให้เปียกชื้นเสียก่อนก็ได้
2. นำตะแกรงเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50, 100 และถาดมาวางซ้อนกันเป็นชุด โดยตะแกรงขนาดใหญ่อยู่ข้างบนสุด วางเรียงกันลงตามลำดับ เททรายลงบนตะแกรงเบอร์ 4 ซึ่งอยู่ข้างบนสุดปิดฝาให้แน่น นำเข้าเครื่องร่อน (Mechanical Shaker)
3. เปิดสวิชท์ เครื่องร่อนจะทำการร่อนทราย ใช้เวลาประมาณ 10 นาที แล้วปิดสวิชท์
4. ชั่งน้ำหนักของทรายที่ค้างบนตะแกรงแต่ละเบอร์ รวมทั้งน้ำหนักทรายบน pan ด้วยไม่ควรเททรายจากตะแกรงลงบนจานตาชั่งโดยตรง ควรจะเททรายลงกระดาษก่อนที่จะนำไปชั่งเพื่อป้องกันการตกหล่นของเม็ดทราย
5. ทำความสะอาดตะแกรงแต่ละอันด้วยแปรงโดยความระมัดระวัง
6. คำนวณหาร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
7. คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) โดยการรวมค่าร้อยละน้ำหนักสะสมที่ค้างบนแต่ละตะแกรง ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 100 แล้วหารด้วย 100

8. นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดและขนาดตะแกรงมาตรฐาน มาเขียนกราฟจะได้ “แผนภูมิขนาดคละของทราย” (Grading Chart of Sand)

****หมายเหตุ**:**

ในกรณีที่การร่อนด้วยเครื่องร่อนไม่สามารถจะทำได้ การร่อนด้วยมือก็สามารถจะใช้แทนได้ โดยวิธีการเดียวกันกับการใช้เครื่องร่อน

การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมหยาบด้วยตะแกรง

1. นำเอามวลรวมหยาบ (แห้ง) ที่ต้องการทดสอบจากที่เก็บมาประมาณเท่าที่กำหนด โดยวิธีแบ่งสี่ (Quartering Method)
2. ใช้เครื่องร่อนทำการร่อนมวลรวมหยาบแต่ละชนิด โดยใช้วิธีการเดียวกับการวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียด
3. นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดของตะแกรงมาตรฐานมาเขียนกราฟจะได้ “แผนภูมิขนาดคละของหิน” (Grading chart of Coarse Aggregates)

ข้อมูลและผลการทดสอบ

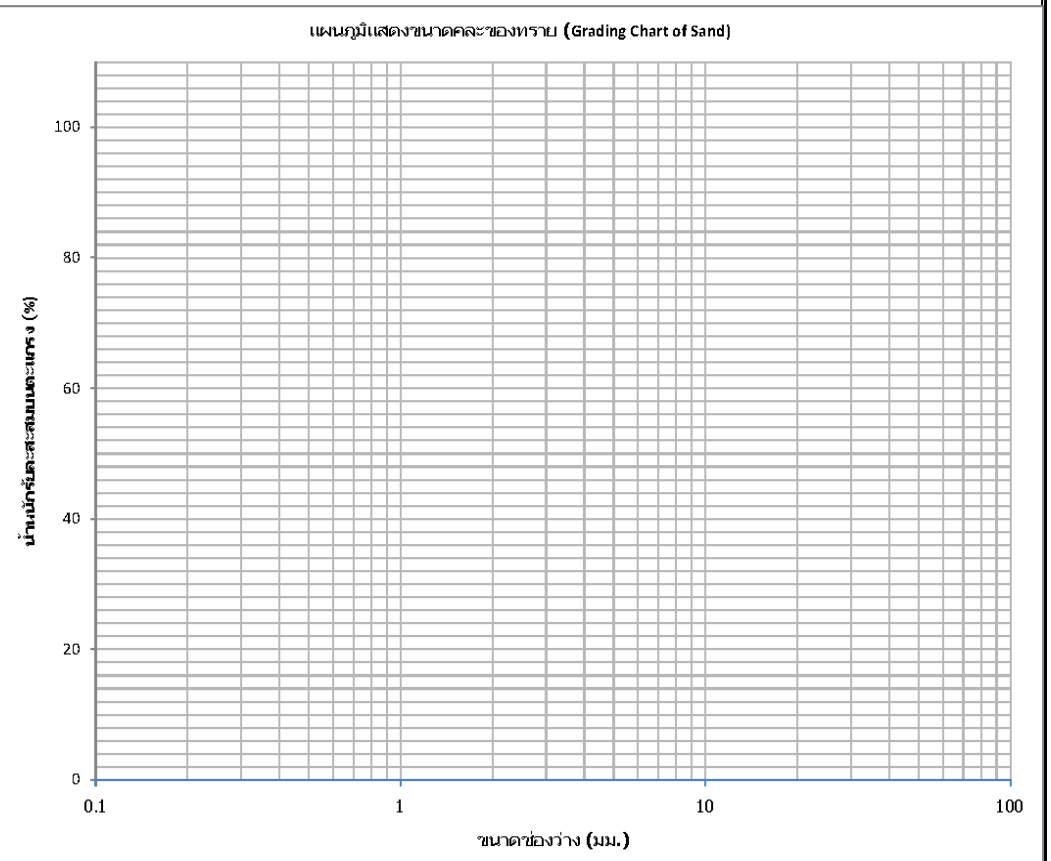
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	CE215 Structural Materials and Testing Gradation of fine Aggregates by Sieve Analysis การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรง	ASTM C 136, C 33 C2 Part 1 แผ่นที่ /

ผู้ทดสอบ _____ วันที่ทดสอบ _____

รหัสนักศึกษา _____ แหล่งของมวลรวมละเอียด _____

กลุ่ม _____ น้ำหนักทั้งหมดของมวลรวมละเอียดที่ใช้, กรัม _____

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักทราย + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่านตะแกรง
เบอร์ 4						
เบอร์ 8						
เบอร์ 16						
เบอร์ 30						
เบอร์ 50						
เบอร์ 100						
ถาด						
รวม						
ค่าโมดูลัสความละเอียด						



การทดสอบที่ 4
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม
Test of Specific Gravity and Absorption of Aggregate

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) และความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) รวมทั้งค่าการดูดซึมของมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

มาตรฐาน ASTM C 127 และ C 128

<u>ทฤษฎี</u>

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้ของมวลรวมต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน โดยที่มวลรวมมีรูพรุน ดังนั้นความถ่วงจำเพาะของมวลรวมจึงอาจแยกออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรของมวลรวม (ที่รวมทั้งรูพรุนทั้งหมดและช่องว่างภายในของมวลรวม) ต่อน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

2. ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้มวลรวม (ที่รวมรูพรุนที่น้ำเข้าไม่ได้ (Impermeable porous) และช่องว่างภายในของมวลรวม) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

3. ความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์ (Absolute or True Specific Gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของปริมาตรเนื้อแท้ของมวลรวม (ที่รวมรูพรุนและ

ช่องว่าง) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์อาจหาได้โดยทำเป็นผงละเอียดที่ไม่มีช่องว่างอยู่เลย อย่างไรก็ตามความถ่วงจำเพาะสัมบูรณ์มิได้ประโยชน์ในงานคอนกรีต

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมขึ้นอยู่กับสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นส่วนผสมและความพรุนของก้อนมวลรวม ความชื้นอาจทำให้ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมเปลี่ยนแปลงไปได้ ความถ่วงจำเพาะนี้ใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาปฏิภาคส่นผสมของหินและทรายในคอนกรีตโดยใช้เป็นตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้ของมวลรวมเป็นปริมาตรเนื้อแท้หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้ให้เป็นน้ำหนัก เพื่อหาปริมาตรมวลรวมสำหรับการผสมนั้น ๆ

ตามปกติในการคำนวณปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตจะใช้ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk specific Gravity) ของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมโดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.40 – 2.90

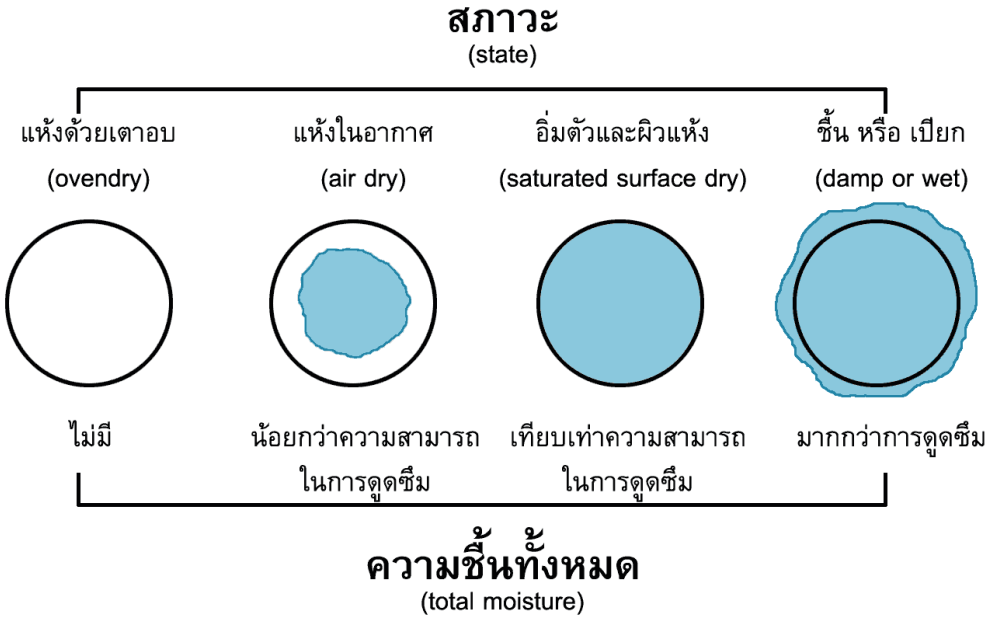
การดูดซึมของมวลรวม (Absorption of Aggregates) โครงสร้างภายในก้อนวัสดุผสม ประกอบด้วยเนื้อของแข็งและช่องว่าง ช่องว่างเหล่านั้นจะดูดความชื้นเข้าไปเก็บไว้ได้ การผสมคอนกรีตจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติข้อนี้ด้วย เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมให้ได้ความข้นเหลวคงที่อันจะทำให้คอนกรีตมีเนื้อสม่ำเสมอ

ปริมาณน้ำในมวลรวมอาจอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งใน 4 อย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1

1. แห้งด้วยเตาอบ (Oven Dry) ในสภาวะนี้มวลรวมสามารถดูดซึมความชื้นได้เต็มที่

2. แห้งในอากาศ (Air Dry) หรือแห้งที่ผิวแต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างใน ในปริมาณที่น้อยกว่าสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้ง ดังนั้นมวลรวมจึงอาจดูดซึมความชื้นได้บ้าง
3. อิ่มตัวและผิวแห้ง (Saturated Surface-Dry) เป็นสภาวะที่ดีที่สุด โดยที่มวลรวมไม่คายน้ำออกหรือดูดน้ำจากคอนกรีต
4. ชื้นหรือเปียก (Damp or Wet) เป็นสภาวะที่ปริมาณความชื้นสูงมากเกินไป โดยมีน้ำหุ้มก้อนมวลรวมอยู่ด้วย

ดังนั้น การทดสอบหาการดูดซึมของมวลรวมจึงมีประโยชน์ในการหาปริมาณของน้ำที่มวลรวมคายออกมาหรือดูดซึมเข้าไปจากส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งทำให้เราสามารถปรับปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตให้เหมาะสมตามสภาวะของมวลรวมที่แท้จริง



รูปที่ 1 : สภาวะความชื้นของมวลรวม

วัสดุทดลอง

มวลรวมละเอียดที่ต้องการทดสอบน้ำหนักประมาณ 1,000 กรัม

เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
2. กระบอกตวง ขนาดความจุ 500 มล.
3. กรวยโลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.75 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่าง 8.9 ซม. ความสูง 7.4 ซม. ทำด้วยแผ่นโลหะหนาประมาณ 0.9 มิลลิเมตร
4. เหล็กกระทุ้ง ปลายเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. น้ำหนัก 340 กรัม
5. ตะกร้าลวดเหล็ก
6. เครื่องเป่าผม
7. ถาดโลหะ
8. ผ้าแห้ง
9. เตาอบ

การคำนวณ

ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด

1. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะแห้งด้วยเตาอบ ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = $\frac{A}{B+500-C}$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม
B = น้ำหนักของกระบอกตวงและน้ำที่ระดับ 500 มิลลิลิตร, กรัม
C = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีมวลรวมละเอียดและน้ำที่ระดับ 500 มิลลิลิตร, กรัม

2. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ที่สภาวะอิ่มตัว ผิวแห้ง (Saturated Surface Dry Basis) ได้จาก

ถ่วงจำเพาะทั้งหมด (อิ่มตัวผิวแห้ง) = $\frac{500}{B+500-C}$

3. คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม ได้จาก

การดูดซึม, % = $\frac{500-A}{A}\times 100$

ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

1. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะแห้งด้วยเตาอบได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = $\frac{A}{B-C}$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมที่แห้งด้วยเตาอบ, กรัม
B = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในอากาศ, กรัม
C = น้ำหนักของมวลรวมที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งที่ชั่งในน้ำ, กรัม

2. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะทั้งหมด (Bulk Specific Gravity) ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface-Dry) ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = $\frac{B}{B-C}$

3. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ได้จาก

ความถ่วงจำเพาะทั้งหมด = $\frac{A}{A-C}$

4. คำนวณหาร้อยละของการดูดซึม (Percentage of Absorption) ได้จาก

การดูดซึม, % = $\frac{B-A}{A}\times 100$

ข้อมูลและผลการทดสอบ

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

1. นำเอามวลรวมละเอียดจากที่เก็บมาประมาณ 1000 กรัม โดยใช้วิธีการของการแบ่งสี่ (Method of Quartering)
2. จากนั้นนำมวลรวมละเอียดมาทำให้แห้งโดยใช้เครื่องเป่าผมเป่ามวลรวมละเอียดให้ทั่ว จนมวลรวมละเอียดนั้นแห้งสม่ำเสมอและอยู่ในสภาวะของการไหลอิสระ (Free Flowing)
3. การทดสอบว่ามวลรวมละเอียดอยู่ในสภาวะของการไหลอิสระทำได้โดยเทมวลรวมละเอียดนั้นลงในกรวยโลหะจนเต็ม แล้วกระทุ้งเบา ๆ ด้วยเหล็กกระทุ้ง เป็นจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกกรวยขึ้นตรง ๆ ในแนวดิ่ง ถ้าหากว่ามวลรวมละเอียดยังมีความชื้นที่ผิว (Surface Moisture) อยู่ มวลรวมละเอียดนั้นจะยังคงรูปร่างเป็นรูปกรวยอยู่
4. ในกรณีที่ยังมีความชื้นที่ผิวอยู่ ให้ใช้เครื่องเป่าผมไล่ความชื้นที่ผิวต่อไปอีก แล้วนำมวลรวมละเอียดไปทดสอบในกรวยโลหะอีกเช่นเดิม ทำเช่นนี้เป็นช่วง ๆ จนกระทั่งเห็นว่า เมื่อยกกรวยขึ้นแล้วมวลรวมละเอียดยุบตัวลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่ามวลรวมละเอียดนั้นมีการไหลตัวอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว เราเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)
5. จากนั้นให้เทมวลรวมละเอียดจำนวน 500 กรัม ลงไปในกระบอกตวง แล้วเติมน้ำจนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.
6. เขย่ากระบอกตวงเพื่อไล่ฟองอากาศออก เติมน้ำจนถึงระดับ 500 มิลลิลิตร
7. ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวง มวลรวมและน้ำทั้งหมด
8. เทมวลรวมละเอียดออกจากกระบอกตวงใส่ในถาดโลหะ แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100-110 เซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (อบประมาณ 24 ชั่วโมง) จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 – 1 ½ ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้ง
9. ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 23 $^{\circ}$ซ.

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

1. นำมวลรวมหยาบจากที่เก็บมาประมาณเท่าที่ต้องการ โดยวิธีการของการแบ่งสี่ (Method of Quartering) ร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทิ้งไป
2. ล้างมวลรวมหยาบด้วยน้ำ เพื่อขจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ติดตามผิวของมวลรวมหยาบนั้น
3. นำเอามวลรวมหยาบแต่ละก้อนมาเช็ดถูด้วยผ้า ให้น้ำที่เกาะตามผิวของมวลรวมหยาบถูกดูดซับไป โดยที่ผิวของมวลรวมหยาบยังขึ้นอยู่ หลีกเลี่ยงอย่าให้มีการระเหยของความชื้นในขณะเช็ดถู มวลรวมหยาบจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
4. ชั่งน้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
5. เทมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวห้างนี้ลงในตะกร้าลวดเหล็กแล้วชั่งหาน้ำหนักในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 23 $^{\circ}$ ซ.
6. จากนั้นนำเอามวลรวมหยาบนั้นไปอบในเตาอบอุณหภูมิประมาณ 100–110 $^{\circ}$ ซ. จนได้น้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1-3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปชั่ง

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	CE215 Structural Materials and Testing Test of Specific Gravity and Absorption of Aggregate การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม	ASTM C127, C128 C2 Part 2 แผ่นที่ /

ผู้ทดสอบ _____ รหัสนักศึกษา _____ กลุ่ม _____

Specific Gravity and Absorption of fine Aggregate Test
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

ชนิดของมวลรวมละเอียด

ลำดับที่	รายการ	การทดสอบ		ค่าเฉลี่ย
		1	2	
1	ปริมาตรของกระบอกตวง, กรัม			
2	น้ำหนักของกระบอกตวง, กรัม			
3	น้ำหนักของมวลรวมในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง, กรัม			
4	น้ำหนักของน้ำ+มวลรวม+กระบอกตวง (C), กรัม			
5	น้ำหนักของน้ำ 500 มล.+กระบอกตวง (B), กรัม			
6	น้ำหนักของมวลรวมในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ (A), กรัม			
7	ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ			
8	ความถ่วงจำเพาะเนื้อแท้ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง			
9	ความถ่วงจำเพาะปรากฏ			
10	ร้อยละของการดูดซึม, %			

Specific Gravity and Absorption of coarse Aggregate Test
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

ชนิดของมวลรวมหยาบ

ลำดับที่	รายการ	การทดสอบ		ค่าเฉลี่ย
		1	2	
1	น้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (B), กิโลกรัม			
2	น้ำหนักของตะกร้าลวดเหล็กในน้ำ, กิโลกรัม			
3	น้ำหนักของตะกร้าลวดเหล็ก+มวลรวมหยาบในน้ำ, กิโลกรัม			
4	น้ำหนักของน้ำมวลรวมหยาบอิ่มตัวในน้ำ (C), กิโลกรัม			
5	น้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ (A), กิโลกรัม			
6	ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดของมวลรวมหยาบในสภาวะแห้งด้วยเตาอบ			
7	ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดของมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง			
8	ความถ่วงจำเพาะปรากฏ			
9	ร้อยละของการดูดซึม, %			

หมายเหตุ:

การทดสอบที่ 5
การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม
Test for Unit Weight of Concrete Aggregate

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 29

ทฤษฎี

หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหมายถึงน้ำหนักของมวลรวมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปนิยมใช้หน่วยเป็น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร หน่วยน้ำหนักมีความสำคัญสำหรับประมาณการหาปริมาณของวัสดุที่ใช้ และใช้สำหรับในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม โดยที่การหาปฏิภาคส่วนผสมนั้นใช้วิธีการตวงปริมาตร (Volumetric Basis)

หน่วยน้ำหนักของมวลรวมเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความชื้นที่มีอยู่ในมวลรวม เช่น หลวมหรืออัดแน่น เป็นต้น อย่างไรก็ตามการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมตามมาตรฐานนั้นจะหาในสภาพที่แห้งและอัดแน่น

มวลรวมโดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าหน่วยน้ำหนักดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

วัสดุทดลอง

มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่ต้องการทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่ง
2. เหล็กกระทุ้ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 ซม. ยาวประมาณ 60 ซม. และมีปลายมนด้านหนึ่ง
3. กระบอกตวงโลหะรูปทรงกระบอก ซึ่งใช้สำหรับตวงมวลรวม ความจุและขนาดของกระบอกตวงสำหรับมวลรวมแต่ละชนิดที่ต้องการทดสอบ ควรเป็นไปตามตารางที่ 2
4. เตาอบ
5. แผ่นกระจก

วิธีทดสอบ

1. นำมวลรวมที่ต้องการทดสอบไปอบในเตาอบให้ได้น้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 100 - 110 เซลเซียส แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
2. ใส่น้ำที่อุณหภูมิห้องลงในกระบอกตวงให้เต็ม ไล่ฟองอากาศและน้ำที่มีอยู่เกินโดยใช้แผ่นกระจกปิด
3. คำนวณหาน้ำหนักของน้ำในกระบอกตวงโดยการชั่ง
4. วัดอุณหภูมิของน้ำ แล้วคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของน้ำจากตารางที่ 3
5. เทมวลรวมลงในกระบอกตวงให้สูงประมาณ 1/3 ของความสูง ใช้มือปาดผิวให้เรียบ แล้วกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งให้ทั่วจำนวน 25 ครั้ง
6. เทมวลรวมเพิ่มลงไปในกระบอกตวงให้ได้ความสูงประมาณ 2/3 ของความสูงใช้มือปาดผิวน้ำให้เรียบ แล้วกระทุ้งให้ทั่วอีก 25 ครั้ง

7. เทมวลรวมเพิ่มลงไปในกระบอกตวงอีกจนล้นกระบอกตวง แล้วกระทุ้งให้ทั่วอีก 25 ครั้ง
   หมายเหตุ : ในการกระทุ้งขั้นแรกพยายามอย่าให้เหล็กกระแทกฐานกระบอกตวงแรงเกินไปและในการกระทุ้งชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ให้ใช้แรงกระทุ้งที่พอเหมาะที่ทำให้เหล็กกระทุ้งถึงชั้นก่อนของมวลรวมเท่านั้น
8. ปาดผิวหน้าของมวลรวมให้เรียบร้อยด้วยมือหรือด้วยเหล็กกระทุ้ง (สำหรับมวลรวมหยาบให้ปาดให้เรียบในลักษณะที่ประมาณว่าส่วนที่โผล่ออกมาของมวลรวมหยาบเท่า ๆ กับช่องว่างที่ผิวหน้าของกระบอกตวง
9. ชั่งหาน้ำหนักของมวลรวมในกระบอกตวง แล้วคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม
10. ผลการทดสอบจากมวลรวมชนิดเดียวกัน ควรผิดพลาดไม่เกิน 1%

ตารางที่ 1 : หน่วยน้ำหนักของมวลรวมตามธรรมชาติโดยทั่ว ๆ ไป

ชนิดของมวลรวม	สภาวะความชื้น	หน่วยน้ำหนัก, กก./ม.^{3}	
		หลวม	อัดแน่น
1. ทราย	แห้ง	1140 – 1600	1520 – 1840
	ชื้น	1360 – 1520	-
2. กรวด, ตะแกรงเบอร์ 4” – ¾”	แห้งหรือชื้น	1470 – 1570	1580 – 1710
3. กรวด, ตะแกรงเบอร์ 4” – 1 ½”	แห้งหรือชื้น	1520 – 1650	1660 – 1790
4. ส่วนผสมของทรายและกรวดขนาดใหญ่สุด 1 ½”	แห้ง	-	1760 – 2000
	ชื้น	1600 – 1840	-
5. หินโม่, ตะแกรงเบอร์ 4” – ¾”	แห้งหรือชื้น	1410 – 1500	1520 – 1650
6. หินโม่, ตะแกรงเบอร์ 4” – 1 ½”	แห้งหรือชื้น	1450 - 1580	1600 - 1730

ตารางที่ 2 : ขนาดของกระบอกตวงโลหะรูปทรงกระบอก

ความจุ (ลิตร)	เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน มม.	ส่วนสูงภายใน มม.	ความหนาของโลหะไม่น้อยกว่า, มม.		ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (สูงสุด), ซม.
			ที่ผนัง	ที่ฐาน	
3	155 ± 2	160 ± 2	2.5	5.0	12.5
10	205 ± 2	305 ± 2	2.5	5.0	25
15	255 ± 2	295 ± 2	3.0	5.0	40
30	355 ± 2	305 ± 2	3.0	5.0	100

ตารางที่ 3 : หน่วยน้ำหนักของน้ำ

อุณหภูมิ เซลเซียส	หน่วยน้ำหนัก กก./ลิตร
0	0.9999
2	1.0000
4	1.0000
6	1.0000
8	0.9999
10	0.9997
12	0.9995
14	0.9993
16	0.9990
18	0.9986

อุณหภูมิ เซลเซียส	หน่วยน้ำหนัก กก./ลิตร
20	0.9902
22	0.9978
24	0.9973
26	0.9968
28	0.9965
30	0.9957
32	0.9951
34	0.9944
36	0.9937
38	0.9930

ข้อมูลและผลการทดลอง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	CE215 Structural Materials and Testing Unit Weight of Concrete Aggregate Test การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม	ASTM C 29 C2 Part 3 แผ่นที่ /

ผู้ทดสอบ _____ รหัสนักศึกษา _____ กลุ่ม _____

ชนิดและแหล่งของมวลรวมละเอียด _____

ชนิดและแหล่งของมวลรวมหยาบ _____

ลำดับที่	รายการ		มวลรวมละเอียด		มวลรวมหยาบ	
			1	2	1	2
1	น้ำหนักของกระบอกตวง, กิโลกรัม					
2	น้ำหนักของกระบอกตวง + น้ำ, กิโลกรัม					
3	อุณหภูมิหูมิน้ำ, เซลเซียส					
4	น้ำหนักของน้ำที่เติมเข้าไปในกระบอกตวง, กิโลกรัม					
5	ปริมาตรของกระบอกตวง, ลิตร					
6	น้ำหนักของกระบอกตวง + มวลรวม, กิโลกรัม					
7	น้ำหนักของมวลรวมที่เติมเข้าไปในกระบอกตวง, กิโลกรัม					
8	หน่วยน้ำหนักของมวลรวม (กก./ม.3)	แต่ละตัวอย่าง				
		เฉลี่ย				

หมายเหตุ:

Concrete Mix Proportioning

การทดสอบที่ 6
การทดสอบหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตและคุณสมบัติของคอนกรีตสด
Concrete mix proportioning test
and
fresh concrete property test

<u>บทนำ</u>

ในงานคอนกรีตใด ๆ ถ้าสามารถผสมคอนกรีตให้มีความข้นเหลวสม่ำเสมอกันทุกครั้ง คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะมีเนื้อแน่นและมีกำลังแข็งแรงสม่ำเสมอดีทั่วตลอด การที่ผสมคอนกรีตให้ได้ดีเหมือนกันทุกครั้ง นอกจากจะวัดสัดส่วนของปูนซีเมนต์ ทราย หิน ให้ถูกต้องตามสภาพการทำงาน และให้น้ำปูนกระจายหุ้มหิน ทราย และเหล็กเสริมในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยไม่มีรูโพรง ไม่มีการแยกตัวของวัสดุผสมและไม่มีน้ำเยิ้มมากบนผิวแล้ว คอนกรีตที่เพิ่งผสมใหม่ๆ ซึ่งยังเหลวพอเทได้หรือที่เรียกว่าคอนกรีตสด (Fresh Concrete) ต้องมีความสามารถในการเทเข้าแบบได้ดีด้วย (Workability) สิ่งเหล่านี้เป็นคุณสมบัติของคอนกรีตสด

ความสามารถเทได้ (Workability) ความสามารถเทได้เป็นคุณสมบัติที่ต้องการอย่างหนึ่งของคอนกรีตสด หมายถึง การที่คอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดี ทำให้แน่นตัวได้ง่ายและคอนกรีตที่หล่อได้ปราศจากรูโพรงต่างๆ กล่าวคือ ช่องว่างทั้งสิ้นระหว่างวัสดุผสมจะต้องมีซีเมนต์เพสท์บรรจุเต็ม เหล็กเสริมก็ต้องมีคอนกรีตหุ้มอยู่ได้อย่างดี และต้องไม่มีการแยกขนาดของส่วนผสมคอนกรีต ความสามารถเทได้ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ซึ่งอยู่ในเทอมของอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ กล่าวคือถ้าใช้น้ำมากเกินพอ คอนกรีตจะเหลวเละและเทลงในแบบหล่อได้ง่าย แต่กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตจะลดลง ควรใช้ปริมาณน้ำให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้เกิดความสามารถเทได้ในขั้นดี
2. รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม ถ้าใช้วัสดุผสมที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมจะทำให้ได้ "ความสามารถเทได้" ดีกว่าวัสดุผสมที่มีรูปเป็นเหลี่ยมเป็นมุม วัสดุผสมที่มีความลดหลั่นของขนาดอยู่ในพิกัด ทำให้ได้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอต้องการปริมาณน้ำผสมน้อย มีคุณภาพดีและทำงานง่าย
3. ปริมาณซีเมนต์และชนิดของซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์มีผลมาจากอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ถ้าใช้ซีเมนต์ที่ละเอียดจะมีผลทำให้ได้คอนกรีตที่เทเข้าแบบได้ง่ายกว่าปริมาณสารกระจายกักฟองอากาศ ถ้าใช้ในปริมาณที่พอเหมาะคอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ง่าย แต่ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงอีก ทั้งความคงทนก็มิได้เพิ่มขึ้น
4. สารเคมีผสมเพิ่ม สารเคมีผสมเพิ่มบางชนิด เช่น พวก Hydrated Lime, Bentonite และ Fly Ash จะช่วยให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดีขึ้น และนอกจากนั้นจะช่วยแก้การเยิ้มที่ผิวหน้าของคอนกรีต
5. เวลาและอุณหภูมิ ถ้าทิ้งคอนกรีตที่เพิ่งผสมเสร็จใหม่ๆไว้นานเกินกว่า 15นาที คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้ต่ำลง หรืออาจแข็งตัวไปเลย หากใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์น้อยเกินไปการเทคอนกรีตในวันที่อากาศร้อนหรืออุณหภูมิสูง ควรเพิ่มปริมาณน้ำที่จะใช้ผสมคอนกรีตให้มากขึ้นเล็กน้อย เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและรักษา "ความสามารถเทได้ ของคอนกรีตให้คงที่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต
2. เพื่อทดสอบหาความข้นเหลวของคอนกรีตสดที่ปฏิภาคส่วนผสมต่าง ๆ โดยใช้วิธีทดสอบค่าการยุบตัวและการใช้โต๊ะการไหลแผ่มาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 143 , C 124

วัสดุทดสอบ

คอนกรีตที่มีมวลรวมใหญ่สุดไม่เกิน 38 มม. (1 ½")

****หมายเหตุ****

ให้ผสมคอรกรีตในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการหล่อแท่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบในการทดสอบคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ดังนี้

1. ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน 3 ตัวอย่าง
2. ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม.จำนวน 3 ตัวอย่าง
3. ตัวอย่างรูปคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 10 x 10 ซม. ยาว 50 ซม. จำนวน 3 ตัวอย่าง
4. ตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 ซม. สูง 15 ซม. จำนวน 3 ตัวอย่าง

เครื่องมือทดสอบ

1. กรวยเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว ซึ่งเป็นรูปกรวยตัดทำด้วยแผ่นโลหะ ตอนล่างมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 200 มม. (8") ตอนบนมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 100 มม. (4") และสูง 300 มม. (12") มีหูสำหรับยกทั้งสองข้าง
2. โต๊ะการไหลแผ่มาตรฐาน (Standard Flow Table) เป็นฐานแผ่นเรียบทำด้วยโลหะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 762 มม. (30") มีเครื่องหมุน ซึ่งสามารถยกโต๊ะการไหลมาตรฐานให้ขึ้นและปล่อยให้ตกลงได้เป็นระยะ 12.7 มม. (½ ")
3. แบบรูปกรวยตัด (Frustum cone) ตอนบนมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 171 มม. (6 ¾") ตอนล่างมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 254 มม. (10") และสูง 127 มม. (5")
4. เหล็กกระทุ้ง เป็นแท่งเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มม. (5/8") ยาวประมาณ 600 มม. (24") ปลายกลมมน
5. เครื่องวัดระยะการยุบตัว
6. เกรียงเหล็กและแปรงเหล็ก
7. แผ่นเหล็ก
8. ไม้บรรทัด

ทฤษฎี

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความข้นเหลวเหมาะสำหรับการทำงาน เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วมีกำลังและความคงทนตามที่ต้องการในราคาที่ประหยัด มีวิธีการทำ 2 ขั้นตอน คือ

- การเลือกวัสดุประกอบที่เหมาะสม
- การคำนวณหาสัดส่วนของวัสดุผสม

การคำนวณหาวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีต สำหรับในงานเล็ก ๆ ที่ไม่ต้องการกำลังคอนกรีตสูงมากหรือใช้ปริมาณคอนกรีตไม่มากนัก อาจกำหนดได้เลยโดยอาศัยข้อมูลหรือสถิติที่เคยปฏิบัติมาแล้วเป็นเกณฑ์ ดังในตารางที่ 1 สำหรับงานที่ต้องการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่ได้ ก็จะมีวิธีการอยู่ 2 อย่าง คือ วิธีทดลองผสม และวิธีของ ACI

วิธีของ ACI ถูกเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา เป็นวิธีที่ให้ผลค่อนข้างแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงและถูกต้อง ซึ่งจะต้องทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียด และเปอร์เซ็นต์การดูดซึม สามารถดำเนินการเป็นขั้น ๆ ดังนี้

1. เลือกค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน เพื่อให้ได้ความข้นเหลวพอที่จะทำงานได้สะดวก (ตารางที่ 2)
2. เลือกขนาดโตสุดของวัสดุผสม ไม่ควรเกินกว่า 1/5 ของส่วนแคบที่สุดของแบบ หรือ 1/3 ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ ¾ ของขนาดความห่างของเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด(ตารางที่ 3)
3. ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุด รูปร่าง และส่วนขนาดคละของวัสดุผสม (ตารางที่ 4)
4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับลักษณะที่คอนกรีตนั้นถูกนำออกไปใช้งานและกำลัง อัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการ (ตารางที่ 5 และ 6)
5. คำนวณปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรย่อมหาได้ซึ่งเท่ากับ ปริมาณน้ำจากขั้นที่ 3 หารด้วยอัตราส่วนจากขั้นที่ 4
6. คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ ปริมาณของวัสดุผสมหยาบคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบนั้น โดยพิจารณาได้จากตารางที่ 7

ประมาณปริมาณวัสดุผสมละเอียด เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ของส่วนผสมจนถึงลำดับที่ 6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะหาได้ดังนี้

ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุผสมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต – ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมต่าง ๆ (ยกเว้นทราย)

โดยปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ และน้ำหนักของวัสดุ คือ

$$V_s = \frac{W_s}{G_s \rho_w}$$

โดยที่

V_s = ปริมาตรเนื้อแท้, ลบ.ม.

ρ_w = ความหนาแน่นน้ำ (=1000 กก./ลบ.ม.)

W_s = น้ำหนักของวัสดุ

G_s = ความถ่วงจำเพาะ

ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม ตามปกติ วัสดุผสมที่ใช้งานจริงจะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้ง ดังนั้นจึงต้องแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ติดมา และลดน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน ในกรณีที่วัสดุผสมแห้งกว่าสภาวะอิ่มตัว ผิวแห้ง จะต้องแก้ส่วนผสมเช่นเดียวกันในทางตรงกันข้าม แล้วการปรับส่วนผสมด้วยการทดลองผสม

วิธีทดสอบความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตไม่อาจทำได้โดยตรงแต่อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติที่สามารถวัดได้ คือ ความข้นเหลว (Consistency) ของคอนกรีต ซึ่งเป็นเครื่องแสดงว่าคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ นั้น กระด้างพอดี เปียก หรือ เละ ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเป็นที่พอใจ หากความข้นเหลวของคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ ๆ นั้น เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความแน่นตัวดีตามสภาพของแต่ละงาน

ตารางที่ 1 สัดส่วนการผสมคอนกรีตสำหรับงานประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	สัดส่วนคอนกรีต
	ซีเมนต์ : ทราย : หิน
งานเสา งานโครงสร้าง	1 : 1.5 : 3
งานพื้น งานคาน	1 : 2 : 4
งานถนน ฐานราก	1 : 2.5 : 4

ตารางที่ 2 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานคอนกรีตใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	8.0	2.0

ตารางที่ 3 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของหิน (มม.)			
	คาน ผนัง เสา	ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก	พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักน้อย
5.0 - 15.0	12.5 - 20	20	20 - 25	20 - 40
15.0 - 30.0	20 - 40	40	40	40 - 75
30.0 - 75.0	40 - 75	75	40 - 75	75
มากกว่า 75.0	40 - 75	150	40 - 75	75 - 150

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

ค่ายุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำ ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม							
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
	10 มม.	12.5 มม.	20 มม.	25 มม.	40 มม.	50 มม.	75 มม.	150 มม.
สำหรับคอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)								
3 - 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 - 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 - 18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.3
สำหรับคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)								
3 - 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 - 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 - 18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 5 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดโครงสร้าง	โครงสร้างเปียกตลอดเวลา หรือมีการแข็ง/ละลายสลับบ่อยๆ (สำหรับคอนกรีตใช้สารกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเลหรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	0.50	0.45*

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน ksc	w/c โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตใช้สารกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.8	0.71

ตารางที่ 7 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรหินในสภาพแห้งอัดแน่น ต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่า Fineness Modulus ของทรายต่างๆ			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 " (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 " (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 " (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 " (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 "(40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2 " (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 " (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6 " (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบหาความข้นเหลวของคอนกรีต ใช้กันทั่วไปทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ วิธีนี้ทำได้ง่ายและเครื่องมือที่ใช้ก็ทำได้มากยากนัก ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่วัดได้สำหรับคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมเดียวกันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ค่าการยุบตัวของคอนกรีตยิ่งน้อย กำลังของคอนกรีตที่ได้ยิ่งสูงขึ้น สำหรับคอนกรีตที่มีก้อนหินหรือกรวดขนาดโตกว่า 2 นิ้ว อยู่มาก การวัดหาค่าการยุบตัวโดยวิธีนี้จะไม่ได้ผลถูกต้องเพราะจะเทียบกันไม่ได้

การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต เป็นกาทดสอบหาความข้นเหลว (Consistency) วิธีหนึ่ง โดยวัดค่าการกระจายของคอนกรีตที่ได้จากการกระจายของคอนกรีตที่ได้จากการใช้โต๊ะการไหลแผ่มาตรฐาน ซึ่งถูกยกให้ขึ้นและปล่อยให้ตกลงเป็นระยะ 12.7 มม. (½ ") โดยจะต้องยกขึ้น-ลง เป็นจำนวน 15 ครั้ง ภายใน 15 วินาที ทำให้คอนกรีตแผ่กระจายไปรอบด้าน ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต เป็นเปอร์เซ็นต์ คำนวณได้จาก

$$Flow(\%) = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100$$

โดยที่ D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออกโดยเฉลี่ย, ซม.

D_0 = เส้นผ่าศูนย์กลางเดิมขงคอนกรีตที่ฐาน มีค่าเท่ากับ 25.4 ซม.

ค่าการไหลแผ่ (Flow) มีความสัมพันธ์กับค่าการยุบตัว (Slump) อย่างกว้าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างทำการไหลแผ่และค่าการยุบตัว

ความข้นเหลว	Slump Test (ซม.)	Flow Test (%)	Compacting Factor
แห้ง Dry	0 - 2.5	0 - 20	0.75 - 0.80
กระด้าง Stiff	2.5 - 5.0	15 - 60	0.80 - 0.87
ปานกลาง Medium	5.0 - 10.0	50 - 100	0.87 - 0.95
เปียก Wet	10.0 - 20.0	90 - 120	0.95 -0.95
เหลว Sloopy	20.0 - 25.0	110 - 150	0.95 - 1.00

วิธีทดสอบ

- การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test of Concrete)

1. นำกรวยเหล็กสำหรับวัดการยุบตัว (Slump Cone) มาทำให้เปียกชื้นเสียก่อน แล้วนำไปวางบนแผ่นเหล็ก โดยเอาปลายตัดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าให้อยู่ด้านล่างยึดกรวยเหล็กให้แน่นโดยเอาเท้าทั้งสองข้างเหยียบที่เหยียบไว้
2. นำคอนกรีตที่ต้องการทดสอบหาค่าการยุบตัวเทลงไปในกรวยเหล็กให้ได้ปริมาตรประมาณ 1/3 ของปริมาตรของกรวยเหล็ก (ขั้นแรกจะสูงประมาณ 67 มม. แล้วกระทุ้งให้ลึกถึงแผ่นเหล็ก จำนวน 25 ครั้ง
3. เติมคอนกรีตลงไปในกรวยเหล็กอีกประมาณ 1/3 ของปริมาตร (เติมให้สูงถึงระดับประมาณ 255 มม.) แล้วกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุ้งถึงผิวบนของคอนกรีตชั้นแรกเท่านั้น
4. เติมคอนกรีตลงไปในกรวยเหล็กอีกจนล้น แล้วกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง โดยให้ปลายเหล็กกระทุ้งถึงผิวบนของคอนกรีตชั้นที่สองเท่านั้น หากระดับของคอนกรีตต่ำกว่ากรวยเหล็กในระหว่างกระทุ้ง ให้เติมคอนกรีตให้เต็มอยู่เสมอ
5. ปาดคอนกรีตที่ผิวบนของกรวยเหล็กโดยใช้ส่วนยาวของเหล็กกระทุ้งค่อย ๆ หมุนเลื่อนไปจนผิวเรียบ
6. ยกกรวยเหล็กขึ้นในแนวดิ่งอย่างระมัดระวังและสม่ำเสมอโดยใช้เวลาในการยกประมาณ 5-10 วินาที คอนกรีตจะยุบตัวลง
7. วัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต โดยวัดค่าความแตกต่างระหว่างความสูงของกรวยเหล็กและความสูงของคอนกรีตที่ยุบตัวลงไป (วัดที่แนวแกนตั้ง)

****หมายเหตุ**** ระยะเวลาในการทดสอบทั้งหมดตั้งแต่เริ่มใส่คอนกรีตจนกระทั่งยกกรวยเหล็กออกควรอยู่ในระยะเวลา 2 ½ นาที

- การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต (Flow Test of Concrete)

1. ก่อนจะทำการทดลอง ให้ราดน้ำลงบนจานของโต๊ะการไหลแผ่มาตรฐาน พร้อมทั้งทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ออกให้หมด เอาฟองน้ำซับน้ำที่เหลือบนจานให้หมด
2. วางแบบรูปกรวยตัดให้ตั้งบนกลางจานของโต๊ะ การไหลแผ่มาตรฐาน โดยให้ปลายตัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าตั้งอยู่ด้านบน บรรจุตอรกรีตที่เพิ่งผสมเสร็จใหม่ ๆ ลงในกรวยประมาณ ½ ของปริมาตรทั้งหมด แล้วกระทุ้งให้ทั่ว 25 ครั้ง หลังจากนั้นก็เติมคอนกรีตให้เต็มและกระทุ้งแบบเดียวกันอีก 25 ครั้ง
3. ปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบด้วยเกรียง คอนกรีตที่เกินออกมาจากแบรูปกรวยตัดให้นำออกจากจานให้หมด ทำความสาดบริเวณจานรอบ ๆ แบบรูปกรวยตัดให้สะอาด
4. จากนั้นค่อย ๆ ยกกรวยออก คอนกรีตจะยุบตัวลงเล็กน้อย แล้วหมุนที่หมุนให้โต๊ะการไหลแผ่มาตรฐานให้ขึ้นและปล่อยให้ตกลงเป็นระยะ 12.7 มม. โดยจะต้องยกขึ้น-ลง เป็นจำนวน 15 ครั้ง ภายใน 15 วินาที ด้วยอัตราที่สม่ำเสมอทำให้คอนกรีตสดแผ่กระจายออกไปรอบด้าน วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออกโดยเฉลี่ยจำนวน 6 ครั้ง
5. คำนวณหาค่าการไหลแผ่

ข้อมูลและผลการทดลอง

CE215 Structural Materials and Testing Slump Test **- การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต -**		
ชื่อ	รหัส	กลุ่ม
ปฏิภาคส่วนผสม ..... : ..... :		
ชนิดของซีเมนต์		โมดูลัสความละเอียด ..... ขนาดที่ใหญ่ที่สุด .....
ชนิดและแหล่งของมวลรวมละเอียด		
ชนิดและแหล่งของมวลรวมหยาบ		
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์		
น้ำหนักปูนซีเมนต์, กก.		
น้ำหนักมวลรวมละเอียด, กก.		
น้ำหนักมวลรวมหยาบ, กก.		
น้ำหนักน้ำ, กก.		
การทดลองครั้งที่	ค่าการยุบตัว, (cm)	ค่าการยุบตัวโดยเฉลี่ย, (cm)
1		
2		
3		
รวม		
หมายเหตุ		

ข้อมูลและผลการทดลอง

CE215 Structural Materials and Testing
Test flow of the concrete
- การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต -

ชื่อ รหัส กลุ่ม

ปฏิภาคส่วนผสม ..... : ..... : .....

ชนิดของซีเมนต์		
ชนิดและแหล่งของมวลรวมละเอียด		โมดูลัสความละเอียด
ชนิดและแหล่งของมวลรวมหยาบ		.....
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์		
น้ำหนักปูนซีเมนต์, กก.		
น้ำหนักมวลรวมละเอียด, กก.		ขนาดที่ใหญ่ที่สุด
น้ำหนักมวลรวมหยาบ, กก.		.....
น้ำหนักน้ำ, กก.		

การทดลองครั้งที่	**เส้นผ่านศูนย์กลางที่กระจาย (cm)**	**ค่าการไหลแผ่ (cm)**	**ค่าการไหลแผ่เฉลี่ย (cm)**
1			
2			
3			
รวม			

หมายเหตุ

Hardened Concrete Properties

คุณสมบัติคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว
และการทดสอบกำลังประลัยคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
Hardened Concrete Properties
and Ultimate test Reinforced Concrete Beams

คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มีหลายประการแต่ในการทดสอบนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติที่เป็นส่วนสำคัญที่สุดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว คือ กำลังของคอนกรีต (Strength) โดยจะทำการทดสอบ 3 ส่วนคือ ค่ากำลังอัด ค่ากำลังดึงแยก กำลังดัดและพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ภาวะประลัย ซึ่งแต่ละการทดสอบใช้วัสดุตัวอย่างดังต่อไปนี้

การทดสอบกำลังอัด : ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน 6 ตัวอย่าง และชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 ซม. สูง 15 ซม. จำนวน 6 ตัวอย่าง

การทดสอบกำลังดึงแยก : ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน 6 ตัวอย่าง

กำลังดัดและพฤติกรรมของคาน : คานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 12 x 24 ซม. ยาว 200ซม. จำนวน 2 ตัวอย่าง

การทดสอบที่ 7
การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต
(Test for Compressive strength of Concrete)

บทนำ

กำลังอัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดของคอนกรีต เนื่องจากการออกแบบคอนกรีตส่วนมากมักจะออกแบบให้คอนกรีตรับเฉพาะแรงอัดอย่างเดียว ถึงแม้ว่าคอนกรีตจะรับแรงดึงได้บ้างก็มักจะไม่นำมาคิด ในองค์อาคารส่วนที่ต้องรับแรงดึงมักจะให้เหล็กเสริมรับแรงส่วนนี้ไป

ทฤษฎี

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปฏิภาคส่วนผสม (โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์) อายุ การบ่ม และอื่น ๆ เนื่องจากวิวัฒนาการทางวิชาการของคอนกรีตได้พัฒนาไปมาก จึงทำให้ในปัจจุบันนี้สามารถผลิตคอนกรีตที่กำลังอัดถึง 700 กก./ซม.^{2} หรือสูงกว่าได้

กำลังอัดของคอนกรีต, f_C หมายถึงกำลังอัดที่ได้จากการทดสอบแท่งตัวอย่างมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน ในบางครั้งแท่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. ก็มักนิยมใช้ในการก่อสร้างแต่กำลังอัดของรูปลูกบาศก์จะสูงกว่ากำลังอัดของรูปทรงกระบอกมาตรฐานซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$f_C = \frac{P_u}{A}$$

โดยที่ f_C = ความต้านทานแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, กก./ซม.^{2}

P_u = น้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบรับได้, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ,:ซม.^{2}

และคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างจากสูตร

$$W_C = \frac{W}{V}$$

โดยที่ W_C = ความแน่นของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, กก./ม.^{3}

W = น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, กก.

V = ปริมาตรของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, ม.^{3}

ในการออกแบบองค์อาคาร ค.ส.ล. การกำหนดใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเป็นสิ่งสำคัญ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงขีดความสามารถของผู้รับเหมาก่อสร้างด้วยว่า จะมีความสามารถผลิตคอนกรีตคุณภาพนั้น ๆ ได้หรือไม่ โดยปรกติผู้ออกแบบจะกำหนดกำลังอัดของคอนกรีตสำหรับก่อสร้างจริงให้สูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คำนวณออกแบบประมาณ 15 - 25 % เนื่องจากกำลังของคอนกรีตในที่ก่อสร้างย่อมต่ำกว่ากำลังของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดของชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกและชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 31 , C 39 , C 192

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน 6 ตัวอย่าง (ทดสอบที่อายุ 7และ28 วัน)

1. ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 ซม. สูง 15 ซม.จำนวน 6 ตัวอย่าง (ทดสอบที่อายุ 7และ28 วัน)
2. เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก
3. เวอร์เนียคาลิปเปอร์
4. เครื่องชั่งอีเลคโทรนิคส์ อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มม.

วิธีทดสอบ

1. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทดสอบ
2. ทำความสะอาดชิ้นตัวอย่างคอนกรีตและผิวแท่น (Bearing Faces) หรือผิวหน้ารับแรงกด
3. วางชิ้นตัวอย่างทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกดแล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นน้ำหนักกดให้สัมผัสกับชิ้นตัวอย่างทดสอบให้สนิท
4. เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่
5. ให้น้ำหนักกดบนชิ้นตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างทดสอบถึงจุดประลัยบันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบสามารถรับได้พร้อมทั้งบันทึกรูปลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างทดสอบนั้นด้วย
6. คำนวณหาความต้านแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบและคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ข้อมูลและผลการทดสอบ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชาวิศวกรรมโยธา** 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	**รายงานผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีต** ASTM C 39
ผู้ทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ
งานที่ทดสอบ	ผู้ร่วมการทดสอบ
สถานที่ทำการทดสอบ	เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ
ชนิดของก้อนตัวอย่าง จำนวน ตัวอย่าง	ขนาดโตสุดมวลรวมหยาบ
ชนิดของปูนซีเมนต์	W/C
ชนิดของมวลรวมละเอียด	อัตราส่วนผสม
ชนิดของมวลรวมหยาบ	อุณหภูมิขณะทดสอบ

ตัวอย่างที่	ชื่อตัวอย่างทดสอบ	วันหล่อตัวอย่าง	วันทดสอบ	อายุ	น้ำหนัก	ขนาดของก้อนตัวอย่าง				ค่าปรับแก้กำลังอัด	ความหนาแน่น	พื้นที่รับน้ำหนักกด	น้ำหนักกดประลัย	กำลังอัดประลัย	หมายเหตุ
						เส้นผ่าศูนย์กลาง	สูง	กว้าง	ยาว						
				(วัน)	(กก.)	(ซม.)	(ซม.)	(ซม.)	(ซม.)		(กก./ม.^{3})	(ซม.^{2})	(กก.)	(กก./ซม.^{2})	

การทดสอบที่ 8
การทดสอบหาค่ากำลังดึงแยกของคอนกรีต
Test for Splitting Tensile Strength of Concrete

บทนำ

กำลังดึงของคอนกรีต (Tensile Strength) โดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าต่ำมากประมาณ 7 - 11 % ของกำลังอัดเท่านั้น ดังนั้น ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไปแล้วมักจะไม่คิดแรงดึงในการคำนวณ อย่างไรก็ตาม ในโครงสร้างบางชนิดที่ไม่ต้องการให้คอนกรีตแตกร้าว เนื่องจากต้องการป้องกันน้ำซึม เช่น ถังน้ำ เขื่อน หรือในกรณีที่ไม่เสริมเหล็ก เช่น ถนน สนามบิน เป็นต้น จำเป็นต้องใช้กำลังดึงของคอนกรีตช่วยในการออกแบบ

ทฤษฎี

ในการทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตนั้น มักไม่นิยมใช้ทดสอบหาโดยตรง เนื่องจากความยุ่งยากในการทดสอบ และทำให้ได้ค่าไม่แน่นอนนัก ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบหากำลางดึงของคอนกรีตโดยทางอ้อม โดยการทำการทดสอบกำลังดัด (Flexural Strength) หรือการทดสอบหากำลังดึงแยก (Splitting Tensile strength)

ในการทดสอบแรงดึงแยกนั้น ทำการทดสอบได้โดยนำชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐาน เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. วางในแนวนอนในเครื่องทดสอบ แล้วกดด้วยแรงที่เป็นเส้น (Line Load) จนกระทั่งชิ้นตัวอย่างแยกออกจากกันเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 1 กำลังดึงแยกจากการทดสอบโดยวิธีนี้มีค่าประมาณ 8 - 14% ของกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งคำนวณได้จาก

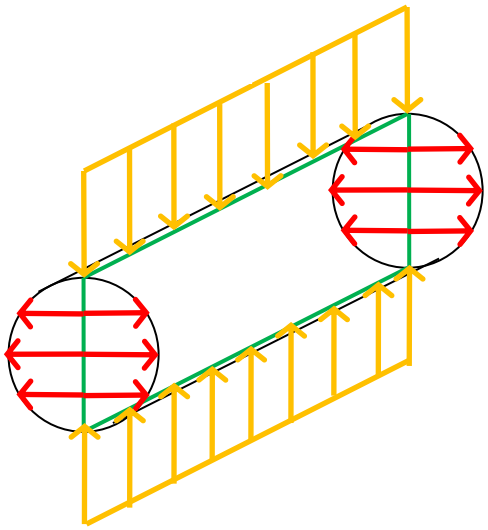
$$T = \frac{2P}{\pi l d}$$

เมื่อ T = กำลังดึงแยก, กก./ซม.^{2}

P = แรงกดสูงสุด, กก.

l = ความยาวของชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.



รูปที่ 1 รอยแตกในแนวตั้งฉากกับแรงดึงแยก

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังดึงแยก (Splitting Tensile strength) ของคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

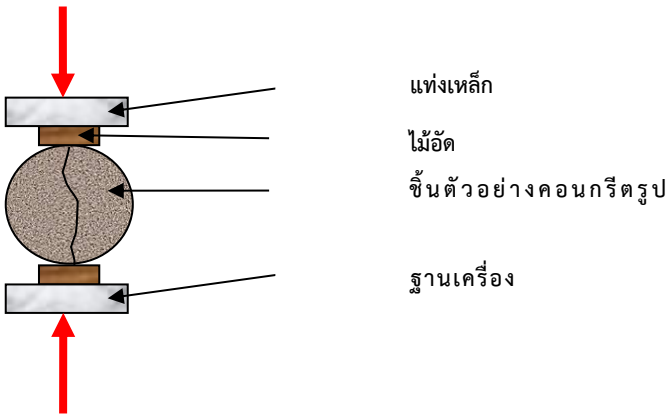
มาตรฐาน ASTM C 496, C 192

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. ชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน 6 ตัวอย่าง (ทดสอบที่อายุ 7และ 28 วัน)
2. ปากกาเคมี
3. เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก
4. เวอร์เนียคาลิปเปอร์
5. เครื่องชั่งอีเลคโทรนิคส์ อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มม.
6. ไม้อัด

วิธีทดสอบ

1. ให้ลากเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายของชิ้นตัวอย่างทดสอบคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานทั้งสองด้าน โดยให้เส้นทั้งสองนี้อยู่ในระนาบเดียวกัน
2. วัดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างทดสอบ ให้ละเอียดถึง 0.25 มม. โดยวัดที่ปลายทั้งสองข้างและที่กึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างทดสอบ
3. วัดความยาวเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างทดสอบ ให้ละเอียดถึง 2.5 มม. โดยวัดแนวระนาบทั้งสองด้านที่จะทดสอบ
4. ชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทดสอบให้ละเอียดถึง 1 กรัม
5. วางชิ้นตัวอย่างทดสอบให้ได้ศูนย์กลางบนแท่นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2
6. กดชิ้นตัวอย่างทดสอบอย่างช้า ๆ จนกระทั่งแตก (Failure) แล้วบันทึกแรงกดสูงสุด
7. วาดภาพลักษณะการแตกหักของชิ้นตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 2 การนำชิ้นตัวอย่างเข้าทำการทดสอบ

ข้อมูลและผลการทดสอบ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชาวิศวกรรมโยธา** 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	**การทดสอบหาค่ากำลังดึงแยกของคอนกรีต**
ผู้ทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ .....
งานที่ทดสอบ	ผู้ร่วมการทดสอบ .....
สถานที่ทำการทดสอบ	เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ .....
ชนิดของก้อนตัวอย่าง ..... จำนวน ..... ตัวอย่าง	ขนาดโตสุดมวลรวมหยาบ .....
ชนิดของปูนซีเมนต์	W/C .....
ชนิดของมวลรวมละเอียด	อัตราส่วนผสม .....
ชนิดของมวลรวมหยาบ	อุณหภูมิขณะทดสอบ .....

ตัวอย่างที่	ชื่อตัวอย่างทดสอบ	วันหล่อตัวอย่าง	วันทดสอบ	อายุ	น้ำหนัก	ขนาดของก้อนตัวอย่าง		ค่าปรับแก้กำลังอัด	ความหนาแน่น	พื้นที่รับน้ำหนักกด	น้ำหนักกดประลัย	กำลังดึงแยก	หมายเหตุ
						เส้นผ่าศูนย์กลาง	สูง						
				(วัน)	(กก.)	(ซม.)	(ซม.)		(กก./ม.^{3})	(ซม.^{2})	(กก.)	(กก./ซม.^{2})	

การทดสอบที่ 9
การทดสอบหาค่ากำลังดัดและกำลังประลัยของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
Flexural Strength and Ultimate test of Reinforce Concrete

<u>บทนำ</u>

คานคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีพฤติกรรมอยู่ 2 แบบ คือ พฤติกรรมของคานรับแรงดัดและพฤติกรรมของคานรับแรงเฉือน ซึ่งการจะออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ถึงพฤติกรรมในแบบต่างๆของคานและรูปแบบการเสียหาย เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถให้รายละเอียดในการเสริมเหล็กแบบต่าง ๆได้อย่างถูกต้อง และตรงตามพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของคานคอนกรีต

<u>ทฤษฎี</u>

กำลังดึงของคอนกรีต (Tensile Strength) ในบางครั้งก็มีความสำคัญสำหรับการออกแบบงานคอนกรีตบางประเภท เช่น ถังน้ำ เขื่อน หรือพื้นถนน เป็นต้น อย่างไรก็ตามในอาคารหรือโครงสร้างทั่ว ๆ ไปแล้วมักจะไม่คิดแรงดึงของคอนกรีตในการออกแบบ

เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่เปราะ (Brittle) ดังนั้น กำลังดึงของคอนกรีตจะต่ำมากประมาณ 7 – 11 % ของกำลังอัดเท่านั้น การหากำลังดึงที่แท้จริงของคอนกรีตไม่นิยมทำการทดสอบเพราะทำได้ยากและได้ค่าไม่แน่นอน ส่วนมากมักทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตทางอ้อม โดยการทำทดสอบแรงดึงแยก (Splitting Tension) และการทดสอบกำลังดัด (Flexural Strength)

ในการทดสอบกำลังดัดซึ่งนิยมใช้ในงานถนนคอนกรีตนั้นทำได้โดยการทดสอบคานคอนกรีตล้วน ขนาดพื้นที่หน้าตัด 15 x 15 ซม. กำลังดัดที่ได้จากการทดลองนี้หมายถึงค่ากำลังสูงสุดหรือบางครั้งเรียกว่า “โมดูลัสแตกหัก” (Modulus of Rupture) ซึ่งหาได้จาก

$$R = \frac{Mc}{I}$$

โดยที่ R = กำลังดัด, กก./ซม.^{2}

M = ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่หน้าตัด, กก.- ซม.

I = โมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัด, ซม.^{4}

c = ระยะจากแนวสะเทินถึงผิวคานที่ไกลที่สุด, ซม.

โดยทั่ว ๆ ไปค่ากำลังดัดของคอนกรีตล้วน จะมีค่าประมาณ 15 % ของกำลังอัด

<u>การคำนวณ</u>

ถ้ารอยแตกอยู่บริเวณส่วนกลางของสามส่วนของความยาวช่วง ให้คำนวณค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ดังนี้

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

โดยที่ R = โมดูลัสแตกหัก, กก./ซม.^{2}

P = แรงกดสูงสุด, กก.

L = ช่วงของคาน, ซม.

b = ความกว้างเฉลี่ยของแท่งทดสอบที่รอยแตก, ซม.

d = ความลึกเฉลี่ยของแท่งทดสอบที่รอยแตก, ซม.

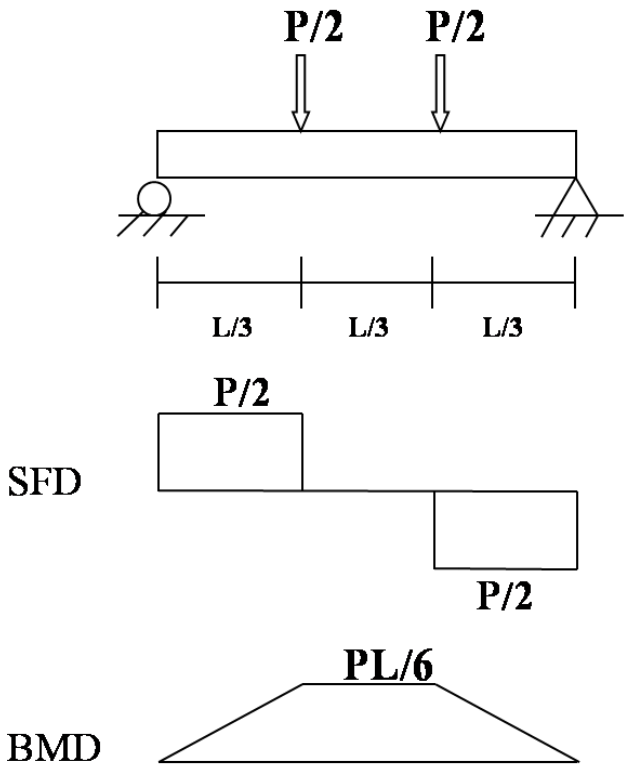
****หมายเหตุ** :** น้ำหนักของคานไม่ได้นำไปคิดในการคำนวณ

ถ้ารอยแตกเกิดขึ้นนอกส่วนกลางของสามส่วนของความยาวช่วงไม่เกินร้อยละ 5 ของความยาวช่วง ให้คำนวณค่าโมดูลัสแตกหักดังนี้

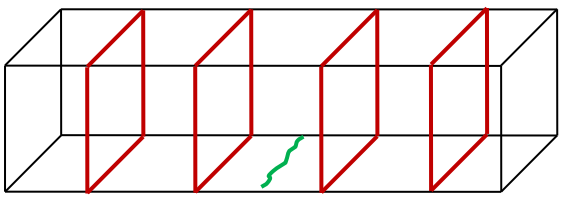
$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

โดยที่ a = ระยะระหว่างรอยแตกและที่รองรับ (Support) ที่ใกล้ที่สุด โดยวัดที่ผิวล่างของคาน, ซม.

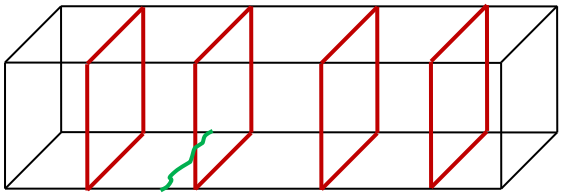
ถ้ารอยแตกเกิดขึ้นนอกส่วนกลางของสามส่วนของความยาวช่วงเกินกว่าร้อยละ 5 ของความยาวช่วง ให้ถือว่าการทดลองนี้ใช้ไม่ได้



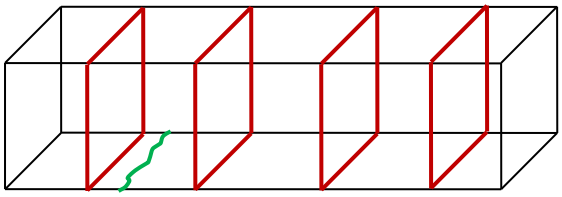
รูปที่ 1 shear force and bending moment diagram



รูปที่ 2 รอยแตกเกิดขึ้นที่ส่วนกลางของคานคอนกรีต



รูปที่ 3 รอยแตกเกิดขึ้นนอกส่วนกลางแต่ไม่เกิน 5% จากส่วนกลางของคานคอนกรีต



รูปที่ 4 รอยแตกเกิดขึ้นนอกส่วนกลางและเกิน 5% จากส่วนกลางของคานคอนกรีต

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาค่ากำลังดัดและพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีแรงกระทำที่ระยะ 1/3 ของความยาวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 78 , C 192

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

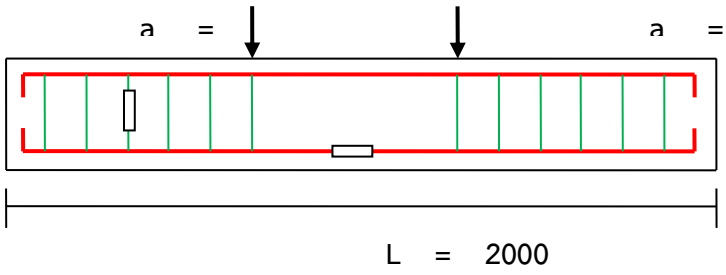
1. คานคอนกรีตหน้าตัดขนาด 12 x 24 ซม. ยาว 200 ซม. จำนวน 2 ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 5
2. เครื่องทดสอบทดสอบทั่วไป (Universal Testing Machine)
3. อุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดัดของคาน ทีมีแรงกระทำที่ระยะ 1/3 ของความยาวของคาน
4. เครื่องวัดระยะการแอ่นตัว
5. เครื่องวัดระยะความเครียด
6. เครื่อง Data logger

วิธีทดสอบ

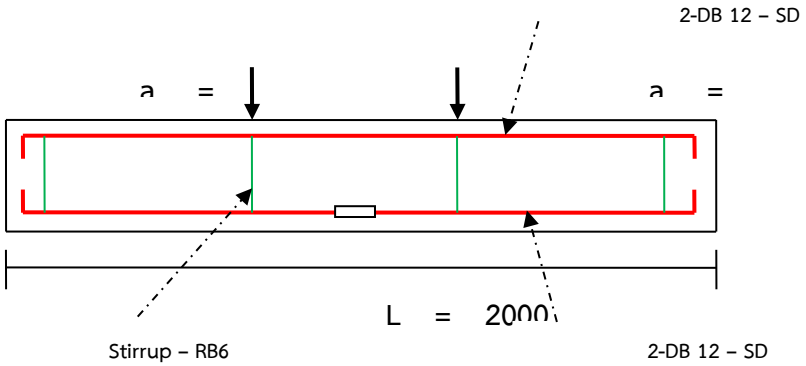
1. วัดความกว้างเฉลี่ย ความลึกเฉลี่ย และความยาวเฉลี่ย ของตัวอย่างทดสอบที่กึ่งกลาง ให้ละเอียดถึง 1 มม.
2. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทดสอสบให้ละเอียดถึง 1 กรัม
3. วางแท่งทดสอบให้ได้ศูนย์กลางบนแท่งทดสอบ โดยให้ด้านเรียบทั้งสองด้านอยู่ด้านบน และด้านล่าง
4. เชื่อมต่อสายวัดความเครียดเข้ากับ Data logger
5. ให้น้ำหนักกดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พร้อมสังเกตรอยแตกร้าวที่ปรากฏและทำการวาดรอยแตกที่เกิดขึ้นและน้ำหนักที่ทำให้เกิดรอยแตก

6. จดบันทึกค่าของแรงกด ความเครียดและระยะการแอ่นตัว ทุกครั้งที่ค่าแรงกดเพิ่มขึ้น 200 กก.
7. อ่านค่าแรงกดสูงสุดที่ ตัวอย่างทดสอบไม่สามารถรับแรงกดได้เพิ่มอีก
8. ให้บันทึกแรงกดสูงสุด และนำไปคำนวณหาค่าต่างๆ

ตัวอย่างคานที่ใช้ทดสอบให้วิกฤตเนื่องจากแรงดัด



ตัวอย่างคานที่ใช้ทดสอบให้วิกฤตเนื่องจากแรงเฉือน



▭ Strain

รูปที่ 5 ตัวอย่างคานคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

<u>ข้อมูลและผลการทดสอบ</u>

<table>
<tr><td colspan="2">คณะวิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376</td><td colspan="2">รายงานผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีต
ASTM C 39</td></tr>
<tr><td>ผู้ทดสอบ</td><td></td><td>วันที่ทำการทดสอบ</td><td></td></tr>
<tr><td>งานที่ทดสอบ</td><td></td><td>ผู้ร่วมการทดสอบ</td><td></td></tr>
<tr><td>สถานที่ทดสอบ</td><td></td><td>เครื่องที่ใช้ทดสอบ</td><td></td></tr>
<tr><td>ตัวอย่างที่</td><td>หนัก</td><td>ขนาดหินโตสุด</td><td></td></tr>
<tr><td>ขนาด กxยxล</td><td></td><td>W/C</td><td></td></tr>
<tr><td>ช่วง, L</td><td>เมตร</td><td>อัตราส่วนผสม</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>อุณหภูมิขณะทดสอบ</td><td></td></tr>
</table>

ลำดับ	แรงกระทำ		ความเครียด		ระยะแอ่นตัว	หมายเหตุ
	P	M_{max}	G1	G2		

แรงกดที่จุดแตกหัก, กก.	
โมดูลัสแตกหัก, R กก./ซม.^{2}	

Steel Properties

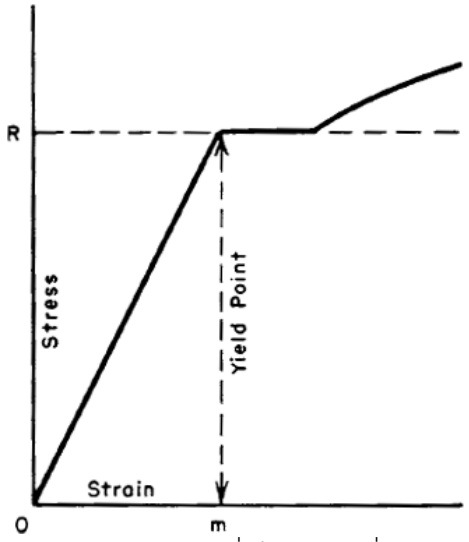
การทดสอบที่ 10
การทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึงของเหล็ก
Tension Test of Steel

บทนำ

เหล็กเสริม (rebar) ใช้เสริมคอนกรีตในตำแหน่งที่เกิดแรงดึงเพื่อให้คอนกรีตรับแรงได้มากขึ้น ซึ่งจะเรียกรวมว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก(คสล.) เหล็กเสริมที่ใช้จะมีอยู่ 2 ประเภทหลัก คือ เหล็กเส้นกลม (plain round bar - RB) และ เหล็กข้ออ้อย (deformed bar - DB)

ทฤษฎี

จุดคราก (yield point) คือ จุดที่ความเค้นของวัสดุมีค่าน้อยกว่า หรือคงที่เมื่อ ความเครียดในวัสดุเพิ่มขึ้น ดังแสดงในแผนผังความเค้น- ความเครียด



รูปที่ 1 กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงถึงจุดครากที่เป็นจุดหักเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นขณะที่ความเค้นคงที่ (ที่มา : ASTM A370 หน้า 9)

กำลังคราก (yield strength) คือ ความเค้นที่จุดเริ่มต้นของการเกิดพฤติกรรมไม่ยืดหยุ่น สำหรับวัสดุเหนียวถ้าทดสอบในลักษณะที่เหมาะเจาะ จะหาจุดครากสูงและจุดครากต่ำได้ ในกรณีที่วัสดุค่อยๆ คราก เมื่อความเค้นเลยพิกัดการเป็นสัดส่วน จุดครากสังเกตได้ยาก มักจะกำหนดเป็นค่าความเค้นที่ทำให้เกิดการครากค่าหนึ่ง (0.1% หรือ 0.2% ของความเครียด) แล้วคำนวณหาโดยวิธีกำหนดระยะห่าง

วิธีกำหนดระยะห่าง หรือ วิธีออฟเซ็ต (offset method) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยกำหนดระยะที่ต้องการออฟเซ็ตตามแกน x (ความเครียด) เช่น 0.2%หรือเท่ากับ 0.002 หลังจากนั้นให้ลากเส้นขนานกับเส้น OA โดยเริ่มที่จุดดังกล่าว และเมื่อไปตัดกราฟที่จุด r กำลังครากของวัสดุชิ้นนี้คือ R

กำลังประลัย (ultimate tensile strength) คือ ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุรับได้ ในทางปฏิบัติเป็นความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในตัวอย่างในระหว่างที่รับแรงดึงไปจนถึงตัวอย่างแตกแยก คำนวณจากแรงสูงสุดหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น

การยืดตัว (elongation) ให้นำชิ้นส่วนของตัวอย่างทดสอบที่แยกขาดออกจากกันมาต่อกันให้สนิท หลังจากนั้นวัดระยะระหว่างระยะพิกัด(gauge length) ที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ ระยะยืดคือความยาวที่เพิ่มขึ้นของระยะพิกัด

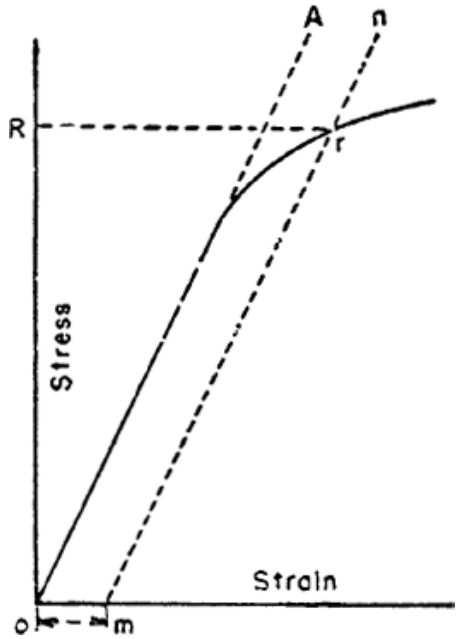
พื้นที่หน้าตัดที่ลดลง ให้นำชิ้นส่วนของตัวอย่างทดสอบที่แยกขาดออกจากกันมาต่อกันให้สนิท และวัดระยะเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของบริเวณหน้าตัดที่เล็กที่สุด ส่วนต่างระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่คอดเทียบกับหน้าตัดเดิม คือสัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดที่ลดลงแสดงในรูปแบบของร้อยละ

พิกัดสัดส่วน (proportional limit) ขอบเขตที่ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้และสัดส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดยังคงเป็นเส้นตรง

ความแข็งเกร็ง (stiffness) ความสามารถในการต้านการเปลี่ยนรูปของวัสดุภายใต้แรงกระทำ วัดได้ด้วยอัตราการเปลี่ยนความเค้นเทียบ

สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงความเครียด วัสดุที่แข็งเกร็งจะเปลี่ยนรูปน้อยกว่าที่แรงมากระทำเท่ากัน โดยค่าที่ใช้ในการวัดจะเรียกว่า มอดูลัสของยัง (Young's modulus) หรือใช้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity)

มอดูลัสคืนตัว (modulus of resilience) คือพลังงานที่วัสดุสะสมไว้ในช่วงการยืดหยุ่น (elastic) คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟความเค้น-ความเครียดในช่วงพิกัดสัดส่วน ซึ่งจะเป็นพื้นที่สามเหลี่ยม



รูปที่ 2 กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงถึงกำลังครากโดยใช้วิธีกำหนดระยะห่าง
(ที่มา : ASTM A370 หน้า 9)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบกำลังดึงของเหล็กเหนียว (ductile steel)
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) และ
3. ความเครียด (strain)
4. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ รวมทั้งรูปแบบของรอยขาด

เอกสารอ้างอิง

มอก. 20-2543 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กเส้นกลม

มอก. 24-2548 เหล็กเส้นเสริมคอนกรี : เหล็กข้ออ้อย

มอก. 244 เล่ม 4-2525 - การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า เล่ม 4 การทดสอบเหล็กกล้าโดยการดึง (ทั่วไป)

ASTM A 370 (11) – Standard Test Methods and

Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

วัสดุทดสอบ

- เหล็กเส้นกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. (RB 12) 1 เส้น
- เหล็กข้ออ้อย เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. (DB 12) 1 เส้น

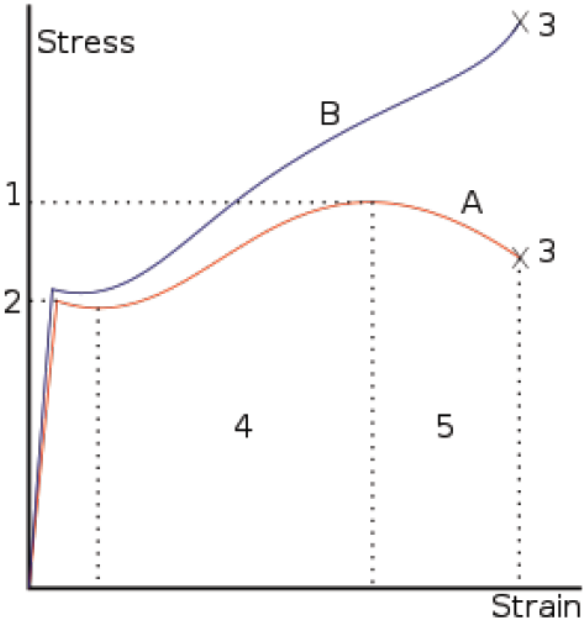
เครื่องมือ

1. เครื่องทดสอบแบบยูนิเวอร์แซล (universal testing machine)
2. ไดอัลเกจ (dial gauge)
3. เวอร์เนีย (vernier caliper)
4. ตลับเมตร
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. แท่นและเหล็กตอกนำศูนย์

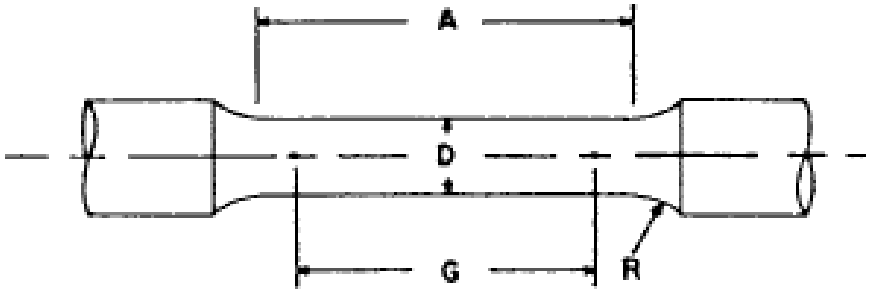
วิธีทดสอบ

1. นำเหล็กตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก
2. วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กตัวอย่างด้วยเวอร์เนีย
    - เหล็กกลม – ให้วัดตัวอย่างอย่างน้อย 2 ครั้ง ตั้งฉากซึ่งกันและกันแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
    - เหล็กข้ออ้อย – หาเส้นผ่าศูนย์กลางโดยการคำนวณจากค่าน้ำหนักและปริมาตรของเหล็ก โดยให้ใช้ค่าความหนาแน่น 7.85 กรัม/ลบ.ซม. เนื่องจากเหล็กข้ออ้อยมีคีบและบั้ง ที่ทำให้วัดค่าทำได้ไม่สะดวก
3. ตอกทำรอยบนเส้นเหล็กโดยใช้เหล็กนำศูนย์บริเวณกึ่งกลางของเส้นเหล็ก โดยตอกให้ลึกพอประมาณเข้าไปในเนื้อเหล็ก
4. ตอกทำรอยเพิ่มเติมโดยให้ระยะห่างออกจากจุดกึ่งกลางเป็นระยะ 30 มม. (5D/2) ออกมาข้างละ 4 จุด ตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีรอยเครื่องหมายทั้งหมด 9 จุด ในช่วงความยาว 240 มม. หลังจากนั้นใช้ชอล์กทำรอยบนเครื่องหมายเพื่อให้เด่นชัดขึ้น
5. นำตัวอย่างเข้าไปติดตั้งในเครื่องทดสอบ โดยหันด้านที่มีเครื่องหมายออกมาด้านนอก และให้แน่ใจว่าได้ยึดปลายทั้งสองข้างของเหล็กตัวอย่างไว้แน่น
6. ติดตั้งไดอัลเกจ สำหรับวัดระยะยืดตัวของเหล็ก
7. ภายหลังเดินเครื่องทดสอบ โดยอ่านค่าแรงดึงจากเครื่องทดสอบทุกๆ ค่าที่ไดอัลเกจวัดเพิ่มขึ้นทุก 0.02 มม. จนกระทั่งการยืดตัวถึงจุดคราก
8. เมื่อถึงจุดคราก (โดยสังเกตจากแรงกระทำมีค่าคงที่ หรือลดลง)ให้บันทึกแรงในช่วงนั้น
9. หลังจากจุดคราก ให้ปรับความเร็วของเครื่องทดสอบให้เร็วขึ้นและอ่านค่าแรงดึงจากเครื่องทดสอบ ทุกๆ ค่าที่ไดอัลเกจวัดค่าเพิ่มขึ้นทุก 1 มม. (หมุนได้ 1 รอบ) จนกระทั่งเหล็กขาด และบันทึกค่าแรงดึงสูงสุด
10. นำเหล็กส่วนที่ขาดทั้งสองส่วนออกจากเครื่องทดสอบ และนำมาวางต่อกันให้แนบสนิทในแนวเส้นตรง

11. วัดความยาวระหว่างระยะเกจ (ความยาวเดิม 240 มม.) และคำนวณส่วนยืด
12. วัดความยาวระหว่างระยะเกจของช่วงที่ขาด ในระยะ 60 มม.และคำนวณส่วนยืด



ภาพที่ 3 - กราฟความเค้น-ความเครียด
(ที่มา : ASTM A370 หน้า 9)
1 กำลังประลัย
2 กำลังคราก
3 rupture
4 strain hardening region,
5 necking region
A ความเค้นปรากฏ, B ความเค้นจริง



ภาพที่ 4 – ตัวอย่างวัสดุทดสอบ
(ที่มา : ASTM A370 หน้า 6)
G = ระยะพิกัด (gauge length)
D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายหลังจากการทดสอบ
A = ความยาวของช่วงหน้าตัดที่คอดลง

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	การทดสอบคุณสมบัติ การรับแรงดึงของเหล็กเส้น
ผู้ทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ .....
งานที่ทดสอบ	ผู้ร่วมการทดสอบ .....
สถานที่ทดสอบ	เครื่องที่ใช้ทดสอบ .....
ผู้ทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ .....

ค่ามาตรฐานของเหล็กเส้นกลมตาม มอก. 20-2543		**ค่ามาตรฐานของเหล็กข้ออ้อยตาม มอก. 24-2548**	
ประเภท	เหล็กเส้นกลม	ประเภท	เหล็กข้ออ้อย
ชั้นคุณภาพ	SR 24	ชั้นคุณภาพ	SD 30
ความต้านแรงดึง		ความต้านแรงดึง	
ความต้านแรงดึงที่จุดคลาก		ความต้านแรงดึงที่จุดคลาก	
ความยืด		ความยืด	

	เหล็กเส้นกลม RB12 SR24		เหล็กข้ออ้อย DB12 SD30	
	ข้อมูลจากการทดสอบ	ข้อมูลอ้างอิง[1]	ข้อมูลจากการทดสอบ	ข้อมูลอ้างอิง[2]
1. เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่าง				
2. พื้นที่หน้าตัด				
3. ระยะพิกัด (gauge length)				
4. ระยะระหว่างหัวจับ (grip length)				
5. ความเค้น (stress) ที่ proportional limit				
6. ความเค้นที่ upper yield point				
7. ความเค้นที่ lower yield point				
8. ความเค้นที่ offset 0.2% yield point				
9. กำลังคราก (yield strength)				
10. ultimate tensile strength				
11. modulus of elasticity				
12. modulus of resilience				
13. ร้อยละการยืดตัว				
14. ร้อยละการลดตัวของพื้นที่หน้าตัด				

1. มอก. 20-2543 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม
2. มอก. 24-2548 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย

ตัวอย่างที่ 1			
แรงดึง	ส่วนยืด (มม.)	ความเค้น (ksc)	ความเครียด

ตัวอย่างที่ 2			
แรงดึง	ส่วนยืด (มม.)	ความเค้น (ksc)	ความเครียด

การทดสอบที่ 11
การทดสอบแรงเฉือนเหล็กด้วยแรงบิด
Torsional Shear Test of Steel

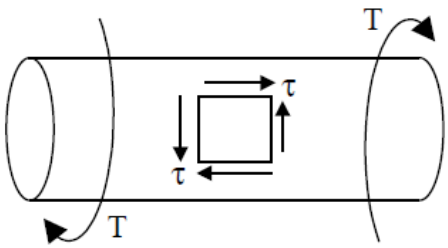
ทฤษฎี

ความเค้นเฉือน (shear stress) ใช้สัญลักษณ์ τ /เทา/ คือ ความเค้นที่ เกิดขึ้นเมื่อแรงที่กระทำอยู่ในระนาบเดียวกับพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ

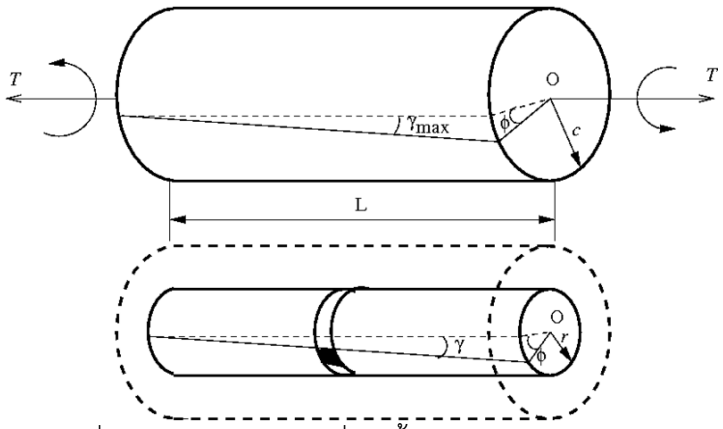
ความเครียดเฉือน (shear strain) ใช้สัญลักษณ์ γ /แกมมา/ คือ มุม องศาที่เปลี่ยนไปเทียบกับแนวระนาบเดิม

โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (polar moment of inertia) คือ โมเมนต์ ความเฉื่อยที่แสดงถึงคุณสมบัติในการต้านทานแรงบิด

โมดูลัสของแรงเฉือน (shear modulus) หรือ **โมดูลัสของความคงรูป (modulus of rigidity)** คือ อัตราส่วนระหว่าง ความเค้นเฉือน กับ ความเครียดเฉือน



รูปที่ 1 ทิศทางของแรง และความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2 ความเครียดเฉือนที่เกิดขึ้น ภายหลังจากมีการบิด

การคำนวณ

หน่วยแรงเฉือนเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงจากศูนย์กลางแกนบิดไปสู่ค่าสูงตรงขอบนอกสุดของแท่งทรงกระบอกกลมและเปลี่ยนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมุมบิด โดยรวมหน่วยแรงตลอดพื้นที่ภาคตัดขวางจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนตรงขอบนอกสุดของแท่งทรงกระบอกกลมกับแรงบิดที่ใช้ดังนี้

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

τ ความเค้นเฉือน (shear stress)

T โมเมนต์บิด (torsinal moment) (กก.–ซม.)

r รัศมีขอบนอกของแท่งทรงกระบอกกลม (ซม.)

J polar moment of inertia (ซม.^{4})

$$\varphi = \frac{r\theta}{L}$$

ϕ - ความเครียดเฉือน (เรเดียน)

r - รัศมีขอบนอกของแท่งทรงกระบอกกลม (ซม.)

L - ช่วงระยะของความยาวที่วัดมุมบิด (ซม.)

ภายในขอบเขตของการยืดหยุ่นหลักฐานทั้งหมดบ่งว่าความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแกนบิด และความสัมพันธ์โดยประมาณอย่างคร่าวๆว่า การเป็นสัดส่วนนี้ยังปรากฏเป็นจริงนอกเหนือขอบเขตของการเป็นสัดส่วน

ความสัมพันธ์นี้เรียกว่าสูตรแรงบิด และสามารถนำไปใช้กับรูปหน้าตัดที่เป็นรูปวงกลมเท่านั้น โมดูลัสของความคงรูปสามารถแสดงอยู่ในรูปแรงบิดและมุมบิดได้ โดยคำนวณค่าโมดูลัส (G) จากสัดส่วนของความเค้นเฉือน และความเครียดเฉือน จะได้สมการ

$$G = \frac{TL}{J\theta}$$

กำลังเฉือนยืดหยุ่นของเหล็กเหนียวและเหล็กค่อนข้างเหนียวมีค่าใกล้กับ 0.6 เท่าของกำลังดึงยืดหยุ่น ในการทดสอบด้วยแรงบิดค่า ductility หาได้โดยเปรียบเทียบความยาวสุดท้ายของเส้นนอกสุด L เมื่อตัวอย่างขาดแล้ว ความยากแรกเริ่ม L ความยาว L สามารถคำนวณจากระยะ L และ r ซึ่งหาค่าได้ ค่า ductility แสดงไว้ในรูปเปอร์เซ็นต์การยืดของเส้นขอบนอกสุดของทรงกระบอกกลม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเหล็กเหนียวภายใต้แรงบิดและหา คุณสมบัติในการรับแรงบิด

เอกสารอ้างอิง

เจษฎา เกษมเศรษฐ์, เอกสารประกอบการสอน CE 311 Structural Materials and Testing, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มานพ แก้วโมราเจริญ, เอกสารประกอบการสอน CE 311 Structural Materials and Testing, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.

สุเทพ นิ่มนวล, เอกสารประกอบการสอน CE 311 Structural Materials and Testing, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.

วัสดุทดสอบ

เหล็กกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม.

เครื่องมือ

1. เครื่องมือทดสอบแรงบิด (torsion testing machine) ใช้ตุ้มน้ำหนักเต็ม
    - เมื่อใช้มือหมุนควรอ่านค่าทุกๆ 200 กก. – ซม.
    - เมื่อใช้มอเตอร์หมุนควรอ่านทุกๆ 100 กก. – ซม.
2. ไมโครมิเตอร์

วิธีทดสอบ

1. วัดเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กเส้นกลมใกล้จุดกึ่งกลางความยาว หลายๆครั้งด้วยไมโครมิเตอร์ หาเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของ ตัวอย่าง
2. ทำเครื่องหมายจุดที่วัดมุมบิดไว้ 2 จุดพร้องทั้งวัดระยะห่าง ระหว่างจุกสองจุดนั้น บันทึกค่ามุมที่อ่านได้ละเอียดสุดบนจาน วัดมุมบิดเอาน้ำหนักแขวนตุ้มถ่วงตามแรงบิดที่ต้องการใช้
3. ปรับเข็มเครื่องวัดแรงบิดให้ตรงขีดศูนย์ สอดปรายตัวอย่างเหล็ก เส้นเข้ากับปลายกับข้างที่อยู่ติดตัวกับเครื่องบิด ให้ปรายจับ จุดที่ทำเครื่องหมายไว้และขยับตัวอย่างเหล็กเส้นให้แกนเหล็ก ตัวอย่างอยู่ตรงกลางแกนหมุน เลื่อนปลายจับตัวอย่างเหล็กอีก ข้างหนึ่งเข้ามาจับตัวอย่างเหล็กตรงจุดที่ทำเครื่องหมายไว้อีก ข้างหนึ่งค่อยๆไขสกรูจับตัวอย่างเหล็กให้แน่นเกิดแรงบิดขึ้นใน เหล็กตัวอย่าง ปรับเข็มบนจานหน้าปัทม์เพื่อให้แรงบิดเป็นเป็น ศูนย์ก่อนเริ่มทดสอบ
4. ยืนท่อซึ่งติดกับปลายบิดข้างถ่วงตุ้มน้ำหนักไปแตะกับจานซึ่งติด ปลายดัชนีทางปลายบิดด้านติดตายกับตัวเครื่องบิดและหมุน จานองศาให้ขีดบอกศูนย์องศาอยู่ตรงปลายดัชนีพอดี
5. ค่อยๆใช้มือหมุนพวงมาลัยมือหมุนบิดปลายเหล็กเส้นอย่างช้าๆ อ่านค่ารงบิดและหมุนไปเรื่อยๆ หลังจากบิดจนตัวอย่างเหล็ก เส้นคราก (สังเกตได้ว่ามุมบิดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในขณะที่แรงบิด เกือบจะไม่เพิ่มขึ้นเลย) ถอดพวงมาลัยมือหมุนออกแล้วรีบกดสวิทซ์ที่เครื่องเพื่อให้เครื่องหมุนด้วยไฟฟ้า บิดเหล็กตัวอย่างไวกว่าเดิมจนกระทั่งตัวอย่างเหล็กขาด บันทึกแรงบิดสูงสุดพร้อม ทั้งสังเกตลักษณะการขาดของเหล็กเส้นตัวอย่าง

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	การทดสอบแรงเฉือนเหล็กด้วยแรงบิด
ผู้ทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ .....
งานที่ทดสอบ	ผู้ร่วมการทดสอบ .....
สถานที่ทดสอบ	เครื่องที่ใช้ทดสอบ .....
ผู้ทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ .....

ค่ามาตรฐานของตัวอย่างที่ 1		**ค่ามาตรฐานของตัวอย่างที่ 2**	
ประเภท		ประเภท	
ชั้นคุณภาพ		ชั้นคุณภาพ	
ความต้านแรงดึง		ความต้านแรงดึง	
ความต้านแรงดึงที่จุดคลาก		ความต้านแรงดึงที่จุดคลาก	
ความยืด		ความยืด	

	ตัวอย่างที่ 1		**ตัวอย่างที่ 2**	
	ข้อมูลจากการทดสอบ	ข้อมูลอ้างอิง[1]	ข้อมูลจากการทดสอบ	ข้อมูลอ้างอิง[2]
1. เส้นผ่าศูนย์กลางระบุ				
2. เส้นผ่าศูนย์กลางจริง				
3. ช่วงระยะความยาวที่วัดมุมบิด				
4. polar moment of inertia				
5. มุมบิดสูงสุด				
6. แรงบิด ที่ proportional limit				
7. แรงบิดที่ offset 0.2%				
8. หน่วยแรงเฉือนที่ proportional limit				
9. กำลังคลากที่ offset 0.2%				
10. Modulus of Rigidity				
11. Shearing Modulus of Rupture				
12. ค่า 0.6 E				
13. พลังงานที่ได้รับโดยเฉลี่ยต่อ หนึ่งหน่วยปริมาตรที่ขอบเขตของการเป็นสัดส่วน				
14. ร้อยละการยืดของเส้นขอบนอกสุดของเหล็กเส้นกลมที่จุดวิบัติ				
15. กำลังดึงซึ่งน่าจะเป็นไปได้ที่ขอบเขตของการเป็นสัดส่วน				

1. มอก. 20-2543 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม 2. มอก. 24-2548 เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย

ตัวอย่างที่ 1			
แรงบิด (กก.-ซม.)	มุมบิด (องศา)	มุมบิด (เรเดียน)	มุมบิด/ระยะ (เรเดียน/ซม.)

ตัวอย่างที่ 2			
แรงบิด (กก.-ซม.)	มุมบิด (องศา)	มุมบิด (เรเดียน)	มุมบิด/ระยะ (เรเดียน/ซม.)

Steel Beam Tests

การทดสอบที่ 12
การทดสอบแรงดัดคานเหล็ก
Flexural Test of Steel Beam

<u>บทนำ</u>

การหาคำตอบสำหรับค่าความเค้นและความเครียดตามแนวแกนคาน (normal stress and strain) เนื่องจากการดัดของคานนั้น ไม่สามารถที่จะหาได้โดยสมการสมดุลของแรงเพียงอย่างเดียว แต่หากต้องนำสมการการเปลี่ยนรูปร่าง (geometry of deformation) และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (equation relating stress and strain (โดยค่า Young's modulus)) มาร่วมพิจารณาด้วย

การหาคำตอบจะเริ่มจาก

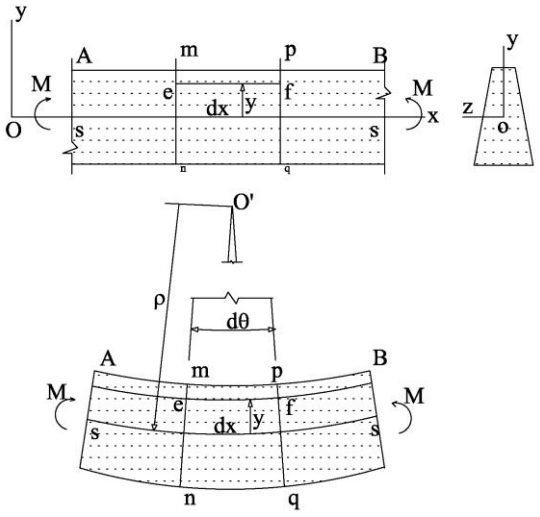
1. การพิจารณาการเปลี่ยนรูปร่าง (geometry of deformation) ภายใต้แรงดัด ซึ่งจะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น
2. จากสมการในขั้นตอน (1) เราสามารถเปลี่ยนค่าความเค้น เป็นความเครียดได้โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด
3. สุดท้าย จะทำการพิจารณาสมการสมดุลของแรงเพื่อหาขนาดของแรงและโมเมนต์จากค่าความเค้นที่กระจายตลอดหน้าตัด

สมมติฐานที่สำคัญ

1. ระนาบตรงหน้าตัดคานยังคงรูประนาบตรงแม้หน้าตัดจะถูกดัดให้หมุนเอียงก็ตาม
2. ภายใต้แรงดัด คานจะดัดเป็นรูปโค้งส่วนหนึ่งของวงกลม
3. ค่า Young's modulus สำหรับวัสดุมีค่าเท่ากันทั้งส่วน tension และ compression

สมการการเปลี่ยนรูปร่าง

พิจารณาส่วนคาน dx ภายใต้แรงดัด M เป็นโค้งส่วนหนึ่งของวงกลม มีจุดศูนย์กลางที่จุด O' และรัศมีโค้ง ρ ในรูปที่ 1 จากสมมติฐาน (1) กล่าวได้ว่า men และ pfq ยังคงเป็นระนาบตรงภายหลังการดัด แนวเส้น ss มีความยาวไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งเรียกว่าแนวแกนสะเทิน (neutral axis) ในบริเวณส่วนบนเหนือแกนสะเทิน เช่น แนว mp และ ef จะเกิดการหดเข้า และส่วนใต้แกนสะเทินเช่น แนว nq จะเกิดการยืดออก



รูปที่ 1: การเปลี่ยนรูปคานเนื่องจากแรงดัด

จากรูปที่ 1 สามารถสร้างสมการการดัดโค้ง ได้ดังนี้

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \qquad (1)$$

โดยที่ $\frac{1}{\rho}$ คือ Curvature และ y คือ ระยะจากแนวแกนสะเทินมีค่าเป็นบวกในทิศขึ้น จากรูปที่ 1 ค่าความเครียดตามแนว ef สามารถคำนวณได้จาก

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta L}{L} = \frac{ef - dx}{dx} = \frac{(\rho - y).d\theta - \rho.d\theta}{\rho.d\theta}$$

หรือ สามารถเขียนได้ในรูปของ

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{\rho} \qquad (2)$$

จากสมการข้างต้น กล่าวได้ว่า ค่าของความเครียดจะมีการกระจายเป็นเส้นตรง มีค่าเป็นศูนย์ที่แนวแกนสะเทิน (ค่า y=0) และมีค่าเป็นบวกมากที่สุด (tension) เมื่อค่า y เป็นค่าลบสูงสุด (ห่างจากแกนสะเทินไปทางด้านล่างไกลที่สุด) และมีค่าเป็นลบมากที่สุด (compression) เมื่อค่า y เป็นค่าบวกสูงสุด (ห่างจากแกนสะเทินไปทางด้านบนไกลที่สุด) และเมื่อพิจารณาที่สมการเพิ่มเติมจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะอิลาสติกหรือพลาสติกความเป็นเชิงเส้นหรือไร้เชิงเส้น ของชนิดวัสดุ

สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

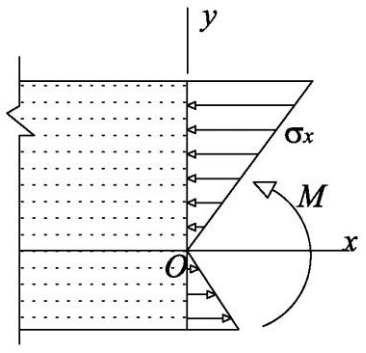
สำหรับวัสดุชนิดอิลาสติกในช่วงพิกัดยืดหยุ่นได้ สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}$$

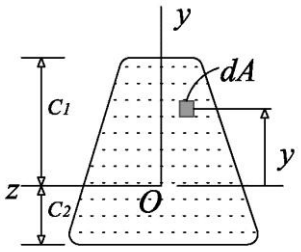
แทนค่าความเครียดจากสมการที่ (2) จะได้

$$\frac{\sigma_x}{E} = -\frac{y}{\rho} \qquad (3)$$

จากสมการที่ 3 ค่าความเค้นยังคงมีการกระจายในลักษณะเส้นตรงเช่นเดียวกับความเครียด (ตราบใดที่วัสดุยังคงเป็นชนิดอิลาสติกในช่วงพิกัดยืดหยุ่น) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2: การกระจายความเค้นบนหน้าตัด



รูปที่ 3: แรงบนพื้นที่ dAใด ๆ

สมการสมดุลของแรง

การกระจายของความเค้นบนหน้าตัดคาน ดังแสดงในสมการที่ (3) และรูปที่ 2 สามารถคำนวณหาแรงภายในได้โดยอาศัย สมการสมดุลของแรง ภายใต้แรงดัดเพียงอย่างเดียว (ไม่มีแรงอัด) ผลรวมของแรงตามแนวแกนจะต้องมีค่าเท่ากับ “ศูนย์”

ดังแสดงในรูปที่ 3 สำหรับพื้นที่ dA ใด ๆ ค่าความเค้นมีค่าσ_xซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดของแรงบนพื้นที่ได้ คือ

$$dF_x = \sigma_x.dA$$

ดังนั้น ขนาดของแรงบนพื้นที่ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ

$$F_x = \int_A \sigma_x.dA$$

จากค่าหน่วยแรงในสมการที่ (3)

$$F_x = -\frac{E}{\rho}\int_A y.dA = 0$$

เนื่องจากค่า E/ρ ต้องไม่เท่ากับ “ศูนย์” ดังนั้น $\int_A y.dA = 0$ ซึ่งก็คือ สมการโมเมนต์ของพื้นที่สำหรับการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางพื้นที่ (แกน x) และเป็นตำแหน่งของแนวแกนสะเทิน สำหรับสมดุลของโมเมนต์ บนพื้นที่ dx ใด ๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

$dM = y.dF_x$ และสำหรับสมดุลของโมเมนต์ บนพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด คือ

$$M = \int_A y.\sigma_x.dA = -\frac{E}{\rho}\int_A y^2.dA$$

และเรียกเทอม $-\frac{E}{\rho}\int_A y^2.dA$ ว่าโมเมนต์ที่สองของพื้นที่ (the 2nd moment of area) รอบแกนสะเทิน หรือค่า I ดังนั้น

$$\frac{M}{I} = -\frac{E}{\rho} \qquad (4)$$

จากสมการที่ (4) เมื่อทราบค่าโมเมนต์ที่กระทำ จะสามารถคำนวณหารัศมีความโค้งของคานได้ และจากสมการที่ (3) และ (4) จะได้

$$\frac{M}{I} = -\frac{\sigma_x}{y} \qquad (5)$$

เรียกสมการที่ (5) ว่า สมการหน่วยแรงดัด (Flexural stress formula)

สมการการดัด (The Bending Relationship)

จากสมการที่ (3), (4)และ (5)สามารถนำมารวมกันได้ ดังนี้

$$\frac{M}{I} = -\frac{\sigma}{y} = -\frac{E}{\rho} \qquad (6)$$

โดยที่:

M - applied bending moment, Nm

I - second moment of area, m^4

σ_x - normal stress, Nm^{-2}

y - distance from neutral axis to point in question, m

E - Young's modulus, Nm^{-2}

ρ - radius of curvature, m

เมื่อทำการหารสมการที่ (6) ด้วยค่า E จะได้

$$\frac{M}{EI} = -\frac{\varepsilon}{y} = -\frac{1}{\rho} \qquad (7)$$

จากสมการที่ (5)และ (6)จะเห็นว่า หน้าตัดใดๆ ที่มีค่า I มาก จะทำให้เกิดความเครียดและความเค้นน้อย

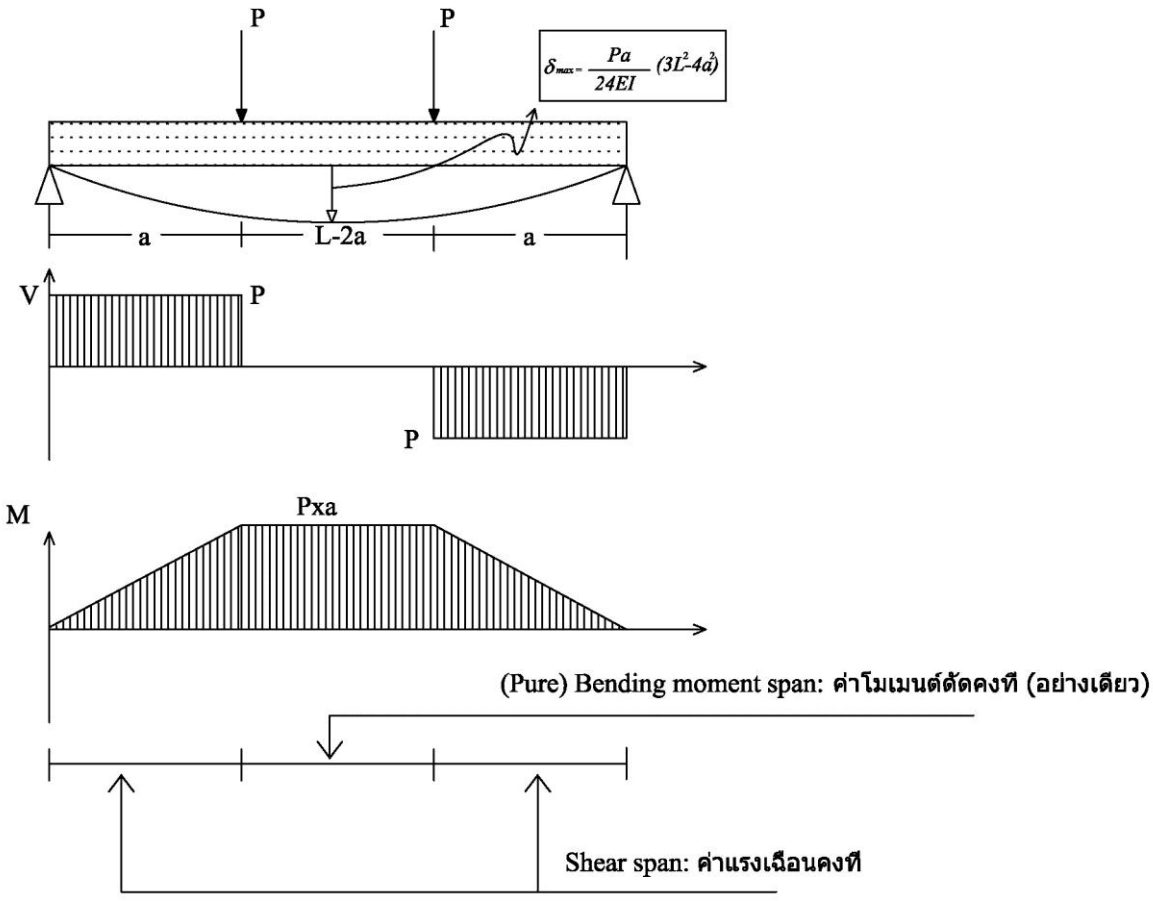
ระยะแอ่นตัวของคาน

จากสมการที่ (1) และ (4) จะได้

$$M = -EIy''$$

ในการคำนวณหาระยะแอ่นตัวเนื่องจากแรงดัด สามารถคำนวณหาได้โดยการแก้สมการ ดังกล่าวข้างต้น โดยสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ Double integration method หรือ Moment of area methodหรือ Conjugate beam method

สำหรับคานที่ รับแรงกระทำแบบจุด ดังแสดงในรูปที่ 4 สามารถหาสมการระยะแอ่นตัว y(x) ได้ดังนี้



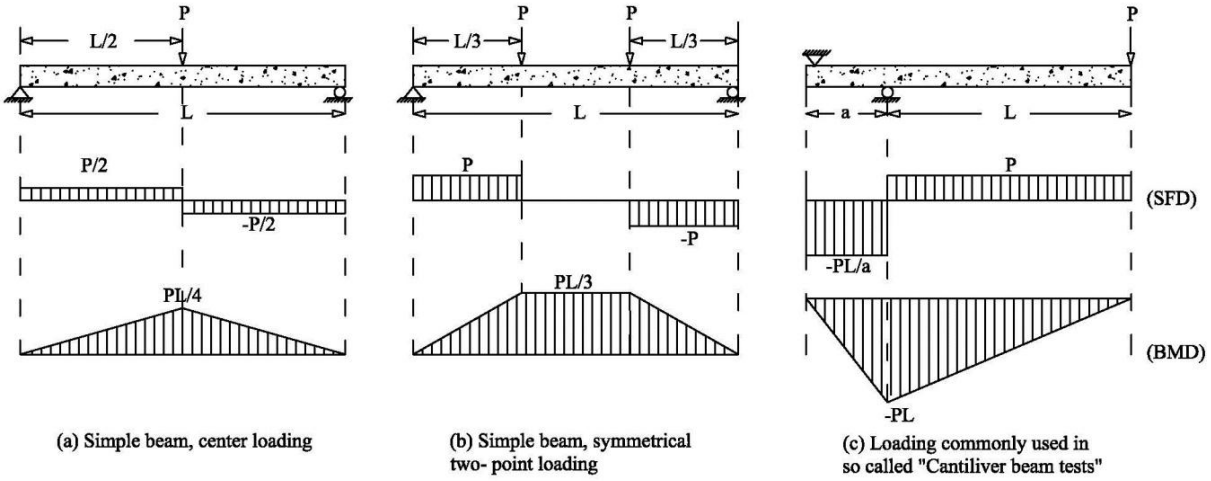
รูปที่ 4 ระยะแอ่นตัวอิลาสติก ไดอะแกรมแรงเฉือน และไดอะแกรมแรงดัด ของคานรับแรงกระทำแบบจุด 2 จุด

ทฤษฎี

การทดสอบแรงดัดกระทำเพื่อหาความแข็งแรงและความต้านทานต่อแรงดัดของคานเมื่อน้ำหนักกระทำอยู่ในรูปของ Transverse Loading ดังนั้นความแข็งแรงของวัสดุจึงหาได้โดยการทดสอบแรงดัดนี้ ค่า Modulus of elasticity ที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปคำนวณหาการยุบตัว (Deflection) ในช่วง elastic ของคาน ที่ทำจากวัสดุเดียวกันแต่มีขนาด รูปร่าง หรือน้ำหนักบรรทุกต่างกันได้ แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนเข้ามาเกี่ยวข้องอันเนื่องมาจาก

1. สมมติแรงเฉือนเป็นศูนย์ ซึ่งมีผลต่อคานที่สั้นและลึก
2. ส่วนเบี่ยงเบนจากความสัมพันธ์ระหว่าง Stress-Strain Curve ในช่วง elastic
3. วัสดุเป็น Heterogeneous Material

การทดสอบแรงดัดอาจทำได้หลายวิธีดังรูปที่ 1 แต่วิธี symmetrical two-point loading จะให้ค่าโมเมนต์ที่คงที่ บนช่วงกลางของคาน ดังแสดงในรูปที่ 1(b)



รูปที่ 1 การทดสอบแบบดัดแบบต่าง ๆ

การคำนวณ

- Modulus of Rupture , $R = \frac{M_{max}.c}{I}$

เมื่อ M_{max} = แรงดัดสูงสุดตรงกลางชิ้นวัสดุ เมื่อแรงกดกระทำสูงสุด (P_{max}), กก.-ซม.

L = ความยาวของช่วงบานรองรับ, ซม.

- Modulus of Elasticity

สำหรับวิธี Center Loading, $E = \frac{PL^3}{48I\Delta}$

สำหรับวิธี Two-Point Loading , $E = \frac{5PL^3}{144I\Delta}$

เมื่อ P = น้ำหนักกระทำที่ Elastic Limit, กก.

L = ระยะฐานรองรับ, ซม.

I = Moment of Inertia, ซม.^{4}

Δ = ระยะที่แอ่นตัวที่ elastic limit, ซม.

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเหล็กภายใต้แรงดัด และคำนวณกำลังและความแข็งของคานเหล็ก wide flange
2. เพื่อตรวจหาค่าความเครียดที่เกิดจากแรงกระทำแบบจุด 2 ตำแหน่ง (2-point loading)
3. เพื่อหาการกระจายของความเครียด (Strain) และความเค้น (Stress) เนื่องจากโมเมนต์ดัด
4. เพื่อคำนวณหาทิศทางหลักของความเครียด และความเค้น

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM A 370

วัสดุตัวอย่าง

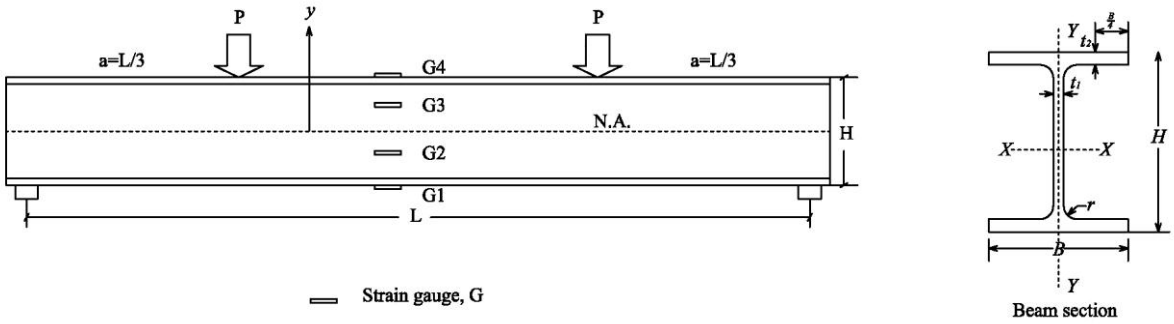
1. Plate-type Specimen ขนาด 9.5 x 38 mm. จำนวน 2 ตัวอย่าง
2. Wide flange ขนาด 100 x 50 จำนวน 1 ตัวอย่าง

เครื่องมือ

1. เครื่องมือทดสอบ Universal Testing Machine และเกจวัดขนาดแรง
2. เกจวัดระยะแอ่นตัว
3. เกจวัดความเครียด
4. เครื่อง Data logger

วิธีการทดสอบ

1. วัดขนาดของคานเหล็กและคำนวณหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของหน้าตัด
2. คำนวณหาขนาดของแรงที่ทำให้คานเกิดการครากที่จัดแรก (Py) และคำนวณหาน้ำหนักทดสอบ (Ptest) โดยให้มีค่าเท่ากับ 0.5Py (เพื่อไม่ให้หน่วยแรงเกินพิกัดยืดหยุ่น)
3. ติดตั้งเครื่องวัดความเครียด (Strain gauge) ในตำแหน่งที่เกิดค่าโมเมนต์มากที่สุด ที่แนวที่ไกลจากแนวแกนสะเทินมากที่สุด ที่ระยะ (y+) และ (y-) จำนวน 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 1
4. จัดตัวอย่างคานบนเครื่องทดสอบการให้น้ำหนัก และติดตั้งเครื่องวัดระยะแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน (รูปที่ 1)
5. แบ่งช่วงการทดสอบออกเป็น 10 ช่วง แรงกระทำ (load control) พร้อมบันทึกค่าการวัด
    - 5.1 ขนาดแรงกระทำ
    - 5.2 ค่าระยะแอ่นตัว
    - 5.3 ค่าความเครียด
6. นำค่าที่ได้ไปคำนวณ และเขียนรายงานผลการทดสอบที่ได้
    - 6.1 การกระจายของความเครียดและความเค้นบนหน้าตัด
    - 6.2 ค่าYoung's modulus ที่คำนวณได้จาก ความสัมพันธ์ของระยะแอ่นตัวและแรงกระทำ
    - 6.3 ค่าYoung's modulus ที่คำนวณได้จาก ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดและค่าความโค้ง



รูปที่ 1การติดตั้งคานทดสอบ

<u>การรายงานผล</u>

1. ไดอะแกรมแสดงการกระจายของความเครียดและความเค้นตามแนวแกนบนหน้าตัดที่น้ำหนักทดสอบ $0.5P_{test}$ และที่น้ำหนักทดสอบสูงสุด (P_{test})
2. กราฟความสัมพันธ์ของระยะแอ่นตัวและแรงกระทำที่วัดได้ เทียบกับที่คำนวณได้
3. กราฟความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดและค่าความโค้งที่วัดได้ เทียบกับที่คำนวณได้

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	CE215 Structural Materials and Testing Flexure Test of Steel Analysis การทดสอบแรงดัดของเหล็ก	ASTM A 370 S1 Part 2 แผ่นที่ /

ผู้ทดสอบ _____

รหัสนักศึกษา _____

กลุ่ม _____

1. วันที่ทดสอบ:

2.หน้าตัดคาน	Sectional Dimension					Sectional	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
	H	B	t_1	t_2	r	Area	I_x	I_y	I_x	I_y	Z_x	Z_y
	mm	mm	mm	mm	mm	cm^2	cm^4	cm^4	mm	mm	cm^3	cm^3

ข้อมูลการทดสอบ

1. Py ที่คำนวณ _____
2. Ptest = 0.5Py _____
3. Modulus of Rupture, ksc. _____
4. Modulus of Elasticity, ksc. _____

3. ระยะช่วงพาด (L) _____

4. ระยะ shear span (a) _____

5. ตำแหน่ง strain gauges

y1= _____ mm. y3= _____ mm.

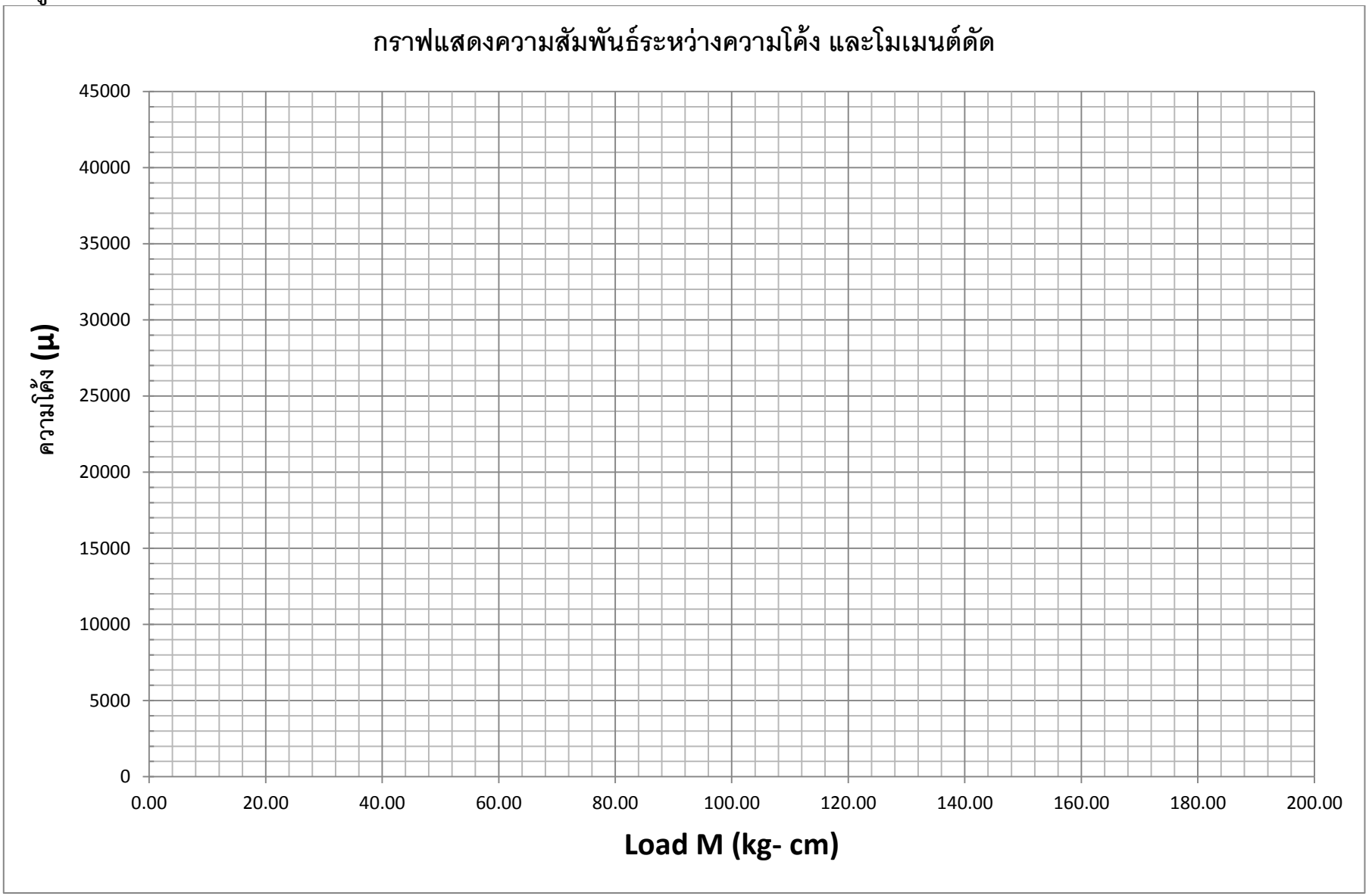
y2= _____ mm. y4= _____ mm.

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ลำดับ	แรงกระทำ		ความเครียด(ไมครอน, 10-6)				ระยะแอ่น	ความโค้ง(1/r), μ (คำนวณสมการ 2)				
	P (kg)	Mmax (kg.m)	G1	G2	G3	G4	(mm.)	$\frac{1}{\rho_1}=-\frac{\varepsilon_{x1}}{y_1}$	$\frac{1}{\rho_2}=-\frac{\varepsilon_{x2}}{y_2}$	$\frac{1}{\rho_3}=-\frac{\varepsilon_{x3}}{y_3}$	$\frac{1}{\rho_4}=-\frac{\varepsilon_{x4}}{y_4}$	เฉลี่ย
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ข้อมูลและผลการทดสอบ

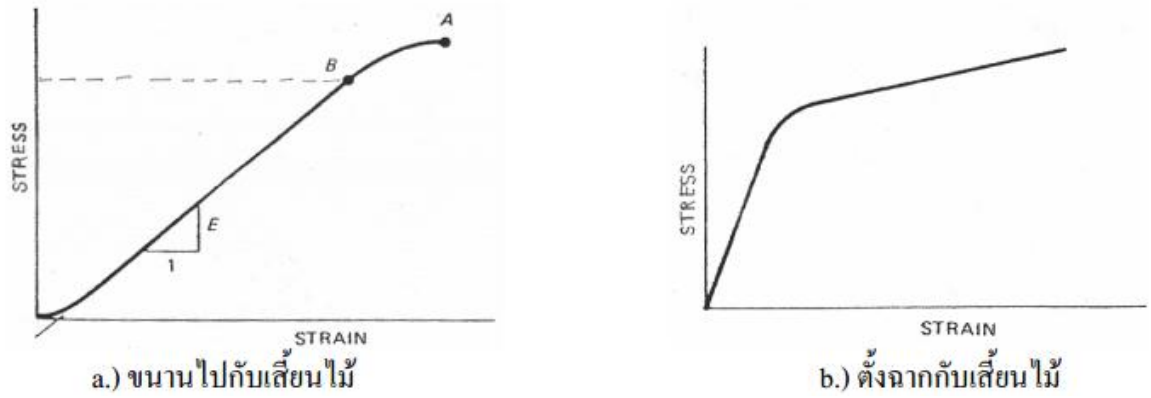


Wood Tests

การทดสอบที่ 13
การทดสอบกำลังอัดของไม้
Compression Test of Wood

<u>บทนำ</u>

ไม้เป็นวัสดุแบบ orthotropic material ซึ่งมีคุณสมบัติทางกล เช่น กำลัง(strength),โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity), และPoisson's ratio เป็นต้น ที่แตกต่างกันในแกนตั้งฉากหลัก3 แกนคือในแนวแกน(longitudinal) ของต้นไม ในแนวรัศมี(radial) ของหน้าตัดและในแนวเส้นสัมผัส(tangential) ของวงปี รูปแสดง compressive stress-strain diagram ของไม้ในแนวขนานเสี้ยนไม้และในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้ (ซึ่งไม้ได้อยู่บนscale เดียวกัน) เราจะเห็นได้ว่า ไม่มี stress-strain curve ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการทดสอบ เมื่อไม้ถูกแรงกดอัดในแนวขนานเสี้ยนไม้แล้วstress-strain curve จะมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงจนถึงจุดวิบัติ ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับวัสดุเปราะ แต่เมื่อไม้ถูกแรงกดอัดในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้แล้ว stress-strain curve จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับวัสดุเหนียว แต่ในทั้งสองกรณี ไม้ไม่มีจุดคราก (yielding point) ที่ชัดเจน ดังนั้นจุดproportional limit มักจะถูกใช้เป็นจุดที่กำหนดกำลังรับแรงในช่วงยืดหยุ่นของไม้(elastic strength)



รูปที่ 1 compressive stress-strain diagram ของไม้ในแนวขนานเสี้ยนไม้และในแนวตั้งฉากกับเสี้ยนไม้
ที่มา : สิทธิชัย แสงอาทิตย์,Material Testing 2545

<u>ทฤษฎีและการคำนวณ</u>

กำลังต้านทานแรงอัดของไม้ขนานกับแนวเสี้ยนไม้หาได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A}$$

P_{max} =เป็นแรงอัดสูงสุด

A =เป็นพื้นที่รับแรงอัด

กำลังต้านทานแรงอัดขนานและตั้งฉากกับแนวเสี้ยนไม้ที่ Proportional สามารถคำนวณจากกราฟแรงอัด – ระยะหดตัวของไม้ ตัวอย่างดังนี้

$$\sigma_p = \frac{P_P}{A}$$

โดยที่ σ_p = กำลังต้านทานแรงอัดของไม้ที่ Proportional Limit

P_P = แรงอัดที่ Proportional Limit

ยังโมดูลัสของไม้ในลักษณะการรับแรงอัดขนานและตั้งฉากกับแนวเสี้ยนไม้ หาได้ดังนี้

$$E = \frac{\Delta P \times L}{\Delta L \times A}$$

โดยที่ E = ยังโมดูลัสของไม้ในลักษณะการรับแรงอัด

ΔP = ช่วงความแรงอัดที่เพิ่มขึ้นในขอบเขตของการเป็นสัดส่วน

L = ความยาวของไม้ตัวอย่าง

ΔL = ช่วงระยะหดตัวของตัวอย่างภายใต้ช่วงการเปลี่ยนแปลงแรงอัด P

แบบการแตกหักภายใต้แรงอัด

1. การแตกหักโดยถูกบี้ (Crushing) การแตกหักแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อระนาบของระยะแตกเป็นระนาบราบโดยประมาณ
2. การแตกหักโดยปริเป็นรูปลิ่ม (Wedge Split) ทิศทางของรอยปริอาจจะอยู่ในแนวรัศมีหรือสัมผัสกับวงปี
3. การแตกหากโดยถูกเฉือน (Shearing) การแตกหักแบบนี้ ระนาบของรอยแตกทำมุมมากกว่า 45 องศา กับระนาบราบ
4. การแตกหักโดยปริออก (Splitting) ปกติเกิดขึ้นกับตัวอย่างที่มีรอยปริรอยร้าวตาไม้อยู่ภายในก่อนทดสอบ การแตกหักแบบนี้ใช้เป็นหลักสำหรับเลือกสรรตัวอย่าง
5. การแตกหักโดยถูกอัดและเฉือนขนานแนวเสี้ยน (Compression and Shearing Parallel to Grain) การแตกหักแบบนี้ปกติเกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีลายไขว้

การแตกหักโดยค่อย ๆ ถูกบี้ตรงปลายข้างใดข้างหนึ่ง (Brooming or End-Rolling) ปกติเกิดขึ้นควบคู่กับการตัดตัวอย่างไม่ดี หรือมีความชื้นมากบริเวณปลายขอบตัวอย่างหรือทั้งสองกรณีร่วมกัน การแตกหักแบบนี้มักจะทำให้ตัวอย่างรับแรงได้น้อย เป็นการแตกหักที่ใช้หากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างไม่ได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของไม้ภายใต้แรงอัดในแนวตั้งฉากและขนานกับแนวเสี้ยน
2. เพื่อศึกษาลักษณะการวิบัติของไม้ที่รับแรงอัดในแนวตั้งฉากและขนานกับแนวเสี้ยนไม้
3. เพื่อหาคุณสมบัติของไม้รับแรงอัดในแนวตั้งฉากและขนานกับแนวเสี้ยนไม้

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM D 143 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

วัสดุตัวอย่าง

1. ไม้ตัวอย่างมาตรฐาน 3 ชิ้น ขนาด 5 x 5 x 20 ซม. สำหรับทดสอบแรงอัดขนาดเสี้ยน
2. ไม้ตัวอย่างมาตรฐาน 3 ชิ้น ขนาด 5 x 5 x 15 ซม. สำหรับทดสอบแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

รูปที่ 2 ภาพแสดงลักษณะการวิบัติของไม้

ที่มา : ASTM D 143 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Vernier Caliper ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 มม. และมีความละเอียดในการวัดถึง 0.1 มม.
3. เกจวัดการเคลื่อนที่ (Dial Gauge)
4. เครื่องชั่งละเอียดถึง0.1 กรัม
5. ตลับเมตร

วิธีทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดถึง 0.1 กรัมและ 0.1 ซม. ตามลำดับ
2. ใส่ตัวอย่างไม้เข้ากับเครื่องมือทดสอบ
3. เริ่มทำการทดสอบโดยรักษาอัตราเร็วของหัวกดไม่ให้เกิน 0.003 ซม./ความยาวตัวอย่าง, ซม./นาที สำหรับการทดสอบแรงอัดขนานแนวเสี้ยน และไม่เกิน 0.3 มม./นาที สำหรับการทดสอบแรงอัดตั้งฉากกับแนวเสี้ยน
4. อ่านค่าน้ำหนักกับระยะหดของตัวอย่าง จนกระทั่งตัวอย่างเสียหาย
5. อ่านค่าน้ำหนักสูงสุด
6. สเก็ตแบบการแตกหักของตัวอย่าง

ข้อมูลและผลการทดสอบ

CE215 Structural Materials and Testing

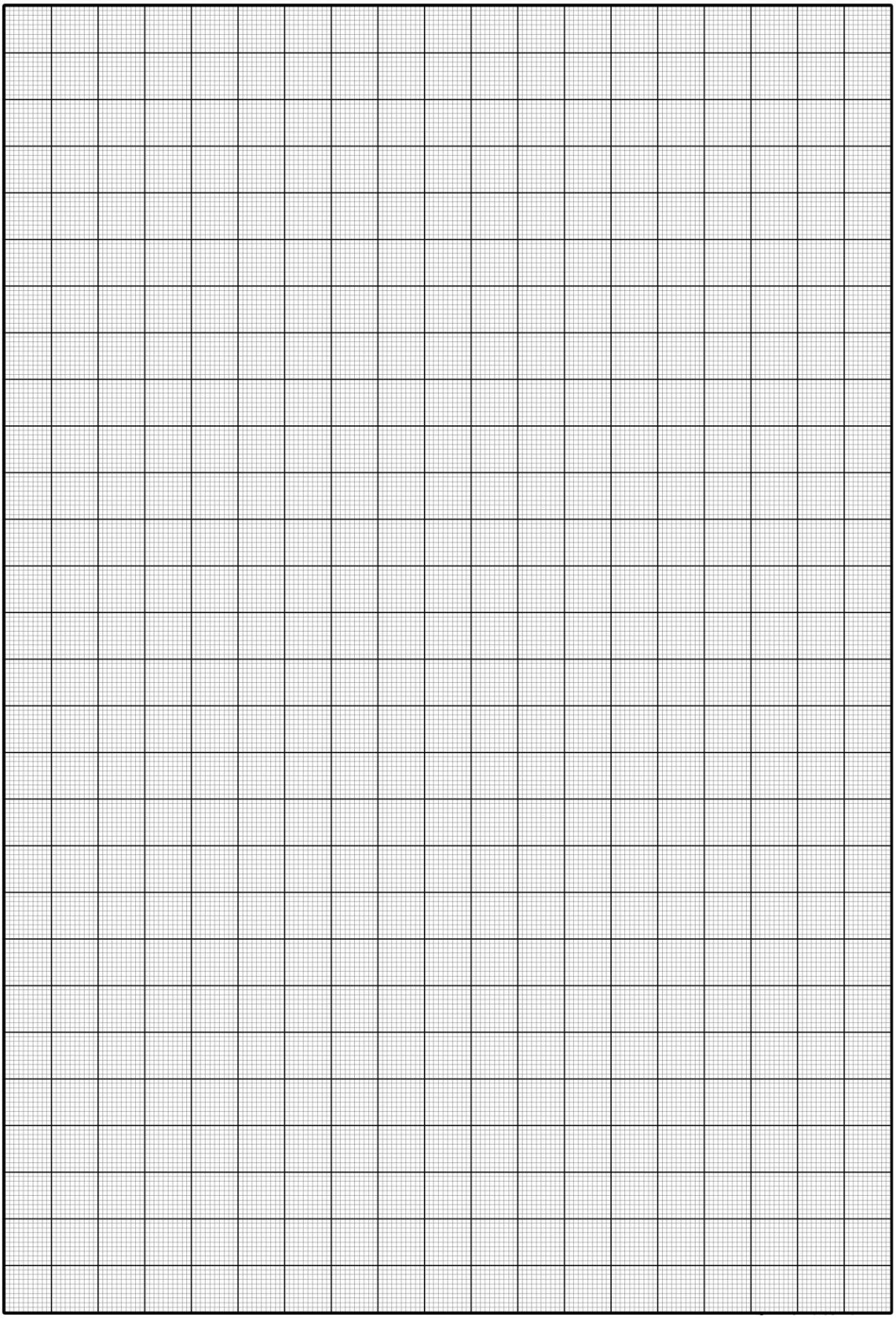
การทดสอบกำลังอัดของไม้

Compression Test of Wood

แบบขนานเสี้ยน

ชื่อ รหัส กลุ่ม

Data Monitor Determination:	Load (kg)	Deformation (mm)
Number of Specimen.....		
Type of Wood.....		
Width of Specimen.....cm.		
Depth of Specimen.....cm.		
Length of Specimen.....cm.		
Original Weigth.....gm.		
Oven Dry Weigth.....gm.		
Ultimate Load.....kg.		
Elastic Strength atP.L.....kg/cm		
Yield Strength at 0.05% offset.....kg/cm		
Ultimate Strength..... .....kg/cm		
Modulus of Elasticity,E.....kg/cm		
Moisture Content.....kg/cm		
Pattern of Failure.....		



ข้อมูลและผลการทดสอบ

CE215 Structural Materials and Testing

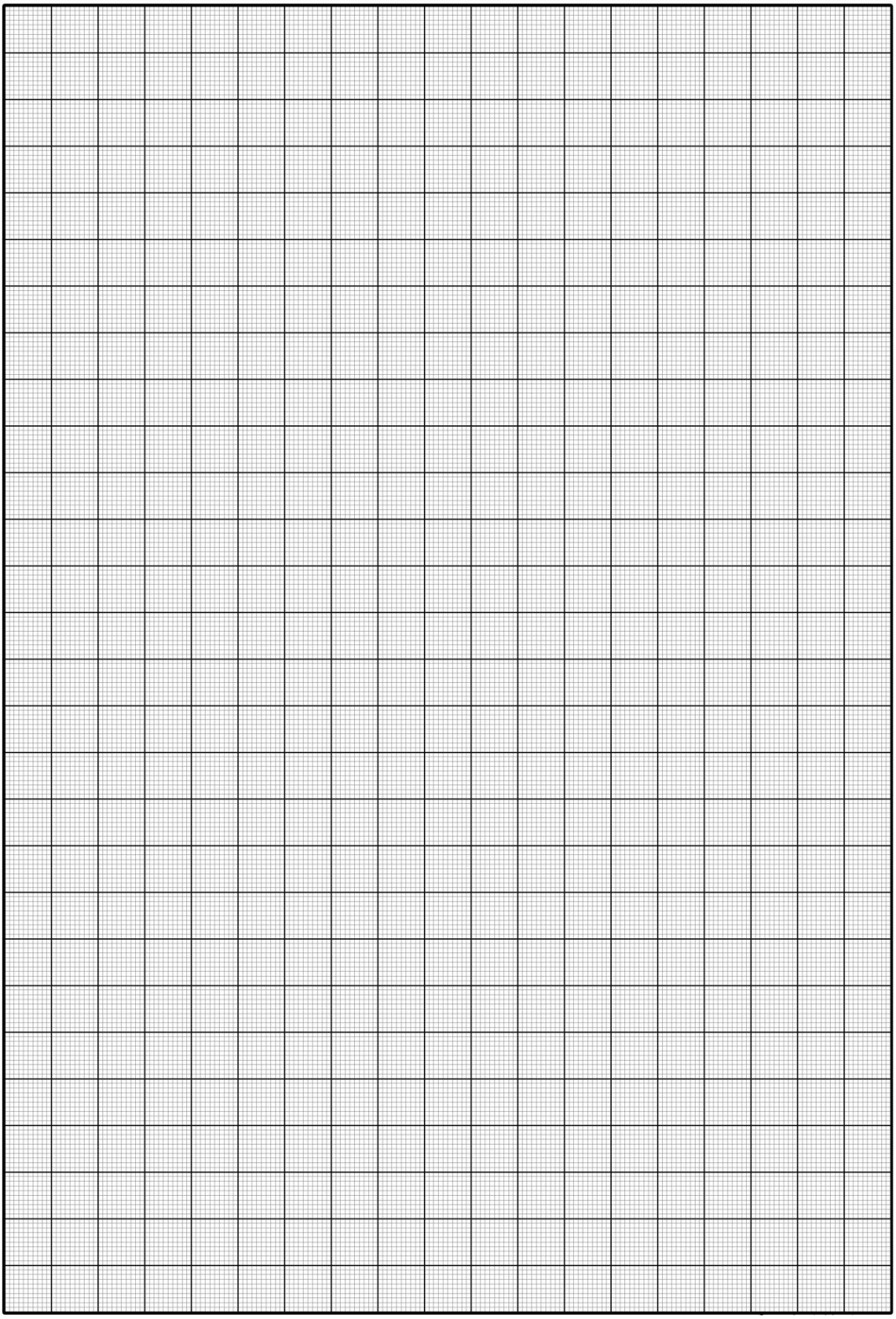
การทดสอบกำลังอัดของไม้

Compression Test of Wood

แบบตั้งฉากเสี้ยน

ชื่อ รหัส กลุ่ม

Data Monitor Determination:	Load (kg)	Deformation (mm)
Number of Specimen.....		
Type of Wood.....		
Width of Specimen.....cm.		
Depth of Specimen.....cm.		
Length of Specimen.....cm.		
Original Weigth.....gm.		
Oven Dry Weigth.....gm.		
Ultimate Load.....kg.		
Elastic Strength atP.L.....kg/cm		
Yield Strength at 0.05% offset.....kg/cm		
Ultimate Strength..... .....kg/cm		
Modulus of Elasticity,E.....kg/cm		
Moisture Content.....kg/cm		
Pattern of Failure.....		



การทดสอบที่ 14
การทดสอบกำลังดัดของไม้
Flexure Test of Wood

ทฤษฎี

กำลังรับแรงดัดสูงสุดของไม้ (Flexure Strength) เป็นคุณสมบัติของไม้ในองค์อาคารต่าง ๆ ที่ต้องต้านแรงกระทำโดยพฤติกรรมดัดงอขององค์อาคาร คุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญซึ่งเป็นตัวควบคุมการใช้ไม้ในกรณีนี้คือ กำลังดัดหรือหน่วยแรงดัดที่จุดสัดส่วนซึ่งคำนวณจากผลการทดลองดังนี้

$$\sigma_P = \frac{M_P}{S} = \frac{P_P L}{4S}$$

โดยที่

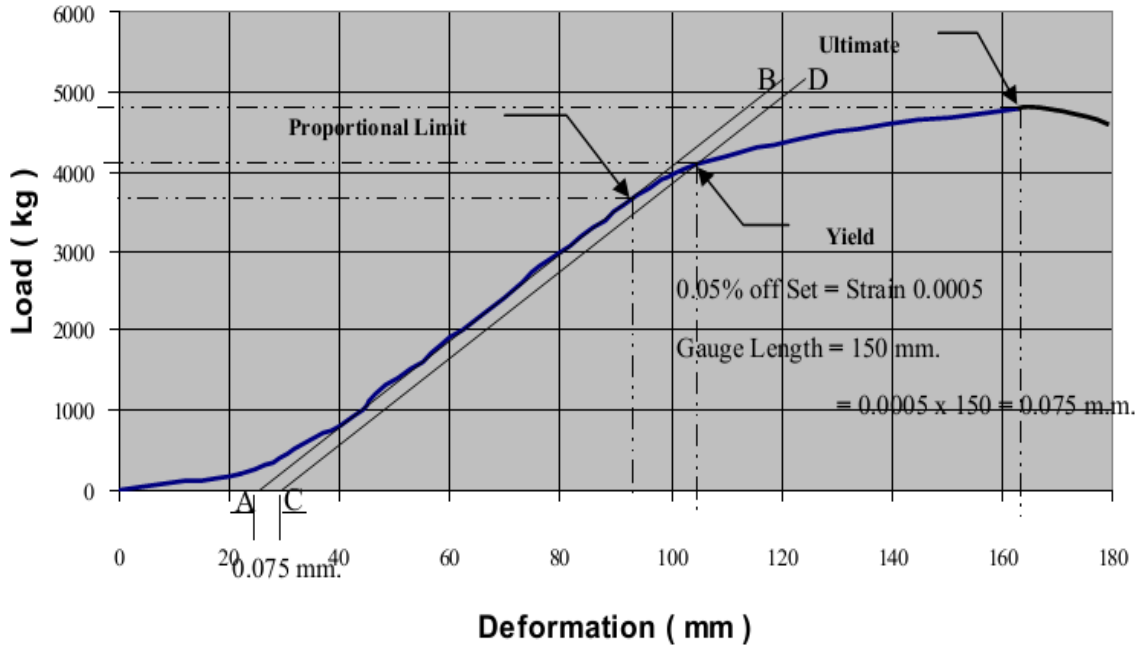
σ_P = หน่วยแรงดัดที่จุดสัดส่วน, กก./ซม.^{2}

P_P = น้ำหนักกระทำที่จุดสัดส่วน, กก.

L = ความยาวช่วงพาด, ซม.

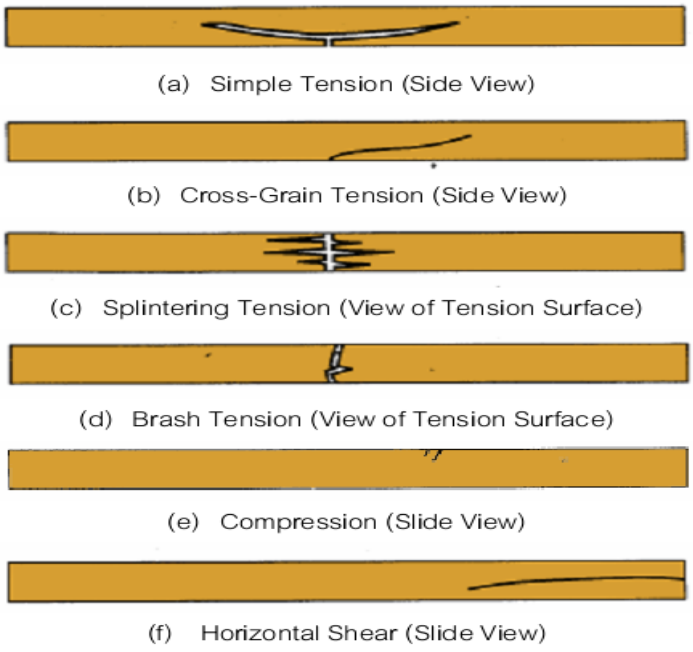
S = Section Modulus, ซม.^{3}

ในการทดสอบหากำลังดัดนี้โดยปกติเราจะทำการศึกษาถึงการแอ่นตัวของคาน เนื่องจากค่าน้ำหนักกระทำซึ่งโดยทั่วไปเมื่อเราหาความสัมพันธ์บนกราฟจะได้รูปลักษณ์ต่อไปนี้



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deformation ของไม้

ที่มา : Materials Testing in Civil Engineering,งบวิจัย สกว. ปีงบประมาณ2547-2548 RUMTT, RMUTR, KMUTT,2006



รูปที่ 2 รูปแบบการวิบัติของไม้

ที่มา : Materials Testing in Civil Engineering,งบวิจัย สกว. ปีงบประมาณ2547-2548 RUMTT, RMUTR, KMUTT,2006

ค่าโมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของไม้นี้เราจะสามารถคำนวณโดยทางอ้อมจากข้อมูลของน้ำหนักกระทำและค่าการแอ่นตัวดังนี้

$$\Delta P = \frac{P_P L^3}{48EI}$$

สมการนี้เราจะได้ว่า

$$E = \frac{P_P L^3}{48\Delta EI}$$

โดยที่

Δ = ระยะแอ่นตัวของคาน ณ แรงกระทำที่จุดสัดส่วน, ซม.

I = Modulus of Inertia, ซม.^{4}

โมดูลัสแห่งการประลัยของคานในการรับแรงดัดเป็นค่าหน่วยแรงสมมติที่คำนวณจากสูตรแรงดัดถือว่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการยืดตัวเป็นเส้นตรงเมื่อวัสดุกำลังจะประลัย ค่าตัวเลขที่คำนวณได้นี้ใช้เป็นตัวเลขเปรียบเทียบกำลังของไม้ชนิดต่าง ๆ ได้ การคำนวณหาได้ดังนี้

$$R = \frac{P_{max} L}{4S}$$

โดยที่

R = Modulus of Rupture, กก./ซม.^{2}

P_{max} = น้ำหนักสูงสัด, กก.

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของไม้ในการรับโมเมนต์ดัดและรูปแบบการประลัยของไม้

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM D 143 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

วัสดุตัวอย่าง

ตัวอย่างไม้ ขนาด 5 x 5 x 76 ซม. จำนวน 3 ตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1.เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

2. Vernier Caliper ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 มม. และมีความละเอียดในการวัดถึง 0.1 มม.

3. เกจวัดการเคลื่อนที่ (Dial Gauge)

4. เครื่องชั่งละเอียดถึง0.1 กรัม

5. ตลับเมตร

วิธีทดสอบ

1. วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างทั้งสามชิ้น หมายเหตุสีและตำหนิของไม้ตัวอย่าง

2. จัดตัวอย่างบนที่รองรับ จดค่าช่วงพาดของตัวอย่างพร้อมกันนี้ให้ใส่หัวกดสำหรับทดสอบแรงดัด

3. จัดเกจที่วัดระยะแอ่นตัวที่กึ่งกลางของช่วงพาด

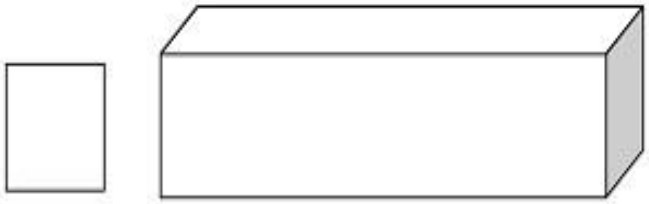
4. ทำการทดสอบโดยจดค่าน้ำหนักต่าง ๆ และระยะแอ่นตัวที่เกิดขึ้น ณ ช่วงต่าง ๆ ควรรักษาความเร็วของการทดสอบที่ทำให้เกิดค่าหน่วยแรงดัดไม่เกิน 150 กก./ซม.^{2} ในหนึ่งนาที

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ความยาวของช่วงพาด.....ซม.

แรงกด P (นิวตัน)	ชนิดไม้ตัวอย่าง.....		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
	การแอ่นตัวของไม้ Δ (มม.)	การแอ่นตัวของไม้ Δ (มม.)	การแอ่นตัวของไม้ Δ (มม.)
แรงกดสูงสุด (P_{max})			

รายละเอียด			ชนิดไม้ตัวอย่าง.....			
			ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1. มิติของไม้ตัวอย่าง	ความกว้าง, b	(มม.)				
	ความลึก, d	(มม.)				
2. ความยาว, L		(มม.)				
3. มวลของไม้ตัวอย่าง, M		(กรัม)				
4. ค่าหน่วยแรงที่ขีดปฏิภาค (S_P)		(เมกาปาสคาล)				
$S_P = (3/2)\{(PL)/(bd^2)\}$ (ใช้ค่า P ที่ขีดปฏิภาค)						
5. โมดูลัสแตกร้าว		(เมกาปาสคาล)				
$R_u = (3/2)\{(P_{max} L)/(bd^2)\}$						
6. โมดูลัสยืดหยุ่น		(เมกาปาสคาล)				
$E = (PL^3)/(4\Delta bd^3)$ (ใช้ค่า P ที่ขีดปฏิภาค)						
7. โมดูลัสคืนตัว		(เมกาปาสคาล)				
$R_c = S_P^2/18E$ (ใช้ S_P จากข้อ 4, E จากข้อ 6)						
8. ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด		(เมกาปาสคาล)				
$S_{max} = (3/4)(P_{max}/bd)$						
9. ค่างานเฉลี่ยที่น้ำหนักประลัย		(นิวตัน. - เมตร)				
$W = (P_{max} \Delta_{max})/2$						
หมายเหตุ						

ลักษณะของการวิบัติ	
ชนิดของไม้ตัวอย่าง.....	
ตัวอย่างที่ 1	
ตัวอย่างที่ 2	
ตัวอย่างที่ 3	
หมายเหตุ : ให้บันทึกภาพถ่ายของไม้ตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบแสดงไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย	

การทดสอบที่ 15
การทดสอบความแข็งของไม้
Hardness Test of Wood

ทฤษฎี

ความแข็ง หมายถึง ความต้านทานของวัสดุ ชนิดหนึ่ง(ไม้)ต่อการสอดแทรกโดยใช้วัสดุ จากแรงอีกชนิดหนึ่ง (เหล็ก)การทดสอบความแข็งสำหรับไม้มีประโยชน์ในการเลือกไม้ไปใช้งานที่ต้องทนต่อการขีดข่วนเสียดสี เป็นประจำ เช่น พื้น(Floor) ไม้ปาเก้ (Parquet) อุปกรณ์ กีฬา (Sports Goods) เครื่องเรือน (Furniture) เป็นต้น ความแข็งของไม้ทางด้านรัศมี(Radial)และด้านสัมผัส(Tangential)ไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด ส่วนความแข็งทางด้านหน้าตัด (Cross-Section)มีค่าสู งกว่าทางด้านกว้าง (ด้านรัศมีและด้านสัมผัส)

การคำนวณ

ความแข็งแรงของไม้คำนวณจากสูตร

B.H.N. = $\frac{P}{\pi Dt}$

เมื่อ

B.H.N. = ค่าระดับความแข็งแบบบริเนล (กก./ตร.ซม.)

P = น้ำหนักที่กระทำบนลูกปืน (กก.)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของลกปืนเหล็ก (ซม.)

t = ความลึกของรอยประทับ (ซม.)

ในการทดลองรั้งนี้เราจะควบคุมให้ความลึกของรอยประดับ

t = $\frac{1}{\pi}$ = 0.32

ดังนั้นจึงได้สูตร B.H.N. = $\frac{P}{D}$

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความแข็งแรงของไม้

เอกสารอ้างอิง

ASTM D 143 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

วัสดุตัวอย่าง

1. ไม้ขนาด 2 x 2 x 4 ซม.
2. ไม้ขนาด 2 x 2 x 6 ซม.

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine
2. Vernier Caliper ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 มม. และมีความละเอียดในการวัดถึง 0.1 มม.
3. เกจวัดการเคลื่อนที่ (Dial Gauge)
4. เครื่องชั่งละเอียดถึง0.1 กรัม
5. ตลับเมตร

วิธีทดสอบ

1. วัดขนาดของตัวอย่างให้ละเอียดถึง 1 มม. และชั่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2. ติดอุปกรณ์ (ประกอบด้วยลูกปืนเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. และ dial gage สำหรับอ่านความลึกของรอยประทับ) เข้ากับแผ่นของเครื่อง วางตัวอย่างไม้บนแผ่นล่างของเครื่องกด

3. เดินเครื่องจนกระทั่งตัวอย่างไม้แตะกับลูกปืน แต่ง dial gage ให้อ่านศูนย์

4. เริ่มดำเนินการทดลองโดยเดินเครื่องเพื่อกดลูกปืนเข้าไปในเนื้อไม้โดยรักษาอัตราการกดให้สม่ำเสมอประมาณ 0.5 มม./นาที อ่านค่าแรงที่ใช้เมื่อความลึกของรอยประทับมีค่าเท่ากับ 0.32 มม.

ข้อมูลและผลการทดสอบ

ชื่อ.....รหัส.....	ตอนที่.....กลุ่มที่.....
ขนาดของตัวอย่าง (ก x ย x ส)	..... ซม.
น้ำหนัก	..... กรัม
เส้นผ่าศูนย์กลางขอลูกปืนเป็นเหล็กกล้า	..... มม.

ครั้งที่	แรงกด, กก.	ความลึกรอยประทับ, มม.	B.H.N. กก./ซม.^{3}

การทดสอบที่ 16
การทดสอบกำลังเฉือนของไม้ (Shear Test of Wood)

ทฤษฎี

"กำลังต้านทานแรงเฉือนของไม้" หมายถึงความสามารถของไม้ในการต้านทานแรงที่จะทำให้ส่วนของหน้าตัดไม้ที่อยู่ในระนาบเดียวกับแนวแรงเลื่อนออกจากกัน

การคำนวณ

กำลังรับแรงเฉือนของไม้ตามเสี้ยนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\tau = \frac{P_{max}}{A}$$

โดยที่

τ = หน่วยแรงเฉือนนานเสี้ยนของไม้, กก./ซม.2

P_{max} = แรงเฉือนสูงสุด, กก.

A = พื้นที่รับแรงเฉือน, ซม.2

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากำลังรับแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear) ของไม้

เอกสารอ้างอิง

ASTM D 143 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber

วัสดุตัวอย่าง

ตัวอย่างไม้ ขนาด 2 x 2 x 3 ซม. จำนวน 3 ชิ้น

.เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1.เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

2.เครื่องทำการเฉือน (Shear Tools)

3. Vernier Caliper ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.05 มม. และมีความละเอียดในการวัดถึง 0.1 มม.

4. ตลับเมตร

วิธีทดสอบ

1. วัดขนาดของตัวอย่างและชั่งน้ำหนัก ให้สังเกตการเรียงตัวของเสี้ยนในรอยบากที่จะทำการเฉือน พร้อมทั้งจดตำหนิต่าง ๆ ของตัวอย่าง

2. จัดตัวอย่างเข้าเครื่องทำการเฉือน (Shear Tools) การจัดตัวอย่างก่อนทำการทดสอบนั้นให้ตรวจสอบว่าตำแหน่งที่วางตัวอย่างแนบสนิทกับชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องทำการเฉือน จากนั้นทำการเลื่อนหัวเฉือน (Sliding Block) มาวางให้พร้อมก่อนทำการทดลอง

3. จัดตัวอย่างพร้อมเครื่องทำการเฉือนให้อยู่บริเวณรับแรงอัดของเครื่อง

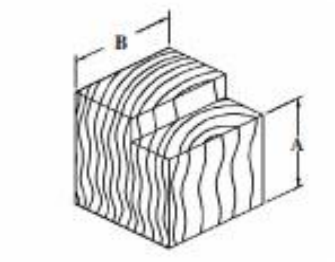
4. เริ่มทำการทดลองโดยรักษาความเร็วของการทดสอบให้เกิดค่าหน่วยแรงเฉือนไม่เกิน 60 กก./ซม.2/นาที

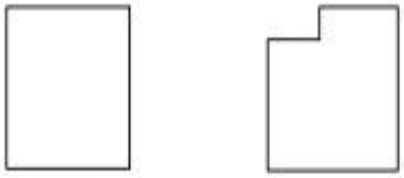
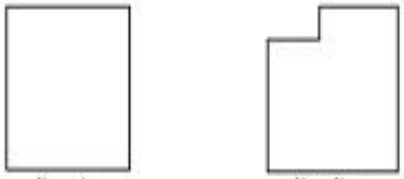
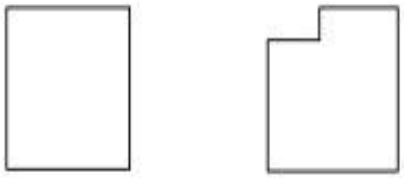
5. ค่าน้ำหนักสูงสุดที่อ่านได้จะต้องเพิ่มค่า 1.5 กก. ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักของหัวเฉือนที่กดอยู่บนตัวอย่าง

ข้อมูลและผลการทดสอบ

รายละเอียด			ชนิดไม้ตัวอย่าง.....		
			ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. มิติของพื้นที่รับแรงเฉือน	กว้าง, B	(มม.)			
	สูง, A	(มม.)			
2. ทิศทางของลายไม้					
3. ความชื้นของไม้ตัวอย่าง		(ร้อยละ)			
4. พื้นที่รับแรงเฉือน		(ตร.มม.)			
5. ค่าแรงเฉือนสูงสุด		(นิวตัน)			
6. กำลังต้านทานแรงเฉือน		(เมกาปาสคาล)			
7. กำลังต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ย		(เมกาปาสคาล)			

หมายเหตุ :



ลักษณะของการวิบัติ	
ชนิดของไม้ตัวอย่าง.....	
ตัวอย่างที่ 1	 ด้านล่าง ด้านข้าง
ตัวอย่างที่ 2	 ด้านล่าง ด้านข้าง
ตัวอย่างที่ 3	 ด้านล่าง ด้านข้าง
หมายเหตุ : ให้บันทึกภาพถ่ายของไม้ตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบไว้ในรายงานผลการทดสอบด้วย	

BRICK TEST

การทดสอบที่ 17
การทดสอบกำลังอัด และการดูดกลืนน้ำของอิฐ
Tests for Compressive Strength and Water Absorption of Brick

<u>บทนำ</u>

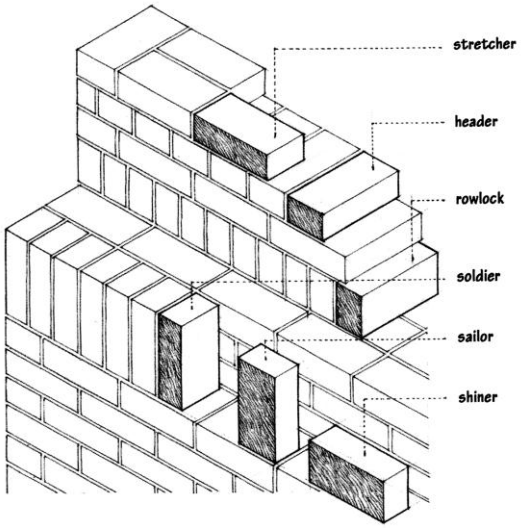
การใช้งานอิฐก่อสร้างสามัญ หรือในชื่อ อิฐมอญ คือ อิฐที่ทำจากดินใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น งานก่อผนัง งานก่อกำแพง และยังมีการใช้เป็นฉนวนกันไฟ ฉนวนกันความร้อน/ความเย็น/ และฉนวนกันเสียง โครงสร้างอิฐเป็นโครงสร้างที่สะดวกต่อการซ่อมแซม เนื่องจากสามารถซ่อมแซมได้ในบริเวณที่มีตำหนิ

<u>ทฤษฎี</u>

ขนาดของอิฐ จะมีอยู่ 4 ขนาด (ขนาด ยาว x กว้าง x หนา หน่วยเป็นมิลลิเมตร) ตาม มอก. 77-2545 คือ

- 140 x 65 x 40
- 190 x 90 x 40
- 190 x 90 x 65
- 190 x 90 x 90

การก่ออิฐ ในเมืองไทยมีรูปแบบที่นิยมอยู่ 2 ประเภท คือการก่ออิฐครึ่งแผ่น และการก่ออิฐเต็มแผ่น โดยการก่ออิฐครึ่งแผ่น ด้านที่ยาวที่สุดของอิฐจะวางตัวในแนวเดียวกับแนวกำแพง ซึ่งความหนาของกำแพงจะมีค่าเท่ากับความหนาของก้อนอิฐ ขณะเดียวกัน การก่ออิฐเต็มแผ่น ด้านที่ยาวที่สุดของอิฐจะวางตัวตั้งฉากกับแนวกำแพง ซึ่งความหนาของกำแพงจะมีค่าเท่ากับด้านที่ยาวที่สุดของอิฐ รูปที่ 1 แสดงรูปแบบการก่ออิฐทั้ง 6 แบบ พร้อมชื่อเรียก



รูปที่ 1 รูปแบบการก่ออิฐทั้ง 6 แบบ พร้อมชื่อเรียกชื่อเรียก

(ที่มา : Francis D.K. Ching, 2538)

การชักตัวอย่างของอิฐ คือ การสุ่มเลือกตัวอย่างของอิฐมาจากจำนวนอิฐทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าอิฐที่ถูกเลือกมานั้นสามารถแสดงถึงอิฐทั้งหมดได้ โดยการชักตัวอย่างอิฐ ให้ชักตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 ก้อน หากรุ่นนั้นมีจำนวน 250,000 ก้อน และให้ชักตัวอย่างเพิ่มขึ้น 5 ก้อน ทุกๆ หากมีจำนวนเพิ่มมากกว่าทุก 500,000 ก้อน

ชั้นคุณภาพของอิฐ คือ การแบ่งคุณภาพของอิฐออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (มอก. 77-2545) โดยใช้สัญลักษณ์เป็น ก ข และ ค โดยเปรียบเทียบตามความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งชั้นคุณภาพของอิฐ

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัดต่ำสุด (MPa)		การดูดกลืนน้ำสูงสุด (%)	
	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน
ก	21.0	17.0	17.0	20.0
ข	17.0	15.0	22.0	25.0
ค	10.0	9.0	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive strength) คือ ความสามารถของวัสดุ หรือโครงสร้างที่ต้านทานแรงที่กระทำในทิศทางอัดตัวของวัสดุนั้น เมื่อแรงที่กระทำมีค่าเท่ากับกำลังต้านทานแรงอัดของวัสดุ วัสดุนั้นจะแตกหัก กำลังต้านแรงอัดจะอยู่ในหน่วย เมกะปาสคาล (MPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc) การคำนวณ

$$C = W/A$$

โดย

C = กำลังต้านแรงอัดของชิ้นตัวอย่าง (MPa)
W = น้ำหนักบรรทุกสูงสุด (N)
A = พื้นที่หน้าตัดส่วนที่แคบที่สุด (mm^2)

การดูดกลืนน้ำ (Water absorption) เป็นความสามารถในการดูดกลืนน้ำของอิฐแต่ละก้อน ซึ่งจะมีผลต่อเชื้อราที่เกิดขึ้นบริเวณภายในอิฐ การดูดกลืนน้ำของอิฐจะคำนวณจากร้อยละดังสมการ

$$A\% = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

โดย

A% = ร้อยละการดูดกลืนน้ำของอิฐ
Wd = น้ำหนักแห้ง
Ws = น้ำหนักอิ่มตัว

สัมประสิทธิ์ของการอิ่มน้ำ (Saturation coefficient) คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของอิฐในการต้านการเยือกแข็งและการละลายตัว คำนวณโดย (1) คิดจากอัตราส่วนของน้ำหนักน้ำที่ถูกดูดกลืนโดยอิฐระหว่างที่แช่ในน้ำในระยะเวลา 5 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดกลืนโดยอิฐระหว่างที่แช่ในน้ำในระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือ (2) คิดจากอัตราส่วนของน้ำหนักที่ถูกดูดกลืนโดยอิฐขณะที่แช่ในน้ำเย็นเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ถูกดูดกลืนโดยอิฐขณะที่แช่ในน้ำเดือด

$$S_C = \frac{W_{s24} - W_d}{W_{s5} - W_d} \times 100$$

โดย

S_c = สัมประสิทธิ์ของการอิ่มของน้ำ (%)
W_d = น้ำหนักแห้ง
W_{s5} = น้ำหนักอิ่มตัวของอิฐที่จมน้ำ 5 ชั่วโมง
W_{s24} = น้ำหนักอิ่มตัวของอิฐที่จมน้ำ 24 ชั่วโมง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการทดสอบหากำลังอัดของอิฐ
2. เพื่อทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐ

เอกสารอ้างอิง

- มอก. 77-2545 อิฐก่อสร้างสามัญ
- มอก. 243-2520 วิธีชักตัวอย่างและทดสอบอิฐและอิฐกลวง
- ASTM C62-10 Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale)
- ASTM C67-11 Standard Test Method for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile
- Francis D.K. Ching, A Visual Dictionary of Architecture, 1995.
- เอกสารประกอบการสอน ธนวัช โพคะรัตน์ศิริ, เอกสารประกอบการสอน CE 311 Structural Materials and Testing, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.

วัสดุทดสอบ

อิฐเต็มก้อน จำนวน 10 ก้อน

เครื่องมือ

1. ไม้บรรทัดเหล็ก ที่มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร
2. เครื่องทดสอบแบบยูนิเวอร์แซล
3. เวอร์เนียร์
4. เครื่องชั่ง
5. ตู้อบแห้ง

วิธีทดสอบ

1. นำอิฐตัวอย่างทั้ง 10 ก้อน โดยพยายามเลือกอิฐที่มีสีแตกต่างกัน มาเขียนหมายเลข และทำเครื่องหมายให้ชัดเจน

2. วัดขนาดของตัวอย่าง โดยการวัดความยาวของก้อนอิฐของหน้ายาวทั้ง 4 หน้า โดยวัดที่จุดกึ่งกลางของแต่ละหน้า บันทึกผล ทั้ง 4 หน้า ให้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร และนำมาหาค่าเฉลี่ยให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร และวัดความหนาและความกว้างของอิฐโดยวิธีเดียวกันกับการวัดความยาว
3. นำก้อนตัวอย่างเข้าไปในตู้อบแห้งที่มีอุณหภูมิ 110-115 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า24 ชั่วโมง
4. ให้ชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่าง และนำเข้าตู้อบแห้งอีกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หากน้ำหนักต่างกันเกิน 0.2% ให้ทำการอบแห้งต่ออีก 2 ชั่วโมง
5. ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เย็นที่อุณหภูมิ 24±8 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 30-70% โดยปล่อยให้ลมผ่านเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
6. นำก้อนตัวอย่างไปชั่งในน้ำหนัก ซึ่งจะเรียกน้ำหนักนี้ว่า “น้ำหนักแห้ง” บันทึกข้อมูล หลังจากนั้นให้แบ่งอิฐเป็น 2 ชุด ชุดละ 5 ก้อน เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

การทดสอบกำลังต้านแรงอัด

7. นำอิฐตัวอย่างจำนวน 5 ก้อน มาเคลือบผิวด้วยปูนปลาสเตอร์ทั้งสองหน้าให้เรียบ แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง
8. นำก้อนตัวอย่างมาวางในเครื่องทดสอบโดยวางในแนวของการก่ออิฐ
9. บรรทุกน้ำหนักจนอิฐเกิดการวิบัติและทำการบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด และทำซ้ำจนครบ 5 ตัวอย่าง
10. คำนวณการต้านแรงอัดของก้อนตัวอย่างทั้งหมด และนำมาหาค่าเฉลี่ยกำลังต้านแรงอัดของอิฐรุ่นนี้

การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

11. นำอิฐตัวอย่างจำนวน 5 ก้อนที่เหลือ มาแช่ในน้ำ
12. ภายหลังจากระยะเวลา 5 ชั่วโมง ให้นำอิฐทั้งหมดขึ้นมาเช็ดผิวให้แห้ง และนำมาชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักนี้จะถูกเรียกว่า “น้ำหนักอิ่มตัว”
13. คำนวณหาค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐ และนำมาหาค่าเฉลี่ย
14. หลังจากชั่งน้ำหนักเรียบร้อย ให้นำอิฐทั้ง 5 ก้อน แช่ลงในน้ำต่อจนกระทั่งเวลาทั้งหมดครบ 24 ชั่วโมง (นับจากเริ่มแช่น้ำรอบแรก)
15. นำตัวอย่างขึ้นมาเช็ดผิวให้แห้ง และทำการชั่งน้ำหนักอิฐทั้งหมด
16. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของการอิ่มน้ำ และนำมาหาค่าเฉลี่ย

ข้อมูลและผลการทดสอบ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชาวิศวกรรมโยธา** 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	**การทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา**
ผู้ทดสอบ ..... งานที่ทดสอบ ..... ผู้ร่วมการทดสอบ ..... สถานที่ทำการทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ ..... อุณหภูมิขณะทดสอบ ..... ความชื้นสัมพัทธ์ ..... เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ .....

ตัวอย่างที่	ชื่อตัวอย่างทดสอบ	น้ำหนัก (kg)	ขนาดของก้อนตัวอย่าง			พื้นที่หน้ากด (mm^2)	พื้นที่รูหักออก (mm^2)	พื้นที่รับน้ำหนักกด (mm^2)	น้ำหนักกดประลัย (N)	กำลังอัดประลัย (MPa)	ชั้นคุณภาพของอิฐ (ก, ข หรือ ค)
			สูง (mm)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)						
									ค่าเฉลี่ย		

* พื้นที่รูหักออก หากเป็นอิฐตันมีค่าเท่ากับศูนย์

ข้อมูลและผลการทดสอบ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชาวิศวกรรมโยธา** 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ (053) 944157-66 Fax (053) 892376	**การทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา**
ผู้ทดสอบ	วันที่ทำการทดสอบ .....
งานที่ทดสอบ	อุณหภูมิขณะทดสอบ .....
ผู้ร่วมการทดสอบ	ความชื้นสัมพัทธ์ .....
สถานที่ทำการทดสอบ	เครื่องที่ใช้ในการทดสอบ .....

ตัวอย่างที่	ชื่อตัวอย่างทดสอบ	น้ำหนักแห้ง (g)	น้ำหนักอิ่มตัว (g)		การดูดกลืนน้ำ (%)		สัมประสิทธิ์การอิ่มตัว	ชั้นคุณภาพของอิฐ (ก, ข หรือ ค)
			ที่ 5 ชม.	ที่ 24 ชม.	ที่ 5 ชม.	ที่ 24 ชม.		
ค่าเฉลี่ย								