



คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

เรื่อง การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

เรื่อง การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

รหัสคู่มือ สขป.๓/ผวศ ๕/๒๕๖๑

หน่วยงานที่จัดทำ

ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ส่วนวิศวกรรม
สำนักงานชลประทานที่ ๓

ที่ปรึกษา

นายฉัตรชัย ทองปอนด์
ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๓

พิมพ์ครั้งที่ ๑

จำนวน ๑ เล่ม

เดือน กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

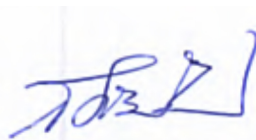
หมวดหมู่ วิศวกรรม

คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

เรื่อง การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

ได้ผ่านการตรวจสอบ กลั่นกรองจากคณะทำงานตรวจสอบกลั่นกรองคู่มือการปฏิบัติงาน
ของสำนักงานชลประทานที่ ๓ เรียบร้อยแล้ว จึงถือเป็นคู่มือฉบับสมบูรณ์
สามารถใช้เป็นเอกสารเผยแพร่และใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน

ลงชื่อ ว่าที่ร้อยตรี.....



(สมชัย แต่งไทย)

ตำแหน่ง ประธานคณะทำงานฯ

ลงชื่อ.....



(นายฉัตรชัย ทองปอนด์)

ตำแหน่ง คณะทำงานฯ

ลงชื่อ.....



(นางสาวทิวาตรี ทั้งทอง)

ตำแหน่ง คณะทำงานและเลขานุการ ฯ

คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

เรื่อง การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

จัดทำโดย

ชื่อ นายธีระ นวลปลอด

ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม

สังกัดสำนักงานชลประทานที่ ๓

ชื่อ นายธนายุทธ พูลสุข

ตำแหน่ง วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ

สังกัดสำนักงานชลประทานที่ ๓

ชื่อ นายอนุพงษ์ ศิโร

ตำแหน่ง วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ

สังกัดสำนักงานชลประทานที่ ๓

สามารถติดต่อสอบถามรายละเอียด/ข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่

ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๓

เบอร์โทรศัพท์ ๐๕๕๓๓๓๑๗๘

คำนำ

ตามที่คณะกรรมการจัดความรู้กรมชลประทาน ได้กำหนดแผนจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual) ในปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑ โดยให้เป็นไปตามรูปแบบที่คณะกรรมการจัดการความรู้ กรมชลประทานกำหนดขึ้น ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ส่วนวิศวกรรม สำนักงานชลประทานที่ ๓ จึงได้จัดทำคู่มือปฏิบัติงานการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต เพื่อใช้เป็นคู่มือสำหรับเจ้าหน้าที่ของฝ่าย ตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมในการปฏิบัติงานการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต ด้านวิศวกรรม ที่มีรูปแบบขั้นตอนการปฏิบัติงานไปในแนวทางเดียวกัน และเป็นการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานให้เกิดผล งานที่ได้มาตรฐานเป็นไปตามเป้าหมาย ทั้งยังสามารถเผยแพร่ข้อมูลต่างๆ ให้กับบุคคลภายนอกหรือ ผู้ใช้บริการให้สามารถเข้าใจกระบวนการต่างๆ เพื่อขอรับบริการที่ตรงกับความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือการปฏิบัติงานฉบับนี้ จะเป็น ประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจในงานทดสอบและออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ทั้งนี้หากมี ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ทางฝ่ายจะพยายามนำมารวบรวมและปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์สูงสุดในการนำไปปฏิบัติงานให้กรมชลประทานต่อไป

ผู้จัดทำ ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ส่วนวิศวกรรม
สำนักงานชลประทานที่ ๓
กรมชลประทาน

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์	๑
ขอบเขต	๑
คำจำกัดความ	๑
หน้าที่ความรับผิดชอบ	๒
Work Flow	๕
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	๘
ระบบติดตามประเมินผล	๑๐
เอกสารอ้างอิง	๑๑
แบบฟอร์มที่ใช้	๒๓-๒๕
ภาคผนวก	
๑) มาตรฐานการทดสอบการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	๑๓-๒๒

คู่มือการปฏิบัติงาน การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

๑. วัตถุประสงค์

๑.๑ เพื่อให้สำนักงานชลประทานที่ ๓ มีคู่มือการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ชัดเจนอยู่
อย่างเป็นลายลักษณ์อักษร ที่แสดงถึงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานการทดสอบการออกแบบส่วนผสม
คอนกรีตที่ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม และสร้างมาตรฐานการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพ

๑.๒ เพื่อเป็นหลักฐานแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินการทดสอบการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่
สามารถถ่ายทอดให้กับผู้เข้ามาปฏิบัติงานใหม่ ได้เรียนรู้ พัฒนาให้การทำงานให้มีคุณภาพ และใช้ประกอบการ
ประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร รวมทั้งแสดงหรือเผยแพร่ให้กับบุคคลภายนอก หรือผู้ให้บริการให้
สามารถเข้าใจและใช้ประโยชน์จากกระบวนการที่มีอยู่เพื่อขอรับบริการที่ตรงกับความต้องการ

๑.๓ เพื่อให้การทดสอบการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้างมีคุณสมบัติ
ตามคุณลักษณะเฉพาะ (Specification) ตามที่กำหนด เป็นไปด้วยความคล่องตัว รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

๒. ขอบเขต

คู่มือการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

๒.๑ กระบวนการปฏิบัติงานการส่งวัสดุมาทดสอบที่ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์

๒.๒ รายละเอียดการดำเนินการทดสอบและวิเคราะห์วัสดุด้านวิศวกรรม

๒.๓ การจัดทำเอกสาร รายงานผลการทดสอบ

๓. คำจำกัดความ

๓.๑ มาตรฐาน คือ สิ่งที่เราเป็นเกณฑ์สำหรับเทียบกำหนด ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ
(พจนานุกรม ฉบับบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๔๒)

๓.๒ มาตรฐานการปฏิบัติงาน (Performance Standard) เป็นผลการปฏิบัติงานในระดับใดระดับ
หนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นเกณฑ์ที่น่าพอใจหรืออยู่ในระดับที่ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่ทำได้ โดยจะมีกรอบในการพิจารณา
กำหนดมาตรฐานหลายๆ ด้าน อาทิ ด้านปริมาณ คุณภาพ ระยะเวลา ค่าใช้จ่าย หรือพฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงาน

๓.๓ การทดสอบ คือ การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ทราบหรือวินิจฉัยคุณภาพหรือ
คุณสมบัติของตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือและวิธีการพิเศษ

๓.๔ การวิเคราะห์ คือ การปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ทราบถึงชนิด ปริมาณของ
องค์ประกอบ (Component) หรือส่วนผสม (Constituent) ของตัวอย่าง

๓.๕ ASTM คือ American Society for Testing and Material (สมาคมวิชาชีพทางด้าน
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำหนดและจัดทำมาตรฐานวัสดุและการทดสอบของสหรัฐอเมริกา)

๓.๖ AASHTO คือ American Association of State Highway and Transportation

๓.๗ BSI คือ British Standard Institution (มาตรฐานอังกฤษ)

๓.๘ JIS คือ Japan Industrial Standard (มาตรฐานญี่ปุ่น)

๓.๙ ACI คือ American Concrete Institute (มาตรฐานอเมริกา)

๔. หน้าที่ความรับผิดชอบ

๔.๑๔.๑ ด้านวิศวกรรม ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบหรือเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตประกอบด้วย

๔.๑.๑ ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม : สั่งการเพื่อดำเนินการวิเคราะห์การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต พิจารณาผลพร้อมลงนามอนุมัติในรายงานผลการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

๔.๑.๒ หัวหน้าฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม : มอบหมาย ควบคุม กำกับ ดูแล การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

๔.๑.๓ วิศวกรชลประทาน : ศึกษา วิเคราะห์ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

๔.๑.๔ พนักงานทั่วไป : ผู้ช่วยปฏิบัติงาน

๔.๒ ด้านธุรการ

๔.๒.๑ พนักงานทั่วไป : จัดทำเอกสารรายงานผลการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต ออกเลขที่หนังสือและดำเนินการเดินเอกสารเพื่อให้ผู้บังคับบัญชาอนุมัติรายงาน

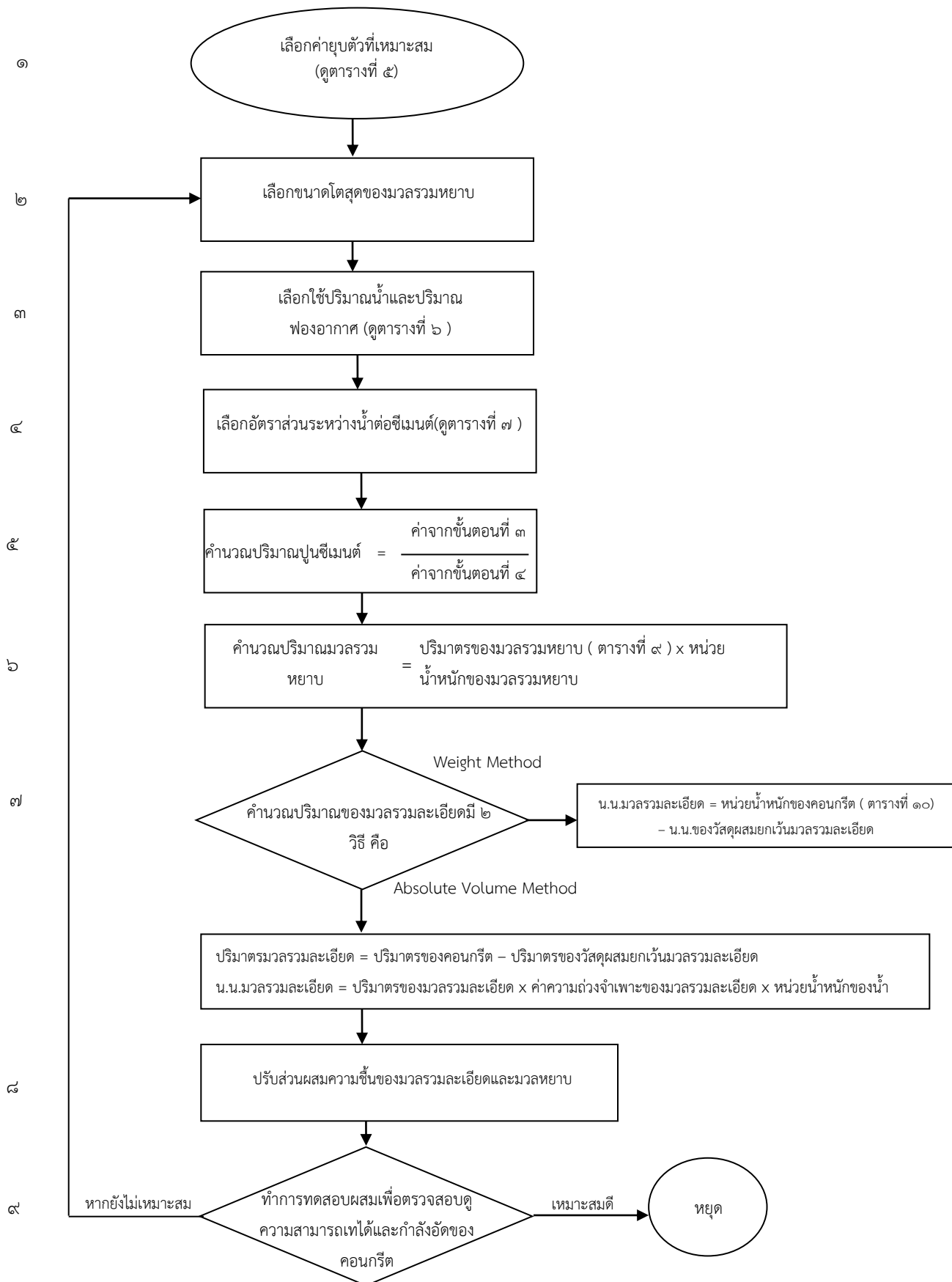
๔.๒.๒ พนักงานทั่วไป : ผู้ช่วยออกเลขที่หนังสือ ลงรับเอกสาร การแจ้งผลการทดสอบทางโทรสาร การบันทึกข้อมูลการทดสอบและ Upload รายงานผลการออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตลงในระบบติดตามงานฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม

สรุปกระบวนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

กระบวนการทดสอบการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต กรมชลประทานประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

- ๑.๑ เลือกค่ายูนิตที่เหมาะสมกับประเภทงาน
- ๑.๒ เลือกขนาดโตของมวลรวมหยาบ
- ๑.๓ เลือกใช้ปริมาณน้ำและปริมาณฟองอากาศ
- ๑.๔ เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์
- ๑.๕ คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์
- ๑.๖ คำนวณปริมาณของมวลหยาบ
- ๑.๗ คำนวณปริมาณของมวลละเอียด
- ๑.๘ ปรับส่วนผสมตามความชื้นของมวลละเอียดและมวลหยาบ
- ๑.๙ ทำการทดสอบผสมเพื่อตรวจสอบความสามารถเทได้และกำลังอัดของคอนกรีต

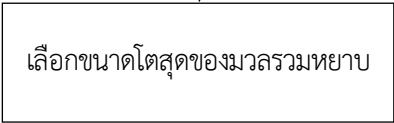
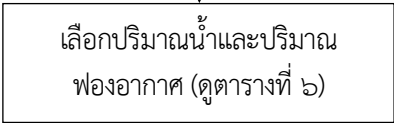
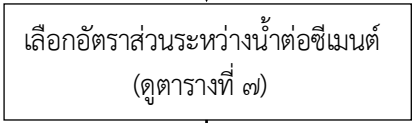
Work Flow กระบวนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกรมชลประทานในภาพรวม



๕. Work Flow

ชื่อกระบวนการ :การทดสอบการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ตัวชี้วัดผลลัพธ์กระบวนการจัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน: ร้อยละของการเข้าใจกระบวนการทดสอบการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๑.			เลือกใช้ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่เหมาะสมกับงานก่อสร้าง		
๒.			เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ ให้พิจารณาเลือกใช้ขนาดใหญ่ที่สุดแต่ต้องไม่เกินที่กำหนด		
๓.			เลือกปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ คำนวณตามตารางที่ ๖		
๔.			เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ คำนวณตามตารางที่ ๗		

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๕.			คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์โดยหาจากนำค่าจากขั้นตอนที่ ๓ มาหารด้วยค่าจากขั้นตอนที่ ๔ คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ คำนวณปริมาณมวลรวมละเอียดมี ๒ วิธี คือ ๑.วิธี Weight Method ๒.วิธี Absolute Volume Method		
๖.					
๗.					

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๘. ๙.	<pre> graph TD Start(()) --> Step2[ดำเนินการขั้นตอนที่ ๒] Step2 --> Adjust[ปรับส่วนผสมตามความชื้นของ มวลละเอียดและมวลรวมหยาบ] Adjust --> Decision{ทำการทดสอบผสมเพื่อตรวจสอบ ความสามารถเทได้และกำลังอัดของ คอนกรีต} Decision -- "หากยังไม่เหมาะสม" --> Step2 Decision -- "เหมาะสมดี" --> End((หยุด)) </pre>		ปรับส่วนผสมตามความชื้นของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ ทำการทดสอบผสมเพื่อตรวจสอบความสามารถเทได้และกำลังอัดคอนกรีต หากพบว่ามีเหมาะสมให้นำไปใช้งานได้ แต่ถ้าไม่เหมาะสม ให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนที่ ๒ ด้วยการปรับค่าต่าง ๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น		

๖. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
๑.เลือกค่ายู่บตัวที่เหมาะสม	เลือกใช้ค่ายู่บตัวของคอนกรีตที่เหมาะสมกับงาน ประเภทต่าง ๆ (ตารางที่ ๕)			
๒.เลือกขนาดโตสุดของมวลรวม	เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ ให้พิจารณา ขนาดใหญ่ที่สุดแต่ต้องไม่เกินกว่า - ขนาด ๑/๕ ของส่วนที่แคบที่สุดของโครงสร้าง ที่ไม่มีเหล็กเสริม - ขนาด ๓/๔ ของระยะเรียงเหล็กเสริมที่แคบที่ สุดหรือระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ - ขนาด ๑/๓ ของความหนาแผ่นพื้นที่ยาวอยู่บน ดิน			
๓.เลือกใช้ปริมาณน้ำและปริมาณ ฟองอากาศ (ดูตารางที่ ๖)	เลือกปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายู่บตัวและ วัสดุขนาดต่าง ๆ และปริมาณฟองอากาศที่จะ เกิดขึ้นในคอนกรีต คำนะนำตามตารางที่ ๖			
๔.เลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือ W/C	เลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ คำนะนำตาม ตารางที่ ๗			
๕.คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์	ปริมาณปูนซีเมนต์=ค่าของขั้นตอนที่ ๓÷ค่าของ ขั้นตอนที่ ๔			
๖.คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ	ปริมาณมวลรวมหยาบ=ปริมาณมวลรวมหยาบ (ตารางที่ ๙) xหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ			

รายละเอียดงาน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระเบียบ เอกสาร บันทึก แนวทางแบบฟอร์มที่ใช้	ผู้รับผิดชอบ	เงื่อนไขการปฏิบัติงาน
๗.คำนวณปริมาณมวลรวมละเอียด	การคำนวณปริมาณมวลรวมละเอียดมี ๒ วิธีคือ - วิธี Absolute Volume Method ปริมาตรของมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของ คอนกรีต - ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวม ละเอียด น้ำหนักมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของมวล รวมละเอียด x ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวม ละเอียด x หน่วยน้ำหนักของน้ำ - วิธี Weight Method น้ำหนักมวลรวมละเอียด = หน่วยน้ำหนักของ คอนกรีต (ตารางที่ ๑๐) - น้ำหนักของวัสดุผสม ยกเว้นมวลรวมละเอียด			
๘.ปรับส่วนผสมตามสภาพความชื้นของ มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ	ปรับส่วนผสมตามความชื้นของมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบ			
๙.ทำการทดลองผสมเพื่อตรวจสอบดู ความสามารถเทได้และกำลังอัดของ คอนกรีต	ทดลองผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่ คำนวณได้เพื่อค่ายุบตัวและความสามารถเทได้ ของคอนกรีตสด และทดสอบกำลังรับแรงอัด ของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หากมีความ เหมาะสมให้นำไปใช้งานได้ แต่ถ้าไม่เหมาะสม เช่น ค่ายุบตัวไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด มีการแยก ของตัววัสดุผสม หรือกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนด ไว้ให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ โดยเริ่มพิจารณา ตั้งแต่ขั้นตอนที่ ๒ ด้วยการปรับค่าที่แนะนำ ตามตารางต่าง ๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น			

๗. ระบบติดตามประเมินผล

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ

๘. เอกสารอ้างอิง

๘.๑ ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน, คู่มือมาตรฐานการทดสอบวัสดุด้านวิศวกรรมสำหรับหน่วยงานทดสอบประจำภูมิภาคของกรมชลประทาน ที่ สวพ.ทล.๒๐๘ “การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ”, สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน, ๒๕๕๒.

๘.๒ CPAC Concrete Technology บทที่ ๑๘ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

๘.๓ คอนกรีตเทคโนโลยี TPI

๘.๔ เรื่องของคอนกรีต บริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด

๘.๕ เทคนิควิทยาคอนกรีต บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด

๘.๖ คู่มืออินทรีคอนกรีต

รายละเอียดตามเอกสารภาคผนวกที่แนบ

๙. แบบฟอร์มที่ใช้

๙.๑ แบบฟอร์มการคำนวณออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI

รายละเอียดตามเอกสารภาคผนวกที่แนบ

ภาคผนวก

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

๑ ขอบเขต

เป็นวิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต หรือการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในสภาพคอนกรีตสด คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และประหยัด

๒ ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

๒.๑ หลักการในการออกแบบส่วนผสม

๒.๑.๑ เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบ (หินย่อย) มวลรวมละเอียด (ทราย) น้ำ และสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

๒.๑.๒ คำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

๒.๒ กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water-Content Ratio; w/c) โดยค่ากำลังอัดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง ซึ่งในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาสัดส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลง ใดๆ ไปบ้าง แต่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก

๒.๓ ความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม โดยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น (หรือคอนกรีตเหลว) คอนกรีตสดควรมีความชื้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก เพราะถ้าคอนกรีตชื้นหรือแห้งเกินไปการทำให้แน่นยาก ทำให้เกิดรูโพรง แต่ถ้าคอนกรีตเหลวเกินไปจะทำให้เกิดการแยกตัวขณะลำเลียงและเท และทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง ไม่ทนทาน และมีโอกาสแตกร้าวง่าย ซึ่งการวัดความสามารถเทได้ควรกำหนดวิธีที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ วิธีการวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต

ประเภทของคอนกรีต	วิธีวัดความสามารถเทได้
(๑) คอนกรีตแข็งหรือกระด้างมาก	- วัดโดยหาค่าเวลาวีบี (Vebe Test)
(๒) คอนกรีตทั่ว ๆ ไป	- วัดค่ายุบตัว (Slump Test)
(๓) คอนกรีตเหลวมาก	- วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก (Flow Test)

๒.๔ ความทนทาน

คอนกรีตที่ใช้งานในสภาพปกติโดยทั่วไปจะมีความทนทานอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรุนแรง เช่น โครงสร้างในน้ำทะเลความทนทานจะลดลง อัตราส่วนระหว่างน้ำตอปูนซีเมนต์มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำตอปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตที่สภาวะต่าง ๆ

๓. วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

๓.๑ มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ในการออกแบบจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ดังสมการ

$$f_{cr} = f'_c + ks$$

เมื่อ f_{cr} คือ กำลังอัดที่ต้องผลิต

f'_c คือ กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

ks คือ ส่วนเผื่อกำลังอัด ซึ่งประกอบด้วย

k คือ ค่าคง ที่ดังตารางที่ ๒

s คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง ๓๐ ค่ามากกว่า

ตารางที่ ๒ ค่าคงที่ k

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า f'_c	ค่า k
๒๐	๐.๘๕๒
๑๐	๑.๒๘๒
๕	๑.๖๕๕
๒.๕	๑.๙๖๐
๒	๒.๐๕๔
๑	๒.๓๒๖
๐	๓.๐๐๐

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากแท่งตัวอย่าง อย่างน้อย ๓๐ ค่า จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่ถ้าการทดสอบน้อยกว่า ๓๐ ค่า ค่าคงที่ k ในตารางที่ ๒ อนุโลมได้โดยใช้คุณ ดังตารางที่ ๓

ตารางที่ ๓ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อตัวอย่างน้อยกว่า ๓๐ ค่า

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
น้อยกว่า ๑๕	ใช้ตารางที่ ๔
๑๕	๑.๑๖
๒๐	๑.๐๘
๒๕	๑.๐๓
๓๐ หรือมากกว่า	๑.๐๐

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบแท่งตัวอย่าง หรือผลการทดสอบน้อยกว่า ๑๕ ค่า กำลังอัดของคอนกรีตที่จะต้องผลิตต้องสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนด ดังตารางที่ ๔

ตารางที่ ๔ ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดแท่งตัวอย่าง

ค่ากำลังอัดที่กำหนด f_c'	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า ๒๑๐	๗๐
๒๑๐-๓๕๐	๘๕
๓๕๐ หรือมากกว่า	๑๐๐

๓.๒ การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกัน จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต ดังนี้

ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะ (สามารถใช้ค่า ๓.๑๕ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท ๑)

มวลรวม

- ขนาดคละ
- ความถ่วงจำเพาะ
- ความชื้น
- พิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด (Fineness Modulua , F.M.)
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

โดยมีขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ดังนี้

๑. เลือกค่ายู่บตัวที่เหมาะสม คำนะนำตารางที่ ๕

๒. เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ ให้พิจารณาเลือกใช้ขนาดใหญ่ที่สุดแต่ต้องไม่เกินกว่า

๒.๑ ขนาด $\frac{1}{5}$ ของส่วนที่แคบที่สุดของโครงสร้างที่ไม่เสริมเหล็ก

๒.๒ ขนาด $\frac{3}{4}$ ของระยะเรียงเหล็กเสริมที่แคบที่สุดหรือระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ

๒.๓ ขนาด $\frac{1}{3}$ ของความหนาแน่นแผ่นพื้นที่ยวางอยู่บนดิน

๓. ประมาณปริมาณน้ำและฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีต (ปริมาตร ๑ ลบ.ม.)

คำนะนำตามตารางที่ ๖

๔. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ คำนะนำตามตารางที่ ๗

๕. คำนวนปริมาณปูนซีเมนต์ = ขั้นตอนที่ ๓/ ขั้นตอนที่ ๔

๖. คำนวนปริมาณมวลรวมหยาบ = ปริมาตรของมวลรวมหยาบ (ตารางที่ ๙) x

หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

๗. คำนวนปริมาณของมวลรวมละเอียด มี ๒ วิธี คือ

๗.๑ วิธี Absolute Volume

ปริมาตรของมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรของวัสดุผสม

ยกเว้นมวลรวมละเอียด

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของมวลรวมละเอียด x ค่าความถ่วงจำเพาะ

ของของมวลรวมละเอียด x หน่วยน้ำหนักของน้ำ

๗.๒ วิธี Weight Method

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (ตารางที่ ๑๐) –

น้ำหนักของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด

๘. ปรับส่วนผสมตามสภาพความชื้นของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

๙. ทำการทดลองผสมเพื่อตรวจสอบดูความสามารถเทได้และกำลังอัดของคอนกรีต

๑๐. หากเหมาะสมให้หยุดการทดลอง แต่ถ้าหากไม่เหมาะสมให้กลับไปดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ ๒ ใหม่

ตารางที่ ๕ ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	๗.๕	๒.๕
พื้นถนน	๘.๐	๓.๐
โครงสร้างทั่ว ๆ ไป	๑๐.๐	๕.๐
เสาหรือผนังบาง	๑๒.๕	๗.๕
โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	๑๕.๐	๑๐.๐

ตารางที่ ๖ ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ

ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	ปริมาณน้ำ เป็นกิโลกรัม ต่อคอนกรีต ๑ ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	$\frac{3}{4}$ นิ้ว	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	$\frac{3}{4}$ นิ้ว	๑ นิ้ว	$1\frac{1}{2}$ นิ้ว	๒ นิ้ว	๓ นิ้ว	๖ นิ้ว
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)								
๒.๕ - ๕.๐	๒๐๗	๑๙๙	๑๙๐	๑๗๙	๑๖๖	๑๕๔	๑๓๐	๑๑๓
๗.๕ - ๑๐	๒๒๘	๒๑๖	๒๐๕	๑๙๓	๑๘๑	๑๖๙	๑๔๕	๑๒๔
๑๒.๕ - ๑๕.๐	๒๔๓	๒๒๘	๒๑๖	๒๐๒	๑๙๐	๑๗๘	๑๖๐	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	๓	๒.๕	๒	๑.๕	๑	๐.๕	๐.๓	๐.๒
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)								
๒.๕ - ๕.๐	๑๘๑	๑๗๕	๑๖๘	๑๖๐	๑๕๐	๑๔๒	๑๒๒	๑๐๗
๗.๕ - ๑๐	๒๐๒	๑๙๓	๑๘๔	๑๗๕	๑๖๕	๑๕๗	๑๓๓	๑๑๙
๑๒.๕ - ๑๕.๐	๒๑๖	๒๐๕	๑๙๗	๑๘๔	๑๗๔	๑๖๖	๑๕๔	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	๖	๕.๕	๕	๔.๕	๔.๕	๔	๓.๕	๓

ตารางที่ ๗ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยคอนกรีต ที่อายุ ๒๘ วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตที่ไม่กระจาย กักฟองอากาศ	คอนกรีตที่กระจาย กักฟองอากาศ
๔๕๐	๐.๓๘	-
๔๐๐	๐.๔๓	-
๓๕๐	๐.๔๘	๐.๔๐
๓๐๐	๐.๕๕	๐.๔๖
๒๕๐	๐.๖๒	๐.๕๓
๒๐๐	๐.๗๐	๐.๖๑
๑๐๐	๐.๘๐	๐.๗๑

ตารางที่ ๘ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเยือกแข็งและการ ละลายของน้ำสลับกันบ่อย ๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกัก พองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเล หรือสัมผัสกับซัลเฟต
(๑) โครงสร้างบางที่มีเหล็ก หุ้มน้อยกว่า ๓ ซม.	๐.๔๕	๐.๔๐
(๒) โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	๐.๕๐	๐.๔๕

* หากใช้ปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต (ประเภท ๕) อาจเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก ๐.๐๕

ตารางที่ ๙ ปริมาตรของมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของ มวลรวมหยาบ นิ้ว (มม.)	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตร ของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียดต่าง ๆ กัน			
	๒.๔๐	๒.๖๐	๒.๘๐	๓.๐๐
$\frac{3}{8}$ (๙.๕)	๐.๕๐	๐.๔๘	๐.๔๖	๐.๔๔
$\frac{1}{2}$ (๑๒.๕)	๐.๕๙	๐.๕๗	๐.๕๕	๐.๕๓
$\frac{3}{4}$ (๑๙)	๐.๖๖	๐.๖๔	๐.๖๒	๐.๖๐
๑ (๒๕)	๐.๗๑	๐.๖๙	๐.๖๗	๐.๖๕
๑ $\frac{1}{2}$ (๓๗.๕)	๐.๗๖	๐.๗๔	๐.๗๒	๐.๗๐
๒ (๕๐)	๐.๗๘	๐.๗๖	๐.๗๔	๐.๗๒
๓ (๗๕)	๐.๘๑	๐.๗๙	๐.๗๗	๐.๗๕
๖ (๑๐๐)	๐.๘๗	๐.๘๕	๐.๘๓	๐.๘๑

ตารางที่ ๑๐ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุดของ มวลรวมหยาบ นิ้ว (มม.)	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตร	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจาย กักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจาย กักฟองอากาศ
$\frac{3}{4}$ (๑๐ มม.)	๒,๒๘๐	๒,๒๐๐
$\frac{1}{2}$ (๑๒.๕ มม.)	๒,๓๑๐	๒,๒๓๐
$\frac{3}{4}$ (๒๐ มม.)	๒,๓๔๕	๒,๒๗๕
๑ (๒๕ มม.)	๒,๓๘๐	๒,๒๙๐
๑ $\frac{1}{2}$ (๔๐ มม.)	๒,๔๑๐	๒,๓๕๐
๒ (๕๐ มม.)	๒,๔๔๕	๒,๓๘๕
๓ (๗๕ มม.)	๒,๔๙๐	๒,๔๐๕
๖ (๑๕๐ มม.)	๒,๕๓๐	๒,๔๓๕

๔. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

ข้อกำหนด

- ชนิดโครงสร้าง = โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป
- กำลังอัด (f_c) = ๑๗๕ กก./ตร.ซม. ทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก $\varnothing$ ๑๕ x ๓๐ ซม. ที่อายุ ๒๘ วัน
- โอกาสที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดร้อยละ ๒๐ และค่า $S = ๓๐$ กก./ตร.ซม.
- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท ๑

ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

- ปูนซีเมนต์ ค่าความถ่วงจำเพาะ = ๓.๑๕
- มวลรวมละเอียดใช้ทราย มีค่าความถ่วงจำเพาะ = ๒.๖ , ค่าการดูดซึมน้ำ = ๐.๗ % ,

ค่าพิกัดความละเอียด (F.M.) = ๒.๔๐

- มวลรวมหยาบใช้หินย่อยขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะ = ๒.๗ ,

ค่าการดูดซึมน้ำ = ๐.๕ % , หน่วยน้ำหนักแห้งอัดแน่น = ๑,๔๔๐ กก./ลบ.ม.

- น้ำใช้น้ำประปา (น้ำสะอาด) มีค่าความถ่วงจำเพาะ = ๑ , หน่วยน้ำหนัก = ๑,๐๐๐ กก./ลบ.ม.

ขั้นตอนการคำนวณ

การดำเนินการคำนวณออกแบบส่วนผสมต้องการหา f_{cr} หรือกำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการผลิตก่อน จากข้อกำหนดโอกาสที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดร้อยละ ๒๐ จากตารางที่ ๒ ได้ค่า $k = 0.842$ ดังนั้น $f_{cr} = 17.5 + 0.842 \times 30 = 200.3$ กก./ตร.ซม. ดังนั้นเราต้องออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า ๒๐๐ กก./ตร.ซม.

ขั้นตอนการคำนวณตาม ACI วิธี Absolute Volume (คิดต่อคอนกรีตปริมาตร ๑ ลบ.ม.)

๑. เลือกค่ายูนิตที่เหมาะสม (ดูตารางที่ ๕)

เนื่องจากเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังนั้นเลือกใช้ค่ายูนิตระหว่าง ๕ – ๑๐ ซม.

๒. ขนาดโตสุดของมวลรวม (Max Size)

เนื่องจากเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังนั้นโครงสร้างหลักจึงเป็นระบบพื้นคาน เสา เลือกใช้หินย่อยขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว หรือ ๑๙ มม. ตามตัวอย่างกำหนด

๓. เลือกใช้ปริมาณน้ำและปริมาณฟองอากาศ (ดูตารางที่ ๖)

จากหินย่อยขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว และค่ายูนิตที่ต้องการ ๕ – ๑๐ ซม. จะได้

- ปริมาณน้ำ ควรใช้ระหว่าง ๑๙๐ – ๒๐๕ กก. เลือกใช้ ๒๐๐ กก.

- ปริมาณฟองอากาศ ใช้ร้อยละ ๒ ของปริมาตรคอนกรีต

๔. เลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือ w/c (ดูตารางที่ ๗)

จากตารางที่ ๗ จะเห็นได้ว่า w/c แปรผกผันกับกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งจากกำลังอัดคอนกรีตที่ต้องการผลิต (f_{cr}) = ๒๐๐ กก./ตร.ซม. ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า $w/c = 0.70$

๕. คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์

จากขั้นตอน ๓ และขั้นตอน ๔ จะได้ปริมาณปูนซีเมนต์ (C) = $w/0.70 = 200/0.70 = 286$ กก.

๖. คำนวณปริมาณหินย่อย (ดูตารางที่ ๙)

หินย่อยขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว (จากขั้นตอนที่ ๒) มีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งแบบอัดแน่น = ๑,๔๔๐ กก./ลบ.ม. และค่าพิกัดความละเอียดของทราย (F.M.) = ๒.๔๐

จากตารางที่ ๙ จะได้ปริมาตรของหินย่อยแบบแห้ง = ๐.๖๔ ลบ.ม. หรือมีน้ำหนักแห้ง (D_D) = $0.64 \times 1,440 = 922$ กก. แต่เนื่องจากน้ำหนักของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ดังนั้นจึงต้องแปลงน้ำหนักของหินย่อยที่คำนวณได้ให้อยู่ในรูปอิ่มตัวผิวแห้ง (D_{SSD}) ด้วย โดย $D_{SSD} = D_D \times (1 + (W/100))$ และ W คือค่าการดูดซึมของหินย่อยจากการทดลองหรือใช้ค่าประมาณ ดังนั้นน้ำหนักหินย่อยสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (D_{SSD}) = $922 \times (1 + 0.5/100) = 927$

๗. คำนวณปริมาณทราย โดยหา Absolute Volume ของวัสดุแต่ละชนิดจาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของวัสดุ} &= \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}} \\ \text{- ปริมาตรของน้ำ} &= 200 / (1.00 \times 1000) = 0.2000 \text{ ลบ.ม.} \\ \text{- ปริมาตรของปูนซีเมนต์} &= 286 / (3.15 \times 1000) = 0.0908 \text{ ลบ.ม.} \\ \text{- ปริมาตรของหินย่อย} &= 927 / (2.70 \times 1000) = 0.3433 \text{ ลบ.ม.} \\ \text{ปริมาตรของฟองอากาศ} &= 2 / 100 \times 1 = 0.0200 \text{ ลบ.ม.} \\ \text{ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด} &= 0.6541 \text{ ลบ.ม.} \\ \text{ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้} &= 1 - 0.6541 = 0.3459 \text{ ลบ.ม.} \\ \text{ดังนั้น ปริมาณทราย (SSD)} &= 0.3459 \times 2.60 \times 1000 = 900 \text{ กก.} \end{aligned}$$

ปริมาณวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต ๑ ลบ.ม.

$$\begin{aligned} \text{ปูนซีเมนต์} &= 286 \text{ กก.} \\ \text{น้ำ} &= 200 \text{ กก.} \\ \text{ทราย (SSD)} &= 900 \text{ กก.} \\ \text{หินย่อย (SSD)} &= 927 \text{ กก.} \\ \text{น้ำหนักคอนกรีตรวม} &= 2,113 \text{ กก.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก} &= \frac{286}{286} : \frac{900}{286} : \frac{927}{286} \\ &= 1 : 3.14 : 3.24 \\ \text{w/c} &= \frac{200}{286} = 0.70 \end{aligned}$$

๘. ทดลองผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่คำนวณได้ เพื่อตรวจสอบค่ายุบตัว และความสามารถเทได้คอนกรีตสด และทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หากพบว่ามีความเหมาะสมให้นำไปใช้งานได้ แต่ถ้าไม่เหมาะสม เช่น ค่ายุบตัวไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดมีการแยกตัวของวัสดุผสม หรือกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนที่ ๒ ด้วยการปรับค่าที่แนะนำตามตารางต่าง ๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น หากต้องการเพิ่มค่ายุบตัวของคอนกรีตให้เพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้ แต่ถ้าต้องการลดค่ายุบตัวของคอนกรีตให้ลดปริมาณน้ำที่จะใช้ หรือถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นให้ลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เป็นต้น

แบบฟอร์มการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI

ข้อกำหนดผู้ออกแบบโครงสร้าง

ชนิดโครงสร้าง : _____

กำลังตามแบบ (f_c') _____ ksc

คำนวณกำลังอัดที่ต้องการผลิต (ดูคำแนะนำตารางที่ ๒ - ๔)

$$f_{cr} = f_c' + k_s \quad (\text{กำลังอัดทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ ๒๘ วัน})$$

$$k = \text{_____} (\text{ร้อยละกำลังอัดที่ต่ำกว่า } f_c' \text{ _____ \%})$$

$$s = \text{_____} \quad k_{sc}$$

$$\text{แทนค่า } f_{cr} = \text{_____}$$

$$f_{cr} = \text{_____} \quad k_{sc} \quad \text{ใช้จริง } \text{_____} \quad k_{sc}$$

ตารางข้อมูลคุณสมบัติวัสดุผสมคอนกรีต (จากการทดสอบคุณสมบัติ)

วัสดุ	ความ ถ่วง จำเพาะ	ความชื้น SSD (%)	พิกัด ความ ละเอียด	ขนาด โตสุด (นิ้ว)	หน่วยน้ำหนัก แบบหลวม (กก./ลบ.ม.)	หน่วยน้ำหนัก แบบแน่น (กก./ลบ.ม.)	หมายเหตุ
๑ ปูนซีเมนต์							
๒ มวลรวมละเอียด(ทราย)							
๓ มวลรวมหยาบ(หินย่อย)							
๔ น้ำ							
๕ สารผสมเพิ่ม	ยี่ห้อ				อัตราการใช้		%

ขั้นตอนการคำนวณออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI

๑. เลือกค่าคุณสมบัติที่เหมาะสม (คำแนะนำตามตารางที่ ๕)

พิจารณา ชนิดโครงสร้าง : _____

ใช้ค่าคุณสมบัติที่เหมาะสม = _____ ซม.

๒ เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ (ขึ้นกับชนิดโครงสร้าง และการวางเหล็กเสริม) -<วาดรูปประกอบ>

๒.๑ ขนาด ๑/๕ ของส่วนที่แคบที่สุดของโครงสร้างไม่เสริมเหล็ก

๒.๒ ขนาด ๓/๔ ของระยะเรียงเหล็กเสริมที่แคบที่สุดหรือระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ

๒.๓ ขนาด ๑/๓ ของความหนาแผ่นพื้นที่ยาวบนดิน

ใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ = _____ นิ้ว _____ มม.

๓. ประมาณปริมาณและปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้น (คำแนะนำตามตารางที่ ๖)

พิจารณาจาก

- ค่ายุบตัว (จากข้อ ๑) = _____ ซม.

- ขนาดโตสุด (จากข้อ ๒) = _____ มม.

ใช้ปริมาณน้ำ = _____ กก.

ใช้ปริมาณฟองอากาศ = _____ %

๔. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (คำแนะนำตามตารางที่ ๗, ๘)

พิจารณาจาก $f_{cr} =$ _____ k_{sc}

ใช้ w/c = _____

๕. คำนวณปริมาณซีเมนต์ = ค่าจากขั้นตอนที่ ๓/ค่าจากขั้นตอนที่ ๔

แทนค่า _____

ใช้ปูนซีเมนต์ _____ กก.

๖. คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ = ค่าแนะนำตามตารางที่ ๙ x หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ(แบบแน่น)

พิจารณาจาก

- ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ (จากข้อ ๒) = _____ มม.

- พิกัดความละเอียด (F.M.) ของมวลรวมละเอียด = _____

จากตารางที่ ๙ ได้ปริมาตรมวลรวมหยาบในคอนกรีต ๑ ลบ.ม. _____ ลบ.ม.

หาน้ำหนักมวลรวมหยาบ

หน่วยน้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง (แบบแน่น) = _____ กก./ลบ.ม.

น้ำหนักมวลรวมหยาบแห้ง _____ = _____ กก.

$$\text{น้ำหนักวัสดุ SSD} = \text{น้ำหนักวัสดุแห้ง} \times \left(1 + \frac{\text{ความชื้น SSD}}{100} \right)$$

ความชื้น SSD ของมวลรวมหยาบ _____ %

ใช้น้ำหนักมวลรวมหยาบ (SSD) = _____ = _____ กก.

๗. คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ (เลือกวิธีใดวิธีหนึ่ง)

๗.๑ Weight Method

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = น้ำหนักคอนกรีต (คำแนะนำตามตารางที่ ๑๐) – น้ำหนักส่วนผสม
(ยกเว้นมวลรวมละเอียด)

พิจารณาจาก ขนาดโตสุดมวลรวมหยาบแห้ง (จากข้อ ๒) = _____ มม.

ได้หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (ตารางที่ ๑๐) = _____ กก./ลบ.ม.

ใช้น้ำหนักมวลรวมละเอียด = _____ = _____ กก.

๗.๒ Absolute Volume Method

ใช้ตารางประกอบการคำนวณ

$$\text{โดย ปริมาตรของวัสดุ} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ถ.พ.ของวัสดุ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักของวัสดุ} = \text{ปริมาตรของวัสดุ} \times \text{ถ.พ.ของวัสดุ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}$$

ตารางคำนวณปริมาณวัสดุผสมคอนกรีต ในคอนกรีต ๑ ลบ.ม.

วัสดุผสม	น้ำหนัก กก.	ปริมาตร (ลบ.ม.)
ปูนซีเมนต์		
น้ำ		
ฟองอากาศ ร้อยละ		
สารผสมเพิ่มร้อยละ		
มวลรวมละเอียด (SSD)		
มวลรวมหยาบ (SSD)		
คอนกรีต		

อัตราส่วนผสมคอนกรีต โดยน้ำหนัก (ใช้เครื่องชั่ง)

ปูนซีเมนต์	มวลรวมละเอียด	มวลรวมละเอียด	w/c
		w/c	=

อัตราส่วนผสมคอนกรีต โดยปริมาตร (ใช้เครื่องตวง)

$$\text{อัตราส่วนโดยปริมาตรของวัสดุ} = \frac{\text{อัตราส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุ} \times \text{หน่วยน้ำหนัก(หลวม)ของปูนซีเมนต์}}{\text{หน่วยน้ำหนัก(หลวม)ของวัสดุ}}$$

ปูนซีเมนต์	มวลรวมละเอียด	มวลรวมละเอียด	w/c
		w/c	=

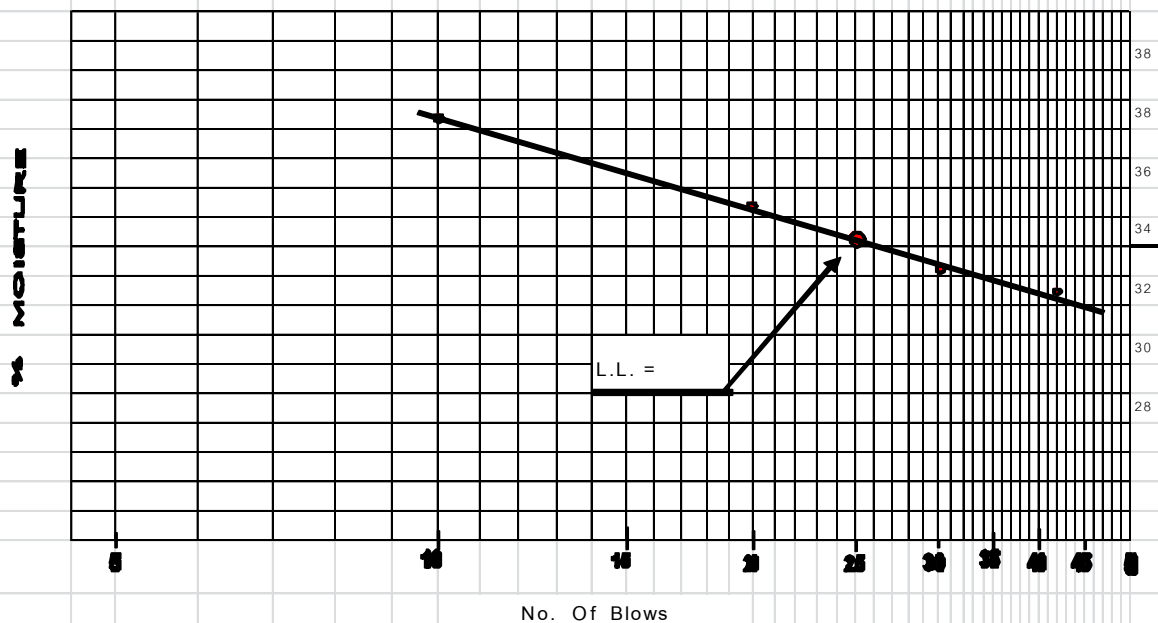


ATTERBERG LIMITS TEST

โครงการ _____ Tested by _____ Date _____
 Lab. No. _____ Checked by _____ Date _____

		PLASTIC LIMIT			LIQUID LIMIT			
	Trial No.	1	2	3	1	2	3	4
	Can N0.	1	2	3	4	5	6	7
	N0. Of Blows	-	-	-	10	20	30	42
1	Wt. Can + Wet Soil							
2	Wt. Can + Dry Soil							
3	Wt. Of Water							
4	Wt. Of Can							
5	Wt. Of Dry Soil							
6	% Moisture							

FLOW CURVE LIQUID LIMIT



Liquid Limit (L. L.)	Plastic Limit (P. L.)	Plasticity Index (P.I.)

มาตรฐานการทดสอบ

การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

๑. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบหาขนาดผล (Gradation) ขนาดโตสุด (Maximum Size) และโมดูลัสความละเอียด

(Fineness Modulus) ของมวลรวมโดยการร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่กำหนด

๒. เครื่องมือ

๒.๑ เครื่องชั่งมีความละเอียดไม่น้อยกว่า ๐.๑ กรัมสำหรับทดสอบมวลรวมละเอียดและมีความละเอียด

ไม่น้อยกว่า ๐.๕ กรัมสำหรับการทดสอบมวลรวมหยาบ

๒.๒ ตะแกรงมาตรฐาน (Standard Sieve) พร้อมด้วยภาตรองและฝาปิด

๒.๓ เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker)

๒.๔ ตู้อบและ/หรือตู้อบไมโครเวฟ

๓. วิธีการทดสอบ

๓.๑ การหาขนาดโตสุด

การหาขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบทำได้โดยสุมตัวอย่างมวลรวมมาประมาณ ๕ กิโลกรัม นำไป

ซึ่งน้ำหนักแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่ละขนาดและหาน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงเป็นร้อยละเริ่มจากตะแกรงขนาดใหญ่ ไป

หาขนาดเล็กเมื่อมวลรวมค้างบนตะแกรงเท่ากับร้อยละ ๑๕ ขนาดโตสุดของมวลรวมคือขนาดของตะแกรงนั้นถ้า

มากกว่าร้อยละ ๑๕ ขนาดโตสุดของมวลรวมคือขนาดของตะแกรงที่ใหญ่กว่าหนึ่งขนาดแต่ถ้าร้อยละร้อยละ

๑๕ จะต้องใช้ตะแกรงขนาดที่เล็กกว่าหนึ่งขนาดร่อนตัวอย่างมวลรวมต่อไปจนกว่าจะมีมวลรวมค้างสะสมบน

ตะแกรงไม่น้อยกว่าร้อยละ ๑๕ แล้วพิจารณาว่ามวลรวมมีขนาดโตสุดเป็นเท่าใดด้วยหลักเกณฑ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

๓.๒ การสุมตัวอย่าง

๓.๒.๑ สุ่มเก็บตัวอย่างจากสนามประมาณ ๔ เท่าของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของมวลรวมดังแสดงในตารางที่ ๑

๓.๒.๒ คลุกเคล้าตัวอย่างให้เข้ากันจากนั้นลดปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบลงให้เหลือตาม
ปริมาณที่กำหนดตามตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบขนาดคะแนนแยกตามขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ

ขนาดโตสุดของมวลรวม นิ้ว (มิลลิเมตร)	น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ กิโลกรัม
$\frac{3}{8}$ (๙.๕๑)	๑
$\frac{1}{2}$ (๑๒.๗)	๒
$\frac{3}{4}$ (๑๙.๐)	๕
๑ (๒๕.๔)	๑๐
$1\frac{1}{2}$ (๓๘.๑)	๑๕
๒ (๕๐.๘)	๒๐
$2\frac{1}{2}$ (๖๔.๐)	๓๕
๓ (๗๖.๑)	๖๐
$3\frac{1}{2}$ (๘๙.๐)	๑๐๐
๔ (๑๐๐)	๑๕๐
๕ (๑๒๕)	๓๐๐

๓.๒.๓ ตัวอย่างมวลรวมละเอียดให้ใช้ปริมาณทดสอบเมื่อแห้งต่ำสุด ๓๐๐ กรัม (เพื่อความเหมาะสมในการทดสอบควรใช้ปริมาณ ๕๐๐ กรัมแล้วตรวจสอบตามข้อ ๓.๓.๓.๑ ถ้ามีมวลรวมค้ำบนตะแกรงเกินกว่า ๒๐๐ กรัมให้ใช้ปริมาณในการทดสอบ ๓๐๐ กรัม)

๓.๓ การทดสอบ

๓.๓.๑ อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ซึ่งน้ำหนักไว้

๓.๓.๒ เลือกขนาดตะแกรงให้เหมาะสมกับขนาดของมวลรวมนำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีช่องใหญ่กว่าอยู่ด้านบนแล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็กสุดและถาดรอง

(Pan) ติดตั้งตะแกรงทั้งหมดกับเครื่องเขย่าตะแกรงเทมวลรวมลงในตะแกรงชั้นบนสุดปิดฝาและยึดให้แน่น

๓.๓.๓ เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องยิ่งขึ้นเมื่อเขย่าตะแกรงเสร็จสิ้นปริมาณของตัวอย่าง

ที่ค้ำบนแต่ละตะแกรงต้องไม่เกินกว่าที่กำหนดดังนี้

๓.๓.๓.๑ ตะแกรงขนาดช่องเปิดเล็กกว่า ๔.๗๕ มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ ๔) ต้องมีมวล

รวมค้ำบนตะแกรงได้ไม่เกิน ๗ กิโลกรัมต่อตารางเมตรซึ่งถ้าหากทดสอบโดยใช้ตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง ๘ นิ้ว จะมีมวลรวมค้ำบนตะแกรงได้สูงสุด ๒๐๐ กรัม

๓.๓.๓.๒ ตะแกรงขนาดช่องเปิดใหญ่กว่า ๔.๗๕ มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ ๔) ต้องมีมวลรวมค้ำบนตะแกรงได้ไม่เกินผลจากการคำนวณ $๒.๕ \times (\text{ขนาดช่องเปิดเป็นมิลลิเมตร}) \times (\text{พื้นที่ประสิทธิภาพของตะแกรงเป็นตารางเมตร})$

๓.๓.๔ เดินเครื่องเขย่าตะแกรงจนมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงไม่ลอดผ่านไปยังตะแกรงชั้นถัดไป

โดยหลังจากการทดลองเสร็จสิ้นต้องตรวจสอบว่าจะต้องมีวัสดุผ่านตะแกรงแต่ละขนาดเกินร้อยละ ๑ โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับปริมาณวัสดุที่ค้ำบนแต่ละตะแกรงซึ่งทำได้โดยร่อนวัสดุด้วยการเขย่าตะแกรงแต่ละขนาดด้วยมืออย่างต่อเนื่องติดต่อกันเป็นเวลา ๑ นาที

๓.๓.๕ ในกรณีที่วัสดุขนาดเดียวกันกระจุกตัวอยู่บนตะแกรง ๒ หรือ ๓ ขนาดให้แบ่งการทดลองออกเป็น ๒ ครั้งเพื่อป้องกันตะแกรงรับน้ำหนักมากเกินไป

การทดสอบขนาดผลรวมละเอียดด้วยเครื่องเขย่า



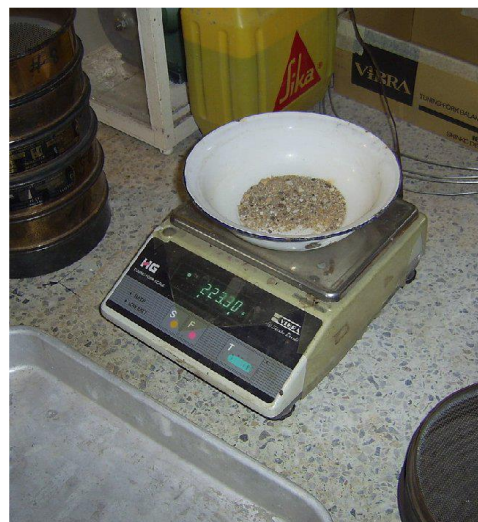
รูป ๑.๑ ติดตั้งตะแกรงกับเครื่องเขย่า
ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงไป



รูปที่ ๑.๒ เดินเครื่องเขย่า



รูปที่ ๑.๓ แยกตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง
ตะแกรง
ออกจากตะแกรงแต่ละขนาด



รูปที่ ๑.๔ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้าง

การทดสอบขนาดผลรวมหยาบด้วยเครื่องเขย่า



รูป ๒.๑ ติดตั้งตะแกรงกับเครื่องรูปที่
ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงไป



๒.๒ เดินเครื่องเขย่า



รูปที่ ๒.๓ แยกตัวอย่างที่ค้างแต่ละตะแกรงรูปที่
ออกจากตะแกรงแต่ละขนาด



๒.๔ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้างตะแกรง

๔. การคำนวณ

$$๔.๑ \text{ ร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมค้ำแต่ละตะแกรง} \times ๑๐๐}{\text{น้ำหนักมวลรวมทั้งหมด}}$$

$$๔.๒ \text{ ร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรงสะสม} = \text{ผลบวกสะสมค่าร้อยละน้ำหนักร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรง}$$

$$๔.๓ \text{ ร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรง} = ๑๐๐ - \text{ร้อยละน้ำหนักร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรงสะสม}$$

๔.๔ โมดูลัสความละเอียด (F.M.) ค่าโมดูลัสความละเอียดคือค่าร้อยละสะสมของมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ ๑๐๐ และหยาบกว่าหยาบด้วย ๑๐๐ โดยใช้ค่าร้อยละน้ำหนักร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรงสะสมที่มีขนาดช่องเปิดโตขึ้นเป็น ๒ เท่าได้แก่เบอร์ ๑๐๐, เบอร์ ๕๐, เบอร์ ๓๐, เบอร์ ๑๖, เบอร์ ๘, เบอร์ ๔, $\frac{๓}{๔}$, $\frac{๑}{๒}$, ๓ และ ๖ นิ้วตามลำดับ

๕. การรายงานผล

๕.๑ ค่าร้อยละของมวลรวมผ่านตะแกรงมีความละเอียดเป็นทศนิยม ๑ ตำแหน่ง

๕.๒ ค่าโมดูลัสความละเอียดไม่มีหน่วยโดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม ๒ ตำแหน่ง

Grain Size Analysis Of Coarse Aggregate

งาน.....

สัญญาเลขที่.....

Project			Tested by			Date		
Lab. No.			Checked by			Date		

SIEVE	WT. SIEVE	WT. SIEVE +	WT. SAMPLE	CUMULATIVE	PERCENT	WT. PASSING	PERCENT	REMARK
		SAMPLE	RETAINED	PERCENT	RETAINED		PASSING	
				RETAINED				
NO.	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	
2"	478	478	0					100
1 1/2"	495	524	29					90 - 100
1"	485	1215	730					
3/4"	507	650	143					
1/2"	696	754	58					
3/8"	487	625	138					0 - 5
Sample Wt. =			1,124		g			
Specific Gravity (SSD.)						ไม่น้อยกว่า 2.6		
REMARK	ตัวอย่างหินย่อยเบอร์ 2 จัดเก็บและส่งมาทดสอบโดย จนท.ของโครงการฯ ตามหนังสือส่งตัวอย่างเลขที่							
								

Grain Size Analysis Of Sand								
งาน _____								
สัญญาเลขที่ _____								
Project			Tested by			Date		
Lab. No.			Checked by			Date		
SIEVE	WT. SIEVE	WT. SIEVE +	WT. SAMPLE	PERCENT	CUMULATIVE	WT. PASSING	PERCENT	REMARK
		SAMPLE	RETAINED	RETAINED	PERCENT		PASSING	
					RETAINED			
NO.	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	
3/8"	494	494	0					100
#4	493	518	25					95 - 100
#8	445	610	165					-
#16	409	612	203					-
#30	382	555	173					-
#50	333	658	325					-
#100	311	568	257					0 - 10
#200	305	325	20					0 - 3
	Sample Wt. =				g			
Fineness Modulus (F.M.)						2.30 - 3.10		
Silt						ไม่มากกว่า 3%		
Specific Gravity (SSD)						ค่าใกล้เคียง 2.6		
ปริมาณสารอินทรีย์			น้อยกว่าสีมาตรฐานเบอร์ 3			เท่ากับ หรือ น้อยกว่า		
ทดลองโดยเทียบสีมาตรฐาน						สีมาตรฐานเบอร์ 3		
REMARK	ตัวอย่าง ทราห์ยาบ จัดเก็บและส่งมาทดสอบโดย จนท.ของโครงการฯ ตามหนังสือส่งตัวอย่างเลขที่ _____							

มาตรฐานการทดสอบ

การหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสแอนเจลีส์

๑. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสแอนเจลีส์ (Los Angeles Machine) ซึ่งเป็นคุณสมบัติด้านความคงทน (Durable)

๒. เครื่องมือ

๒.๑ เครื่องซึ่งมีความละเอียดไม่น้อยกว่า ๐.๑ กรัม

๒.๒ ตะแกรงมาตรฐาน (Standard Sieve to ASTM) ขนาด ๓ , $\frac{1}{2}$, ๒ , $\frac{1}{4}$, ๑ , $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ นิ้ว, เบอร์ ๔, เบอร์ ๘ และเบอร์ ๑๒

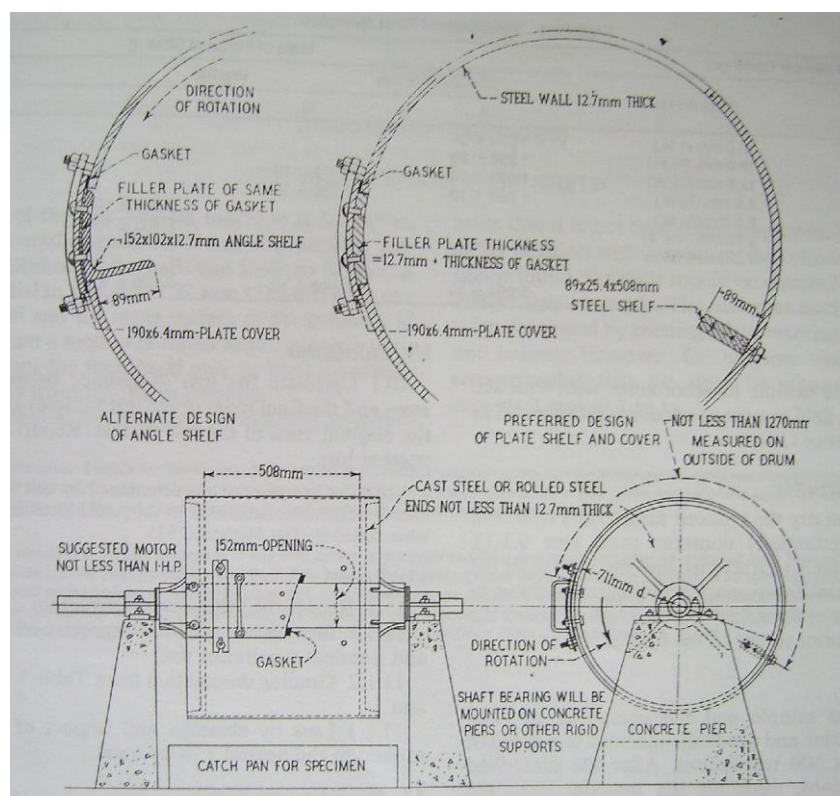
๒.๓ เครื่องลอสแอนเจลีส์มีขนาดและมิติดังแสดงในรูปที่ ๑ ประกอบด้วยถังเหล็กรูปทรงกระบอกกลาง ปลายปิดทั้งสองด้านที่มีความหนาไม่น้อยกว่า ๑๒.๔ มิลลิเมตรมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ๗๑๑±๕ มิลลิเมตร (๒๘±๐.๒ นิ้ว) และความยาวด้านใน ๕๐๘±๕ มิลลิเมตร (๒๐ ±๐.๒ นิ้ว) ถังเหล็กดังกล่าวมีจุดรองรับที่ปลายทั้งสองที่ปลายนี้มีแกนเหล็กติดอยู่กับถังและไม่ทะลุเข้าไปด้านในโดยสามารถหมุนรอบแกนในแนวนอนได้ที่ผิวถังมีช่องเปิดสำหรับใส่ตัวอย่างที่จะทดลองและลูกเหล็กลงไปได้โดยฝาช่องเปิดนี้ควรเป็นแบบยึดติดถังเหล็กได้ง่ายและแนบสนิทเพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจายออกมานอกจากนี้ต้องติดแผ่นเหล็กกว้าง ๘๘± ๒ มิลลิเมตร (๓.๕±๐.๑ นิ้ว) ที่ด้านในตลอดความยาวของถังเหล็กในตำแหน่งซึ่งทำให้ตัวอย่างทดสอบและลูกเหล็กไม่ตกกระทบฝาช่องเปิดและบริเวณใกล้เคียงในขณะทดสอบซึ่งจุดที่ติดตั้งแผ่นเหล็กให้วัดจากช่องเปิดตามแนววงรอบ

ของถังเหล็กด้านนอกเป็นระยะไม่น้อยกว่า ๑,๒๗๐ มิลลิเมตร (๕๐ นิ้ว) ๒.๔ ลูกเหล็ก (Abrasive Charge) ประกอบด้วยลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ ๔๗ มิลลิเมตร ($\frac{27}{32}$ นิ้ว) แต่ละลูกมีน้ำหนักระหว่าง ๓๙๐ ถึง ๔๔๕ กรัมซึ่งการเลือกจำนวนลูกเหล็กขึ้นอยู่กับเกรดของมวลรวมหยาบดังแสดงในตารางที่ ๑

๒.๕ ตู้อบสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ ๑๑๐±๕ องศาเซลเซียสหรือตู้ไมโครเวฟ

ตารางที่ ๑ จำนวนลูกเหล็กที่ใช้ทดสอบเมื่อเลือกใช้เกรดของมวลรวมหยาบที่กำหนด

เกรด	จำนวนลูกเหล็ก	น้ำหนักของลูกเหล็ก (กรัม)
A	๑๒	๕,๐๐๐±๒๕
B	๑๑	๔,๕๘๔±๒๕
C	๘	๓,๓๓๐±๒๐
D	๖	๒,๕๐๐±๑๕
E	๑๒	๕,๐๐๐±๒๕
F	๑๒	๕,๐๐๐±๒๕
G	๑๒	๕,๐๐๐±๒๕



รูปที่๑ขนาดและมิติของเครื่องลอสแองเจลีส์

๓. วิธีการทดลอง

๓.๑ การเตรียมตัวอย่าง

๓.๑.๑ ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบเป็นหินย่อยให้สุมตัวอย่างมวลรวมหยาบให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ ๒ นำมาล้างให้สะอาดและอบให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่

๓.๑.๒ ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบเป็นหินใหญ่ให้เริ่มจากเลือกเกรดที่จะทดสอบว่าเป็น E, F หรือ

G ซึ่งโดยทั่วไปมักเลือกทดสอบเกรด E เนื่องจากใช้เวลาในการย่อยให้เหมือนมวลรวมหยาบน้อยที่สุดจากนั้น

ล ง
มีย่อยตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลงจนมีปริมาณของตัวอย่างในแต่ละขนาดไม่น้อยกว่าเกรดที่เลือกไว้ด้วยค้อน

ปอนด์
แต่เนื่องจากการทุบให้แตกจะทำให้ตัวอย่างบางส่วนมีรูปร่างแบนบริเวณขอบของแต่ละก้อนมีเหลี่ยมมุมและไม่
แข็งแรงและบางก้อนเกิด รอยร้าวจึงจำเป็นต้องตรวจสอบเนื้อตัวอย่างแต่ละก้อนว่ามีรอยแตกร้าวหรือไม่หากมีต้อง
ย่อยตัวอย่างก้อนนั้นให้มีขนาดเล็กลงอีกจากนั้นใช้ค้อนเหล็กปลายแหลมทุบแต่งตัวอย่างแต่ละก้อนให้มีเหลี่ยม
มุมน้อยลงจนมีรูปร่างค่อนข้างกลมเมื่อได้ปริมาณที่เหมาะสมแล้วนำมาล้างให้สะอาดและอบให้แห้งจนมีน้ำหนัก
คงที่

๓.๑.๓ นำตัวอย่างมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเพื่อเลือกเกรดที่ใกล้เคียงกับขนาดคละของ
มวลรวมหยาบมากที่สุดซึ่งน้ำหนักมวลรวมหยาบที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆตามปริมาณที่กำหนดของเกรดที่
เลือก

๓.๑.๔ นำมวลรวมหยาบนั้นมาผสมกันอีกครั้งหนึ่งซึ่งน้ำหนักไว้เป็นน้ำหนักก่อนการทดสอบ

๓.๒ การทดสอบ

๓.๒.๑ ใส่ตัวอย่างมวลรวมหยาบที่เตรียมไว้และลูกเหล็กตามจำนวนที่ระบุในตารางที่ ๒ ลงใน
เครื่องทดสอบแรงเฉือนด้วยความเร็ว ๓๐ ถึง ๓๓ รอบต่อนาทีโดยมวลรวมหยาบเกรด A, B, C และ D
ตั้งเครื่องให้หมุนจำนวน ๕๐๐ รอบส่วนมวลรวมหยาบเกรด E, F และ G ตั้งเครื่องให้หมุนจำนวน ๑,๐๐๐ รอบ

๓.๒.๒ หลังจากหมุนเครื่องครบตามจำนวนรอบที่กำหนดแล้วให้นำตัวอย่างมวลรวมหยาบ
และ

ลูกเหล็กทั้งหมดออกจากเครื่องทดสอบแรงเฉือนและแยกตัวอย่างมวลรวมหยาบและลูกเหล็กออกจากกัน

๓.๒.๓ ร่อนตัวอย่างมวลรวมหยาบด้วยตะแกรงเบอร์ ๑๒ โดยนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์
๑๒

มาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบหรือในกรณีที่ต้องการความละเอียดสูงให้นำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ ๑๒ มาล้างใส
สะอาดเพื่อกำจัดฝุ่นที่เกาะตามผิวมวลรวมหยาบออกไปและอบให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่เป็นน้ำหนักหลังการ
ทดสอบ

ตารางที่ 2 น้ำหนักของตัวอย่างจำนวนลูกเหล็กและจำนวนรอบที่หมุนเครื่องในการทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบเกรดต่างๆ

ขนาดตะแกรง (ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยม)		น้ำหนักของตัวอย่างแต่ละขนาด (กรัม)						
		เกรด						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
๓ นิ้ว	๒ 1/2 นิ้ว	---	---	---	---	๒,๕๐๐±๕๐	---	---
๒ 1/2 นิ้ว	๒ นิ้ว	---	---	---	---	๒,๕๐๐±๕๐	---	---
๒ นิ้ว	๑ 1/2 นิ้ว	---	---	---	---	๕,๐๐๐±๕๐	๕,๐๐๐±๕๐	---
๑ 1/2 นิ้ว	๑ นิ้ว	๑,๒๕๐±๒๕	---	---	---	---	๕,๐๐๐±๒๕	๕,๐๐๐±๒๕
๑ นิ้ว	3/4 นิ้ว	๑,๒๕๐±๒๕	---	---	---	---	---	๕,๐๐๐±๒๕
3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	๑,๒๕๐±๑๐	๒,๕๐๐±๑๐	---	---	---	---	---
1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว	๑,๒๕๐±๑๐	๒,๕๐๐±๑๐	---	---	---	---	---
3/8 นิ้ว	1/4 นิ้ว	---	---	๒,๕๐๐±๑๐	---	---	---	---
1/4 นิ้ว	เบอร์ ๔	---	---	๒,๕๐๐±๑๐	---	---	---	---
เบอร์ ๔	เบอร์ ๘	---	---	---	๕,๐๐๐±๑๐	---	---	---
น้ำหนักรวม		๕,๐๐๐±๑๐	๕,๐๐๐±๑๐	๕,๐๐๐±๑๐	๕,๐๐๐±๑๐	๑๐,๐๐๐±๑๐๐	๑๐,๐๐๐±๗๕	๑๐,๐๐๐±๕๐
จำนวนลูกเหล็ก		๑๒	๑๑	๘	๖	๑๒	๑๒	๑๒
จำนวนรอบที่หมุน		๕๐๐	๕๐๐	๕๐๐	๕๐๐	๑๐๐๐	๑๐๐๐	๑๐๐๐



รูปที่ ๒ เครื่องลอสเองเจลีส



รูปที่ ๓ ลูกเหล็กและตะแกรงมาตรฐาน



รูปที่ ๔ ใส่ตัวอย่างและลูกเหล็กลงในเครื่องทดสอบรูปที่ ๑ เครื่องครบตามจำนวนรอบที่กำหนด



๕ แยกตัวอย่างออกจากลูกเหล็กหลังจากหมุน



รูปที่ ๖ ร่อนตัวอยู่ใต้ความดันของน้ำแรงเบอร์ ๑๒
 เพื่อหาน้ำหนักหลังการทดสอบ

๔. การคำนวณ

ความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของการขัดสี} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนการทดสอบ(กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังการทดสอบ(กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนการทดสอบ(กรัม)}} \times 100$$

๕. การรายงานผล

ความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบเป็นร้อยละโดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม ๑ ตำแหน่ง

Grain Size Analysis Of Coarse Aggregate (หินใหญ่)								
งาน _____								
สัญญาเลขที่ _____								
Project			Tested by			Date		
Lab. No.			Checked by			Date		
		ขนาดของหินใหญ่				เมตร		
		ค่าความถ่วงจำเพาะ						
		ส่วนสูญหายจากการขัดสี (L.A.)				%		
<u>REMARK</u>								
ตัวอย่างหินใหญ่ จัดเก็บและส่งมาทดสอบโดย จนท.ของโครงการฯ ตามหนังสือส่งตัวอย่างเลขที่ _____								

ทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ								
Project			Tested by			Date		
Lab. No.		0	Checked by			Date		
การทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ								
ขนาดตะแกรง		เกรด						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
3 นิ้ว	2 1/2 นิ้ว							
2 1/2 นิ้ว	2 นิ้ว							
2 นิ้ว	1 1/2 นิ้ว						5000 + - 50	
1 1/2 นิ้ว	1 นิ้ว	1250+ -25					5000 + - 25	5000 + - 25
1 นิ้ว	3/4 นิ้ว	1250+ -25						5000 + - 25
3/4 นิ้ว	1/2 นิ้ว	1250+ -10	2,500 + - 10					
1/2 นิ้ว	3/8 นิ้ว	1250+ -10	2,500 + - 10					
3/8 นิ้ว	1/4 นิ้ว			2,500 + - 10				
1/4 นิ้ว	เบอร์ 4			2,500 + - 10				
เบอร์ 4	เบอร์ 8				5000 + - 10			
จำนวนลูกเหล็ก		12	11	8	6		12	12
จำนวนรอบที่หมุน		500	500	500	500		1000	1000
น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)		5000 + - 10	5000 + - 10	5000 + - 10	5000 + - 10		10000 + - 75	10000 + - 50
น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)								
ร้อยละของการขัดสี								
หมายเหตุ								
ตัวอย่าง หินใหญ่ จัดเก็บและส่งมาทดสอบโดย জন.ท.ของโครงการฯ ตามหนังสือส่งตัวอย่างเลขที่								
