

แนวทางการนำกากคอนกรีตกลับมาใช้ประโยชน์

มณฑุณี โดพิสิฐ* และ สาลินี อาจารย์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกากของเสียอุตสาหกรรม มีปริมาณมากขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจ ผลที่ตามมาคือปัญหาสถานะแวดล้อม เนื่องจากกากอุตสาหกรรมเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นการลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดภาวะโลกร้อนและการอนุรักษ์ธรรมชาติเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสถานะภูมิอากาศของโลก เป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกให้ความสนใจและเร่งหาแนวทางแก้ไขในระยะยาว การกำจัดกากอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ในการบำบัดและกำจัด โดยหลัก คือ วิธีการฝังกลบ ซึ่งวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงและไม่ก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ซึ่งกากคอนกรีตเป็นของเสียอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมธุรกิจผลิตคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งมีการขยายตัวมากขึ้นตามภาวะการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นภายในประเทศ ดังนั้นกระบวนการจัดการกากคอนกรีตจึงมีความจำเป็นที่ควรเลือกใช้กระบวนการที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากที่สุด วิธีการที่สนับสนุนให้ใช้ในการกำจัดกากคอนกรีตคือ วิธี 3 R ได้แก่ R1.Reduce คือ การลดการใช้ การบริโภค ทรัพยากรที่ไม่จำเป็นให้น้อยลง ลดการก่อให้เกิดของเสีย R2. Reuse การใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด โดยการนำสิ่งของเครื่องใช้มาใช้ซ้ำ และ R3. Recycle คือ การนำสิ่งของที่ใช้ประโยชน์ในรูปแบบเดิมไม่ได้ไปจัดการด้วยกระบวนการต่าง ๆ แล้วแปรรูปเป็นสิ่งใหม่ เพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติของหิน และทรายที่ได้จากคอนกรีตผสมเสร็จที่ไม่ใช้แล้ว โดยทดสอบคุณสมบัติด้านขนาดกละ และปริมาณฝุ่น ผลทดสอบที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตได้ และจากการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้หิน และทรายที่ได้จากคอนกรีตผสมเสร็จที่ไม่ใช้แล้ว แทนการใช้หิน และทรายใหม่ในส่วนผสมคอนกรีต โดยทดลองในสัดส่วนร้อยละ 0 20 40 และ 60 ซึ่งพิจารณาจากผลทดสอบด้านคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จากผลการทดลองได้ค่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้ร้อยละ 20-40%

คำสำคัญ : คอนกรีตผสมเสร็จ, กากคอนกรีตสด, เครื่องแยกกากคอนกรีตสด, ค่าการสูญเสียการยุบตัว, ค่ากำลังอัดของคอนกรีต

สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมเพื่อธุรกิจและอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม, วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: monrudet@scg.com รับเมื่อ 10 ตุลาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 28 มีนาคม 2561

How to Make Use of Concrete Waste

Monrudee Topisit* and Salinee Acharry

Abstract

Today, the increase of waste from industry is related to economic growth, which is causing “global warming”. Therefore, reducing waste from industry could result in the reduction of global warming. To manage waste treatments, landfill is one of the most popular methods, despite high costs and the usage of resources are not efficient. Concrete waste is another type of waste in industry; the consumption of ready mixed concrete industry has also risen due to an increase in domestic construction. This is why different methods of waste treatment should have good management with usage of resources to reach maximum efficiency. The most recommendable method is 3R; R1.Reduce, is to reduce consuming of unnecessary resources, R2. Reuse, is to efficiently use resources and R3.Recycle, is to convert waste into reusable material. According to the quality testing on attribute of gradation and dust volume of stone and sand derived from unused ready mixed concrete, the test result met the standard range and suitable for using as material for concrete production. The design of experimental was conducted to find the optimum proportion of new stone, sand and recycled material. The proportion of percentage of 0, 20, 40 and 100 has been varied. As the result of this experiment, the optimum percentage of recycled stone and sand should 20-40 percent.

Keywords : Ready mixed concrete, Concrete waste, Concrete recycling machine, Slump loss, Compressive strength

Innovation management for Business and Industry, Department of Social and Applied Science and, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

* Corresponding author, E-mail: monrudet@scg.com Received 10 October 2017, Accepted 28 March 2018

1. บทนำ

ปัจจุบันการกำจัดกากอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ในการบำบัดและกำจัดโดยหลักมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีการฝังกลบ วิธีการเผาในเตาปูนซีเมนต์ และ วิธีการสนับสนุนให้ใช้วิธี 3 R R1.Reduce คือ การลดการใช้ การบริโภค ทรัพยากรที่ไม่จำเป็นให้น้อยลง ลดการก่อให้เกิดของเสีย R2. Reuse การใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด โดยการนำสิ่งของเครื่องใช้มาใช้ซ้ำ และ R3. Recycle คือ การนำสิ่งของที่ใช้ประโยชน์ในรูปแบบเดิมไม่ได้ไปจัดการด้วยกระบวนการต่าง ๆ แล้วแปรรูปเป็นสิ่งใหม่ เพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป [8]

ในปัจจุบันธุรกิจประเภทหนึ่งที่ทำให้เกิดกากของเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ ธุรกิจผลิตคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งมีการขยายตัวมากขึ้น ตามภาวะการก่อสร้างภายในประเทศที่มีการขยายตัว การใช้คอนกรีตผสมเสร็จเป็นวิธีการที่สะดวกรวดเร็วและมีคุณภาพดี

จึงส่งผลให้ความต้องการใช้คอนกรีตผสมเสร็จมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปัญหาที่ตามมาคือ ปริมาณกากคอนกรีตในโรงงานมีปริมาณมากขึ้น โดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจาก การล้างโมหลังจากเสร็จงานในแต่ละวัน เพื่อป้องกันคอนกรีตติดค้างอยู่ใน โม การล้างทำความสะอาด โรงงาน และคอนกรีตสดที่เหลือจากหน้างานกลับสู่โรงงาน และเมื่อเกิดขึ้นจนถึงปริมาณที่กำหนด โรงงานจะต้องดำเนินการกำจัด ซึ่งกากคอนกรีตนั้นถือเป็นกากของเสียจากอุตสาหกรรม ดังนั้นก่อนจะทำการขนย้ายจะต้องมีการขออนุญาตกับทางกรมโรงงานอุตสาหกรรมก่อนจึงจะสามารถดำเนินการขนย้ายออกนอกบริเวณโรงงานได้ ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากคอนกรีตโดยวิธีฝังกลบ (Landfill) มีค่าใช้จ่ายสูง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถือว่าการใช้ทรัพยากรอย่างไม่คุ้มค่า

ตารางที่ 1 ข้อมูลการกำจัดกากคอนกรีตของโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จกรณีศึกษา

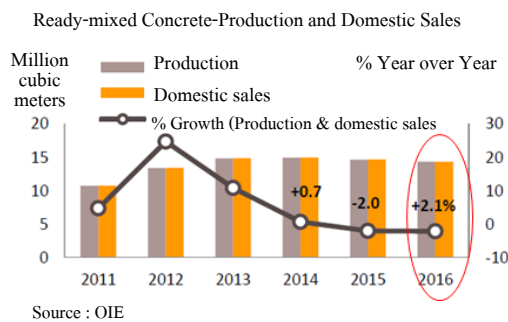
Year	Amount of Concrete Produced (cu.m.)	Amount of Waste Concrete (cu.m.)	Amount of Waste	Expense of	Expense of
			Concrete/Amount of Concrete Produced (kg./ cu.m)	Disposals (Baht)	Disposals (Baht/cu.m.)
2014	41,931	610	25	48,250	79
2015	32,656	694	36	52,400	76
2016	34,084	305	15	27,563	90
2017	20,424	475	39	45,375	96
	32,274	521	29	43,397	83

จากตารางที่ 1 ข้อมูลการกำจัดกากคอนกรีตของโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จกรณีศึกษาพบว่าปริมาณกากคอนกรีตที่เกิดขึ้นในปี 2014-2017 (ม.ค.-ส.ค.2017)

มีปริมาณเฉลี่ยปีละ 521 ลูกบาศก์เมตร (0.016 ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตรคอนกรีต) หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายใน

การกำจัดเฉลี่ยปีละ 43,397 บาท (83 บาท/ลูกบาศก์เมตรคอนกรีต)

รูปที่ 1 ในปี 2016 ปริมาณ การขายคอนกรีตผสมเสร็จ 15,000,000 ลูกบาศก์เมตร คาดว่าจะเกิดคอนกรีตประมาณ 240,000 ลูกบาศก์เมตร (15,000,000 x 0.016) ค่าใช้จ่ายในการกำจัดประมาณ 19,920,000 บาท (240,000 x 83)



รูปที่ 1 ปริมาณการขายคอนกรีตผสมเสร็จ

ดังนั้นการหาแนวทางในการนำกากคอนกรีตที่เกิดขึ้นในธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จ โดยวิธีนำกลับมาใช้ประโยชน์ แทนที่นำออกไปกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ (Landfill) จะส่งผลให้เกิดประโยชน์และนำไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญและมีการปรับตัวมากขึ้นเพื่อให้เข้าสู่ทิศทางของการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน มีการรณรงค์ทั่วไปในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การให้ความรู้ ถึงผลกระทบและผลเสียของการละเลยต่อสภาวะโลกร้อน การลดการใช้ทรัพยากรที่เกินความจำเป็น

ดังนั้นแนวทางในการนำกากคอนกรีตที่เกิดขึ้นในธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จกลับมาใช้ประโยชน์ แทนที่นำออกไปฝังกลบ เน้นการใช้หลักการ 3 R เป็นแนวทาง

ที่สนับสนุนการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยและเป็นการพัฒนากระบวนการจัดการคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในอุตสาหกรรมต่อไป

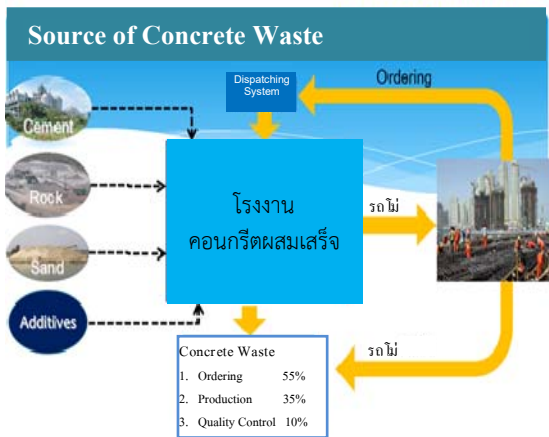
2. องค์ประกอบของคอนกรีตผสมเสร็จ

องค์ประกอบของคอนกรีตผสมเสร็จประกอบด้วย ส่วนผสมจาก วัตถุดิบที่สำคัญ คือ (1) วัสดุประสาน (Cementitious materials) ได้แก่ ปูนซีเมนต์ (Portland cement) และ เถ้าลอย (Fly ash) (2) มวลรวม (Aggregate) ได้แก่ หิน (Stone) ทราย (Sand) น้ำ (Water) และ (3) สารเคมีผสมเพิ่ม (Admixture) ซึ่งกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จจะเริ่มจากการนำวัตถุดิบทั้งหมดผ่านกระบวนการชั่งตวงตามสัดส่วนที่ได้ออกแบบไว้ (Mixed design) จากนั้นจะผ่านกระบวนการลำเลียงวัตถุดิบเพื่อเข้าสู่เครื่องผสมคอนกรีต (Mixer) คอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้วจะถูกลำเลียงลงสู่รถขนส่ง (Truck mixer) เพื่อนำไปตรวจสอบคุณภาพ และ จัดส่งไปยังหน่วยงานก่อสร้างต่อไป โดยในคอนกรีตจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร จะประกอบด้วยมวลรวม (Aggregate) ของหินและทรายที่มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 80 ของปริมาตรคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุที่คงตัวไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านกระบวนการแยกคอนกรีตสด ดังนั้นหากสามารถนำคอนกรีตสดมาผ่านกระบวนการคัดแยก แล้วนำหินและทรายที่ได้กลับมาหมุนเวียนใช้ในการผลิตใหม่ คาดว่าจะส่งผลให้สามารถลดปริมาณกากคอนกรีตที่ต้องกำจัด และ ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากคอนกรีตลงได้ ซึ่งหินและทรายเป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากธรรมชาติจึงถือเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ให้เกิดประสิทธิภาพ [7]

กากคอนกรีตที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะถูกนำไปถมที่ส่วนหิน ทราช จากกากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ มีปริมาณไม่เกินร้อยละ 25 ที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีต ผู้ผลิตแต่ละรายประสบความสำเร็จในการลดปริมาณกากคอนกรีต โดยนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ และเทคนิคในการจัดการ เพื่อให้เกิดประโยชน์กับธุรกิจของตนเองมากที่สุด [9]

3. แหล่งที่มาของกากคอนกรีต

จากการศึกษาโดยเข้าไปสำรวจปริมาณของกากคอนกรีตของโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ พบสาเหตุที่ทำให้เกิดกากคอนกรีต ประกอบด้วย 3 สาเหตุดังนี้



รูปที่ 2 สาเหตุที่ทำให้เกิดกากคอนกรีต [10]

3.1 ปริมาณกากคอนกรีตที่เกิดจากการสั่งซื้อของลูกค้า (Ordering) เกินจำนวนที่ใช้ สาเหตุนี้มีสัดส่วนมากที่สุดถึงร้อยละ 55 ของปริมาณกากคอนกรีตทั้งหมด จากปัจจัยที่เกิดขึ้นนั้น โรงงานผู้ผลิตไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากเป็นปัจจัยภายนอกที่เกิดขึ้นจากลูกค้า ดังนั้นแนวทางที่จะลดปริมาณกากคอนกรีตที่เกิดขึ้นนั้นจึงต้องหาวิธีการที่จะแยกคอนกรีตสด (Fresh concrete) ที่เหลือกลับมาจากหน่วยงานของลูกค้า

3.2 ปริมาณกากคอนกรีตที่เกิดจากกระบวนการผลิต (Production) สาเหตุนี้ทำให้เกิดกากคอนกรีตร้อยละ 35 ของปริมาณกากคอนกรีตทั้งหมด เกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานที่ผลิตแล้วไม่ผ่านมาตรฐาน จากการล้างทำความสะอาดไม่ของรถขนส่ง และจากการล้างทำความสะอาดเครื่องผสมคอนกรีต (Mixer)

3.3 ปริมาณกากคอนกรีตที่เกิดจากการทดสอบคุณภาพ (Quality Control) มีสัดส่วนร้อยละ 10 ของปริมาณกากคอนกรีตทั้งหมด กระบวนการทดสอบคุณภาพคอนกรีตสดโดยวิธีชัก Slump เพื่อตรวจสอบให้มั่นใจในคุณภาพของคอนกรีตผสมเสร็จ ก่อนส่งให้ลูกค้า ตามรูปที่ 2

4. แนวทางการลดปริมาณกากคอนกรีต

จากสาเหตุหลัก 3 ประการที่ทำให้เกิดกากคอนกรีต แนวทางการจัดการกากคอนกรีตที่โรงงานอุตสาหกรรมใช้ มีวิธีการต่างๆ ดังนี้

4.1 การฝังกลบ (Landfill)

การฝังกลบเป็นวิธีการหลักในการกำจัดขยะเกือบทุกชนิด บางแห่งเป็นการฝังอย่างถาวร เช่นของเสียจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ แต่บางแห่งใช้ฝังเพื่อเป็นที่เก็บรักษาชั่วคราวหรือเพื่อทำการรวบรวมก่อนส่งไปเข้ากระบวนการอื่น หรือเพื่อนำกลับมาใช้อีก บ่อฝังกลบต้องอยู่ในพื้นที่หน่วยงานรับผิดชอบอนุญาต ต้องถูกออกแบบ ปฏิบัติงานและควบคุมสอดส่องจากเจ้าหน้าที่ตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน บ่อฝังกลบขยะแข็งต้องระวังเรื่องสารปนเปื้อนที่อาจออกมาจากไอน้ำ ต้องมีการตรวจวัดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินและการรั่วไหลจากแก๊สในบ่อหมัก และมีมาตรการรองรับเมื่อเกิดปัญหา



รูปที่ 3 บ่อคายกากคอนกรีต



รูปที่ 4 บ่อพักน้ำและบ่อคายกากคอนกรีต

ปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการนำกากคอนกรีตจากบ่อคายกากคอนกรีต ตามรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 ไปยังสถานที่ฝังกลบ ระยะทางอยู่ระหว่าง 1 - 50 กิโลเมตร ค่าใช้จ่ายอยู่ที่ประมาณ 20,000 บาท ต่อ 1 เที่ยว (น้ำหนักของกากคอนกรีตประมาณ 15 ตัน/เที่ยว กรณีใช้รถบรรทุก 10 ล้อในการขนย้าย)

4.2 หลักการ 3Rs : Reduce / Reuse / Recycle

4.2.1 R1.Reduce การลดปริมาณการเกิดกากคอนกรีต ได้แก่ การรณรงค์ขอความร่วมมือลูกค้าในการสั่งคอนกรีตที่เขวสุดทำให้พอดีกับแบบที่ลูกค้ากำหนดไว้ การปรับปรุงเครื่องจักร ให้สามารถผลิตคอนกรีตผสมเสร็จได้ในปริมาณ 0.5 ลูกบาศก์เมตร เพื่อให้ใกล้เคียงกับปริมาณคอนกรีตที่ลูกค้าจะสั่งให้มากที่สุด ซึ่งปกติปริมาณการสั่งซื้อที่เขวสุดทำของลูกค้ามากกว่า 50% จะใช้คอนกรีตไม่ถึง 1 ลูกบาศก์เมตร เป็นการปลุกฝังให้ลูกค้าทราบเกี่ยวกับภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่เป็นปัญหาใหญ่ในปัจจุบัน

4.2.2 R2.Reuse การนำกากคอนกรีตที่เหลือจากการทดสอบคุณภาพคอนกรีต โดยวิธีชัก Slump กลับมาใช้ใหม่ โดย ทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่น เช่น แผ่นพื้น กระถางปลูกต้นไม้ โต๊ะ เก้าอี้ ซึ่งจะมีการแบ่งตามอายุของคอนกรีตที่เหลือมาและจัดสรรว่าจะนำไปทำผลิตภัณฑ์ใดจึงมีความเหมาะสม ซึ่งนอกจากจะได้ประโยชน์ในเรื่องของการนำของที่จะเสียกลับมาใช้ประโยชน์ และสร้างมูลค่าเพิ่มแล้ว ยังสามารถนำไปช่วยเหลือ หรือมอบให้แก่ชุมชน วัด โรงเรียน เพื่อพัฒนาพื้นที่รอบๆ ให้มีความน่าอยู่มากขึ้น ตามรูปที่ 5 และ รูปที่ 6



รูปที่ 5 แผ่นพื้นจากการนำคอนกรีตที่เหลือไปใช้ วัดใหม่ศรีสมบุญ จังหวัดสุโขทัย [10]



รูปที่ 6 แผ่นพื้นจากการนำคอนกรีตที่เหลือไปใช้ในบริเวณโรงเรียน [10]

4.2.3 R3.Recycle การนำกากคอนกรีตมาเข้ากระบวนการแยกหิน ทราย น้ำ และ นำกลับมาหมุนเวียนใช้ในการผลิตใหม่ เพื่อลดปริมาณกากคอนกรีตที่ต้องกำจัด ในกรณีนี้ต้องทำการทดสอบมวลรวม ได้แก่ หิน และ ทรายที่ได้จากการกระบวนการคัดแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 7 กากคอนกรีตมาเข้ากระบวนการแยกหิน ทราย น้ำ [10]

เพื่อให้มั่นใจว่ามีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถนำหินและทรายนั้นไปใช้ในการผลิตได้ จึงต้องทำการทดสอบคุณสมบัติ ซึ่งได้แก่ การทดสอบขนาดกละของมวลรวม (Gradation) และหาปริมาณฝุ่น

ในมวลรวม และคุณสมบัติของคอนกรีต โดยในการเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบจะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของ หิน และทรายที่ได้จากกระบวนการคัดแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) โดยทำการทดสอบหาขนาดกละหิน และทรายมาตรฐาน ที่ใช้ ASTM C 136 : Method for sieve analysis of fine and coarse aggregate [3] โดยมีเกณฑ์การยอมรับตามตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ซึ่งพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด ต้องมีค่าไม่เกินที่กำหนด (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2003) [1]

ตารางที่ 2 เกณฑ์การยอมรับของขนาดกละหิน (Standard Test Method for Sieve Analysis of Aggregates)

Sieve No.(mm)	Percent Finer or Passing
1" (25 mm)	100
3/4" (19 mm)	90-100
1/2" (12.5 mm)	-
3/8" (9.5 mm)	20-55
No. 4 (4.75 mm)	0-10
No. 8 (2.36 mm)	0-5

ที่มา: American society for testing and materials (2003)

ตารางที่ 3 เกณฑ์การยอมรับของขนาดกละทราย (Standard Test Method for Sieve Analysis of Sand)

Sieve No.(mm/um)	Percent Finer or Passing
3/8" (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75 mm)	95-100
No. 8 (2.36 mm)	80-100
No. 16 (1.18 mm)	50-85
No. 30 (600 um)	25-60
No. 50 (300 um)	10-30

ที่มา: American Society for Testing and Materials (2003)

การทดสอบหาปริมาณฝุ่นในมวลรวม มีมาตรฐานที่ใช้คือ ASTM C 117 : Test method for materials finer than 75 um (No.200) Sieve in mineral aggregate by washing [2] โดยเกณฑ์การยอมรับของปริมาณฝุ่นในมวลรวม กรณีส่วนละเอียดที่เป็นฝุ่นหิน ยอมให้มีปริมาณไม่เกินร้อยละ 1.5 และกรณีส่วนละเอียดที่เป็นฝุ่นทราย ยอมให้มีปริมาณไม่เกินร้อยละ 3 เกณฑ์การยอมรับของขนาดละเอียด

การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำหินและทรายที่ได้จากกระบวนการคัดแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เป็นส่วนผสมคอนกรีต ใช้หิน และทรายที่ได้จากคอนกรีตผสมเสร็จที่ไม่ใช้แล้ว แทนการใช้หิน และทรายใหม่ ในส่วนผสมคอนกรีต โดยทดลองในสัดส่วนร้อยละ 0 20 40 และ 60 ซึ่งพิจารณาจากผลทดสอบด้านคอนกรีตสด และคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จากผลการทดลองได้ค่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้อยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 20-40 โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของคอนกรีตสด และคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติของคอนกรีตเมื่อมีการนำมวลรวม หรือหิน และทรายที่ใช้ผลิตคอนกรีตไปแล้วและนำกลับมาผ่านกระบวนการคัดแยกคอนกรีตสดที่ไม่ใช้งานแล้ว เพื่อนำหิน และทรายจากคอนกรีตสดนั้นกลับมาหมุนเวียนใช้เป็นวัสดุดิบใหม่ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จทั้งนี้ เพื่อที่จะลดปริมาณกากคอนกรีตที่ต้องกำจัดของโรงงาน

การทดสอบคอนกรีต ในการทดสอบคอนกรีตนั้นจะพิจารณาจากคุณสมบัติของคอนกรีตสด และคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ดังนี้

(1) คุณสมบัติของคอนกรีตสด จะพิจารณาจาก ค่ายุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีต (Initial slump) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 143 Standard test method for slump of hydraulic cement concrete [4] โดยค่ายุบตัวเริ่มต้นหลังผสมเสร็จ (ที่เวลา 0 นาที) ของคอนกรีตต้องมีค่าระหว่าง 10 cm ถึง 12.5 cm ตามข้อกำหนดของโรงงานผู้ผลิต ซึ่งหากค่ายุบตัวมีค่าน้อยกว่า 10 cm [5] จะต้องมีการเติมน้ำเพิ่มเพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามที่กำหนด ซึ่งการเติมน้ำเพิ่ม จะส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง [5]

(2) คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะพิจารณาจาก ค่ากำลังอัด (Compressive strength) ของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน โดยเก็บก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ (Cube) เพื่อนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัด เพื่อดูแนวโน้มของค่ากำลังอัด โดยนำค่ากำลังอัดที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดในแต่ละส่วนผสม เปรียบเทียบผลกับค่ากำลังอัดมาตรฐานที่ใช้ทดสอบและค่ากำลังอัดเฉลี่ยต้องผลิต (Target mean strength) [5] ข้อจำกัดของการนำกากคอนกรีตมาใช้ใหม่ ต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มเพื่อใช้ในการดำเนินการของโครงการ ซึ่งในการลงทุนจะต้องใช้หลักการการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อให้มีความเหมาะสมในการลงทุน และมีระยะเวลาการคืนทุนที่เหมาะสม และ การควบคุมคุณภาพวัสดุดิบหินทราย ในการผลิตคอนกรีต ตลอดจนการตรวจสอบคุณภาพต่างๆ มีความยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากสัดส่วนในการใช้หินทรายที่นำกลับมาใช้ใหม่มีผลต่อคุณภาพของคอนกรีตจึงต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบขนาดคละของมวลรวม (Gradation) และหาปริมาณฝุ่นในมวลรวม ของหินที่ได้จากกระบวนการคัดแยก

Test Items	Standard	Test Result
1. Gradation (Sieve Analysis)	ขนาดคละดี (ตามเกณฑ์ที่กำหนด)	ขนาดคละละเอียดเล็กน้อย
2. Materials (Stone) Finer Than 75 μ m (Percent Finer Than #200 Sieve%)	Max 3.0	0.40 (อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน)

จากตารางที่ 4 สรุปผลการทดสอบหาขนาดคละและ จากกระบวนการคัดแยก) ผลทดสอบขนาดคละละเอียด ปริมาณวัสดุขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (ฝุ่นหินที่ได้ เล็กน้อย ปริมาณฝุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5 สรุปผลการทดสอบหาขนาดคละ (Gradation) และ ปริมาณวัสดุขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร (ฝุ่นทราย ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก) (Materials Finer Than 75 μ m in Aggregate by Washing)

Test Items	Standard	Test Result
1. Gradation (Sieve Analysis)	FM.2.15 - 3.38	3.17 (ขนาดคละดี)
2. Materials (Sand) Finer Than 75 μ m (Percent Finer Than #200 Sieve %)	Max 3.0	1.32 (อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน)

จากตารางที่ 5 สรุปผลการทดสอบหาขนาดคละ 75 ไมโครเมตร (ฝุ่นทรายที่ได้จากกระบวนการคัดแยก) (Gradation) และ ปริมาณ วัสดุ ขนาด เล็ก กว่ ขนาดคละดี และปริมาณฝุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 6 สรุปผลการทดสอบคอนกรีตจากการทดลองใช้หินที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 0% (Mix1 Control) 20 40 และ 60% ในส่วนผสมคอนกรีตผสมเสร็จที่รับรองกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม.

	Slump (Minutes)			Setting Time (Hours)			Compressive Strength (Days)		
	Initial	15	30	Stiffening	Initial	Final	3	7	28
	MIX1. Replace Sand 0% ,Stone 0% (Control)	12.0	7.5	6.5	6.00	07.10	08.25	232	277
MIX2. Replace Stone 20%	11.5	7.0	6.0	05.25	06.15	07.10	218	273	318
MIX3. Replace Stone 40%	11.0	6.5	5.0	05.05	06.00	07.00	220	282	336
MIX4. Replace Stone 60%	10.5	6.0	4.0	04.35	05.35	06.40	223	286	353

จากตารางที่ 6 สรุปผลการสอบคอนกรีต จากการทดลองใช้ หินที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 0% (Mix1 Control) 20 40 และ 60% ในส่วนผสมคอนกรีตผสมเสร็จที่รับรองกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม ดังนี้

(1) Mix 2 หิน ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 20% ผลการทดสอบ Slump Loss ใช้เวลาเร็วกว่า Mix 1 เล็กน้อย ผลทดสอบ Setting Time ใช้เวลาเร็วกว่า Mix1 เล็กน้อย ผลทดสอบ Compressive Strength กำลังอัดใกล้เคียงกับ Mix 1

(2) Mix 3 หิน ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 40% และ Mix 4 หิน Recycle ทดแทน 60% ผลทดสอบ Slump Loss ใช้เวลาเร็วกว่า Mix 1 Setting Time คอนกรีต ใช้เวลาเร็วกว่า Mix 1 มาก Compressive Strength กำลังอัดใกล้เคียงกับ Mix 1

(3) การนำไปใช้ผลิตคอนกรีต Mix 2 หิน ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 20% มีความเหมาะสมตามคุณสมบัติ Slump Loss, Setting Time, Compressive Strength กรณีที่ต้องการใช้หิน ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก จำนวนมากในการผลิตคอนกรีตสามารถใช้ Recycle ทดแทนได้ 20-40%

ตารางที่ 7 สรุปผลการทดสอบคอนกรีตจากการทดลองใช้ทรายที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 0% (Mix1 Control) 20 40 และ 60% ในส่วนผสมคอนกรีตผสมเสร็จที่รับรองกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม.

	Slump (Minutes)			Setting Time (Hours)			Compressive Strength (Days)		
	Initial	15	30	Stiffening	Initial	Final	3	7	28
MIX1. Replace Sand 0% ,Stone 0% (Control)	12.0	7.5	6.5	6.00	07.10	08.25	232	277	333
MIX6.Replace Sand 20%	11.0	6.5	3.0	4.20	5.25	6.30	228	277	328
MIX7.Replace Sand 40%	10.0	4.5	-	3.25	4.50	6.20	231	295	336
MIX8.Replace Sand 60%	9.0	4.0	-	3.20	4.25	5.35	250	295	358

จากตารางที่ 7 สรุปผลการสอบคอนกรีต จากการทดลองใช้ ทรายที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 0% (Mix Control) 20 40 และ 60% ใน ส่วน ผสม คอนกรีตผสมเสร็จที่รับรองกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม ดังนี้

(1) Mix 6 ทราย ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 20% ผลการทดสอบ Slump Loss ใช้เวลาเร็วกว่า Mix 1 (Mix Control) เล็กน้อย ผลทดสอบ Setting Time ใช้เวลาเร็วกว่า Mix 1 เล็กน้อย ผลทดสอบ Compressive Strength กำลังอัด ใกล้เคียงกับ Mix 1

(2) Mix 7 ทราย ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทน 40% และ Mix 8 ทราย Recycle ทดแทน 60% ผลทดสอบ Slump Loss ใช้เวลาเร็วกว่า Mix 1 (Mix Control) มาก Setting Time คอนกรีต ใช้เวลาเร็วกว่า Mix 1 มาก Compressive Strength กำลังอัดใกล้เคียงกับ Mix 1

(3) การนำไปใช้ผลิตคอนกรีต Mix 6 ทราย Recycle ทดแทน 20% มีความเหมาะสมตามคุณสมบัติ Slump Loss, Setting Time, Compressive Strength กรณีที่ต้องการใช้ทราย ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก จำนวน

มากในการผลิตคอนกรีตสามารถใช้ทราย ที่ได้จากกระบวนการคัดแยก ทดแทนได้ 20-40%

5. ข้อดีของการใช้หลักการ 3 Rs

5.1 ลดปริมาณกากคอนกรีตที่ต้องกำจัดและยืดระยะเวลาในการดำเนินการกำจัดกากคอนกรีตลงได้

5.2 ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากคอนกรีต โดยสามารถนำหิน และทรายที่ผ่านการคัดแยก แล้วนำกลับมาหมุนเวียนใช้ในการผลิตใหม่อีกครั้ง

5.3 ลดต้นทุนวัตถุดิบ จากการนำหินทรายจากคอนกรีตสดที่ไม่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่

6. สรุปผล

แนวทางในการนำกากคอนกรีตมาใช้ประโยชน์ โดยใช้หลักการ 3 R's โดยเฉพาะในส่วนของกระบวนการ R3.Recycle โดยจัดทำเครื่องแยกกากคอนกรีต เพื่อแยกเป็น หิน ทราย น้ำ จากคอนกรีตสดที่ไม่ใช้แล้วกลับมาใช้ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จใหม่ ซึ่งในการนำหิน ทราย กลับมาใช้จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของหิน ทรายหลังจากที่ได้จากกระบวนการในการแยกกากคอนกรีตสด โดยใช้เครื่องแยกกากคอนกรีต (Concrete recycling plant) โดยจะต้องควบคุมคุณภาพของหิน และทรายให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ โดยการทดสอบขนาดละเอียด (Sieve analysis) และทดสอบหาปริมาณฝุ่นของหิน และทราย โดยจะต้องมีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด จึงจะสามารถนำไปใช้ในการผลิตได้ และมีการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตเพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของคอนกรีต

แนวโน้มต่อไปในอนาคต ควรมีการใช้เครื่องมือทางด้านเศรษฐศาสตร์ มาช่วยในการวิเคราะห์ความ

เป็นไปได้ของการลงทุนของแต่ละโรงงาน เช่น จุดคุ้มทุน (Breakeven analysis) เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] American Society for Testing and Materials. 2003. Annual Book of ASTM Standards Volume 04.20. Philadelphia, PA, USA.
- [2] ASTM C 117, “Test Method for Materials Finer Than 75 μm (NO.200) Sieve in Mineral Aggregate by Washing”.
- [3] ASTM C 136, “ Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate”
- [4] ASTM C 143, “Standard Test Method of Slump of Portland Cement Concrete”.
- [5] C. Setthabut, “ Concrete Technology” , The Concrete Products and Aggregate Co.,Ltd., Bangkok, Thailand, 2011. (in Thai)
- [6] L. Ramirez, “ The COP2 1 United Nations Conference on Climate Change in Paris” , Available:[https:// www. voathai. com/ a/ parisclimate-agreement-ss/ 3101747. html](https://www.voathai.com/a/parisclimate-agreement-ss/3101747.html), 10 December 2015. (in Thai)
- [7] N. Thepsing, “ Economic Analysis for Optimum Condition of Aggregate Recycle from Unused Ready Mixed Concrete” , Master Thesis, Master Degree of Engineering, Major in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Thailand, 2007.

- [8] S. Wareerumprongprean, “ Industrial Waste the Problem Waiting Corporation for All”, Available: [https:// www.diw.go.th/iwmb](https://www.diw.go.th/iwmb), 2016. (in Thai)
- [9] B.J. Sealey, P.S. Phillips and G.J. Hill, “ Waste management issues for the UK ready-mixed concrete industry, Resources Conservation & Recycling”, 2001.
- [10] The Concrete Products and Aggregate Co.,Ltd., Available: [https:// www.cpac.co.th](https://www.cpac.co.th), 2016.