



Journal of Thailand Concrete Association

วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

USE OF LIMESTONE DUST FOR CONCRETE IN XAYABURI HYDROELECTRIC POWER PROJECT

การใช้ฝุ่นหินปูนในคอนกรีตของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำไซยะบุรี

วีรยตม์ เฉลิมมนนท์¹ อภิรักษ์ สุรภักดิ์² สุภาพร คล้ายทอง³

¹ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ช. การช่าง (ลาว) จำกัด

² รองผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท ช. การช่าง (ลาว) จำกัด

³ วิศวกร บริษัท ช. การช่าง (ลาว) จำกัด

ARTICLE INFO:

Received: January 5, 2017

Received Revised Form:

February 21, 2017

Accepted: February 27, 2017

ABSTRACT:

The Xayaburi Hydroelectric Power Project is a huge concrete structure project which needs more than 4 million cubic meter of concrete. At peak period, the concrete consumption went higher than 150,000 cubic meter per month. The project located in remote area and limited with river sand source. In addition, the river sand is too fine. This article aims to present achievement on utilization of manufactured sand with limestone dust for concrete works. The coarse and sharp manufactured sand has mixed with fine and round river sand resulted well gradation fine aggregate. Anyhow, the manufactured sand composes of limestone dust higher than prescribed in ASTM C33 and the project specification. The washing method has been used to reduce limestone dust to meet the Standard. In contrast, the resulted of washing method had shown in adequate production rate, gap gradation, time consume and compose with additional cost. In order to utilize all manufactured sand, without washing, the physical and chemical properties of limestone dust have been researched. The resulted shown that the limestone dust equivalent as sand. Then, the concrete trial mix was undertaken. As a result, the concrete properties were in the range of required compressive strength, well pump ability, well water consumption. As of present, concrete classes 25, 35 and 50 MPa, self-compacted concrete, Roller Compacted Concrete, Precast Concrete, Backfill Concrete, Silica fume concrete produced from the manufactured sand with high fine content have been adopted without any defect in the concrete quality.

KEYWORDS: Fine Material, Manufactured Sand, Limestone Dust

บทคัดย่อ :

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำไซยะบุรีเป็นโครงการก่อสร้างงานคอนกรีตขนาดใหญ่ที่มีการใช้คอนกรีตสูงกว่า 4.3 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีความต้องการใช้ต่อเดือนสูงกว่า 150,000 ลูกบาศก์เมตร ที่ตั้งโครงการอยู่ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดเรื่องทรายแม่น้ำเพื่อผสมคอนกรีตที่มีปริมาณไม่เพียงพอ และมีความละเอียดมากเกินไป บทความนี้นำเสนอเรื่องการนำหินปูนมาทำการไหม้เป็นทราย

*Corresponding Author,

Email Address: Weerayot.c@cklao.com,

Apirak.s@cklao.com, Supaporn.k@cklao.com

ซึ่งทรายที่ได้จากการโม่จะมีความหยาบและคม เมื่อนำมาผสมกับทรายแม่น้ำจะได้ขนาดละเอียดที่เหมาะสมกับการผลิตคอนกรีต แต่ทรายโม่มีปริมาณฝุ่นหินที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอนหรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 ในปริมาณที่สูงกว่ามาตรฐาน ASTM C33 และข้อกำหนดของโครงการฯ ซึ่งวิธีการที่จะกำจัดวัสดุละเอียดออกเพื่อให้ได้ขนาดละเอียดของทรายตามมาตรฐานนั้น ต้องทำการล้างด้วยน้ำผ่านตะแกรง ซึ่งพบว่าต้องใช้น้ำจำนวนมากจากแม่น้ำมาทำการล้าง โดยการล้างน้ำดังกล่าวทำให้ปริมาณการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ ขนาดละเอียดไม่ดี เสียเวลา และเพิ่มค่าใช้จ่าย โครงการจึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของฝุ่นหิน และพบว่าฝุ่นหินสามารถนำมาใช้แทนทรายผสมคอนกรีตได้โดยไม่ต้องล้าง จึงได้นำมาทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และพบว่าฝุ่นหินมีคุณสมบัติเทียบเท่าทราย จึงได้ทำการทดลองผสม (Trial Mix) เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติด้านกำลังอัด การบ่ม อัตรากินน้ำ และพบว่าสามารถผลิตคอนกรีตให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพคอนกรีต ดังนั้นจึงได้นำไปใช้ในการก่อสร้างของโครงการฯ ทั้งหมด คือคอนกรีต Strength Class 25, 35, 50 MPa, Self-Compacting Concrete, Roller Compacted concrete, Precast concrete, Backfill concrete, Silica fume concrete และไม่พบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ในทรายที่มีวัสดุละเอียดจำนวนมากดังกล่าวต่อโครงสร้างของคอนกรีตแต่อย่างใด

คำสำคัญ: ทรายโม่, ฝุ่นหิน, ไชยะบุรี

1. วัตถุประสงค์และขอบเขต

เพื่อแสดงถึงปัญหาและวิธีแก้ปัญหาจากเรื่องข้อจำกัดของแหล่งวัสดุทรายผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำไชยะบุรี สปป. ลาว ที่มีความต้องการใช้คอนกรีตปริมาณสูงมาก และไม่สามารถจัดหาได้ตามมาตรฐานที่กำหนดและข้อกำหนดของโครงการ ซึ่งวัสดุทรายผสมคอนกรีตของโครงการประกอบไปด้วยแหล่งวัสดุทรายจากแม่น้ำโขงและแหล่งวัสดุทรายจากการโม่หินจากเหมืองหินที่เมื่อทำการผลิตโดยวิธีการโม่แล้วมีปริมาณฝุ่นที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอนปริมาณสูงมาก โดยมีปริมาณฝุ่นดังกล่าวอยู่ในช่วง 10% - 13% ของปริมาณขนาดละเอียดทั้งหมด บทความนี้เสนอวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว รวมถึงแสดงถึงผลของการใช้ทรายเป็นดังกล่าวในงานคอนกรีตของโครงการฯ

1.1 ข้อมูลโครงการทั่วไป

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำไชยะบุรี สปป.ลาว เป็นโครงการฝ่ายคอนกรีต Run of river ขนาดใหญ่ตั้งอยู่บนแม่น้ำโขงที่ไหลผ่านในประเทศ สปป. ลาว ทางตอนเหนือ แขวงไชยะบุรี (ดูรูปที่ 1) มีกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 1,285 MW (ดูรูปที่ 2) ทำการผลิต

ไฟฟ้าและส่งมายังประเทศไทย มีปริมาณคอนกรีตทั้งโครงการกว่า 4,300,000 ลบ.ม. และมีความต้องการคอนกรีตต่อเดือนสูงกว่า 150,000 ลบ.ม. โครงสร้างของโครงการประกอบไปด้วย อาคารโรงไฟฟ้าพร้อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังผลิตรวม 1285 MW อาคารระบายน้ำล้น ทางเรือผ่าน (Navigation Lock) ทางปลาผ่าน (Fish Passing Facilities) และอาคารประกอบอื่นๆ



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งของโครงการ



รูปที่ 2 โครงการไฟฟ้าพลังไฮดรอปาวเวอร์ สปป. ลาว

2. คอนกรีตของโครงการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานคอนกรีต

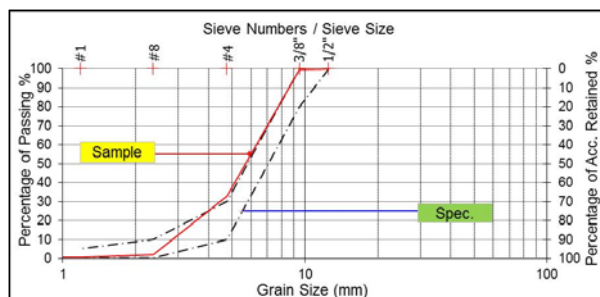
2.1.1 ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement) มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C150

2.1.2 เถ้าลอย (Fly Ash) ใช้เถ้าลอยผลิตจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C 618 Type C และ มอก.2135-2545 ชั้นคุณภาพ 2 ชนิด ข

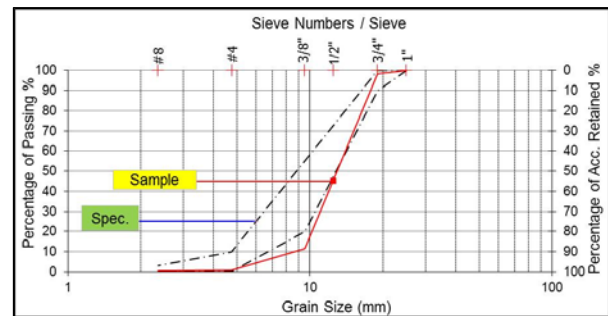
2.1.3 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

- ทรายแม่น้ำ (River Sand)
- ทรายที่ได้จากการไม่หิน (Manufactured Sand)

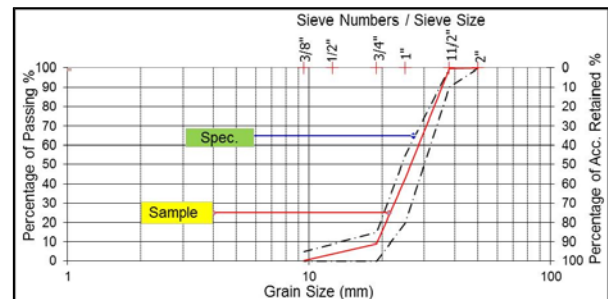
2.1.4 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ขนาด 9.5, 19 และ 38 มิลลิเมตร โดยมีขนาดคละดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3 Gradation of Coarse Aggregate 9.5 mm



รูปที่ 4 Gradation of Coarse Aggregate 19 mm



รูปที่ 5 Gradation of Coarse Aggregate 38 mm

2.1.5 น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต (Water) ใช้น้ำปราศจากกรดต่าง และสารอินทรีย์อื่นๆในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C1602

2.1.6 สารผสมเพิ่ม (Admixture) ตามมาตรฐาน ASTM C494, ASTM C260 ได้แก่

- Sika - Sikament 520N (Type G)
- Sika - Plastiment R (Type B & D)
- Sika - Sika Aer (สารกักกระจายฟองอากาศ)

2.2 สัดส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Proportion)

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของคอนกรีต

Mix Code	W/B	S/A	%Air	Cement (kg)	Fly Ash (kg)	Water in Mix (kg)	Manufactured Sand (kg)	River Sand (kg)	Aggregate 9.5 mm (kg)	Aggregate 19 mm (kg)	Aggregate 38 mm (kg)	Admixture (cc./cu.m.), Dosage(cc./kg.binder)		
												Sikament 520N	Plastiment R	Sika Aer
P05/3	0.45	0.47	2.60	200	90	130	740	185	100	403	562	2,900 [10]	-	406 [4.10]
P05/3PR	0.51	0.47	5.00	200	90	149	697.6	174.4	94	380	531	-	1,015 [3.50]	150 [0.52]

3. ความเป็นมาของการใช้ทรายไม้ (Manufactured Sand)

วัสดุของโครงการเป็นหินประเภทหินปูนจากแหล่งหินซึ่งอยู่ภายในโครงการ นำมาทำการโม่เพื่อผลิตหินขนาดต่างๆ และทราย ซึ่งทรายที่ได้จากการโม่จะมีความหยาบโดยมีค่า Fineness Modulus (FM) ประมาณ 3.14 และมีปริมาณ Limestone Dust หรือวัสดุละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หรือขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ในปริมาณสูงประมาณ 15% ซึ่งข้อกำหนดตาม ASTM C33 และข้อกำหนดของโครงการ กำหนดค่า Fineness Modulus เท่ากับ 2.5-3.0 และปริมาณวัสดุละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 3% ในขณะที่ทรายแม่น้ำโขงซึ่งเมื่อทำการสำรวจโดยละเอียดแล้วพบว่ามียูอย่างจำกัดไม่เพียงพอต่อปริมาณคอนกรีตของโครงการ และมีความละเอียดค่อนข้างสูงโดยมีค่า FM ประมาณ 1.98 มีปริมาณวัสดุละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 0.7%

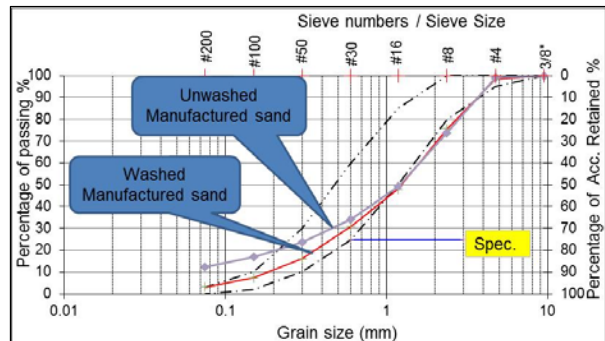
ในช่วงแรกโครงการได้ทำการล้างทรายไม้โดยใช้เครื่อง Sand Classification



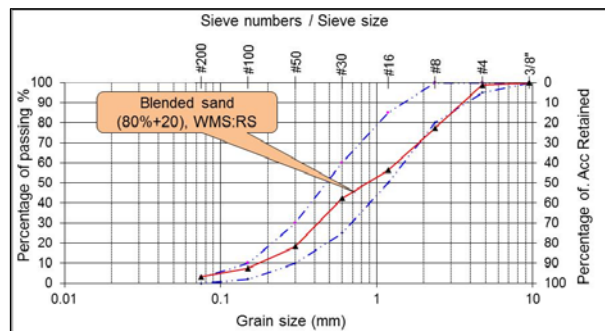
รูปที่ 6 เครื่อง Sand Classification

เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามข้อกำหนด โดยเฉพาะปริมาณวัสดุละเอียดที่เล็กกว่า 75 ไมครอน โดยใช้วิธีล้างน้ำผ่านตะแกรงดังรูปที่ 6 และพบว่าต้องใช้ทรัพยากรมากทั้งน้ำจากแม่น้ำโขงที่ต้องสูบขึ้นมาใช้ล้าง พลังงานไฟฟ้า ระยะเวลาที่ใช้ในการล้าง อีกทั้ง

หลังจากการล้างยังไม่ได้ขนาดละเอียดของ fine aggregate ตามต้องการ (ดูรูปที่ 7) และเมื่อผสมกับทรายแม่น้ำโขงก็ไม่ได้ขนาดละเอียดที่ดี (ดูรูปที่ 8)



รูปที่ 7 แสดงขนาดละเอียดของทรายไม้ก่อนและหลังล้าง



รูปที่ 8 แสดงขนาดละเอียดของทรายไม้ที่ล้างแล้วกับทรายแม่น้ำอัตราส่วน 80:20

อีกทั้งโครงการยังมีการปรับแผนเพื่อเร่งรัดการก่อสร้าง จากแผนการเทคอนกรีตเดิม โดยประมาณวันละ 3,000 ลบ.ม ต่อวัน ต้องเพิ่มเป็น 5,000 ลบ.ม.ต่อวัน หรือปริมาณความต้องการทราย 2,000 ลบ.ม.ต่อวัน ขณะที่ความสามารถเครื่องล้างทรายอยู่ที่ 1,000 – 1,200 ลบ.ม.ต่อวัน ดังนั้นทางโครงการจึงได้พิจารณาว่า วัสดุทรายไม้ไปใช้โดยไม่ต้องมีการล้างทรายตามเหตุผลดังกล่าว ซึ่งตามมาตรฐาน BS EN12620 [1] ยอมให้มีปริมาณส่วนละเอียดได้สูง แต่ต้องมีการควบคุมการใช้งาน และการทดสอบเพิ่มเติม จึง

ดำเนินการทดสอบและทำการทดลองต่างๆ เพื่อให้ได้รับการอนุมัติใช้งานจากวิศวกรควบคุมงาน

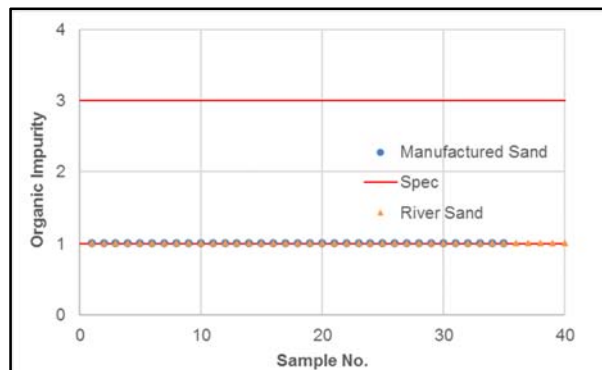
4. การทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพและเคมี

เนื่องจากสาเหตุสำคัญคือปริมาณวัสดุละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีมากกว่าข้อกำหนดตั้งได้กล่าวมาแล้ว การดำเนินการเพื่อให้ได้รับการอนุมัติใช้งานจากวิศวกรผู้ควบคุมงานจึงต้องมีการทดสอบคุณสมบัติด้านอื่นๆ เพิ่มเติมดังนี้

1. Organic Impurity Test
2. Specific Gravity Test
3. Atterbergs Limits Test
4. Sand Equivalent Test
5. Alkali Aggregate Reaction Test

4.1 ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Impurity) (ASTM C40)

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า Organic Impurity อยู่ที่ #1 ซึ่งแสดงว่าทรายที่ได้จากการไม่ (Manufactured Sand) มีความสะอาดปราศจากสารอินทรีย์เจือปน ตาม ASTM C33 ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 Organic Impurity of Manufactured Sand and River Sand

4.2 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึม (Specific Gravity) (ASTM C127)

ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และค่าการดูดซึม (Absorption) ของทรายที่ได้จากการไม่ มีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยมีค่าดังแสดงในตารางที่ 2

4.3 Atterbergs Limits (ASTM D4318)

จากผลการทดสอบ Atterbergs Limits ของทรายที่ได้จากการไม่ พบว่าเป็น Non Plastic

ตารางที่ 2 ความถ่วงจำเพาะของทราย

Item	Description	Specific Gravity	
		Bulk Specific Gravity (spec. >2.60)	Absorption % (spec. <2.50)
1	Manufactured Sand	2.66	1.75
2	Manufactured Sand	2.65	1.74
3	Manufactured Sand	2.69	1.19
4	Manufactured Sand	2.65	1.86
5	River Sand	2.65	0.69
6	River Sand	2.62	1.27
7	River Sand	2.65	0.98
8	River Sand	2.65	0.98

4.4 Sand Equivalent Test (ASTM D2419)

จากผลการทดสอบ Sand Equivalent ของทรายที่ได้จากการไม่ มีค่าดังตารางที่ 3

Max Sand Equivalent	= 80.7%
Min Sand Equivalent	= 63.6%
Average Sand Equivalent	= 73.8%

ซึ่งตามข้อกำหนดของ Cement Concrete & Aggregates Australia (CCAA) แนะนำว่าไม่ควรต่ำกว่า 60% [4]

ตารางที่ 3 Sand Equivalent of Manufactured Sand

Item	Description	Sand Equivalent (%)
1	Manufactured Sand	75.3
2	Manufactured Sand	71.9
3	Manufactured Sand	73.9
4	Manufactured Sand	70.4
5	Manufactured Sand	70.1
6	Manufactured Sand	75.3
7	Manufactured Sand	78.5
8	Manufactured Sand	70.1
9	Manufactured Sand	63.6
10	Manufactured Sand	80.7
11	Manufactured Sand	77.0
12	Manufactured Sand	69.4
13	Manufactured Sand	78.6
14	Manufactured Sand	78.4

4.5 Alkali Aggregate Reaction (AAR)

การทดสอบ Alkali Aggregate Reaction (AAR) ตาม ASTM C227 โดยการใช้วัสดุ Cement, Fly Ash และหินจากเหมืองหิน รวมถึงทรายที่ใช้ในโครงการมาทำการหล่อแท่ง

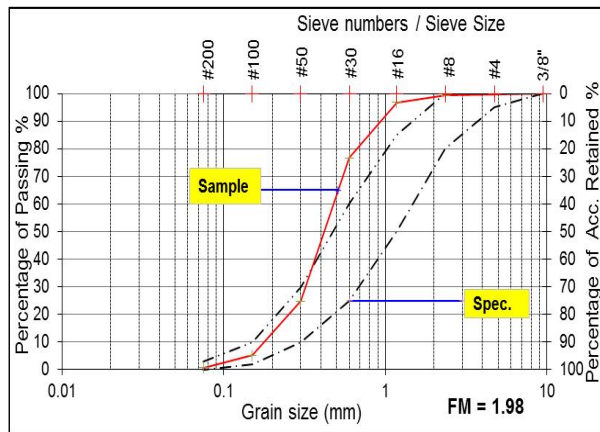
คอนกรีตตัวอย่าง เพื่อทดสอบ AAR โดยตัวอย่างคอนกรีตมีการปรับอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์และFly Ash ในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งผลการทดสอบ AAR ตามตารางที่ 4 พบว่าหินปูนจากเหมืองหินผ่านข้อกำหนดทั้งหมด

ตารางที่ 4 ผลทดสอบ Alkali Aggregate Reaction ของ Coarse Aggregate (ASTM C227)

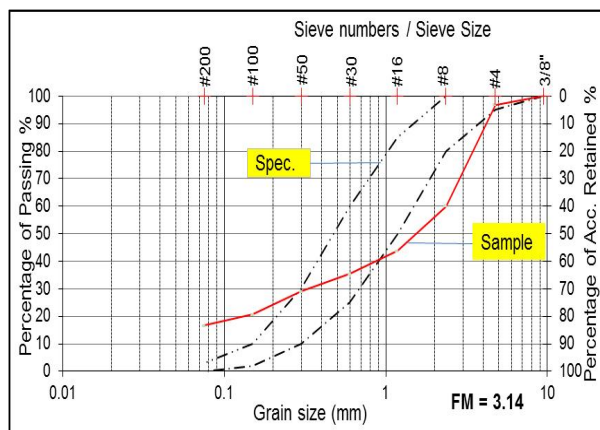
Item	Rock Type	Cement	Fly Ash	Specification (ASTM C33) (% Length Change)	Test Result (% Length Change)	
					3 months	6 months
1	Limestone (Quarry A2)	Cement 75 %	Fly Ash 25 %	1 st case Expansion < 0.05 % at 3 months or Expansion < 0.10 % at 6 months 2 nd case If expansion > 0.05 % at 3 months Expansion at 6 months have to < 0.10 %	-0.044	-0.065
2	Limestone (Quarry A2)	Cement 50 %	Fly Ash 50 %		-0.037	-0.063
3	Limestone (Quarry A2)	Cement 75 %	Fly Ash 25 %		-0.022	-0.041
4	Limestone (Quarry A2)	Cement 50 %	Fly Ash 50 %		-0.111	-0.122
5	Fossiliferous Limestone (Quarry A2)	Cement 100 %	-		0.017	0.017
6	Fossiliferous Limestone (Quarry A2)	Cement 75 %	Fly Ash 25 %		0.029	0.029
7	Fossiliferous Limestone (Quarry A2)	Cement 50 %	Fly Ash 50 %		0.025	0.025
8	Fossiliferous Limestone (Quarry A2)	Cement 100 %	-		0.022	0.022
9	Fossiliferous Limestone (Quarry A2)	Cement 75 %	Fly Ash 25 %		0.024	0.024
10	Fossiliferous Limestone (Quarry A2)	Cement 50 %	Fly Ash 50 %		0.034	0.034

5. การผสมทรายเพื่อปรับขนาดคละ

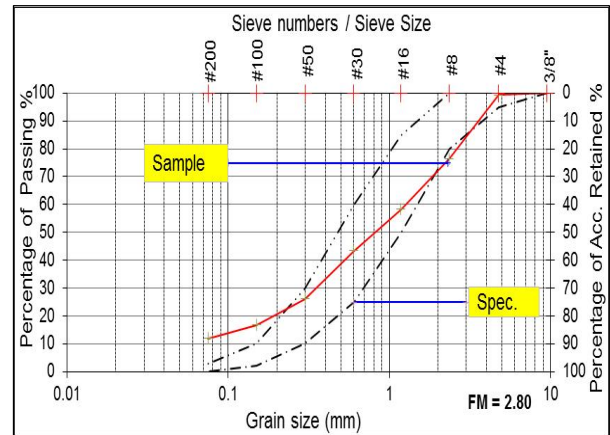
จากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าขนาดคละของทรายแม่น้ำมีความละเอียดมาก ในขณะที่ขนาดคละของทรายที่ได้จากการไม่ค่อนข้างหยาบ ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งเกินจากเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C 33 จึงนำทรายทั้งสองประเภทมาผสมกัน (Blending) ตามเอกสารแนะนำ “Guide to the Specification and use of Manufactured Sand in Concrete” ของ CCAA [2] ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อพิจารณา Gradation และพบว่าที่อัตราส่วนทรายแม่น้ำ 20% และทรายไม่ 80% เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมทั้งในเรื่องปริมาณทรายแม่น้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องนำสมในอัตราส่วนที่น้อยที่สุด และมีคุณสมบัติ เช่น Organic Impurity, Fineness Modulus อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ แต่ยังมีปริมาณวัสดุละเอียดที่เล็กกว่า 75 ไมครอน เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 10 Gradation of River Sand



รูปที่ 11 Gradation of Manufactured Sand

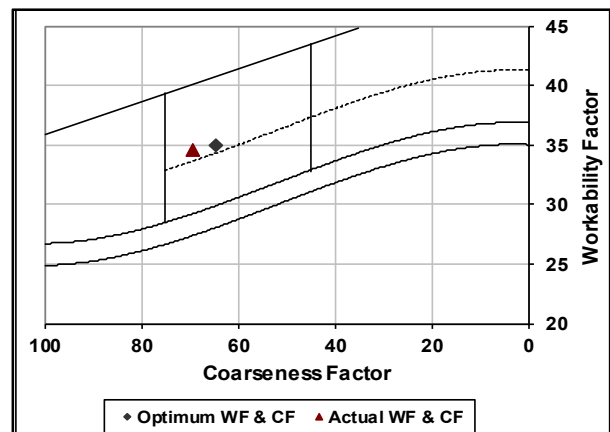


รูปที่ 12 Gradation of Blended sand
(80% Manufactured Sand + 20% River Sand)

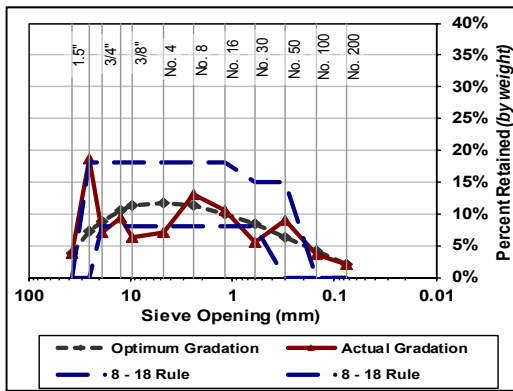
หลังจากที่ได้สัดส่วนการผสมระหว่างทรายไม่กับทรายแม่น้ำที่เหมาะสมในอัตราส่วน 80:20 แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับขนาดคละของมวลรวมหยาบ (Combined Gradation Coarse Aggregate) ซึ่งทางโครงการได้ทำการออกแบบอ้างอิงกับ Chart ที่แนะนำ เพื่อหาอัตราส่วน Combined Gradation ที่เหมาะสมดังนี้

1. Coarseness Factor Chart [3]
2. Percent Retained Chart [3]
3. 0.45 Power Chart [3]

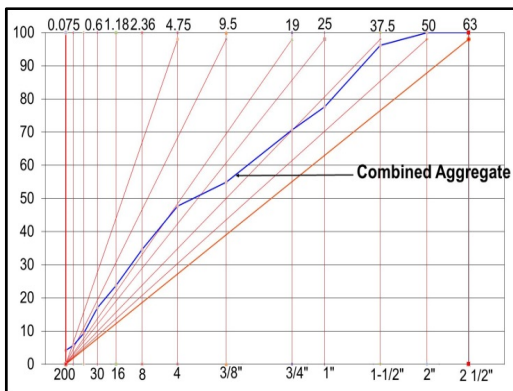
ดังมีรายละเอียดตามรูปที่ 13, 14 และ 15 ตามลำดับ



รูปที่ 13 Coarseness Factor



รูปที่ 14 Percent Retained Chart



รูปที่ 15 0.45 Power Chart

ซึ่งอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสมตาม Chart ที่แนะนำ ได้แก่ขนาดมีดังนี้

ทราย	=	0.465
หิน 9.5 มม.	=	0.050
หิน 19 มม.	=	0.202
หิน 38 มม.	=	0.283

หมายเหตุ ทรายเป็นทรายที่ทำการผสมแล้ว (River Sand 20% + Manufactured Sand 80%)

หลังจากได้อัตราส่วน Combined Gradation แล้วจึงได้นำไปทำการออกแบบ Mix Design และทำการทดลองผสม (Trial Mix) เพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตต่อไป

6. การควบคุมคุณภาพ

6.1 การคัดหินจากเหมืองหิน

ลักษณะเหมืองหินปูนของโครงการจะมีการแทรกของสินแร่ชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากหินปูนอยู่บ้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดแยก สิ่งเจือปนออก ก่อนที่จะนำไปโรงโม่เพื่อผลิต หิน และ

ทรายเพื่อผสมคอนกรีต ถึงแม้โครงการจะมีการจัดการคัดคุณภาพ หินจากเหมืองหินให้มี Clay และสิ่งเจือปนต่างๆ อย่างดี แต่ในบางครั้งในช่วงฤดูฝนจะมีวัสดุประเภท Clay ปะปนอยู่กับหินที่ นำมาจากเหมืองหินมากขึ้น เมื่อทำการโม่แล้วจะมีปริมาณฝุ่นหรือ วัสดุขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ ค่า Sand Equivalent มีค่าเปลี่ยนแปลงบ้าง แต่ยังอยู่ในช่วงที่ ยอมรับได้

6.2 การป้องกันการแยกตัวของฝุ่นจากทรายระหว่างการขนส่ง (Segregation prevention)

การขนส่งทรายไม่จากโรงโม่ของโครงการ ทำการขนส่งผ่านระบบสายพานลำเลียง และเก็บไว้ภายในโรงเรือนเพื่อ ป้องกัน ความร้อนและฝน ที่ปลาสายพานลำเลียง ทางโครงการ ได้ติดตั้งท่อยึดหยุ่น เพื่อป้องกันไม่ให้ทรายไม่เกิดการแยกตัว

7. การทดลองผสม (Trial Mix)

หลังจากที่ได้พิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ได้ทดสอบ เพิ่มเติมดังได้กล่าวมาแล้ว พบว่าวัสดุส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 200 หรือปริมาณ Limestone Dust ที่อยู่ในทรายไม่มี ผลกระทบกับคุณภาพของคอนกรีต และยังมีคุณสมบัติที่เป็น Filler [5] ในคอนกรีตจากขนาดละเอียดที่อยู่ในช่วงระหว่าง Cement กับทราย จึงได้ทำการทดลองผสม Trial Mix (ภาพที่ 16) โดยทำ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตในอัตราส่วนของ Cement, Fly Ash, Aggregate และ Admixture ต่างๆ กัน เพื่อหาคุณสมบัติ ของคอนกรีตที่ต้องการ เช่น Workability, Elastic Modulus และ Strength ตามตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6 และได้พิจารณา เลือก Mix ที่เหมาะสมนำเสนอไปยังวิศวกรผู้ควบคุมงาน เพื่อขอ อนุมัติใช้งาน แสดงให้เห็นว่าใช้ได้โดยมีคุณสมบัติของคอนกรีต เป็นไปตามข้อกำหนด



ภาพที่ 16 Trial Mix Design

ตารางที่ 5 สัดส่วนการผสมของการทดลอง Trial Mix

Lab no.	Class	W/C	S/A	% Air	Mix Proportion in 1 Cubic Meter									
					Cement (kg)	Fly Ash (kg)	Water (kg)	Manufactured Sand (kg)	River Sand (kg)	Aggregate 9.5 mm (kg)	Aggregate 19 mm (kg)	Aggregate 38 mm (kg)	Admixture (cc. / cum.) Dosage [cc/kg binder]	
													Sika Aer	Plastiment R 520N
CMD/402	C25/30/D38	0.47	0.43	1.35	230	130	169	811	-	811	178	479	2860 [8]	-
CMD/408	C25/30/D38	0.43	0.41	1.40	230	110	146	809	-	809	227	495	2822 [8.30]	-
CMD/430	C25/30/D38	0.48	0.40	1.30	230	110	163	758	-	758	371	267	2822 [8.30]	-
CMD/431	C25/30/D38	0.45	0.43	1.30	230	130	162	805	-	805	330	264	2968 [8.30]	-
CMD/437	C25/30/D38	0.47	0.43	1.25	216	144	169	796	-	796	326	261	2968 [8.30]	-
CMD/592	C25/30/D38	0.52	0.40	1.50	230	80	161	380	380	760	232	387	2700 [8.71]	-
CMD/633	C25/30/D38	0.50	0.40	1.30	230	80	155	383	383	766	235	392	1500 [4.84]	-
CMD/642	C25/30/D38	0.41	0.47	3.50	230	80	127	727	182	909	98	552	3100 [10]	-
CMD/647	C25/30/D38	0.45	0.47	2.60	200	90	128	740	185	925	100	562	2900 [10]	-
CMD/648	C25/30/D38	0.51	0.47	5.00	200	90	148	698	174	872	94	531	1015 [3.50]	-

ตารางที่ 6 ผลการทดลอง Trial Mix

Lab No.	Class	Slump Loss (cm)				Compressive Strength, Cube Sample (MPa)			Modulus of Elasticity (MPa)
		Start	30 (min)	45 (min)	60 (min)	3 (day)	7 (day)	28 (day)	
CMD/402	C25/30/D38	15	10	9	8	40.7	50.5	58.6	32,778
CMD/408	C25/30/D38	8	7	6	5	38.2	43.9	61.4	33,688
CMD/430	C25/30/D38	9	7	7	5	30.1	34.9	47.6	28,807
CMD/431	C25/30/D38	15	15	14	13	27.1	34.6	51.4	30,252
CMD/437	C25/30/D38	15	14	13	12	23.2	33.4	47.5	28,785
CMD/592	C25/30/D38	15	12	10	8	28.6	35.0	46.5	28,389
CMD/633	C25/30/D38	15	10	8	6	30.4	39.8	47.5	28,770
CMD/642	C25/30/D38	15	12	10	9	39.3	45.3	55.8	31,798
CMD/647	C25/30/D38	15	13	11	9	35.7	43.0	54.8	31,447
CMD/648	C25/30/D38	15	12	11	10	22.2	29.9	41.1	26,197

8. ผลของการใช้คอนกรีตที่มีปริมาณ Limestone Dust สูง

หลังจากที่ได้รับอนุมัติจากวิศวกรผู้ควบคุมงานให้ใช้คอนกรีตที่ได้ทำการออกแบบ Mix Design และ Trial Mix ทางโครงการได้ทำการผลิตคอนกรีตจาก Batching Plant ที่ตั้งอยู่ในโครงการขนาดกำลังการผลิตรวม 480 ลบ.ม./ชม. จาก 4 mixer โดยโครงสร้างหลักเป็นคอนกรีต Class 30 MPa (Cube) ที่อายุ 28 วัน ซึ่งในบทความนี้นำเสนอผลสรุปของ Strength จำนวน 2 mix code ที่ใช้เป็นโครงสร้างหลักๆของโครงการ โดยวิธีการเทคอนกรีตใช้ Pump เป็นส่วนใหญ่ คือ Mix Code P05/3 และ Mix Code P05/3 PR โดยแสดงภาพตัวอย่าง ดังรูปที่ 17 การเทคอนกรีตด้วยปั๊มที่โรงไฟฟ้า รูปที่ 18 การเทคอนกรีตที่ทางระบายน้ำล้น รูปที่ 19 การเทคอนกรีตที่ Intermediate Block รูปที่ 20 แสดงโรงผสมคอนกรีตขนาด 480 ลบ.ม ต่อชั่วโมงของโครงการ



รูปที่ 17 การเทคอนกรีตของโครงสร้างโรงไฟฟ้า



รูปที่ 18 การเทคอนกรีตของโครงสร้างทางระบายน้ำล้น



รูปที่ 19 การเทคอนกรีตของโครงสร้าง Intermediate Block



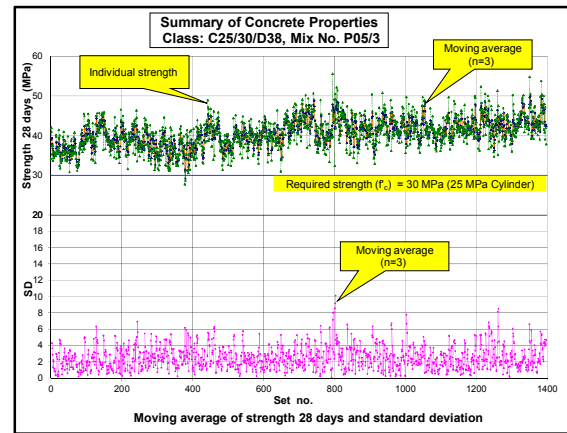
รูปที่ 20 โรงผสมคอนกรีตขนาด 480 ลบ.ม ต่อชั่วโมง

8.1 ผลของกำลังอัดของคอนกรีต Mix P05/3 และ P05/3 PR

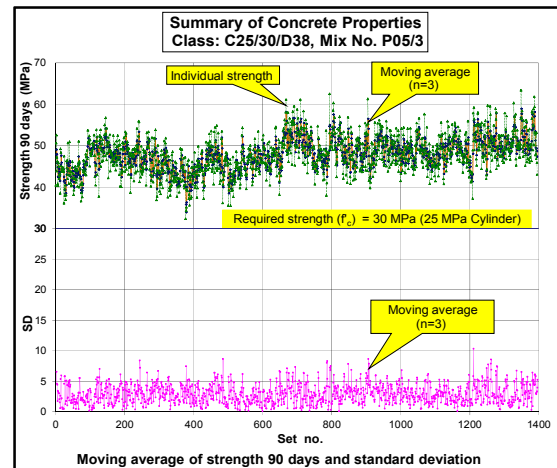
กำลังอัดของคอนกรีต Mix P05/3 สำหรับงานเทโครงสร้างทั่วไป และ Mix P05/3 PR ซึ่งมีค่า setting time ที่นานกว่า สำหรับการเท mass concrete เพื่อลดผลกระทบจาก cold joint ระหว่างการเท แสดงผลการทดสอบจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดตั้งแต่เริ่มโครงการ โดยแสดงเป็นผลกำลังอัดที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน มีผลสรุปตามตารางที่ 7 และรายละเอียดผลกำลังอัด Mix P05/3 แสดงตามรูปที่ 21 และ 22 ส่วน Mix P05/3 PR แสดงผลตามรูปที่ 23 และ 24

ตารางที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีต Mix P05/3 และ P05/3 PR

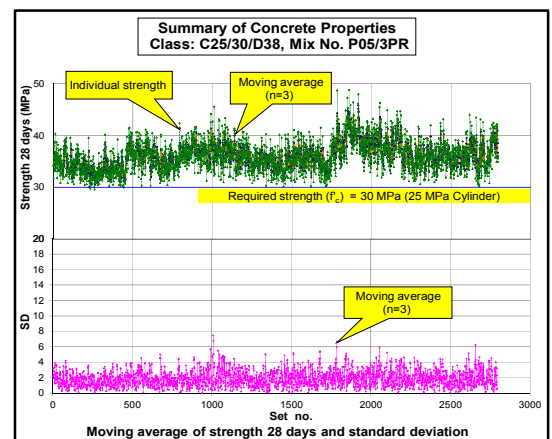
Mix	Average Moving Average Compressive Strength (MPa) 28 days	Average Moving Average Standard Deviation Compressive Strength 28 days	Average Moving Average Compressive Strength (MPa) 90 days	Average Moving Average Standard Deviation Compressive Strength 90 days
P05/3	40.5	2.5	47.8	3.0
P05/3 PR	36.0	1.9	42.6	2.3



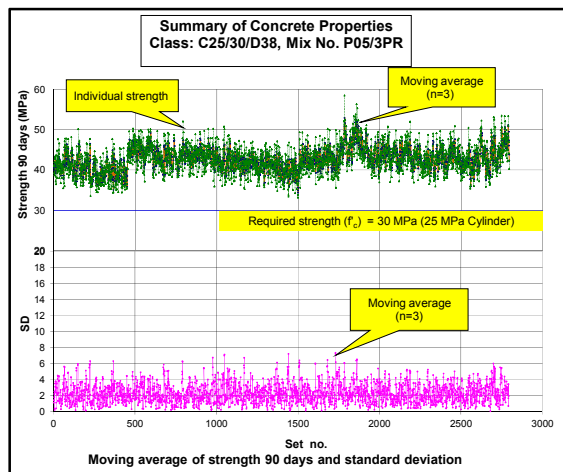
รูปที่ 21 Moving average of compressive strength at 28 days and standard deviation



รูปที่ 22 Moving average of compressive strength at 90 days and standard deviation



รูปที่ 23 Moving average of compressive strength at 28 days and standard deviation



รูปที่ 24 Moving average of compressive strength at 90 days and standard deviation

จากตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบทั้งสอง Mix ไม่พบปัญหาของคอนกรีตในเรื่องของ Strength แต่ในช่วงแรกของงานก่อสร้างยังมีค่า Strength Deviation สูงอยู่บ้าง แต่หลังจากปรับแก้แล้ว ค่า Standard Deviation ของ Mix ทั้งสองอยู่ที่ 2.6 ซึ่งจากการประเมินด้วย ACI 214R-02 Evaluation of Strengths test result of concrete ค่า Standard Deviation ของ mix ทั้งสองนี้ จะอยู่ที่ excellent และยังได้ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 90 วัน ซึ่งพบว่ามีความ Strength Development เพิ่มขึ้น 17-18 % จากอายุ 28 วัน

9. สรุป

ผลของการใช้ทรายไม่ที่มีวัสดุส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ในปริมาณสูงกว่ามาตรฐาน ASTM C33 และข้อกำหนดของโครงการที่กำหนดไว้ไม่เกิน 3% ในขณะที่ปริมาณส่วนละเอียดที่ใช้อยู่ในงานคอนกรีตของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำไชยบุรีที่มีการตรวจสอบระหว่างการก่อสร้างเป็นระยะ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 10% – 13% และได้ดำเนินการก่อสร้างจนถึงปัจจุบันมีปริมาณงานคอนกรีตที่ดำเนินการไปแล้วกว่า 3.5 ล้าน ลบ.ม. ยังไม่พบปัญหาของ คอนกรีตโครงสร้าง ที่สำคัญ เช่น Crack , Strength ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้คอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุส่วนละเอียดสูงแต่อย่างใด คงพบแต่ปัญหาของคอนกรีตระหว่างการเทคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เช่น อัตราการเกิด slump loss ที่เกิดขึ้นเร็วกว่าคอนกรีตที่ใช้ทรายตามมาตรฐานและความสามารถในการเทโดยวิธี Pump เนื่องจากรูปร่างของทราย

ไม่ที่มีเหลี่ยมมุมมากกว่าทรายแม่น้ำ ซึ่งปัจจัยสำคัญของการใช้ทรายไม่โดยไม่เกิดปัญหาคือการควบคุมคุณภาพตั้งแต่เริ่มต้นคือการคัดเลือกหินจากเหมืองหิน วิธีการไม่ การกองเก็บเพื่อไม่ให้เกิดการแยกตัวในกองวัสดุ รวมถึงการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ เป็นระยะอย่างต่อเนื่องระหว่างการก่อสร้าง โดยภาพรวมสรุปได้ว่าไม่พบปัญหาต่อคุณภาพงานก่อสร้าง และยังสามารถทำให้โครงการมีความก้าวหน้าดำเนินงานได้ตามแผน และลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการผลิตคอนกรีต รวมถึงการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การลดการระเบิดหินจากเหมือง เนื่องจากสามารถนำวัสดุที่เกิดจากการไม่ไปใช้ได้ทั้งหมดโดยไม่ต้องมีการล้างทิ้ง, ตัดปัญหาน้ำจากการล้างทรายที่มีผลต่อแม่น้ำ สามารถบริหารจัดการใช้วัสดุจากธรรมชาติสำหรับผสมคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ทรัพยากรธรรมชาติเท่าที่จำเป็น รวมถึงสามารถลดอัตราการใช้ Cement และ Fly Ash ได้บางส่วน จากการใช้ทรายที่มีปริมาณส่วนละเอียดสูงดังกล่าว

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ช การช่าง (ลาว) จำกัด หน่วยงานวิศวกรรม และห้องทดลองของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำไชยบุรี

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] *Aggregates for concrete*, BS EN Standard 12620, 2013.
- [2] *Guide to the Specification and Use of Manufactured Sand in Concrete*, Cement Concrete & Aggregates Australia, 2008.
- [3] Kansas Department of Transportation. (2011, May 24). *Concrete Mix Design and Combined Aggregate Optimization. (KU Mix Version 3.4 Beta 1)* [Online]. Available: <http://www.silicafume.org/ku-mix.html>
- [4] *Manufactured Sand National test method and Specification*, Cement Concrete & Aggregate Australia, 2007.
- [5] D.P. Bentz, "Replacement of "coarse" cement particles by inert fillers in low w/c ratio concretes II. Experimental validation", *Cement and Concrete Research* 35, 2005, pp. 185– 188.