

## การศึกษาคุณภาพและจัดทำข้อมูลการนำเสนอขายคอนกรีตผสมกรวดและหินย่อย

### ประชา อุ๋นใจชน

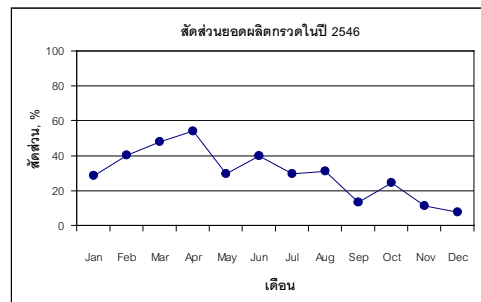
ผู้จัดการส่งเสริมคุณภาพ CPAC ภาคอีสาน 2

กิจการ CPAC ภาคอีสาน

**บทคัดย่อ :** โครงการฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบของคุณภาพคอนกรีตที่ลูกค้าสนใจเมื่อใช้กรวดและหินย่อยเป็นวัสดุเติมในการผลิตคอนกรีต ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น (RIT) โดยทำการศึกษาคูณสมบัติคอนกรีตเรื่อง ค่ายุบตัว (Slump), การสูญเสียค่ายุบตัว (Slump Loss) และการพัฒนากำลังอัด (Strength Development) เมื่อใช้กรวดร่วมกับหินย่อยด้วยสัดส่วน กรวด:หิน, 0:100, 50:50, 80:20, 100:0 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบทั้งหมดในส่วนผสม ซึ่งจากการทดลองพบว่ากำลังอัดที่อายุ 28 วันของกรวดผสมหินไม่แตกต่างกัน แต่สำหรับคอนกรีตที่อายุ 3 วัน พบว่าการพัฒนากำลังอัดของกรวดที่สัดส่วน 80:20 และ 100:0 ต่ำกว่าหิน นอกจากนี้เมื่อทดสอบ Slump Loss พบว่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจากโครงการนี้สรุปได้ว่าการนำกรวดมาผสมหินย่อยในสัดส่วน 50:50 ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ และสามารถคำนวณส่วนผสมได้โดยวิธี CPAC Concrete Design นอกจากนี้การใช้กรวดผสมด้วยสัดส่วนดังกล่าวสามารถลดต้นทุนผันแปร 74 บาท/ลบ.ม.

### 1. เข้าใจนโยบายของผู้บังคับบัญชา

จากนโยบายของท่านกรรมการผู้จัดการในเรื่องของการใช้วัสดุเติมในพื้นที่ผลิตคอนกรีตเพื่อลดต้นทุนสินค้าโดยที่ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ ทั้งนี้ปัจจุบันโรงงานขอนแก่น-น้ำพอง มีรหัสสินค้าคอนกรีตที่ใช้กรวด 100% ประกาศขายสำหรับกลุ่มลูกค้าที่ยอมรับกรวด แต่ในปี 2547 ต้องการผลักดันสัดส่วนการใช้กรวดให้มากขึ้นเป็น 50% ของมวลรวมหยาบทั้งหมด จากเดิม 28.4% ในปี 2546



รูปที่ 1 กราฟสัดส่วนการใช้กรวดปี 2546

ตารางที่ 1 ข้อมูลต้นทุนแหล่งของโรงงานน้ำพอง

แหล่ง	ระยะทาง, กม.	ราคา, บาท/ตัน
หินย่อย, เลย	185	242
กรวด, น้ำพอง	12	115
ทราย, น้ำพอง	12	129

### 2. กำหนดงานที่จะทำ

จากผลการสัมภาษณ์ผู้รับเหมาหลักและลูกค้า Walk in ของโรงงานน้ำพองในเดือน กันยายน 46 – ตุลาคม 46 ในหัวข้อเรื่องเหตุผลที่ไม่ใช้กรวด สรุปได้ว่า

- กลุ่มผู้รับเหมาหลักติดปัญหาเรื่องข้อกำหนดงานคอนกรีตระบุให้ใช้หินย่อย และผู้ควบคุมงานไม่แน่ใจในคุณภาพของคอนกรีตผสมกรวด

- กลุ่ม Walk in ซึ่งส่วนมากเป็นเจ้าของงานไม่เชื่อมั่นในคอนกรีตผสมกรวดและไม่ชอบเนื้อคอนกรีต
- เข้าใจผิดเรื่องหินหนการขัดสีได้มากกว่ากรวด จึงไม่ต้องการนำกรวดไปเทถนนหรือพื้น

ทั้งนี้จึงได้กำหนดทางเลือกเพื่อเปรียบเทียบวิธีการเพิ่มยอดขายกรวดดังนี้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบทางเลือกการแก้ปัญหา

ทางเลือก	ข้อดี	ข้อเสีย
1ลดราคาขายสุทธิMix กรวด	เห็นผลทันทีกับกลุ่มลูกค้าที่อยากได้ราคาถูก	เกิดภาพลักษณ์ไม่ดีเพราะอาจเข้าใจว่าการลดราคาขายทำได้เนื่องจากลดคุณภาพ
2ใช้หินผสมกรวดในการผลิตคอนกรีต	ไม่มีความแตกต่างของเนื้อคอนกรีตและกำลังอัด	ไม่มีการทดลองผลกระทบด้านคุณภาพให้ลูกค้า และไม่มีรหัสสินค้า
3เสนอขายกรวดเพียงอย่างเดียวทุกงาน	บังคับลูกค้าให้ใช้กรวดเพียงอย่างเดียว	เสียลูกค้ากลุ่มที่ต้องการใช้หินให้กับคู่แข่ง
4ทดสอบคุณสมบัติของกรวดและหินจากสถาบันของรัฐ	ผลการทดลองใช้อ้างอิงการขายได้	ไม่ได้แก้ปัญหาลักษณะของเนื้อคอนกรีตสีแดง

จากข้อมูลข้างต้นจึงได้เลือกข้อ 2 และ 4 กำหนดเป็นโครงการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้กรวดร่วมกับหินย่อย โดยทำการศึกษาร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น เพื่อความเป็นกลางของข้อมูล

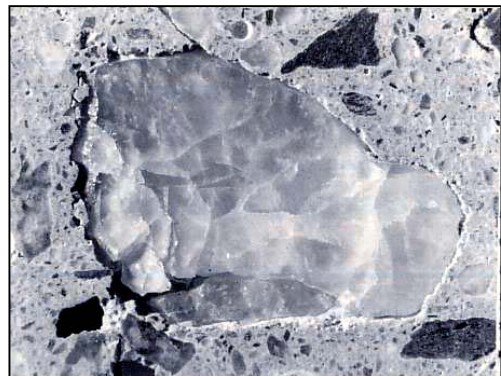
### 3. พัฒนารูปแบบการปฏิบัติงาน

จากการทบทวนข้อมูลการศึกษาเรื่องการใช้กรวดผลิตคอนกรีตของโรงงานสกลนครพบว่า กำลังอัดของกรวดที่ W/B เท่ากันจะเท่ากับหิน ทั้งนี้เนื่องมาจากกรวดมีผิวเรียบกว่า ดังนั้นการกักเก็บน้ำได้มวบรวมและการเกิดฟิล์มน้ำที่ผิวจึงน้อยกว่าหิน ส่งผลให้ Transition Zone ของกรวดมี CSH ที่ผิวเข้มกว่าหิน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์กำลังอัดของโรงงานน้ำพองโดยเป็นการสุ่มเก็บตัวอย่างจากคอนกรีตรหัส ZBDM21A400 (PX2XX) เทียบกับ ZBDM21A000 (PX3XX) ในเดือนกันยายน 2546 ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย t-test

Agg.	N	Average, ksc	SD
Rock	30	298	28.78
Gravel	30	309	30.32

t = 1.45, P value = 0.16 ( 2-tail)



รูปที่ 2 ภาพถ่าย SEM แสดง Transition Zone ของหิน



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM แสดง Transition Zone ของกรวด

จากตารางข้างต้นสรุปได้ว่า กำลังอัดของกรวดและหินของโรงงานน้ำพองไม่แตกต่างกันด้วยความเชื่อมั่น 84% ดังนั้นการนำกรวดมาใช้ร่วมกับหินจะไม่ส่งผลให้กำลังอัดแตกต่างกัน

#### 4. วิธีการเพื่อให้งานสำเร็จ

เพื่อให้ข้อมูลเป็นกลางและสามารถใช้อ้างอิงการเสนอขายกับลูกค้าจึงวิเคราะห์ปัญหาและวิธีการป้องกันดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงปัญหาในขนาดและวิธีป้องกัน

ปัญหา	วิธีการป้องกัน
1. Slump loss ผิดปกติ	ยืนยันด้วยการทดสอบ Slump loss เปรียบเทียบทุกส่วนผสม
2. การเสนอขายกรวดขาดเอกสารอ้างอิง	ถ่ายภาพทุกขั้นตอนของการทดลอง เพื่อจัดทำเป็นคู่มือการเสนอขายกรวดโดยใช้ผลการทดสอบอ้างอิง

ดังนั้นจึงสรุปหัวข้อการทดสอบดังนี้คือ

- w/c (Designed by CPAC)
- Sieve analysis (KKU)
- Specific gravity (KKU)
- Abrasion test (KKU)
- Water absorption test (KKU)
- Flakiness, Elongation index (KKU)
- Trial mix (RIT)
- Slump loss (RIT)
- Strength development (RIT, CPAC)

หมายเหตุ :

KKU = มหาวิทยาลัยขอนแก่น

RIT = สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

โดยทำการทดลองที่สัดส่วน หิน:กรวด ดังนี้ 100:0, 50:50, 20:80, 0:100 และถ่ายรูปการทดลองทุกขั้นตอนเพื่อใช้สนับสนุนการขายโดยกำหนด Mix code และ ส่วนผสมดังนี้

GA-XX : w/c = 0.76

GB-XX : w/c = 0.57

ตารางที่ 5 ส่วนผสมที่จะทำ Trial Mix

Mix code	Gravel	Rock	Cement	Water	Sand	P48R
GA-00		1120	250	188	860	1000
GA-50	560	560				
GA-80	900	220				
GA-100	1120					
GB-00		1120	325	185	800	1300
GB-50	560	560				
GB-80	900	220				
GB-100	1120					

โดยแต่ละ Mix code มีรายละเอียดและค่า Designed cube ultimate strength ดังนี้

ตารางที่ 6 รายละเอียดของส่วนผสมที่ทำ Trial Mix

Mix code	% Gravel	Ultimate str. ksc	Initial slump cm
GA-00	0	290	12.5
GA-50	50		
GA-80	80		
GA-100	100		
GB-00	0	430	12.5
GB-50	50		
GB-80	80		
GB-100	100		

#### 5. การปฏิบัติตามแผนงาน

ดำเนินการติดต่อขอใช้ห้องทดสอบที่สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น และดำเนินการทดสอบในเดือนธันวาคม 2546 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4 การทดลองส่วนผสมที่ห้องทดสอบของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น (RIT)



รูปที่ 5 การเตรียมการทดลองร่วมกับอาจารย์ของ RIT



รูปที่ 6 เครื่องผสมคอนกรีตแบบ Pan Type ของ RIT



รูปที่ 7 การเก็บก้อนตัวอย่างและการหาค่า Slump loss ของคอนกรีตสด

## 6. การตรวจสอบผล

คุณสมบัติของมวลรวมซึ่งส่งทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สำคัญมีดังนี้

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณค่า  $D_{av}$  และ SSA

Aggregate	$D_{av}$ , mm	SSA, $cm^2/kg$
Sand	1.339	19,031
Rock	11.717	2,645
Gravel	12.085	2,684

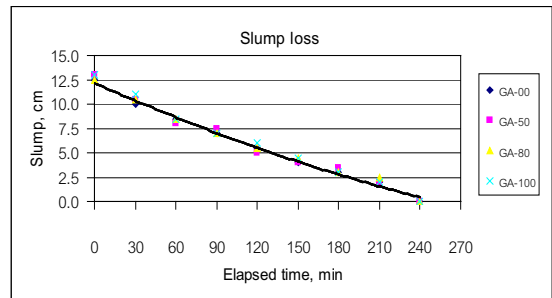
ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์รูปร่างของมวลรวม

Aggregate	Flakiness, %	Elongation, %
Rock	14.7	19.5
Gravel	7.0	10.8

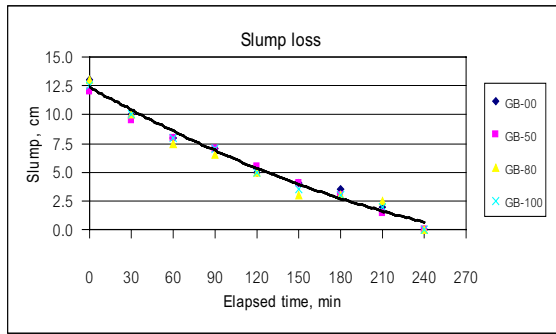
ตารางที่ 9 ผลวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะและการขัดสี

Aggregate	s.g.	Abrasion, %
Rock	2.71	22.7
Gravel	2.59	23.5

และผลการทดสอบเพื่อหาค่า Slump loss ทดสอบที่ห้องปฏิบัติการคอนกรีตของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น ได้ผลดังนี้



รูปที่ 8 ผลการทดลอง Slump loss ของคอนกรีตที่ค่า  $w/c = 0.76$



รูปที่ 9 ผลการทดลอง Slump loss ของคอนกรีตที่ค่า  $w/c = 0.57$

จากผลการทดลองแสดงว่า Slump loss ของคอนกรีตที่ผสมกรวดและหินไม่แตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากกรวดและหินที่นำมาทดสอบอยู่ในสภาพ SSD การที่เกิด Slump loss จึงเป็นผลมาจากปฏิกิริยา Hydration เท่านั้น

ตารางที่ 10 ผลกำลังอัดที่ 28 วัน สำหรับ  $w/c = 0.76$

Mix	X1	X2	X3	Average
GA-00	308	318	322	316.0
GA-50	332	327	321	326.7
GA-80	312	328	322	320.7
GA-100	324	310	316	316.7

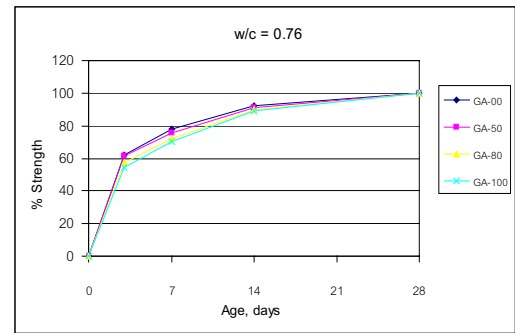
ANOVA : F = 1.46, P value = 0.30, Sig = 0.05

ตารางที่ 11 ผลกำลังอัดที่ 28 วัน สำหรับ  $w/c = 0.57$

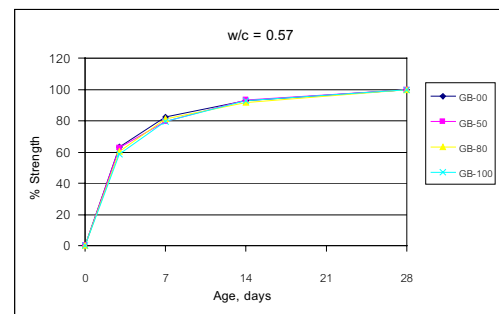
Mix	X1	X2	X3	Average
GB-00	482	471	466	473.0
GB-50	454	463	468	461.7
GB-80	481	468	462	470.3
GB-100	460	469	474	467.7

ANOVA : F = 1.08, P value = 0.41, Sig = 0.05

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับกำลังอัดที่ 28 วัน พบว่าที่  $w/c$  เท่ากันการทดแทนกรวดในส่วนผสมไม่มีผลกับกำลังอัดซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์และผลการทดลองที่โรงงานสกลนครในปี 2545



รูปที่ 10 กราฟแสดงการพัฒนากำลังอัดของตัวอย่างที่ควบคุม  $w/c = 0.76$



รูปที่ 11 กราฟแสดงการพัฒนากำลังอัดของตัวอย่างที่ควบคุม  $w/c = 0.57$

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการพัฒนากำลังอัดที่อายุ 3 วัน สำหรับ  $w/c = 0.76$

Mix	X1	X2	X3	t	P value
GA-00	64	61	62		
GA-50	58	63	61	0.82	0.50
GA-80	58	60	61	8.50	0.01
GA-100	52	54	56	13.6	0.01

Sig = 0.05 (2-tail)

จากตารางแสดงว่าถ้าให้ส่วนผสมหินล้วน (GA-00) เป็นตัวควบคุมเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับส่วนผสมอื่นพบว่า ที่สัดส่วนกรวดตั้งแต่ 80% ขึ้นไปการพัฒนากำลังอัดที่อายุ 3 วันต่ำกว่าหินล้วน

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 7 วัน สำหรับ  $w/c = 0.76$

Mix	X1	X2	X3	t	P value
GA-00	77	78	79		
GA-50	74	75	78	1.94	0.19
GA-80	72	71	73	23.7	0.00
GA-100	71	69	70	29.1	0.00

Sig = 0.05 (2-tail)

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 7 วันเมื่อเทียบกับหินล้วน(GA-00) จะต่ำกว่าหินล้วนเมื่อทดสอบกรวดตั้งแต่ 80% ขึ้นไป

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 14 วัน สำหรับ  $w/c = 0.76$

Mix	X1	X2	X3	t	P value
GA-00	92	94	91		
GA-50	89	91	93	1.06	0.40
GA-80	94	88	87	1.15	0.37
GA-100	92	89	87	2.35	0.14

Sig = 0.05 (2-tail)

จากข้อมูลพบว่า การพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 14 วันไม่แตกต่างกัน ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดสรุปได้ว่าการพัฒนากำลึงอัดของกรวดที่อายุ 3 และ 7 วัน จะต่ำกว่าส่วนผสมหินล้วนเมื่อใช้กรวดมากกว่า 80% สำหรับ  $w/c = 0.76$

ตารางที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 3 วัน สำหรับ  $w/c = 0.57$

Mix	X1	X2	X3	t	P value
GB-00	62	63	64		
GB-50	62	65	61	0.48	0.68
GB-80	59	61	60	5.34	0.03
GB-100	59	58	59	17.2	0.00

Sig = 0.05 (2-tail)

การพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 3 วันของส่วนผสมที่  $w/c = 0.57$  จะต่ำกว่าหินล้วนถ้าทดแทนกรวดมากกว่า 80% ของมวลรวมหยาบทั้งหมด

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 7 วัน สำหรับ  $w/c = 0.57$

Mix	X1	X2	X3	t	P value
GB-00	81	82	83		
GB-50	81	78	79	3.20	0.09
GB-80	79	82	83	0.49	0.67
GB-100	79	81	78	3.81	0.06

Sig = 0.05 (2-tail)

ที่  $w/c = 0.57$  ไม่พบความแตกต่างของการพัฒนากำลึงอัดเมื่อเทียบกับหินล้วนทุกส่วนผสมที่ใช้กรวด

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 14 วัน สำหรับ  $w/c = 0.57$

Mix	X1	X2	X3	t	P value
GB-00	94	91	93		
GB-50	94	91	96	0.52	0.66
GB-80	91	92	93	0.98	0.43
GB-100	92	95	91	0.12	0.91

Sig = 0.05 (2-tail)

เช่นเดียวกับการพัฒนากำลึงอัดที่อายุ 14 วัน ไม่พบความแตกต่างในทุกส่วนผสมดังนั้นสรุปได้ว่า ที่  $w/c = 0.76$  ส่วนผสมที่มีสัดส่วนกรวดมากกว่า 80% มีการพัฒนากำลึงอัดที่ต่ำกว่าหินล้วนที่อายุ 3 และ 7 วัน แต่ตั้งแต่อายุ 14 วันเป็นต้นไปการใช้กรวดที่สัดส่วนต่างๆ ไม่มีผลกับการพัฒนากำลึงอัดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หินล้วน สาเหตุมาจากที่  $w/c = 0.76$  กำลึงอัดคอนกรีตที่อายุ 3 และ 7 วัน ความเข้มข้นของ CSH ของกรวดมีผลกับกำลึงอัดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลของ Aggregate Interlocking ของหินที่มีมากกว่ากรวด แต่หลังจากอายุ 14 วันขึ้นไปผลของ CSH มีมาก

ชั้นจนทำให้กำลังอัดใกล้เคียงกับหินล้วน แต่สำหรับ ส่วนผสมที่  $w/c = 0.56$  เนื่องจากมีค่า  $w/c$  ต่ำลง ทำให้ ที่อายุ 7 วัน ความเข้มข้นของ CSH มีผลเร็วขึ้นการ พัฒนากำลังอัดจึงไม่แตกต่างกันแต่อย่างไรก็ตามที่ อายุ 3 วัน ที่สัดส่วนกรวดมากกว่า 80% การพัฒนา กำลังอัดต่ำกว่าหินล้วนเนื่องจากผลของ Aggregate Interlocking ที่อายุ 3 วันมีผลมากกว่า CSH

## 7. การจัดสูการทำงานปกติ

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการใช้กรวดที่สัดส่วน 50% ไม่มีความแตกต่างในด้านกำลังอัด, การพัฒนา กำลังอัด และ Slump loss ดังนั้นการใช้คอนกรีตผสม กรวดที่สัดส่วน 50% สามารถดำเนินการได้ทันทีโดยไม่กระทบถึงขั้นตอนและวิธีการทำงานปกติของผู้รับ เหนมาจากเดิมที่ใช้หินล้วน

## 8. แผนงานในอนาคต

จัดทำคู่มือการเสนอขายคอนกรีตหินผสมกรวด 50% ให้กับหน่วยงานของโรงงานน้ำพองโดยใช้ข้อมูลจาก การทดลองของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยา เขตขอนแก่น ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนผันแปรลดลงและ ป้องกันปัญหาหินจัดส่งไม่ทันในอนาคต

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ได้ ด้วยความช่วยเหลือจากกลุ่มบุคคลดังนี้ คือคุณนฤชา เกษมสำราญ หน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ ที่เป็น ที่ปรึกษา, คุณวรพงษ์ พนาวสุ หน่วยงานบริการเทคนิค และคุณสรวิธ มูลเมือง หน่วยงานคอนกรีต เทคโนโลยี เป็นผู้ให้คำแนะนำการดำเนินงานโครงการ นี้ และขอขอบคุณพนักงานในหน่วยงานพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดสอบ และข้อมูลทางเทคนิค

## เอกสารอ้างอิง

- หน่วยงานคอนกรีตเทคโนโลยี ฝ่ายวิศวกรรมและ เทคนิค, “เอกสารประกอบหลักสูตรการฝึกอบรม คอนกรีตเทคโนโลยีแบบบูรณาการ สำหรับวิศวกร เรื่อง การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต”, 2545.
- สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทาง หลวง, “เอกสารผลการตรวจสอบ Concrete Mixed Design For R.C. Pavement”, 2541.