การนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ทำคอนกรีตบล็อก

นายวรวุฒิ หะมาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4214-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF AUTOMOTIVE PAINT WASTE FOR MAKING CONCRETE BLOCK

Mr. Worawut Hamarn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4214-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ทำคอนกรีตบล็อก
โดย	นายวรวุฒิ หะมาน
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรวุฒิ หะมาน : การนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ทำคอนกรีตบล็อก. (UTILIZATION OF AUTOMOTIVE PAINT WASTE FOR MAKING CONCRETE BLOCK) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 118 หน้า. ISBN : 974-17-4214-2.

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์ ได้แก่ เศษสีแห้งเร็ว และกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว มาใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในการทำคอนกรีตบล็อก ทำการทดลองโดยศึกษาอัตราส่วนผสมของกากของเสียต่อมวลรวมของแข็งทั้งหมดซึ่งแปรค่าตั้งแต่ 0.03 0.05 0.07 0.10 0.20 0.30 และ 0.40 โดยใช้อัตราส่วนผสมคอนกรีตบล็อกซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 และ 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50 ทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นที่ 7 วันและ 28 วันตามลำดับ และหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิล ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกากของเสียทั้งสองชนิดคือ อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร ใช้ระยะเวลาบ่ม 28 วัน โดยพบว่า ที่อัตราส่วนผสมเศษสีแห้งเร็ว 7 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวมของแข็งทั้งหมด สามารถนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยให้ค่ากำลังรับแรงอัด 2.9 เมกกะปาสคาล ค่าความหนาแน่น 2,059 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าการดูดกลืนน้ำ 28.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนอัตราส่วนที่ผสมด้วยกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลรวมของแข็งทั้งหมด สามารถนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 7.1 เมกกะปาสคาล ค่าความหนาแน่น 2,381 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าการดูดกลืนน้ำ 56.9 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ ผลการทดสอบการชะละลายโลหะหนักในน้ำสกัดพบว่า คอนกรีตบล็อกทั้งสองชนิด มีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของโลหะหนักทุกชนิดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และมีราคาผลิตภัณฑ์เท่ากับ 2.57 และ 2.94 บาทต่อก้อนคอนกรีตบล็อก สำหรับการใช้เศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....
ปีการศึกษา 2546

##4570517221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: SLUDGE / AUTOMOTIVE PAINT WASTE / CONCRETE BLOCK / HEAVY METAL

WORAWUT HAMARN : UTILIZATION OF AUTOMOTIVE PAINT WASTE FOR MAKING CONCRETE BLOCK. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph. D., 118 pp. ISBN : 974-17-4214-2.

This research investigated the utilization of automotive paint waste (i.e. rapidly dry paint waste and sludge obtained from rapidly dry paint waste treatment) as added mixture for making concrete block. The experiment was carried out by varying the ratio of waste to total solid mass equal to 0.03, 0.05, 0.07, 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40. The ratios of mixed concrete (cement : sand : gravel) equal to 1 : 2 : 4 and 1 : 1 : 2 by volume with water cement ratio of 0.50. The compressive strength and density was determined at 7 days and 28 days of curing time. The efficiency of leachability reduction of heavy metals (Chromium, Copper, Lead and Nickel) was also investigated. The results indicated that the optimum conditions were presented at the ratios of mixed concrete equal to 1 : 2 : 4 by volume and 28 days of curing time. By adding 7% of rapidly dry paint waste per total solid mass could use to be hollow non-load-bearing concrete masonry unit which gave the best compressive strength at 2.9 MPa, the density at 2,058.6 kg/m^3 and the water absorption at 28.5 kg/m^3. By adding 5% of sludge obtained from rapidly dry paint waste treatment per total solid mass could use to be hollow load-bearing concrete masonry unit which gave the best compressive strength at 7.1 MPa, the density at 2,381 kg/m^3 and the water absorption at 57 kg/m^3. Moreover; for the extraction tests, the concentrations of heavy metals were insignificantly lower than that of the standard for both concrete blocks. The cost estimation of the products was 2.57 and 2.94 baht per concrete block using rapidly dry paint waste and sludge obtained from rapidly dry paint waste treatment, respectively.

Department ....Environmental Engineering..... Student's singature ....

Field of study ..Environmental Engineering.... Advisor's signature ....

Academic year ...2003..........................

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่กรุณาให้โอกาสในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขและสนับสนุนในด้านต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน สำหรับข้อคิดเห็น และคำเสนอแนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณโรงงานเคลือบสีรถยนต์ ที่อนุเคราะห์วัสดุและข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ศูนย์เครือข่ายของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องปฏิบัติการคอนกรีตและทดสอบวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความเอื้อเฟื้อทั้งอุปกรณ์ สถานที่ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิจัย

ขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เงินทุน ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัย และกองทุน ดร.ธีระ พันธุมวนิช ที่มอบทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย

ความดีของวิทยานิพนธ์ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่ให้ ความรัก การสนับสนุน ทั้งด้านกำลังทรัพย์ คำปรึกษา และกำลังใจ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ที่สุด

ท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกคน โดยเฉพาะ พี่เบนซ์ พี่โป้ง วรรธ นวล และ พุฒ ที่คอยช่วยเหลือเป็นอย่างดีทั้งในขณะศึกษาและดำเนินงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ... จ

กิตติกรรมประกาศ.. ฉ

สารบัญ... ช

สารบัญตาราง.. ญ

สารบัญรูป.. ฐ

สัญลักษณ์และคำย่อ .... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ 1

1.2 ขอบเขตการวิจัย 2

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 3

2.1 โลหะหนัก.. 3

2.2 สีที่ใช้ในอุตสาหกรรม... 3

2.2.1 ประเภทของสีพื้น...... 4

2.2.2 สีพ่นรถยนต์หรือสีทับหน้า.................................. 5

2.3 กากของเสียจากอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์.. 9

2.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.. 14

2.5 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น.. 16

2.6 กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์.. 17

2.7 เกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ผ่านการปรับเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็ง.. 21

2.8 คอนกรีตบล็อก.. 21

2.8.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง.. 22

2.8.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.. 22

2.9 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย... 25

บทที่ 3 แผนการดำเนินการวิจัย 33

3.1 การเตรียมวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย.... 33

3.1.1 วัตถุดิบ 33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2 สารเคมี 33
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ 35
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 38
3.2.1 ตัวแปรอิสระ 38
3.2.2 ตัวแปรตาม 38
3.2.3 ตัวแปรควบคุม 38
3.3 การดำเนินการวิจัย 39
3.3.1 การทดลองที่ 1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย 39
3.3.2 การทดลองที่ 2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีพื้นฐาน ของวัสดุที่นำมาใช้ในการวิจัย.................................. 39
3.3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตลูกบาศก์..... 40
3.3.4 การทดลองที่ 4 ประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น 41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 43
4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย 43
4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย 43
4.2.1 องค์ประกอบของเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัด สีแห้งเร็ว... 43
4.2.2 การกระจายขนาดของอนุภาคของเศษสีแห้งเร็ว กากตะกอนจากระบบ บำบัดสีแห้งเร็วและวัสดุผสม 46
4.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ... 49
4.3 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก.. 49
4.3.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก........ 49
4.3.2 ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจพบในน้ำชะละลายคอนกรีตบล็อก............ 57
4.3.3 สมบัติของคอนกรีตบล็อกรูปแบบเดียวกับที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดโดย พิจารณาค่าการดูดกลืนน้ำ และค่ากำลังรับแรงอัด........................ 61
4.4 การประมาณค่าใช้จ่ายในการนำกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์มาใช้ทำ คอนกรีตบล็อกก่อผนัง.. 63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 64
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะเชิงวิศวกรรม 66

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 67

บรรณานุกรม 71

ภาคผนวก 73

ภาคผนวก ก. วิธีการทดลองโดยละเอียด 74

ภาคผนวก ข. ตารางผลการทดลอง 86

ภาคผนวก ค. ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค.................................. 101

ภาคผนวก ง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกก่อผนัง................ 105

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 118

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของสีพ่นไนโตรเซลลูโลสแลคเกอร์และสีพ่นอะคริลิคแลคเกอร์ 7

2.2 ความแตกต่างระหว่างสีแลคเกอร์กับสีอีนาเมล... 9

2.3 ปริมาณเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการบำบัด 14

2.4 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.. 15

2.5 กระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน.............................. 17

2.6 รายละเอียดและข้อดีข้อเสียของวิธีการทำก้อนแข็ง.. 18

2.7 รายละเอียดกลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน..................................... 19

2.8 วิธีการทำลายสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะประเภท.................................. 20

3.1 การศึกษาอัตราส่วนการเติมกากของเสียต่อมวลรวมที่เป็นของแข็ง และระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อก.. 40

3.2 ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนักของคอนกรีตบล็อกที่มีกากของเสียเป็นส่วนประกอบ... 41

3.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำกากของเสียมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดกากของเสีย... 42

4.1 ลักษณะทางกายภาพของเศษสีแห้งเร็ว.. 44

4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำชะละลายเศษสีแห้งเร็ว.. 45

4.3 ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว................................. 45

4.4 ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำชะละลายกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.................... 46

4.5 ขนาดอนุภาคของเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว....................... 46

4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุผสม.. 49

4.7 ค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว.............. 50

4.8 ค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.. 55

4.9 ปริมาณโลหะหนัก (ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว และโครเมียม) ที่ตรวจพบในน้ำชะละลาย.... 59

4.10 ค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกก่อผนังที่ผลิตได้...................... 62

4.11 ค่าใช้จ่ายและวิธีการในการบำบัดกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์.......................... 63

ข.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัตถุดิบ (หินเกล็ด).. 87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัตถุดิบ (ทรายละเอียด).. 87

ข.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัตถุดิบ (เศษสีแห้งเร็ว).. 87

ข.4 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัตถุดิบ (กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว)........... 87

ข.5 สัดส่วนการผสมสูตร A (ซีเมนต์ : ทราย : หิน = 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร) สำหรับหล่อตัวอย่างคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 5 เซนติเมตร ที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว................... 88

ข.6 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมเศษสีแห้งเร็ว.......... 88

ข.7 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมเศษสีแห้งเร็ว....... 89

ข.8 สัดส่วนการผสมสูตร B (ซีเมนต์ : ทราย : หิน = 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร) สำหรับหล่อตัวอย่างคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 5 เซนติเมตร ที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็ว................... 90

ข.9 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมเศษสีแห้งเร็ว.......... 90

ข.10 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมเศษสีแห้งเร็ว....... 91

ข.11 สัดส่วนการผสมสูตร A (ซีเมนต์ : ทราย : หิน = 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร) สำหรับหล่อตัวอย่างคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 5 เซนติเมตร ที่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.. 92

ข.12 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.. 92

ข.13 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.. 93

ข.14 สัดส่วนการผสมสูตร B (ซีเมนต์ : ทราย : หิน = 1 : 1 : 2 โดยปริมาตร) สำหรับหล่อตัวอย่างคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 5 เซนติเมตร ที่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.. 94

ข.15 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.. 94

ข.16 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันของคอนกรีตลูกบาศก์ที่เติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว.. 95

ข.17 ปริมาณโลหะหนักทองแดงในน้ำชะละลาย.. 96

ข.18 ปริมาณโลหะหนักนิกเกิลในน้ำชะละลาย.. 97

ข.19 ปริมาณโลหะหนักตะกั่วในน้ำชะละลาย.. 98

ข.20 ปริมาณโลหะหนักโครเมียมในน้ำชะละลาย.. 99

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.21 ส่วนผสมคอนกรีตบล็อกก่อผนังขนาด 7 x 19 x 39 เซนติเมตร.......................... 100

ข.22 ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และการดูดกลืนน้ำที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันของก้อนคอนกรีตบล็อกก่อผนัง.. 100

ค.1 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคกากตะกอนระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่ผ่านการอบและบด.. 102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 คอนกรีตบล็อกก่อผนังแบบกลวงมาตรฐาน แบบและขนาดต่างๆ....	23
2.2 ลักษณะและขนาดของบล็อกประสานปูพื้นแต่ละชนิด	24
3.1 วัสดุประสานและวัสดุผสม...	34
3.2 กากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์..	34
3.3 แบบหล่อก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร..	36
3.4 แบบหล่อก้อนคอนกรีตบล็อกก่อผนังขนาด 7 x 19 x 39 เซนติเมตร................................	36
3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	37
3.6 เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6	37
4.1 การกระจายขนาดอนุภาคของกากของเสียจากการเคลือบสีรถยนต์................................	47
4.2 ส่วนคละของวัสดุผสมที่ใช้ในการวิจัย	48
4.3 คอนกรีตลูกบาศก์ที่มีการเติมเศษสีแห้งเร็วเป็นปริมาณต่างๆ..................................	51
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณการเติมเศษสีแห้งเร็ว...............	53
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณการเติมเศษสีแห้งเร็ว..............	53
4.6 คอนกรีตบล็อกที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วเป็นปริมาณต่างๆ........	56
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว..	58
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว..	58
4.9 ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายเศษสีแห้งเร็วที่สัดส่วนการผสมต่างๆ.......	60
4.10 ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลายกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่สัดส่วนการผสมต่างๆ..	60
4.11 คอนกรีตบล็อกที่สัดส่วนการผสมซีเมนต์ : ทราย : หิน เท่ากับ 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร...	62
ค.1 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของเศษสีแห้งเร็วที่ผ่านการอบและบด..............	103
ค.2 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคกากตะกอนระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่ผ่านการอบและบด..	104

สัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
C_3A	=	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$)
C_4AF	=	เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$)
C_2S	=	ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$)
C_3S	=	ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$)
C-S-H	=	แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต หรือ ซีเมนต์เจล
$D_{10\%}$	=	ขนาดอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 10
$D_{50\%}$	=	ขนาดอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50
$D_{90\%}$	=	ขนาดอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90
MDL	=	Minimum Detection Limit
TPH	=	Total Petroleum Hydrocarbon
TCLP	=	Toxicity Characteristic Leaching Procedure

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย