คอนกรีตบล็อกที่เตรียมจากเถ้าลอยชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับตะกั่วและโครเมียม

นายวรพจน์ พนมพรพานิช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6811-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คอนกรีตบล็อกที่เตรียมจากเถ้าลอยชานอ้อยที่ผ่านดูดซับตะกั่วและโครเมียม
โดย	นายวรพจน์ พนมพรพานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.มนัสกร ราชากรกิจ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONCRETE BLOCK PREPARED FROM BAGASSE FLY ASH ADSORBING LEAD AND CHROMIUM

Mr. Worapoj Phanompornphanich

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 2004

ISBN 974-17-6811-7

วรพจน์ พนมพรพานิช : คอนกรีตบล็อกที่เตรียมจากเถ้าลอยชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับตะกั่วและโครเมียม (CONCRETE BLOCK PREPARED FROM BAGASSE FLY ASH ADSORBING LEAD AND CHROMIUM) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. มนัสกร ราชากรกิจ, 111 หน้า. ISBN 974-17-6811-7

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาการนำเถ้าลอยชานอ้อย ที่ผ่านการดูดซับโครเมียมและตะกั่วมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผสมเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น แล้วคอนกรีตบล็อกก่อผนัง ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยชานอ้อย รวมทั้งทำการศึกษาการพัฒนากำลังรับแรงอัด ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียมและตะกั่ว เปรียบเทียบกับเถ้าลอยชานอ้อยที่ไม่ได้ดูดซับโลหะหนัก นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบลักษณะของน้ำชะจากคอนกรีตที่ผสมด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับด้วยโครเมียมและตะกั่ว ตามข้อกำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เพื่อยืนยันถึงความปลอดภัยในการนำคอนกรีตบล็อกทั้งสองประเภทไปใช้ประโยชน์

ผลการทดสอบสมบัติของเถ้าลอยชานอ้อย สรุปได้ว่า เถ้าลอยชานอ้อยไม่สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C618 เมื่อนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วนผสม 1:1.1:1.9 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน) พบว่ากำลังรับแรงอัดของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโลหะหนักมีความแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับเถ้าลอยชานอ้อยที่ไม่ดูดซับโลหะหนัก และเมื่อนำข้อมูลการแปรค่าอัตราการแทนที่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และกำลังรับแรงอัด มาหาความสัมพันธ์ ได้สมการออกมาตามระยะเวลาการบ่ม เมื่อทดลองสมการที่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน โดยการกำหนด กำลังรับแรงอัด 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ได้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.536 เมื่อทำการนำอัตราส่วนดังกล่าวไปหล่อเป็นคอนกรีตบล็อก พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นเท่ากับ 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตบล็อกก่อผนังเท่ากับ 203 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ในน้ำชะของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่วและโครเมียม พบว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ภาควิชา .....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือนิสิต .....วรพจน์ พนมพรพานิช.....

สาขาวิชา .....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา .....2547.....

##4670468221 : MAJOR Environmental Engineering

KEY WORD : Interlocking concrete paving block / Hollow concrete block / Bagasse fly ash

WORAPOJ PHANOMPORNPHANICH : CONCRETE BLOCK PREPARED FROM BAGASSE FLY ASH ADSORBING LEAD AND CHROMIUM. THESIS ADVISOR : MANASKORN RACHAKORNKIJ, Ph.D., 111 pp. ISBN 974-17-6811-7

The goal of research is to study the possibility of using bagasse fly ash that adsorbed lead and chromium to partially replace cement for production of interlocking concrete paving blocks and hollow concrete blocks. The study focuses on physical and chemical properties of bagasse fly ash that adsorbed lead and chromium. It also studied the compressive strength development of concrete blocks which contained the bagasse fly ashes. In addition, there was also test of leaching characteristics of the heavy metals from the concrete blocks according to the procedure described in the Sixth notification of Ministry of Industry BE 2540 (1997).

The experimental results indicated that bagasse fly ash could not be classified as a pozzolanic material according to the requirements in ASTM C618. When the different types of bagasse fly ashes were used to replace the cement in the mixes at the ratio of 1:1.1:1.9 (cement:sand:gravel), the resulting compressive strengths showed little difference among them. The experimental compressive strengths and the varied cement replacement and water-to-cement ratios were found to be represented by Gaussian equations. The water-to-cement ratio was subsequently determined to be 0.536 from the equation using the condition of 7-day curing time, 15 percent replacement, and resulting strength of 200 kg/cm^2. The above condition was then used to make interlocking concrete paving blocks and hollow concrete blocks and the resulting strengths were 210 kg/cm^2 and 203 kg/cm^2, respectively. Environmental impact evaluation of the concrete samples containing chromium and lead-sorbed bagasse fly ashes was carried out following the leaching procedure described in the Sixth notification of Ministry of Industry BE 2540 (1997). Heavy metal concentrations in the leachates were lower than the standards.

Department ...Environmental Engineering... Student's signature .....

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

Academic year .....2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ ที่เอื้อเฟื้อกรุณาให้โอกาสในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไข และสนับสนุนในด้านต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล และอาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้

ขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องปฏิบัติการคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับอุปกรณ์บางส่วนและสถานที่ในการทำงานวิจัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณบริษัทไทยอุตสาหกรรมน้ำตาล จำกัด ที่อนุเคราะห์เถ้าลอยชานอ้อย และห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนในทุกเรื่องและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และขอบคุณพิเศษสำหรับคุณสิรวัลภ์ เรืองช่วย ที่ให้การสนับสนุนทุกๆอย่างที่เกี่ยวกับการวิจัย

ท้ายนี้ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ ทั้งในขณะศึกษาและทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.6 การวิเคราะห์การถดถอยและสหพันธ์..... 18
2.6.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ..... 19
2.7 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย..... 19
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย
3.1 แผนการวิจัย..... 24
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 24
3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยชานอ้อย..... 25
3.4 ขั้นตอนการทดลอง..... 26
3.5 การวิเคราะห์ผลการวิจัย..... 31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์
4.1 สมบัติพื้นฐานของวัสดุ..... 32
4.1.1 ส่วนประกอบทางเคมี..... 32
4.1.2 ลักษณะอนุภาค..... 34
4.1.3 การกระจายขนาดอนุภาค..... 35
4.1.4 พื้นที่ผิวจำเพาะ..... 36
4.1.5 ความถ่วงจำเพาะ..... 37
4.1.6 ความชื้นน้ำของวัสดุ..... 38
4.2 ขั้นตอนการเตรียมเถ้าลอยชานอ้อย..... 39
4.3 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและคอนกรีตบล็อกก่อผนัง
โดยใช้เถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโลหะหนัก..... 39
4.3.1 ผลการทดลองศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสม
ในการผลิตคอนกรีตบล็อก..... 40
4.3.2 ศึกษาหาอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ถูกใช้ในการดูดซับ
โลหะหนักต่อซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และการแปลค่าระยะ
เวลาบ่มที่เหมาะสม..... 42
4.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัด
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอัตราการแทนที่เถ้าลอยชานอ้อยที่ดูด
ซับโลหะหนักต่อซีเมนต์..... 54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.3.4 ขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมของสมการที่ศึกษา..... 65
4.3.5 การศึกษาการชะละลาย..... 68
4.3.6 ขั้นตอนการศึกษาการประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น..... 69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 73
เอกสารอ้างอิง..... 76
ภาคผนวก..... 79
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของเถ้าลอยชานอ้อย..... 80
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม... 89
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว..... 96
ภาคผนวก ง. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและ
คอนกรีตบล็อกก่อผนังที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม... 103
ภาคผนวก จ. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและ
คอนกรีตบล็อกก่อผนังที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว..... 107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 111

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 618-96..... 6

ตารางที่ 2.2 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 8

ตารางที่ 2.3 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 9

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 9

ตารางที่ 2.5 ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ..... 12

ตารางที่ 2.6 มิติ และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น..... 16

ตารางที่ 2.7 แสดงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการนำเถ้าลอยชานอ้อยดูดซับตะกั่วและโครเมียม..... 23

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยชานอ้อย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 33

ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยชานอ้อยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 36

ตารางที่ 4.3 พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอยชานอ้อย เถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 37

ตารางที่ 4.4 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยชานอ้อย หินเกล็ดและทราย..... 38

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของเถ้าลอยชานอ้อย หินเกล็ดและทราย..... 39

ตารางที่ 4.6 การควบคุมสภาวะการดูดซับของตะกั่วและโครเมียม..... 39

ตารางที่ 4.7 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 คอนกรีตและระยะเวลาบ่ม 7 วัน ที่ค่าสัดส่วนผสมต่างๆ..... 41

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการในเถ้าลอยชานอ้อย และระยะเวลาการบ่มต่างกัน..... 54

ตารางที่ 4.9 สมการในแต่ละชนิดของเถ้าลอยชานอ้อยและระยะเวลาการบ่มที่ต่างกัน..... 64

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ผลการชะละลายโลหะหนักจากคอนกรีตผสมเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโลหะหนัก..... 68

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก..... 69

หน้า

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น 1 ก้อน..... 70
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกก่อผนัง 1 ก้อน..... 70
ตารางที่ ก.1 กำลังรับแรงอัดโดยไม่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4..... 81
ตารางที่ ก.2 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4..... 81
ตารางที่ ก.3 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4..... 82
ตารางที่ ก.4 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4..... 82
ตารางที่ ก.5 กำลังรับแรงอัดโดยไม่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5..... 83
ตารางที่ ก.6 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5..... 83
ตารางที่ ก.7 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5..... 84
ตารางที่ ก.8 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5..... 84
ตารางที่ ก.9 กำลังรับแรงอัดโดยไม่มีอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6..... 85
ตารางที่ ก.10 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6..... 85
ตารางที่ ก.11 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6..... 86
ตารางที่ ก.12 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6..... 86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ตารางที่ ก.13 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อย และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 87
ตารางที่ ก.14 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 87
ตารางที่ ก.15 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก.และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 88
ตารางที่ ก.16 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 88
ตารางที่ ข.1 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 90
ตารางที่ ข.2 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 90
ตารางที่ ข.3 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 91
ตารางที่ ข.4 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 91
ตารางที่ ข.5 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 92
ตารางที่ ข.6 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 92
ตารางที่ ข.7 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6 93
ตารางที่ ข.8 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6 93
ตารางที่ ข.9 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยดูดซับโครเมียม ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6 94
ตารางที่ ข.10 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 94

ตารางที่ ข.11 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7..... 95
ตารางที่ ข.12 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียม ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7..... 95
ตารางที่ ค.1 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4..... 97
ตารางที่ ค.2 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4..... 97
ตารางที่ ค.3 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4..... 98
ตารางที่ ค.4 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5..... 98
ตารางที่ ค.5 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5..... 99
ตารางที่ ค.6 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5..... 99
ตารางที่ ค.7 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6..... .100
ตารางที่ ค.8 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6.....100
ตารางที่ ค.9 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6..... 101
ตารางที่ ค.10 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7..... 101
ตารางที่ ค.11 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7..... 102
ตารางที่ ค.12 กำลังรับแรงอัดโดยอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7..... 102

หน้า

ตารางที่ ง.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ไม่มีการผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับโครเมียม ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน..... 104
ตารางที่ ง.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับ โครเมียม ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน..... 104
ตารางที่ ง.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับ โครเมียม ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 35 ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน..... 104
ตารางที่ ง.4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ไม่มีการผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับโครเมียม ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน..... 105
ตารางที่ ง.5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับ โครเมียม ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน..... 105
ตารางที่ ง.6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับ โครเมียม ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 35 ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน..... 105
ตารางที่ ง.7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ไม่มีการผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับโครเมียม ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน..... 106
ตารางที่ ง.8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับ โครเมียม ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน..... 106
ตารางที่ ง.9 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับ โครเมียม ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 35 ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน..... 106
ตารางที่ จ.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ไม่มีการผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน..... 108
ตารางที่ จ.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน..... 108
ตารางที่ จ.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 35 ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน..... 108
ตารางที่ จ.4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ไม่มีการผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน..... 109
ตารางที่ จ.5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน..... 109

หน้า

ตารางที่ จ.6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 35 ระยะเวลาการบ่ม 5 วัน..... 109

ตารางที่ จ.7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ไม่มีการผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน..... 110

ตารางที่ จ.8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน..... 110

ตารางที่ จ.9 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแบบต่างๆที่ผสมเถ้าลอยชานอ้อย ที่ดูดซับตะกั่ว ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 35 ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน..... 110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเผาชานอ้อยและการจัดการเถ้าลอยชานอ้อยที่เกิดจากการเผา..... 5
รูปที่ 2.2 ลักษณะและขนาดของบล็อกประสานปูพื้นแต่ละชนิด..... 17
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการตัดสินใจความเหมาะสมของความสัมพันธ์ในรูปของสมการ..... 29
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจากจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของเถ้าลอยชานอ้อย..... 34
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 34
รูปที่ 4.3 การกระจายขนาดอนุภาคสะสมโดยปริมาตรของเถ้าลอยชานอ้อย..... 35
รูปที่ 4.4 การกระจายขนาดอนุภาคสะสมโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... 36
รูปที่ 4.5 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลูกบาศก์คอนกรีตที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน
ที่แปรค่าสัดส่วนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ด..... 41
รูปที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆไม่มีการแทนที่เถ้าลอยชานอ้อย..... 43
รูปที่ 4.7 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่ไม่มีการดูดซับโลหะหนักร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก..... 43
รูปที่ 4.8 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่มีการดูดซับโครเมียมร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก..... 44
รูปที่ 4.9 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่มีการดูดซับตะกั่วร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก..... 44
รูปที่ 4.10 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆ ใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่ไม่มีการดูดซับโลหะหนักร้อยละ 20โดยน้ำหนัก..... 45
รูปที่ 4.11 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลา
บ่มค่าต่างๆ ใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่มีการดูดซับโครเมียมร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก..... 45
รูปที่ 4.12 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆ ใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่มีการดูดตะกั่วร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก..... 46
รูปที่ 4.13 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆ ใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่ไม่มีการดูดซับโลหะหนักร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก..... 46
รูปที่ 4.14 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆ ใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่มีการดูดซับโครเมียมร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก..... 47

หน้า

รูปที่ 4.15 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และระยะเวลาบ่ม
ค่าต่างๆ ใส่เถ้าลอยชานอ้อยที่มีการดูดซับตะกั่วร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก..... 47
รูปที่ 4.16 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราการ
แทนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ไม่ดูดซับโลหะหนักร้อยละต่างๆ
ที่ระยะการบ่ม 3 วัน..... 52
รูปที่ 4.17 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราการ
แทนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียมร้อยละต่างๆ
ที่ระยะการบ่ม 3 วัน..... 52
รูปที่ 4.18 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราการ
แทนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่วร้อยละต่างๆ
ที่ระยะการบ่ม 3 วัน..... 53
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยต่อซีเมนต์ ที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน..... 55
รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับด้วยโครเมียมต่อซีเมนต์
ที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน..... 56
รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับด้วยตะกั่วต่อซีเมนต์
ที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน..... 57
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยต่อซีเมนต์ ที่ระยะเวลาบ่ม 5 วัน..... 58
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียมต่อซีเมนต์
ที่ระยะเวลาบ่ม 5 วัน..... 59
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่วต่อซีเมนต์
ที่ระยะเวลาบ่ม 5 วัน..... 60
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยต่อซีเมนต์ ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 61

หน้า

รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียมต่อซีเมนต์
ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 62
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
อัตราการแทนเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับตะกั่วต่อซีเมนต์
ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน..... 63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย