การทำเสถียรโลหะหนักในเศษสี
ด้วยวิธีทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

นายภูพิงค์ ทวีทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-324-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17871

STABILIZATION OF HEAVY METALS FROM WASTE PAINT BY CEMENT SOLIDIFICATION

Mr. Phuping Taweesarp

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-637-324-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำเสถียรโลหะหนักในเศษสีด้วยวิธีทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์
โดย	นายภูพิงค์ ทวีทรัพย์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์สุรี ขาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์สุรี ขาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ภูพิงค์ ทวีทรัพย์ : การทำเสถียรโลหะหนักในเศษสีด้วยวิธีทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (STABILIZATION OF HEAVY METALS FROM WASTE PAINT BY CEMENT SOLIDIFICATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.สุรี ขาวเธียร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน, 188 หน้า. ISBN 974-637-324-2

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสัดส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสถียรโลหะหนักในกากเศษสีที่เกิดจากกระบวนการขัดล้อกสีเก่าออกจากถังบรรจุก๊าซหุงต้ม ซึ่งมีปริมาณ 280 ตัน/ปี และฝุ่นสีที่เกิดจากการขัดสีรถยนต์ก่อนพ่นสีจริงทับ โดยมีปริมาณ 2 ตัน/ปี/โรงงาน. กากของเสียนี้เมื่อทดสอบโดยวิธีสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีส่วนประกอบของโลหะหนักคือ โครเมี่ยม ปรอทและตะกั่ว เกินค่ามาตรฐานและจัดอยู่ในข่ายเป็นกากสารพิษ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 25 (พ.ศ.2531).

การวิจัยนี้ ประกอบด้วยการศึกษาความเหมาะสมของสัดส่วนผสมของกากของเสียต่อปริมาณวัสดุประสานที่จะมีผลต่อความสามารถในการทำเสถียรโลหะหนัก โดยมีปูนซีเมนต์และ/หรือปูนขาวเป็นวัสดุประสาน. มีการเปรียบเทียบผลการวิจัยเมื่อเติมและไม่เติมกรดกำมะถัน เพื่อเพิ่มการชะละลายของโลหะหนักออกจากกากของเสียก่อนการทำให้เป็นก้อนแข็ง และในกรณีที่ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 7.02 มก./ล. เพื่อช่วยในการทำเสถียรโลหะหนักให้เป็นโลหะซัลไฟด์อย่างเกินพอดี หรือ 3 เท่าของปริมาณสมมูล (Stoichiometric) ของปริมาณปรอทในกากของเสีย โดยทำการผสมให้ทำปฏิกิริยากันก่อนทำให้แข็งเป็นก้อน และในกรณีไม่ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ เพื่อทำเสถียรโลหะหนักในเศษสีจากทั้งสองแหล่งกำเนิด. สำหรับการสกัดสารได้เลือกใช้วิธีการสกัดสาร ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในการทดสอบหาปริมาณโลหะที่ถูกชะละลายออกมา.

ผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมในขั้นที่ 1 พบว่าสัดส่วนผสมระหว่างกากของเสียทั้งสองชนิดต่อซีเมนต์ที่สัดส่วน 1:1 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสม หรือในกรณีที่มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ พบว่าจะใช้ปริมาณซีเมนต์น้อยลง โดยใช้ในสัดส่วน กากของเสียต่อซีเมนต์ ที่ 3:1. สำหรับกรณีการใช้ปูนขาวและซีเมนต์ในอัตราส่วน 1:1 เป็นวัสดุประสาน ก็พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสม คือ กากของเสียต่อปูนขาวและซีเมนต์ เป็น 3:1 เช่นกัน

สำหรับการทดลองในขั้นที่ 2 เพื่อหาอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ก็พบว่า ที่อัตราส่วน0.4 เป็นค่าที่เหมาะสม ส่วนการแปรค่าพีเอชของน้ำชะละลายโดยใช้ค่าพีเอชเท่ากับ 4, 6 และ 8 ก็พบว่าโลหะหนักถูกชะละลายออกมามากขึ้นเมื่อพีเอชลดลง แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะลดไปที่ค่าพีเอช 4 ปริมาณโลหะที่ถูกชะละลายก็ยังไม่เกินค่ามาตรฐานกรมโรงงาน อุตสาหกรรม

ในกรณีที่นำค่าใช้จ่ายในการบำบัดและกำจัดขั้นสุดท้ายมาประกอบในการพิจารณาด้วย ก็พบว่าสัดส่วนผสมที่ประหยัดที่สุด คือใช้สัดส่วนผสมกากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ความเข้มข้น 7.02 มก./ล. และผสมปูนซีเมนต์ โดยใช้สัดส่วนผสมที่ปริมาณกากเศษสีหรือฝุ่นสีต่อปูนซีเมนต์ที่สัดส่วน 3:1 มีความเหมาะสมที่สุด โดยค่าใช้จ่ายสำหรับการทำเป็นก้อนแข็งด้วยสัดส่วนดังกล่าวและค่ากำจัดประมาณ 2,050 บาทต่อตันของกากเศษสี หรือ 0.75 บาท/ถังก๊าซ LPG ขนาด 15 กก. หรือประมาณ 2 บาท/การขัดสีรถยนต์ 1 คัน

ภาควิชา .....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... **ลายมือชื่อนิสิต** .....ภูพิงค์ ทวีทรัพย์.....

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

ปีการศึกษา .....2540..... **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

##C717978 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: SOLIDIFICATION / CEMENT / WASTE PAINT / WASTE DUST
PHUPING TAWEESARP : STABILIZATION OF HEAVY METALS FROM WASTE PAINT BY CEMENT SOLIDIFICATION. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SUREE KHAODHIAN THESIS CO-ADVISOR : BOONYONG LOHWONGWATANA, 188 pp. ISBN 974-637-324-2

This research investigated the optimum proportion of binders used for stabilization of heavy metals in waste paint residue from LPG tank blasting process, at an amount of about 280 tons/year, and paint dust residue generated from the brushing process of automobile painting shop, at about 2 tons/year/plant. These wastes paints, after leaching by the Department of Industrial Works method, had chromium, mercury and lead contents exceeding the standards and are classified as hazardous waste as specified in the Notification of the Ministry of Industry(MOI) No.25, B.E.2531.

The study is to find out a suitable proportion of waste paints and binders affecting heavy metals stabilization process by using cement and/or lime as binders. Comparision among the binders, using or without using sulfuric acid to increase the heavy metals leachability before the solidification process, were made. And cases, adding or not adding sodium sulfide solution 7.02 mg/l at 3 times of the stoichiometric concentration of the mercury content in the waste to stabilize the mixed waste into heavy metals sulphide before the solidification process, were also carried out. For the leachability test, the Extraction Procedure as recommended by the Department of Industrial Works in the MOI's Notification was used.

The result of suitable proportions as of stage 1, the optimum ratio of the two wastes to cement was at 1:1. In case of adding sodium sulfide solution, less cement was needed, and the most suitable ratio of waste paints to cement was at 3:1. When using lime and cement at ratio of 1:1 as binder, it was found that the most appropriate ratio of waste to lime and cement mixture was also at 3:1.

For the experiment in stage 2, after varying the water cement ratio, it was found that, a ratio of 0.4 was appropriate. In case of varying the pH values of Extraction solutions, ranging at 4, 6 and 8 ,it was found that more heavy metals were leached out at low pH value. However, even at the test pH value of 4, the metals content in the leaching solution is still within the Department of Industrial Works standards.

When taking the treatment and final disposal costs into consideration, the most economical proportion was a mixing of waste paint or paint dust with sodium sulfide solution of 7.02 mg/l and cement at the ratio of 3:1. The costs for solidification and disposal were estimated at about 2,050 Baht per ton of waste paints or equivalent to 0.75 Baht per a LPG-cylinder of 15 kg. or about 2 Baht per car.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต ภูผึ้ง ทวีทรัพย์
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2540	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุรี ขาวเธียร และอาจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน ที่กรุณาช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณพรทิพา สัจจะมานะเจริญ ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือปฏิบัติการ รวมทั้งการจัดรูปแบบในการพิมพ์วิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

สารบัญตาราง ฐ

สารบัญรูป ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย 3

2.1 วัตถุประสงค์ 3

2.2 ขอบเขตการวิจัย 3

บทที่ 3 ทบทวนเอกสาร 5

3.1 โลหะหนัก 5

3.2 ปูนซีเมนต์ 5

3.3 ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ 6

3.4 สี (Paints) 7

3.4.1 องค์ประกอบของสี 7

3.4.2 ชนิดของสี 8

3.4.3 หลักการเตรียมสีก่อนทาหรือพ่น 9

3.4.4 กรรมวิธีการผลิตสี 10

3.4.5 สมบัติของสีที่ใช้ในอุตสาหกรรม 13

3.4.6 ลักษณะสมบัติของสีที่ใช้ในการวิจัย 19

3.5 การกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายและโลหะหนัก 21

สารบัญ

หน้า

3.6 การกำจัดของเสียอันตรายโดยการทำให้เป็นก้อน
(Solidification of Hazardous Wastes) 23
3.6.1 นิยามของ Solidification 23
3.6.2 กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์
(Solidification and Stabilization Process) 25
3.6.3 การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ (Cement Based Technique) 27
3.6.4 กลไกการยึดจับโลหะหนักในวัสดุซีเมนต์ 30
3.7 การทดสอบการชะละลาย (Leaching Tests) 34
3.8 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน 36
3.9 กฎหมายที่บังคับใช้เกี่ยวกับของเสียอันตรายของประเทศไทย 40
3.10 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 42
3.11 การกำหนดแนวทางในการวิจัย 47

บทที่ 4 แผนการดำเนินการวิจัย 49

4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย 49
4.1.1 วัสดุที่ใช้ 49
4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ 49
4.1.3 การทดลองหล่อซีเมนต์และทดสอบกำลังรับแรงอัด 49
4.1.4 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก 50
4.2 การดำเนินการวิจัย 50
4.2.1 การทดลองที่ 1 วิเคราะห์หาส่วนประกอบตัวอย่างกากเศษสี
และฝุ่นสี ทั้งสองแหล่ง 50
4.2.2 การทดลองที่ 2 เพื่อหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นที่เหมาะสมและ
ศึกษาความสามารถในการทำเสถียรโลหะหนัก 51
4.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
ในการทำเสถียรโลหะหนักโดยใช้วัสดุประสานต่างๆ 53

สารบัญ

หน้า

4.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของน้ำชะละลาย
ที่ใช้ทดสอบการชะละลายโลหะหนักในวัสดุประสานต่างๆ 54
4.2.5 หาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะหนัก 55
4.2.6 ประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในกรณีที่ใช้วัสดุประสานที่ประหยัดที่สุด 55
4.3 วิธีการหล่อซีเมนต์และทดสอบกำลังรับแรงอัด 55
4.4 การทดสอบการชะละลายของโลหะหนัก 58

บทที่5 ผลการทดลองและวิจารณ์ 60
5.1 การทดลองที่ 1 วิเคราะห์หาส่วนประกอบตัวอย่างกากเศษสีและฝุ่นสีทั้งสองแหล่ง 60
5.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ 60
5.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี 61
5.1.3 สรุปลักษณะสมบัติของสีที่ใช้ในการทดลอง 64
5.2 การทดลองที่ 2 เพื่อหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นที่เหมาะสมและ
ศึกษาความสามารถในการทำเสถียรโลหะหนัก 66
5.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ 66
5.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี 71
5.2.3 สรุปผลการทำให้เป็นก้อนตามสัดส่วนผสมเบื้องต้นที่เหมาะสมที่สุด 86
5.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
ในการทำเสถียรโลหะหนักโดยใช้วัสดุประสานต่างๆ 89
5.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของน้ำชะละลาย
ที่ใช้ทดสอบ การชะละลายของโลหะหนักในวัสดุประสานต่างๆ 90
5.5 การหาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนัก 92
5.5.1 กากเศษสีของถัง LPG 92
5.5.2 ฝุ่นสีรองพื้นและสีพ่นรถยนต์ 92
5.6 การวิจารณ์ผลการทดลอง 94

สารบัญ

หน้า

5.7 การประมาณค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง 95
5.7.1 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากเศษสี 96
5.7.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดฝุ่นสี 96

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย 98

บทที่ 7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม 101

รายการอ้างอิง 102

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2531) 105
ภาคผนวก ข ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมสีและประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสีย 116
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง 121
ภาคผนวก ง รายละเอียดการประมาณค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง 159
ภาคผนวก จ ภาพถ่ายการทดลอง 163
ภาคผนวก ฉ วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง 171

ประวัติผู้เขียน 175

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

3-1 กระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน 26

3-2 เปรียบเทียบกระบวนการ ข้อดีและข้อเสียของการกำจัดของเสียโดยวิธีทำให้เป็นก้อน 28

3-3 เปรียบเทียบวิธีการทดสอบการชะละลาย (Extraction Test Procedures) 35

3-4 คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบำบัด โดยกระบวนการ ทำให้เป็นก้อนด้วยวิธี Sealosafe 37

3-5 มาตรฐานความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด (Extract Solution) สำหรับของเสียอันตรายที่ผ่านการบำบัดแล้ว 39

3-6 วิธีการทำลายฤทธิ์ของสิ่งปฏิกูลประเภทต่างๆ 41

5-1 สรุปลักษณะสมบัติของสีที่ใช้ในการวิจัย 65

5-2 ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนักในกากเศษสีจากถังก๊าซ LPG หลังจากการทำให้แข็งเป็นก้อนด้วยซีเมนต์ (W/C=0.4) 93

5-3 ประสิทธิภาพการลดการชะละลายโลหะหนักในฝุ่นสีรองพื้นรถยนต์ หลังจากการทำให้แข็งเป็นก้อนด้วยซีเมนต์ (W/C=0.4) 93

5-4 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากเศษสีและฝุ่นสี 95

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

3-1 ขั้นตอนการผลิตสีโดยทั่วไป (Paint Manufacturing Process) 11

3-2 แผนภูมิแสดงกระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตราย 22

3-3 กราฟแสดงค่าพีเอช (pH) และความเป็นด่าง (Alkalinity) จากการทดสอบการชะละลาย 31

3-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายกับ
ค่าความเป็นด่างและซิลิคอน จากการทดสอบการชะละลาย 31

3-5 กราฟ pC-pH Diagram สำหรับไฮดรอกไซด์ของแคดเมี่ยม
โครเมี่ยมและตะกั่ว 33

3-6 แผนภูมิแสดงอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการกฟ 43

4-1 สรุปแผนการดำเนินงานวิจัย 56

5-1 กำลังรับแรงอัดของการทำให้แข็งเป็นก้อนที่ 28 วัน ที่ได้จากการทดลองต่างๆ
ของกากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 67

5-2 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ 28 วัน ที่ได้จากการทดลองต่างๆ
ของกากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 69

5-3 กำลังรับแรงอัดของการทำให้แข็งเป็นก้อนที่ 28 วัน ที่ได้จากการทดลองต่างๆ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 70

5-4 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ 28 วัน ที่ได้จากการทดลองต่างๆ
ของกากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 72

5-5 สภาพนำไฟฟ้าของน้ำชะละลายของกากเศษสีของถัง LPG
เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 73

5-6 pH ของน้ำชะละลายของกากเศษสีของถัง LPG
เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 74

5-7 ปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของกากเศษสีของถัง LPG
เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 76

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

5-8 ปริมาณปรอท (Hg) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของกากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 77

5-9 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของกากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 79

5-10สภาพนำไฟฟ้าของน้ำชะละลายของฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 80

5-11pH ของน้ำชะละลายของน้ำชะละลายของฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 81

5-12ปริมาณแคดเมี่ยม (Cd) ในน้ำชะละลายของฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 83

5-13ปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ในน้ำชะละลายของฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 84

5-14ปริมาณปรอท (Hg) ในน้ำชะละลายของฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 85

5-15ปริมาณตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะละลายของฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน 87

5-16กำสังรับแรงอัดของกากเศษสีของถังก๊าซ LPG เมื่อปรับอัตราส่วน W/C 91

5-17กำสังรับแรงอัดของกากเศษสีของฝุ่นสีจากสีรองพื้นและสีพ่นรถยนต์ เมื่อปรับอัตราส่วน W/C 91