บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การทดลองที่ 1 วิเคราะห์หาส่วนประกอบตัวอย่างกากเศษสีและฝุ่นสีทั้งสองแหล่ง

5.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

5.1.1.1 กากเศษสี

ในกระบวนการทำความสะอาดผิวของถังบรรจุก๊าซหุงต้มเพื่อนำไปพ่นสีใหม่ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการขัดสีเก่าออกให้หมด กิจกรรมดังกล่าวนี้ทำให้เกิดกากเศษสีเหลืออยู่ ในการวิจัยนี้กากเศษสีที่ใช้ได้ความอนุเคราะห์จากโรงบรรจุก๊าซ ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ซึ่งมีการขัดลอกสีโดยใช้วิธี Shot Blast คือการใช้อากาศแรงดันสูงพ่นลูกปืนให้วิ่งเข้าขนผิวของถังบรรจุก๊าซ ทำให้สีถูกกระเทาะหลุดออกมา เข้าสู่ระบบรวบรวม ลงสู่ถุงบรรจุกากเศษสี ก่อนการทดลองได้มีการคลุกเคล้ากากเศษสีจากถุงต่างๆ ที่รวบรวมมาได้ให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อน เพื่อเป็นตัวแทนของกากเศษสีที่ได้จากถังบรรจุก๊าซ กากเศษสิที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำเงินเข้ม ไม่เกาะตัว จึงไม่สามารถนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ ความหนาแน่นรวมของกากเศษสีมีค่าอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.4 ตัน/ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.3 ตัน/ลบ.ม.

5.1.1.2 ฝุ่นสี

ฝุ่นสีที่ใช้ในการทดลองได้จากการรวบรวมฝุ่นสีที่เกิดในกระบวนการขัดสีผิวของรถยนต์ที่เข้าไปซ่อมสี หรือพ่นสีใหม่ ซึ่งก่อนที่จะมีการพ่นสีใหม่ลงไป จะต้องมีการขัดสีเก่าออกมาให้หมด โดยใช้เครื่องขัดสีหรือกระดาษขัดสี และเมื่อมีการพ่นสีใหม่ในห้องพ่นสีจะเกิดฝุ่นสีที่ฟุ้งกระจายตามขอบหน้าต่าง ช่องระบายอากาศ และบนพื้น ฝุ่นสีที่ได้จะถูกนำมารวบรวมและคลุกเคล้าให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน โดยกำหนดให้เป็นตัวแทนของฝุ่นสีที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมเคาะพ่นสีรถยนต์ ตัวอย่างฝุ่นสีที่ได้รวบรวมจากจังหวัดชลบุรี โดยใช้ฝุ่นสีจากร้านเคาะพ่นสีจำนวน 5 แห่ง ฝุ่นสีที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีฟ้าแกมเขียว ไม่มีการเกาะตัว จึงไม่สามารถนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ ความหนาแน่นรวมของฝุ่นสีมีค่าอยู่ระหว่าง 1.1 ถึง 1.3 ตัน/ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 ตัน/ลบ.ม.

5.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี

ในอุตสาหกรรมสี แต่ละบริษัทผู้ผลิตจะมีการนำผงสีชนิดต่างๆ ซึ่งจะมีคุณสมบัติต่างกันมาผสมกันให้ได้สีที่มีคุณลักษณะโดดเด่นเฉพาะตามแต่ลักษณะงานที่ใช้ โดยที่สูตรของสีจะเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบริษัท อัตราส่วนผสมของผลสีจึงมิสามารถทราบได้ ในการวิจัยนี้จึงวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในองค์ประกอบของกากเศษสีและฝุ่นสีเพื่อเป็นหลักในการเปรียบเทียบการลดประสิทธิภาพในการชะละลาย แต่หลักการรวมๆ ขององค์ประกอบของผงสีมีโลหะหนักในองค์ประกอบ จากหัวข้อ 3.4.5 ยกตัวอย่างเช่น ซิงก์โครเมต (Zinc Chromate, $ZnCrO_4$), ตะกั่วแดง (Red Lead, Pb_3O_4), ตะกั่วโครเมต (Lead Chromate, $PbCrO_4$), โครมออเรนจ์ (Basic Lead Chromate, $PbO.PbCrO_4$), แคดเมี่ยมเยลโลว์ (Cadmium Yellow, CdS), และออกไซด์ของปรอท (HgO) เป็นต้น

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี ทำได้ 2 วิธี คือ การย่อย (Digestion) โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น (Conc.) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบภายในตัวอย่างสี และการสกัดเอาน้ำชะละลายออกมาตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประกาศ ณ วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2531 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความสามารถโลหะหนักในการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมเทียบกับส่วนประกอบของสีที่ผลิตออกมา ของตัวอย่างสีทั้ง 2 แหล่ง

5.1.2.1 กากเศษสี

1. **อาร์เซนิค**

จากการทดลอง จะแสดงให้เห็นว่าภายในองค์ประกอบตัวอย่างกากเศษสีไม่มีส่วนประกอบของอาร์เซนิค (As) อยู่เลย ตรงตามส่วนประกอบสีที่ผู้ผลิตสีระบุว่าไม่มีส่วนประกอบของอาร์เซนิค (As) ในสี จึงทำให้เมื่อนำกากเศษสีมาสกัดแล้วในน้ำชะละลายไม่มีอาร์เซนิค (As) ซึ่งมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดค่าที่ยอมได้ของปริมาณอาร์เซนิค (As) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 5.00 มก./ล.

2. **แคดเมี่ยม**

ภายในองค์ประกอบกากเศษสีมีส่วนประกอบของแคดเมี่ยม (Cd) อยู่ 2.4 มก./กก. จากการย่อยสลาย (Digestion) กากเศษสีปริมาณ 10 กรัม ฉะนั้นในกากเศษสีมีแคดเมี่ยม (Cd) เป็นองค์ประกอบ 0.024 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.00024 ตามน้ำหนัก

สำหรับการสกัดกากเศษสี ตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในน้ำชะละลายไม่พบว่ามีปริมาณแคดเมี่ยม (Cd) อยู่ในน้ำชะละลาย แสดงให้เห็นว่าแคดเมี่ยม (Cd) ไม่ถูกชะละลายออกมา และมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมยอมให้ในน้ำชะละลายมีปริมาณแคดเมี่ยม (Cd) ไม่เกิน 1.00 มก./ล.

3. **โครเมี่ยม**

จากการย่อยสลาย (Digestion) กากเศษสีมีปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ทั้งหมดในองค์ประกอบอยู่ 98.2 มก./กก. ซึ่งกากเศษสีที่ใช้ในการย่อยสลายมีปริมาณ 10 กรัม ฉะนั้น ในกากเศษสีมีปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ในองค์ประกอบ 0.982 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.00982 ตามน้ำหนัก

สำหรับปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ที่ตรวจวัดจากน้ำชะละลาย มีค่า 5.95 มก./ล. ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ยอมให้มีค่าโครเมี่ยม (Cr) ในน้ำชะละลายไม่เกิน5.00 มก./ล . ซึ่งค่าปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ทั้งหมดในน้ำชะละลายกากเศษสีเกินค่ามาตรฐานที่ยอมได้ของทางราชการซึ่งเข้าข่ายของเสียอันตรายที่จะต้องมีการทำเสถียรและกำจัดอย่างถูกวิธี

4. **ปรอท**

ปริมาณปรอท (Hg) ในองค์ประกอบของกากเศษสีที่ได้จากการย่อยสลาย (Digestion) มีค่า 90.5 มก./กก. เทียบจากกากเศษสีที่ใช้ในการย่อยสลาย 10 กรัม จะได้ค่าปรอท (Hg) ในองค์ประกอบ 0.905 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.00905 ตามน้ำหนัก

ปริมาณปรอทที่ตรวจวัดได้จากน้ำชะละลาย มีค่า 2.57 มก./ล. จากมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้ค่าที่ยอมได้ของปรอท (Hg) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 0.20 มก./ล. ฉะนั้น เมื่อสกัดกากเศษสี จะทำให้ปริมาณปรอท (Hg) เกินค่าที่ยอมได้ นั่นแสดงให้เห็นว่าเป็นของเสียอันตราย

5. **ตะกั่ว**

องค์ประกอบของกากเศษสีมีปริมาณตะกั่ว (Pb) 154.2 มก./กก. เทียบจากปริมาณกากเศษสีที่ใช้ทำการย่อยสลาย (Digestion) 10 กรัม ฉะนั้นปริมาณตะกั่ว (Pb) ในองค์ประกอบมีค่า 1.542 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.01542 ตามน้ำหนัก

จากการตรวจวัดปริมาณตะกั่ว (Pb) จากน้ำชะละลายของกากเศษสีมีค่า 9.84 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบจากมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้ค่าที่ยอมได้ของปริมาณตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 5.00 มก./ล. พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด นั่นแสดงให้เห็นว่าเป็นของเสียอันตราย

5.1.2.2 **ฝุ่นสี**

1. **อาร์เซนิค**

จากองค์ประกอบพื้นฐานของผงสี (Pigments) ไม่พบว่ามีการใช้อาร์เซนิค (As) เป็นส่วนประกอบ และหลังจากทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบภายในของฝุ่นสีแล้ว ปรากฏว่าไม่พบอาร์เซนิค จึงทำให้ในน้ำชะละลายฝุ่นสีไม่มีส่วนประกอบของอาร์เซนิคเจือปน

2 **แคดเมี่ยม**

ภายในองค์ประกอบฝุ่นสีมีส่วนประกอบของแคดเมี่ยม (Cd) อยู่ 3.6 มก./กก. จากการย่อยสลาย (Digestion) กากเศษสีปริมาณ 10 กรัม ฉะนั้นในฝุ่นสีมีแคดเมี่ยม (Cd) เป็นองค์ประกอบ 0.036 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.00036 ตามน้ำหนัก

สำหรับการสกัดฝุ่นสี ตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในน้ำชะละลายพบว่ามีปริมาณแคดเมี่ยม (Cd) อยู่ในน้ำชะละลายปริมาณ 0.12 มก./ล. โดยที่มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมยอมให้ในน้ำชะละลายมีปริมาณแคดเมี่ยม (Cd) ไม่เกิน 1.00 มก./ล. ซึ่งค่าที่ได้ไม่เกินมาตรฐาน

3. **โครเมี่ยม**

จากการย่อยสลาย (Digestion) ฝุ่นสีมีปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ทั้งหมดในองค์ประกอบอยู่ 95.8 มก./กก. ซึ่งฝุ่นสีที่ใช้ในการย่อยสลายมีปริมาณ 10 กรัม ฉะนั้น ในฝุ่นสีมีปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ในองค์ประกอบ 0.958 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.00958 ตามน้ำหนัก

สำหรับปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ที่ตรวจวัดจากน้ำชะละลาย มีค่า 5.97 มก./ล. ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ยอมให้มีค่าโครเมี่ยม (Cr) ทั้งหมดในน้ำชะละลายไม่เกิน 5.00 มก./ล. ซึ่งค่าปริมาณโครเมี่ยม (Cr) ของน้ำชะละลายฝุ่นสีเกินค่ามาตรฐานที่ยอมได้ดังกล่าว จึงเข้าข่ายเป็นกากของเสียอันตราย

4. **ปรอท**

ปริมาณปรอท (Hg) ในองค์ประกอบของฝุ่นสีที่ได้จากการย่อยสลาย (Digestion) มีค่า 91.2 มก./กก. เทียบจากฝุ่นสีที่ใช้ในการย่อยสลาย 10 กรัม จะได้ค่าปรอท (Hg) ในองค์ประกอบ 0.912 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.00912 ตามน้ำหนัก

ปริมาณปรอทที่ตรวจวัดได้จากน้ำชะละลาย มีค่า 3.18 มก./ล. จากมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้ค่าที่ยอมได้ของปรอท (Hg) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 0.20 มก./ล. ฉะนั้นเมื่อสกัดฝุ่นสี จะทำให้ปริมาณปรอท (Hg) เกินค่ามาตรฐานที่ยอมได้ จึงจัดอยู่ในประเภทกากของเสียอันตราย

5. **ตะกั่ว**

องค์ประกอบของฝุ่นสีมีปริมาณตะกั่ว (Pb) 133.9 มก./กก. เทียบจากปริมาณฝุ่นสีที่ใช้ทำการย่อยสลาย (Digestion) 10 กรัม ฉะนั้นปริมาณตะกั่ว (Pb) ในองค์ประกอบมีค่า 1.339 มก. คิดเป็นร้อยละ 0.01339 ตามน้ำหนัก

จากการตรวจวัดปริมาณตะกั่ว (Pb) จากน้ำชะละลายของฝุ่นสีมีค่า 8.96 มก./ล. เมื่อเปรียบเทียบจากมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้ค่าที่ยอมได้ของปริมาณตะกั่ว (Pb) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 5.00 มก./ล. พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด ฝุ่นสีจึงจัดอยู่ในประเภทกากของเสียอันตราย

5.1.3 สรุปลักษณะสมบัติของสีที่ใช้ในการทดลอง

หลังจากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในกากเศษสีและฝุ่นสี พบว่า ของเสียอันตรายทั้งสองแหล่งมีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปลักษณะสมบัติของสีที่ใช้ในการวิจัย

ชนิดของตัวอย่าง	สัดส่วนโลหะหนักในเนื้อสี 1 กก.		ผลการชะละลาย	มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม
	มก	ร้อยละ	มก/ล	มก/ล
1. กากเศษสีจากถังก๊าซ				
- อาร์เซนิค	ND	ND	ND	<5.00
- แคดเมี่ยม	2.4	0.00024	ND	<1.00
- โครเมี่ยมทั้งหมด	98.2	0.00982	5.95	<5.00
- ปรอท	90.5	0.00905	2.57	<0.20
- ตะกั่ว	154.2	0.01542	9.84	<5.00
2. ฝุ่นสีจากการเคาะพ่นสี				
- อาร์เซนิค	ND	ND	ND	<5.00
- แคดเมี่ยม	3.6	0.00036	0.12	<1.00
- โครเมี่ยมทั้งหมด	95.8	0.00958	5.97	<5.00
- ปรอท	91.2	0.00912	3.18	<0.20
- ตะกั่ว	133.9	0.01339	8.96	<5.00

ค่าที่ได้ทำการตรวจวัดนี้มีโลหะหนักที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ โครเมี่ยม, ปรอท และตะกั่ว ซึ่งโครเมี่ยม และตะกั่วมีการถูกชะละลายค่อนข้างสูง คือ 5.95 , 9.84 ตามลำดับสำหรับกากเศษสี และ 5.97 , 8.96 ตามลำดับสำหรับฝุ่นสี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการทำเสถียรโลหะหนักเหล่านี้ ก่อนนำไปฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะ

5.2 การทดลองที่ 2 เพื่อหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นที่เหมาะสมและศึกษาความสามารถในการทำเสถียรโลหะหนัก

การทดลองทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) ของตัวอย่างสีทั้งสองแหล่ง จะมีการปรับส่วนผสมของกากเศษสีหรือฝุ่นสีรวมทั้งปริมาณวัสดุประสานต่างๆ เพื่อหาสัดส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด หลังจากการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification) เพื่อให้โลหะหนักอยู่ในสภาพเสถียรในรูปโลหะซัลไฟด์และโลหะไฮดรอกไซด์ แล้วทำการทดสอบหาค่าต่างๆ ตามมาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เป็นข้อบังคับของการกำจัดของเสียอันตรายในปัจจุบันนี้ ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังต่อไปนี้

5.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

เมื่อนำตัวอย่างสีจากทั้งสองแหล่งไปทำการผสมกับวัสดุประสานแล้วจึงสังเกตได้ว่าเกิดการบวมของวัสดุผสมเมื่ออยู่ในระยะก่อตัว ทั้งนี้เนื่องจากในตัวอย่างกากสีมีสารประกอบซัลเฟตในเนื้อสี (Pigments) เมื่อซีเมนต์เพสท์ซึ่งแข็งตัวมีการทำปฏิกิริยากับสารประกอบซัลเฟตแล้ว Tricalcium Aulminate ($3CaO\,Al_2O_3$) ในซีเมนต์เพสท์จะรวมตัวกับสารประกอบซัลเฟตเกิดเป็น Calcium Sulphoaluminate ซึ่งมีปริมาตรโตขึ้นทำให้เกิดการบวมของลูกปูน (ชยาทิตย์ วัฒนวิกย์กิจ, 2525) ลักษณะสมบัติทางกายภาพแบ่งตามแหล่งที่มาของตัวอย่างสีดังนี้

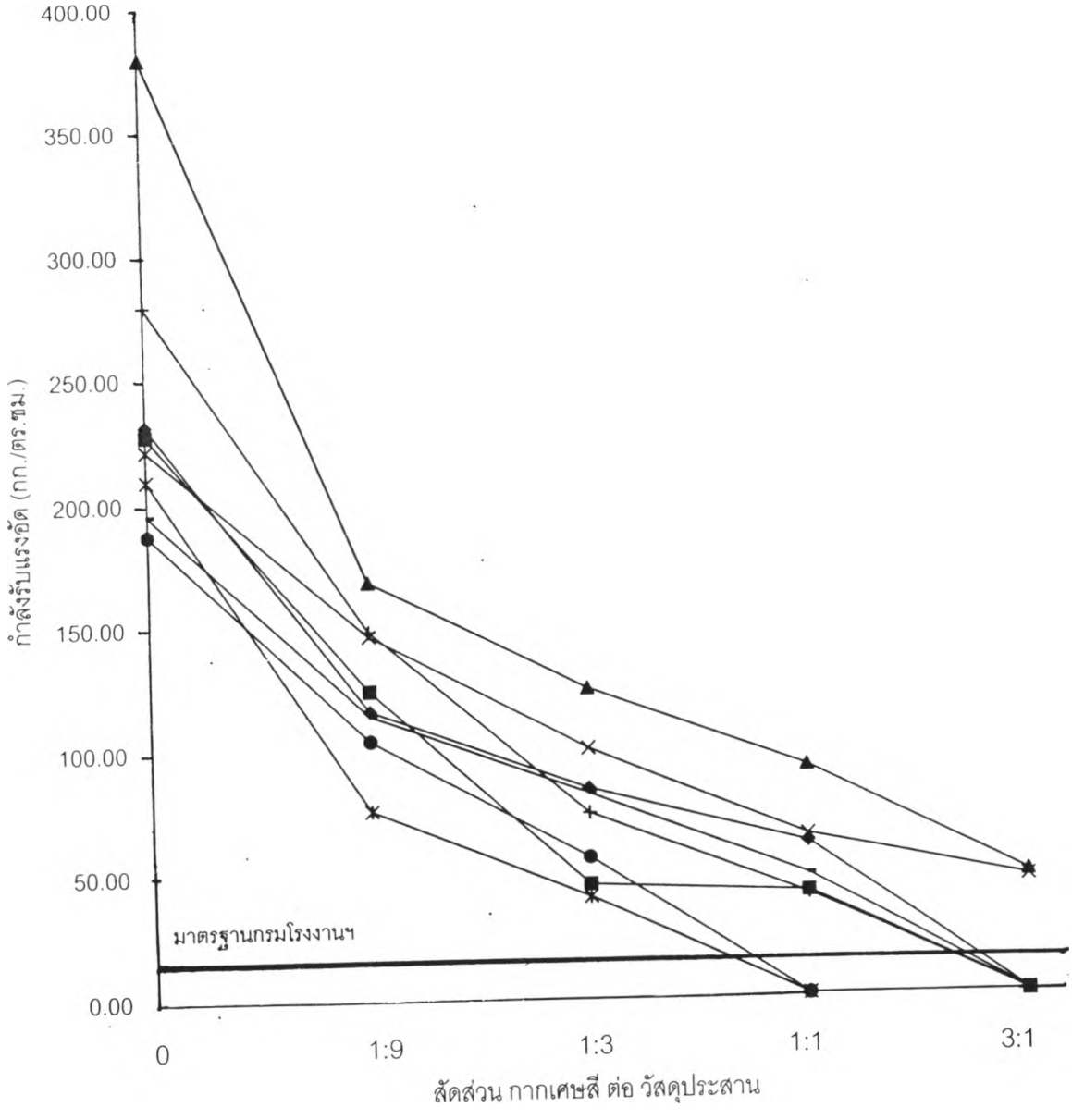
5.2.1.1 กากเศษสี

1. **กำลังรับแรงอัด**

เนื่องจากเกิดการบวมมีลักษณะแข็งของวัสดุผสมหลังจากเกิดการแข็งตัว จึงต้องมีการฝนลูกปูน เพื่อให้มีปริมาตร 5x5x5 ลบ.ซม. ก่อนนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยจะแสดงค่ากำลังรับแรงอัดดังรูปที่ 5-1 จากกราฟสรุปดังกล่าว พบว่า

- เมื่อมีการใช้ ปูนขาว:ปูน (1:1) แทนการใช้ปูนอย่างเดียว จะทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง

รูปที่ 5-1 กำลังรับแรงอัดของการทำให้แข็งเป็นก้อนที่ 28 วัน ที่ได้จาก
การทดลองต่าง ๆ ของ
กากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว-ปูน)

- เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงในส่วนผสมจะทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากโลหะหนักในกากเศษสีและฝุ่นสีจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ซึ่งเสถียรกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ ดังนั้น ปูนซีเมนต์จึงไม่ได้ใช้แคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ (CaOH) ในการทำเสถียรโลหะหนักจึงทำให้ปูนมีความแข็งมากขึ้น
- กำลังรับแรงอัดของลูกปูนจะลดลง แปรผกผันกับอัตราส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น

ซึ่งมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ลูกปูนจะต้องมีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 14 กก./ตร.ซม. ที่ 28 วัน โดยที่สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสานที่ 3:1 จะมีเพียงการทดลองที่ 2.3 และ 2.4 ที่ผ่านมาตรฐาน โดยมีค่า 48 และ 46 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดของทั้งสองการทดลองดังกล่าวมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองอื่นๆ เหตุที่ใช้สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสานที่มีกำลังรับแรงอัดมากกว่าค่ามาตรฐานกำลังรับแรงอัดมาก เนื่องจากได้ทำการทดลองที่สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน ที่ 4:1 แล้ว เมื่อนำไปวัดค่ากำลังรับแรงอัดปรากฏว่าลูกปูนไม่สามารถรับแรงอัดได้เลย

2. **ความหนาแน่น**

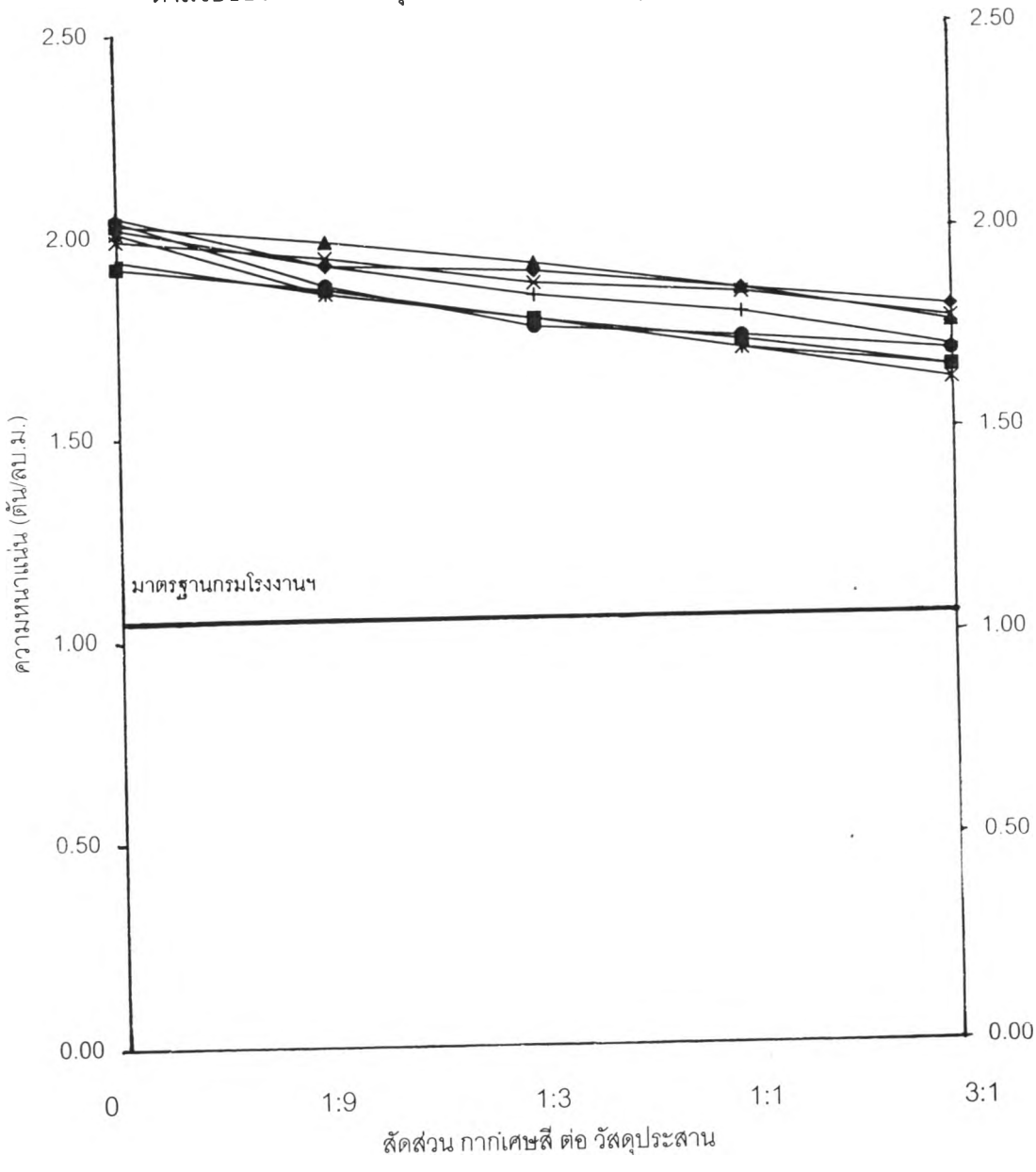
ความหนาแน่นของลูกปูนของกากเศษสีแสดงในรูปที่ 5-2 จากมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ลูกปูนจะต้องมีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 1.04 ตัน/ลบ.ม ซึ่งจากผลการทดลอง ทุกๆ ก้อนของลูกปูนจะมีค่าความหนาแน่นเกินมาตรฐานที่ตั้งเอาไว้ โดยที่ในสัดส่วนผสมที่สามารถรับกำลังรับแรงอัดได้เกินมาตรฐานที่ใช้ปริมาณกากเศษสีมากที่สุด คือ การทดลองที่ 2.3 สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าความหนาแน่น 1.76 ตัน/ลบ.ม. การทดลองที่ 2.4 สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าความหนาแน่น 1.77 ตัน/ลบ.ม.

5.2.1.2 **ฝุ่นสีรองพื้นและสีพ่นรถยนต์**

1. **กำลังรับแรงอัด**

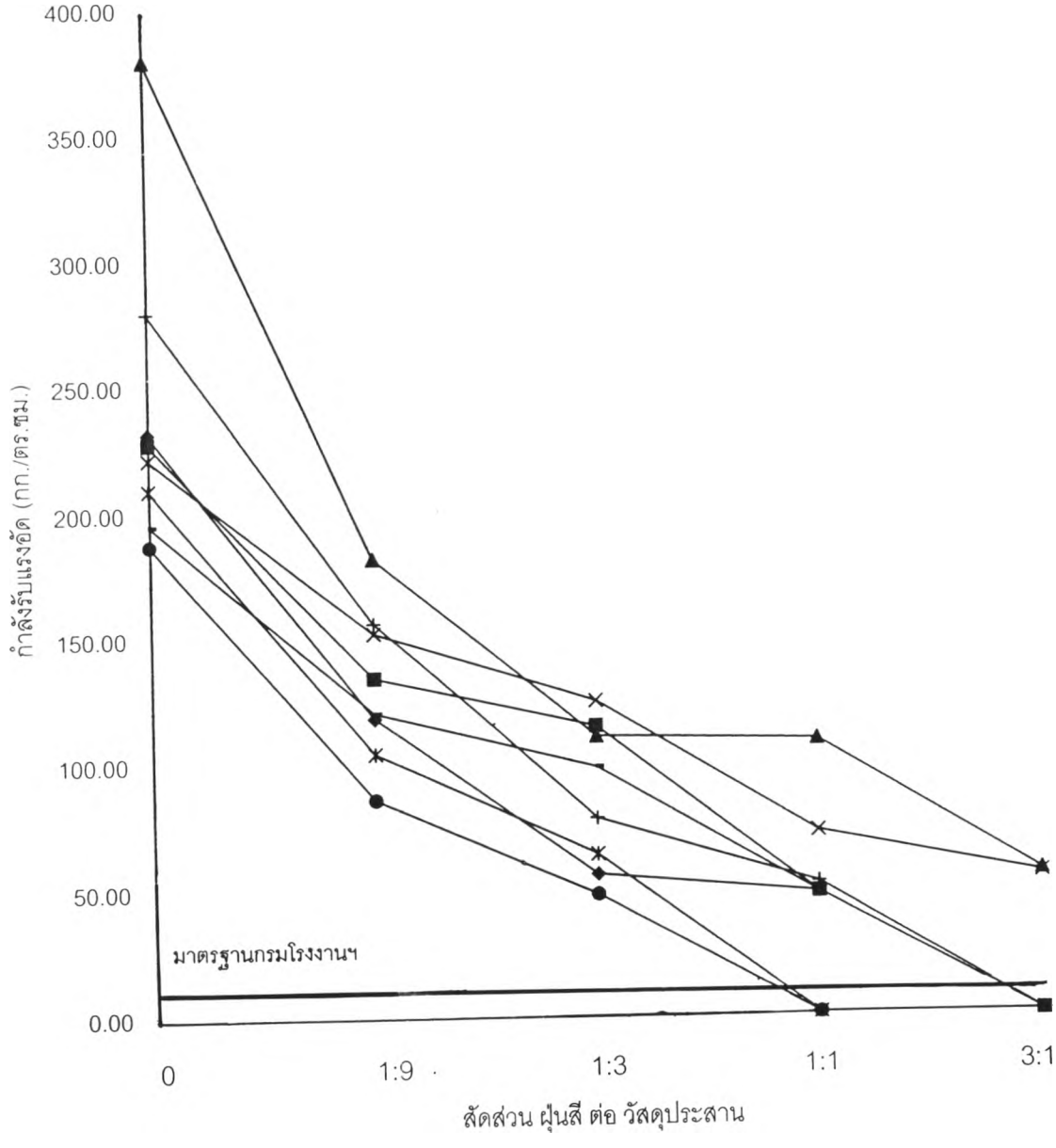
การวัดกำลังรับแรงอัดลูกปูนของฝุ่นสีมีลักษณะและแนวโน้มคล้ายกับลูกปูนของกากเศษสี ดังรูปที่ 5-3 ซึ่งมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ลูกปูนจะต้องมีกำลังรับแรงอัด

รูปที่ 5-2 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ 28 วัน ที่ได้จาก
การทดลองต่าง ๆ ของ
กากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)

รูปที่ 5-3 กำลังรับแรงอัดของการทำให้เป็นก้อนแข็งที่ 28 วัน ที่ได้จาก
การทดลองต่าง ๆ ของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)

มากกว่า 14 กก./ตร.ซม. โดยที่สัดส่วนฝุ่นสีต่อวัสดุประสานที่ 3:1 จะมีเพียงการทดลองที่ 2.3 และ 2.4 ที่ผ่านมาตรฐาน โดยมีค่า 56 และ 55 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดของทั้งสองการทดลองดังกล่าวมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองอื่นๆ โดยในการทดลองนี้ได้มีการเพิ่มสัดส่วนปริมาณฝุ่นสีต่อวัสดุประสานเป็น 4:1 ปรากฏว่าทุกส่วนผสมในแต่ละการทดลองไม่สามารถรับแรงอัดได้เลย

2. **ความหนาแน่น**

ค่าความหนาแน่นลูกปูนของฝุ่นสีมีแนวโน้มและลักษณะเดียวกับลูกปูนของกากเศษสี ดังแสดงในรูปที่ 5-4 ซึ่งจากผลการทดลองทุกๆ ก้อนของลูกปูนที่สามารถวัดกำลังรับแรงอัดได้มีค่าความหนาแน่นเกินมาตรฐานที่ตั้งเอาไว้ คือ การทดลองที่ 2.3 สัดส่วนฝุ่นสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าความหนาแน่น 1.80 ตัน/ลบ.ม. การทดลองที่ 2.4 สัดส่วนฝุ่นสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าความหนาแน่น 1.78 ตัน/ลบ.ม.

5.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี

5.2.2.1 กากเศษสี

1. **สภาพนำไฟฟ้า**

สภาพนำไฟฟ้าเป็นตัวเลขที่บอกถึงความสามารถของตัวอย่างน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในตัวอย่างน้ำ ปริมาณโลหะที่ละลายในน้ำก็เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าที่ดี ดังนั้นเมื่อมีปริมาณโลหะละลายในตัวอย่างน้ำมากก็จะทำให้สภาพนำไฟฟ้ามีค่ามากขึ้นด้วย

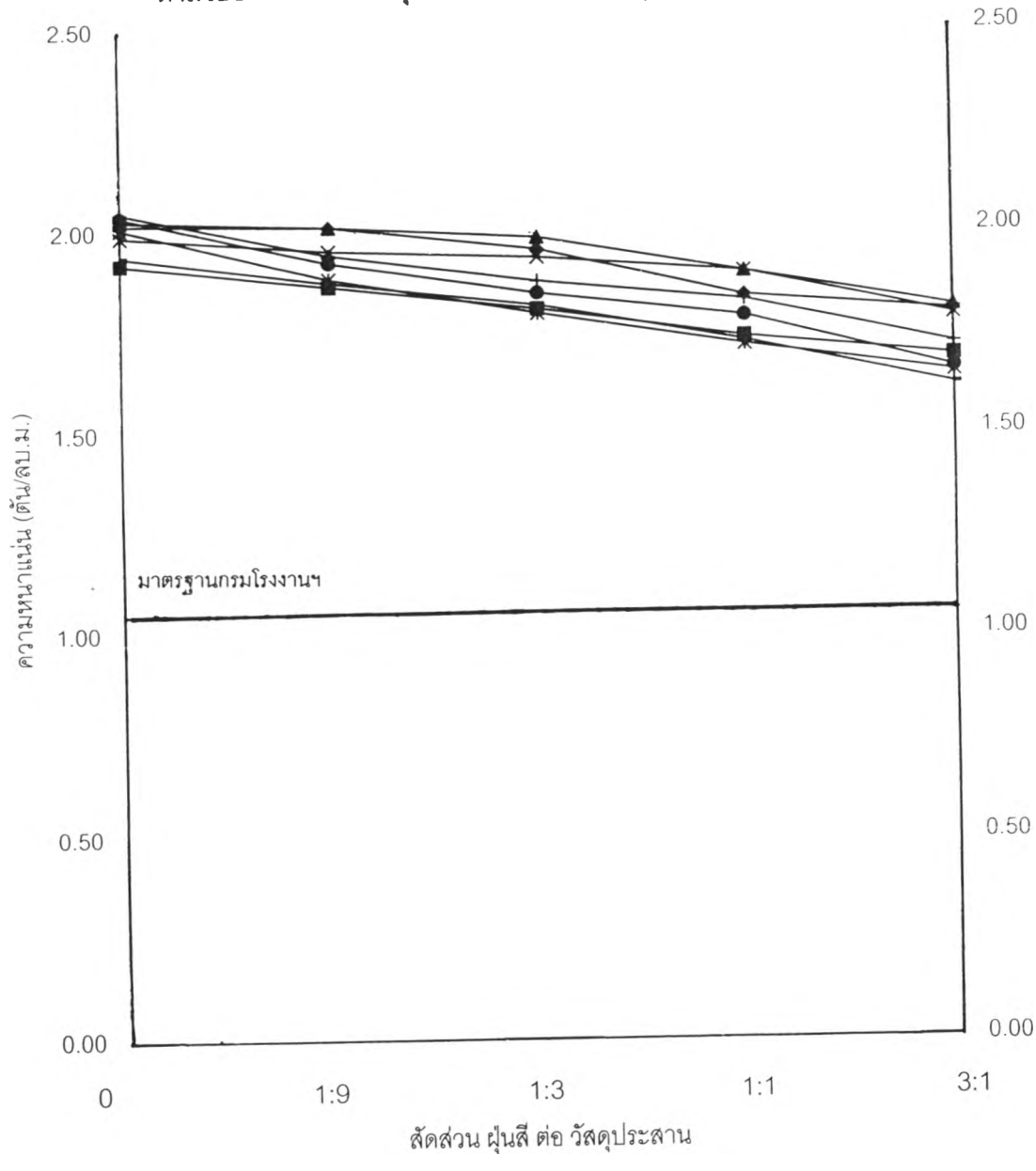
จากน้ำชะละลายลูกปูนของกากเศษสี การวิเคราะห์สภาพนำไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5-5 พบว่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น แปรผันตามสัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน โดยสภาพการนำไฟฟ้าในสัดส่วนผสมต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และแนวโน้มของกราฟนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นคล้ายๆ กันในทุกๆ สัดส่วน

จากการทดลองที่ 2.3 สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าสภาพนำไฟฟ้า 9.34 มิลลิซีเมนต์/ซม. และการทดลองที่ 2.4 สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า 9.35 มิลลิซีเมนต์/ซม.

2. **พีเอช (pH)**

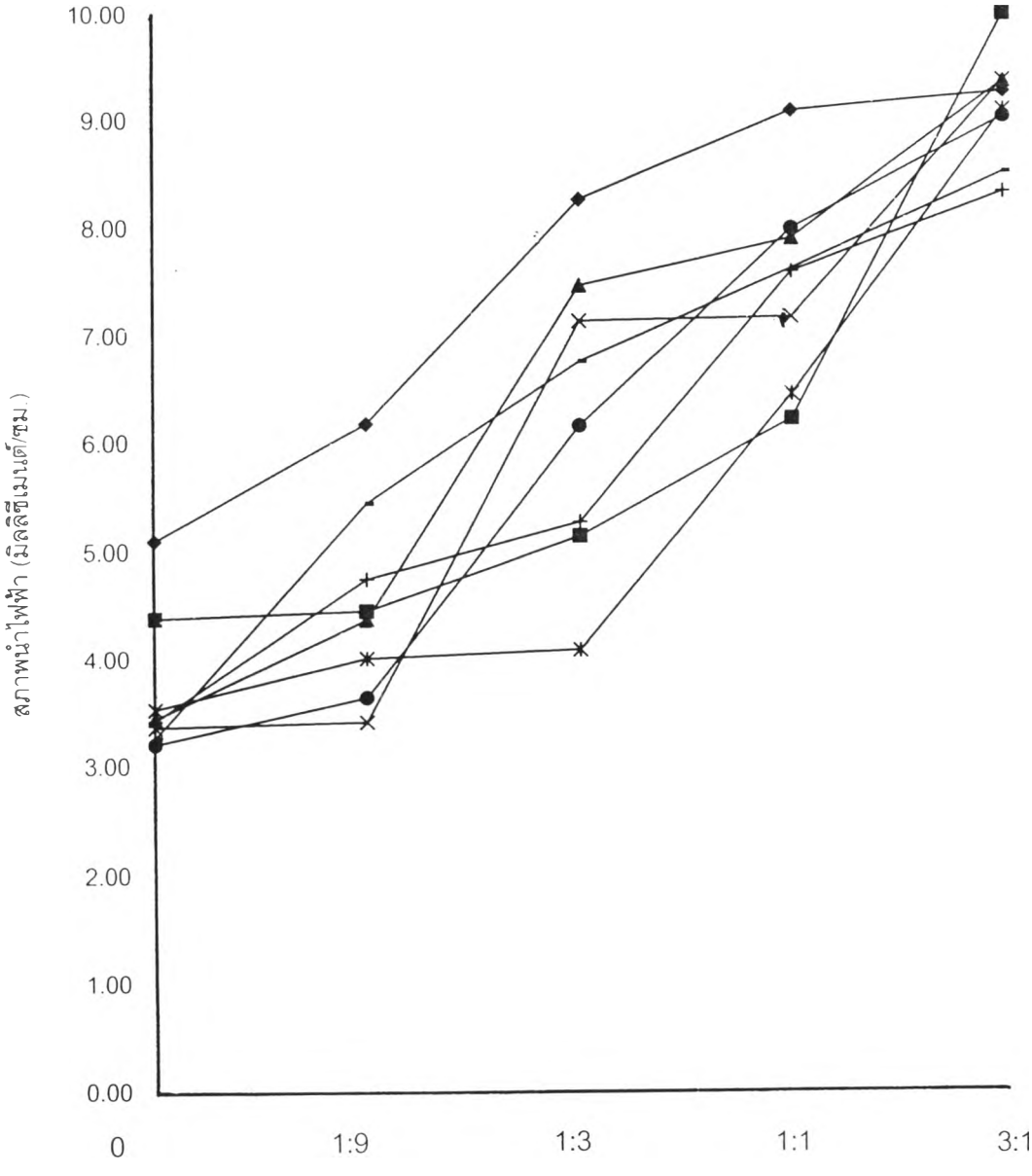
ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่ชะละลายลูกปูนของกากเศษสีจะมีค่าอยู่ในช่วง 12.0 ถึง 12.7 ซึ่งเป็นผลจากสภาพความเป็นด่างของวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ และปูนขาว ทำให้ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่ชะละลายสูงขึ้นกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5-6

รูปที่ 5-4 ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ 28 วัน ที่ได้จาก
การทดลองต่าง ๆ ของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



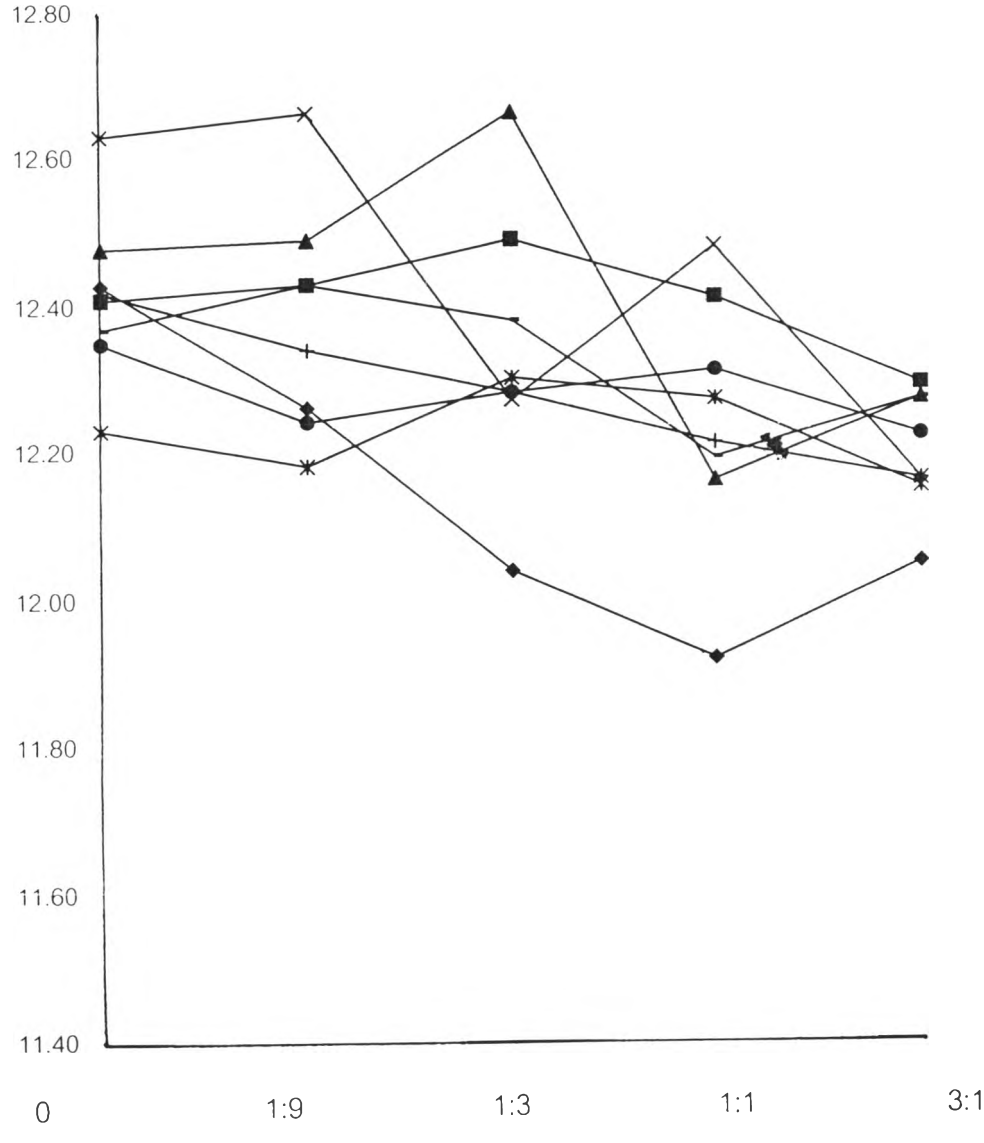
การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว-ปูน)

รูปที่ 5-5 สภาพนำไฟฟ้าของน้ำชะละลายของ
กากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)

รูปที่ 5-6 pH ของน้ำชะละลายของ
กากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน



3. **อาร์เซนิค**

เนื่องจากองค์ประกอบภายในของกากเศษสี ไม่มีส่วนประกอบของอาร์เซนิค (As) จึงทำให้น้ำที่ชะละลายไม่มีอาร์เซนิค (As) ซึ่งมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดค่าที่ยอมได้ของปริมาณอาร์เซนิค (As) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 5 มก./ล.

4. **แคดเมี่ยม**

องค์ประกอบภายในของกากเศษสีไม่มีแคดเมี่ยม (Cd) ดังนั้นในน้ำชะละลายจึงตรวจไม่พบแคดเมี่ยม (Cd) โดยมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดค่าที่ยอมได้ของปริมาณแคดเมี่ยม (Cd) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 1.00 มก./ล.

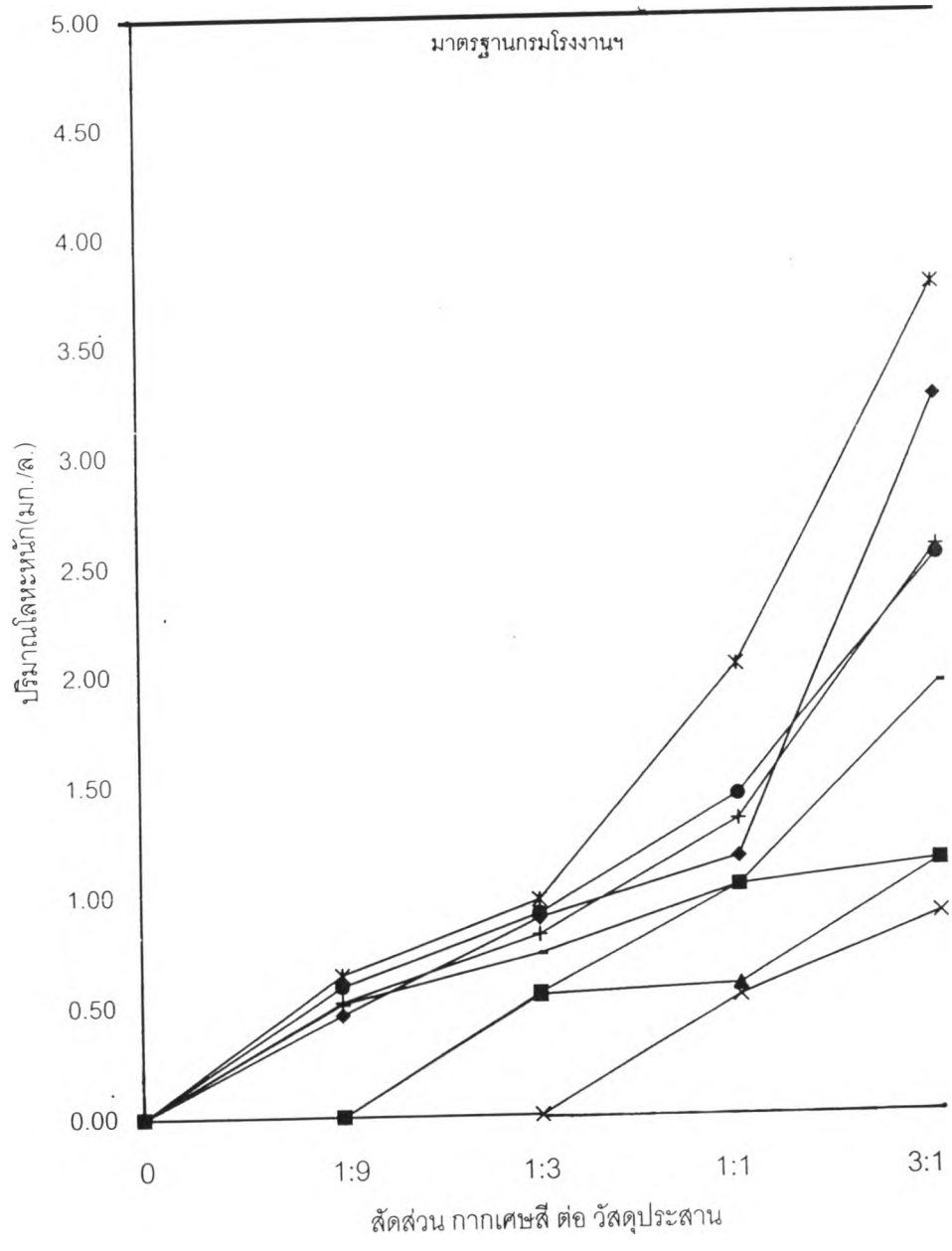
5. **โครเมี่ยม**

จากรูปที่ 5-7 การชะละลายของโครเมี่ยม (Cr) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน โดยในทุกสัดส่วนผสมจะพบว่าโครเมี่ยมที่ถูกชะละลายออกมายังไม่เกินมาตรฐานค่าที่ยอมได้ของกรมโรงงานอุตสาหกรรม คือ ไม่เกิน 5 มก./ล. สำหรับผลการทดลองในส่วนผสมที่มีปูนขาวในวัสดุประสานทำให้ปริมาณโครเมี่ยมที่ถูกชะละลายออกมาน้อยกว่าวัสดุประสานที่เป็นปูนซีเมนต์อย่างเดียวเมื่อเทียบในสัดส่วนผสมกากเศษสีต่อวัสดุประสานที่เท่ากันในแต่ละการทดลอง และในกรณีที่เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงไปในกากเศษสีก่อนนำไปผสมกับวัสดุประสานต่างๆ ในแต่ละการทดลองก็จะทำให้โครเมี่ยม (Cr) ที่ถูกชะละลายออกมามีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีไม่เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โดยเฉพาะในการทดลองที่ 2.3 และ 2.4 ปริมาณโครเมี่ยมที่ถูกชะละลายออกมามีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองอื่นๆ

6. **ปรอท**

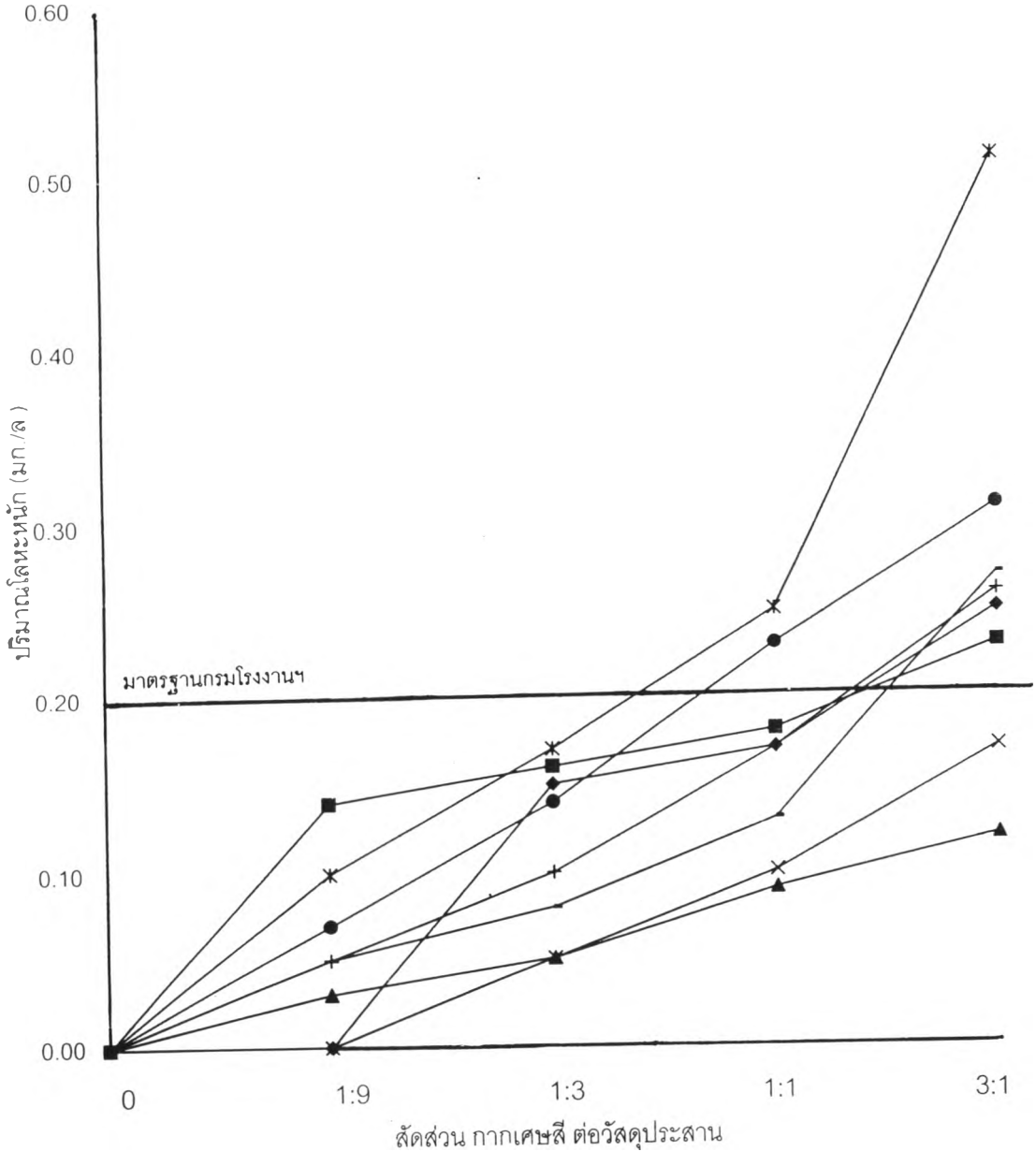
การชะละลายของปรอท (Hg) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของกากเศษสีต่อวัสดุประสาน ดังแสดงในรูปที่ 5-8 โดยในการทดลองที่ 2.5 จะมีปรอทออกมากับน้ำชะละลายมากที่สุด เนื่องจากมีการเติมกรดกำมะถันลงในกากเศษสีก่อนที่จะทำการทำให้เป็นก้อนแข็ง การเติมปูนขาวในวัสดุประสานทำให้ปริมาณปรอท (Hg) ถูกชะละลายออกมาได้น้อยกว่ากรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ในการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงในกากเศษสีทำให้ปรอท (Hg) ที่ถูกชะละลายออกมามีค่าน้อยกว่าการทดลองอื่นๆ ที่ไม่ได้มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โดยเฉพาะการทดลองที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งมีค่าปรอท (Hg)

รูปที่ 5-7 ปริมาณโครเมี่ยม(Cr) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของ
กากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว-ปูน)

รูปที่ 5-8 ปริมาณปรอท (Hg) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของ
กากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว-ปูน)

ที่ถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทุกๆ การทดลอง ซึ่งตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดค่าที่ยอมได้ของปริมาณปรอท (Hg) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 0.20 มก./ล.

7. **ตะกั่ว**

จากรูปที่ 5-9 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่ถูกชะละลายออกมาขึ้นกับสัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน การทดลองที่ 2.5 และ 2.6 มีปริมาณตะกั่ว (Pb) ถูกชะละลายออกมามากที่สุด เนื่องจากมีการเติมกรดกำมะถันลงในกากเศษสี ทำให้ปริมาณตะกั่ว (Pb) ถูกชะละลายออกมามากกว่าปกติ การเติมปูนขาวทำให้ปริมาณตะกั่วที่ถูกชะละลายออกมามีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับการทดลองที่ไม่มีการเติมปูนขาวลงในวัสดุประสาน การทดลองที่มีปริมาณตะกั่ว (Pb) ถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุด คือ การทดลอง 2.3 และ 2.4 เนื่องจากมีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงในกากเศษสีเพื่อช่วยในการทำเสถียร โดยค่ามาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดให้มีปริมาณตะกั่ว (Pb) ในน้ำที่ถูกชะละลายน้อยกว่า 5 มก./ล.

5.2.2.2 **ฝุ่นสี**

1. **สภาพนำไฟฟ้า**

ลักษณะของสภาพนำไฟฟ้าการชะละลายลูกปูนของฝุ่นสี ดังแสดงในรูปที่ 5-10 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับสภาพนำไฟฟ้าของกากเศษสีโดย จากการทดลองที่ 2.3 สัดส่วนฝุ่นสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าสภาพนำไฟฟ้า 9.19 มิลลิซีเมนต์/ซม. และการทดลองที่ 2.4 สัดส่วนฝุ่นสีต่อวัสดุประสาน 3:1 มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า 9.28 มิลลิซีเมนต์/ซม.

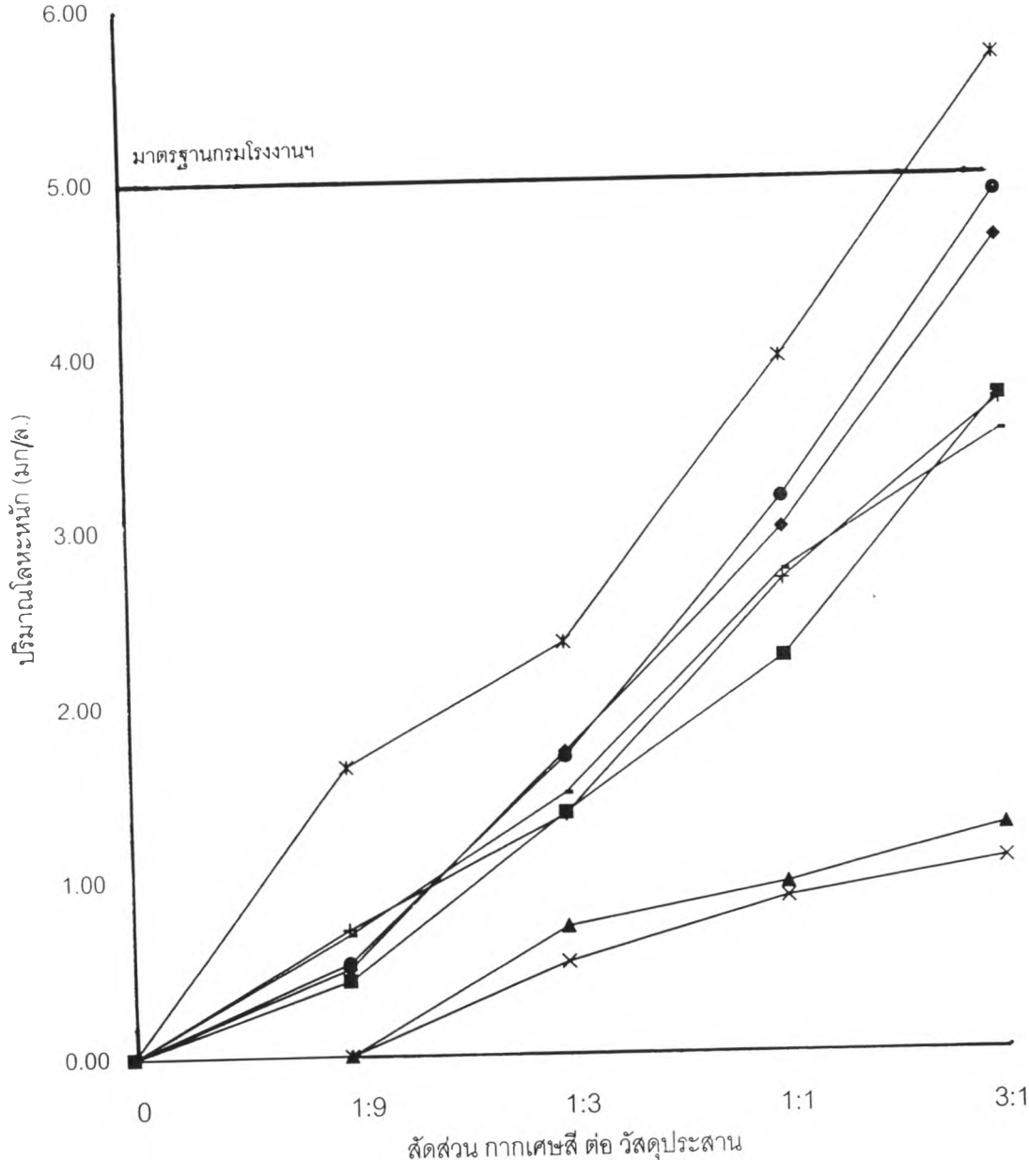
2. **พีเอช** (pH)

ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่ชะละลายลูกปูนของฝุ่นสีจะมีค่าอยู่ในช่วง 11.9 ถึง 12.7 ซึ่งเป็นผลจากสภาพความเป็นด่างของวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ และปูนขาว ทำให้ค่าพีเอช (pH) ของน้ำที่ชะละลายสูงขึ้นกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5-11

3. **อาร์เซนิค**

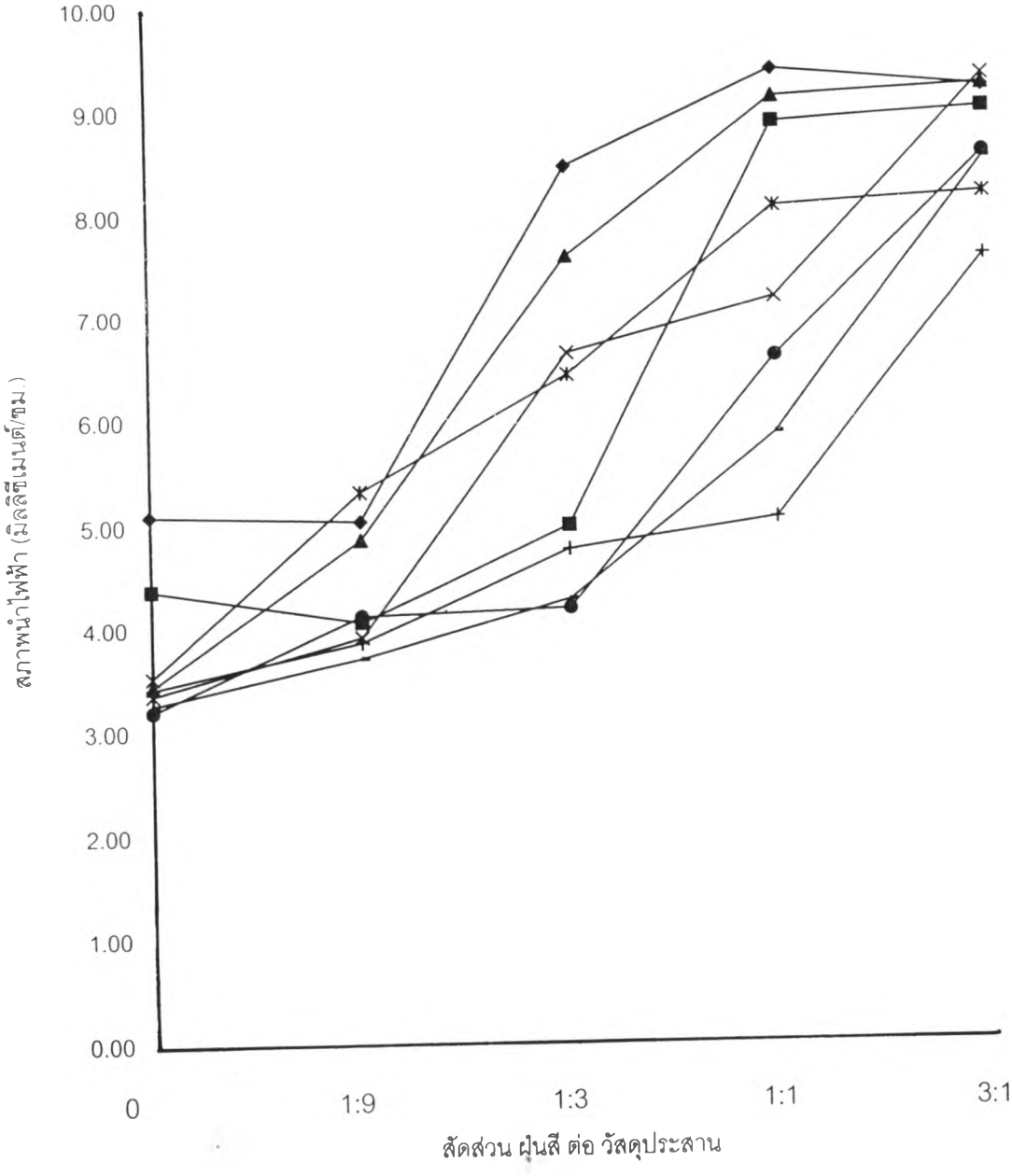
เนื่องจากองค์ประกอบภายในของฝุ่นสี ไม่มีส่วนประกอบของอาร์เซนิค (As) จึงทำให้น้ำที่ชะละลายไม่มีอาร์เซนิค (As) ซึ่งมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดค่าที่ยอมได้ของปริมาณอาร์เซนิค (As) ในน้ำชะละลายมีค่าไม่เกิน 5 มก./ล.

รูปที่ 5-9 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของ
กากเศษสีของถัง LPG เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



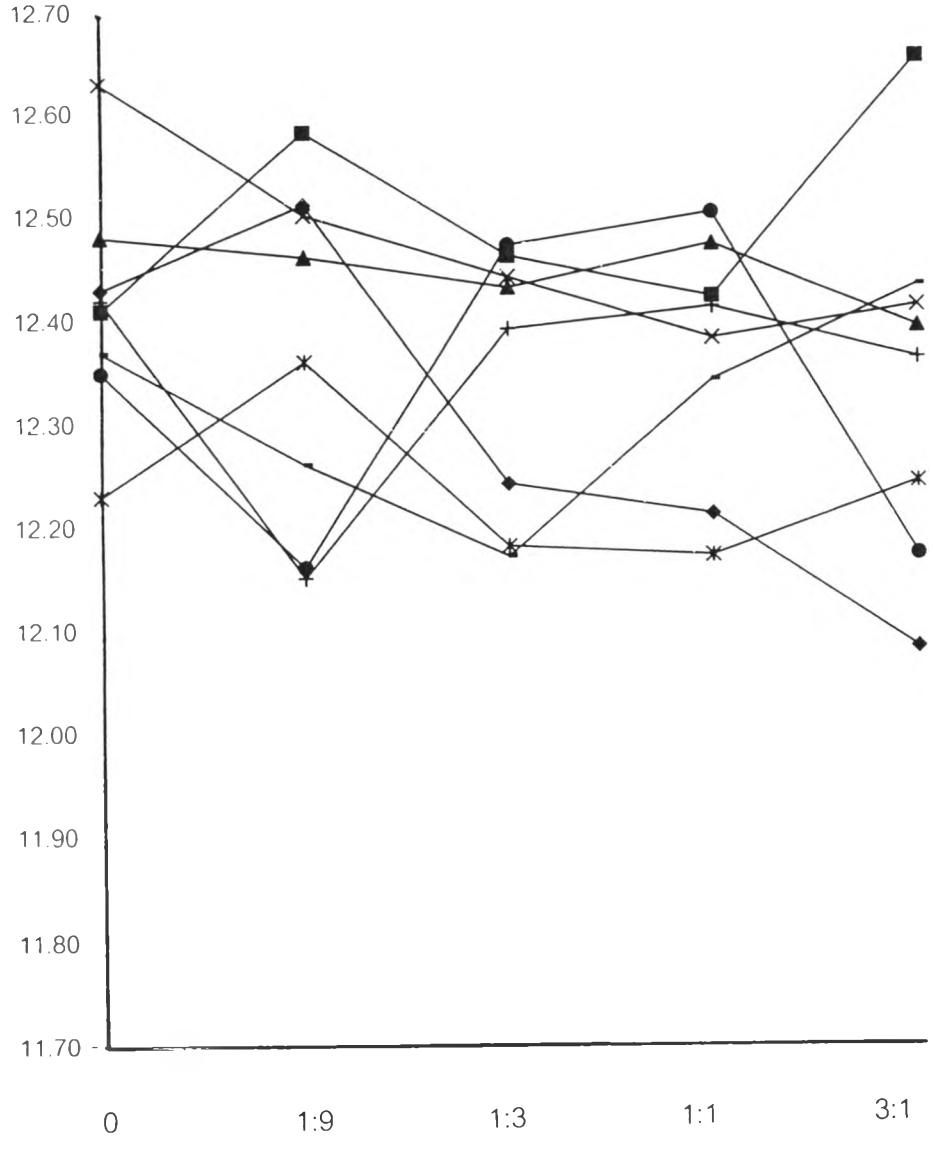
การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว-ปูน)

รูปที่ 5-10 สภาพนำไฟฟ้าของน้ำชะละลายของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)

รูปที่ 5-11 pH ของน้ำชะละลายของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน



4. **แคดเมี่ยม**

จากการชะละลายฝุ่นสีก่อนการทำเป็นก้อนแข็ง พบว่า มีปริมาณแคดเมี่ยม (Cd) ถูกชะละลายออกมา 0.12 มก./ล. หลังจากนำฝุ่นสีมาทำเป็นก้อนแข็งแล้วพบว่า แคดเมี่ยม (Cd) ถูกชะละลายออกมาในการทดลองที่ 2.1, 2.5 และ 2.6 ดังแสดงในรูปที่ 5-12 นอกนั้นไม่มีแคดเมี่ยมถูกชะละลายออกมา อย่างไรก็ตาม ค่าที่ยอมให้ของแคดเมี่ยมที่ถูกชะละลายออกมาไม่เกิน 1.00 มก./ล.

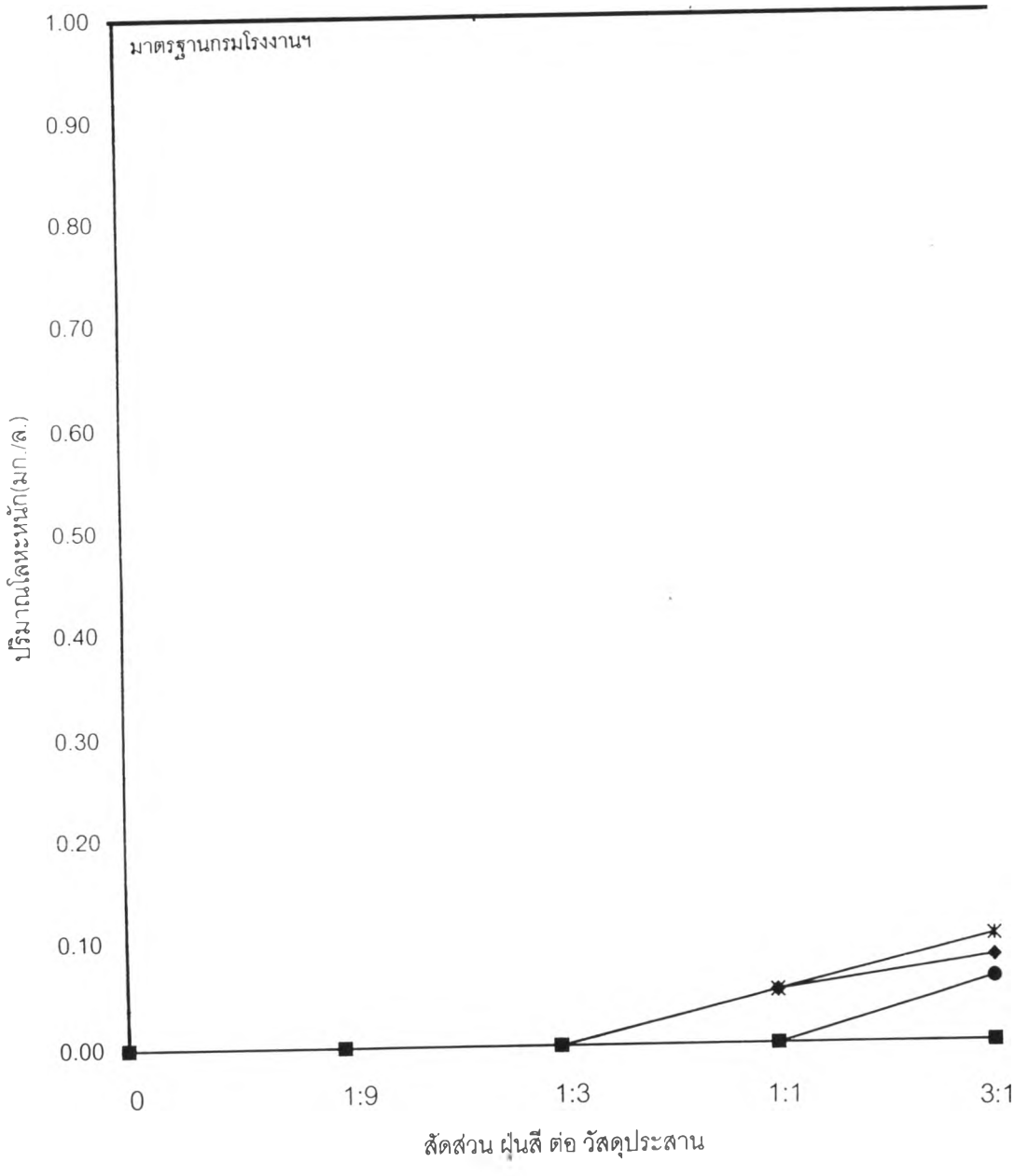
5. **โครเมี่ยม**

จากรูปที่ 5-13 ปริมาณโครเมี่ยมที่ถูกชะละลายออกมามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนฝุ่นสีต่อวัสดุประสานเช่นเดียวกับการใช้กากเศษสี โดยที่การใช้ปูนขาวผสมอยู่ในวัสดุประสานจะช่วยให้โครเมี่ยมถูกชะละลายออกมาได้น้อยลงเมื่อเทียบกับการทดลองที่ไม่ได้ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวในสัดส่วนฝุ่นสีที่เท่ากัน และในกรณีที่เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ก็จะทำให้โครเมี่ยม (Cr) ที่ถูกชะละลายออกมามีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับกรณีไม่เติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โดยเฉพาะในการทดลองที่ 2.3 และ 2.4 ปริมาณโครเมี่ยมที่ถูกชะละลายออกมามีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนฝุ่นสีของการทดลองอื่นๆ ที่เท่ากัน

6. **ปรอท**

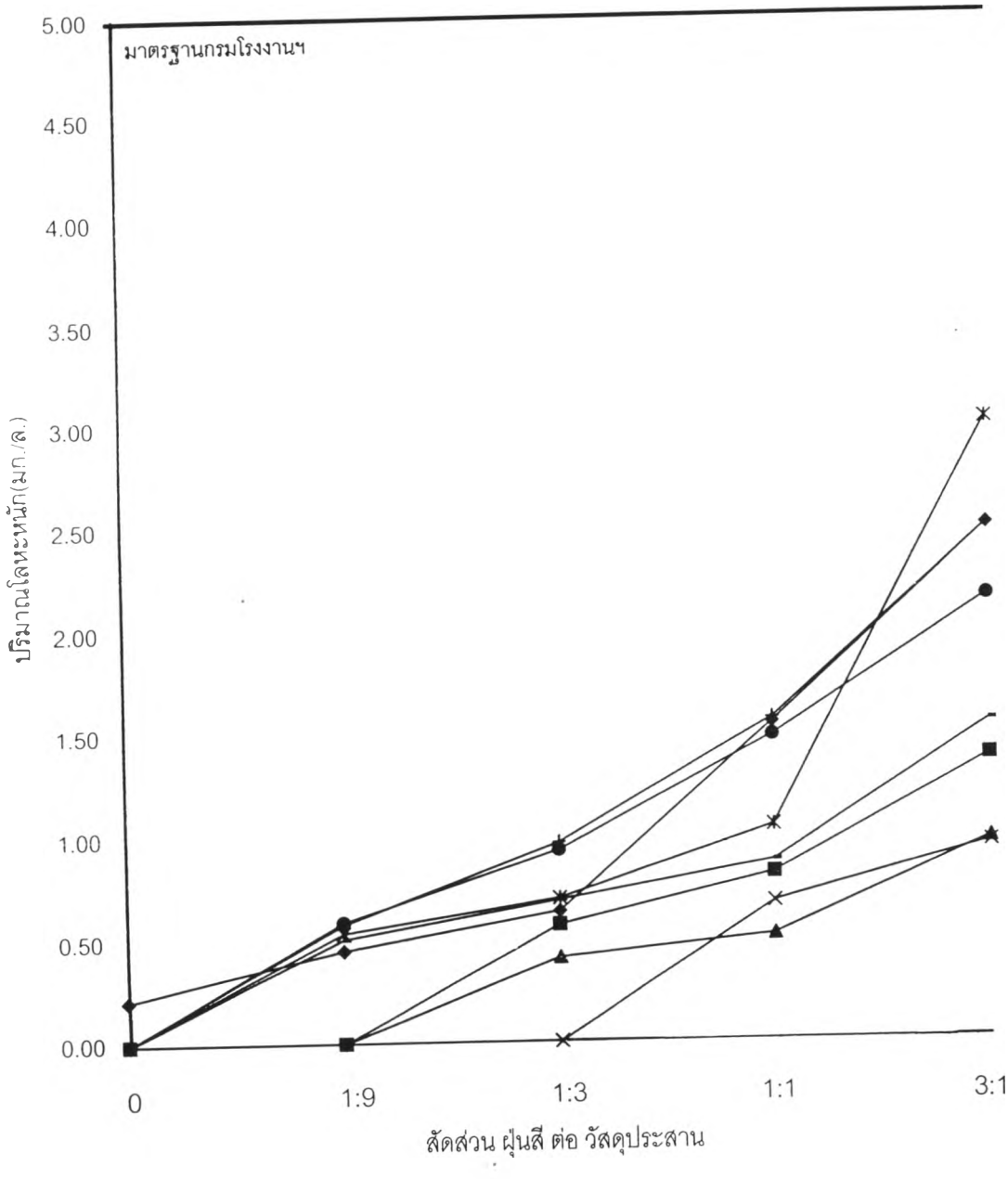
การชะละลายของปรอท (Hg) ดังแสดงในรูปที่ 5-14 พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของฝุ่นสีต่อวัสดุประสาน จะทำให้ปริมาณปรอท (Hg) ที่ถูกชะละลายออกมามีปริมาณสูงขึ้นในทุกๆ การทดลอง โดยเฉพาะในการทดลองที่ 2.5 ลักษณะเดียวกันกับการใช้กากเศษสีทดลอง ซึ่งมีปริมาณปรอท (Hg) ถูกชะละลายออกมาสูงที่สุด เนื่องจากมีการใช้กรดกำมะถันผสมฝุ่นสีก่อนทำเป็นก้อนแข็ง การเติมปูนขาวในวัสดุประสานทำให้ปริมาณปรอท (Hg) ถูกชะละลายออกมาได้น้อยกว่ากรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ในการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงในกากเศษสีทำให้ปรอท (Hg) ที่ถูกชะละลายออกมามีค่าน้อยกว่าการทดลองอื่นๆ ที่ไม่ได้มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โดยเฉพาะการทดลองที่ 2.3 และ 2.4 ซึ่งมีค่าปรอท (Hg) ที่ถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุด

รูปที่ 5-12 ปริมาณแคดเมี่ยม(Cd) ในน้ำชะละลายของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุปะสานที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)

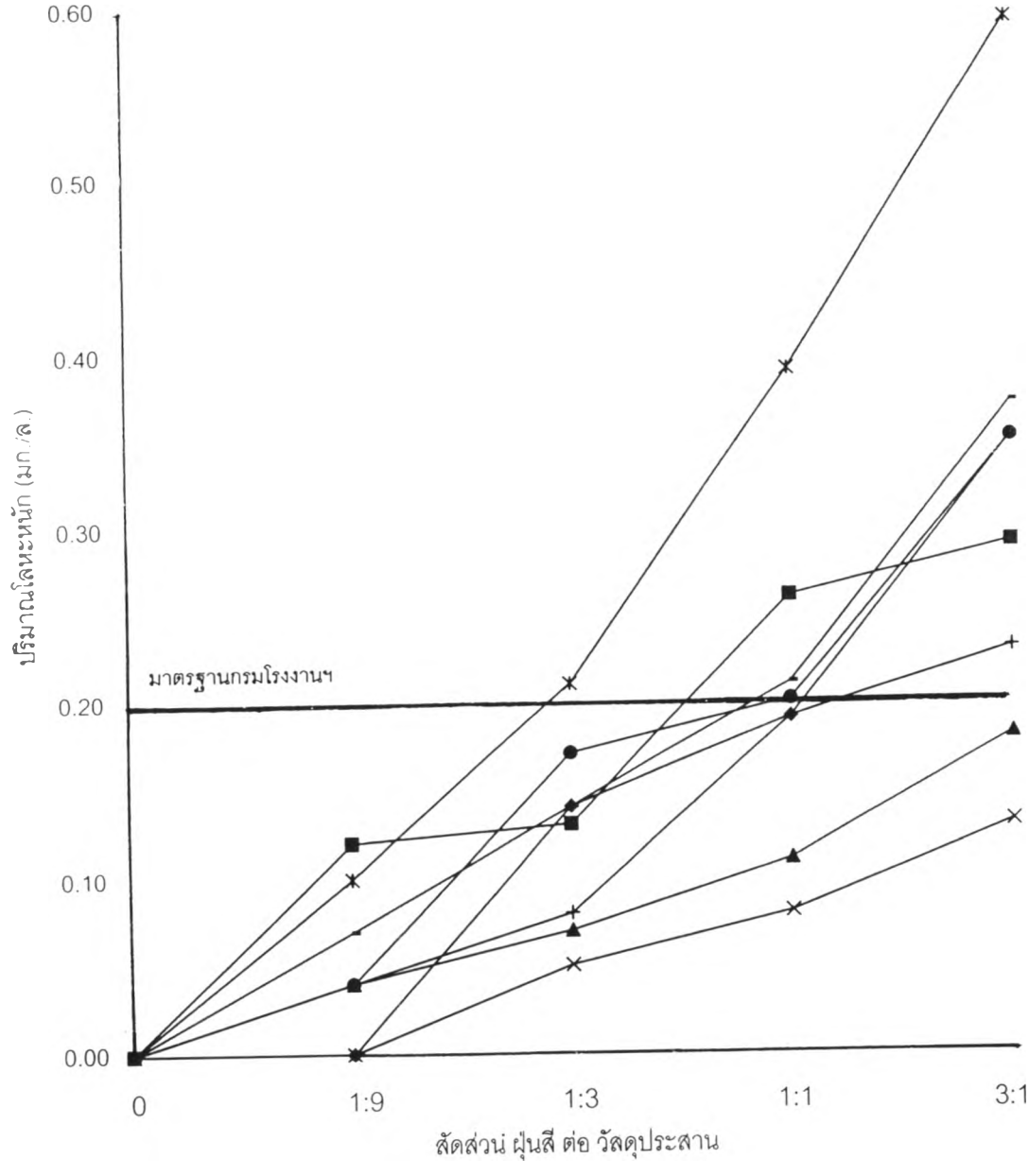


การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว-ปูน)

รูปที่ 5-13 ปริมาณโครเมี่ยม(Cr) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



รูปที่ 5-14 ปริมาณปรอท (Hg) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟด์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)

7. ตะกั่ว

ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่ถูกชะละลายของฝุ่นสีแสดงในรูปที่ 5-15 ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับการใช้กากเศษสีทำการทดลอง การทดลองที่ 2.5 และ 2.6 มีปริมาณตะกั่ว (Pb) ถูกชะละลายออกมามากที่สุด เนื่องจากมีการเติมกรดกำมะถันลงในฝุ่นสี การเติมปูนขาวจะช่วยทำให้ตะกั่ว (Pb) ถูกชะละลายออกมาน้อยลง การทดลองที่มีปริมาณตะกั่ว (Pb) ถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุด คือ การทดลอง 2.3 และ 2.4 เนื่องจากมีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงในกากเศษสีเพื่อช่วยในการทำเสถียร

5.2.3 สรุปผลการทำให้เป็นก้อนตามสัดส่วนผสมเบื้องต้นที่เหมาะสมที่สุด

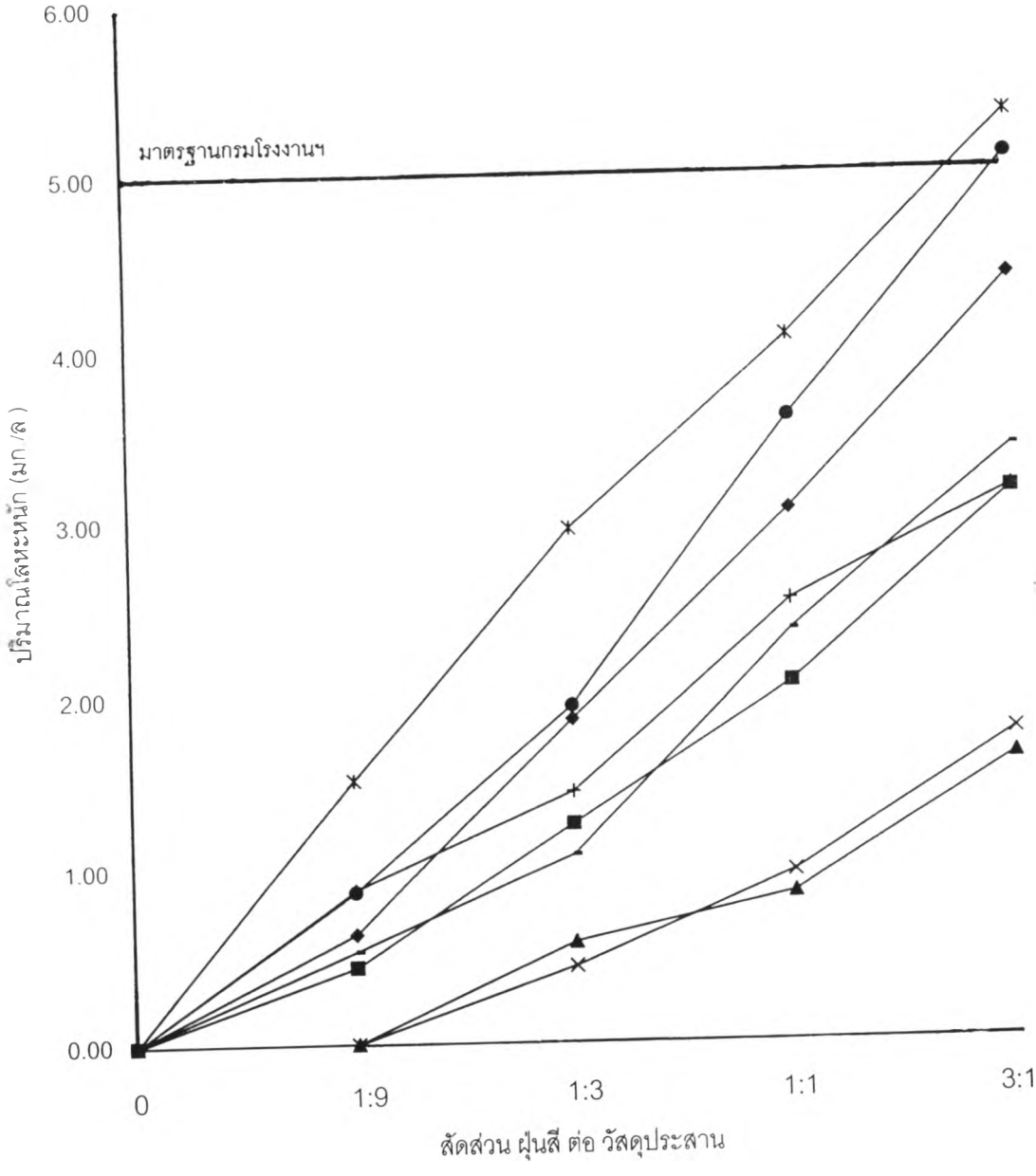
จากการทดลองที่ 1 เป็นการหาค่าส่วนประกอบภายในของกากเศษสีและฝุ่นสี ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กากของเสียทั้งสองแหล่งมีปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ โครเมี่ยม, ปรอท, และตะกั่ว ถูกชะละลายออกมาในปริมาณที่สูงกว่ามาตรฐานตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.1.3 ซึ่งถือได้ว่ากากเศษสีและฝุ่นสีเป็นของเสียอันตรายที่จะต้องมีการทำเสถียร และจัดการอย่างถูกต้อง เพื่อมิให้มีโลหะหนักตัวใดตามประกาศฯ ถูกชะละลายออกมาสู่สิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธีการสกัดสาร จึงจำเป็นต้องหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อนแข็งเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำเสถียร และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโลหะหนักในกากเศษสีและฝุ่นสี

จากการทดสอบกากของเสียเบื้องต้นสรุปได้ดังนี้

1.จากการทดลอบองค์ประกอบภายในของกากเศษสีและฝุ่นสี พบว่า กากเศษสีประกอบด้วย แคดเมี่ยม โครเมี่ยมทั้งหมด ปรอท และตะกั่ว มีปริมาณโลหะหนักร้อยละ 0.00024, 0.00982, 0.00905, และ 0.01542 มก./ล. ตามลำดับ และในฝุ่นสีมีปริมาณโลหะหนักร้อยละ 0.00036, 0.00958, 0.00912, และ 0.01339 มก./ล, ตามลำดับ ซึ่งทั้งกากเศษสีและฝุ่นสีอยู่ในข่ายกากของเสียอันตราย

2.ในการทดสอบการชะละลายกากเศษสีและฝุ่นสีโดยไม่ได้มีการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนแข็ง พบว่า กากเศษสีมีปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมา ได้แก่ โครเมี่ยมทั้งหมด 5.95 มก./ล. ปรอท 2.57 มก./ล. และตะกั่ว 9.84 มก./ล. ซึ่งปริมาณโลหะหนักทั้งหมดมีค่าเกินมาตรฐานซึ่งจัดเป็นกากของเสียอันตราย สำหรับฝุ่นสีมีปริมาณโลหะหนัก

รูปที่ 5-15 ปริมาณตะกั่ว (Pb) ที่วัดได้จากน้ำชะละลายของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์ เมื่อผสมวัสดุประสานที่สัดส่วนต่างๆ กัน
ตามวิธีของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม(พ.ศ.2531)



การทดลองที่ 2.1 (กาก+ปูน)
การทดลองที่ 2.2 (กาก+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.3 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูน)
การทดลองที่ 2.4 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.5 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.6 (กาก+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)
การทดลองที่ 2.7 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูน)
การทดลองที่ 2.8 (กาก+สลล.โซเดียมซัลไฟค์+กรดกำมะถัน+ปูนขาว+ปูน)

ที่ถูกชะละลายออกมา ได้แก่ แคดเมี่ยม 0.12 มก./ล. โครเมี่ยมทั้งหมด 5.97 มก./ล. ปรอท 3.18 มก./ล. และตะกั่ว 8.96 มก./ล. ซึ่งเป็นโลหะหลักที่มีค่าเกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โครเมี่ยมทั้งหมด ปรอท และตะกั่ว จึงจัดอยู่ในประเภทกากของเสียอันตราย

การทดลองที่ 2 นี้จะมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมของปริมาณกากเศษสีและฝุ่นสีในการทำให้แข็งเป็นก้อน และวัดค่าการชะละลายโลหะหนัก จึงสามารถสรุปได้ดังนี้

1) กำลังรับแรงอัดสามารถทำให้มากขึ้นได้ โดยการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ซึ่งเป็นตัวช่วยในการประสานองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ให้เกิดความแข็งมากขึ้น ทำให้สามารถรับแรงอัดได้มากขึ้น เนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) จะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักในกากเศษสีและฝุ่นสีได้โลหะหนักในรูปโลหะซัลไฟด์ซึ่งเสถียรมากกว่าที่จะทำปฏิกิริยาเป็นโลหะไฮดรอกไซด์ จากปฏิกิริยาของโลหะหนักกับปูนซีเมนต์ ถ้าไม่มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โลหะหนักจะทำปฏิกิริยาเป็นโลหะไฮดรอกไซด์จากแคลเซี่ยมไฮดรอกไซด์ (CaOH) ในปูน ซึ่งจะทำให้กำลังของปูนซีเมนต์ลดลงไป

2) สภาพนำไฟฟ้าของน้ำชะละลายจะบ่งถึงปริมาณโลหะที่หลุดออกมาในน้ำสกัดขึ้นกับสัดส่วนกากเศษสีและฝุ่นสี ต่อวัสดุประสาน โดยที่สัดส่วนกากเศษสีและฝุ่นสีต่อวัสดุประสานมากขึ้นค่าสภาพนำไฟฟ้าก็จะมากขึ้นด้วย

3) การใช้ปูนขาวผสมกับปูนซีเมนต์ในวัสดุประสาน ทำให้โลหะหนักถูกชะละลายออกมาได้น้อยกว่าการใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของปูนขาวมีสภาพเป็นด่างอย่างมาก ทำให้โละหะเสถียรมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือปูนขาวไม่สามารถทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

4) การใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ในปริมาณ 3 เท่าของค่าปริมาณสมมูล (Stoichiometric) ของปริมาณปรอท ทำให้โลหะหนักถูกชะละลายออกมาในปริมาณที่น้อยลงเมื่อเทียบกับการทดลองที่ไม่ใช้สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) โดยโลหะหนักจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ ซึ่งเป็นรูปที่เสถียรขึ้นกว่าเดิม

5) การใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) ผสมกับกากเศษสีและฝุ่นสีก่อนนำไปทำให้เป็นก้อนแข็ง ทำให้ปริมาณโลหะหนักถูกชะละลายออกมาสูงกว่าการทดลองที่ไม่ใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) เนื่องจากกรดจะทำปฏิกิริยากับค่าความเป็นด่างที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ซีเมนต์เพสท์มีค่าความเป็นด่างน้อยกว่าปกติ

จากการทดลองตามสัดส่วนผสมเบื้องต้นต่างๆ ที่ได้ทำมาทั้ง 8 การทดลอง สามารถนำไปหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสม 3 ส่วนผสม โดยยึดตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ดังนี้

1) ส่วนผสมที่ 1 (เลือกจากการทดลองที่ 2.1) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:1

2) ส่วนผสมที่ 2 (เลือกจากการทดลองที่ 2.3) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 3:1

3) ส่วนผสมที่ 3 (เลือกจากการทดลองที่ 2.4) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนขาว ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนปูนขาวต่อปูนซีเมนต์ 1:1 และที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 3:1

5.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำเสถียรโลหะหนักโดยใช้วัสดุประสานต่าง ๆ

ในการทดลองที่ 3 นี้จะมีการเลือกส่วนผสมในการทำให้เป็นก้อนแข็งจากการทดลองที่ 2 ที่เหมาะสมที่สุดมา 3 ส่วนผสม คือ

1) ส่วนผสมที่ 1 (เลือกจากการทดลองที่ 2.1) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:1

2) ส่วนผสมที่ 2 (เลือกจากการทดลองที่ 2.3) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 3:1

3) ส่วนผสมที่ 3 (เลือกจากการทดลองที่ 2.4) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนขาว ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนปูนขาวต่อปูนซีเมนต์ 1:1 และที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 3:1

โดยในการทดลองที่ 2 นั้นใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) ที่ 0.5 สำหรับในการทดลองที่ 3 นี้จะมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เป็น 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 เพื่อเป็นการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยจะทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 2 เพื่อวัดค่าการชะละลายของโลหะหนักทั้ง 5 ตัว ได้แก่ อาร์เซนิค, แคดเมี่ยม, ปรอท และตะกั่ว

ผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองที่ 3 นี้ พบว่าลักษณะการชะละลายของโลหะหนักไม่แตกต่างกันมากนัก ระหว่างกากเศษสีหรือฝุ่นสีแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) ทุกตัวของโลหะหนักที่ถูกชะละลาย ได้แก่ อาร์เซนิค แคดเมี่ยม โครเมี่ยมทั้งหมด ตะกั่ว และปรอทมีค่าไม่เกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อแตกต่างที่เห็นได้เด่นชัดที่สุด คือ ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) ที่ 0.4 และ 0.5 ซึ่งกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) ที่ 0.4 ทำให้รับแรงอัดได้มากกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5-16 สำหรับกากเศษสี และ 5-17 สำหรับฝุ่นสี ตามลำดับจึงแสดงว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดของสัดส่วนวัสดุประสานสำหรับของเสียที่เป็นกากเศษสีและฝุ่นสี คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) ที่ 0.4

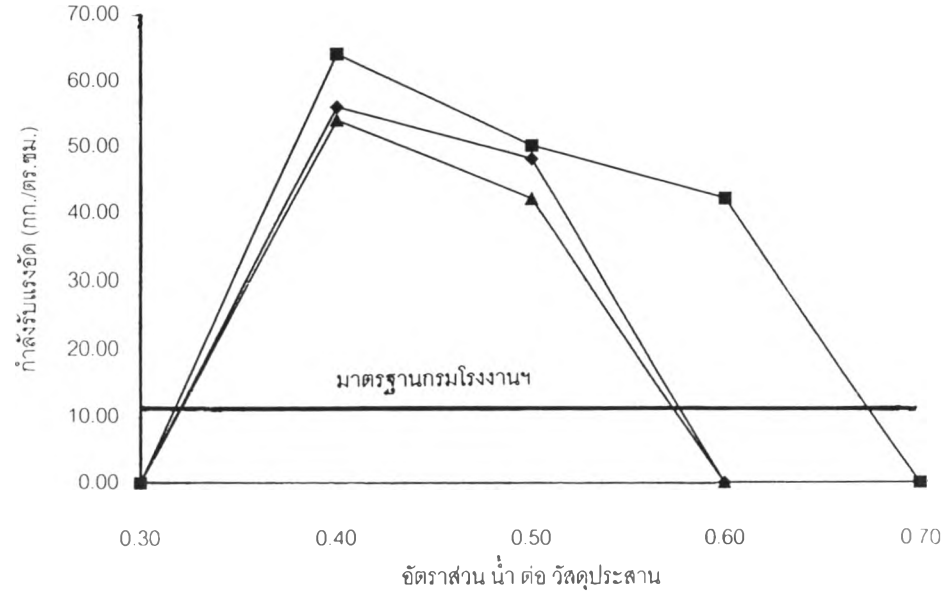
5.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของน้ำชะละลายที่ใช้ทดสอบการชะละลายของโลหะหนักในวัสดุประสานต่างๆ

สำหรับการแปรค่าพีเอช (pH) ของน้ำชะละลาย เพื่อตรวจสอบว่าโลหะหนักจะละลายได้ดีในสภาวะน้ำชะที่มีค่าพีเอชเท่าใด โดยการทดลองที่ 4 นี้ เป็นการนำผลการทดลองที่ 2 ที่เหมาะสมที่สุดมา 3 สัดส่วนผสม แล้วนำตัวอย่างทั้ง 3 มาทำการชะละลายที่ค่า pH ของน้ำชะละลายต่างๆ กัน คือ pH 4, 6 และ 8

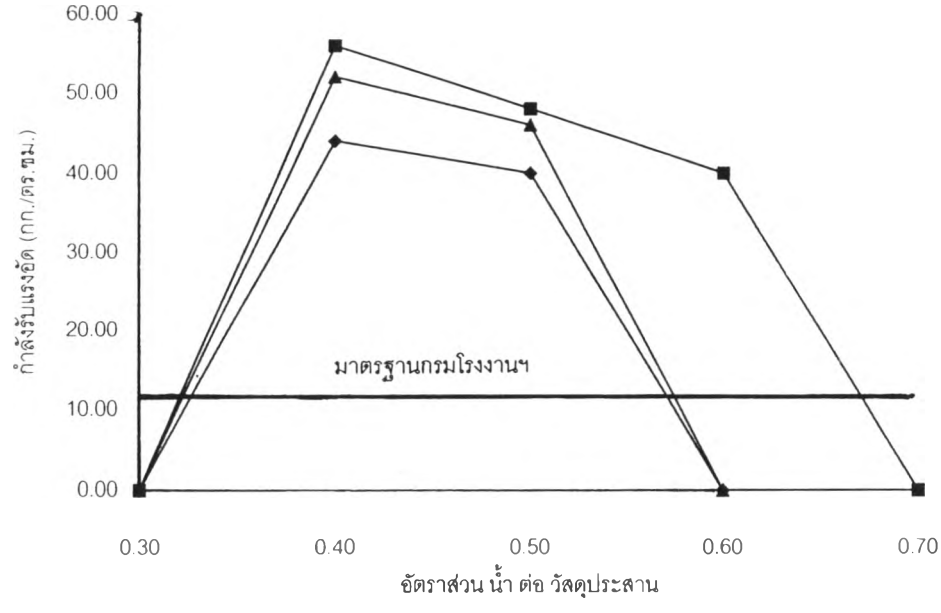
ผลการทดลองที่ 4

จากผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของ กากเศษสีและฝุ่นสี ที่ใช้ในการทดลองออกมาในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ทราบว่า โลหะหนักที่ตรวจพบในน้ำชะละลาย ได้แก่ โครเมี่ยม (Cr) ทั้งหมด ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) จะถูกชะละลายออกมาได้มากขึ้น หากว่าใช้น้ำสกัดที่มีพีเอช (pH) ต่ำ เนื่องจากโลหะหนักจะหลุดออกมาในรูปอิออน ซึ่งจะเป็นรูปที่ไม่เสถียรในน้ำสกัดที่มีพีเอช (pH) ต่ำ แต่เมื่อน้ำสกัดมีพีเอช (pH) สูง โลหะหนักก็จะอยู่ในรูปโลหะซัลไฟด์หรือโลหะออกไซด์ซึ่งเสถียรกว่าหรือละลายน้ำออกมาได้น้อยกว่า (นฤมิต คินิมาน, 2538)

รูปที่ 5-16 กำลังรับแรงอัดของ
กากเศษสีของถังก๊าซ LPG
เมื่อปรับอัตราส่วน W/C



รูปที่ 5-17 กำลังรับแรงอัดของ
ฝุ่นสีรองพื้นและสีทับหน้ารถยนต์
เมื่อปรับอัตราส่วน W/C



ส่วนผสมที่ 1 กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1 1

ส่วนผสมที่ 2 กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสลล โซเดียมซัลไฟด์ (Na2S) แล้วผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 5 1

ส่วนผสมที่ 3 กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสลล โซเดียมซัลไฟด์ (Na2S) แล้วผสมปูนขาว ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 5 1

5.5 การหาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายโลหะหนัก

หลังจากมีการทดสอบการชะละลายโลหะหนักในก้อนแข็งของกากเศษสีและฝุ่นสี โดยทำการปรับส่วนผสมของกากเศษสีหรือฝุ่นสี ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณปูนขาว ที่ W/C เท่ากับ 0.4 และการผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) 7.02 มก./ล. ในส่วนผสมที่เหมาะสมทั้ง 3 สูตร แล้วสามารถหาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของโลหะหนักได้ดังแสดงในตารางที่ 5-2 สำหรับกากเศษสี และ 5-3 สำหรับฝุ่นสี ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.5.1 **กากเศษสีของถัง** LPG

จากตารางที่ 5-2 พบว่า ประสิทธิภาพการลดการชะละลายที่ดีที่สุด คือ ส่วนผสมที่ 3 จากการทดลองที่ 2.4 กล่าวคือ กากเศษสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนซีเมนต์และปูนขาว (ที่สัดส่วนปูน:ปูนขาว เท่ากับ 1:1) ที่สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสานเท่ากับ 3:1 โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.4

สำหรับส่วนผสมที่เหลืออีก 2 ส่วนผสมนั้น ก็มีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายสูงเช่นกัน โดยทุกส่วนผสมเมื่อถูกชะละลายมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งแสดงว่าสามารถเลือกใช้ได้ทั้ง 3 สูตรขึ้นกับความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

5.5.2 **ฝุ่นสีรองพื้นและสีพ่นรถยนต์**

จากตารางที่ 5-3 พบว่า ประสิทธิภาพการลดการชะละลายที่เหมาะสมที่สุด คือ ส่วนผสมที่ 3 จากการทดลองที่ 2.4 กล่าวคือ ฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนซีเมนต์และปูนขาว (ที่สัดส่วนปูน:ปูนขาว เท่ากับ 1:1) ที่สัดส่วนฝุ่นสี ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75 โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เท่ากับ 0.4

สำหรับส่วนผสมที่เหลืออีก 2 ส่วนผสมนั้น ก็มีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายสูงเช่นกันซึ่งสามารถที่จะใช้ทดแทนกันได้ขึ้นอยู่กับสภาพทางวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ โดยทุกส่วนผสมเมื่อถูกชะละลายมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม

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

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณใน กากเศษสี	ปริมาณจาก การชะละลาย	ส่วนผสมที่ 1 จากการทดลองที่ 2.1 กาก : ปูนซีเมนต์ = 1:1	ประสิทธิภาพการ ลดการชะละลาย	ส่วนผสมที่ 2 จากการทดลองที่ 2.3 เติมสลล.Na_2S กาก : ปูนซีเมนต์ = 3:1	ประสิทธิภาพการ ลดการชะละลาย	ส่วนผสมที่ 3 จากการทดลองที่ 2.4 เติมสลล.Na_2S กาก : ปูนซีเมนต์ = 3:1	ประสิทธิภาพ การลดการชะละลาย	มาตรฐาน กรมโรงงาน อุตสาหกรรม
(มก./ล.)	(มก./กก.)	(มก./ล.)	(มก./ล.)	(ร้อยละ)	(มก./ล.)	(ร้อยละ)	(มก./ล.)	(ร้อยละ)	
อาร์เซนิค	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<5.00
แคดเมี่ยม	2.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<1.00
โครเมี่ยม ทั้งหมด	98.2	5.95	1.18	80.12	1.16	80.50	1.01	83.03	<5.00
ปรอท	90.5	2.57	0.14	94.55	0.14	94.55	0.15	94.16	<0.20
ตะกั่ว	154.2	9.84	3.01	69.41	1.43	85.47	1.07	89.13	<5.00

ตารางที่ 5-3 ประสิทธิภาพการลดการชะละลายโลหะหนักในฝุ่นสีรองพื้นรถยนต์หลังจากการทำให้แข็งเป็นก้อนด้วยซีเมนต์ (W/C = 0.4)

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณใน ฝุ่นสี	ปริมาณจาก การชะละลาย	ส่วนผสมที่ 1 จากการทดลองที่ 2.1 ฝุ่นสี : ปูนซีเมนต์ = 1:1	ประสิทธิภาพการ ลดการชะละลาย	ส่วนผสมที่ 2 จากการทดลองที่ 2.3 เติมสลล.Na_2S ฝุ่นสี : ปูนซีเมนต์ = 3:1	ประสิทธิภาพการ ลดการชะละลาย	ส่วนผสมที่ 3 จากการทดลองที่ 2.4 เติมสลล.Na_2S ฝุ่นสี : ปูนซีเมนต์ = 3:1	ประสิทธิภาพ การลดการชะละลาย	มาตรฐาน กรมโรงงาน อุตสาหกรรม
(มก./ล.)	(มก./กก.)	(มก./ล.)	(มก./ล.)	(ร้อยละ)	(มก./ล.)	(ร้อยละ)	(มก./ล.)	(ร้อยละ)	
อาร์เซนิค	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<5.00
แคดเมี่ยม	3.6	0.12	0.05	58.33	ND	100.00	ND	100.00	<1.00
โครเมี่ยม ทั้งหมด	95.8	5.97	1.37	77.05	1.26	78.89	1.11	81.40	<5.00
ปรอท	91.2	3.18	0.16	94.97	0.15	95.23	0.13	95.91	<0.20
ตะกั่ว	133.9	8.96	3.06	65.85	1.54	82.81	1.64	81.70	<5.00

5.6 การวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การทำเสถียรโลหะหนักตามประกาศของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาคผนวก ก. มีข้อแนะนำให้เติมปูนขาวลงในกากของเสียอันตรายก่อนนำไปกำจัด แต่จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าการเติมปูนขาวอย่างเดียวไม่ทำให้เกิดการรับแรงอัดได้ จึงจำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมของวัสดุประสานด้วยเพื่อให้สามารถรับแรงอัดได้ตามการทดลองต่างๆ ที่ได้ทำมา

2. กากเศษสีและฝุ่นสี มีส่วนประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ เมื่อนำมาทำเป็นก้อนแข็งด้วยซีเมนต์จะเกิดการบวมของลูกปูนเล็กน้อย เนื่องจาก เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบซัลเฟตในเนื้อสี (Pigments) กับ Tricalcium Aluminate ($3CaO\,Al_2O_3$) ในปูนซีเมนต์เกิดเป็น Calcium Sulhpoaluminate จึงทำให้ปริมาตรที่ได้เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ชยาทิตย์ วัฒนวิกย์, 2525) แต่อย่างไรก็ตาม ได้ทำการแก้ไขโดย ก่อนนำไปวัดกำลังรับแรงอัดได้ทำการขัดผิวลูกปูนให้ได้ปริมาตร 5x5x5 ลบ.ซม. แล้วจึงทำการวัดค่ากำลังรับแรงอัด

3. ในการผสมปูนขาวลงในวัสดุประสานจะต้องมีการผสมปูนขาวให้เข้ากันทั่วกับกากเศษสีหรือฝุ่นสี ก่อนที่จะมีการเติมปูนซีเมนต์ลงไป เพื่อให้ปูนขาวเข้าทำปฏิกิริยากับโลหะหนักให้อยู่ในรูปโลหะไฮดรอกไซด์เสียก่อน จนค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้นแล้วจึงทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับการทำวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวแล้วในการทบทวนเอกสาร ว่าที่พีเอชมีค่าสูงกว่า 6 (Bishop, 1988) โลหะหนักจะถูกทำให้เสถียรมากขึ้น

4. ในการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S)เพื่อทำให้โลหะหนักในกากเศษสีและฝุ่นสีทำปฏิกิริยา ทำให้โลหะหนัก ได้แก่ แคดเมี่ยม โครเมี่ยม ตะกั่ว และปรอท เสถียรมากขึ้นตามข้อแนะนำของประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาคผนวก ก. จำเป็นต้องเติมลงในกากเศษสีและฝุ่นสี ก่อนที่จะเติมวัสดุประสานลงไปเพื่อให้โลหะหนักในกากเศษสีและฝุ่นสีทำปฏิกิริยาเกิดเป็นโลหะซัลไฟด์ ก่อนที่จะนำไปทำให้เป็นก้อนแข็งซึ่งมีความเสถียรมากกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปูนเพียงอย่างเดียว (นฤมิต คินิมาน, 2538)

5. ในการเติมกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ลงในกากเศษสีและฝุ่นสีในบางการทดลอง เพื่อทำลายสารยึดสี (Resin) ของกากเศษสีและฝุ่นสี ทำให้เพิ่มปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมา จะต้องเติมกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ก่อนที่จะเติมวัสดุประสาน เพื่อให้เกิดการทำลายสารยึดสี (Resin) ของตัวอย่างให้ดีเสียก่อน ซึ่งจะทำให้โลหะหนักสามารถถูกชะละลายออกมามากขึ้น และทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์หรือปูนขาวได้มากขึ้น ก่อนถูกทำให้แข็งเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

6. กำลังรับแรงอัดของลูกปูนจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ค่าที่เหมาะสม คือ 0.4 ถ้าหากค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) มากกว่านี้จะทำให้น้ำเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเม็ดปูนซีเมนต์ ทำให้การยึดจับกันของปูนซีเมนต์กับกากเศษสีหรือฝุ่นสีไม่แน่นหนา และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว น้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาเคมีจะระเหยออกไป ทำให้คอนกรีตมีรูพรุนมาก โดยที่ก้อนแข็งที่ผสมด้วยปูนเพียงอย่างเดียวมีค่า W/C ที่เหมาะสมคือ 0.35 (วินิจ ซ่อวิเชียร, 2529)

5.7 การประมาณค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง

ในการประมาณค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็งของก้อนแข็งทั้ง 3 ส่วนผสมที่เหมาะสมทั้ง 3 ส่วนผสมคือ

1) ส่วนผสมที่ 1 (เลือกจากการทดลองที่ 2.1) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:1

2) ส่วนผสมที่ 2 (เลือกจากการทดลองที่ 2.3) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 3:1

3) ส่วนผสมที่ 3 (เลือกจากการทดลองที่ 2.4) กากเศษสีหรือฝุ่นสี ผสมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) แล้วผสมปูนขาว ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนปูนขาวต่อปูนซีเมนต์ 1:1 และที่สัดส่วนกากเศษสีหรือฝุ่นสี ต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 3:1

รายละเอียดการคิดค่าใช้จ่ายจากภาคผนวก ง สามารถสรุปได้ในตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5.4 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากเศษสีและฝุ่นสี

ส่วนผสม	ค่าทำให้เป็นก้อน (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)	ค่าขนส่งและขนย้ายไปหลุมฝังกลบ (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)	ค่าฝังกลบ (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาทต่อตันกากตะกอนดิบ)
กากเศษสีส่วนผสมที่ 1	2,600	880.0	900.0	4380.0
กากเศษสีส่วนผสมที่ 2	858	585.2	598.5	2041.7
กากเศษสีส่วนผสมที่ 3	755	585.2	598.5	1938.7
ฝุ่นสีส่วนผสมที่ 1	2,600	880.0	900.0	4380.0
ฝุ่นสีส่วนผสมที่ 2	858	585.2	598.5	2041.7
ฝุ่นสีส่วนผสมที่ 3	755	585.2	598.5	1938.7

เนื่องจากเป็นการยากที่จะแสดงให้เห็นว่า ค่าใช้จ่ายจะเป็นในรูปแบบใด จึงแบ่งแยกออกตามแหล่งกำเนิดของเสีย เพื่อสามารถประเมินราคาได้สะดวกดังนี้

5.7.1. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากเศษสี

จากการศึกษาโรงงานทำความสะอาดถังก๊าซหุงต้ม พบว่า อัตราการเกิดกากเศษสีที่เกิดใน 1 โรงงาน ซึ่งในแต่ละวันจะมีถังบรรจุก๊าซเข้ามาทำความสะอาดประมาณ 500 ถัง ดังนั้น ถังบรรจุก๊าซ 1 ถังจะมีกากเศษสีที่จะต้องทำการขูดออก 0.36 กิโลกรัมต่อถัง LPG จากตารางที่ 5-4 สามารถสรุปค่าใช้จ่ายต่อถังได้ดังนี้

- ส่วนผสมที่ 1 (กากเศษสี ผสม ปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 1:1 จะมีค่าใช้จ่ายต่อถังบรรจุก๊าซ เท่ากับ 1.58 บาท/ถัง
- ส่วนผสมที่ 2 (กากเศษสี ผสม สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 3:1 จะมีค่าใช้จ่ายต่อถังบรรจุก๊าซ เท่ากับ 0.74 บาท/ถัง
- ส่วนผสมที่ 3 (กากเศษสี ผสม สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ผสมปูนขาว ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนกากเศษสีต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 3:1 จะมีค่าใช้จ่ายต่อถังบรรจุก๊าซ เท่ากับ 0.70 บาท/ถัง

5.7.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดฝุ่นสี

จากการศึกษาข้อมูลการเคาะพ่นสีรถยนต์ สามารถเฉลี่ยปริมาณฝุ่นสีที่เกิดจากการขูดสีรถยนต์เก่าออกในปริมาณ 1 กิโลกรัม/คัน ซึ่งจากตารางที่ 5-4 สามารถสรุปค่าใช้จ่ายต่อคันได้ดังนี้

- ส่วนผสมที่ 1 (ฝุ่นสี ผสม ปูนซีเมนต์ ที่สัดสวนฝุ่นสีต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 1:1 จะมีค่าใช้จ่ายต่อรถยนต์ 1 คัน เท่ากับ 4.38 บาท/คัน
- ส่วนผสมที่ 2 (ฝุ่นสี ผสม สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนฝุ่นสีต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 3:1 จะมีค่าใช้จ่ายต่อรถยนต์ 1 คัน เท่ากับ 2.04 บาท/คัน

- ส่วนผสมที่ 3 (ฝุ่นสี ผสม สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ผสมปูนขาว ผสมปูนซีเมนต์ ที่สัดส่วนฝุ่นสีต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 3:1 จะมีค่าใช้จ่ายต่อรถยนต์ 1 คัน เท่ากับ 1.94 บาท/คัน