บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ลักษณะสมบัติของเศษหนังเจียน

เศษหนังเจียนที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นเศษหนังที่ได้จากโรงงานฟอกหนังแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ โดยเก็บตัวอย่างมาจากกองเศษหนังเจียนในโรงงานที่เพิ่งผ่านกระบวนการตัดแต่งแผ่นหนังฟอก

4.1.1 ลักษณะทั่วไป

เศษหนังเจียนมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ มีขนาดตั้งแต่เป็นผงจนถึงเป็นริ้วยาวคละกันไป มีสีฟ้าซึ่งเป็นสีของโครเมียม +3 ทนต่อการเน่าเปื่อยและย่อยสลายได้ยาก

4.1.2 ค่าความชื้น

เศษหนังที่นำมาทำการทดลองมีค่าความชื้นเฉลี่ย 63.18% เนื่องจากเศษหนังมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงและมีการกองทับกัน น้ำไม่สามารถระเหยออกไปได้ง่ายแม้จะกองทิ้งไว้เป็นเวลานาน ทำให้ความชื้นที่อยู่ในเศษหนังจึงยังคงมีค่ามาก

4.1.3 ความหนาแน่น (Bulk Density)

จากการทดลอง เศษหนังเจียนมีความหนาแน่น 89.71 กก./ลบ.ม. ซึ่งถือว่ามีความหนาแน่นไม่มากเมื่อเทียบกับของเสียทั่วไปที่เป็นของแข็ง เนื่องจากลักษณะของเศษหนังเจียนมีลักษณะโปร่ง และมีการอัดตัวกันน้อยหากกองทิ้งไว้เฉยๆ ทำให้ความหนาแน่นของเศษหนังมีค่าต่ำ แต่ในการขนส่งเพื่อนำไปทิ้ง ทางโรงงานฟอกหนังจะมีเครื่องอัดเศษหนังเพื่อลดปริมาตรก่อน

4.1.4 ปริมาณเถ้า

การทดลองหาปริมาณเถ้าโดยนำไปเผาที่ 600 องศาเซลเซียส จะมีน้ำหนักของขี้เถ้าเหลือเฉลี่ย 8.37 % ซึ่งเป็นลักษณะของของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ ที่จะต้องมีขี้เถ้าเหลือน้อย ส่วนที่ระเหยไปจะเป็นพวกสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic)

4.1.5 ความเป็นกรดด่าง

เศษหนังเจียนมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 3.7 ซึ่งเป็นกรดอ่อนๆ เนื่องจากในกรรมวิธีการฟอกหนัง ใช้ $Cr_2(SO_4)_3$ เป็นสารเคมีในการฟอก ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำให้ความเป็นกรด ดังสมการ

$$Cr_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3 + 6H^+ + 3SO_4^{2-}$$

4.1.6 ปริมาณโครเมียมในเศษหนัง

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีย่อยด้วยกรด พบว่าในเศษหนังเจียนมีปริมาณโครเมียมทั้งหมด 31.1 มก./กรัมเศษหนัง หรือประมาณ 3.11 % เมื่อเทียบกับน้ำหนักเศษหนัง แต่ไม่พบโครเมียม +6 อยู่เลย เป็นเพราะโครเมียมที่ใช้ในการฟอกหนังคือ $Cr_2(SO_4)_3$ ซึ่งเป็นโครเมียมประจุ +3

4.1.7 ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด

จากการนำเศษหนังเจียนมาวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พบว่าปริมาณโครเมียมมีค่า 20.02 มก./ลิตร และไม่พบโครเมียม +6 ในน้ำสกัดแต่อย่างใด ดังนั้นถือได้ว่าเศษหนังเจียนเป็นของเสียอันตรายเพราะมีค่าโครเมียมในน้ำสกัดเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 5 มก./ลิตร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดการเศษหนังเจียนก่อนนำไปทิ้งด้วยวิธีที่ถูกต้อง และเป็นไปตามประกาศกฎหมาย

4.1.8 ค่าความร้อน

เศษหนังเจียนแห้ง มีค่าความร้อนเฉลี่ย 3.95 กิโลแคลอรี/กรัม (กระดาษประมาณ 4.43 กิโลแคลอรี/กรัม) ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่เผาไหม้ได้ดี มีสารอินทรีย์สูง

4.2 ลักษณะสมบัติของขี้เถ้าของเศษหนังเจียน

หลังจากนำเศษหนังเจียนมาเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ1,200 องศาเซลเซียสแล้ว ขี้เถ้าที่ได้มีลักษณะสมบัติ ดังต่อไปนี้

4.2.1 ลักษณะทั่วไป

ขี้เถ้าจากการเผาเศษหนัง มีลักษณะเป็นฝุ่นผงสีเขียวเข้มถึงดำ ซึ่งเป็นสีของโครเมียม +3 มีเนื้อละเอียด สามารถฟุ้งกระจายในอากาศได้

4.2.2 ความหนาแน่น (Bulk Density)

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียสมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.31 0.39 และ 0.48 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งขี้เถ้าที่เผาที่อุณหภูมิสูงจะมีเนื้อละเอียดและอัดตัวกันแน่นมากกว่าขี้เถ้าที่เผาอุณหภูมิต่ำ ทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่ามากกว่า

4.2.3 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400, 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.16 1.38 และ 1.72 เนื่องจากขี้เถ้าที่อุณหภูมิ 400 มีความพรุนสูงกว่าขี้เถ้า 1,200 องศาเซลเซียส จึงมีมวลต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปริมาตรขี้เถ้าที่เท่ากัน จึงมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า

4.2.4 การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของขี้เถ้าที่จุด Optimum water content

ปริมาณน้ำที่ทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส ถึงจุด Optimum water content คือ 1.09 0.94 และ 0.79 เท่าของน้ำหนักขี้เถ้า ทำให้มีความหนาแน่นของขี้เถ้าเท่ากับ 1.27 1.33 และ 1.46 ตัน/ลบ.ม. ทั้งนี้เพราะขี้เถ้าเศษหนังเจียนเป็นวัสดุที่ดูดซึมน้ำได้มาก ทำให้ต้องใช้น้ำในปริมาณที่สูง จึงจะทำให้ขี้เถ้าถึงจุด Optimum water content ได้ ภายหลังดูดซึมน้ำจะมีลักษณะคล้ายซีเมนต์คือเกาะตัวเป็นก้อนได้ แต่เมื่อแห้งก็จะแตกร่อน ไม่เกาะตัว

4.2.5 ขนาดอนุภาค

ขนาดอนุภาคของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีขนาด 45.74 29.63 และ 13.48 ไมโครเมตร ซึ่งถือว่าเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก (แป้งฝุ่นมีขนาดประมาณ 10 ไมโครเมตร ดินเหนียว 20-60 ไมโครเมตร) ในการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ขี้เถ้าจะมีขนาดใหญ่กว่าเผาที่ 1,200 องศาเซลเซียส เนื่องจากขี้เถ้าที่ 400 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นสแล็ก (Slag) คือ ขี้เถ้าเกาะตัวเป็นก้อนเล็ก ๆ ยังเผาไหม้สารอินทรีย์ไม่หมด จนถึงขั้นที่ขี้เถ้ามีลักษณะเป็นผงเหมือนกับที่เผาในอุณหภูมิสูง ๆ

4.2.6 พื้นที่ผิว

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีขนาดพื้นที่ผิวเท่ากับ 0.216 0.277 และ 0.364 ตร.ม./กรัม (ปูนซีเมนต์มีพื้นที่ผิวประมาณ 0.16 ตร.ม./กรัม) เนื่องจากขี้เถ้าจากเศษหนังเจียนมีพื้นที่ผิวค่อนข้างสูง จึงมีโอกาสในการชะละลายของโลหะหนักได้มากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าการสกัดโครเมียมมีค่ามาก

4.3 Mass Balance ของมวลขี้เถ้าและปริมาณโครเมียมในขี้เถ้า

การทดลองนี้ทำการเผาเศษหนังเจียนน้ำหนัก 100 กรัมที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาที โดยจะทำการวัดน้ำหนักของมวลขี้เถ้า ปริมาณโครเมียมทั้งหมด และโครเมียม +6 ในขี้เถ้า ซึ่งจะนำมาหา Mass Balance ต่อไป

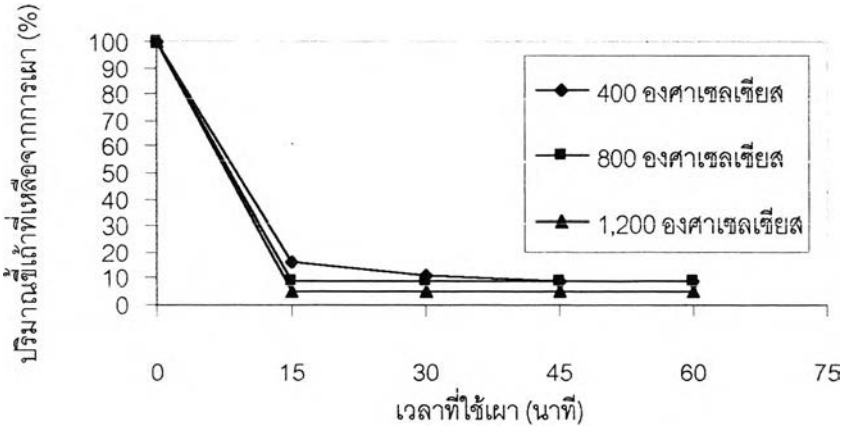
4.3.1 มวลของขี้เถ้า

จากการทดลองเผาเศษหนังเจียน 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาทีตามลำดับ ได้น้ำหนักที่เหลือของขี้เถ้า ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 มวลขี้เถ้าที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	มวลขี้เถ้าที่เหลือ (%) จากการเผาที่เวลาต่างๆ (นาที)			
	15	30	45	60
400	16.45	10.71	9.00	8.68
800	9.19	8.83	8.77	8.77
1,200	5.27	5.14	5.06	5.20

จากน้ำหนักของขี้เถ้าที่เหลือในการเผาแต่ละอุณหภูมิ จะเห็นว่าในช่วง 15 นาทีแรกของการเผา มวลของเศษหนังเจียนจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นก็จะลดลงด้วยสัดส่วนที่ต่ำลงจนเกือบคงที่ในที่สุด เนื่องจากเศษหนังเจียนเป็นของเสียที่เผาไหม้ได้ง่ายจึงใช้เวลาไม่นานนักในการเผาไหม้สารอินทรีย์ที่อยู่ในเศษหนังเจียนออกไป ซึ่งจะเห็นการลดลงอย่างชัดเจนในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้เผากับปริมาณขี้เถ้าที่เหลือจากการเผา

4.3.2 ปริมาณโครเมียมทั้งหมดก่อนและหลังเผา

ในการทดลองนี้ จะนำเศษหนังเจียน 100 กรัม ที่ทราบปริมาณโครเมียมทั้งหมดในเศษหนังแล้ว มาเผาในอุณหภูมิต่างๆ และวัดปริมาณโครเมียมทั้งหมดในขี้เถ้าอีกครั้ง และมาเปรียบเทียบถึงปริมาณโครเมียมที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโครเมียมทั้งหมด ก่อนและหลังเผา ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

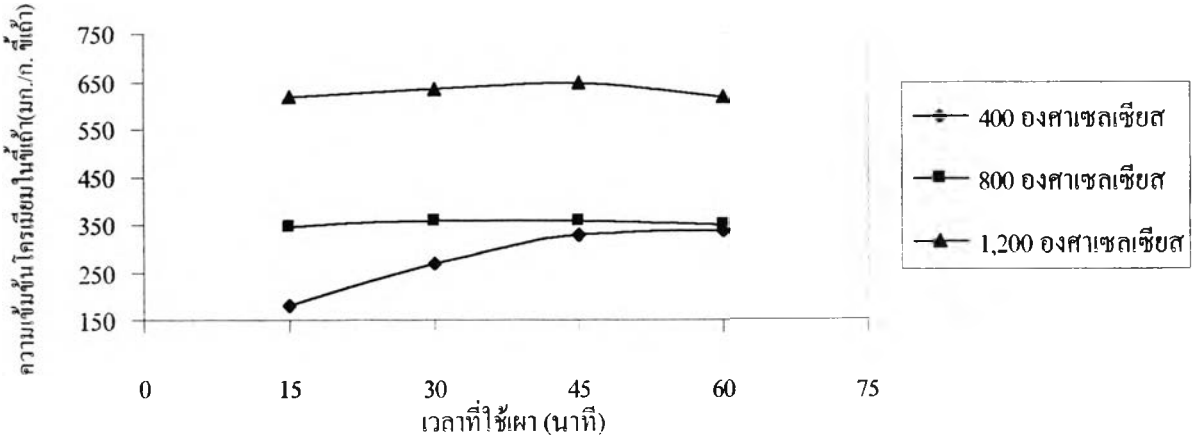
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของโครเมียม	เวลาที่ใช้เผา (นาที)				
		เริ่มต้น	15	30	45	60
400	ความเข้มข้น Cr ทั้งหมด (มก./กรัม)	29.51	177.77	271.19	327.69	338.38
	ปริมาณ Cr ทั้งหมด (มก.)	2,951	2,921.10	2,896.81	2,948.72	2,936.40
800	ความเข้มข้น Cr ทั้งหมด (มก./กรัม)	31.23	344.93	360.51	360.50	350.94
	ปริมาณ Cr ทั้งหมด (มก.)	3,123	3,165.44	3,184.23	3,160.28	3,078.67
1,200	ความเข้มข้น Cr ทั้งหมด (มก./กรัม)	32.57	616.31	637.13	648.43	618.68
	ปริมาณ Cr ทั้งหมด (มก.)	3,257	3,243.45	3,270.85	3,279.44	3,214.56

จากข้อมูลดังตาราง พบว่าขี้เถ้าหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในเศษหนังก่อนเผา 2,951 มก. และเมื่อเผาเป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาที โครเมียมทั้งหมดในขี้เถ้าที่เหลือ จะมีปริมาณใกล้เคียงกันกับในเศษหนังเจียนตอนแรก นั่นคือ มีปริมาณโครเมียมอยู่ในช่วงประมาณ 2,900 มก. โดยมีค่าคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเพียง 1 – 2 %

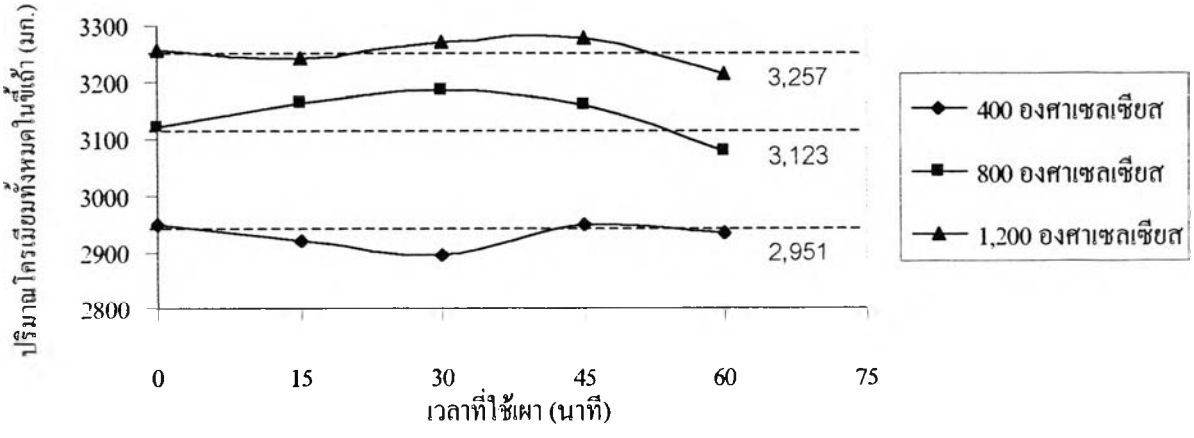
สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส ก็เป็นลักษณะเช่นเดียวกัน แม้ว่าจะมีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในเศษหนังเจียนก่อนเผาแตกต่างกันเล็กน้อย อันเนื่องจากเศษหนังเจียนแต่ละตัวอย่างที่ใช้เผามีโครเมียมไม่เท่ากัน แต่เมื่อเผาแล้ว โครเมียมที่อยู่ในขี้เถ้าก็มีค่าใกล้เคียงกันกับเศษหนังเจียนก่อนเผาทั้งสิ้น

นั่นแสดงว่าโครเมียมทั้งหมดที่อยู่ในเศษหนังเจียนไม่ระเหยกลายเป็นไอเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิ 400 – 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งสรุปได้ว่าโครเมียมส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมดจะอยู่ในขี้เถ้าก้นเตา ทั้งนี้จากการนำขี้เถ้าหลังการเผาไปวัดด้วยเครื่อง XRD (X-Ray Diffraction) พบว่าโครเมียมส่วนใหญ่ที่อยู่ในขี้เถ้า เป็นโครเมียมที่อยู่ในรูป Cr_2O_3 ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 2,435 ^{o}C และมีจุดเดือดสูงถึง 4,000 ^{o}C จึงทำให้ Cr_2O_3 ซึ่งมีจุดเดือดมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองที่ 400 - 1,200 องศาเซลเซียส ไม่สามารถระเหยเป็นไอได้ โครเมียมทั้งหมดจึงยังอยู่ในขี้เถ้านั่นเอง

ในการทดลองนี้ ทำการทดลองเผาเศษหนังเจียนด้วยเตาเผาขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ โดยที่ไม่มีการปั่นป่วนของอากาศ อันจะทำให้ขี้เถ้าของเศษหนังเจียนมีโอกาสที่จะฟุ้งกระจายตัวขึ้นไปในบรรยากาศได้ โดยมวลของขี้เถ้าทั้งหมดจะยังคงเป็นขี้เถ้าก้นเตา ดังนั้น ถ้าหากมีการทดลองเผาเศษหนังด้วยเตาเผาจริงที่มีการปั่นป่วนของอากาศ อาจจะทำให้ขี้เถ้าก้นเตากระจายตัวสู่บรรยากาศกลายเป็นเถ้าลอย ซึ่งจะทำให้โครเมียมบางส่วนเกาะติด และหลุดไปกับเถ้าลอยได้ด้วย นั่นหมายถึง การเผาเศษหนังเจียนถึงแม้ว่าโครเมียมจะไม่ระเหยกลายเป็นไอก๊าซ แต่ก็ยังมีโอกาสที่จะกระจายตัวสู่บรรยากาศได้โดยหลุดไปกับเถ้าลอยนั่นเอง ซึ่งถ้าหากมีการกำจัดเศษหนังเจียนด้วยการเผา ก็ควรที่จะพิจารณาถึงการบำบัดมลภาวะทางอากาศที่อาจเกิดขึ้นด้วย



รูปที่ 4.2 กราฟความเข้มข้นโครเมียมทั้งหมดที่อยู่ในขี้เถ้าที่เวลาเผาต่างๆ



รูปที่ 4.3 กราฟปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่อยู่ในขี้เถ้าที่เวลาเผาต่างๆ

4.3.3 ปริมาณโครเมียม +6 ที่เกิดขึ้นในขี้เถ้าหลังการเผา

เป็นการศึกษาถึงปริมาณของโครเมียม +6 ที่อยู่ในขี้เถ้าหลังการเผา ซึ่งตอนแรกในเศษหนังเจียนจะมีเพียงแค่โครเมียม +3 เท่านั้น แต่เมื่อนำเศษหนังเจียนมาเผา พบว่าในขี้เถ้าของเศษหนังเจียน มีโครเมียม +6 เกิดขึ้น ในปริมาณต่างๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโครเมียม +6 ก่อนและหลังเผา ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณของโครเมียม	เวลาที่ใช้เผา (นาที)				
		เริ่มต้น	15	30	45	60
400	ความเข้มข้น Cr +6 (มก./กรัม)	0	1.12	2.7	5.57	6.04
	ปริมาณ Cr +6 (มก.)	0	18.41	28.78	50.11	51.99
800	ความเข้มข้น Cr +6 (มก./กรัม)	0	2.64	3.74	5.51	7.90
	ปริมาณ Cr +6 (มก.)	0	24.31	33.01	48.34	69.32
1,200	ความเข้มข้น Cr +6 (มก./กรัม)	0	8.71	9.27	11.14	11.41
	ปริมาณ Cr +6 (มก.)	0	45.68	47.63	56.35	59.31

จากผลการทดลองเห็นว่า เศษหนังเจียนหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 30 45 และ 60 นาทีแล้ว จะมีปริมาณโครเมียม +6 เพิ่มขึ้นในขี้เถ้าตามเวลาที่เผา คือ จะมีปริมาณโครเมียม +6 เท่ากับ 18.41 28.78 50.11 และ 51.99 มก. ตามลำดับ และในการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส ก็มีลักษณะเป็นเช่นเดียวกัน

เนื่องจากเศษหนังก่อนเผามีเพียงโครเมียม +3 เท่านั้น ไม่มีโครเมียม +6 เลย ดังนั้น โครเมียม +6 ที่พบอยู่ในขี้เถ้า จึงเป็นโครเมียม +6 ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผา ซึ่งสอดคล้องกับ Brunner (1993) ที่กล่าวว่า ของเสียที่มีโครเมียม +3 มีโอกาสที่จะเปลี่ยนรูปไปเป็นโครเมียม +6 ถ้ามีการเผาด้วยความร้อนสูง

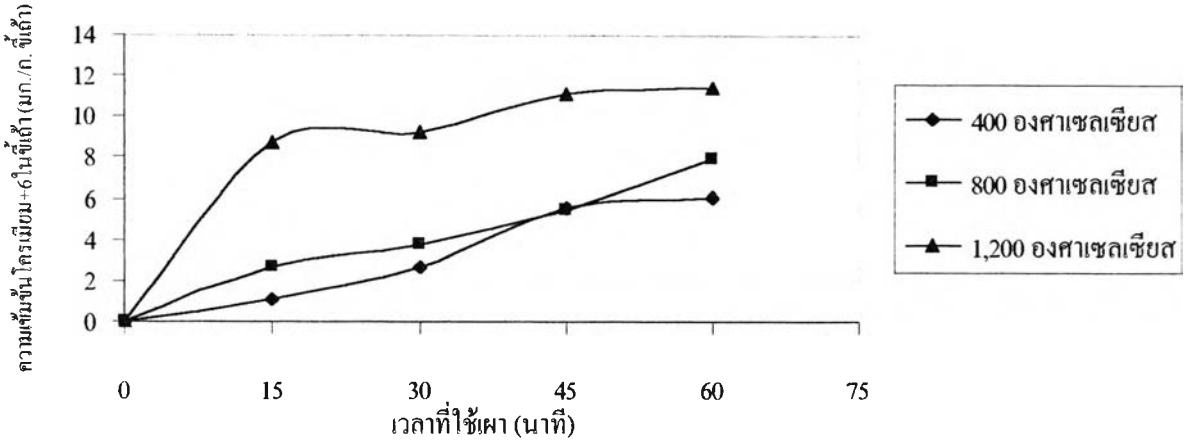
จากการทดลองจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของปริมาณโครเมียม +6 ที่เกิด คาดว่าเป็นไปดังสมการเคมีโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้เผา กล่าวคือ หากใช้เวลาในการเผามากขึ้น ปริมาณโครเมียม +6 ก็จะเกิดขึ้นมาก เช่นเดียวกับระดับอุณหภูมิ หากใช้อุณหภูมิยิ่งสูงในการเผา ปริมาณโครเมียม +6 ที่เกิด ก็จะมากขึ้นเช่นกัน ดังความสัมพันธ์ดังนี้

ปริมาณโครเมียม +6 ที่เกิดจากการเผา $\propto$ เวลาที่เผา อุณหภูมิที่เผา

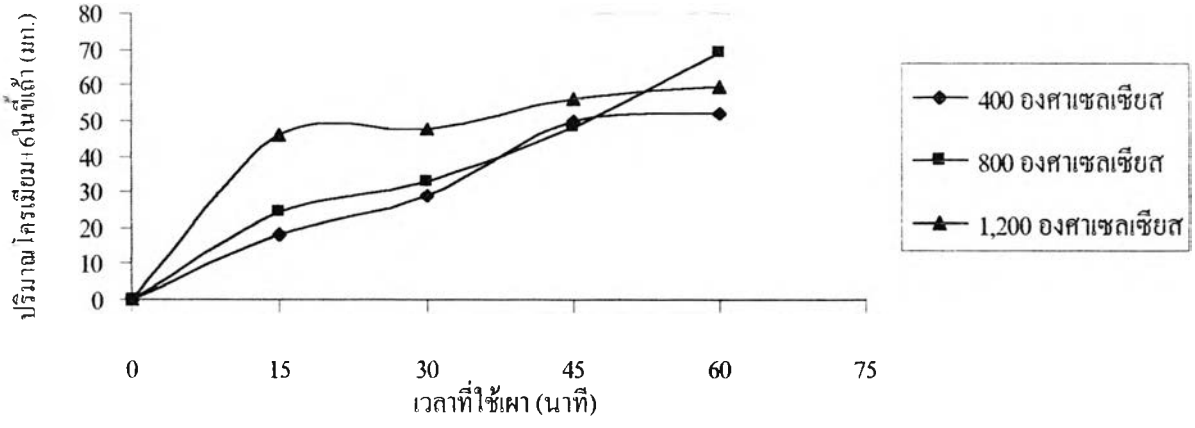
นั่นเป็นเพราะว่าการเกิดของโครเมียม +6 เป็นปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ด้วย O_2

$$Cr^{3+} + O_2 \xrightarrow{\Delta} Cr^{6+} + O^{2-}$$

ซึ่งหากระยะเวลามากขึ้น ปฏิกิริยาก็จะเกิดได้มากขึ้นและถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.4 กราฟความความเข้มข้นโครเมียม +6 ที่อยู่ในขี้เถ้าที่เผาเวลาเผาต่างๆ



รูปที่ 4.5 กราฟปริมาณโครเมียม +6 ที่อยู่ในขี้เถ้าที่เวลาเผาต่างๆ

4.4 การทำเป็นก้อนแข็ง

การทดลองนี้ จะเป็นการทำขี้เถ้าจากการเผาเศษหนังให้เป็นก้อนแข็ง โดยนำขี้เถ้าที่ได้จากการเผาที่ 3 อุณหภูมิได้แก่ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มาทำเป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสาน 2 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ และปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1) เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ในการทำเป็นก้อนแข็ง จะทำการแปรค่าสัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานเพื่อหาค่าสัดส่วนที่เหมาะสมก่อน โดยค่าที่เลือกจะเป็นปริมาณวัสดุประสานที่ใช้น้อยที่สุด ที่ทำให้ก้อนตัวอย่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานการสกัดและค่ากำลังรับแรงอัดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม หลังจากนั้นจะแปรค่าปริมาณน้ำและหาค่าที่เหมาะสมในการทำก้อนแข็งต่อไป

ซึ่งในการศึกษา จะทำการคงที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 โดยในขั้นแรกจะหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับขี้เถ้าก่อน พบว่าปริมาณน้ำที่ทำให้ขี้เถ้าหลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียสมีความหนาแน่นมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 109 94 และ 79 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งการหาปริมาณน้ำนี้ ก็เพื่อใช้บวกเพิ่มให้กับปริมาณน้ำที่จะใช้ผสมกับวัสดุประสานซึ่งใช้ค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่เท่ากับ 0.5 แล้วจึงทำการหล่อให้เป็นก้อนแข็ง บ่ม 28 วัน แล้วนำไปทดสอบหาค่าการสกัดโครเมียม ค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นต่อไป

4.4.1 การเลือกขี้เถ้าในการทำเป็นก้อนแข็ง

เนื่องจากโครเมียมที่เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การชะละลายโครเมียมออกจากก้อนตัวอย่างมีค่ามาก คือโครเมียม +6 ซึ่งจะมีปริมาณเกือบทั้งหมดของโครเมียมที่ชะละลายออกมา (มากกว่าโครเมียม +3 มาก) เนื่องจากโครเมียม +6 มีความสามารถในการละลายน้ำสูงประกอบกับโครเมียม +3 ที่อยู่ในขี้เถ้า ถึงแม้จะมีปริมาณมากกว่าโครเมียม+6 มาก แต่ก็อยู่ในรูป Cr_2O_3 ซึ่งเป็นโครเมียมในรูปที่ละลายน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกขี้เถ้าที่มีปริมาณโครเมียม +6 น้อยที่สุดมาทำการทดลองต่อไป เพราะจะทำให้การสกัดโครเมียมออกมาได้น้อยและประหยัดวัสดุประสานในการทำเป็นก้อนแข็ง นั่นคือ เลือกการเผาเศษหนังนาน 15 นาทีในทุกอุณหภูมิของการเผา เนื่องจากขี้เถ้าที่ได้จากการเผาที่เวลา 15 นาที ใช้พลังงานในการเผาน้อยที่สุดและมีน้ำหนักลดลงจนเกือบจะคงที่ ซึ่งในส่วนของตัวเศษหนังเจียน มีค่าความร้อนสูงอยู่แล้วจึงสามารถเผาไฟได้ง่าย ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาน้อยก็ตาม แต่ทั้งนี้ ในการเผาไหม้ที่เวลา 15 นาที เตาเผาดังกล่าว ต้องมีอากาศพอเพียง และกระจายอย่างทั่วถึงในการเผาด้วย

จากเหตุผลดังกล่าว จึงเลือกที่จะนำขี้เถ้าที่มีคุณลักษณะตรงกับขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที มาทำเป็นก้อนแข็งต่อไป

4.4.2 การหาสัดส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสม

การเลือกสัดส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสม จะต้องพิจารณาว่าสัดส่วนใดที่จะใช้วัสดุประสานน้อยที่สุด และสามารถทำให้ก้อนแข็งมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ได้

4.4.2.1 ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด

ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมจะต้องมีโครเมียมไม่เกิน 5 มก./ลิตร และจากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 แสดงถึงสัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานและปริมาณโครเมียมทั้งหมด ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดของก้อนแข็ง เมื่อมีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)		ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)		ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)	
	Cr ทั้งหมด	Cr +6	Cr ทั้งหมด	Cr +6	Cr ทั้งหมด	Cr +6
ขี้เถ้า	45.72	39.76	89.21	78.83	410.39	406.18
1:1	16.19	14.13	34.74	29.27	87.09	85.66
1:2	9.63	8.41	25.76	18.41	29.55	28.84
1:3	4.35	3.83	8.21	7.58	10.14	9.85
1:4	2.31	2.00	3.87	3.72	5.93	5.78
1:5	1.55	1.45	2.71	2.52	4.37	4.26
1:6	1.48	1.43	2.43	1.90	2.96	2.73
มาตรฐาน	< 5 มก./ลิตร					

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดของก้อนแข็ง เมื่อมีปูนซีเมนต์+ปูนขาว (1:1) เป็นวัสดุประสาน

สัดส่วนขี้เถ้าต่อ ปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1)	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)		ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)		ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)	
	Cr ทั้งหมด	Cr +6	Cr ทั้งหมด	Cr +6	Cr ทั้งหมด	Cr +6
ขี้เถ้า	45.72	39.76	89.21	78.83	410.39	406.18
1:1	18.23	15.68	38.65	32.31	92.09	88.52
1:2	11.58	10.03	22.63	21.42	39.55	38.89
1:3	6.83	6.00	12.29	10.49	13.49	13.21
1:4	2.88	2.56	5.68	5.21	7.97	7.71
1:5	2.01	1.90	3.33	2.83	6.31	6.11
1:6	1.72	1.63	2.43	2.31	4.55	4.01
มาตรฐาน	< 5 มก./ลิตร					

จากผลการทดลองดังตาราง สามารถสรุปได้ดังนี้

คุณสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสก่อนที่จะนำมาใช้ทำก้อนแข็ง มีปริมาณโครเมียมทั้งหมด 301.22 มก./กรัมขี้เถ้า และมีปริมาณโครเมียม +6 1.36 มก./กรัมขี้เถ้า หลังการผสมทำเป็นก้อนแข็งมีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในน้ำสกัด 45.72 มก./ลิตร โดยเป็นโครเมียม +6 39.76 มก./ลิตร จึงจัดได้ว่าขี้เถ้าที่นำมาทดลองเป็นของเสียอันตราย และเมื่อนำมาผสมกับวัสดุประสานในสัดส่วนที่เหมาะสมและทำการทดสอบการสกัด จะได้ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน กล่าวคือ

เมื่อผสมขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ในสัดส่วน 1:3 พบว่ามีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในน้ำสกัด 4.35 มก./ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณโครเมียม +6 3.83 มก./ลิตร สำหรับการผสมขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1) ในสัดส่วน 1:4 พบว่ามีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในน้ำสกัด 2.88 มก./ลิตร ซึ่งเป็นปริมาณโครเมียม +6 2.56 มก./ลิตร ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

สำหรับคุณสมบัติของขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำมาใช้ทำก้อนแข็ง มีปริมาณโครเมียมทั้งหมด 316.44 มก./กรัมขี้เถ้า และมีปริมาณโครเมียม +6 2.34 มก./กรัมขี้เถ้า ส่วนขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1,200 องศาเซลเซียส มีปริมาณโครเมียมทั้งหมด 392.53 มก./กรัมขี้เถ้า และมีปริมาณโครเมียม +6 8.74 มก./กรัมขี้เถ้า ซึ่งปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดจากก้อนแข็งของขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส ก็เป็นไปตามตารางที่ 4.4 และ 4.5 ดังที่แสดงไว้ข้างต้น

จากผลการทดลองดังกล่าว เห็นได้ว่า สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานที่ทำให้ค่าการสกัดโครเมียมทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานมีสัดส่วนที่แตกต่างกันไป โดยขี้เถ้าจากการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสจะต้องผสมขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ในสัดส่วน 1:3 จึงจะทำให้ค่าการสกัดโครเมียมทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และจะต้องใช้สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็น 1:4 และ 1:5 ในขี้เถ้าจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียสตามลำดับ ค่าการสกัดโครเมียมจึงจะผ่านมาตรฐาน นั่นเป็นเพราะว่าขี้เถ้าจากการเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ จะมีปริมาณโครเมียม +6 มากกว่าขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิต่ำ ทำให้ต้องใช้ปูนซีเมนต์ปริมาณที่มากกว่า ในการบำบัดโครเมียม

ซึ่งจะเป็นเช่นเดียวกันสำหรับการใช้ปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) เป็นวัสดุประสาน นั่นคือ ในขี้เถ้าที่เผาที่อุณหภูมิสูงๆ จะต้องใช้สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) เพิ่มมากขึ้น จึงจะทำให้ค่าการสกัดโครเมียมทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

โดยจากผลการทดลองสามารถสรุปและอธิบายได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมทั้งหมด และโครเมียม +6 ในขี้เถ้าเศษหนัง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

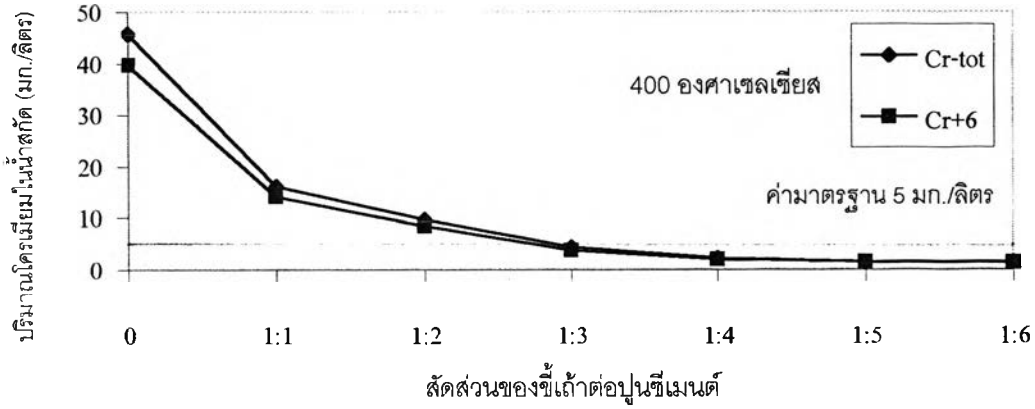
- ปริมาณของวัสดุประสาน : ในสัดส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าที่มากขึ้น ค่าการสกัดของโครเมียมจะน้อยลง เนื่องจากการทำเป็นก้อนแข็งจะอาศัยปฏิกิริยาไฮเดรชันและการตกตะกอนทางเคมีของโลหะหนัก ทำให้เกิดการความเสถียรขึ้น ซึ่งถ้าหากมีปริมาณวัสดุประสานต่อขี้เถ้ามาก โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวก็มากขึ้นตามไปด้วย

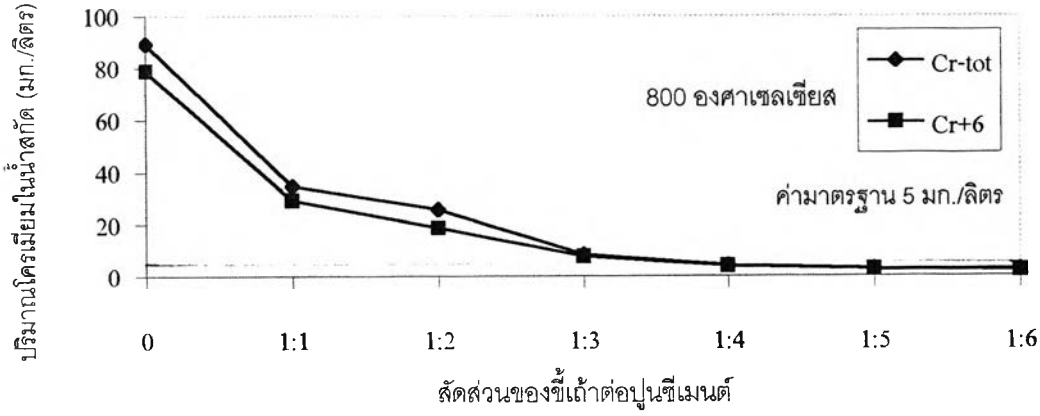
- ชนิดวัสดุประสาน : การใช้ปูนซีเมนต์จะกำจัดโครเมียมได้ดีกว่าปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) เพราะว่าในปูนซีเมนต์ประกอบด้วย CaO SiO_2 และ Al_2O_3 ต่างจากปูนขาวที่มีเพียง CaO อย่างเดียว ปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงเกิดได้ไม่ดีเท่าปูนซีเมนต์ และจากการนำขี้เถ้าเศษหนังไปวัดด้วยเครื่อง XRF พบว่า ในขี้เถ้าเศษหนังเจียนเอง ก็ไม่มีปริมาณ SiO_2 และ Al_2O_3 มากพอจนถึงขั้นช่วยทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับแคลเซียมในปูนขาวให้เกิดสมบูรณ์ได้

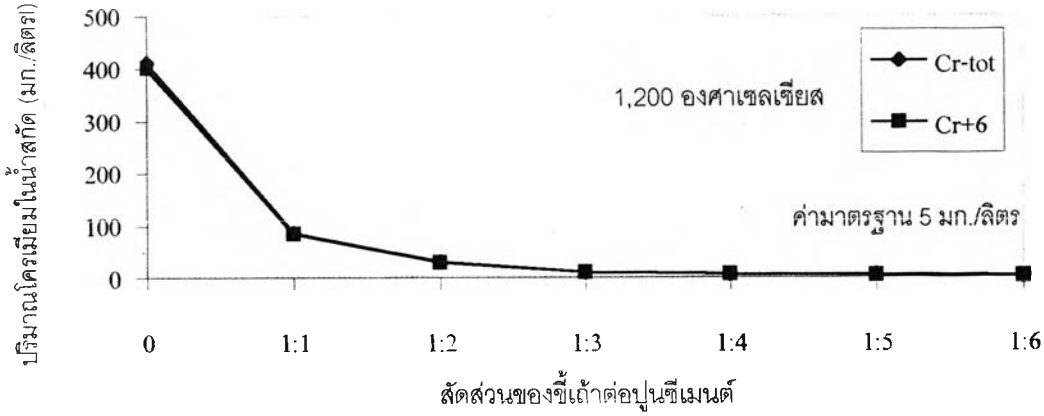
ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับ Bishop (1988) ที่ได้ศึกษาพบว่า โครเมียมเป็นโลหะหนักที่ถูกยึดติดอยู่ในโครงสร้างของซิลิกาได้มากกว่าที่จะตกตะกอนอยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ ดังนั้นในการทำเป็นก้อนแข็งโดยใช้ปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) เป็นวัสดุประสาน ซึ่งมีปริมาณของซิลิกาน้อยกว่าการใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว จึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมได้น้อยกว่านั่นเอง

- ปริมาณโครเมียมในขี้เถ้า : โครเมียม +6 เป็นตัวที่ทำให้เกิดปัญหาในการทำเป็นก้อนแข็งมากกว่าโครเมียม +3 โดยโครเมียม +3 ในขี้เถ้าส่วนใหญ่อยู่ในรูป Cr_2O_3 มีความสามารถละลายน้ำได้น้อยอยู่แล้ว ถึงแม้ในบางส่วนที่สามารถละลายออกมาได้นั้น ก็จะทำปฏิกิริยากับ OH^- ในวัสดุประสาน แล้วตกตะกอนเป็น $Cr(OH)_3$ ต่อไป ทำให้ค่าโครเมียม +3 ที่สกัดออกมามีค่าน้อยมาก แต่โครเมียม +6 เป็นโครเมียมที่ถูกสกัดออกมามากกว่า เนื่องจากโครเมียม +6 เป็นโครเมียมที่สามารถละลายน้ำได้ง่ายและไม่ตกตะกอนกับ OH^- ทำให้การทำเสถียรโครเมียม +6 จึงต้องใช้วัสดุประสานในปริมาณมาก จนอาจถือได้ว่ากระบวนการกำจัดโครเมียมดังกล่าว น่าจะเป็นการเจือจางส่วนผสมของขี้เถ้ากับวัสดุประสานมากกว่า

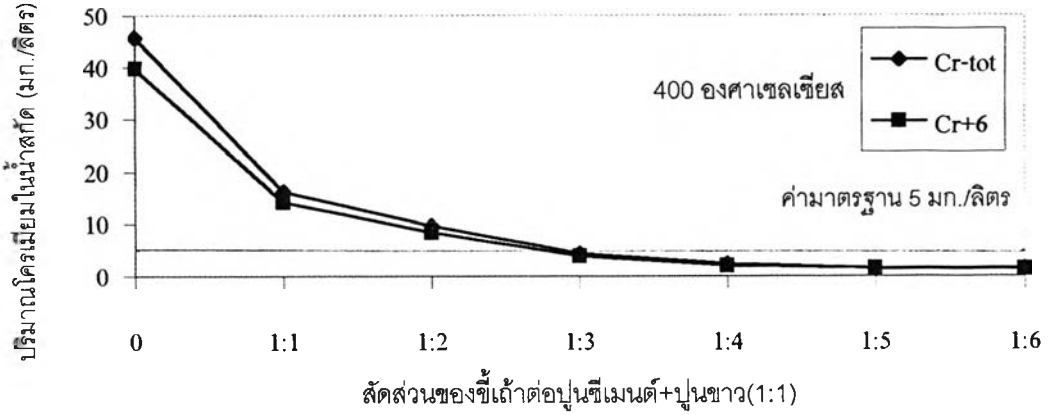
สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานของก้อนแข็งขี้เถ้าเศษหนังเจียนในทุกอุณหภูมิที่เผาข้างต้น เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ เพราะใช้วัสดุประสานน้อยที่สุดและสามารถทำให้ค่าการสกัดโครเมียมทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้นำสัดส่วนดังกล่าว มาตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นต่อไป

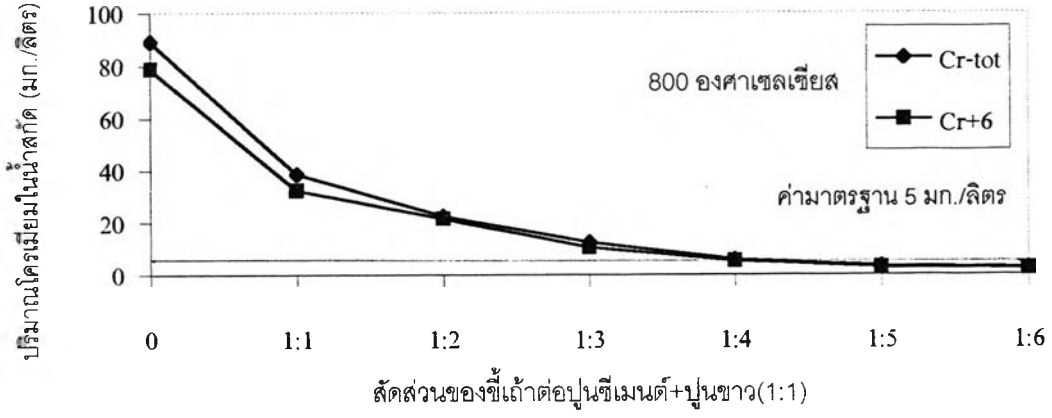


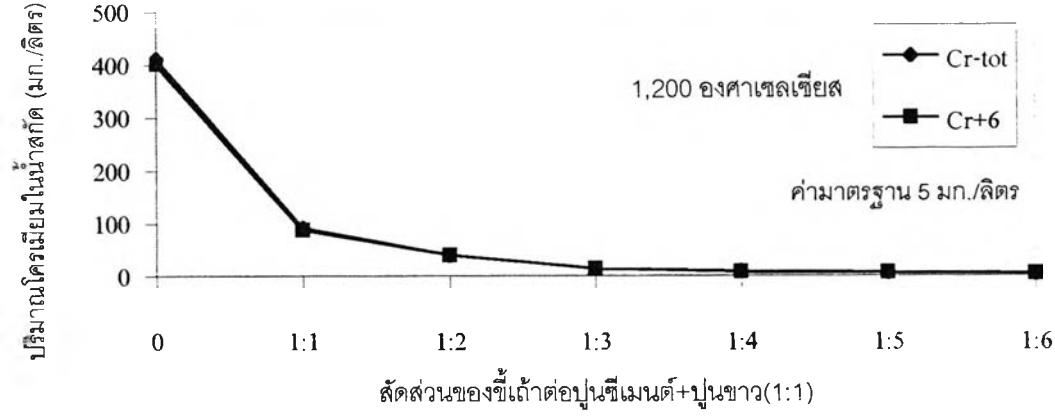




รูปที่ 4.6 กราฟปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดกับสัดส่วนของขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์







รูปที่ 4.7 กราฟปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดกับสัดส่วนของขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว (1:1)

4.4.2.2 ค่ากำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบการสกัดของโครเมียมทั้งหมด ในหัวข้อ 4.4.2.1 จะได้สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม ซึ่งมีปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จึงนำสัดส่วนดังกล่าวมาตรวจสอบค่ากำลังรับแรงอัด ว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้วยหรือไม่ โดยมีผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4.6 คือ

ตารางที่ 4.6 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็ง จากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิต่างๆ

สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสาน	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	
	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว
1:1	22.2	19.6	14.1	15.1	14.7	15.9
1:2	58.2	39.0	50.9	35.5	38.0	34.0
1:3	80.5	52.3	67.3	77.3	49.3	55.6
1:4	103.9	95.1	86.6	85.2	91.8	86.9
1:5	129.1	104.1	110.9	97.3	114.9	95.8
1:6	139.1	118.2	140.9	109.6	138.1	111.8
วัสดุประสาน 100%	215.4	220.5	215.4	220.5	215.4	220.5
มาตรฐาน	> 3.5 กก./ตร.ซม.					

จากผลการทดลองในตาราง แสดงผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งที่ใช้ขี้เถ้าจากการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่า ในปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนั้น จะต้องใช้สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ที่ 1:3 และขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) ที่สัดส่วน 1:4 ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์สัดส่วน 1:3 เท่ากับ 80.5 กก./ตร.ซม. และค่ากำลังรับแรงอัดของขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) ที่สัดส่วน 1:4 มีค่าเท่ากับ 95.1 กก./ตร.ซม.

สำหรับก้อนแข็งที่ใช้ขี้เถ้าจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด เป็นไปดังตารางข้างต้น

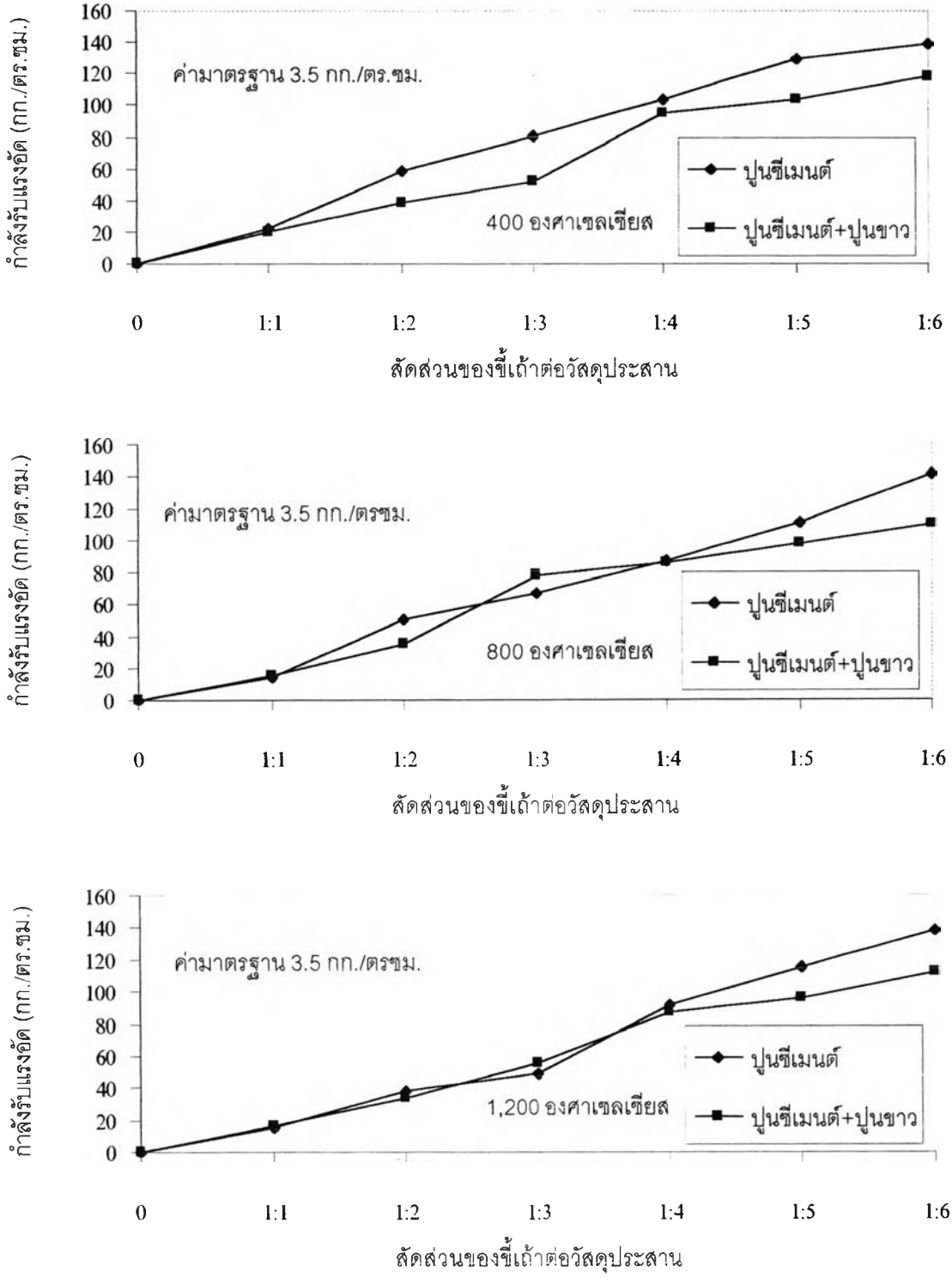
ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 กำหนดไว้ว่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.5 กก./ตร.ซม. จึงจะสามารถนำไปฝังกลบได้โดยปลอดภัย ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในทุกสัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสาน มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าค่าที่กำหนดมาก จึงไม่เป็นปัญหาในเรื่องความแข็งแรงของก้อนแข็งเลย และก้อนแข็งที่ได้มีลักษณะเหมือนปูนฉาบ มีความคงทน ไม่โดนกัดกร่อนเมื่อโดนชะด้วยน้ำ จึงมีความเหมาะสมในการนำไปฝังกลบต่อไป

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในตาราง 4.6 สามารถสรุปและอธิบายลักษณะการทำเป็นก้อนแข็งของขี้เถ้าเศษหนังเจียนได้ ดังนี้

- เมื่อเพิ่มสัดส่วนของวัสดุประสานเทียบกับขี้เถ้าทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีเพียงวัสดุประสานเท่านั้นที่ทำให้เกิดการก่อและจับตัวในก้อนแข็ง ส่วนขี้เถ้าไม่มีคุณสมบัติที่จะก่อตัวเป็นก้อนแข็ง เพราะมีสารที่เป็นส่วนสำคัญในการก่อตัวคือ CaO Al_2O_3 และ SiO_2 น้อยมาก

- การใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ให้ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งได้สูงกว่าการใช้ปูนขาว+ปูนซีเมนต์(1:1)เป็นวัสดุประสาน เพราะว่าในปูนซีเมนต์มีสารประกอบพวก CaO SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งเป็นออกไซด์หลักในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอยู่ครบถ้วน ทำให้ซีเมนต์ที่ก่อตัว เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงได้อย่างสมบูรณ์ แต่ในปูนขาวมีเพียง CaO เป็นส่วนประกอบหลักเท่านั้น ซึ่งโดยตัวมันเองไม่สามารถก่อตัวเป็นก้อนแข็งได้ ดังนั้นก้อนแข็งที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว จึงให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่า

- โครเมียม +6 ไม่มีผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็ง เนื่องจากขี้เถ้าที่มีปริมาณโครเมียม +6 มาก (ขี้เถ้าที่เผา 1,200 องศาเซลเซียส) ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งที่ได้มีค่าไม่ต่างจากก้อนแข็งจากขี้เถ้าที่มีปริมาณโครเมียม +6 น้อย (ขี้เถ้าที่เผา 400 องศาเซลเซียส) ในชนิดและสัดส่วนวัสดุประสานที่เท่า ๆ กัน



รูปที่ 4.8 กราฟกำลังรับแรงอัดกับสัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสาน จากขี้เถ้าที่เผาอุณหภูมิต่างๆ

4.4.2.3 ความหนาแน่นของก้อนแข็ง

จากการทดสอบการสกัดของโครเมียมทั้งหมด ในหัวข้อ 4.4.2.1 จะได้สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานที่มีปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยการศึกษาในหัวข้อนี้ ได้ทำการตรวจสอบความหนาแน่นของก้อนแข็ง ที่สัดส่วนผสมดังกล่าวข้างต้น ว่าจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้วยหรือไม่ โดยมีผลการศึกษาดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความหนาแน่นของก้อนแข็งจากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิต่างๆ

สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสาน	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)		ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)		ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)	
	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว
ขี้เถ้า 100%	1.27	1.27	1.33	1.33	1.46	1.46
1:1	1.67	1.65	1.66	1.64	1.76	1.74
1:2	1.75	1.72	1.74	1.68	1.82	1.76
1:3	1.77	1.71	1.77	1.72	1.85	1.78
1:4	1.81	1.75	1.80	1.73	1.86	1.83
1:5	1.82	1.78	1.81	1.75	1.89	1.85
1:6	1.84	1.79	1.82	1.77	1.91	1.85
วัสดุประสาน 100%	1.83	1.82	1.83	1.82	1.83	1.82
มาตรฐาน	> 1.15 ตัน/ลบ.ม.					

จากผลการทดลองในตาราง แสดงความหนาแน่นของก้อนแข็งจากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่า ก้อนแข็งที่มีปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จะต้องใช้สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ที่ 1:3 และ ขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) ที่สัดส่วน 1:4 ซึ่งเมื่อนำตัวอย่างที่ใช้ส่วนผสมดังกล่าวมาวัดความหนาแน่นของก้อนแข็ง พบว่าความหนาแน่นของก้อนแข็งของขี้เถ้าผสมปูนซีเมนต์ที่สัดส่วน 1:3 เท่ากับ 1.77 ตัน/ลบ.ม. และ ความหนาแน่นของก้อนแข็งจากขี้เถ้าผสมปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) ที่สัดส่วน 1:4 จะมีค่าเท่ากับ 1.76 ตัน/ลบ.ม.

สำหรับความหนาแน่นของก้อนแข็งจากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าดังที่แสดงไว้ ตามตารางข้างต้น

อนึ่ง ความหนาแน่นของก้อนแข็งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 กำหนดไว้ว่าต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.15 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าความหนาแน่นของก้อนแข็งในทุกอุณหภูมิการเผาและทุกสัดส่วนวัสดุประสาน มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น จึงมีความปลอดภัยพอสำหรับการนำไปฝังกลบ และจากรูปที่ 4.9 เห็นได้ว่าความหนาแน่นของก้อนแข็งเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุประสานมีความหนาแน่นมากกว่าขี้เถ้า เมื่อเพิ่มสัดส่วนวัสดุประสานลงไปมากขึ้น ก้อนแข็งจึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นนั่นเอง

4.4.2.4 ค่า pH ของน้ำสกัด

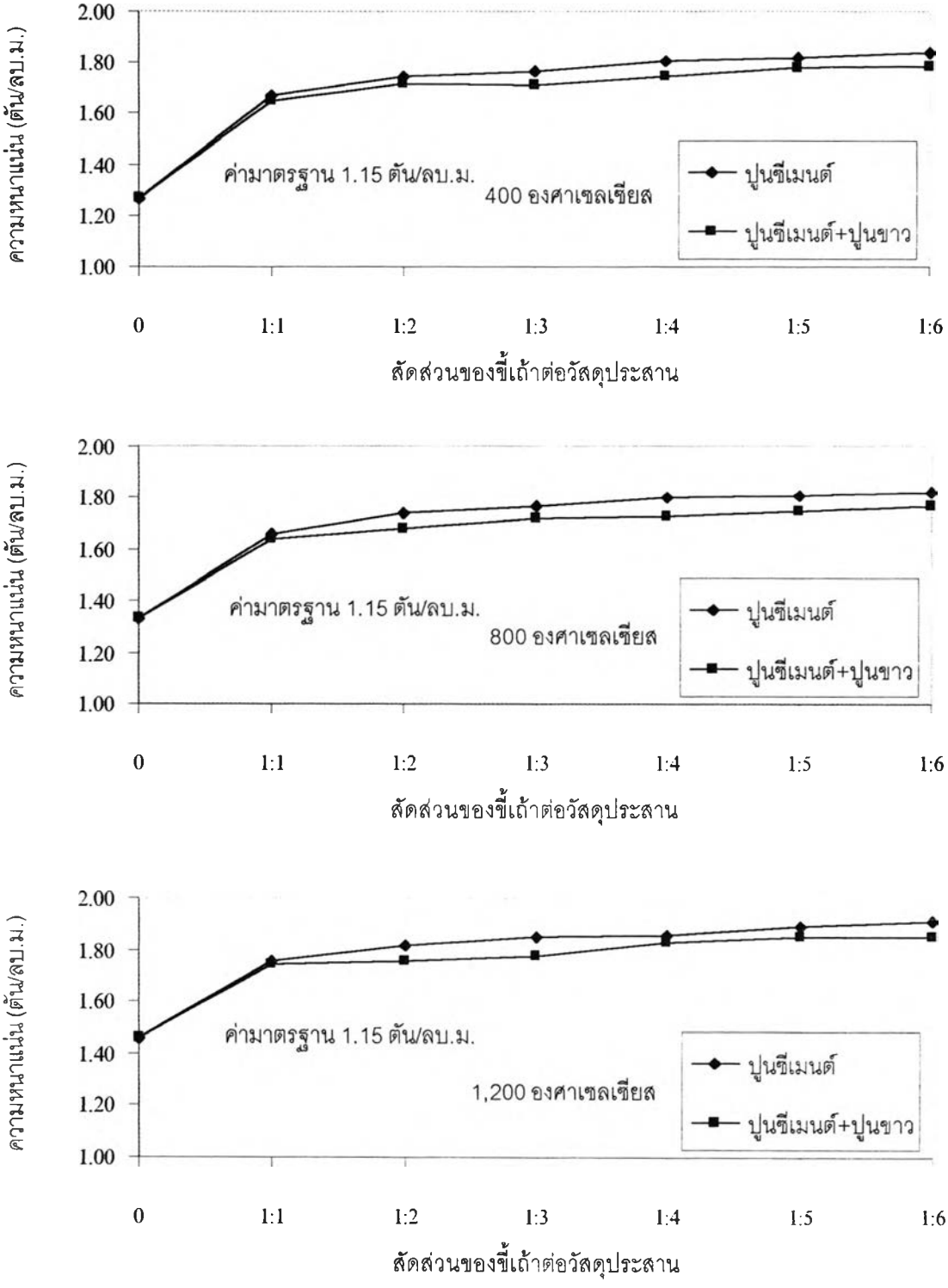
ค่า pH ของน้ำสกัดมาตรฐานก่อนนำไปทดสอบอยู่ที่ 5.5 ตามกรรมวิธีทดสอบการสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 แต่เมื่อนำก้อนแข็งมาทำการสกัดโครเมียม พบว่าค่า pH ที่วัดได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่า pH สุดท้ายหลังการสกัดที่ 5.2 ส่วนขี้เถ้าที่ผสมปูนซีเมนต์ และที่ผสมปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1)ในทุกสัดส่วน พบว่ามีค่า pH อยู่ในช่วง 12.4 - 12.6

ส่วนขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีค่า pH สุดท้ายหลังการสกัดที่ 6.5 ส่วนขี้เถ้าที่ผสมปูนซีเมนต์ และที่ผสมปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1)ในทุกสัดส่วน ค่า pH ที่วัดได้ อยู่ในช่วง 12.4 - 12.6

สำหรับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่า pH สุดท้ายหลังการสกัดที่ 9.4 ส่วนขี้เถ้าที่ผสมปูนซีเมนต์ และที่ผสมปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1)ในทุกสัดส่วน พบว่ามีค่า pH อยู่ในช่วง 12.4 - 12.6 เช่นเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าขี้เถ้าที่ผสมวัสดุประสาน มีค่า pH ที่สูงขึ้นมาก คืออยู่ในช่วง 12.4-12.6 และเป็นค่า pH ที่ใกล้เคียงกับของปูนซีเมนต์ และปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) นั่นแสดงว่าวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด มีผลต่อค่า pH สุดท้ายในน้ำสกัดมาก โดย pH ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจาก OH^- ที่อยู่ในตัวมันนั่นเอง การที่ค่า pH ในน้ำสกัดเพิ่มขึ้นจนเป็นด่างแก่ จะไม่มีผลมากนักต่อการชะละลายของ Cr_2O_3 ซึ่งเป็นโครเมียมในรูป +3 ที่อยู่ในขี้เถ้า เพราะ Cr_2O_3 มีความเสถียรสูงและละลายน้ำได้น้อยมาก และโครเมียมที่อยู่ในน้ำสกัดส่วนใหญ่เป็นโครเมียม+6 ซึ่งไม่ตกตะกอนกับ OH^- เช่นกัน ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของค่า pH หรือปริมาณของ OH^- จึงไม่มีผลต่อความเข้มข้นโครเมียม +6 ที่ชะละลายออกในน้ำสกัด



รูปที่ 4.9 กราฟความหนาแน่นกับสัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสาน จากขี้เถ้าที่เผาอุณหภูมิต่างๆ

4.4.3 การหาสัดส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อนำส่วนผสมที่มีสัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม มาแปรค่าหาอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน เพื่อหาปริมาณน้ำที่ดีที่สุดในการทำให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งได้ทำการแปรสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 3 ค่า คือ 0.3 0.5 และ 0.7 โดยนำน้ำที่จะผสมกับวัสดุประสาน ในสัดส่วนดังกล่าว ไปบวกเพิ่มกับน้ำที่ทำให้ขี้เถ้าถึงจุด Optimum water content จากการทดลองที่ 4.2.4 ก่อนแล้วจึงทำการหล่อผสมเป็นก้อน และวัดปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น รวมถึงพิจารณาความสะดวกในการนำไปใช้

4.4.3.1 ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด เมื่อแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

จากการทดลองในหัวข้อ 4.4.2 ทำให้เราทราบสัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม โดยมีการคงที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมของก้อนแข็ง ในแต่ละอุณหภูมิที่เผา

สัดส่วนขี้เถ้าต่อวัสดุประสาน ที่เหมาะสม	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว
	1:3	1:4	1:4	1:5	1:5	1:6

ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจาก 0.5 เป็น 0.3 และ 0.7 โดยที่ยังคงใช้วัสดุประสาน และขี้เถ้าเหมือนเดิม ซึ่งสามารถวัดปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดได้ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดของก้อนแข็ง เมื่อทำการแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุประสาน	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)		ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)		ปริมาณโครเมียม (มก./ลิตร)	
	Cr ทั้งหมด	Cr +6	Cr ทั้งหมด	Cr +6	Cr ทั้งหมด	Cr +6
0.3 (ปูนซีเมนต์)	4.28	3.83	3.68	3.52	4.12	4.03
0.5 (ปูนซีเมนต์)	4.35	3.83	3.87	3.72	4.37	4.26
0.7 (ปูนซีเมนต์)	4.28	3.69	3.91	3.86	4.53	4.41
0.3 (ปูนซีเมนต์+ปูนขาว)	2.52	2.31	3.28	2.96	4.38	4.15
0.5 (ปูนซีเมนต์+ปูนขาว)	2.88	2.56	3.33	2.83	4.55	4.01
0.7 (ปูนซีเมนต์+ปูนขาว)	2.36	2.07	3.44	3.01	4.51	4.18
มาตรฐาน	< 5 มก./ลิตร					

จากผลการทดลอง ในการหาค่าปริมาณโครเมียมในน้ำสกัดของขี้เถ้าที่ทำเป็นก้อนแข็งหลังการเผาในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ที่สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:3 โดยแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 พบว่าปริมาณโครเมียมทั้งหมดในน้ำสกัดเท่ากับ 4.28 4.35 และ 4.28 มก./ลิตร และมีปริมาณโครเมียม +6 ในน้ำสกัดเท่ากับ 3.83 3.83 และ 3.69 มก./ลิตร ตามลำดับ

ส่วนก้อนแข็งที่สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) 1:4 โดยแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 พบว่าปริมาณโครเมียมทั้งหมดในน้ำสกัดเท่ากับ 2.52 2.88 และ 2.36 มก./ลิตร และมีปริมาณโครเมียม +6 ในน้ำสกัด เท่ากับ 2.31 2.56 และ 2.07 มก./ลิตร ตามลำดับ

สำหรับก้อนแข็งที่ทำจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าการสกัดโครเมียม ดังตารางข้างต้น

ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ พบว่า ในการแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน มีผลน้อยมากต่อปริมาณโครเมียมทั้งหมดและโครเมียม +6 ในน้ำสกัด

4.4.3.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็ง เมื่อแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ผลการทดลองหาค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็ง จากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิต่างๆ โดยทำการแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 มีค่าดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็ง เมื่อทำการแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	
	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว
0.3	143.9	187.4	156.5	197.0	197.6	206.9
0.5	80.5	95.1	86.6	97.3	114.9	111.8
0.7	45.5	54.3	48.1	60.3	61.1	57.6
มาตรฐาน	> 3.5 กก./ตร.ซม.					

ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็งที่ทำจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในสัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:3 โดยแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 สามารถวัดค่ากำลังรับแรงอัดได้เท่ากับ 143.9 80.5 และ 45.5 กก./ตร.ซม.

สำหรับก้อนแข็งที่สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) 1:4 โดยแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 สามารถวัดค่ากำลังรับแรงอัดได้เท่ากับ 187.4 95.1 และ 54.3 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

สำหรับก้อนแข็งที่ทำจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังรับแรงอัดดังผลการทดลองในตารางที่ 4.10 ข้างต้น

จึงสรุปได้ว่า ในขี้เถ้าทุกอุณหภูมิที่เผา เมื่อนำมาทำเป็นก้อนแข็ง ค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน ไม่ว่าวัสดุประสานนั้นจะเป็นปูนซีเมนต์ หรือ ปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) ก็ตาม เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดช่องว่างหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้วมากขึ้น ความแข็งแกร่งของก้อนตัวอย่างจึงลดลง ถึงแม้ว่าในสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.3 จะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด แต่ลักษณะของซีเมนต์เพสต์จะเหมือนดินเหนียว ปั้นได้ ไม่สามารถเทใส่แบบได้อย่างสะดวก จึงทำงานได้ยากลำบากกว่าที่สัดส่วน 0.5 ซึ่งแม้จะมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่า แต่ก็สามารถเทได้ง่ายกว่ามาก ดังนั้น ที่สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 น่าจะเป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดในการนำมาใช้ทำก้อนแข็งนั่นเอง

4.4.3.3 ความหนาแน่นของก้อนแข็ง เมื่อแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ผลการทดลองหาค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนแข็ง จากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิต่างๆ โดยทำการแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 มีค่าดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความหนาแน่นของก้อนแข็ง เมื่อทำการแปรค่าสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน	400 องศาเซลเซียส		800 องศาเซลเซียส		1,200 องศาเซลเซียส	
	ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)		ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)		ความหนาแน่น(ตัน/ลบ.ม.)	
	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์+ปูนขาว	ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์-ปูนขาว
0.3	2.04	2.02	2.01	2.06	2.08	2.11
0.5	1.77	1.75	1.80	1.75	1.89	1.85
0.7	1.54	1.58	1.51	1.51	1.51	1.54
มาตรฐาน	> 1.15 ตัน/ลบ.ม.					

จากผลการทดลองจากตาราง ก้อนแข็งจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ในสัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:3 โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 พบว่าหนาแน่นของก้อนแข็งได้เท่ากับ 2.04 1.77 และ 1.54 ตัน/ลบ.ม.

สำหรับก้อนแข็งที่สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) 1:4 โดยแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.3 0.5 และ 0.7 พบว่าความหนาแน่นของก้อนแข็งเท่ากับ 2.02 1.75 และ 1.58 ตัน/ลบ.ม. ตามลำดับ

ส่วนความหนาแน่นของก้อนแข็งจากขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าดังแสดงในตารางข้างต้น

จึงสรุปได้ว่า ความหนาแน่นของก้อนแข็ง มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน อันเนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้วมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของก้อนแข็งมีค่าลดลง เช่นเดียวกับค่ากำลังรับแรงอัด

โดยสรุปแล้ว ควรใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 เพราะนอกจากทำให้ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด ค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานแล้ว และที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 นี้ ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมได้จะสะดวกในการเทแบบ เพราะมีความเหลวพอเหมาะ ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ถึงแม้ที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.3 จะมีความแข็งแรงมากกว่า แต่ลักษณะซีเมนต์เพสต์ จะมีความเหนียวมาก ยากต่อการเทใส่แบบ และที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.7 ก็เหลวจนเกินไป และให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าที่สัดส่วนอื่นๆ

4.4.4 การตรวจสอบก้อนแข็งขั้นสุดท้าย

จากผลการทดลองที่ผ่านมา เมื่อพิจารณาแล้ว จะเห็นได้ว่า การทำขี้เถ้าที่ได้จากการเผาเศษหนังเจียนในทุกอุณหภูมิให้เป็นก้อนแข็ง วัสดุประสานที่ใช้ควรจะเป็นปูนซีเมนต์ ซึ่งจะเหมาะสมมากกว่าการใช้ปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) เพราะใช้ปริมาณวัสดุประสานน้อยกว่า ทำให้ก้อนแข็งมีปริมาตรน้อยกว่า ซึ่งนั่นหมายถึง การประหยัดค่าฝังกลบและค่าวัสดุประสาน

โดยขี้เถ้าที่ได้จากการเผาในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสนั้น วิธีกำจัดที่เหมาะสมคือใช้สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:3 สำหรับขี้เถ้าที่ได้จากการเผาในอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ควรใช้สัด

ส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:4 และขี้เถ้าที่ได้จากการเผาในอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ควรใช้สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:5 โดยทั้งหมดนี้ควรจะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.5

ซึ่งเมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมดังกล่าวแล้ว จะนำก้อนแข็งนี้มาตรวจสอบในขั้นสุดท้าย โดยมีแนวทางในการพิจารณาคือ

1. การตรวจสอบก้อนแข็งที่ใช้เวลาบ่มเพียง 7 วัน
2. เวลาก่อตัว (Setting time) เพื่อที่จะทราบถึงเวลาในการแข็งตัวของก้อนแข็ง

4.4.4.1 การตรวจสอบก้อนแข็งที่ใช้เวลาบ่มเพียง 7 วัน

ในการตรวจสอบก้อนแข็งที่บ่มเพียง 7 วัน จะใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว เพราะมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ปูนซีเมนต์+ปูนขาว(1:1) ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการตรวจสอบก้อนแข็งที่ใช้เวลาบ่มเพียง 7 วัน

ชนิดของก้อนแข็ง	pH	ความหนาแน่น	กำลังรับแรงอัด	ปริมาณโครเมียมในน้ำสกัด	
				Cr ทั้งหมด	Cr +6
		(ตัน/ลบ.ม.)	(กก./ตร.ซม.)	(มก./ลิตร)	(มก./ลิตร)
ขี้เถ้าจากการเผา 400 องศาเซลเซียส สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:3 สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5	12.5	1.78	54.6	9.89	9.25
ขี้เถ้าจากการเผา 800 องศาเซลเซียส สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:4 สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5	12.6	1.84	72.0	6.15	5.39
ขี้เถ้าจากการเผา 1,200 องศาเซลเซียส สัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ 1:5 สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5	12.6	1.89	90.2	9.34	8.61
มาตรฐาน		> 1.15	> 3.5	< 5.0	

จากตาราง พบว่า ก้อนแข็งที่ทำจากขี้เถ้าหลังการเผาในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังรับแรงอัด 54.6 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่น 1.78 ตัน/ลบ.ม. มีปริมาณโครเมียมทั้งหมดในน้ำสกัด 9.89 มก./ลิตรและมีปริมาณโครเมียม +6 ในน้ำสกัด เท่ากับ 9.25 มก./ลิตร

สำหรับก้อนแข็งที่ทำจากขี้เถ้าหลังการเผาในอุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าการสกัดโครเมียม ค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของก้อนแข็ง ดังแสดงไว้ในตารางข้างต้น

ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่า ก้อนแข็งที่ใช้เวลาบ่มเพียง 7 วันนี้ ไม่มีปัญหาในเรื่องความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดเลย เพราะค่าที่วัดได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น แต่สำหรับปริมาณโครเมียมทั้งหมดและโครเมียม +6 ในน้ำสกัด จะมีค่าเกินมาตรฐาน ซึ่งนั่นหมายถึงก้อนแข็งที่ผ่านการบ่มเพียง 7 วันนี้ ยังไม่สามารถทำลายฤทธิ์ของโครเมียมลงได้

4.4.4.2 เวลาการก่อตัวของก้อนแข็ง (Setting time)

ในการทำเป็นก้อนแข็ง ควรจะต้องทราบว่าก้อนแข็งดังกล่าว มีเวลาในการก่อตัวเท่าไรหลังจากการผสม เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนย้ายก้อนแข็งนี้ได้โดยไม่ทำให้เกิดการเสียหายขึ้น ซึ่งจากการทดลองหาค่าเวลาก่อตัว ของก้อนแข็งโดยใช้วิธีทดสอบแบบไวแคท (Vicat test) พบว่า

ก้อนแข็งจากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่าเวลาการก่อตัวประมาณ 42 นาที ส่วนก้อนแข็งจากขี้เถ้าที่ 800 องศาเซลเซียส มีค่าเวลาการก่อตัว 52 นาที และก้อนแข็งจากขี้เถ้าที่ 1,200 องศาเซลเซียส มีเวลาการก่อตัว 43 นาที

จากค่าดังกล่าว ทำให้สามารถประมาณเวลาในการเคลื่อนย้ายก้อนแข็งได้ ว่าควรจะเคลื่อนย้ายไปเก็บหรือจัดการขนส่ง ได้ในระยะเวลาเท่าใด หลังการผสม

4.5 แผนผังสรุปมวลสมดุลของ เศษหนังเจียน ขี้เถ้า และโครเมียม ในการเผาและทำเป็นก้อนแข็ง

เป็นการทำมวลสมดุล (Mass Balance) ของมวลเศษหนังเจียนและโครเมียม ทั้งก่อนและหลังเผา เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของมวลเศษหนังเจียนและโครเมียม ว่าจะมีการกระจายตัวอย่างไร และมีจำนวนเท่าไรในแต่ละขั้นตอนการบำบัด โดยจะถือเอาว่า ในการเผาปริมาณโครเมียมทั้งหมดจะไม่ระเหยแต่ยังอยู่ในขี้เถ้าก้นเตา และนำขี้เถ้าก้นเตาที่เผาได้มาทำเป็นก้อนแข็งและทดสอบการสกัดต่อไป

รูปที่ 4.10 – 4.15 สามารถอธิบายสรุปถึง มวลสมดุลของ เศษหนังเจียน ขี้เถ้า ก้อนแข็ง และปริมาณของโครเมียมในรูปต่างๆ ได้ดังนี้

1. มวลของเศษหนังเจียนก่อนเผา มีค่า 100 กรัม เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีแล้ว จะมีมวลขี้เถ้าเหลือเพียง 16.45 9.19 และ 5.27 กรัม เท่านั้น หรือคิดเป็นร้อยละ 16.45 9.19 และ 5.27 ตามลำดับ ซึ่งถือได้ว่าเหลือเป็นขี้เถ้าเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเศษหนังเจียนเป็นสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด ประกอบกับมีค่าความร้อนสูง และเผาไหม้ได้ดี

2. ในการเผาเศษหนังเจียน ที่ทุกอุณหภูมิ พบว่า ปริมาณโครเมียมทั้งหมดก่อนเผาที่อยู่ในเศษหนังเจียน และปริมาณโครเมียมทั้งหมดหลังเผาที่อยู่ในขี้เถ้า มีปริมาณใกล้เคียงกันมาก จนถือได้ว่า ไม่มีโครเมียมระเหยไปกับควัน ทั้งนี้เนื่องจากโครเมียมที่อยู่ในขี้เถ้า เมื่อนำไปวัดด้วยเครื่อง XRD พบว่าโครเมียมส่วนใหญ่ เป็นประจุ +3 โดยอยู่ในรูปของ Cr_2O_3 ซึ่งมีจุดเดือดสูงถึง 4,000 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นโครเมียมที่อยู่ในขี้เถ้าจึงไม่สามารถระเหยไปเป็นไอได้

3. ในเศษหนังเจียนก่อนเผา โครเมียมทั้งหมดเป็นประจุ +3 ไม่มีโครเมียม +6 ปนอยู่เลย แต่เมื่อนำไปเผา กลับตรวจพบโครเมียม +6 ในขี้เถ้า ซึ่งปริมาณโครเมียม+6 ที่เกิดขึ้น จะเพิ่มขึ้นตามเวลา และอุณหภูมิที่ใช้เผา และเมื่อนำขี้เถ้ามาวัดด้วยเครื่อง XRD พบว่าโครเมียม +6 เกิดอยู่ในรูปของ $CO(NH_3)6Cr(CN)_6$ แต่ก็มีปริมาณน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับโครเมียม +3 คือมีน้ำหนักเพียงประมาณ 0.6 -1.4 % ของน้ำหนักโครเมียมทั้งหมดเท่านั้น

4. ในการสกัดโครเมียมของก้อนแข็ง ด้วยวิธีสกัดสารของกระทรวงอุตสาหกรรม พบว่า ปริมาณโครเมียมที่อยู่ในน้ำสกัด เป็นโครเมียม +6 สูงถึง 85 – 94 % ของปริมาณโครเมียมทั้งหมด ในน้ำสกัด โดยมีโครเมียม +3 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น นั่นเป็นเพราะว่า โครเมียม +6 เป็นโครเมียมที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ดีมาก ดังนั้นการทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ จึงไม่สามารถกำจัดโครเมียม +6 ได้ โดยโครเมียม +6 ละลายออกมากับน้ำสกัดได้ถึง 6 – 28 % ของปริมาณโครเมียม +6 ทั้งหมดที่มีอยู่ในก้อนแข็ง ส่วนโครเมียม +3 ละลายออกมากับน้ำสกัดได้เพียงประมาณ 0.1 - 0.2 % ของปริมาณโครเมียม +3 ทั้งหมดที่มีอยู่ในก้อนแข็งเท่านั้น

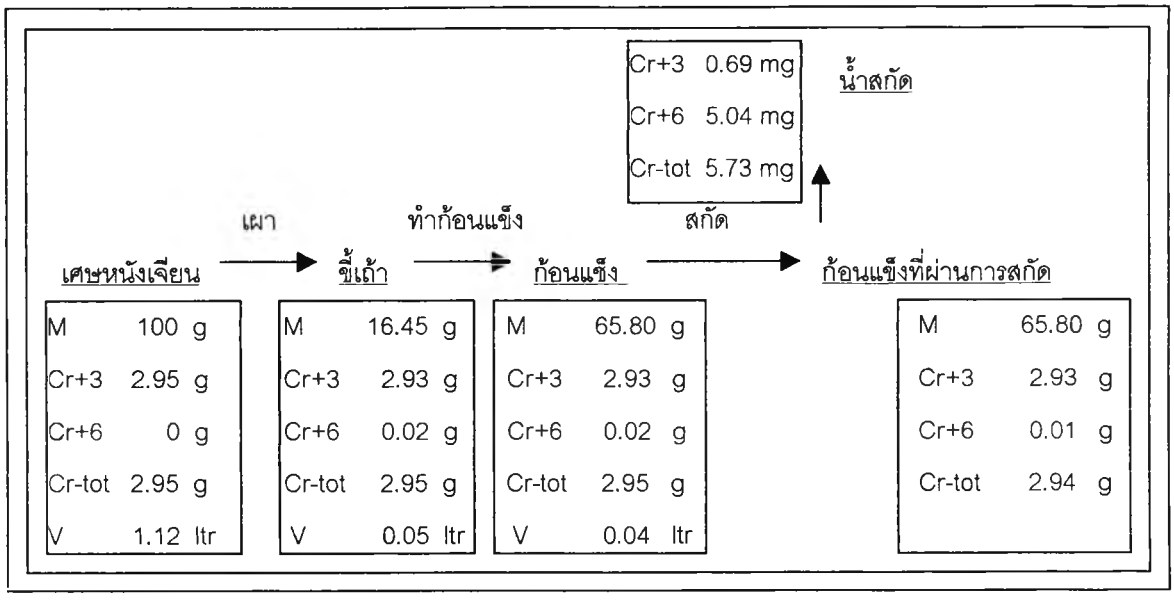
5. การเผาเศษหนังเจียนให้เป็นขี้เถ้า สามารถลดน้ำหนักของเศษหนังไปเป็นขี้เถ้าได้ จนเหลือเพียง 5 - 16 % ของน้ำหนักเศษหนังเจียนเดิม แต่เมื่อนำขี้เถ้าหลังจากการเผาไปทำเป็นก้อนแข็ง น้ำหนักของก้อนแข็งที่ต้องนำไปฝังกลบ จะเป็น 30 – 80 % ของเศษหนังเจียนเดิม สรุปแล้วการจัดการเศษหนังเจียนด้วยวิธีเผาและทำให้เป็นก้อน จะลดน้ำหนักของของเสียจากเดิมลงไปได้ 20 – 70 % นั่นเอง

นอกจากการเผาเศษหนังเจียนให้เป็นขี้เถ้าจะเป็นการลดน้ำหนักแล้ว ยังสามารถลดปริมาตรของเศษหนังเจียนลงไปได้ด้วย คือ มีปริมาตรของขี้เถ้าเหลือเพียง 1 – 5 % ของปริมาตรเศษหนังเจียนเดิม และเมื่อนำมาทำเป็นก้อนแข็ง ปริมาตรของก้อนแข็งที่ได้ ก็ยังคงอยู่ที่ประมาณ 1.5 – 4 % ของปริมาตรเศษหนังเจียนเดิม

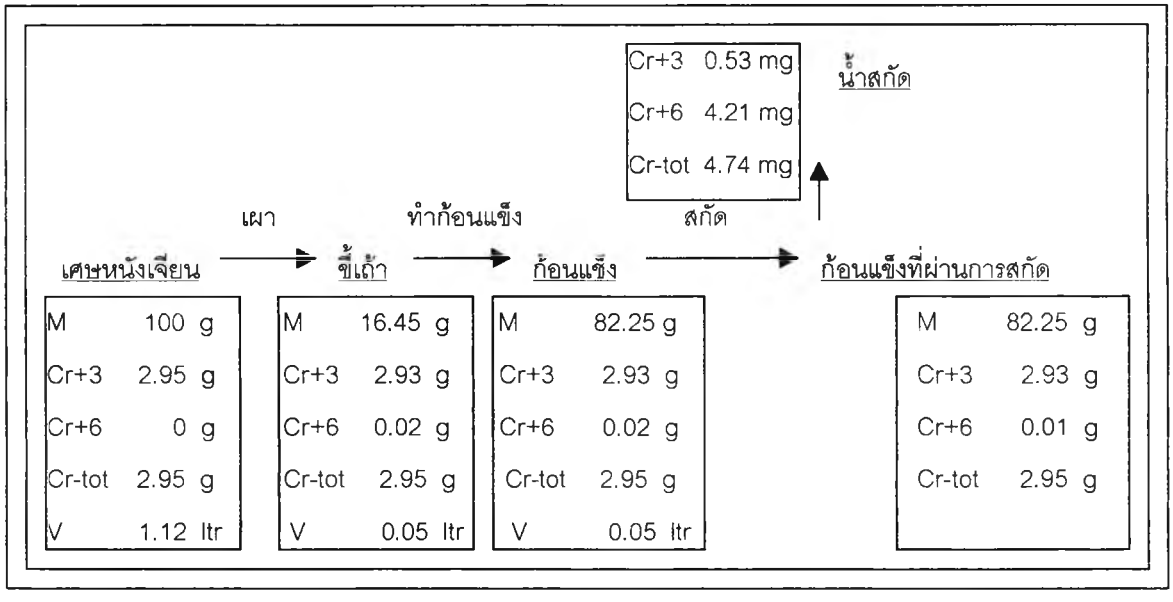
รูปที่ 4.10 – 4.15 เป็นแผนผังสรุปมวลสมดุลของการจัดการเศษหนังเจียน ด้วยวิธีเผาที่อุณหภูมิ 400 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส และนำขี้เถ้าที่ได้ ทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสานคือ ปูนซีเมนต์ และปูนซีเมนต์+ปูนขาว (1:1)

โดยที่

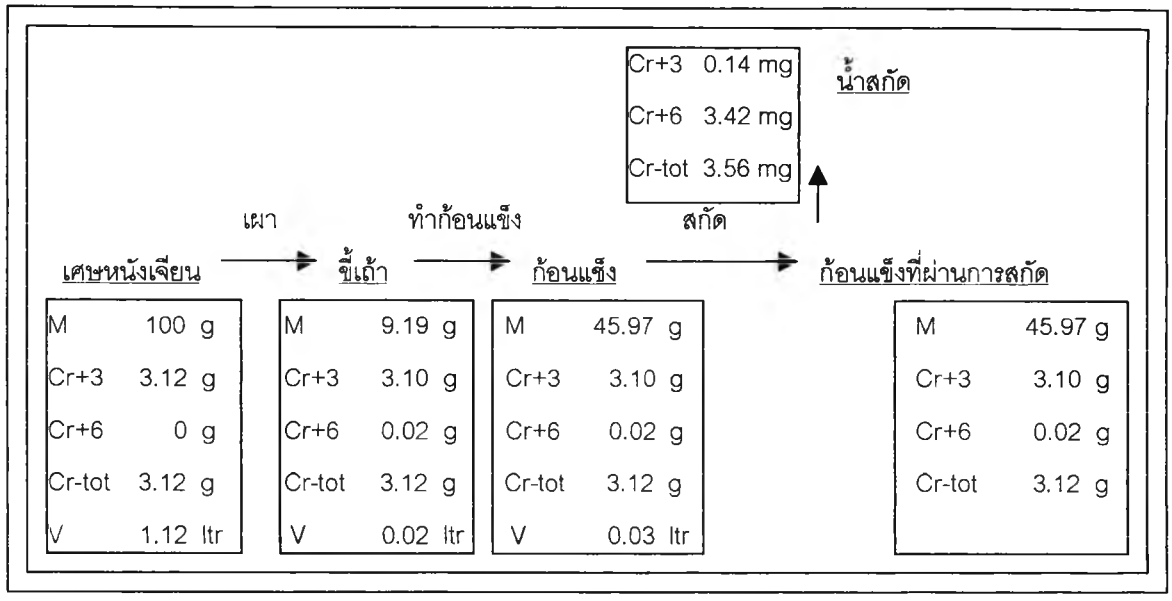
M	:	มวล (เศษหนังเจียน ขี้เถ้า และก้อนแข็ง)
Cr-tot	:	มวลของโครเมียมทั้งหมด (ทั้ง +3 และ +6)
Cr+3	:	มวลของโครเมียม +3
Cr+6	:	มวลของโครเมียม +6
V	:	ปริมาตร (เศษหนังเจียน ขี้เถ้า และก้อนแข็ง)
g	:	หน่วย กรัม
mg	:	หน่วย มิลลิกรัม
ltr	:	หน่วย ลิตร



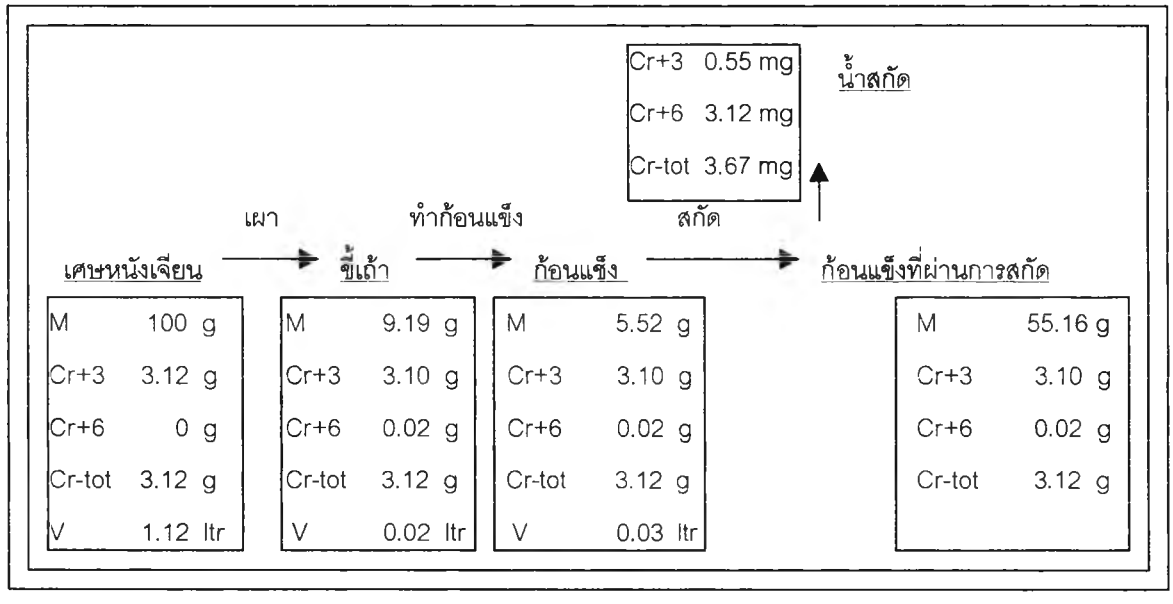
รูปที่ 4.10 Mass balance ของการเผาที่ 400 องศาเซลเซียสและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์



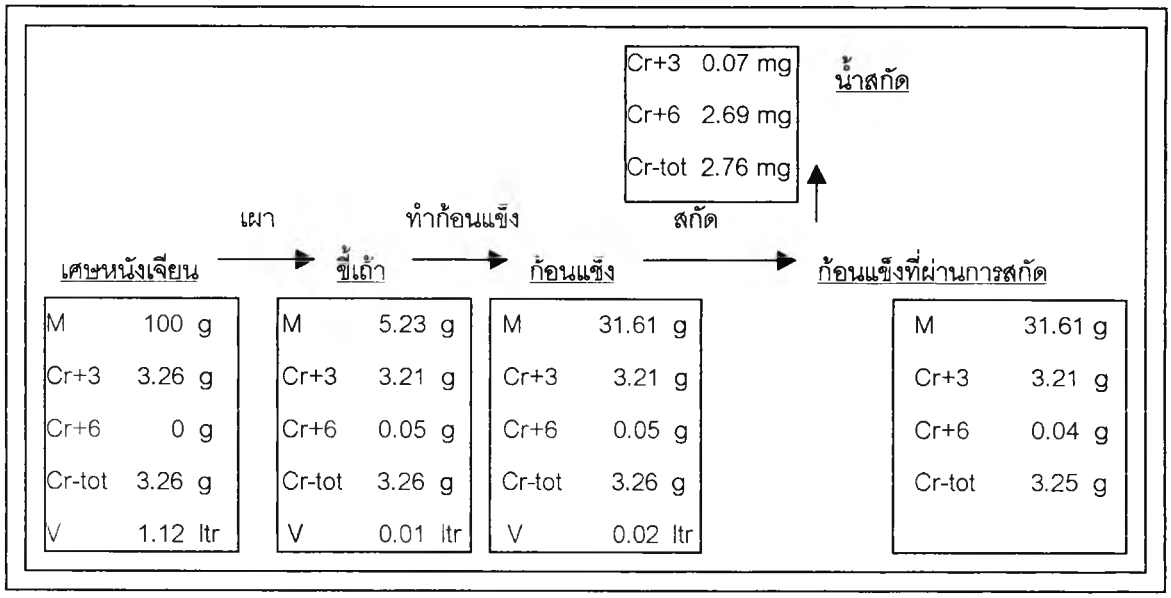
รูปที่ 4.11 Mass balance ของการเผาที่ 400 องศาเซลเซียสและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์+ปูนขาว (1:1)



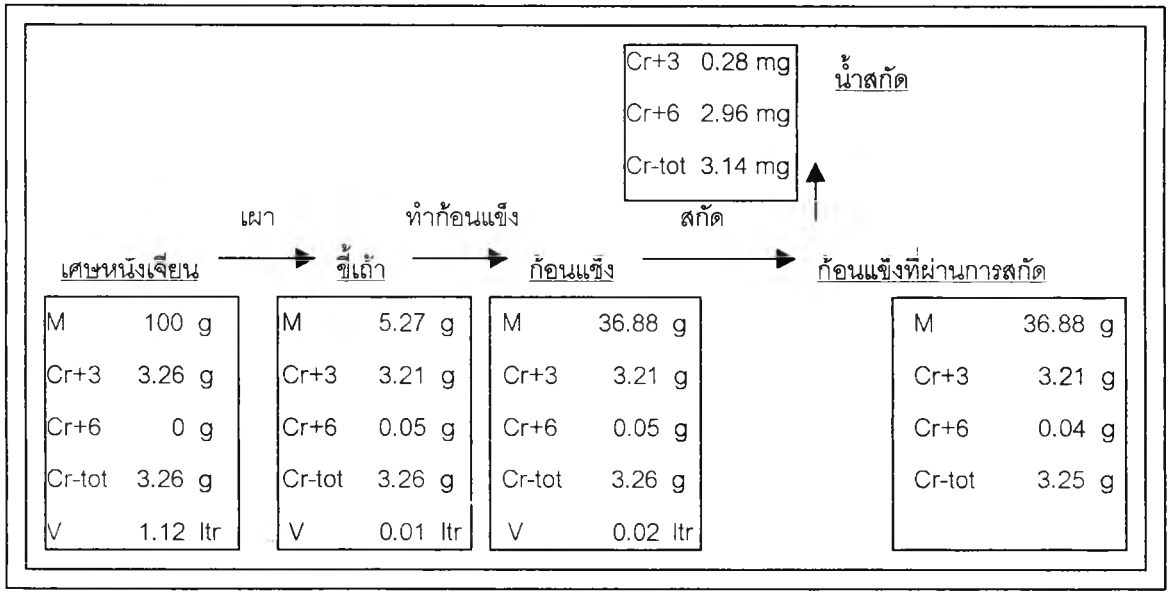
รูปที่ 4.12 Mass balance ของการเผาที่ 800 องศาเซลเซียสและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.13 Mass balance ของการเผาที่ 800 องศาเซลเซียสและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์+ปูนขาว (1:1)



รูปที่ 4.14 Mass balance ของการเผาที่ 1,200 องศาเซลเซียสและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.15 Mass balance ของการเผาที่ 1,200 องศาเซลเซียสและทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์+ปูนขาว (1:1)

4.6 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นและเสนอแนวทางในการจัดการเศษหนังเจียน

ค่าใช้จ่ายในการจัดการเศษหนังเจียนด้วยวิธีการเผาและทำให้เป็นก้อนแข็งก่อนจะนำไปฝังกลบ ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ คือ

1. ค่าใช้จ่ายในการเผาเศษหนังเจียน
2. ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง
3. ค่าขนส่งและค่าขนย้ายไปยังหลุมฝังกลบ
4. ค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ

สำหรับค่าใช้จ่ายในการจัดการเศษหนังเจียน โดยการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.13

ในการเผาเศษหนังเจียนที่ 400 องศาเซลเซียส จะใช้สัดส่วนผสมของขี้เถ้าต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด คือ ขี้เถ้าผสมกับปูนซีเมนต์ที่สัดส่วน 1:3 และสามารถทำให้เป็นก้อนแข็งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งค่าใช้จ่ายในการจัดการแบ่งออกได้เป็น

1. ค่าใช้จ่ายในการเผาเศษหนังเจียน

ใช้อัตราการเผาของเสียของนิคมอุตสาหกรรมบางพลี จ.สมุทรปราการ ซึ่งคิดอัตราค่าเผาของเสีย 1 ตัน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 2,000 บาท ซึ่งเป็นราคาที่ใกล้เคียงกับโรงงานกำจัดของเสียด้วยวิธีเผาในเตาทั่วๆไป

2. ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง

เศษหนังเจียน 1 ตันเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสแล้ว จะมีขี้เถ้า 164.5 กิโลกรัม ดังนั้นต้องใช้ปูนซีเมนต์ในการทำให้เป็นก้อนแข็งจำนวน 493.5 กิโลกรัม หรือ 3 เท่าของน้ำหนักขี้เถ้า น้ำหนักรวมของก้อนแข็งทั้งหมดคือ 658 กิโลกรัม ซึ่งราคาขายส่งในท้องตลาดของปูนซีเมนต์ประมาณราคา ตันละ 2,500 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายของปูนซีเมนต์คือ 2,500 x 0.4935 = 1,234 บาท สำหรับค่าแรงในการผสมทำให้เป็นก้อน คิดเป็นร้อยละ 50 ของราคาปูนซีเมนต์ คือ 0.5 x1,234 = 617 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ทั้งหมดคือ 1,234 + 617 หรือประมาณ 1,851 บาท

3.ค่าขนส่งและค่าขนย้ายไปยังหลุมฝังกลบ

โรงงานฟอกหนังตั้งอยู่ที่ กลุ่มอุตสาหกรรมฟอกหนัง จ.สมุทรปราการ ซึ่งจะต้องขนเศษหนังเจียนจากโรงงานฟอกหนังเพื่อนำไปเผาที่นิคมอุตสาหกรรมบางพลี จ.สมุทรปราการ หลังจากนั้น จึงนำขี้เถ้าที่เหลือ ขนส่งไปยังศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง เพื่อนำไปทำเป็นก้อนแข็งและฝังกลบต่อไป โดยคิดราคาค่าขนส่งเท่ากับ 2.75 บาท/ตัน/กิโลเมตร

- การขนส่งเศษหนังเจียนจากโรงงานฟอกหนัง ไปเผาที่นิคมอุตสาหกรรมบางพลี มีระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร จะต้องเสียค่าขนส่งทั้งหมด 1 x 2.75 x 20 = 55 บาท/ตันเศษหนังเจียน คิดค่าขนย้ายขึ้นลงจากรถ 300 บาท/ตันเศษหนังเจียน จะต้องเสียค่าขนย้าย 1 x 300 = 300 บาท รวมค่าขนส่งขนย้ายจากโรงฟอกหนังไปยังที่เผาเศษหนัง เท่ากับ 355 บาท/ตันเศษหนังเจียน

- การขนส่งขี้เถ้าจำนวน 165 กิโลกรัม จากนิคมอุตสาหกรรมบางพลี ไปยังศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีระยะทางประมาณ 130 กิโลเมตร จะต้องเสียค่าขนส่งทั้งหมด 0.165 x 2.75 x 130 = 59 บาท/ตันเศษหนังเจียน คิดค่าขนย้ายขึ้นลงจากรถ 300 บาท/ตันขี้เถ้า จะต้องเสียค่าขนย้าย 0.165 x 300 = 50 บาท/ตันเศษหนังเจียน รวมค่าขนส่งและขนย้ายจากนิคมอุตสาหกรรมบางพลีไปยังศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด เท่ากับ 109 บาท/ตันเศษหนังเจียน

ดังนั้นรวมเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการขนส่งและขนย้ายทั้งสิ้น 355 + 109 = 464 บาท/ตันเศษหนังเจียน

4. ค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ

ที่ศูนย์บริการกำจัดกากอุตสาหกรรมมาบตาพุด คิดค่าฝังกลบประมาณ 875 บาทต่อตันของเสีย เศษหนังเจียน 1 ตัน ถ้าทำเป็นก้อนแข็ง จะมีน้ำหนักของก้อนแข็ง เท่ากับ 658 กิโลกรัม ดังนั้น จะต้องเสียค่าฝังกลบ 0.658 x 875 = 576 บาท/ตันเศษหนังเจียน

ดังนั้นรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดสำหรับจัดการเศษหนังเจียนด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเท่ากับ 2,000 + 1,851 + 464 + 576 = 4,891 บาท/ตันเศษหนังเจียน

สำหรับค่าใช้จ่ายในจัดการเศษหนังเจียนด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1,200 องศาเซลเซียส ได้แสดงในตารางที่ 4.13 ดังนี้

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการจัดการเศษหนังเจียน

อุณหภูมิ	ค่าใช้จ่ายในการเผา	ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนแข็ง	ค่าขนส่งและขนย้าย	ค่าฝังกลบ	รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด
องศาเซลเซียส	(บาท)/ตันหนังเจียน	(บาท)/ตันหนังเจียน	(บาท)/ตันหนังเจียน	(บาท)/ตันหนังเจียน	(บาท)/ตันหนังเจียน
400	2,000	1,851	464	576	4,891
800	2,500	1,380	416	403	4,699
1,200	4,000	987	390	277	5,654

จากงานวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า การกำจัดเศษหนังเจียนโดยวิธีการเผาและทำให้เป็นก้อนแข็งเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานน้อยที่สุด คือ การนำเศษหนังเจียนไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยการผสมปูนซีเมนต์ในสัดส่วนขี้เถ้าต่อปูนซีเมนต์ที่สัดส่วน 1:4 ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายในการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะมีราคาน้อยกว่าการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส แต่เมื่อนำมาทำเป็นก้อนแข็ง ค่าใช้จ่ายในการจัดการจะมากกว่า เนื่องจากขี้เถ้าที่เผาในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีปริมาณเยอะกว่าขี้เถ้าจากการเผาที่ 800 องศาเซลเซียส ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นในการทำเป็นก้อนแข็ง

อนึ่ง เตาเผากากของเสียส่วนใหญ่ในโรงงานกำจัดกากของเสียทั่วๆไป ก็นิยมเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียสเช่นกัน เพราะสามารถกำจัดกากของเสียได้เกือบทุกประเภทและมีความสิ้นเปลืองพลังงานในระดับที่พอเหมาะสม

ส่วนการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีความสิ้นเปลืองพลังงานในการเผามากและมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งเตาเผาทั่ว ๆ ไป ไม่นิยมเผาที่อุณหภูมินี้ เนื่องจากไม่คุ้มต่อการเผาทำลายกากของเสีย ซึ่งสามารถเผาทำลายได้ แม้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้

สำหรับ บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) จำกัด จังหวัดสระบุรี ซึ่งรับเผาทำลายกากของเสียโดยใช้อุณหภูมิสูงในเตาเผาปูนซีเมนต์ โดยทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,100–1,450 องศาเซลเซียส และกากของเสียนั้น จะถูกนำไปเผารวมกันกับปูนซีเมนต์ในขั้นตอนการผลิตเลย ซึ่งทางบริษัทคิดค่าเผาในอัตรา 1,000 – 1,600 บาท/ตันกากของเสีย โดยกากของเสียที่นำมาเผาได้นั้นจะต้องได้รับการตรวจสอบก่อนว่ามีความเหมาะสมในการเผาด้วยเตาเผาปูนซีเมนต์หรือไม่ ซึ่งถ้าหากเศษหนังเจียนที่นำมาศึกษานั้น มีความเหมาะสมและเข้าข่ายอนุญาตให้เผาได้ ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดี ในการจัดการเศษหนังเจียน