บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ลักษณะสมบัติของกากตะกอนน้ำมันเตาและขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตา

กากตะกอนน้ำมันเตาที่นำมาใช้ในการทำการวิจัยในครั้งนี้ เป็นกากตะกอนจากก้นถังเก็บกักน้ำมันเตาของคลังน้ำมันพระโขนง ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ซึ่งถูกกักเก็บอยู่ที่ก้นถังเก็บน้ำมันเตาเป็นระยะเวลาประมาณ 4 -5 ปี จึงจะทำการเปิดล้างถังเก็บน้ำมัน 1 ครั้ง

จากการสังเกตลักษณะภายนอกของกากตะกอนน้ำมันเตา พบว่า เป็นตะกอนข้น สีดำเข้ม มีความหนืดสูง คล้ายดินเลน และมีกลิ่นของน้ำมันรุนแรง จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนน้ำมันเตาและขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 กากตะกอนน้ำมันเตา

ก.สมบัติทางด้านกายภาพ จากการศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนน้ำมันเตา ซึ่งได้แก่

- ปริมาณน้ำบรรจุ
- ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ข. สมบัติทางด้านเคมี จะทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

- วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดโดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)
- วิเคราะห์ตามวิธีการย่อยน้ำมัน ของ US.EPA. Method 3030

ได้ผลตามตารางที่ 5.1 ถึง 5.3

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนน้ำมันเตา

สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนน้ำมันเตา	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณน้ำบรรจุ(ร้อยละ)	10.70	10.20	10.30	10.40	0.2646
ความหนาแน่นรวม (ตัน/ลบ.ม.)	1.04	1.04	1.05	1.043	0.0058

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนน้ำมันเตา โดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำมันเตา (mg/l)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อาร์เซนิค (As)	nd	nd	nd	-	-
แคดเมียม (Cd)	nd	nd	nd	-	-
โครเมียม (Cr)	5.19	5.04	5.25	5.16	0.1082
ปรอท (Hg)	0.21	0.26	0.29	0.253	0.0404
ตะกั่ว (Pb)	nd	nd	nd	-	-

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนน้ำมันเตา โดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของ US.EPA. Method 3030

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำมันเตา (mg/l)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อาร์เซนิค (As)	nd	nd	nd	-	-
แคดเมียม (Cd)	nd	nd	nd	-	-
โครเมียม (Cr)	7.2	7.3	6.5	7	0.5359
ปรอท (Hg)	0.31	0.37	0.26	0.313	0.0551
ตะกั่ว (Pb)	nd	nd	nd	-	-

5.1.2 ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตา

ก.สมบัติทางด้านกายภาพ จากการศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพของขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา ซึ่งได้แก่

ปริมาณน้ำบรรจุ การดูดซึม และความหนาแน่นรวม (Bulk density)ซึ่งแสดงในตารางที่ 5.4

ข. สมบัติทางด้านเคมี

- วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา ซึ่งอยู่ในรูปของออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5.5 พบว่าขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา มีองค์ประกอบของเหล็กเป็นส่วนมาก คือ ประมาณร้อยละ สำหรับขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่เผาที่อุณหภูมิ 400 ^{0} , 800^0 และ 1,200^0 ซ ตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา

สมบัติทางด้านกายภาพ	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ 400 °C					
1.1 ปริมาณน้ำบรรจุ(ร้อยละ)	0.586	0.581	0.580	0.579	0.0075
1.2 การดูดซึม(ร้อยละ)	24.3	25.6	25.1	25.0	0.6557
1.3 ความหนาแน่นรวม (ตัน/ลบ.ม.)	1.24	1.19	1.32	1.25	0.0656
2. ขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ 800 °C					
2.1 ปริมาณน้ำบรรจุ(ร้อยละ)	0.039	0.036	0.039	0.038	0.0017
2.2 การดูดซึม(ร้อยละ)	23.1	24.2	23.2	23.5	0.6083
2.3 ความหนาแน่นรวม (ตัน/ลบ.ม.)	1.26	1.28	1.25	1.27	0.0135
3. ขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ 1,200 °C					
3.1 ปริมาณน้ำบรรจุ(ร้อยละ)	0.019	0.023	0.018	0.02	0.0026
3.2 การดูดซึม(ร้อยละ)	18.5	17.9	18.2	18.2	0.3000
3.3 ความหนาแน่นรวม (ตัน/ลบ.ม.)	1.29	1.28	1.32	1.30	0.0200

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของธาตุในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาด้วยเครื่อง EDX

องค์ประกอบของธาตุ	ปริมาณองค์ประกอบของธาตุ (ร้อยละ)		
	400^0 C	800^0 C	$1,200^0$ C
Cr	0.36	0.33	0.31
Na	1.51	4.29	3.26
Mg	0.52	1.96	1.76
Al	2.78	1.90	3.27
Si	9.51	4.89	10.98
S	3.11	1.49	0.0
Ca	1.23	3.93	1.15
Ti	0.42	0.69	0.19
Fe	80.31	80.03	78.95
Ni	0.26	0.49	0.13
Total	100.00	100.00	100.00

- วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาด้วยวิธีย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาด้วยวิธีย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ตามมาตรฐาน ของ U.S. EPA. แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง AA นั้น จะพบแต่โครเมียม ซึ่งผลการวิเคราะห์โครเมียมด้วยเครื่อง AA แสดงในตารางที่ 5.6 จะได้ปริมาณโลหะหนักสำหรับขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่เผาที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ $1,200^0$ ซ แสดงค่าในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.6 ผลการวิเคราะห์โครเมียมในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นโดยใช้เครื่อง AA

Cr	ความเข้มข้นของโครเมียม (มก./ล.) (Standard solution Cr 0 – 10)		
	400^0 C	800^0 C	$1,200^0$ C
1	2.26	2.35	2.09
2	2.51	2.10	2.24
3	2.58	2.43	2.30
ค่าเฉลี่ย	2.45	2.29	2.21

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น ตามวิธีมาตรฐาน U.S.EPA.

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (มก./น้ำหนักกิโลกรัมแห้ง)		
	400^0 C	800^0 C	$1,200^0$ C
อาร์เซนิค (As)	nd	nd	nd
แคดเมียม (Cd)	nd	nd	nd
โครเมียม (Cr)	245	229	221
ปรอท (Hg)	nd	nd	nd
ตะกั่ว (Pb)	nd	nd	nd

(nd = not detectable; As< 0.01 มก./ล., Cd<0.02 มก./ล., Pb< 0.1 มก./ล. และ Hg< 0.02 มก./ล.)

จากตารางที่ 5.6 และ 5.7 พบว่าขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา มีเฉพาะโครเมียมเท่านั้นที่วัดค่าได้ ส่วนปริมาณอาร์เซนิค แคดเมียม ตะกั่วและปรอทมีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องวิเคราะห์จะวัดได้คืออาร์เซนิคน้อยกว่า 0.01 มก./ล.แคดเมียมน้อยกว่า 0.02 มก./ล.ตะกั่วน้อยกว่า 0.1 มก./ล และปรอทน้อยกว่า 0.02 มก./ล.

-การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดโดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา โดยใช้วิธีสกัดสารตามวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในขี้เถ้า (mg/l)			
	ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงฯ	ขี้เถ้า 400^0 C	ขี้เถ้า 800^0 C	ขี้เถ้า $1,200^0$ C
พีเอช	-	5.95	6.25	6.21
อาร์เซนิค (As)	< 5 มก./ล.	nd	nd	nd
แคดเมียม (Cd)	< 1 มก./ล.	nd	nd	nd
โครเมียม (Cr)	< 5 มก./ล.	2.01	1.97	1.93
ปรอท (Hg)	< 0.2 มก./ล.	nd	nd	nd
ตะกั่ว (Pb)	< 5 มก./ล.	nd	nd	nd

5.1.3 สรุปผลการศึกษาลักษณะสมบัติของกากตะกอนน้ำมันเตา

ความหนาแน่นรวม

จากตารางที่ 5.1 พบว่ากากตะกอนน้ำมันเตามีความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 1.04 ตัน/ลบ.ม.

ปริมาณน้ำบรรจุ

จากการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 2216-80 พบว่า กากตะกอนน้ำมันเตามีปริมาณน้ำบรรจุเฉลี่ยร้อยละ 10.4 โดยน้ำหนัก

กำลังรับแรงอัด

กากตะกอนน้ำมันเตาไม่สามารถทดสอบหากำลังรับแรงอัดได้เนื่องจากมีลักษณะคล้ายดินเลนไม่แข็งตัวเป็นก้อน

สมบัติทางเคมี

จากผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำมันเตา โดยวัดค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายตามวิธีการสกัดสารของกรมโรงงานอุตสาหกรรม(Extraction Procedure) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พศ. 2540) พบว่ามีปริมาณโครเมียมและปรอทในน้ำชะละลายเท่ากับ 5.16 และ 0.253 มก./ล. ตามลำดับซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานของกรมโรงงานซึ่งกำหนดไว้ให้มีไม่เกิน 5 และ 0.2 มก./ล. ส่วน ปริมาณ อาร์เซนิค แคดเมียม และ ตะกั่ว นั้นตรวจไม่พบในน้ำชะละลาย

5.1.4 สรุปผลการศึกษาลักษณะสมบัติของของขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิสูง

กากตะกอนน้ำมันเตาจัดเป็นของเสียประเภทสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนที่สามารถติดไฟและให้พลังงานความร้อนจนสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้พลังงานในอุตสาหกรรม อื่น ๆ ได้ จากการนำกากตะกอนน้ำมันเตามาเผาที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ$1,200^0$ ซ จนเป็นขี้เถ้าซึ่งเป็นสารอนินทรีย์และง่ายต่อการนำไปกำจัดนั้น ผลการศึกษาสมบัติของขี้เถ้าพบว่า

สมบัติทางกายภาพ

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.4 ประกอบกับการสังเกตลักษณะภายนอกของขี้เถ้าที่ถูกเผาทั้ง 3 อุณหภูมิ พบว่ามีเนื้อละเอียด และฟุ้งกระจายได้ โดยขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ $1,200^0$ ซ จะมีสีแดง ,สีแดงอมม่วง และสีเทา ตามลำดับ

ความหนาแน่นรวม

จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวมของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 , 800^0 และ $1,200^0$ ซ เท่ากับ 1.25, 1.27 และ 1.30 ตัน/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ปริมาณน้ำบรรจุ

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ $1,200^0$ ซ มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 0.579, 0.038 และ 0.02 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

กำลังรับแรงอัด

ขี้เถ้าหลังการเผาทั้งที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ 1,200^0 ซ มีลักษณะร่วนเป็นผง ไม่จับตัวเป็นก้อน จึงไม่สามารถทดสอบหากำลังรับแรงอัดได้

สมบัติทางเคมี

จากตารางที่5.8ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ประกอบกับการวัดค่าพีเอชและค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายตามวิธีการสกัดสารของกระทรวงอุตสาหกรรม (Extraction Procedure) ของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ 1,200^0 ซ มีค่า พีเอช เท่ากับ 5.95, 6.25 และ 6.21 ตามลำดับส่วนค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายมีดังนี้

- ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 ซ

พบปริมาณโครเมียม (Cr) 2.01 มก./ล. ส่วน อาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และ ตะกั่ว(Pb) มีค่าต่ำมากกว่าขีดความสามารถในการวัดของเครื่องมือ

- ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ

พบปริมาณโครเมียม (Cr) 1.97 มก./ล. ส่วน อาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และ ตะกั่ว(Pb) มีค่าต่ำมากกว่าขีดความสามารถในการวัดของเครื่องมือ

- ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ

พบปริมาณโครเมียม (Cr) 1.97 มก./ล. ส่วน อาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และ ตะกั่ว(Pb) มีค่าต่ำมากกว่าขีดความสามารถในการวัดของเครื่องมือ

ผลสรุปจากการทดสอบสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำมันเตาและขี้เถ้าหลังจากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาโดยตรง (ไม่ผสมปนกับวัสดุหรือของเสียอื่น ๆ) ที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ 1,200^0 ซ นั้น พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายของกากตะกอนน้ำมันเตามีปริมาณโครเมียมและปรอท เท่ากับ 5.16 และ 0.253 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานของ

กรมโรงงานซึ่งกำหนดไว้ให้มีไม่เกิน 5 และ 0.2 มก./ล. ส่วนปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายของขี้เถ้าหลังจากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0, 800^0 และ $1,200^0$ ซ นั้น พบว่า มีความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายเท่ากับ 2.01, 1.97 และ 1.93 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งกำหนดไว้ที่ 5 มก./ล. แต่เนื่องจากตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540 ภาคผนวกที่ 1 หมวด 2) ข้อ 6.26 ได้กำหนดว่า " กากตะกอนขั้นปฐมภูมิ (Primary Sludge) ของการกลั่นปิโตรเลียมที่ได้จากการแยกน้ำมัน น้ำ ของแข็ง ทั้งนี้รวมถึงกากตะกอนน้ำมัน น้ำ หรือของแข็งใดๆ ที่ได้จากการแยกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วง (Gravity) ในระหว่างการเก็บหรือการบำบัดน้ำเสียหรือจากน้ำเสียจากการหล่อเย็นด้วยน้ำมัน ตะกอนที่เกิดขึ้นในเครื่องแยกน้ำมัน น้ำ ของแข็ง (Oil/water/solids separator)ในถังและที่เก็บกัก (Tanks and impoundments) ในคูระบาย(Ditche) ในระบบลำเลียงต่างๆ (Conveyance) ในบ่อสูบ (Sumps) และในหน่วยรับน้ำฝน (Stormwater units) ทั้งที่รองรับหรือไม่ได้รองรับ dry weather flow กากตะกอนที่เกิดจากการแยกตัวของน้ำหล่อเย็นและน้ำหล่อเย็นที่ปนน้ำมัน กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ (Biological treatment) รวมทั้งตะกอนที่เกิดจากหน่วยการบำบัดอื่นๆลังจากการบำบัดด้วยระบบชีวภาพ " ว่าให้เป็นของเสียอันตราย จึงถือว่ากากตะกอนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นกากของเสียอันตราย ดังนั้นขี้เถ้าที่ผ่านการเผากากตะกอนน้ำมันเตาแล้วยังจัดเป็นของเสียอันตรายชนิดหนึ่งที่ต้องทำการบำบัดด้วยการปรับเสถียร และทำให้เป็นก้อน ก่อนที่จะนำไปฝังกลบอย่างถูกวิธี ต่อไป

5.2 ผลการทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ในขั้นตอนนี้จะสรุปผลจากการหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นและชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำเสถียร โดยการนำขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตามาทำให้เป็นก้อนแข็ง ผลของการศึกษาแยกสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0ซ.

1. กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^0ซ. ที่ผ่านการผสมกับวัสดุประสาน ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบ ปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 เปอร์เซ็นต์ และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.1

-วัสดุประสานทุกชนิด (ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 เปอร์เซ็นต์ และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 เปอร์เซ็นต์) ยกเว้นปูนขาว ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ30 สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่400^{0}ซ.เป็นก้อนแข็งและผ่านการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 71.33, 43.0, 51.33 และ 38.67 กก/ตร.ซม. ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้คือรับแรงอัดได้มากกว่า 14 กก./ตร.ซม.

-ปูนขาวไม่สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0}ซ. แข็งตัวเป็นก้อนได้ ที่ส่วนผสมร้อยละ 10 ส่วนที่ส่วนผสมร้อยละ 30 และ 50 สามารถแข็งตัวเป็นก้อนได้ แต่เมื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดพบว่าไม่ผ่านตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 3.40 และ 7.53 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

-ปูนซีเมนต์ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประสานชนิดอื่นที่สัดส่วนผสมเดียวกัน

-กำลังรับแรงอัดยังคงแปรผันตามปริมาณการเพิ่มส่วนผสมของวัสดุประสาน

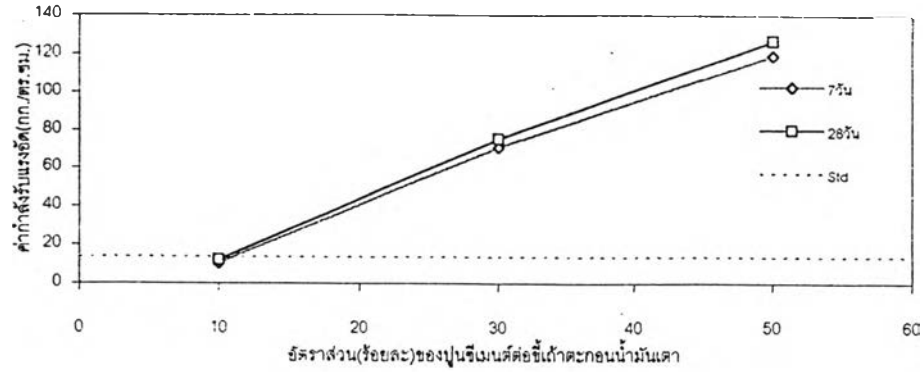
2. ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง

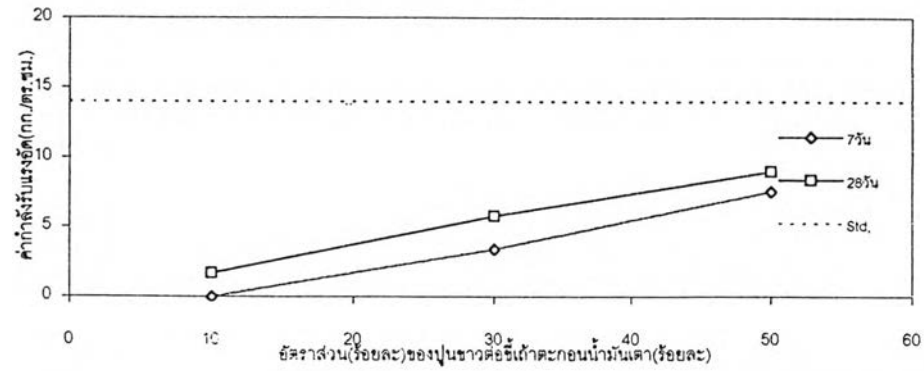
ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0}ซ. ที่ผ่านการผสมกับวัสดุประสาน ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบ ปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 เปอร์เซ็นต์ และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.2

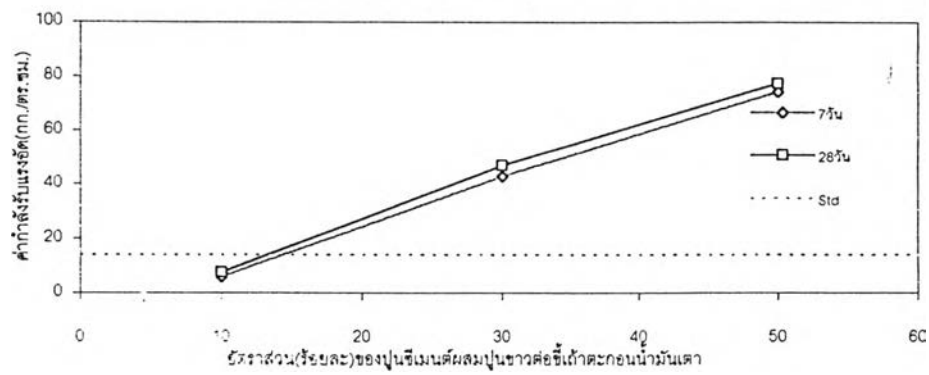
-ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ.ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ28 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 5.9

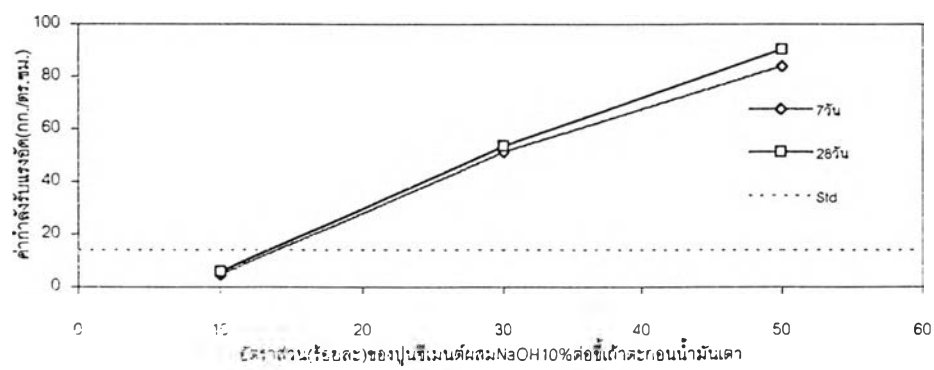
ตารางที่ 5.9แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C)

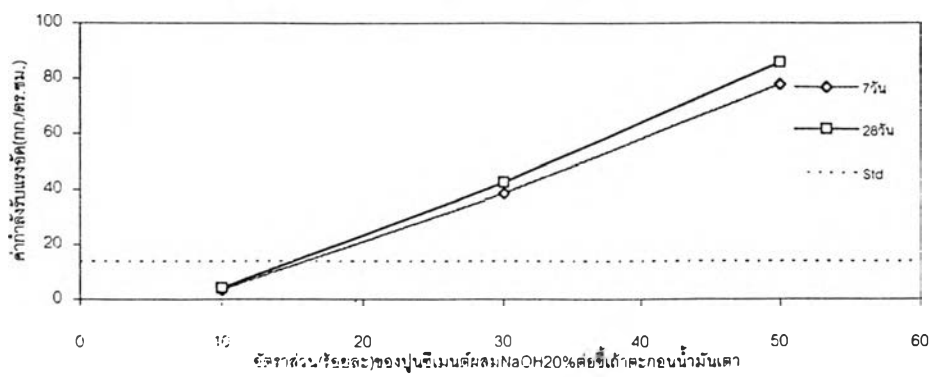
วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	กำลังรับแรงอัด (กก. /ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน /ลบ.ม.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 10	10.67	12.33	1.941	1.931
ร้อยละ 30	71.33	75.67	2.072	2.048
ร้อยละ 50	119.33	126.67	2.185	2.170
2.ปูนขาว				
ร้อยละ 10	0	1.67	1.791	1.768
ร้อยละ 30	3.4	5.8	1.781	1.770
ร้อยละ 50	7.53	9.0	1.899	1.875
3.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 10	6.0	7.67	1.874	1.834
ร้อยละ 30	43.0	47.0	1.977	1.963
ร้อยละ 50	74.33	77.4	2.097	2.069
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 10	4.67	6.0	1.809	1.767
ร้อยละ 30	51.33	53.67	1.838	1.836
ร้อยละ 50	84.07	90.40	1.988	1.968
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 10	3.4	4.3	1.870	1.838
ร้อยละ 30	38.67	42.67	2.009	1.990
ร้อยละ 50	78.0	85.73	2.072	2.066
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	>14กก./ตร.ซม. ประกาศฉบับที่1(พ.ศ.2531)		>1.15ตัน /ลบ.ม. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	



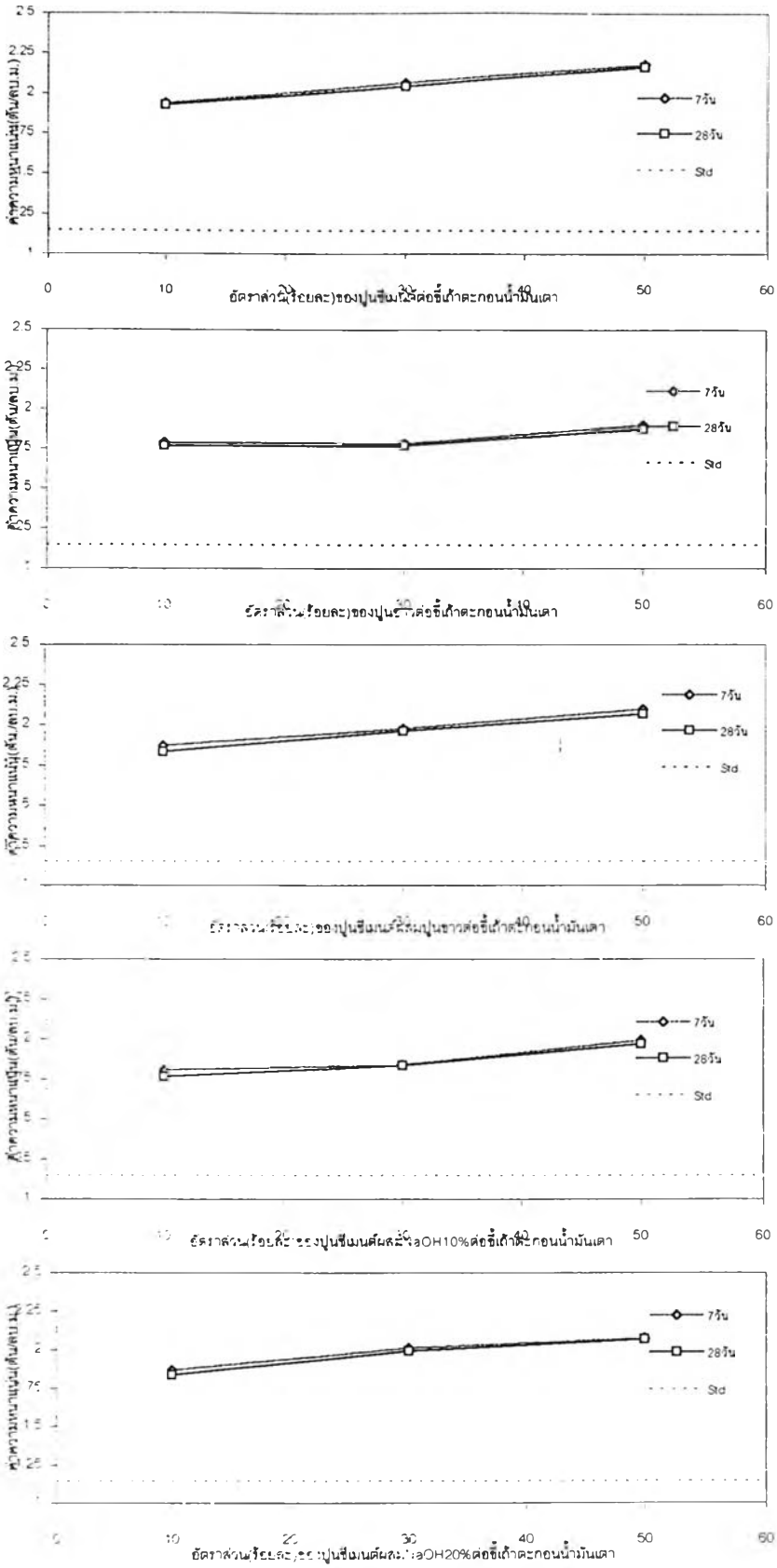




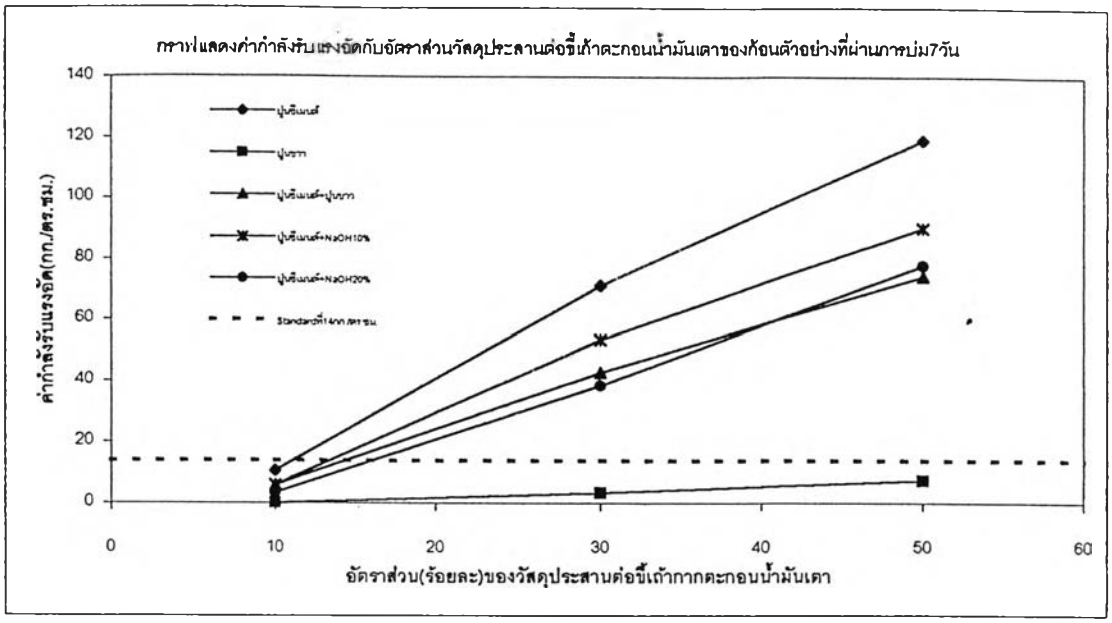




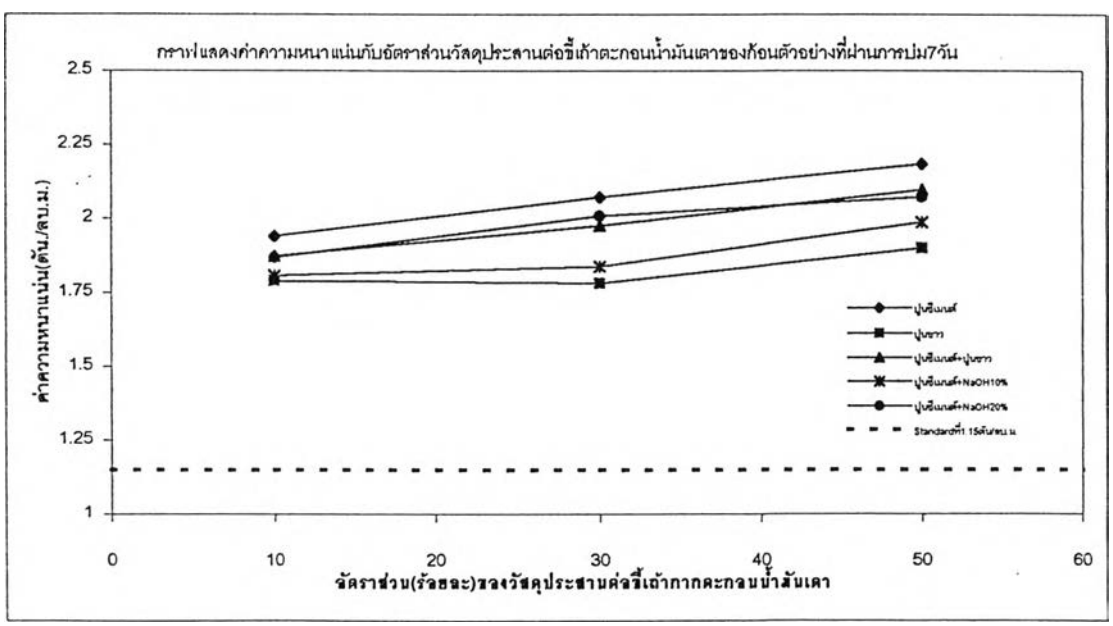
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400 ^{0}ซ.)



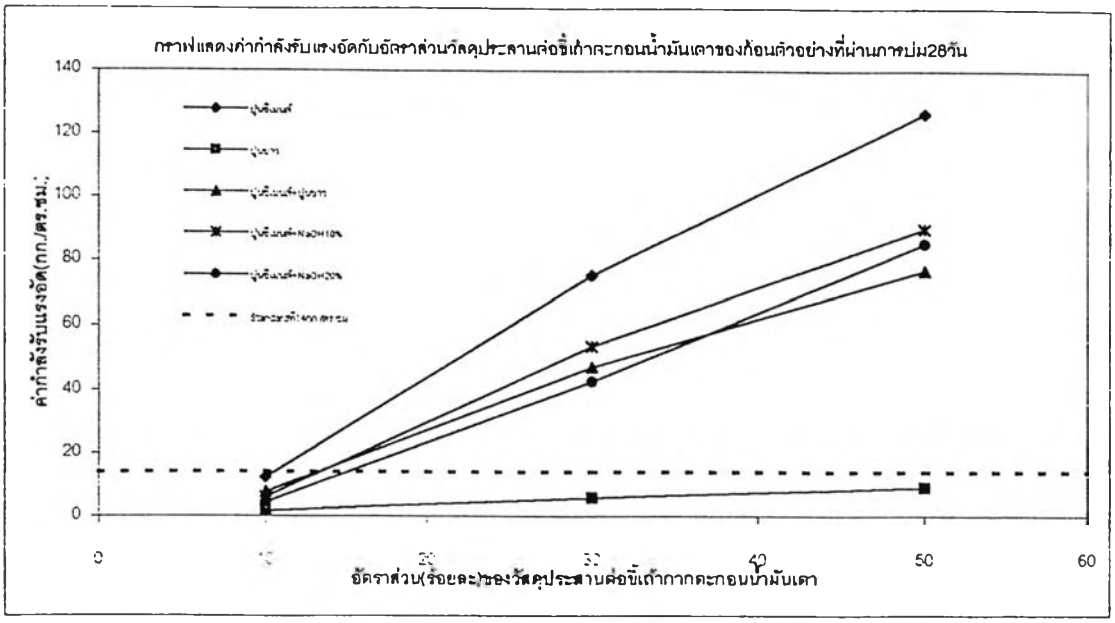
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400 ^{0}ซ.



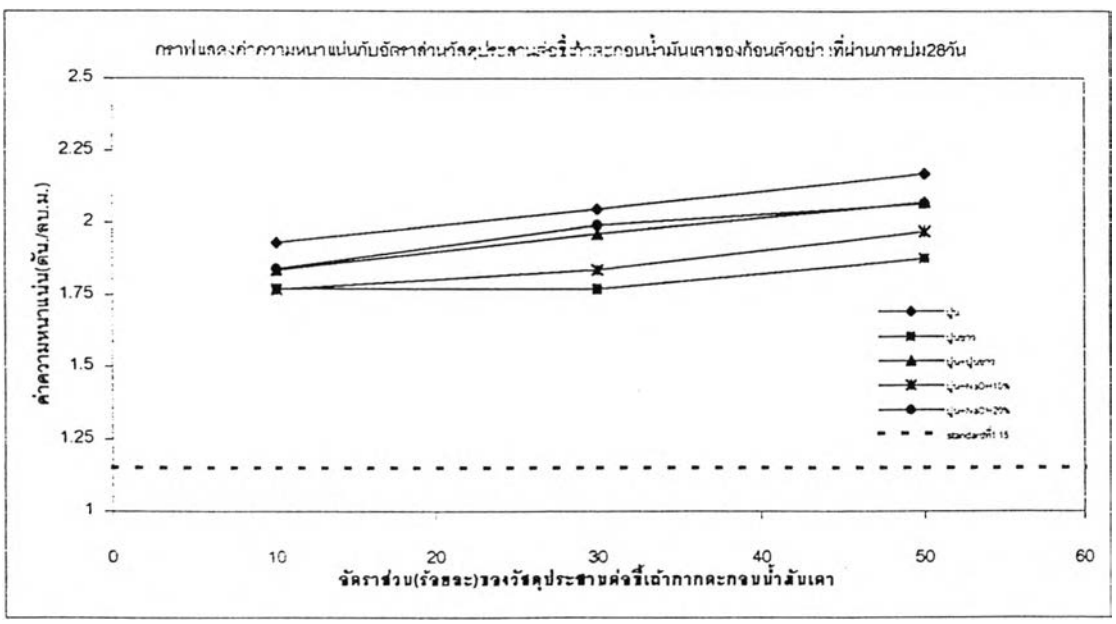
รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



รูปที่5.4กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



รูปที่5.5กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



รูปที่5.6กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น

3.การทดสอบสมบัติของน้ำชะละลาย

- จากตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์น้ำชะละลายของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ.ที่ทำให้เป็นก้อน จะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายไม่เกินค่ามาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. ในทุกอัตราส่วนผสม และทุกชนิดวัสดุประสาน

- จากตารางที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่า ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20%เป็นวัสดุประสานมีประสิทธิภาพในการยึดจับโครเมียมได้ดีที่สุดซึ่งมีผลทำให้น้ำชะละลายมีปริมาณโครเมียมชะละลายออกมาน้อยที่สุด

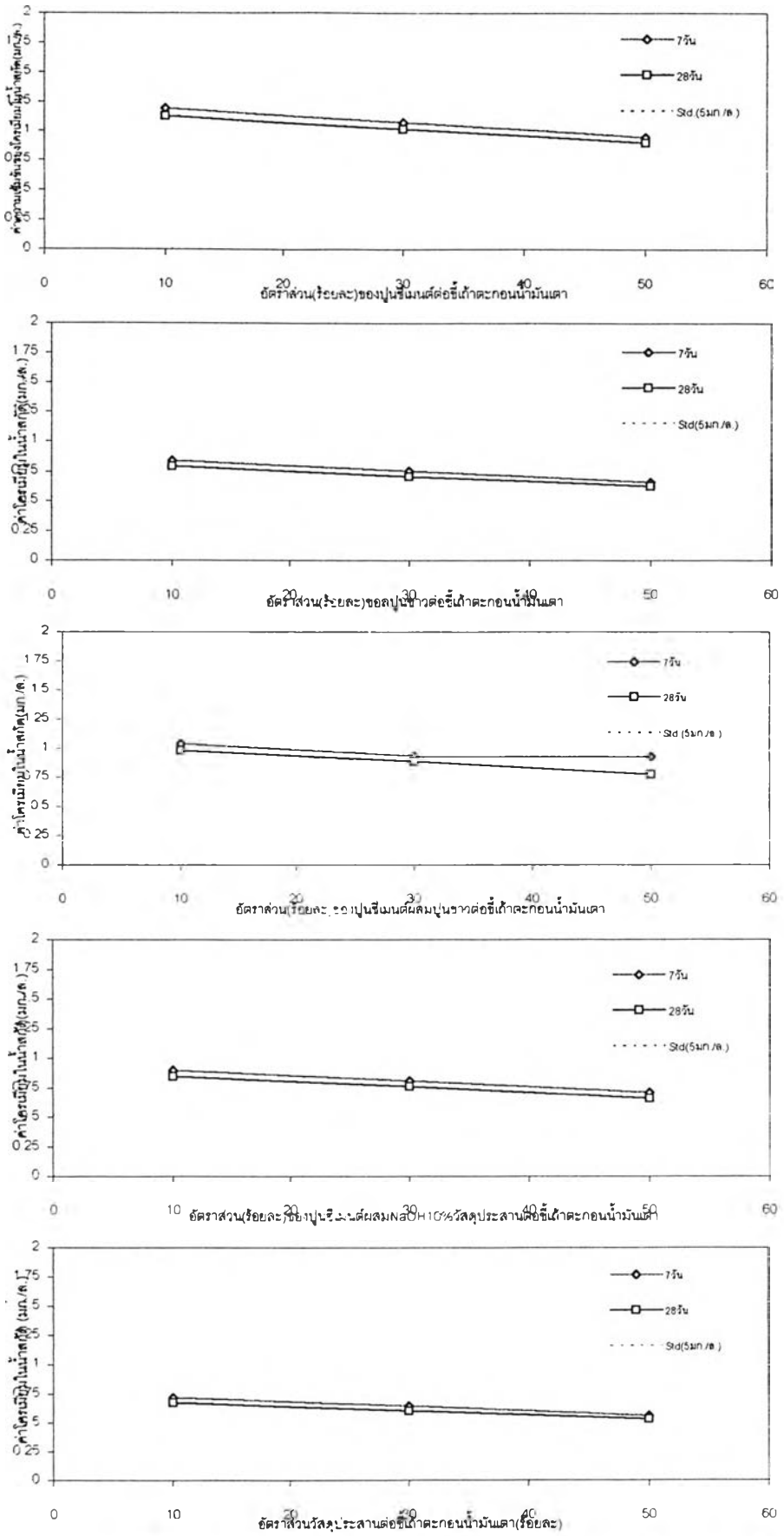
- ส่วนอาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) นั้นวิเคราะห์ไม่พบในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ400^{0}ซ. จึงไม่ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังกล่าวในการทดลองนี้

4. ค่าพีเอชในน้ำสกัด

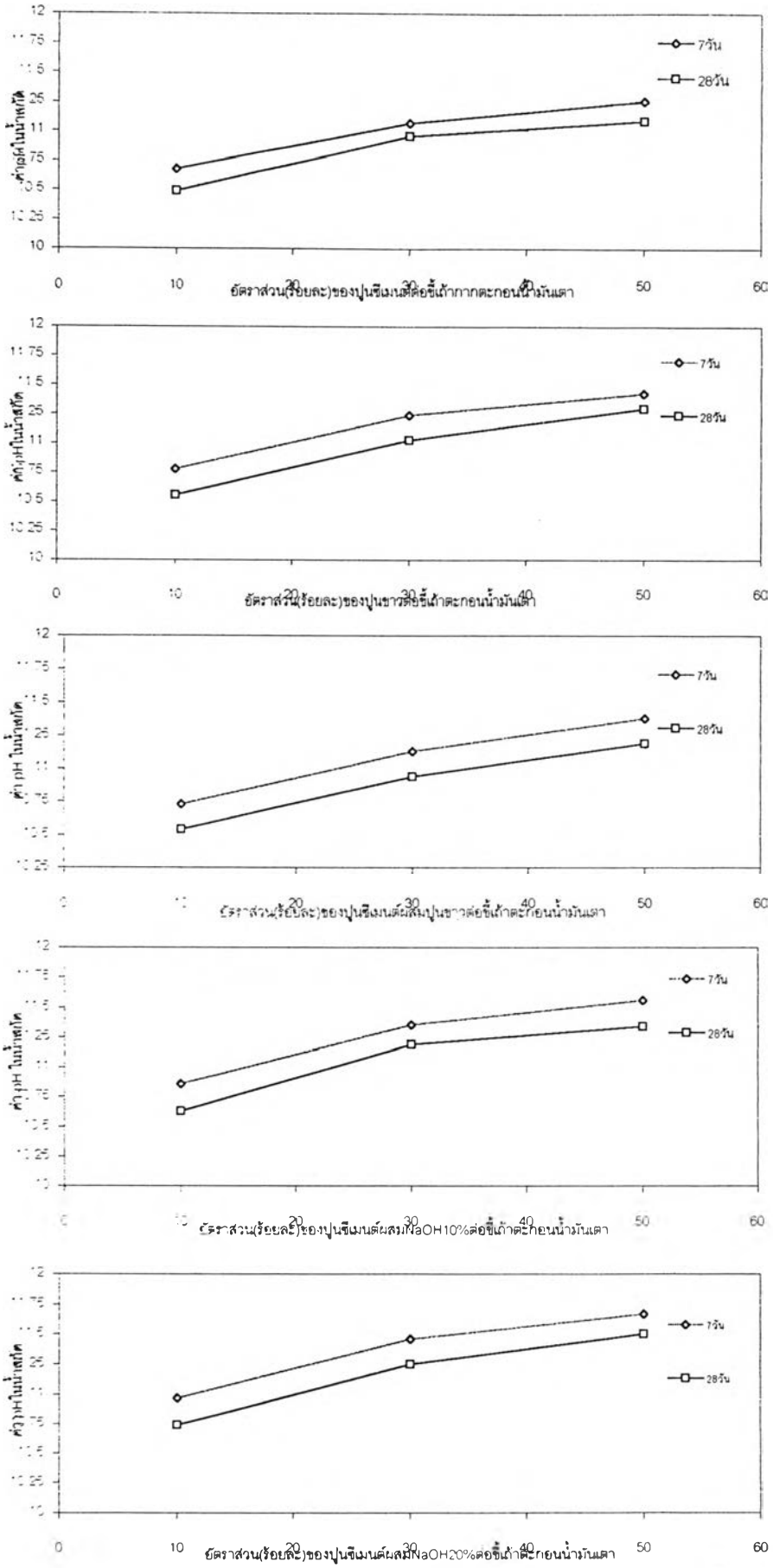
- ค่า pH ในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ.ที่ทำให้เป็นก้อน แสดงในตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.10 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C)

วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนัก (มก. /ล.)	
			โครเมียม	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 10	10.68	10.49	1.197	1.13
ร้อยละ 30	11.07	10.96	1.077	1.017
ร้อยละ 50	11.26	11.09	0.953	0.903
2.ปูนขาว				
ร้อยละ 10	10.78	10.56	0.841	0.793
ร้อยละ 30	11.24	11.03	0.756	0.710
ร้อยละ 50	11.43	11.30	0.661	0.630
3.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 10	10.73	10.54	1.041	0.983
ร้อยละ 30	11.13	10.94	0.937	0.889
ร้อยละ 50	11.38	1 .19	0.928	0.778
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 10	10.86	10.63	0.901	0.850
ร้อยละ 30	11.35	11.19	0.810	0.760
ร้อยละ 50	11.56	11.34	0.710	0.659
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 10	10.97	10.74	0.720	0.679
ร้อยละ 30	11.46	11.25	0.647	0.608
ร้อยละ 50	11.67	11.50	0.561	0.536
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	-		< 5 มก. /ล. ประกาศฉบับที่6 (พ.ศ.2540)	



รูปที่ 5.7 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400 ^{0} ซ.



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆกับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400^{0}ซ.

5.2.2 ขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ.

1. กำลังรับแรงอัด

-ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ. ที่ผ่านการผสมกับวัสดุประสาน ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบ ปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 % และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % แสดงในตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.9

-วัสดุประสานทุกชนิด (ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 เปอร์เซ็นต์ และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 เปอร์เซ็นต์) ยกเว้นปูนขาว ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ30สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ.เป็นก้อนแข็งและผ่านการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 103.67, 57.4, 72.4 และ 45.33 กก/ตร.ซม. ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้คือรับแรงอัดได้มากกว่า 14 กก./ตร.ซม.

-ปูนขาวไม่สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ. แข็งตัวเป็นก้อนได้ ที่ส่วนผสมร้อยละ 10 ส่วนที่ส่วนผสมร้อยละ 30 และ 50 สามารถแข็งตัวเป็นก้อนได้ แต่เมื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดพบว่าไม่ผ่านตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 2.47 และ 4.73 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

-ปูนซีเมนต์ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประสานชนิดอื่นที่สัดส่วนผสมเดียวกัน

-กำลังรับแรงอัดยังคงแปรผันตามปริมาณการเพิ่มส่วนผสมของวัสดุประสาน

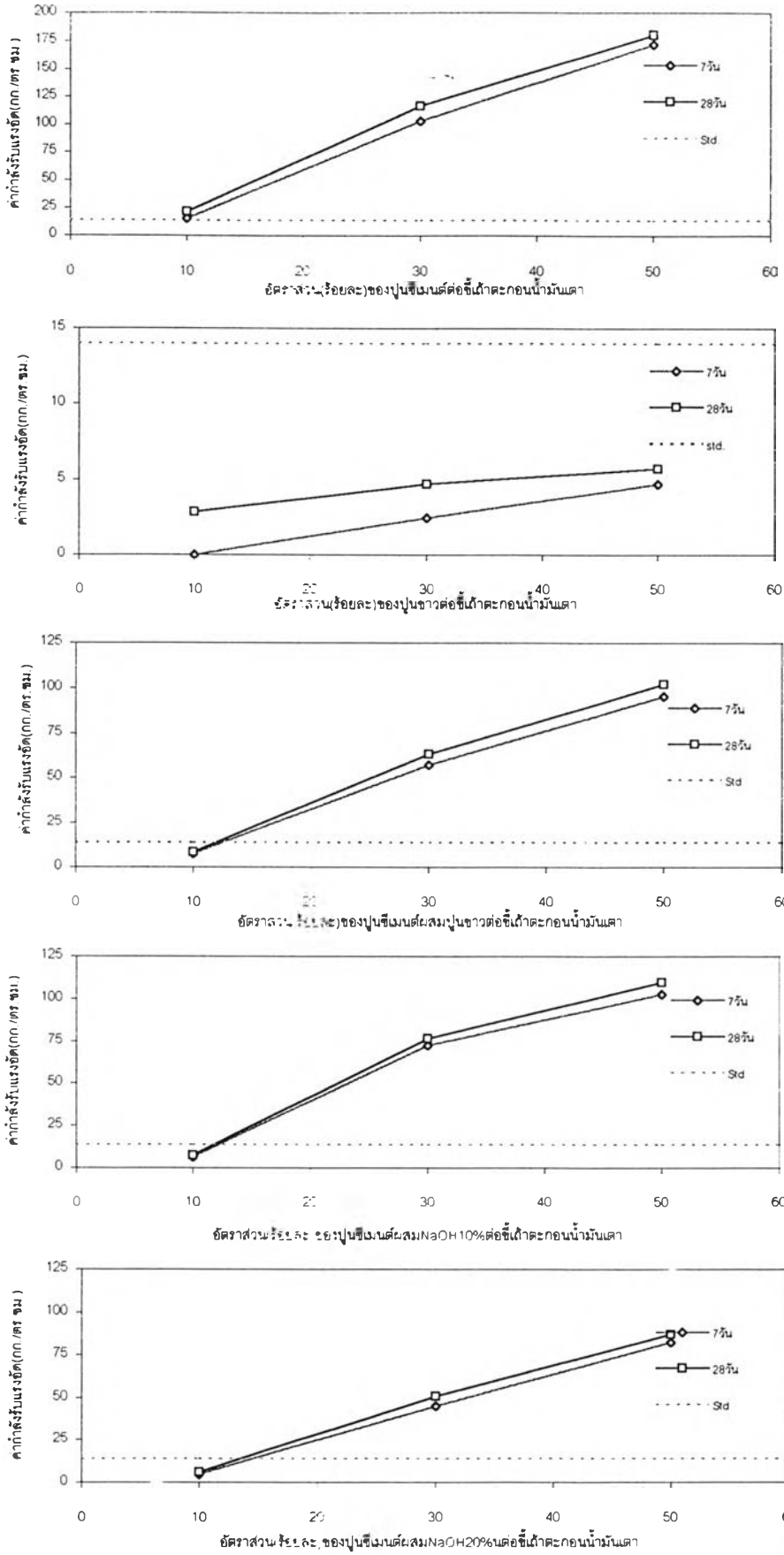
-ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ.ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ28 วัน แสดงไว้ในตารางที่ 5.11

2. ความหนาแน่น

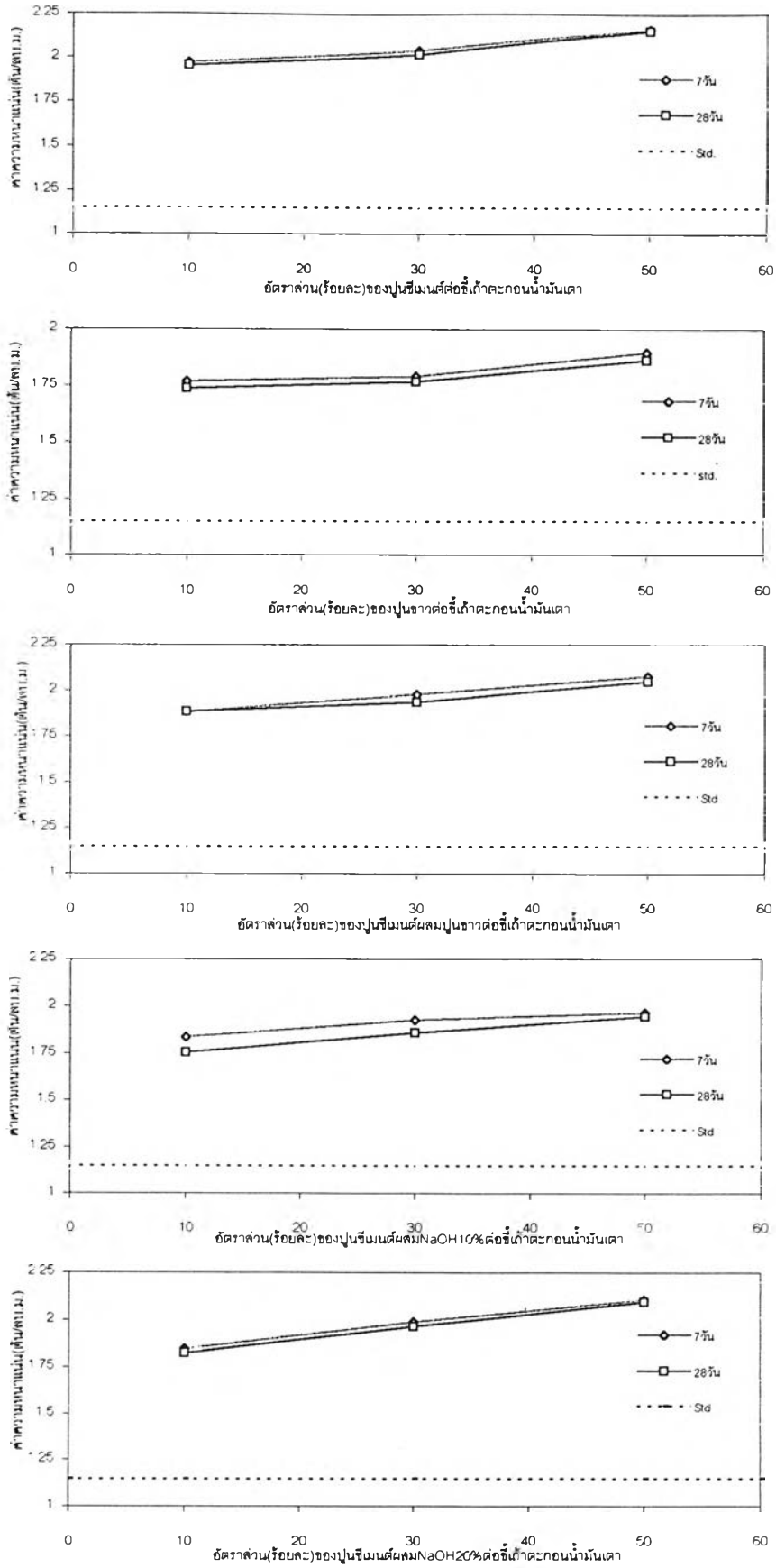
-ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ. กับวัสดุประสานชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.11และรูปที่5.10

ตารางที่ 5.11 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C)

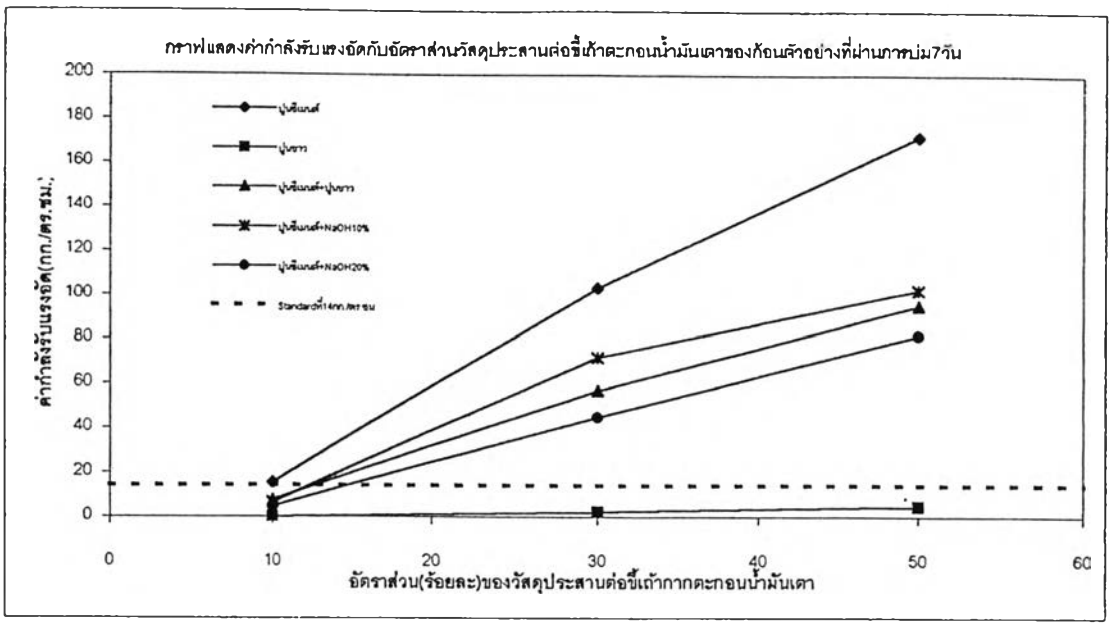
วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	กำลังรับแรงอัด (กก. /ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน /ลบ.ม.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 10	15.67	21.67	1.975	1.959
ร้อยละ 30	103.67	117.2	2.043	2.022
ร้อยละ 50	172.0	180.33	2.166	2.157
2.ปูนขาว				
ร้อยละ 10	0	2.87	1.769	1.738
ร้อยละ 30	2.47	4.73	1.794	1.770
ร้อยละ 50	4.73	5.73	1.900	1.864
3.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 10	7.8	8.73	1.887	1.887
ร้อยละ 30	57.4	63.33	1.981	1.939
ร้อยละ 50	95.8	102.4	2.079	2.049
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 10	6.4	7.40	1.835	1.757
ร้อยละ 30	72.4	76.67	1.926	1.859
ร้อยละ 50	102.8	109.67	1.967	1.946
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 10	4.73	6.07	1.848	1.826
ร้อยละ 30	45.33	50.8	1.988	1.966
ร้อยละ 50	82.33	87.07	2.106	2.094
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	>14กก./ตร.ซม ประกาศฉบับที่1 (พ.ศ.2531)		>1.15ตัน/ลบ.ม ประกาศฉบับที่6 (พ.ศ.2540)	



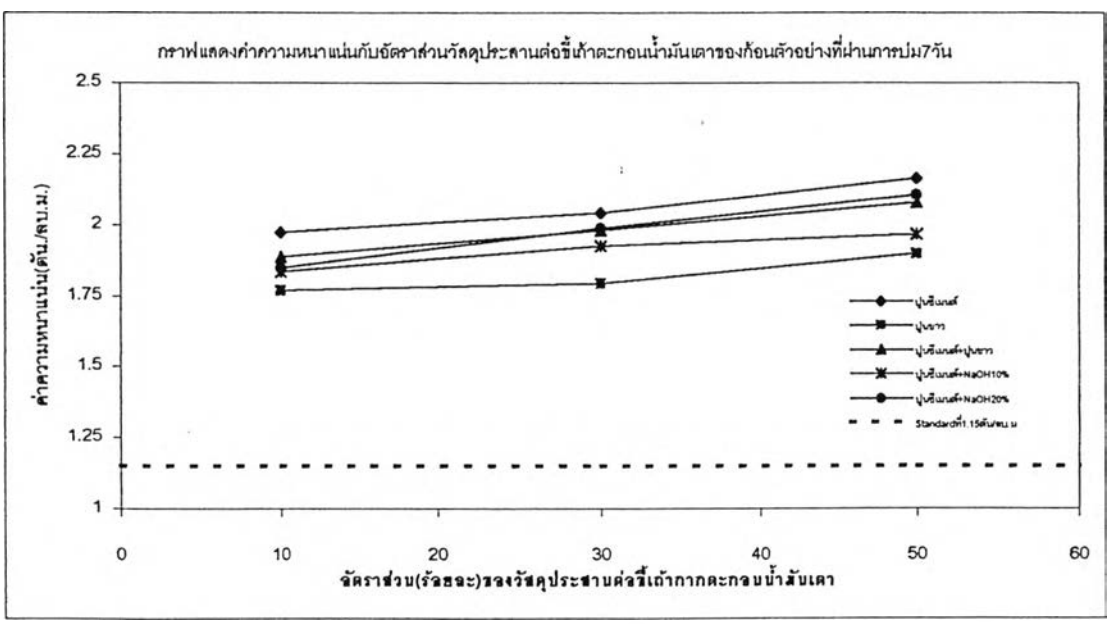
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800 ^{0} ซ.)



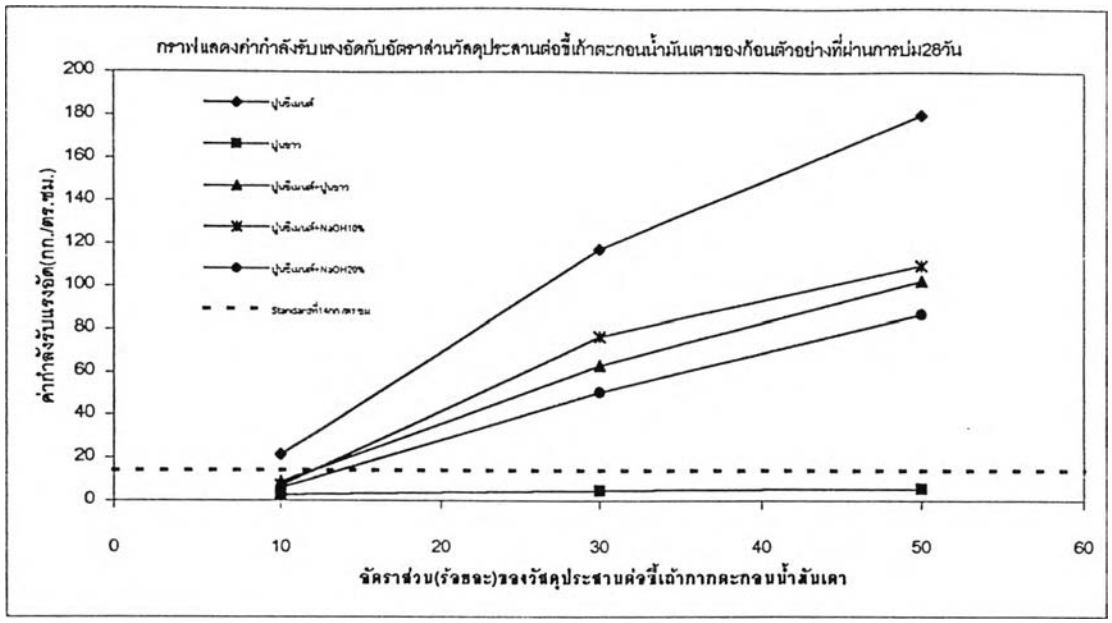
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800^{0}ซ.



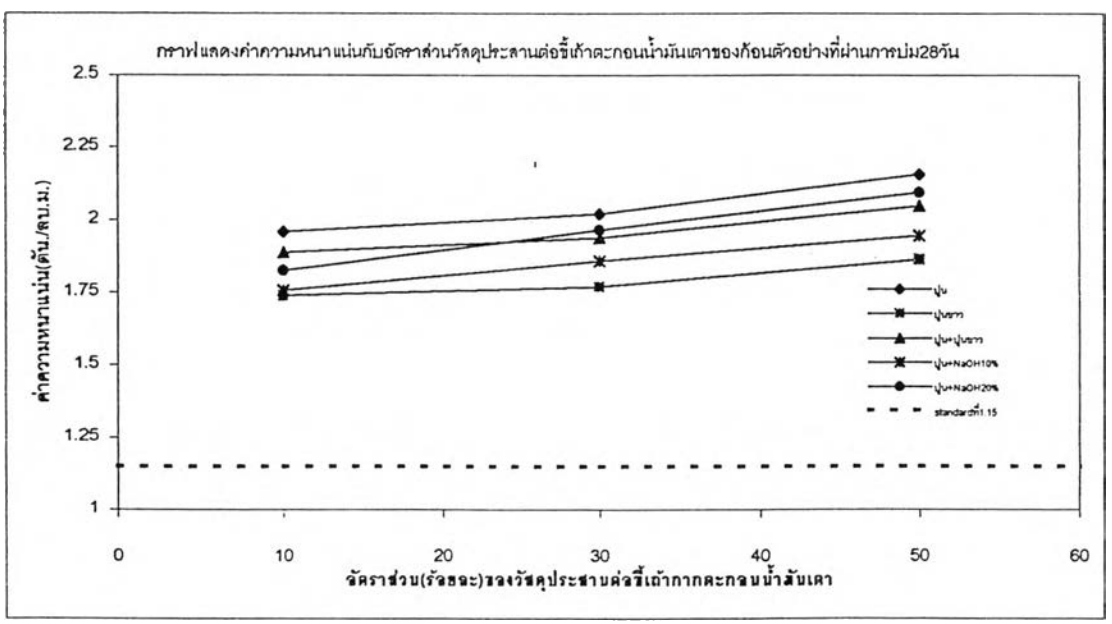
รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 800°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสามชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 800°ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



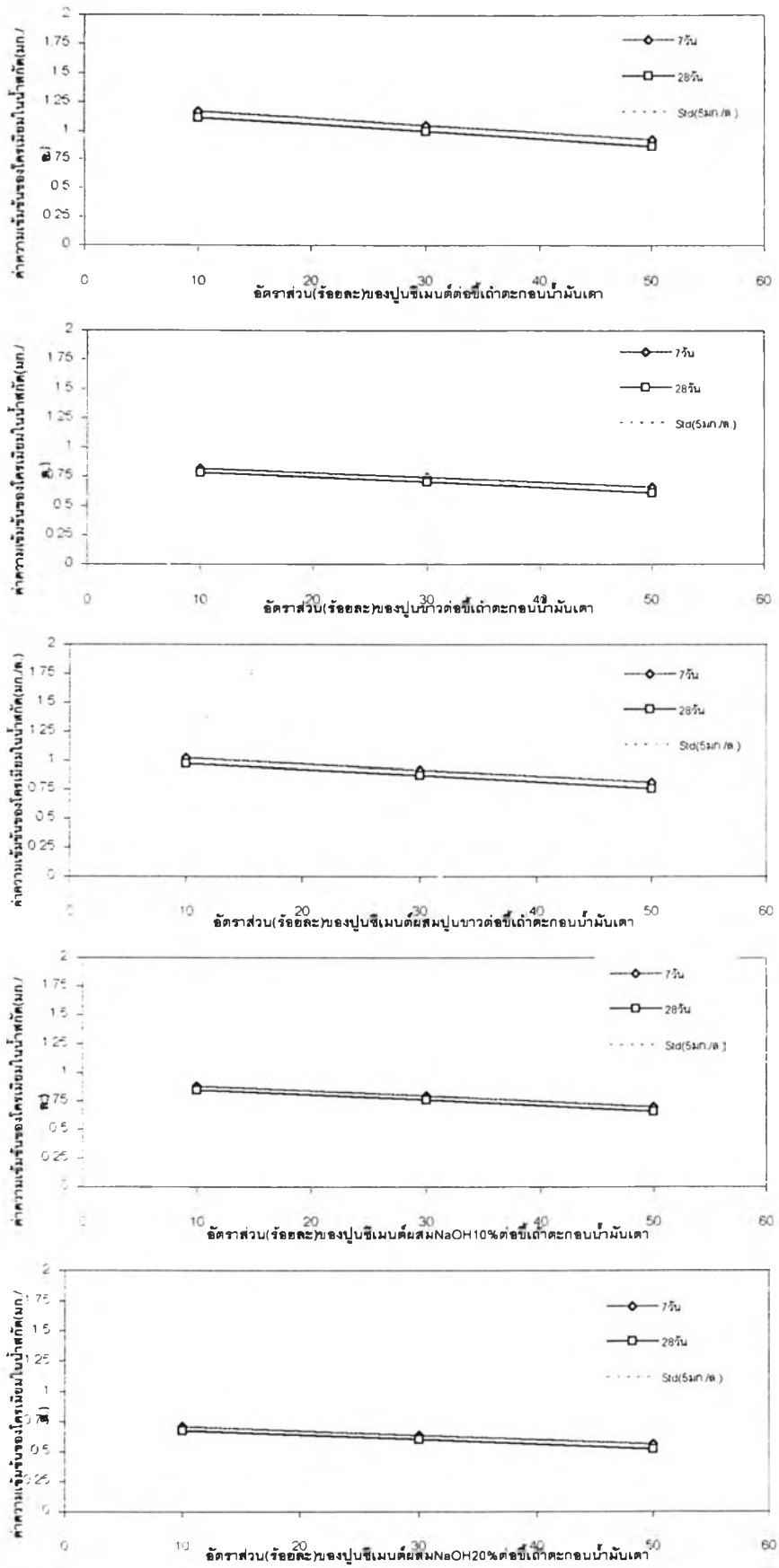
รูปที่ 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



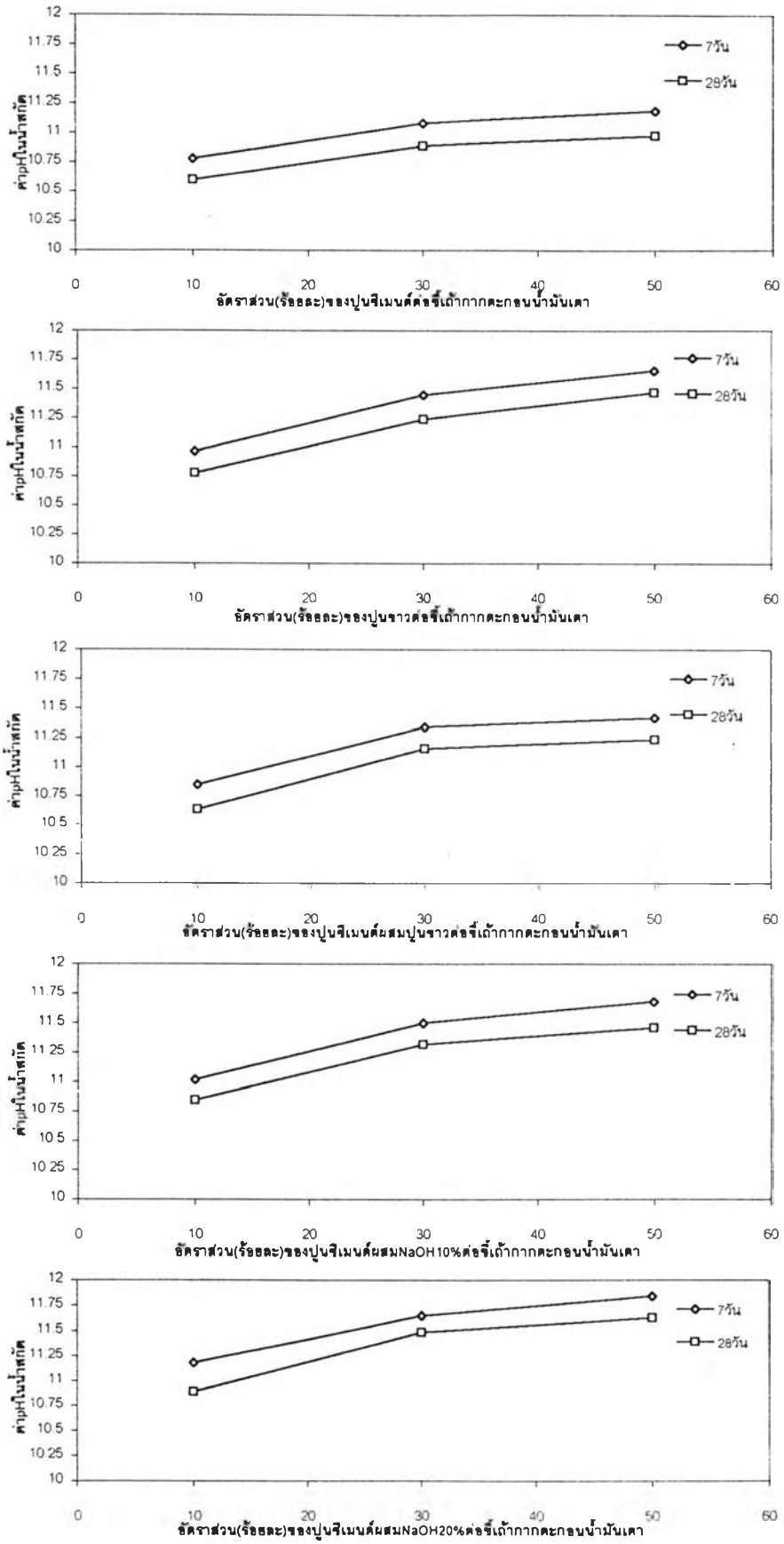
รูปที่ 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น

ตารางที่ 5.12 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C)

วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนัก(มก. /ล.) โครเมียม	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 10	10.78	10.60	1.173	1.117
ร้อยละ 30	11.08	10.89	1.053	1.003
ร้อยละ 50	11.19	10.98	0.930	0.870
2.ปูนขาว				
ร้อยละ 10	10.97	10.78	0.820	0.787
ร้อยละ 30	11.45	11.24	0.745	0.707
ร้อยละ 50	11.66	11.47	0.660	0.614
3.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 10	10.85	10.64	1.021	0.974
ร้อยละ 30	11.34	11.16	0.918	0.874
ร้อยละ 50	11.42	11.24	0.810	0.757
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 10	11.02	10.85	0.879	0.844
ร้อยละ 30	11.50	11.32	0.795	0.758
ร้อยละ 50	11.68	11.46	0.701	0.656
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 10	11.18	10.89	0.708	0.674
ร้อยละ 30	11.65	11.49	0.637	0.606
ร้อยละ 50	11.84	11.63	0.564	0.525
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	-		< 5 มก. /ล. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	



รูปที่ 5.15 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800^{0}ซ.



ปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆกับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800 ^{0}ซ.

3.การทดสอบสมบัติของน้ำชะละลาย

- จากตารางที่ 5.12 และรูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์น้ำชะละลายของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ.ที่ทำให้เป็นก้อน จะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายไม่เกินค่ามาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. ในทุกอัตราส่วนผสม และทุกชนิดวัสดุประสาน

- ส่วนอาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) นั้นวิเคราะห์ไม่พบในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ. จึงไม่ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังกล่าวในการทดลองนี้

- ค่า pH ในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างแสดงในตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.16

5.2.3 ขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 1200^{0}ซ.

1. กำลังรับแรงอัด

- ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200^{0}ซ. ที่ผ่านการผสมกับวัสดุประสาน ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบ ปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 % และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % ดังแสดงในตารางที่ 5.13 และรูป5 .17

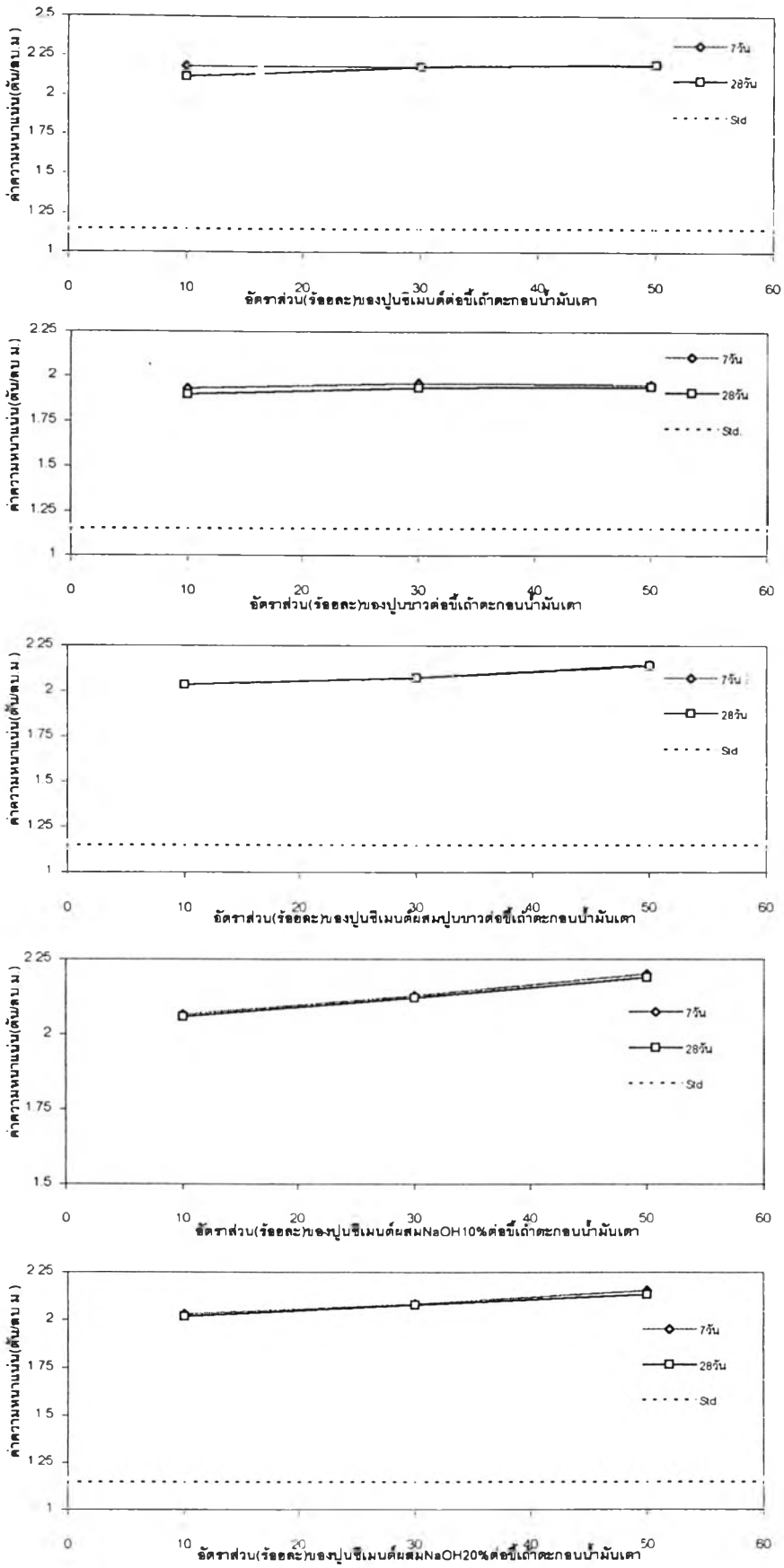
- วัสดุประสานทุกชนิด (ปูนซีเมนต์ ปูนขาวดิบผสมปูนซีเมนต์ (1:1 โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 เปอร์เซ็นต์ และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 เปอร์เซ็นต์) ยกเว้นปูนขาว ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 30 สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1,200^{0}ซ. เป็นก้อนแข็งและผ่านการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 123.73, 65.33, 79.67 และ 61.33 กก/ตร.ซม. ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้คือรับแรงอัดได้มากกว่า 14 กก./ตร.ซม

- ปูนขาวไม่สามารถทำให้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1200^{0}ซ. แข็งตัวเป็นก้อนได้ ที่ทุกสัดส่วนผสมร้อยละ 10 ส่วนที่ส่วนผสมร้อยละ 30 และ 50 สามารถแข็งตัวเป็นก้อนได้ แต่เมื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดพบว่าไม่ผ่านตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 2.26 และ 5.4 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

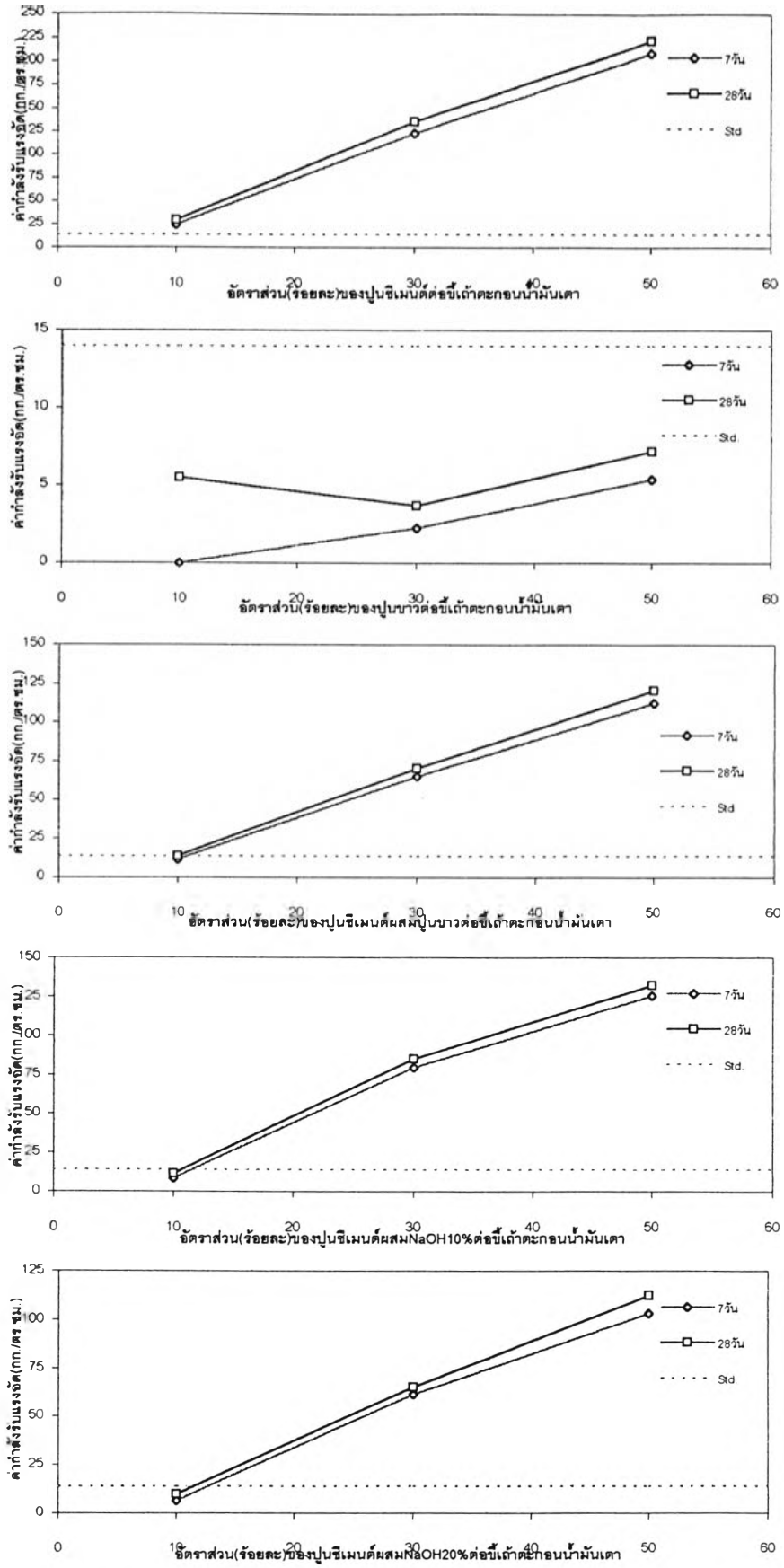
- ปูนซีเมนต์ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประสานชนิดอื่นที่สัดส่วนผสมเดียวกัน

ตารางที่ 5.13 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C)

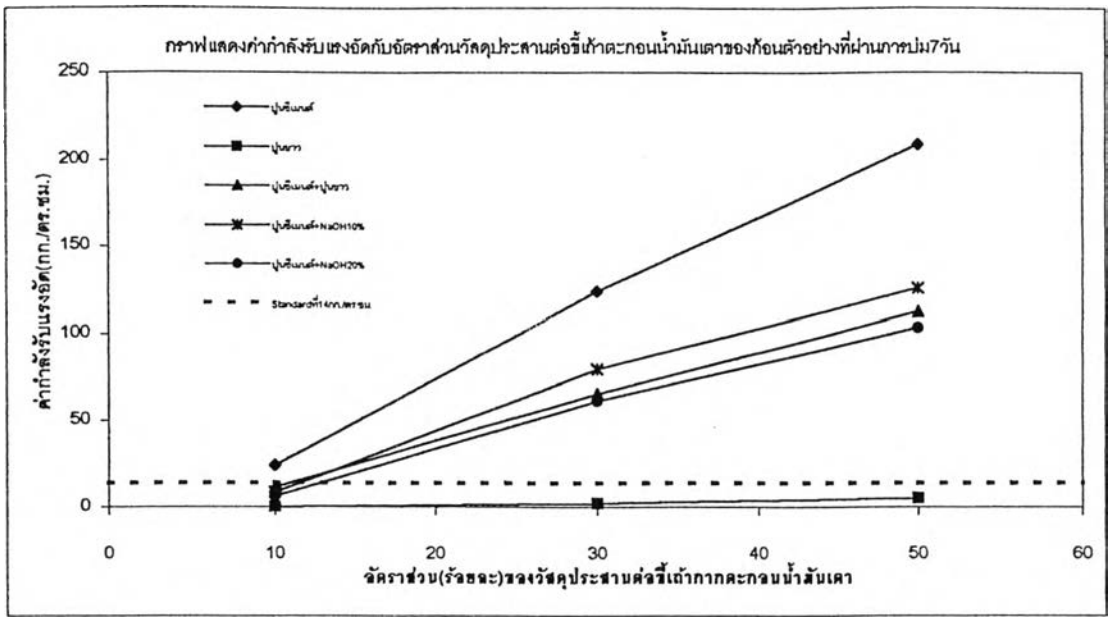
วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	กำลังรับแรงอัด (กก. /ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน /ลบ.ม.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 10	24.33	29.67	2.187	2.118
ร้อยละ 30	123.73	136.0	2.183	2.180
ร้อยละ 50	209.0	222.33	2.199	2.194
2.ปูนขาว				
ร้อยละ 10	0	5.53	1.932	1.900
ร้อยละ 30	2.26	3.73	1.963	1.938
ร้อยละ 50	5.4	7.2	1.955	1.945
3.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 10	11.47	13.8	2.035	2.036
ร้อยละ 30	65.33	70.33	2.079	2.073
ร้อยละ 50	112.33	120.67	2.149	2.140
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 10	8.67	11.67	2.066	2.057
ร้อยละ 30	79.67	85..33	2.130	2.122
ร้อยละ 50	125.67	132.4	2.202	2.189
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 10	6.47	9.87	2.032	2.018
ร้อยละ 30	61.33	65.33	2.086	2.080
ร้อยละ 50	103.33	112.4	2.157	2.134
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	>14กก./ตร.ซม. ประกาศฉบับที่1(พ.ศ.2531)		>1.15ตัน/ลบ.ม. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	



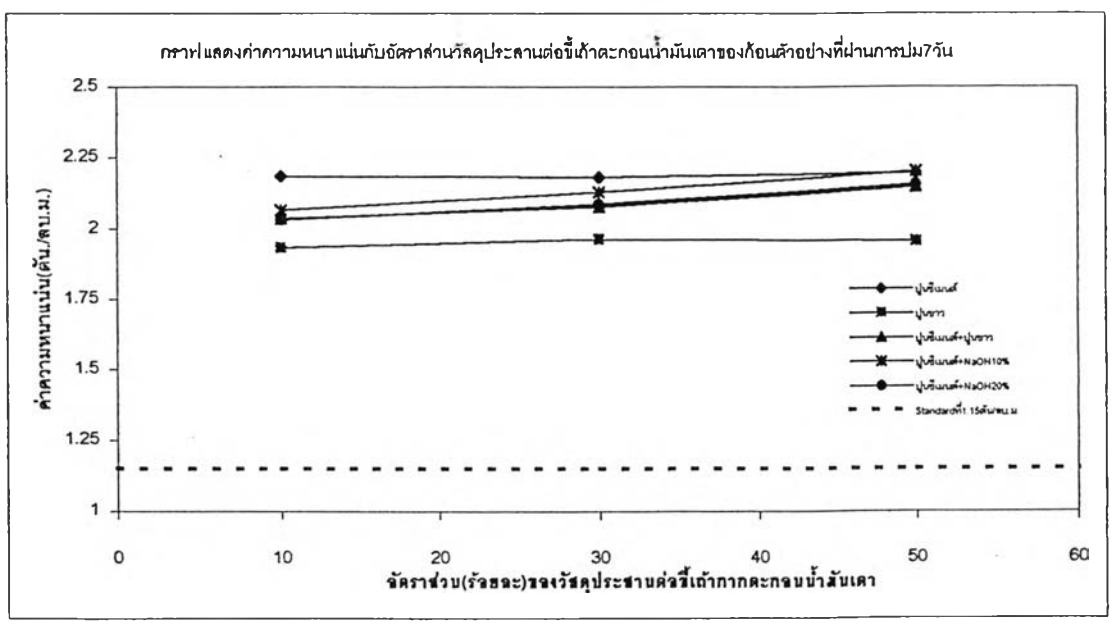
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ.



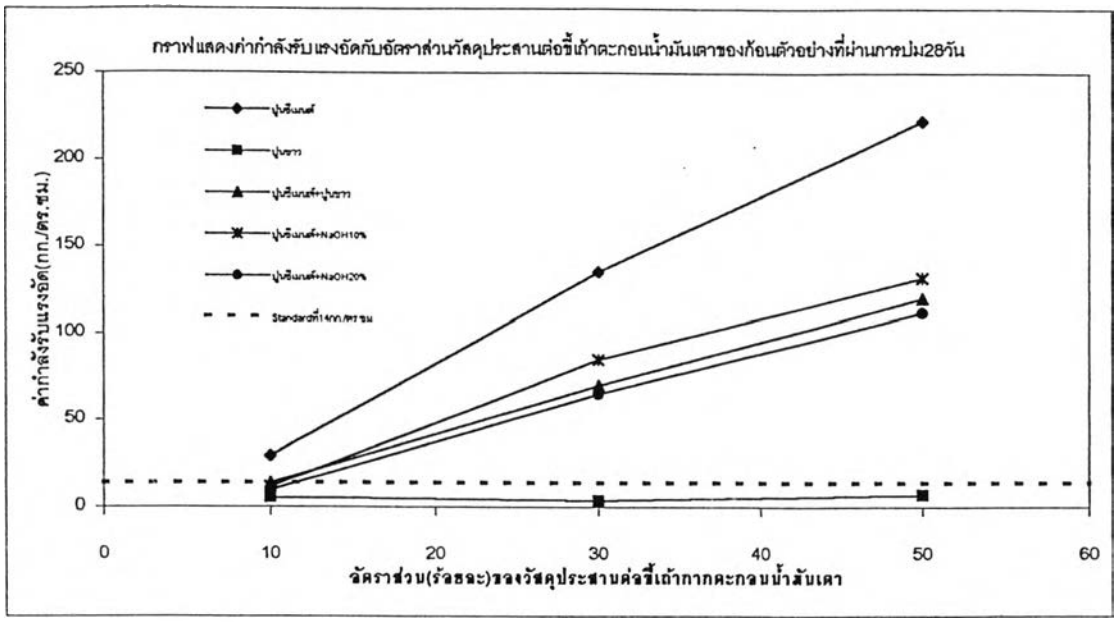
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ.)



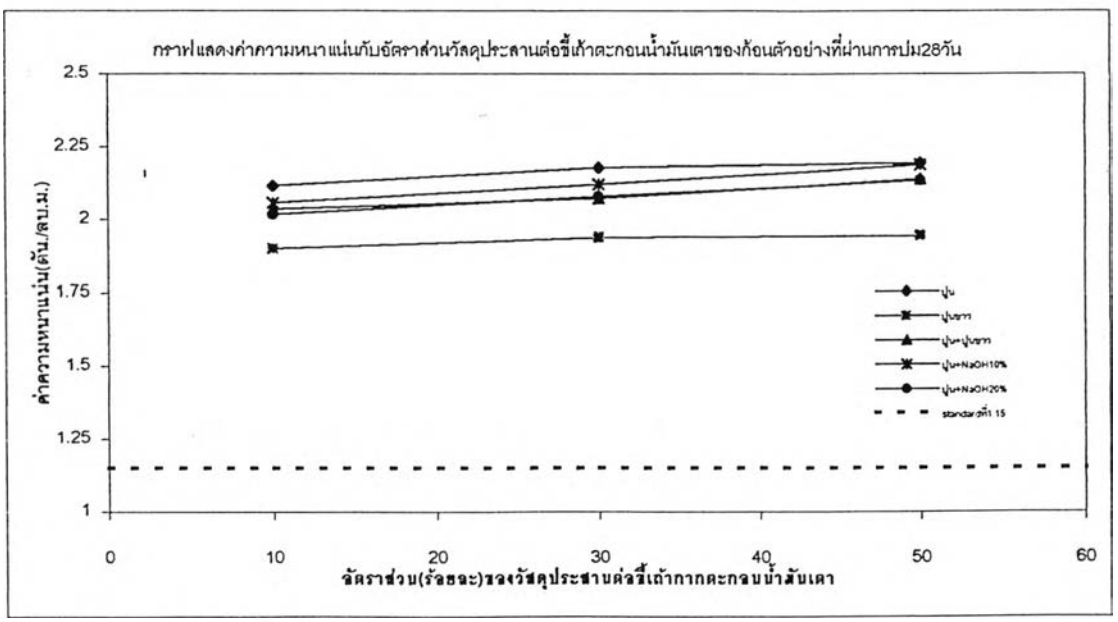
รูปที่ 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



รูปที่ 5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 7 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



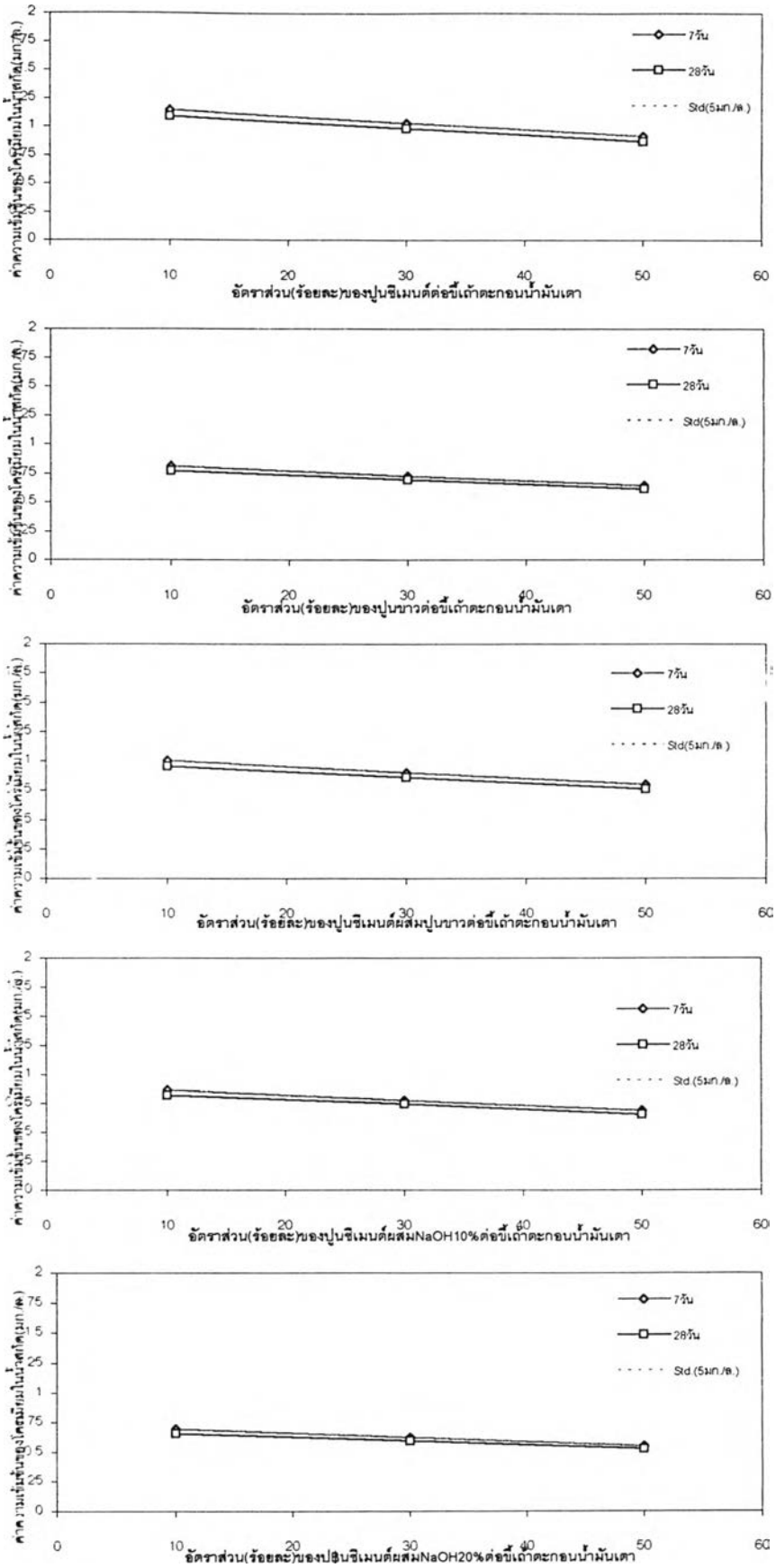
รูปที่ 5.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น



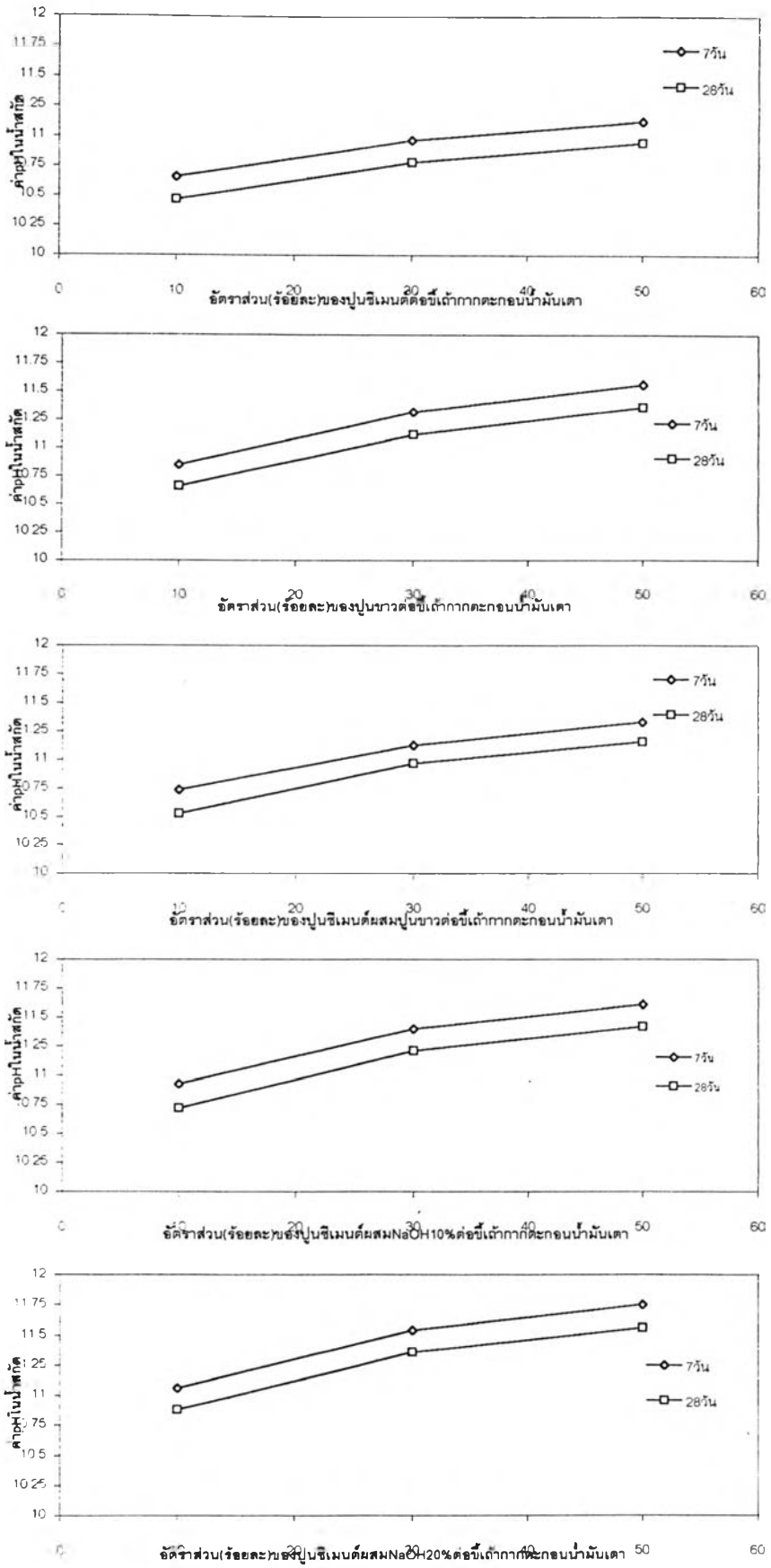
รูปที่ 5.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา(ที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.)ที่ทำให้เป็นก้อน(ที่ผ่านการบ่ม 28 วัน)จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น

ตารางที่ 5.14 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C)

วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนัก(มก. /ล.)	
			โครเมียม	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 10	10.66	10.47	1.150	1.093
ร้อยละ 30	10.97	10.78	1.033	0.987
ร้อยละ 50	11.13	10.95	0.917	0.873
2.ปูนขาว				
ร้อยละ 10	10.85	10.66	0.811	0.771
ร้อยละ 30	11.32	11.12	0.729	0.696
ร้อยละ 50	11.56	11.36	0.646	0.616
3.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 10	10.74	10.53	1.004	0.954
ร้อยละ 30	11.13	10.97	0.902	0.861
ร้อยละ 50	11.33	11.16	0.800	0.762
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 10	10.93	10.72	0.867	0.824
ร้อยละ 30	11.40	11.21	0.779	0.745
ร้อยละ 50	11.61	11.42	0.691	0.658
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 10	11.06	10.88	0.695	0.661
ร้อยละ 30	11.54	11.36	0.624	0.596
ร้อยละ 50	11.75	11.56	0.554	0.528
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	-		< 5 มก. /ล. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	



รูปที่ 5.23 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ.



รูปที่ 5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆกับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานเบื้องต้น(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ.

-ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้น ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ28 วัน แสดงไว้ใน ตารางที่ 5.13

2. ความหนาแน่น

ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.แสดงในรูปที่ 5.18

3. การทดสอบสมบัติของน้ำชะละลาย

- จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นการวิเคราะห์น้ำชะละลายของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.ที่ทำให้เป็นก้อน พบว่ามีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายไม่เกินค่ามาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 5 มก./ล. ในทุกอัตราส่วนผสม และทุกชนิดวัสดุประสาน

- ส่วนอาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) นั้นวิเคราะห์ไม่พบในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ. จึงไม่ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังกล่าวในการทดลองนี้

- ส่วนค่า pH ในน้ำสกัดของก้อนตัวอย่างของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ.แสดงในรูปที่ 5.24

5.2.4 สรุปผลการทดสอบหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้น

จากผลการทดลองการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อตะกอนน้ำมันเตาในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นนั้นพบว่า ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดสำหรับทุกอัตราส่วนวัสดุประสานและทุกชนิดของวัสดุประสานนั้นมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ทางกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ที่ 5 มก./ล. ดังนั้นเกณฑ์ในการเลือกชนิดและอัตราส่วนของวัสดุประสานเพื่อนำมาแปรค่าหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองขั้นต่อไปนั้นจะพิจารณาที่ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเป็นหลัก ซึ่งผลการทดสอบค่าต่างๆของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆแล้วนำไปทำให้เป็นก้อนแข็งโดยวัสดุประสานชนิดต่างๆนั้น สรุปได้ดังนี้

1. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ มีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายไม่เกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม คือ มีค่าความเข้มข้นโครเมียม 2.01 มก./ล. (มาตรฐานไม่เกิน 5 มก./ล.)

จากการทดลองพบว่า วัสดุประสานทุกชนิดมีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ ให้เป็นก้อนแข็งโดยผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัด (14 กก./ตร.ซม.) ที่สัดส่วนผสมเดียวกันคือ ร้อยละ 30 ซึ่งปูนซีเมนต์รับแรงอัดได้สูงที่สุดและค่ากำลังรับแรงอัดของทุกสัดส่วนมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานไปมากแต่ค่ากำลังรับแรงอัดที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10 นั้นไม่มีวัสดุประสานชนิดใดมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานเลยดังนั้นในการทดลองต่อไปจะเลือกแปรค่าวัสดุประสานในช่วงระหว่าง ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 30 เพื่อหาสัดส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อไป

2.ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ มีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายไม่เกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมคือ มีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัด 1.97 มก./ล. (มาตรฐานไม่เกิน 5 มก./ล.)

จากการทดลองพบว่า วัสดุประสานมีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ ให้เป็นก้อนแข็งโดยผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัด (14 กก./ตร.ซม.) ที่ส่วนผสมแตกต่างกันไป โดยที่ปูนซีเมนต์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่สัดส่วนผสมร้อยละ10 โดยมีกำลังรับแรงอัด 15.67 กก./ตร.ซม. ส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % จะผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่สัดส่วนผสมร้อยละ 30 โดยมีกำลังรับแรงอัด 57.40, 72.40 และ 45.33 กก./ตร.ซม ซึ่งจากผลการทดลองนี้เราจะเลือกทำการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยจะเลือกแปรค่าอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อตะกอนที่ ร้อยละ 10 ลงไป และจะเลือกแปรค่าอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 : 1) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % ที่สัดส่วนผสมวัสดุประสานต่อตะกอนอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 10 ถึง 30 ตามลำดับ สำหรับใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุประสานต่อไป

3. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ มีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายไม่เกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม คือ ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัด 1.93 มก./ล. (มาตรฐานไม่เกิน 5 มก./ล.)

จากการทดลองพบว่าวัสดุประสานมีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำเสถียรขี้เถ้า หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ ให้เป็นก้อนแข็งโดยผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบรับแรงอัด (14 กก./ตร.ซม.) ของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกันไปโดยที่ปูนซีเมนต์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ10 โดยมีกำลังรับแรงอัด 24.33 กก./ตร.ซม. ส่วน ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % จะผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 30 โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 65.33, 79.67 และ61.33 กก./ตร.ซม ซึ่งจากผลการทดลองนี้เราจะเลือกทำการแปรค่าสัดส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม โดยจะเลือกแปรค่าสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อตะกอนที่ ร้อยละ 10 ลงไป และจะเลือกแปรค่าสัดส่วนผสมของปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1 : 1) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % ที่สัดส่วนผสมวัสดุประสานต่อตะกอนอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 10 ถึง 30 ตามลำดับ สำหรับใช้ศึกษาในขั้นตอนการทดสอบหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุประสานต่อไป

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. 800^0 ซ. และ 1,200^0 ซ หลังผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง โดยผสมกับวัสดุประสานชนิดต่างๆ (ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วันและ 28 วัน) แสดงไว้ในตารางที่ 5.9, 5.11 และ 5.13

ผลการทดสอบค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายของก้อนตัวอย่างขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. 800^0 ซ. และ 1,200^0 ซ. หลังผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งโดยผสมกับวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ตารางที่ 5.10, 5.12, และ 5.14

5.3 ผลการทดสอบหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

จากการทดสอบหาชนิดและอัตราส่วนผสมเบื้องต้นของวัสดุประสานสำหรับทำขี้เถ้าที่เผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ, 800^0 ซ และ 1,200^{0}ซ ให้เป็นก้อนแข็งไปแล้วนั้น ในขั้นตอนนี้จะปรับลดอัตราส่วนของวัสดุประสานต่อขี้เถ้า เพื่อหาปริมาณวัสดุประสานที่น้อยที่สุดที่ยังคงทำให้ก้อนแข็งที่ได้ยัง

คงผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย โดยจากผลการทดลองที่ผ่านมานั้นจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ร้อยละ30 สำหรับวัสดุประสานทุกชนิดนั้น จะมีค่ากำลังรับแรงอัดเกินค่ามาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมทุกค่า แต่ค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอน ร้อยละ 10 นั้นจะไม่ผ่านค่ามาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงจะทำการปรับลดอัตราส่วนของวัสดุประสานโดยการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสานให้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 30 สำหรับก้อนตัวอย่างที่มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 แต่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 30 โดยที่จะลองสุ่มแปรค่าอัตราส่วนผสมโดยทำการทดลองเทแบบก้อนตัวอย่างที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอน ร้อยละ 20 แล้วนำมาค่ากำลังรับแรงอัดมาทำการพิจารณาดังนี้

- กรณีแรก ถ้าค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนที่ร้อยละ 20 มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมก็จะทำการแปรปรับค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนอยู่ในช่วง ร้อยละ 20 ถึง ร้อยละ 30 โดยแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนเป็น ร้อยละ 23 ,25 ,27 และ 30 เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมต่างๆ ที่ทำการทดลอง

- กรณีที่สอง ถ้าค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนที่ร้อยละ 20 มีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดของกรมโรงงานอุตสาหกรรมก็จะทำการแปรปรับค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนอยู่ในช่วง ร้อยละ 10 ถึง ร้อยละ 20 โดยแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนเป็น ร้อยละ 13 ,15 ,17 และ 20 เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของส่วนผสมต่างๆ ที่ทำการทดลอง

แบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. สำหรับขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ จากการทดลองสุ่มแปรค่าอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาร้อยละ 20 จะแบ่งช่วงการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาที่ชนิดวัสดุประสานต่างๆ เป็นดังนี้

- ปูนซีเมนต์ และ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% เป็นวัสดุประสาน จะกำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าเป็นร้อยละ 13 ,15 ,17 และ20 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า (โดยมีอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าร้อยละ 10 และ 30 จากการทดลองที่ผ่านมา เป็นข้อมูลประกอบ)

- ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1) และ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% เป็นวัสดุประสาน ซึ่งจะกำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าเป็นร้อยละ 20 ,23 ,25 และ 27 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า (โดยมีอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าร้อยละ 10 และ 30 จากการทดลองที่ผ่านมา เป็นข้อมูลประกอบ)

2. สำหรับขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ จากการทดลองสุ่มแปรค่าอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาร้อยละ 20 จะแบ่งช่วงการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาที่ชนิดวัสดุประสานต่างๆ เป็นดังนี้

- ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประสาน จะกำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าเป็นร้อยละ 3 ,5 และ 7 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า (โดยมีอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าร้อยละ 10 จากการทดลองที่ผ่านมา เป็นข้อมูลประกอบ)

- ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1: 1) ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% และปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% เป็นวัสดุประสาน จะกำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าเป็นร้อยละ 13 ,15 ,17 และ20 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า (โดยมีอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าร้อยละ 10 และ 30 จากการทดลองที่ผ่านมา เป็นข้อมูลประกอบ)

3. สำหรับขี้เถ้าหลังการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ จากการทดลองสุ่มแปรค่าอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาร้อยละ 20 จะแบ่งช่วงการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาที่ชนิดวัสดุประสานต่างๆ เป็นดังนี้

- ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประสาน จะกำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าเป็นร้อยละ 3, 5 และ 7 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า (โดยมีอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าร้อยละ 10 จากการทดลองที่ผ่านมา เป็นข้อมูลประกอบ)

- ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว (1: 1) ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% และปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20% เป็นวัสดุประสาน จะกำหนดอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้

เถ้าเป็นร้อยละ 13, 15, 17 และ20 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า (โดยมีอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้าร้อยละ 10 และ 30 จากการทดลองที่ผ่านมา เป็นข้อมูลประกอบ)

5.3.1ผลการทดสอบขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

1. กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.25 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้า โดยใช้อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 13 ก้อนตัวอย่างสามารถผ่านเกณฑ์การทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ที่ 15.67 กก./ตร.ซม. ซึ่งจากการเทียบอัตราส่วนผสมและราคาแล้วจะประหยัดที่สุดสำหรับการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณภูมิ 400^{0}ซ.

2. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างแสดงไว้ในตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.26 โดยจากมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้ก้อนตัวอย่างต้องมีค่าความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตัน/ลบ.ม. ซึ่งผลการทดสอบทุก ๆ ก้อนตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นเกินมาตรฐานที่กำหนด

3. ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลาย

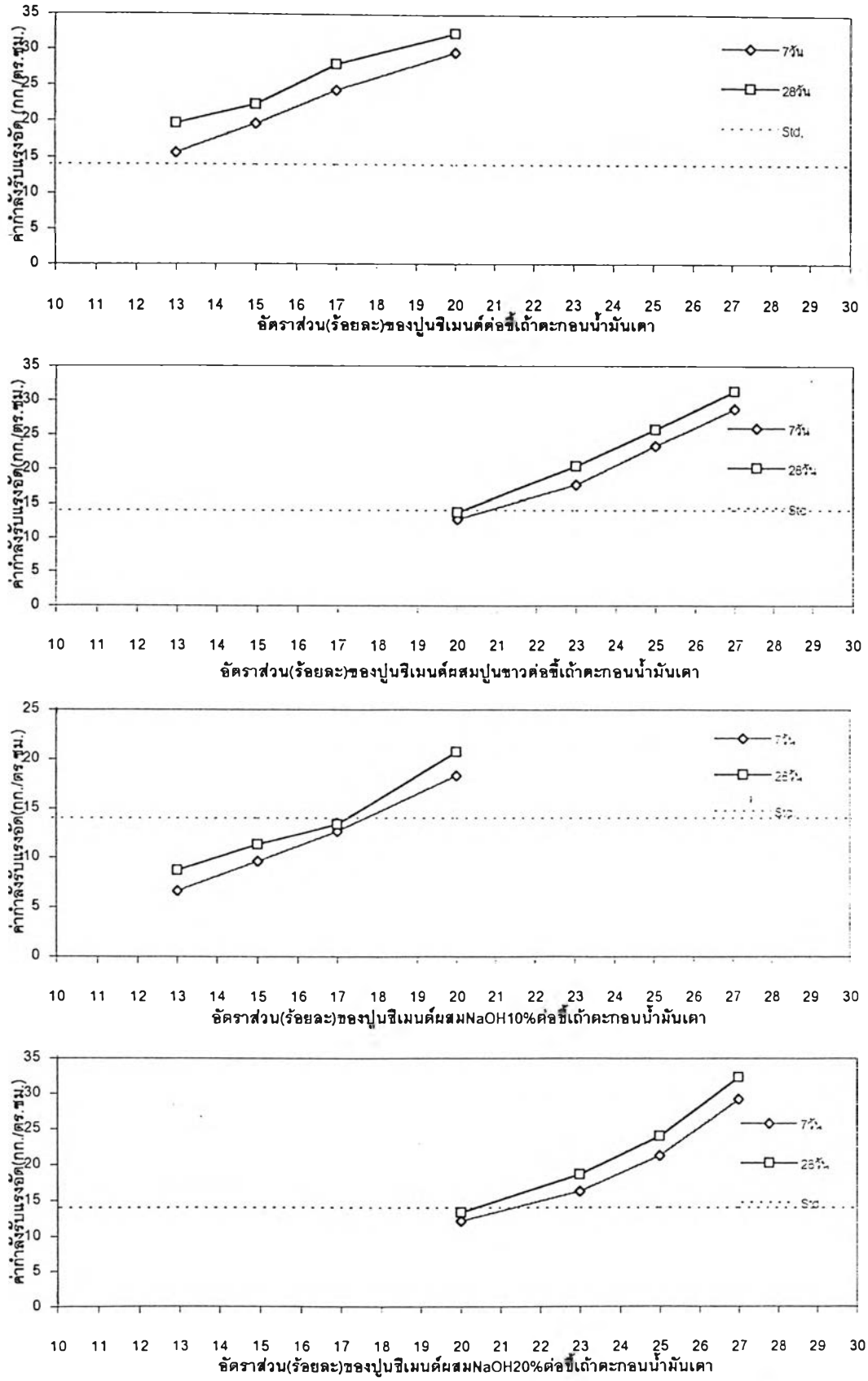
จากตารางที่ 5.16 และรูปที่ 5.28 พบว่า ค่า pH ของน้ำชะละลายมีค่าอยู่ระหว่าง 10.78 ถึง 11.84 โดยเป็นผลมาจากการทดสอบการสกัดสารที่ใช้ตัวทำลายมีฤทธิ์เป็นกรด (pH = 5) โครงสร้างของปูนซีเมนต์ถูกบดทำลายจนสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ถูกชะล้างออกมาพร้อมกับน้ำชะละลาย ค่า pH จะเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเพิ่มสัดส่วนปูนซีเมนต์จะทำให้ pH ของน้ำชะละลายเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

- โครเมียม (Cr)

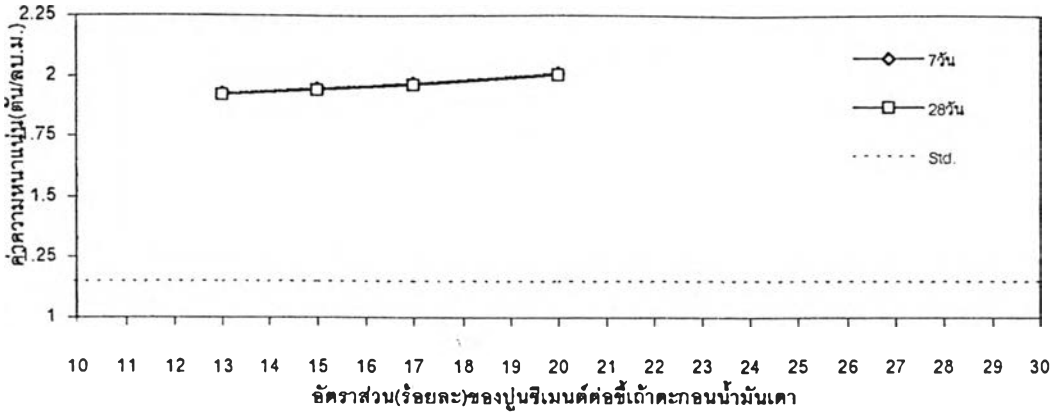
จากตารางที่ 5.16 พบว่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน โดยมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้มีโครเมียมในน้ำชะละลายไม่เกิน 5 มก./ล.และการชะละลายโครเมียมในก้อนตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงแต่มีค่าไม่แตกต่างกันมากเมื่อเพิ่มอัตราส่วน

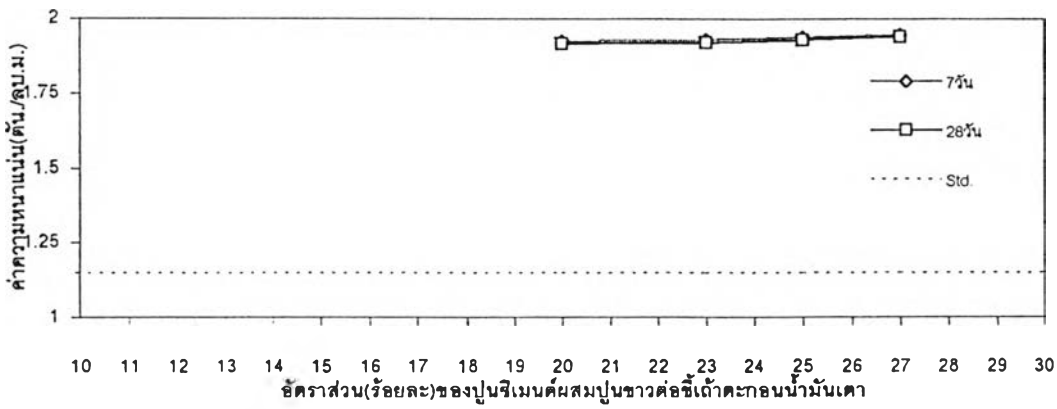
ตารางที่ 5.15 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C)

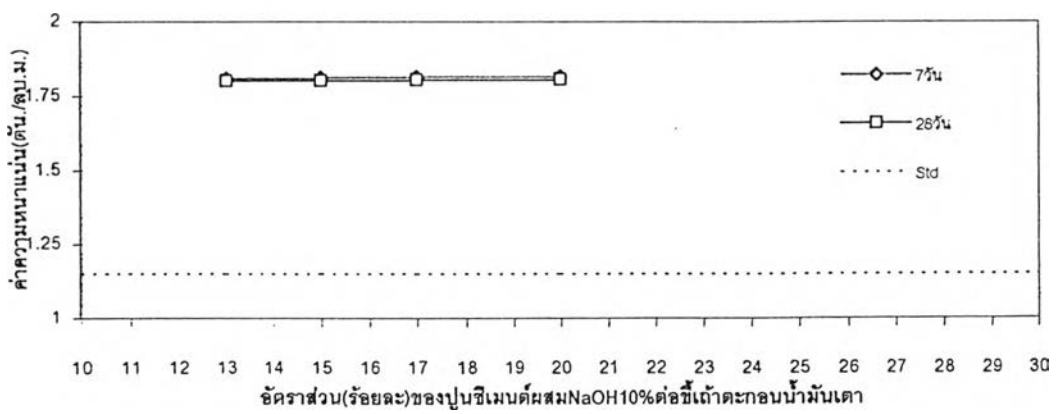
วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	กำลังรับแรงอัด (กก. /ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน /ลบ.ม.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 13	15.67	19.67	1.929	1.921
ร้อยละ 15	19.67	22.33	1.952	1.943
ร้อยละ 17	24.33	28.00	1.973	1.966
ร้อยละ 20	29.73	32.40	2.015	2.007
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 20	12.67	13.67	1.925	1.917
ร้อยละ 23	17.67	20.40	1.931	1.922
ร้อยละ 25	23.33	25.73	1.940	1.931
ร้อยละ 27	28.73	31.33	1.948	1.941
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 13	6.67	8.73	1.811	1.801
ร้อยละ 15	9.67	11.33	1.812	1.802
ร้อยละ 17	12.67	13.40	1.814	1.804
ร้อยละ 20	18.33	20.73	1.816	1.807
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 20	12.20	13.40	1.878	1.867
ร้อยละ 23	16.33	18.67	1.890	1.878
ร้อยละ 25	21.33	24.07	1.917	1.907
ร้อยละ 27	29.33	32.33	1.930	1.919
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	>14กก./ตร.ซม. ประกาศฉบับที่1(พ.ศ.2531)		>1.15ตัน/ลบ.ม. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	

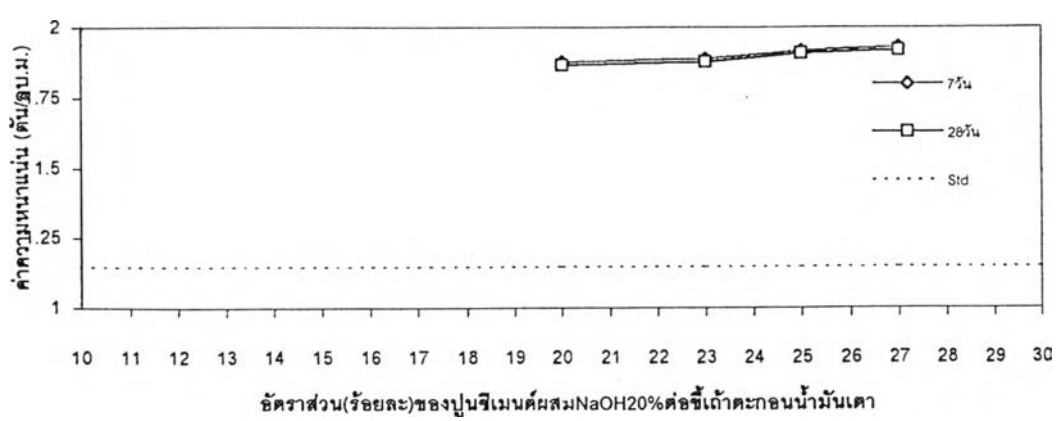


รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400 ^{0} ซ.)





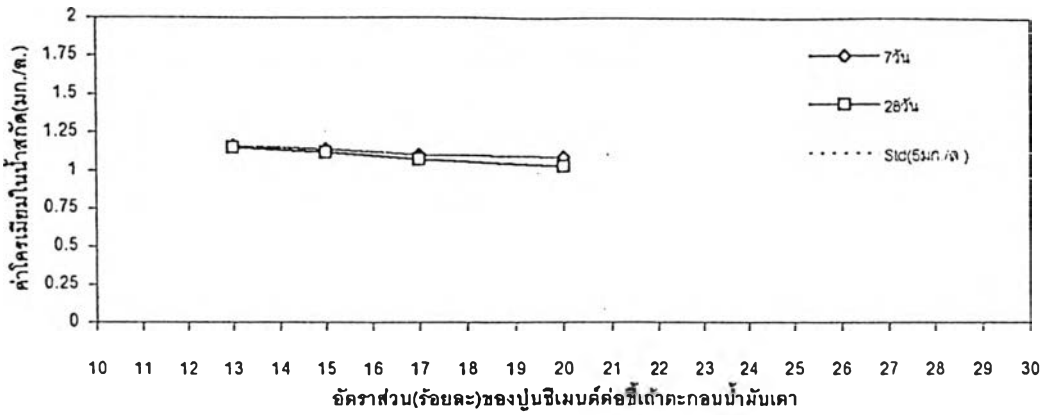


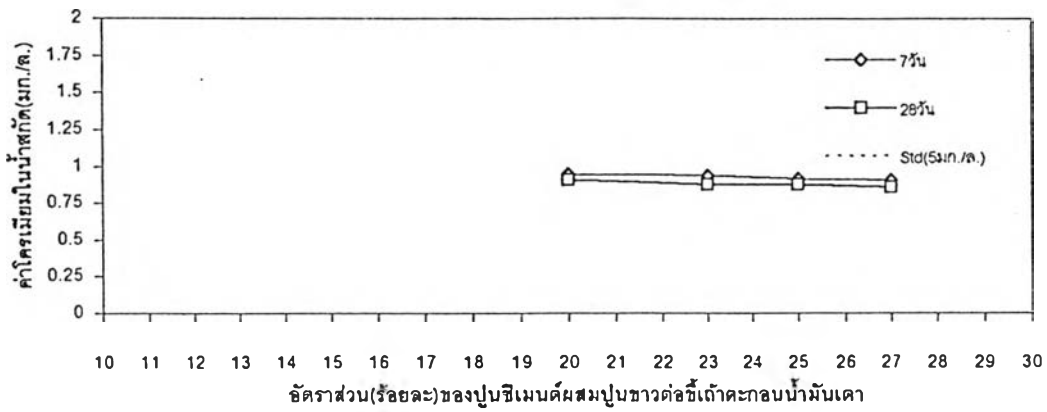


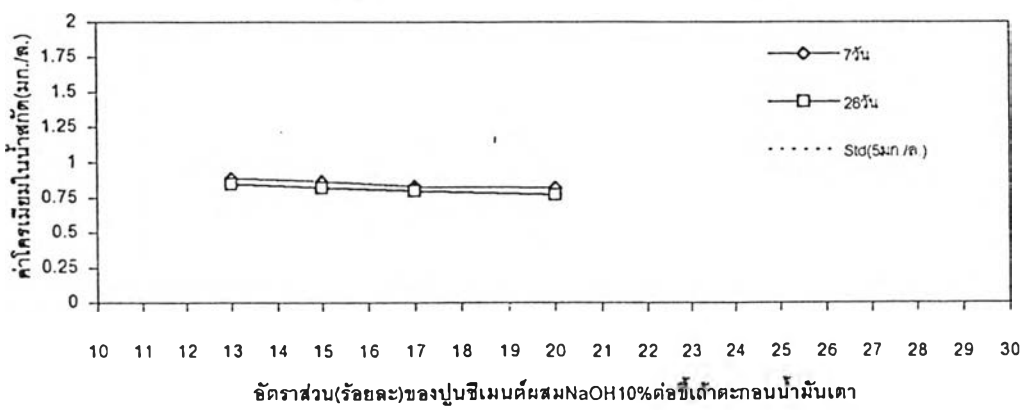
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400^{0}ซ.

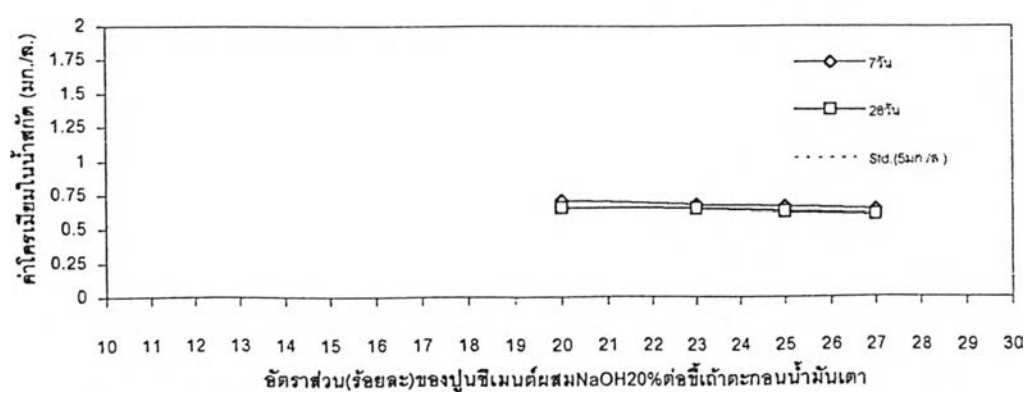
ตารางที่ 5.16 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C)

วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนัก(มก. /ล.)	
			โครเมียม	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 13	10.78	10.60	1.16	1.15
ร้อยละ 15	10.86	10.67	1.14	1.12
ร้อยละ 17	10.91	10.73	1.10	1.07
ร้อยละ 20	10.98	10.79	1.09	1.03
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 20	11.02	10.83	0.95	0.91
ร้อยละ 23	11.08	10.90	0.94	0.88
ร้อยละ 25	11.12	10.93	0.92	0.88
ร้อยละ 27	11.16	10.96	0.91	0.86
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 13	10.97	10.75	0.89	0.85
ร้อยละ 15	11.05	10.86	0.87	0.82
ร้อยละ 17	11.09	10.93	0.83	0.80
ร้อยละ 20	11.16	10.99	0.82	0.77
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 20	11.26	11.04	0.89	0.85
ร้อยละ 23	11.33	11.10	0.87	0.82
ร้อยละ 25	11.37	11.15	0.83	0.80
ร้อยละ 27	11.39	11.19	0.82	0.77
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	-		< 5 มก. /ล. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	

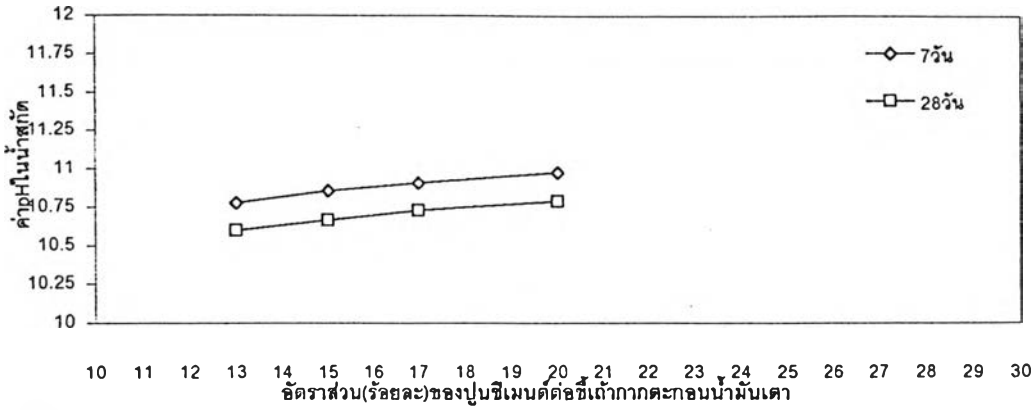


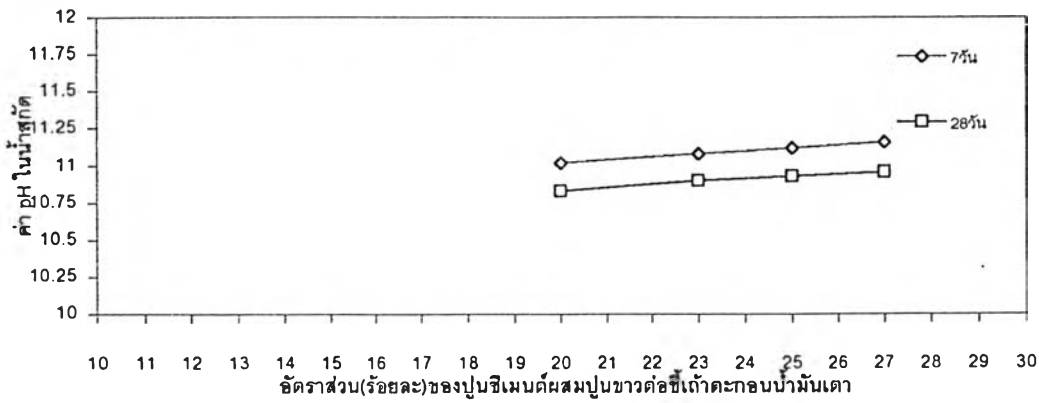


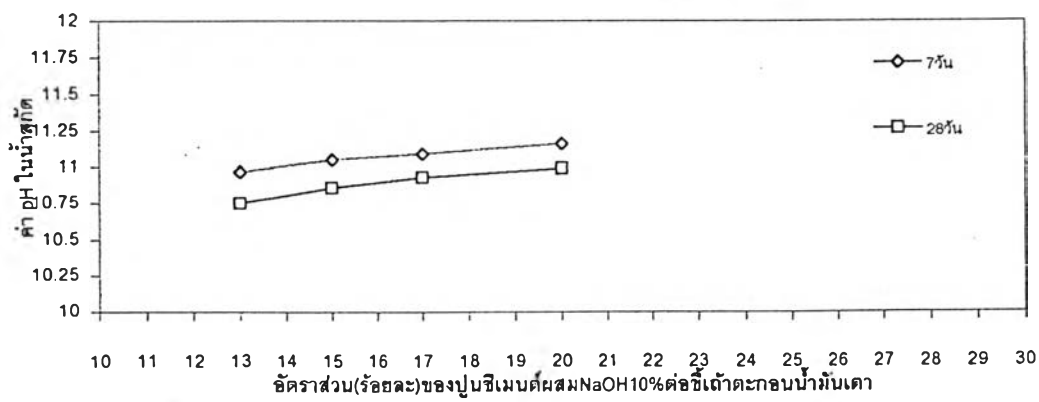


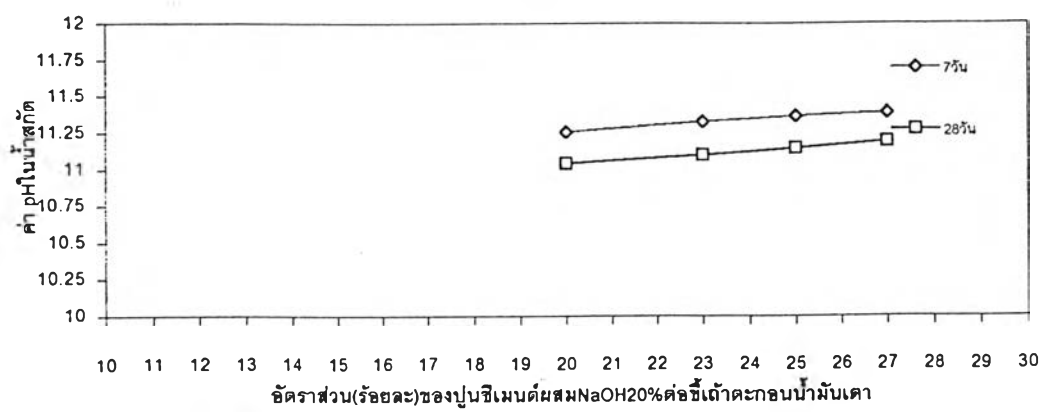


รูปที่ 5.27 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400 ^{0}ซ.









รูปที่ 5.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆกับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400^{0}ซ.

ของวัสดุประสานโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.65 มก./ล. ถึง 1.16 มก./ล. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม คือ ไม่เกิน 5 มก./ล. และเมื่ออัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าเท่ากับร้อยละ 13 ปริมาณโครเมียมถูกชะละลายออกมา 1.16 มก./ล.

- ส่วนอาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) นั้นวิเคราะห์ไม่พบในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ. จึงไม่ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังกล่าวในขั้นการทดลองนี้

5.3.2ผลการทดสอบขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

1. กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.17 และรูปที่ 5.29 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้า โดยใช้อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 10 ก้อนตัวอย่างสามารถผ่านเกณฑ์การทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ที่ 16.40 กก./ตร.ซม. ซึ่งจากการเทียบอัตราส่วนผสมและราคาแล้วจะประหยัดที่สุดสำหรับการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณภูมิ 800^0 ซ และกำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์สูงขึ้น

2. ความหนาแน่น

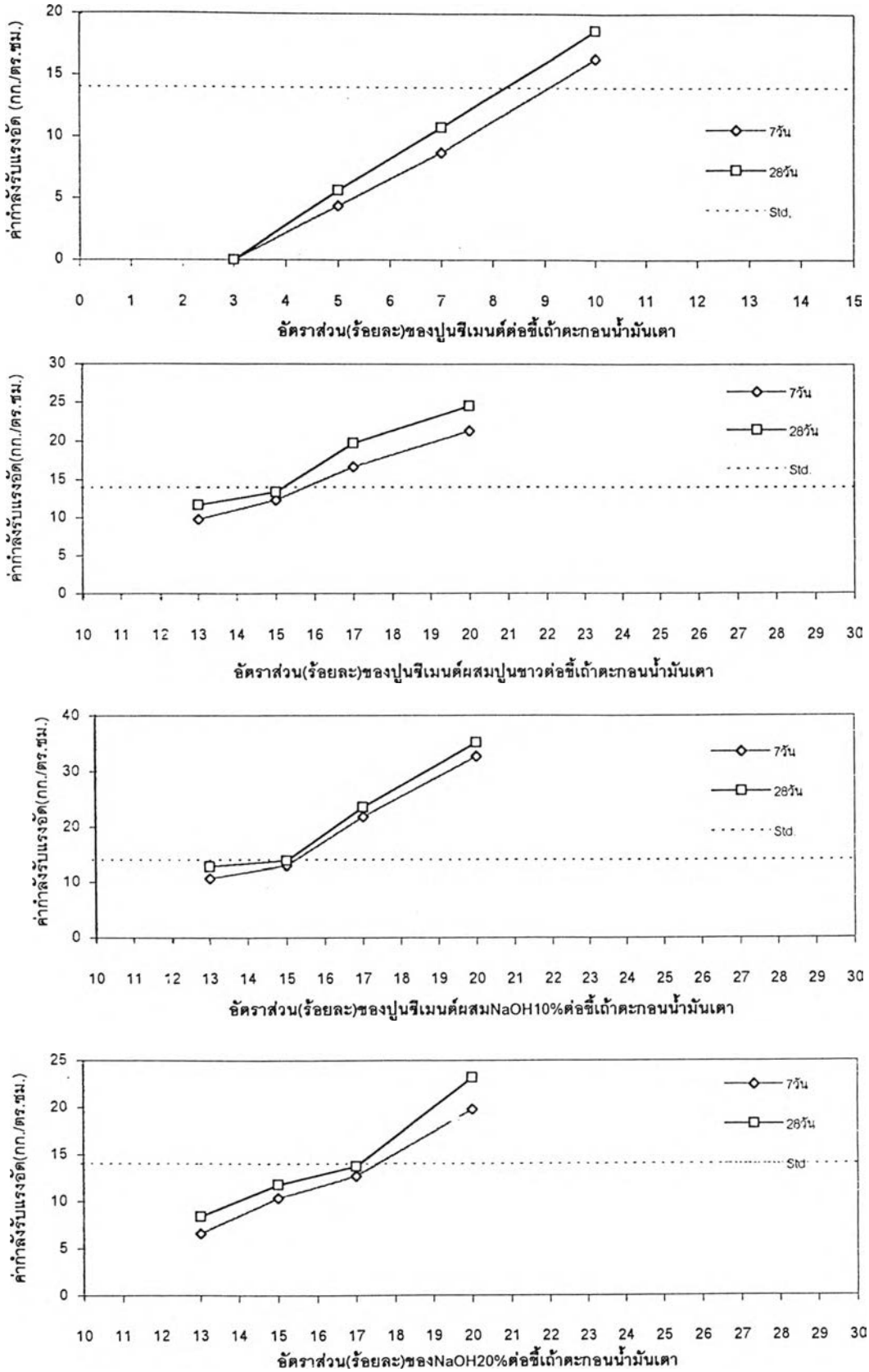
จากตาราง 5.17 และรูปที่ 5.30 พบว่าค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อทำการเพิ่มส่วนผสมปูนซีเมนต์ โดยทุกก้อนตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นเกินมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ที่ 1.15 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

3. ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลาย

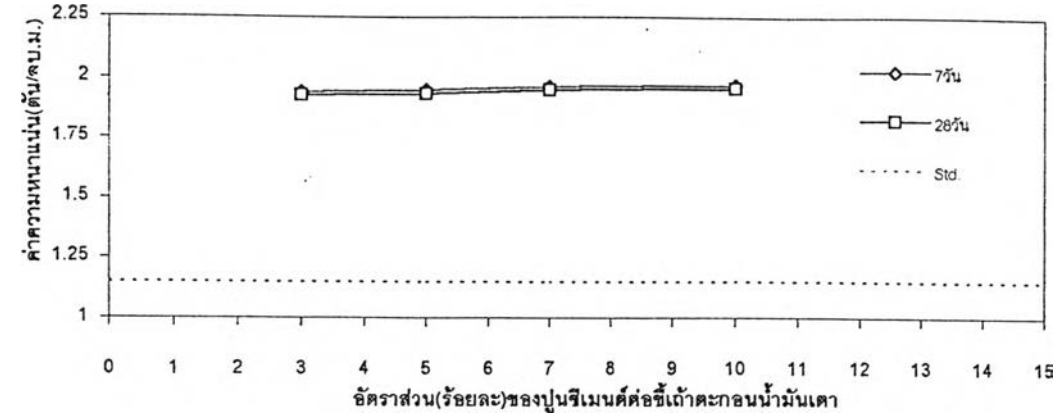
จากตาราง 5.18 และรูปที่ 5.32 ค่า pH ในน้ำชะละลายมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองอื่น ๆ คือ เมื่อเพิ่มสัดส่วนปูนซีเมนต์จะทำให้ค่า pH ของน้ำชะละลายเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องมาจากสภาพความเป็นด่างของปูนซีเมนต์ที่ถูกชะละลายออกมา

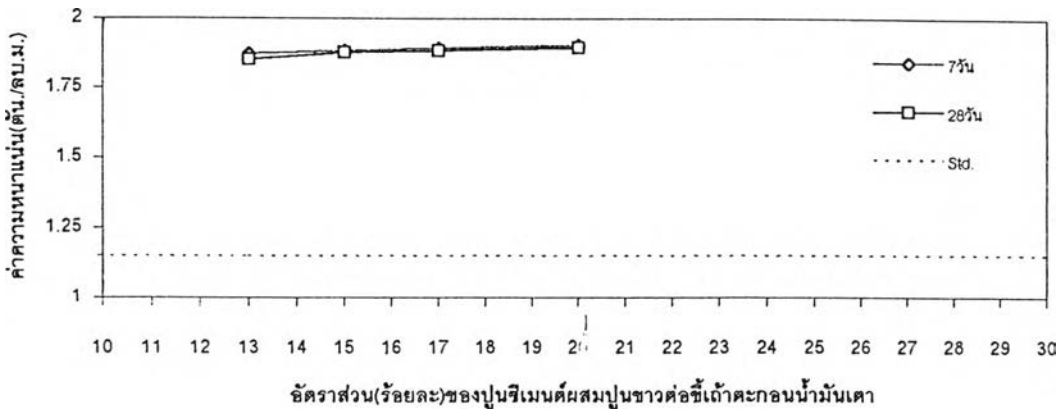
ตารางที่ 5.17 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C)

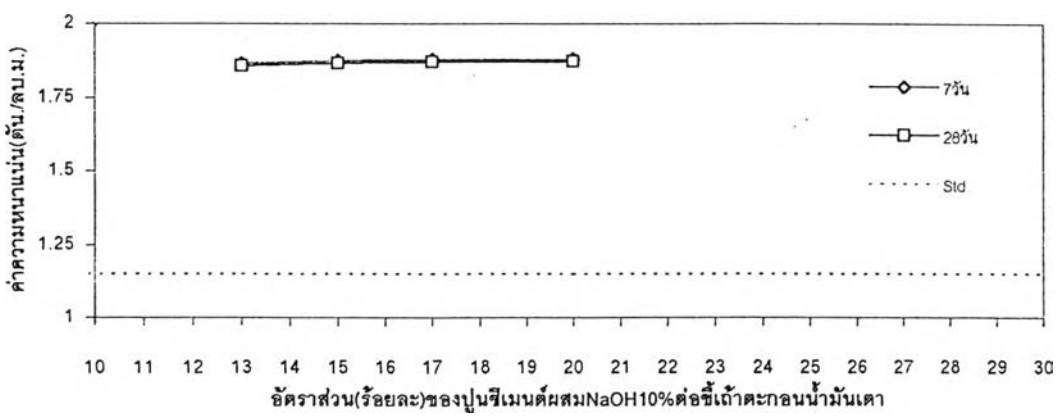
วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	กำลังรับแรงอัด (กก. /ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน /ลบ.ม.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 3	0.00	0.00	1.944	1.930
ร้อยละ 5	4.40	5.67	1.950	1.936
ร้อยละ 7	8.73	10.80	1.964	1.951
ร้อยละ 10	16.40	18.67	1.974	1.960
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 13	9.80	11.67	1.871	1.851
ร้อยละ 15	12.33	13.33	1.884	1.877
ร้อยละ 17	16.67	19.73	1.892	1.884
ร้อยละ 20	21.33	24.47	1.904	1.896
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 13	10.67	12.73	1.866	1.858
ร้อยละ 15	13.00	13.80	1.874	1.866
ร้อยละ 17	21.73	23.47	1.878	1.870
ร้อยละ 20	32.67	35.13	1.880	1.872
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 13	6.67	8.47	1.875	1.860
ร้อยละ 15	10.40	11.80	1.881	1.867
ร้อยละ 17	12.73	13.73	1.895	1.880
ร้อยละ 20	19.80	23.20	1.918	1.903
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	>14กก./ตร.ซม. ประกาศฉบับที่1(พ.ศ.2531)		>1.15ตัน/ลบ.ม. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	

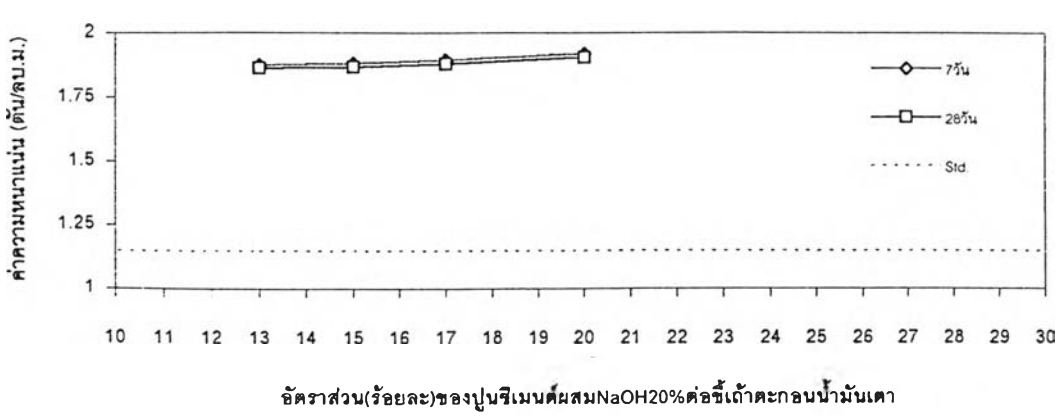


รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800^{0}ซ.)





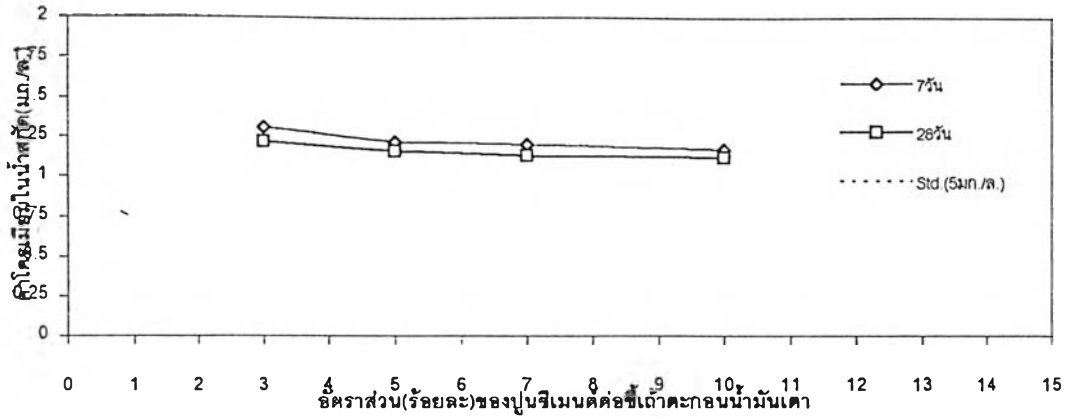


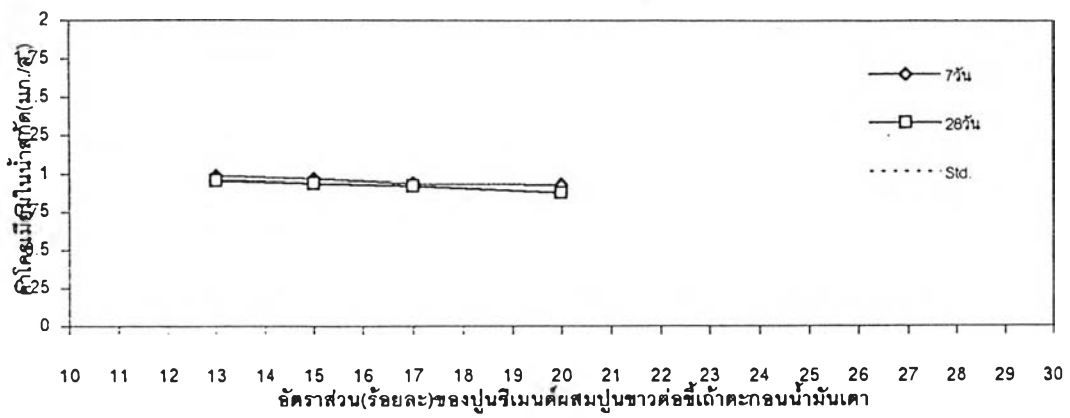


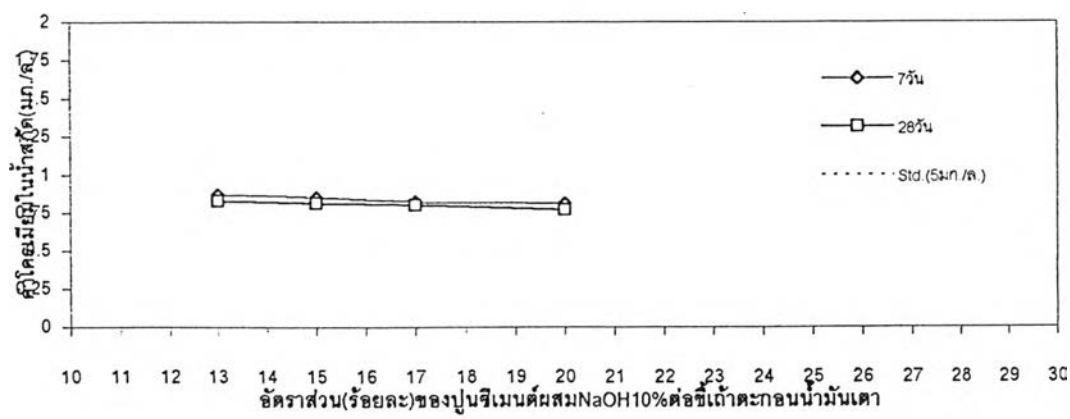
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800 ^{0} ซ.

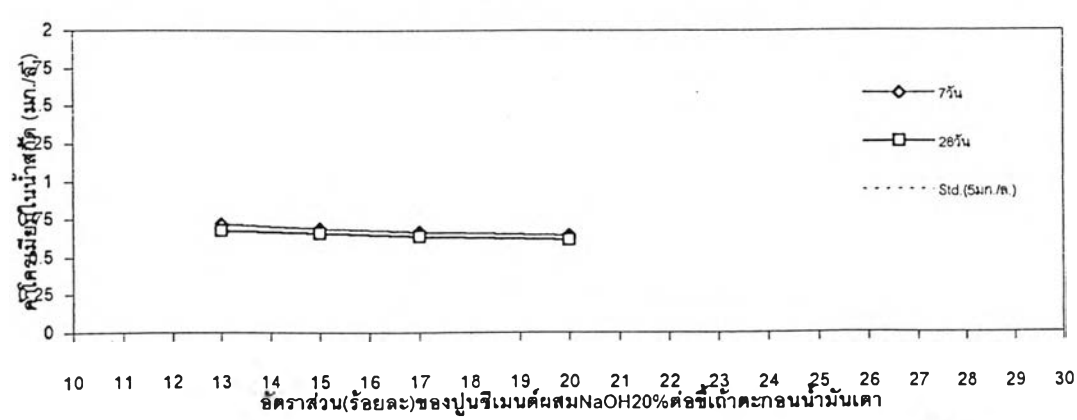
ตารางที่ 5.18 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800°C)

วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนัก(มก./ล.)	
			โครเมียม	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 3	10.25	10.08	1.31	1.22
ร้อยละ 5	10.48	10.30	1.22	1.16
ร้อยละ 7	10.62	10.45	1.20	1.13
ร้อยละ 10	10.78	10.60	1.17	1.12
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 13	10.96	10.76	0.99	0.96
ร้อยละ 15	11.03	10.81	0.97	0.94
ร้อยละ 17	11.08	10.87	0.94	0.92
ร้อยละ 20	11.16	10.94	0.93	0.88
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 13	11.14	10.95	0.87	0.83
ร้อยละ 15	11.19	11.03	0.85	0.81
ร้อยละ 17	11.29	11.07	0.82	0.80
ร้อยละ 20	11.33	11.15	0.81	0.77
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 13	11.30	11.14	0.72	0.68
ร้อยละ 15	11.37	11.21	0.69	0.66
ร้อยละ 17	11.42	11.26	0.67	0.64
ร้อยละ 20	11.49	11.33	0.65	0.62
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	-		< 5 มก./ล. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	

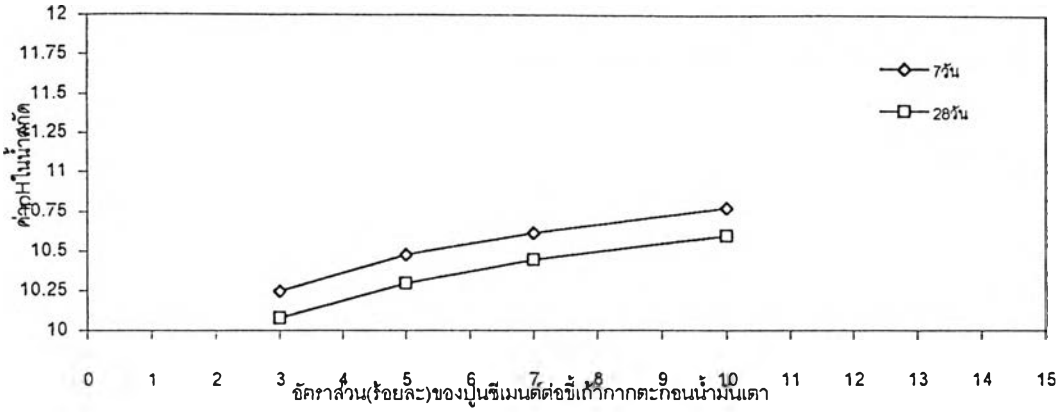


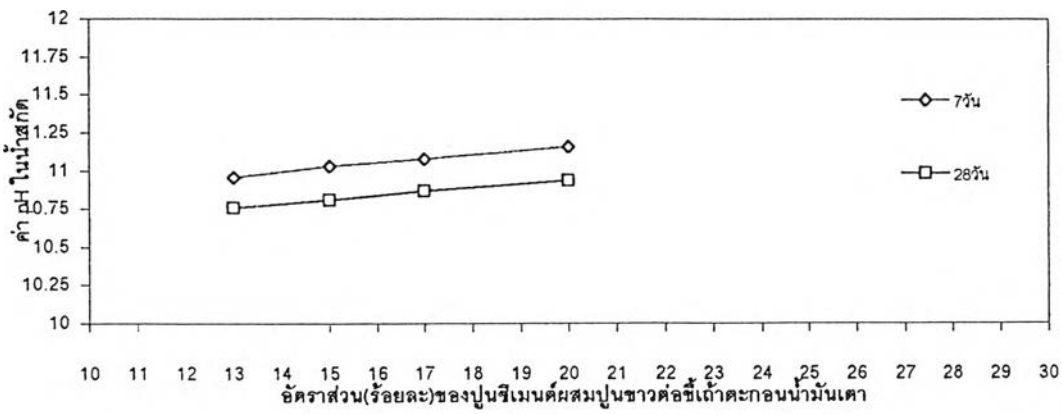


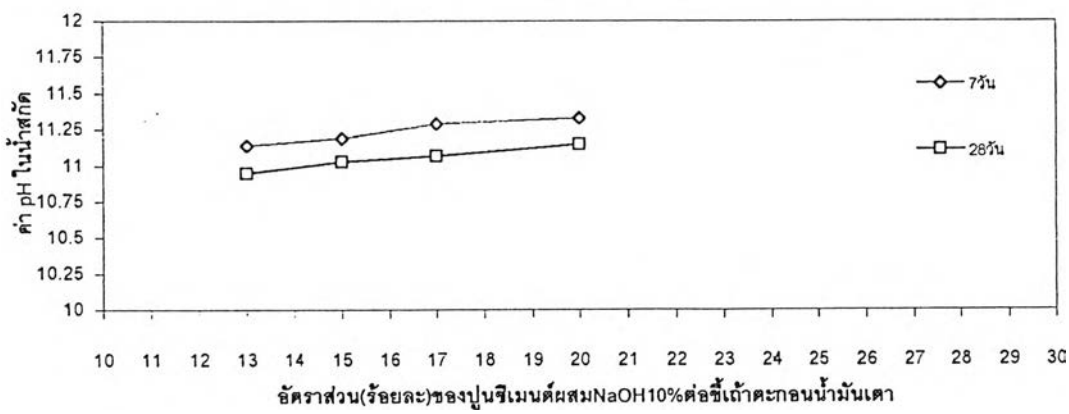


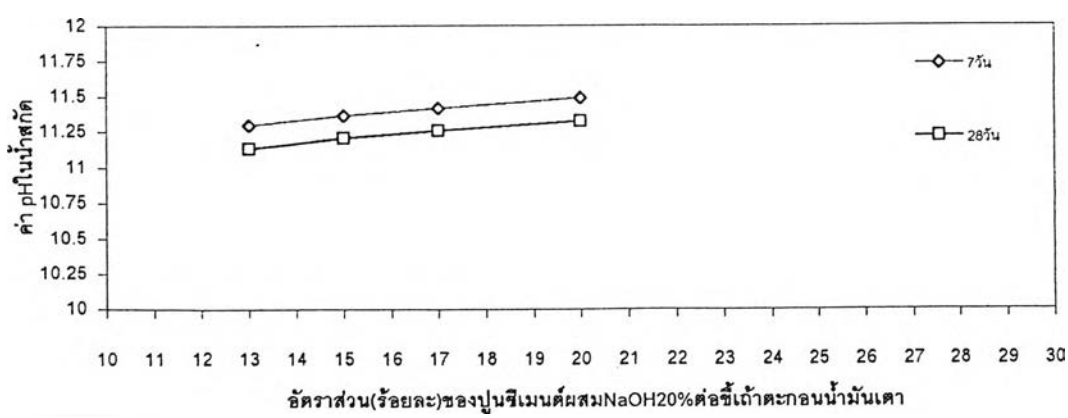


รูปที่ 5.31 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800 ^{0} ซ.









ปที่ 5.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆกับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่800 ^{0}ซ.

- โครเมียม (Cr)

จากตาราง 5.18 พบว่าค่าความเข้มข้นโครเมียมมีค่า ระหว่าง 0.65 มก./ล. ถึง 1.31 มก./ล. และปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุประสานในส่วนผสม แต่มีค่าไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก ซึ่งทุกก้อนตัวอย่างมีปริมาณโครเมียมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ไม่เกิน 5 มก./ล.

- ส่วนอาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) นั้นวิเคราะห์ไม่พบในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ. จึงไม่ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังกล่าวในการทดลองนี้

5.3.3ผลการทดสอบขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ1,200^{0}ซ ในขั้นการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

1. กำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.33 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขี้เถ้า โดยใช้อัตราส่วนต่างๆ พบว่า ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 7 ก้อนตัวอย่างสามารถผ่านเกณฑ์การทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ที่ 15.20 กก./ตร.ซม. ซึ่งจากการเทียบอัตราส่วนผสมและราคาแล้วจะประหยัดที่สุดสำหรับการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากกากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณภูมิ 1,200 ซ และกำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์สูงขึ้น

2.ค่าความหนาแน่น

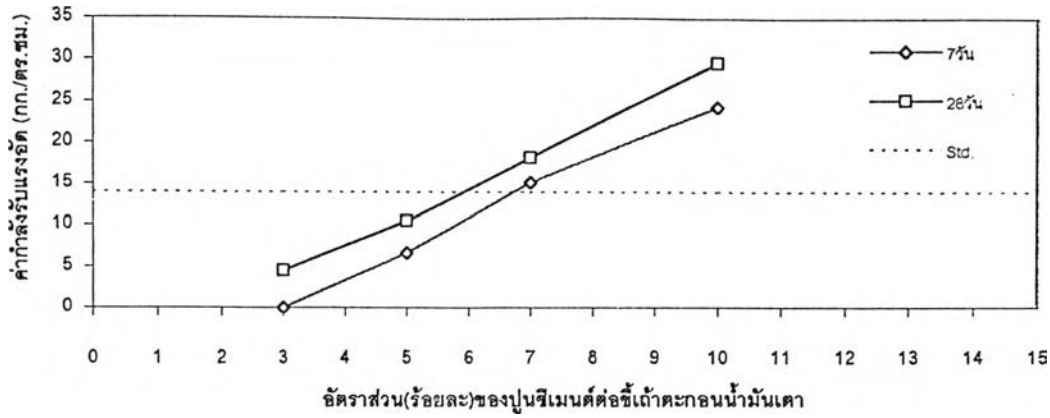
ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และพบว่า ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ ดังตารางที่ 5.19 และรูปที่ 5.34

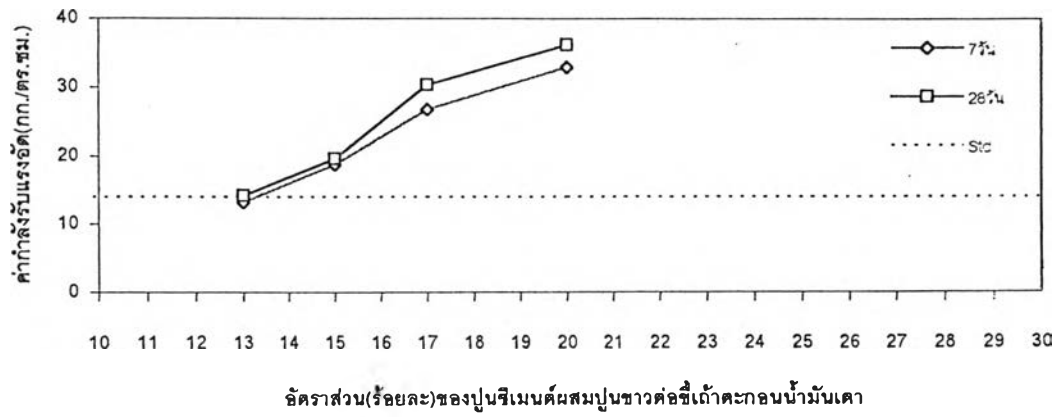
3. ลักษณะสมบัติของน้ำชะละลาย

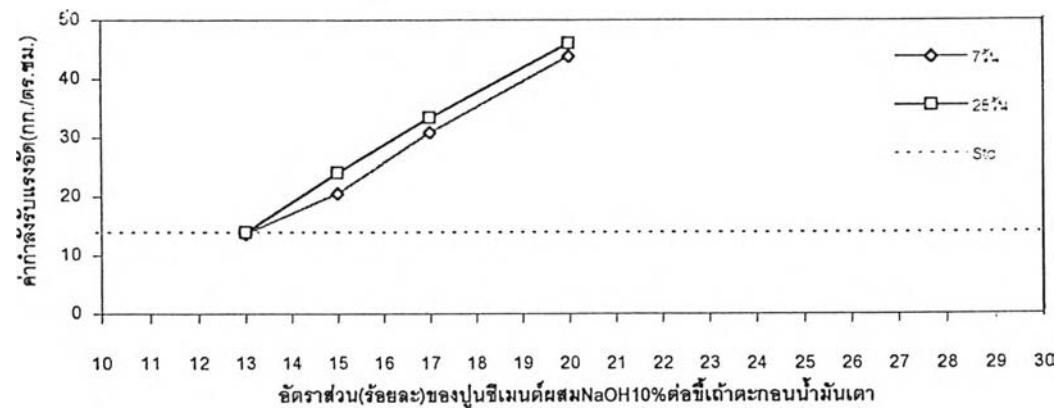
จากตาราง ที่ 5.20 และรูปที่ 5.36 ค่า pH ในน้ำชะละลายมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองอื่น ๆ คือ เมื่อเพิ่มสัดส่วนปูนซีเมนต์จะทำให้ค่า pH ของน้ำชะละลายเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องมาจากสภาพความเป็นด่างของปูนซีเมนต์ที่ถูกชะละลายออกมา

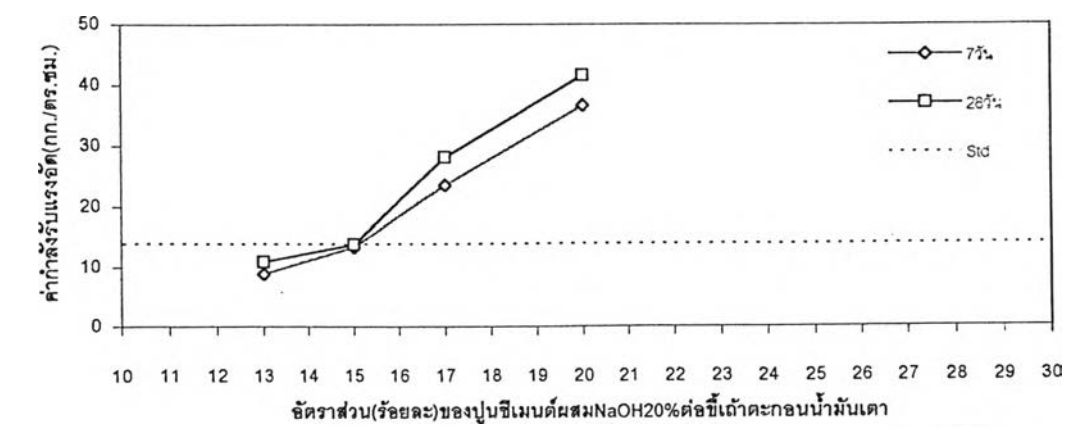
ตารางที่ 5.19 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°C)

วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	กำลังรับแรงอัด (กก. /ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน /ลบ.ม.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 3	0.00	4.53	2.165	2.132
ร้อยละ 5	6.67	10.53	2.171	2.161
ร้อยละ 7	15.20	18.20	2.181	2.170
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 13	13.20	14.13	2.052	2.037
ร้อยละ 15	18.67	19.53	2.054	2.038
ร้อยละ 17	26.80	30.40	2.058	2.042
ร้อยละ 20	32.93	36.20	2.064	2.048
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 13	13.73	13.93	2.075	2.065
ร้อยละ 15	20.60	24.07	2.087	2.077
ร้อยละ 17	30.87	33.40	2.107	2.097
ร้อยละ 20	43.87	46.07	2.123	2.113
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 13	8.93	10.93	2.037	2.021
ร้อยละ 15	13.40	13.87	2.044	2.028
ร้อยละ 17	23.60	28.20	2.048	2.031
ร้อยละ 20	36.67	41.67	2.053	2.036
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	>14กก./ตร.ซม. ประกาศฉบับที่1(พ.ศ.2531)		>1.15ตัน/ลบ.ม. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	

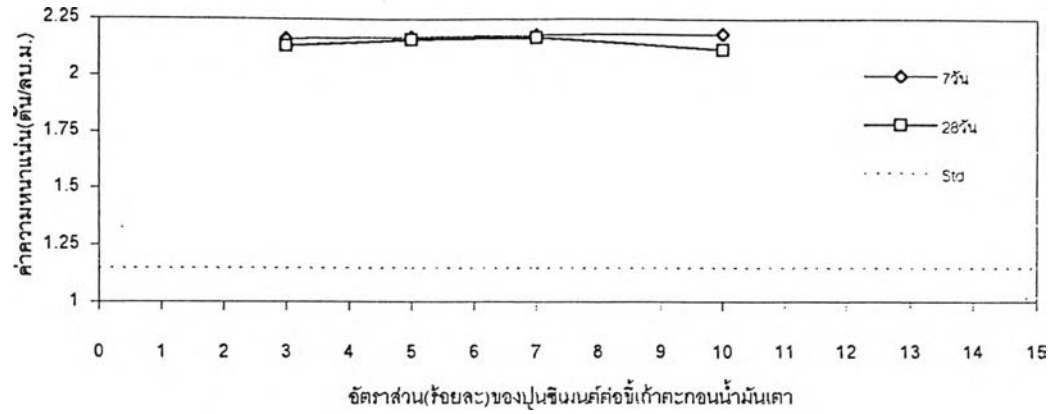


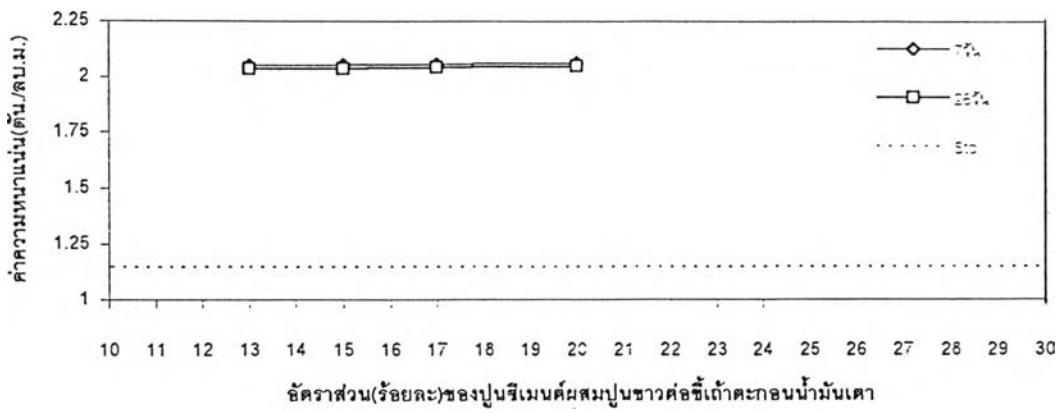


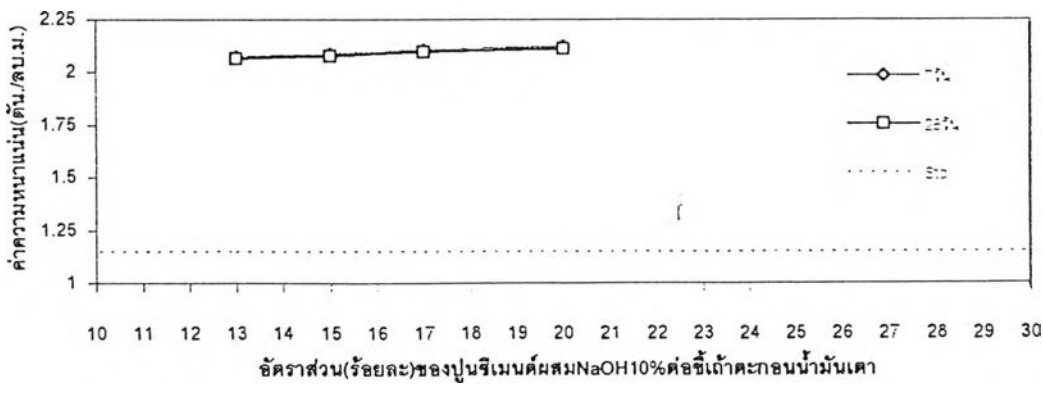


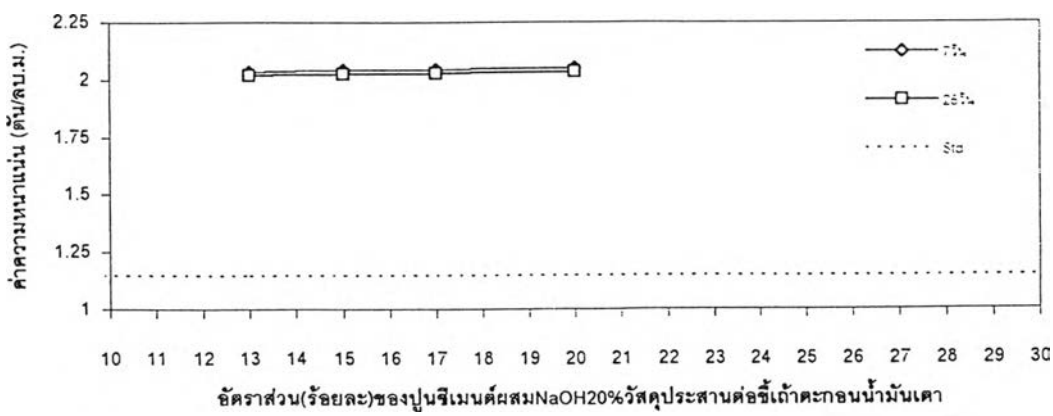


รูปที่ 5.33กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200 ^{0}ซ.)





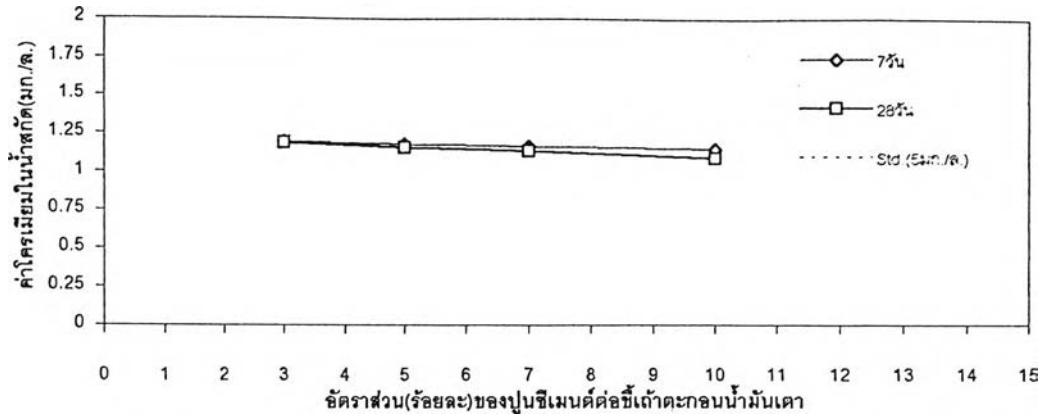


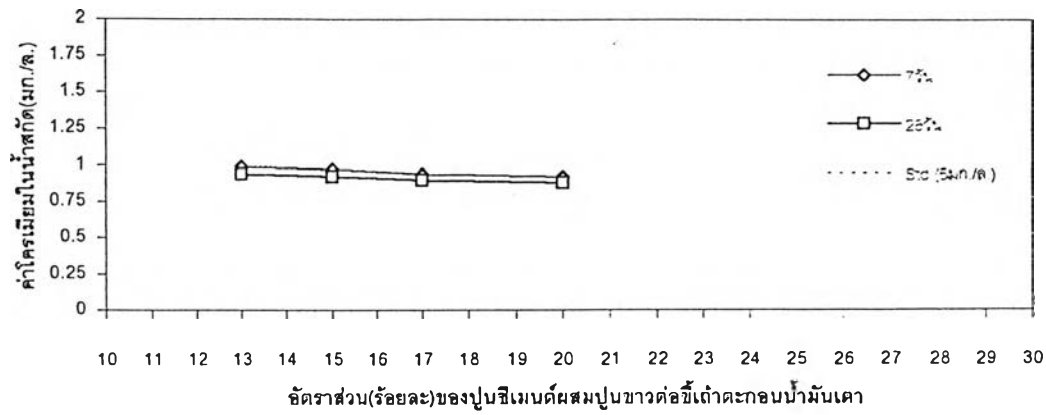


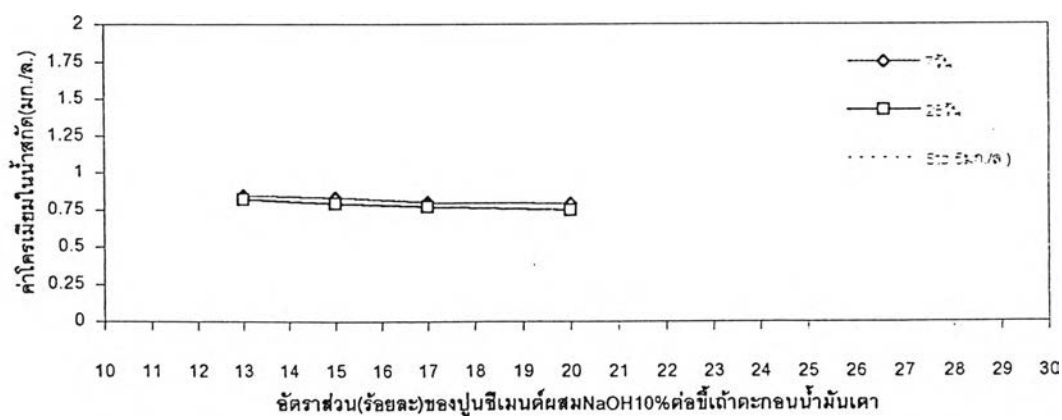
รูปที่ 5.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200 ^{0}ซ.

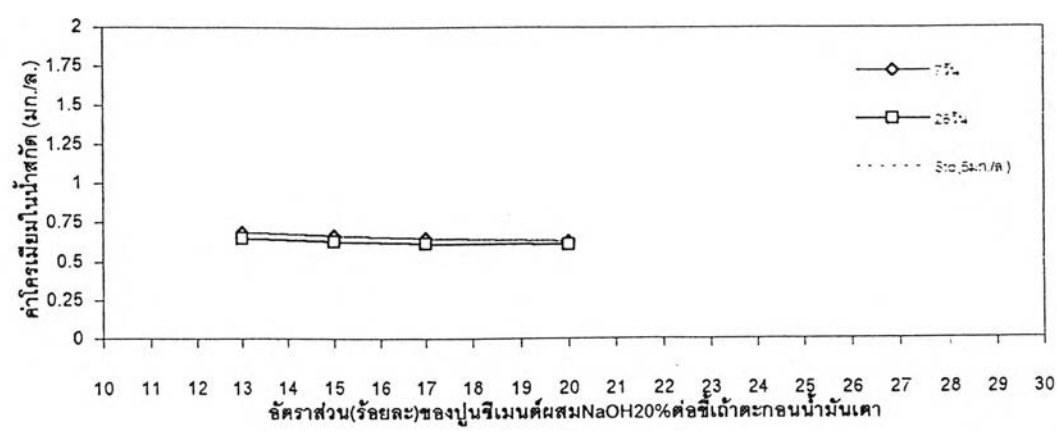
ตารางที่ 5.20 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็ง ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1200°C)

วัสดุประสาน และอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอน	พีเอช		ปริมาณโลหะหนัก(มก./ล.)	
			โครเมียม	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
1.ปูนซีเมนต์				
ร้อยละ 3	10.14	9.98	1.20	1.19
ร้อยละ 5	10.37	10.17	1.18	1.16
ร้อยละ 7	10.51	10.32	1.17	1.14
2.ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1)				
ร้อยละ 13	10.85	10.64	0.99	0.94
ร้อยละ 15	10.92	10.71	0.97	0.92
ร้อยละ 17	10.98	10.76	0.94	0.90
ร้อยละ 20	11.05	10.83	0.92	0.88
4.ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์10%				
ร้อยละ 13	11.04	10.83	0.85	0.82
ร้อยละ 15	11.13	10.89	0.83	0.79
ร้อยละ 17	11.18	10.94	0.80	0.77
ร้อยละ 20	11.25	11.03	0.79	0.75
5. ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์20%				
ร้อยละ 13	11.16	10.89	0.69	0.65
ร้อยละ 15	11.24	11.07	0.67	0.63
ร้อยละ 17	11.30	11.12	0.65	0.62
ร้อยละ 20	11.42	11.21	0.63	0.61
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	-		< 5 มก. /ล. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	

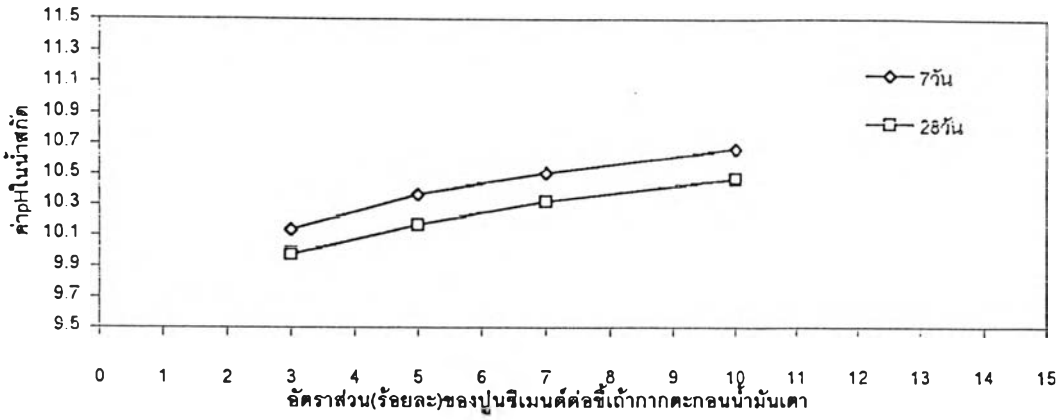


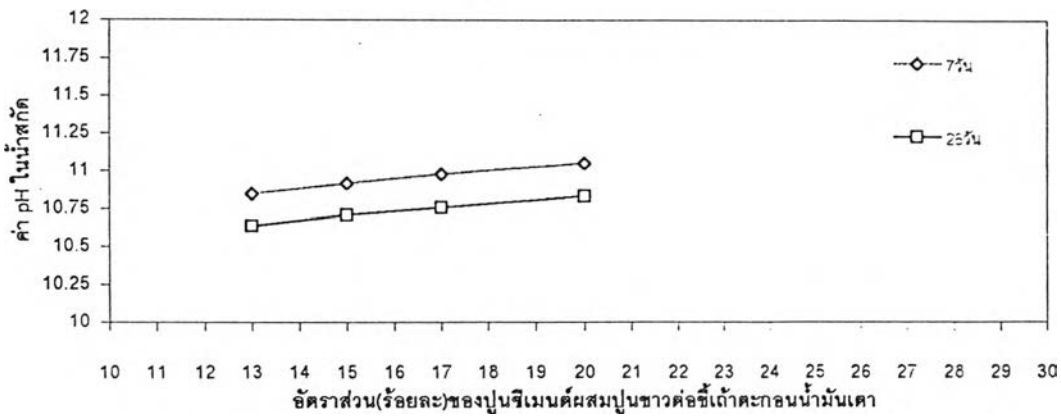


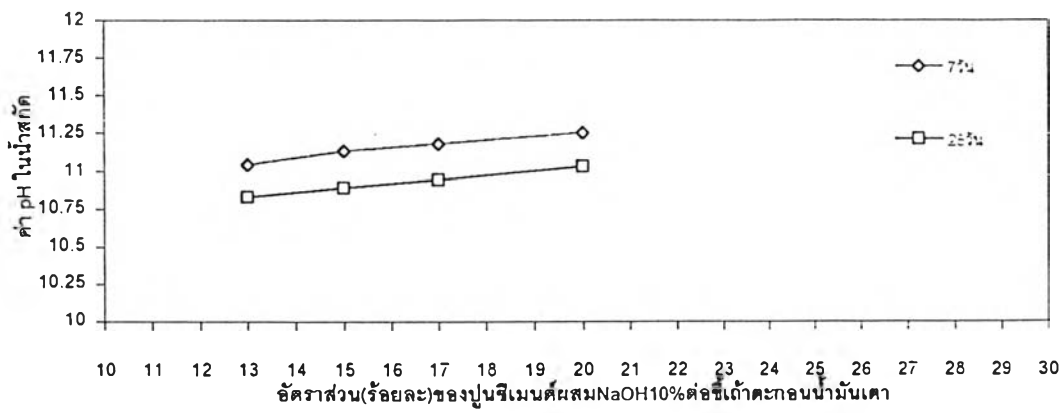


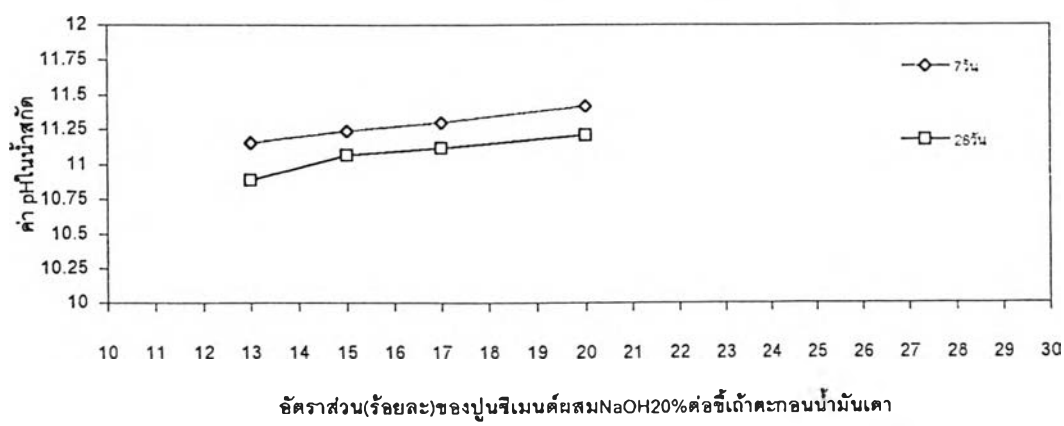


รูปที่ 5.35 กราฟค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาจากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200^{0}ซ.









ที่ 5.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชในน้ำสกัดกับอัตราส่วน(ร้อยละ)ของวัสดุประสานชนิดต่างๆกับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา จากการทดลองหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่1,200 °ซ.

- โครเมียม (Cr)

จากตารางที่ 5.20 ค่าความเข้มข้นโครเมียมมีค่า ระหว่าง 0.63 มก./ล. ถึง 1.20 มก./ล. และปริมาณโครเมียมในน้ำชะละลายมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม แต่มีค่าไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก ซึ่งทุกก้อนตัวอย่างมีปริมาณโครเมียมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ไม่เกิน 5 มก./ล.

- ส่วนอาร์เซนิค (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) นั้นวิเคราะห์ไม่พบในขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ. จึงไม่ทำการวิเคราะห์โลหะหนักดังกล่าวในการทดลองนี้

5.3.4 สรุปผลการทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

- ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ.

จากการทดลองพบว่า ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 13 มีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ ให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 15.67 กก./ตร.ซม.ส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % นั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (14 กก./ตร.ซม.) ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 23, 20 และ 23 ตามลำดับซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 17.67, 18.33 และ16.33 กก./ตร.ซม. และมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (5 มก./ล.) ทุกสัดส่วนผสม โดยมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลาย 1.16, 0.94, 0.82 และ 0.68 มก./ล. ซึ่งในการทดลองขั้นนี้จะเน้นพิจารณาเฉพาะค่ากำลังรับแรงอัดในการเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด และพิจารณาราคาของวัสดุประสานชนิดต่างๆ รวมทั้งปริมาณวัสดุประสานที่ใช้ ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้จะเลือกวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดซึ่งในแต่ละชนิดวัสดุประสานจะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

ชนิด	อัตราส่วน(ร้อยละ)	กำลังรับแรงอัด	ค่าCrในน้ำสกัด
ปูนซีเมนต์	13	15.67	1.16
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว	23	17.67	0.94
ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ10%	20	18.33	0.82
ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ20%	23	16.33	0.68

ดังนั้นชนิดและอัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดคือ จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วน ร้อยละ 13 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเกินค่ามาตรฐานตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด(14 กก./ตร.ซม.) และมีค่าโครเมียมในน้ำสกัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน(5มก./ล.) สำหรับการทำเสถียรขี้เถ้าที่ได้จากการเผาตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ.

- ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ.

จากการทดลองพบว่า ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^0ซ ให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 16.40 กก./ตร.ซม.ส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % นั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (14 กก./ตร.ซม.) ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 17, 17 และ 20 ตามลำดับซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 16.67, 21.73 และ19.80 กก./ตร.ซม. และมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (5 มก./ล.) ทุกสัดส่วนผสม โดยมีค่าโครเมียมในน้ำชะละลาย 1.17, 0.94, 0.82 และ 0.65 มก./ล. ซึ่งในการทดลองขั้นนี้จะเน้นพิจารณาเฉพาะค่ากำลังรับแรงอัดในการเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด และพิจารณาราคาของวัสดุประสานชนิดต่างๆ รวมทั้งปริมาณวัสดุประสานที่ใช้ ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้จะเลือกวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดซึ่งในแต่ละชนิดวัสดุประสานจะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

ชนิด	อัตราส่วน(ร้อยละ)	กำลังรับแรงอัด	ค่าCrในน้ำสกัด
ปูนซีเมนต์	10	16.40	1.17
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว	17	16.67	0.94
ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ10%	17	21.73	0.82
ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ20%	20	19.80	0.65

ดังนั้นชนิดและอัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดคือ จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วน ร้อยละ 10 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเกินค่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด (14 กก./ตร.ซม.) และมีค่าโครเมียมในน้ำสกัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (5 มก./ล.) สำหรับการทำเสถียรขี้เถ้าที่ได้จากการเผาตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ.

- ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ.

จากการทดลองพบว่า ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 7 มีประสิทธิภาพเพียงพอในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ ให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 15.20 กก./ตร.ซม.ส่วนปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว(1:1) ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10% และปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % นั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (14 กก./ตร.ซม.) ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 15, 15 และ 17 ตามลำดับซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 18.67, 20.60 และ23.60 กก./ตร.ซม. และมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำชะละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (5 มก./ล.) ทุกสัดส่วนผสม โดยมีค่าโครเมียมในน้ำชะละลาย 1.17, 0.97, 0.83 และ 0.65 มก./ล. ซึ่งในการทดลองขั้นนี้จะเน้นพิจารณาเฉพาะค่ากำลังรับแรงอัดในการเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด และพิจารณาราคาของวัสดุประสานชนิดต่างๆ รวมทั้งปริมาณวัสดุประสานที่ใช้ ดังนั้นจากผลการทดลองที่ได้จะเลือกวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดซึ่งในแต่ละชนิดวัสดุประสานจะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

ชนิด	อัตราส่วน(ร้อยละ)	กำลังรับแรงอัด	ค่าCrในน้ำสกัด
ปูนซีเมนต์	7	15.20	1.17
ปูนซีเมนต์ผสมปูนขาว	15	18.67	0.97
ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ10%	15	20.60	0.83
ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ20%	17	23.60	0.65

ดังนั้นชนิดและอัตราส่วนของวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดคือ จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วน ร้อยละ 7 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเกินค่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด (14 กก./ตร.ซม.) และมีค่าโครเมียมในน้ำสกัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (5 มก./ล.) สำหรับการทำเสถียรขี้เถ้าที่ได้จากการเผาตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ.

เนื่องจากห้องวิจัยสำหรับทำการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. ซึ่งอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและ ห้องวิจัยสำหรับทำการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ. และ 1,200^0 ซ. ซึ่งอยู่ที่คณะวิทยาศาสตร์นั้นเป็นห้องที่อยู่ในบริเวณชุมชน และเตาเผาที่ใช้ในการทดลองนั้นมีปล่องที่ต่อออกมาจากเตาเผาที่มีความสูงเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการเผากากตะกอนน้ำมันเตา ซึ่งถ้านำกากตะกอนน้ำมันเตามาทำการเผาโดยตรงจะทำให้เกิดกลิ่นและควันเป็นที่รบกวนการเรียนการสอน ทำให้ต้องหาวิธีแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นและควันโดยการในการนำกากตะกอนน้ำมันเตาไปเผาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำการทดลองเพื่อที่จะทำการไล่กลิ่น

ควัน และไฮโดรคาร์บอนออกไปส่วนหนึ่งก่อน ซึ่งวิธีแก้ไขปัญหาในขั้นตอนการเผากากตะกอนน้ำมันเตานี้ทำโดย นำกากตะกอนน้ำมันเตาไปทำการเผาไล่กลิ่น ควัน และไฮโดรคาร์บอนที่เตาเผาซึ่งมีปล่องสูงประมาณ 10 เมตรที่จังหวัดสมุทรสาคร ดังรูปที่ 1 ในภาคผนวก ข. ซึ่งใช้อุณหภูมิประมาณ 150^0-200^{0}ซ. แล้วนำกากตะกอนน้ำมันเตาซึ่งแห้งแล้วหลังจากการเผาที่เตานี้ไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ. ที่เตาเผาของทางภาควิชา แล้วนำขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^0 ซ. ส่วนหนึ่งมาทำการวิจัย โดยที่นำอีกส่วนหนึ่งไปทำการเผาที่ 800^{0}ซ. และ 1,200^{0}ซ. ที่เตาเผาของคณะวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้เป็นขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ. และ 1,200^{0}ซ. เพื่อทำการทดลองต่อไป

จากผลการทดลองการทำเสถียรขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตาที่ 400^0 ซ., 800^0 ซ. และ1,200^0 ซ. จะนำอัตราส่วนผสมที่เหมาะที่สุดของทั้ง 3 อุณหภูมิมาเปรียบเทียบราคาในการทำเสถียรซึ่งมีทั้งราคาค่าวัสดุประสาน(จากกรมการค้าภายใน)ราคาตันละ 2,522 บาทและราคาค่าเผาตะกอนน้ำมันที่อุณหภูมิต่างๆ(จากนิคมอุตสาหกรรมบางพลี) ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ชนิดขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา	อัตราส่วนที่ใช้	ราคาวัสดุประสาน(ตันละ)	ราคาค่าเผา(ตันละ)
ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0}ซ.	ร้อยละ 13	2,522 บาท	3,500 บาท
ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ.	ร้อยละ 10	2,522 บาท	4,500 บาท
ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1,200^{0}ซ.	ร้อยละ 7	2,522 บาท	6,000 บาท

จากการทดลองในขั้นตอนการเตรียมขี้เถ้า จะพบว่าในการนำกากตะกอนน้ำมันเตามาทำการเผาที่ 400^0 ซ. จะได้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0}ซ. ที่มีน้ำหนักลดลงเหลือร้อยละ 36 และเมื่อนำขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0}ซ. ไปทำการเผาที่ 800^{0}ซ. และ 1,200^{0}ซ. น้ำหนักของขี้เถ้าจะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 98 และ 96.04 ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่า ในการนำกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน มาทำการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ. 800^{0}ซ. และ 1,200^{0}ซ. ขี้เถ้าหลังการเผาทั้ง 3 อุณหภูมิ จะมีน้ำหนักลดเหลือ 360 กก. 352.80 กก. และ 345.74 กก. ตามลำดับ

กากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตันเมื่อเผาแล้วจะได้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0}ซ. หนัก 360 กก. จะใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 13 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่ 400^{0}ซ. ดังนั้นราคาค่าวัสดุประสานจะเท่ากับ 0.36 x 2,522 x 0.13 = 118.03 บาท ซึ่งเมื่อรวมกับค่าเผากากตะกอนน้ำมันที่ 400^{0}ซ. จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนเท่ากับ 3,618.03 บาท ต่อกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน

กากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตันเมื่อเผาแล้วจะได้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ. หนัก 352.80 กก. จะใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 10 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่ 800^{0}ซ. ดังนั้นราคาค่าวัสดุประสานจะเท่ากับ 0.3528 x 2,522 x 0.10 = 88.98 บาท ซึ่งเมื่อรวมกับค่าเผากากตะกอนน้ำมันที่ 800^{0}ซ. จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนเท่ากับ 4,588.98 บาท ต่อกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน

กากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตันเมื่อเผาแล้วจะได้ขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1,200^{0}ซ. หนัก 345.74 กก. จะใช้ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน ร้อยละ 7 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่ 1,200^{0}ซ. ดังนั้นราคาค่าวัสดุประสานจะเท่ากับ 0.3457 x 2,522 x 0.07 = 61.05 บาท ซึ่งเมื่อรวมกับค่าเผากากตะกอนน้ำมันที่ 1,200^{0}ซ. จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนเท่ากับ 6,061.05 บาท ต่อกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน

จากข้อมูลที่ได้พบว่า อัตราส่วนและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดและประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุดในการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตา คือ ขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. โดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานซึ่งมีอัตราส่วนผสมร้อยละ 13 ซึ่งจะนำอัตราส่วนที่ได้นี้ไปทำการแปรค่าหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทดลองขั้นต่อไป

5.4 การแปรอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาดูว่าปริมาณน้ำจะมีผลต่อกำลังรับแรงอัดอย่างไร ซึ่งในการทดลองนี้จะนำขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. ซึ่งมีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 13 มาทำการแปรอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ในช่วง 0.3 ถึง 0.7 ซึ่งจาก ตารางที่ 5.21 ตารางที่5.22 และรูปที่ 5.37 จะพบว่าก้อนตัวอย่างที่ทำการทดลองที่อัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อตะกอนที่ชนิดและอัตราส่วนเดียวกัน การแปรอัตราส่วนน้ำจะมีผลต่อกำลังรับแรงอัด กล่าวคือ เมื่อ ลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานลง จาก 0.5 เป็น 0.4 และ 0.3 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง จาก 15.67 กก./ตร.ซม. เป็น 13.60 และ 6.73 กก./ตร.ซม. และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานขึ้นเป็น 0.6 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เป็น 19.07 กก./ตร.ซม.แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานขึ้นเป็น 0.7 มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง เป็น 15.20 กก./ตร.ซม. โดยที่ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วน ซึ่งจากผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.6 ก้อนตัวอย่างมีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด

5.5 การหาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโลหะหนัก

จากขั้นตอนการทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด จะทราบชนิดและสัดส่วนของวัสดุประสานที่มีประสิทธิภาพและประหยัดที่สุดสำหรับการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาทั้ง 3 อุณหภูมิ ให้เป็นก้อนแข็งก่อนนำไปกำจัดในขั้นตอนสุดท้าย ในขั้นตอนนี้จะแสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาหลังผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งแล้ว

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ.

จากตารางที่ 5.8 และ5.16 พบว่า ประสิทธิภาพในการยึดจับโลหะหนักหลังการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา ร้อยละ 13 สามารถยึดจับปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย คือ โครเมียม ร้อยละ 57.71 ส่วน อาร์เซนิค แคดเมียม ปรอท และตะกั่วนั้นไม่หาประสิทธิภาพในการกำจัด เนื่องจากไม่พบโลหะหนักเหล่านี้ในขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาอยู่แล้ว

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ.

จากตารางที่ 5.8 และ5.18 ประสิทธิภาพในการยึดจับโลหะหนักหลังการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาร้อยละ 10 สามารถยึดจับปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย คือ โครเมียม ร้อยละ 59.39 ส่วน อาร์เซนิค แคดเมียม ปรอท และตะกั่วนั้นไม่หาประสิทธิภาพในการกำจัด เนื่องจากไม่พบโลหะหนักเหล่านี้ในขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาอยู่แล้ว

ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ.

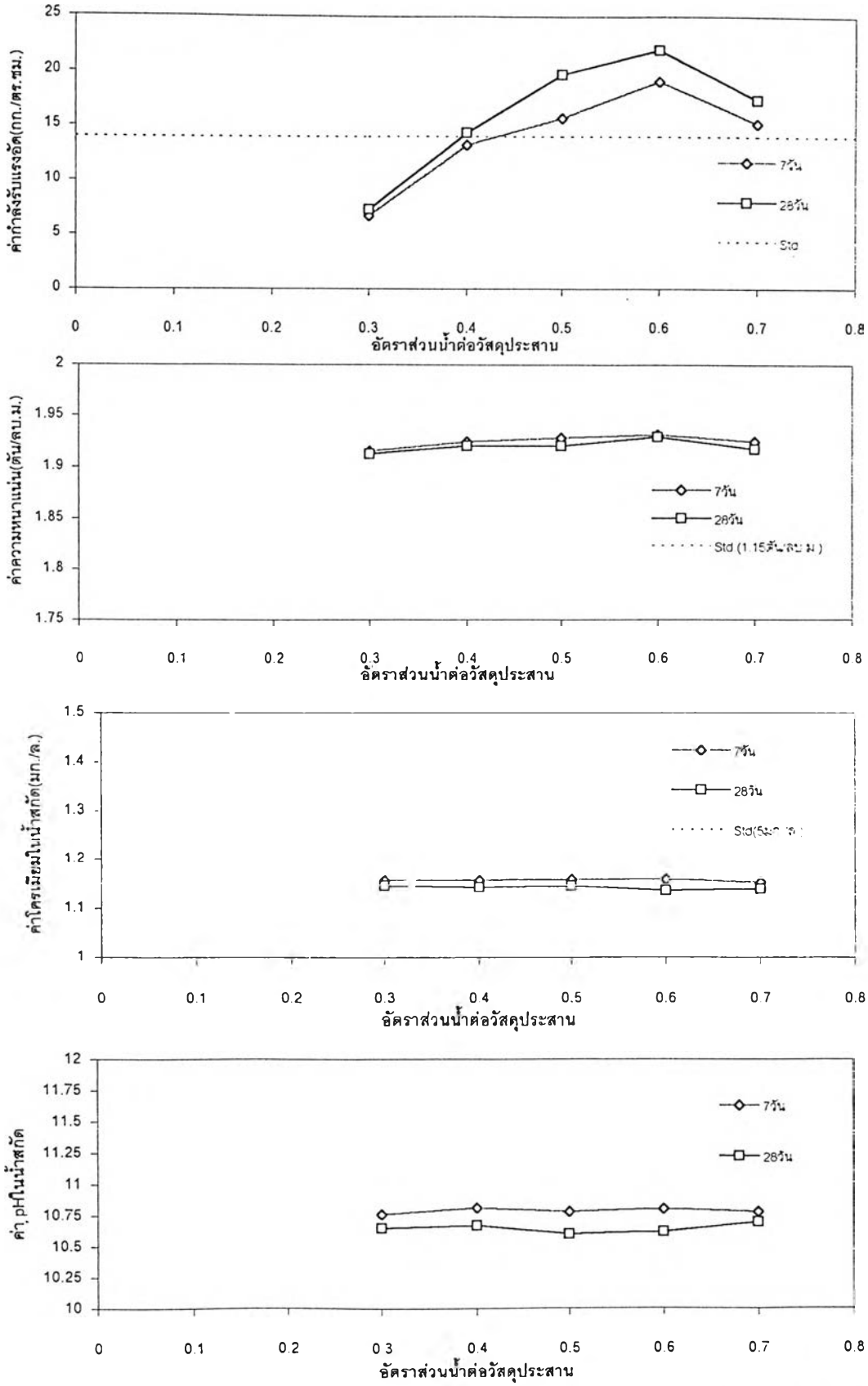
จากตารางที่ 5.8 และ 5.20 พบว่า ประสิทธิภาพในการยึดจับโลหะหนักหลังการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา ร้อยละ 7 สามารถยึดจับปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลาย คือ โครเมียม ร้อยละ 60.62 ส่วน อาร์เซนิค แคดเมียม ปรอท และตะกั่วนั้นไม่หาประสิทธิภาพในการกำจัด เนื่องจากไม่พบโลหะหนักเหล่านี้ในขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาอยู่แล้ว

ตารางที่ 5.21 แสดงค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนร้อยละ 13 ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C)

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนร้อยละ 13	กำลังรับแรงอัด (กก. /ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน /ลบ.ม.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
0.3	6.73	7.33	1.916	1.913
0.4	13.20	14.33	1.925	1.921
0.5	15.67	19.67	1.929	1.921
0.6	19.07	21.93	1.932	1.930
0.7	15.20	17.33	1.925	1.918

ตารางที่ 5.22 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำสกัดในขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนร้อยละ 13 ในขั้นตอนการหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด (ขี้เถ้ากากตะกอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400°C)

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแข็งที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนร้อยละ 13	พีเอช		ปริมาณโครเมียม (มก. / ล.)	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน				
0.3	10.76	10.65	1.157	1.147
0.4	10.81	10.67	1.157	1.143
0.5	10.78	10.60	1.160	1.147
0.6	10.80	10.62	1.160	1.137
0.7	10.78	10.70	1.153	1.140



รูปที่ 5.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆกับอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ร้อยละ13กับขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา จากการทดลองหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด(ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่400 ^{0}ซ.

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการยึดจับโลหะหนักของปูนซีเมนต์กับขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. 800^0 ซ. และ 1,200^0 ซ. มีค่าใกล้เคียงกันคือมีประสิทธิภาพในการยึดจับร้อยละ 57.71 ร้อยละ 59.39 และ ร้อยละ 60.62 ตามลำดับ

5.6 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

5.6.1 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ

1. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 0.579 ความหนาแน่นรวม 1.25 ตัน/ลบ.ม ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 2.01 มก./ล ความเข้มข้นของอาร์เซนิคต่ำกว่า 0.01 มก./ล. และความเข้มข้นของปรอท ต่ำกว่า0.02 มก./ล. ความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 0.1 มก./ล. และค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่า 0.02 มก./ล.ซึ่งค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดมีค่าไม่เกินมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้

2. การทดสอบหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นโดยการนำขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ มาผสมกับวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % และปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 % ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10, 30 และ 50 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า พบว่า วัสดุประสานทุกชนิดยกเว้นปูนขาวทำให้ก้อนตัวอย่างผ่านเกณฑ์การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอน ร้อยละ 30 และจากการทดสอบหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่เหมาะสมที่สุด พบว่าอัตราส่วนและชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดคือ จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 13 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 15.67 กก./ตร.ซม. ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมมีค่า 1.16 มก./ล. เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดในการเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400 ซ ให้เป็นก้อนแข็ง คือสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่า 14 กก./ตร.ซม. และมีค่าโครเมียมในน้ำสกัดน้อยกว่า 5 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

3. สำหรับประสิทธิภาพในการยึดจับโครเมียมในน้ำชะละลายหลังการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 13 มีค่าเท่า

กับร้อยละ 57.71 และค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^{0}ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 13 มีค่าเท่ากับ 3,618.03 บาทต่อกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน

5.6.2 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ

1. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 0.038 ความหนาแน่นรวม 1.265 ตัน/ลบ.ม. ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 1.91 มก./ล ความเข้มข้นของอาร์เซนิคต่ำกว่า 0.01 มก./ล... และความเข้มข้นของปรอท ต่ำกว่า0.02 มก./ล. ความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 0.1 มก./ล. และค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่า 0.02 มก./ล. ซึ่งค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดมีค่าไม่เกินมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้

2. การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้นโดยการนำขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ . มาผสมกับวัสดุประสานชนิดต่าง ๆ คือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % และปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 % ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10 ,30 และ 50 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า พบว่า วัสดุประสานทุกชนิดทำให้ก้อนตัวอย่างผ่านเกณฑ์การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา ร้อยละ 30 และจากการทดสอบหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่เหมาะสมที่สุด พบว่าอัตราส่วนและชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดคือ จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 16.40 กก./ตร.ซม. ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมมีค่า 1.17 มก./ล. เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดในการเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 ซ ให้เป็นก้อนแข็ง คือสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่า 14 กก./ตร.ซม. และมีค่าโครเมียมในน้ำสกัดน้อยกว่า 5 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

3. สำหรับประสิทธิภาพในการยึดจับโครเมียมในน้ำชะละลายหลังการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับร้อยละ 59.39 และค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^{0}ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับ 4,588.98 บาทต่อกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน

5.6.3 ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ

1. ขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ มีปริมาณน้ำบรรจุร้อยละ 0.02 ความหนาแน่นรวม 1.3 ตัน/ลบ.ม. ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 1.93 มก./ล ความเข้มข้นของอาร์เซนิคต่ำกว่า 0.01 มก./ล. และความเข้มข้นของปรอท ต่ำกว่า0.02 มก./ล. ความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่า 0.1 มก./ล. และค่าความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่า 0.02 มก./ล. ซึ่งค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดมีค่าไม่เกินมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้

2. การทดสอบหาสัดส่วนผสมเบื้องต้นโดยการนำขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 ซ มาผสมกับวัสดุประสานชนิดต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % และปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 % ที่สัดส่วนผสมร้อยละ 10, 30 และ 50 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า พบว่า วัสดุประสานทุกชนิดทำให้ก้อนตัวอย่างผ่านเกณฑ์การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้าตะกอนน้ำมันเตา ร้อยละ 30 และจากการทดสอบหาอัตราส่วนผสมวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่เหมาะสมที่สุด พบว่าอัตราส่วนและชนิดของวัสดุประสานที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดคือ จะเลือกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนผสม ร้อยละ 7 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 15.20 กก./ตร.ซม.ส่วนความเข้มข้นของโครเมียมมีค่า 1.17 มก./ล. เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและประหยัดที่สุดในการเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 ซ ให้เป็นก้อนแข็ง คือสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่า 14 กก./ตร.ซม. และมีค่าโครเมียมในน้ำสกัดน้อยกว่า 5 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

3. สำหรับประสิทธิภาพในการยึดจับโครเมียมในน้ำชะละลายหลังการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 7 มีค่าเท่ากับร้อยละ 60.62 และค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^{0}ซ. ด้วยปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 7 มีค่าเท่ากับ 6,061.04 บาทต่อกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน

จากการทดลองโดยใช้ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตา ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือที่ 400^0 ซ. 800^0 ซ. และ 1,200^0 ซ.มาทำการทดลองนั้นพบว่า ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 13 เป็นวัสดุประสาน เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 เป็นวัสดุประสาน เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800^0 ซ. และปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 7 เป็นวัสดุประสาน เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำเสถียรขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1,200^0 ซ. ซึ่งเมื่อนำราคาค่าวัสดุประสาน และค่าเผากาก

ตะกอนน้ำมันเตาของขี้เถ้าหลังการเผาทั้ง 3 อุณหภูมิมาเปรียบเทียบกันพบว่า ค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ และค่าใช้จ่ายในการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. ประหยัดที่สุด ดังนั้นจะเลือกนำกากตะกอนน้ำมันเตามาเผาที่ที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. แล้วนำขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. มาทำการทดลองหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพื่อหาอัตราส่วนของน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการเทแบบก้อนตัวอย่าง ซึ่งจากการทดลองหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่อัตราส่วนร้อยละ 13 มาทำการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.6 ก้อนตัวอย่างที่ทำการทดลองจะมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 19.07 กก./ตร.ซม.และมีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัด 1.16 มก./ล.

5.7 การเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัด วิธีทดสอบตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พศ. 2531) กับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540)

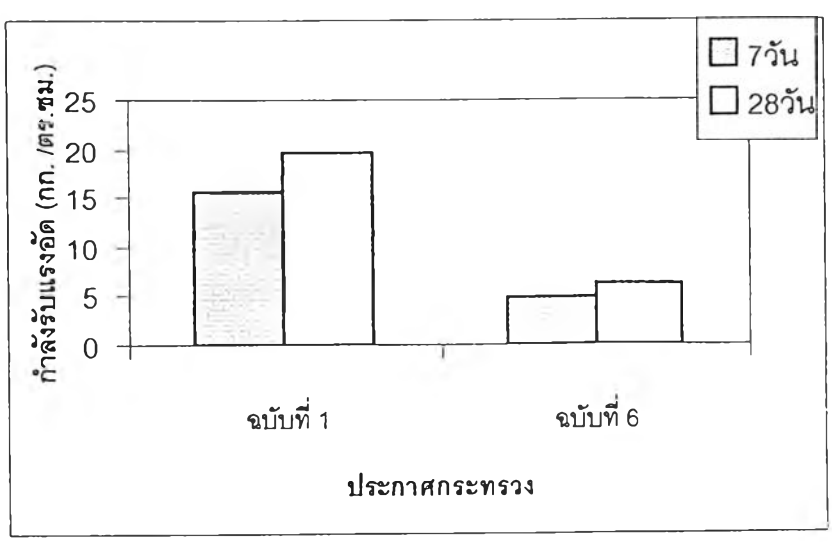
เนื่องจากการดำเนินการวิจัยและการศึกษานี้ได้เริ่มดำเนินการค้นคว้าข้อมูล เตรียมอุปกรณ์และดำเนินงานก่อนที่จะมีประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540) ดังนั้นการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนในงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีทดสอบตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พศ. 2531) โดยกำหนดใช้ค่า Unconfined Compressive Strength โดยกำหนดการทดสอบจากก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C 109-86 โดยเครื่องมือทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด และได้กำหนดค่าเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดไว้ให้ไม่น้อยกว่า 14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Ksc) ส่วนการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540) กำหนดใช้ค่า Unconfined Compressive Strength โดยกำหนดการทดสอบจากก้อนตัวอย่างทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.8 นิ้ว (71.1 มม.) และสูง 5.6 นิ้ว (142.2 มม.) ตามมาตรฐาน ASTM D 1633-84 โดยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด และกำหนดเกณฑ์มาตรฐานกำลังรับแรงอัดไว้ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัด จากทั้ง 2 วิธี ของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง ด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเป็นวัสดุประสาน โดยใช้ขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ.และใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ส่วนผสม ร้อยละ 13 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.6 แสดงในตารางที่ 5.23 และรูปที่ 5.38 พบว่าขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน เมื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540) ตามมาตรฐาน ASTM

D 1633-84 โดยเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มตัว 7 วัน และ 28 วัน เท่ากับ 4.81 และ 6.23 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการทดสอบตามประกาศกรมโรงงานอุตสากรรม ฉบับที่ 1 (พศ. 2531) แต่ก็ยังมีค่ามากกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) คือ 3.5 กก./ตร.ซม. (ตามมาตรฐาน ASTM D 1633-84)

ตารางที่ 5.23 การเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัด ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พศ. 2531) กับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540)

ชนิดของวัสดุประสาน และอัตราส่วนผสม (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา	ค่ากำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			
	ประกาศ ฉบับที่ 1		ประกาศ ฉบับที่ 6	
	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	ระยะเวลาบ่ม 7 วัน	ระยะเวลาบ่ม 28 วัน
ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 13	15.67	19.67	4.81	6.23
ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม	> 14 กก./ตร.ซม. ประกาศฉบับที่1(พ.ศ.2531)		> 3.5 กก./ตร.ซม. ประกาศฉบับที่6(พ.ศ.2540)	



รูปที่ 5.38 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด โดยเทียบระหว่างมาตรฐานประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พศ. 2531) กับ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พศ. 2540)

5.8 การประมาณค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตา

5.8.1. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาต่อตันกากตะกอนน้ำมันเตา

จากการศึกษาการทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันเตาในงานวิจัยชิ้นนี้พบว่า ชนิดของขี้เถ้า ชนิดวัสดุประสานและอัตราส่วนวัสดุประสานต่อขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่เหมาะสมที่สุดคือ นำกากตะกอนน้ำมันเตาไปเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. แล้วนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 13 โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.6 สามารถทำเสถียรกากตะกอนน้ำมันเตาและทำให้เป็นก้อนแข็งโดยที่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการทำเสถียรขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาแบ่งออกได้เป็น

-ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน

ราคาวัสดุประสาน ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เท่ากับ ร้อยละ 13 ต่อน้ำหนักขี้เถ้า ซึ่งปริมาณกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตัน หลังเผาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. จะเกิดขี้เถ้าประมาณ 0.36 ตัน และราคาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ตราช้าง (บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด) ตามราคาขายส่งในท้องตลาดในช่วงเดือน มกราคม 2543 จากราคากลางของกรมการค้าภายใน ราคาตันละ 2,522 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายของปูนซีเมนต์ในการทำเสถียรขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตา เท่ากับ 0.36 x 0.13 x 2,522 = 118.03 บาท

สำหรับราคาค่าเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. นั้นเนื่องจากการเผากากตะกอนน้ำมันในการทดลองนี้ได้รับความอนุเคราะห์ให้ใช้เตาเผาชนิดเชื้อเพลิงแก๊สจากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเสียค่าใช้จ่ายแค่ค่าเชื้อเพลิงแก๊สเท่านั้น จึงขอใช้อัตราการเผาของเสียของนิคมอุตสาหกรรมบางพลี ซึ่งคิดอัตราค่าเผาของเสีย 1 ตัน ที่อุณหภูมิประมาณ 400^0 ซ. ประมาณ 3,500 บาท

- ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ

ขี้เถ้ากากตะกอนน้ำมันเตาที่ผ่านการทำให้เป็นก้อนแล้ว จะขนส่งไปฝังกลบที่ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี โดยคิดราคาค่าขนส่งเท่ากับ 2.75 บาทต่อตันต่อกิโลเมตร ซึ่งระยะทางไปยังหลุมฝังกลบประมาณ 150 กิโลเมตร และกากตะกอน 1 ตันเมื่อทำเป็นก้อนจะมีน้ำหนัก

รวมวัสดุประสาน 0.4068 ตัน ดังนั้นค่าขนส่งประมาณ 0.4068 x 150 x 2.75 = 167.81 บาทต่อ 1 ตัน ตะกอนน้ำมันเตา

- ค่าขนย้ายของเสียขึ้นลง

ที่ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี คิดค่าขนย้ายของเสียขึ้นลงจากรถประมาณ 300 บาทต่อตันของเสีย ดังนั้นกากตะกอนน้ำมันเตา 1 ตันทำให้เป็นก้อนรวมวัสดุประสานจะหนัก 0.36 + (0.36 x 0.13) = 0.4068 ตัน ดังนั้นจะคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการขนย้ายของเสียขึ้นลง เท่ากับ 0.4068 x 300 = 122.04 บาท

- ค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ

ที่ศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี คิดค่าฝังกลบ ประมาณ 875 บาทต่อตันของเสียดังนั้นตะกอนน้ำมันเตา 1 ตันทำให้เป็นก้อนรวมวัสดุประสานจะหนัก 0.36 + (0.36 x 0.13) = 0.4068 ตัน ดังนั้นจะคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ เท่ากับ 0.4068 x 875 = 355.95 บาท

ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ค่าเผากากตะกอน + ค่าวัสดุประสาน + ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ + ค่าขนย้ายของเสียขึ้นลง + ค่าฝังกลบ

= 3,500 + 118.03 + 167.81 + 122.04 + 355.95 = 4,264 บาทต่อ 1 ตันกากตะกอนน้ำมันเตา

สำหรับค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. 800^0 ซ. และ $1,200^0$ ซ.แสดงในตารางที่ 5.24

จากการไปสอบถามข้อมูลจากฝ่ายการตลาดของ บริษัท บริหารและพัฒนาเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Genco) เกี่ยวกับค่ากำจัดกากตะกอนน้ำมันนั้นทางเจ้าหน้าที่บอกว่าเป็นความลับของทางบริษัท ไม่สามารถบอกราคาได้ แต่จะบอกราคาคร่าวๆในการกำจัดซึ่งถ้าเป็นตะกอนน้ำมันนั้นทาง Genco จะต้องนำตัวอย่างตะกอนน้ำมันมาทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของตะกอนน้ำมันหลังจากนั้นก็ต้องนำมาคำนวณดูว่าจะต้องนำไปผสมกับกากขยะอุตสาหกรรมชนิดใดด้วยอัตราส่วนเท่าใดเพื่อที่จะได้ค่าความร้อนตามที่ต้องการเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงชนิดต่ำต่อไป ซึ่งราคาในการกำจัดอยู่ในช่วงไม่ต่ำกว่า 10,000 บาทต่อตัน

ตารางที่ 5.24 ค่าใช้จ่ายในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนของขี้เถ้าที่ได้จากการเผากากตะกอนน้ำมันเตาที่อุณหภูมิ 400^0 ซ. 800^0 ซ. และ 1,200^0 ซ. (บาทต่อตันกากตะกอนน้ำมันเตา)

อุณหภูมิ	อัตราการเกิดขี้เถ้า	ค่าใช้จ่ายในการเผา	ค่าใช้จ่ายในการทำให้เป็นก้อน	ค่าขนส่งไปยังหลุมฝังกลบ	ค่าขนย้ายของเสียขึ้นลง	ค่าฝังกลบ	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด
400^{0}ซ.	36%	3,500	118.03	167.81	122.04	355.95	4,264
800^{0}ซ.	35.28%	4,500	88.98	160.08	116.42	339.57	5,205
1,200^{0}ซ.	34.57%	6,000	61.05	152.58	110.97	323.66	6,648

5.8.2. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาต่อราคาน้ำมันเตา

จากการคำนวณข้างต้นในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาซึ่งเท่ากับ 4,263.83 บาทต่อตันของกากตะกอนน้ำมันเตานั้นเมื่อนำมาคำนวณหาราคาค่ากำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาต่อราคาน้ำมันเตานั้น มีวิธีคำนวณดังนี้

- ถังเก็บน้ำมันเตาที่เก็บตัวอย่างกากตะกอนก้นถังน้ำมันเตามาวิเคราะห์นั้นเป็นถังเก็บน้ำมันเตาชนิด 1500 ซึ่งราคาในท้องตลาดในช่วงเดือนเมษายน 2543 โดยสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ราคาลิตรละ 6.85 บาท

- ถังเก็บน้ำมันสูง 15 เมตร จุน้ำมันได้ 10,000,000 ลิตรและมีตะกอนที่นอนก้นอยู่ หนาประมาณ 10 ซม. จากการคำนวณจะเกิดปริมาณกากตะกอนในถังประมาณ 66,667 ลิตร ต่อการเก็บกักประมาณ 4–5 ปี ซึ่งจะมีปริมาณกากตะกอนเกิดขึ้นประมาณ 16,667 ลิตรต่อปีต่อถังเก็บ1ถัง และจากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันปี 2541 ของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พบว่าประเทศไทยมีการใช้น้ำมันเตาถึง 7,957.4 ล้านลิตร จากการคำนวณ จะได้ว่าแต่ละปีจะมีปริมาณตะกอนประมาณ 13,262,333 ลิตร และจากผลการวิเคราะห์หาความหนาแน่นรวมของกากตะกอนน้ำมันเตา ซึ่งมีค่า 1.043 ตัน/ลบ.ซม. พบว่าจะเกิดกากตะกอนน้ำมันเตาหนัก 13,832.61 ตัน ซึ่งค่ากำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาราคาตันละ 4,263.83 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาเท่ากับ 13,832.61 x 4,263.83 = 58,979,897.50 บาท และจากราคาน้ำมันเตาลิตรละประมาณ 6.85 บาทซึ่งมีการใช้น้ำมันเตาทั้งหมด 7,957,400,000 ลิตร ดังนั้นมูลค่าการขายของน้ำมันเตาเท่ากับ 54,508,190,000 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาคิดเป็น ร้อยละ 0.11 ของราคาขายน้ำมันเตา 1 ลิตร

5.9 การวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการเปรียบเทียบระหว่างปูนซีเมนต์ ปูนขาว ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 % และปูนซีเมนต์ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 % ที่ใช้เป็นวัสดุประสานในการทำเสถียรโลหะหนักในกากตะกอนนั้น พบว่า

ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประสานที่หาง่าย ราคาไม่แพง มีประสิทธิภาพในการทำเสถียรโลหะหนักได้ดี และยังให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุดในบรรดาวัสดุประสานชนิดอื่นๆ

ปูนขาวยังเป็นวัสดุประสานที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำเสถียรโลหะหนักในกากตะกอนน้ำมันเตา เพราะปูนขาวไม่สามารถให้กำลังรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้

ปูนขาวผสมปูนซีเมนต์ (1:1) มีความสามารถในการทำเสถียรโลหะหนักได้ใกล้เคียงกับการใช้ปูนขาว หรือ ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว แต่ขณะเดียวกันก็ให้กำลังรับแรงอัดที่ต่ำกว่าการใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียวที่สัดส่วนผสมเดียวกัน

ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 10 % และ ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % มีความสามารถในการทำเสถียรโลหะหนักได้ดีกว่าวัสดุประสานชนิดอื่น โดยที่ ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟ 20 % ยึดจับโลหะหนักได้ดีที่สุดแต่ก็ยังมีประสิทธิภาพในการยึดจับแตกต่างกับวัสดุประสานชนิดอื่นไม่มากนัก และถึงแม้ว่าจะใช้วัสดุประสานชนิดใดที่อัตราส่วนผสมใดก็ตาม ค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดก็มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้(ที่5มก./ล.) ซึ่งตามที่ได้กำหนดขอบเขตของการทำการวิจัยในตอนต้นนั้นจะใช้โซดาไฟเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อช่วยเพิ่มไฮดรอกไซด์ให้กับวัสดุประสานเพื่อที่จะช่วยในการยึดจับโลหะหนักให้ชะละลายออกมาน้อยลง แต่เนื่องจากผลการวิเคราะห์ขี้เถ้าหลังการเผาทั้ง 3 อุณหภูมิก่อนที่จะนำมาปรับเสถียรพบว่ามีค่าความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำสกัดไม่เกินค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้อยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการใช้ปูนซีเมนต์ผสมโซดาไฟเป็นวัสดุประสานเพราะจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

จากงานวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่า การกำจัดกากตะกอนน้ำมันเตาที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด คือ การนำกากตะกอนน้ำมันเตาไปเผาที่อุณหภูมิ 400^{0} ซ (โดยที่ควรจะมีการควบคุมปริมาณโลหะหนักที่ออกมาจากปล่องเตาเผา) ซึ่งอาจนำพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์อื่นได้อีก แล้วนำขี้เถ้ามาทำเสถียรโลหะหนักด้วยวิธี

การทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้า เท่ากับร้อยละ 13 โดยน้ำหนักจะได้ก้อนแข็งที่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม ตามประกาศฉบับที่ 1 และสามารถนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบที่ได้มาตรฐานต่อไปได้

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายของขี้เถ้าหลังการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายของกากตะกอนน้ำมันเตาก่อนที่จะนำไปเผาที่อุณหภูมิต่างๆ (ตารางที่ 5.3 และ 5.8) นั้น ข้อมูลที่ได้นั้นเป็นที่น่าสังเกตว่าไม่พบปริมาณปรอทในขี้เถ้าหลังการเผาทุกอุณหภูมิซึ่งสันนิษฐานได้ว่าปรอทนั้นระเหยกลายเป็นไอออกไปทางปล่องเตาเผาไปสู่บรรยากาศในระหว่างการเผา จึงแนะนำว่าควรจะมีการป้องกันไอปรอทที่ระเหยออกไปทางปล่องเตาเผาโดยอาจจะทำการต่อปล่องให้สูงขึ้นเพื่อเจือจางไอปรอทที่ออกมา หรือมีการดักชะไอปรอทที่ปากปล่องเตาเผาด้วยการชะโดยสารละลายที่ทำปฏิกริยากับไอปรอททำให้ปรอทละลายในสารละลายนั้น ซึ่งจะเป็นสารละลายชนิดใดหรือจะใช้ระบบใดในการจัดการกับไอปรอทนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป ถ้ามีผู้สนใจผู้วิจัยแนะนำให้ค้นคว้าเพิ่มเติมในหนังสือ มลภาวะอากาศ ของ อ. วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์

จากการศึกษาวิจัยพบว่าควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกในเรื่องของค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบ่มตัวที่ระยะเวลา 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน เพื่อศึกษาดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังรับแรงอัดเพื่อหาระยะเวลาบ่มตัวที่เหมาะสมที่สุดของก้อนตัวอย่าง