สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยแบ่งออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

4.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

4.4 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

จากผลการวิเคราะห์ความชื้นและความเข้มข้นของสังกะสีในกากตะกอนแสดงในตารางที่ 4-1 พบว่าปริมาณความชื้นในกากตะกอนอยู่ในช่วงร้อยละ 55-61 ของน้ำหนักโดยรวม จัดว่ามีค่าความชื้นต่ำเมื่อเทียบกับค่าความชื้นในกากตะกอนทั่วไปที่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 80 แสดงให้เห็นว่าระบบการทำงานของเครื่องรีดน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเสถียรภาพในการทำงาน เนื่องด้วยค่าความชื้นมีค่าคงที่ไม่แตกต่างกันมาก สำหรับผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสังกะสีที่อยู่ในกากตะกอนพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5,000 ถึง 7,500 mg/kg ซึ่งเกินกว่าค่าที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 คือ ของเสียที่มีค่าสังกะสีปนเปื้อนอยู่เกิน 5000 mg/kg ให้ถือเป็นของเสียอันตราย โดยระบบตกตะกอนทางเคมีค่อนข้างมีความสม่ำเสมอในการทำงานเพราะค่าสังกะสีที่พบมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6,197 mg/kg

ตารางที่ 4-1ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

วันที่	ความชื้น (%)	ความเข้มข้นของสังกะสีในกากตะกอน (mg/kg dry-weight)
17 พ.ย. 09	58	6,708
19 พ.ย. 09	55	7,435
24 พ.ย. 09	60	6,632
26 พ.ย. 09	59	6,061
3 ธ.ค. 09	58	6,404
8 ธ.ค. 09	60	6,133
15 ธ.ค. 09	56	6,004
17 ธ.ค. 09	59	6,922
22 ธ.ค. 09	58	5,557
24 ธ.ค. 09	57	5,312
29 ธ.ค. 09	59	5,010
5 ม.ค. 10	61	6,183

4.2 การศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

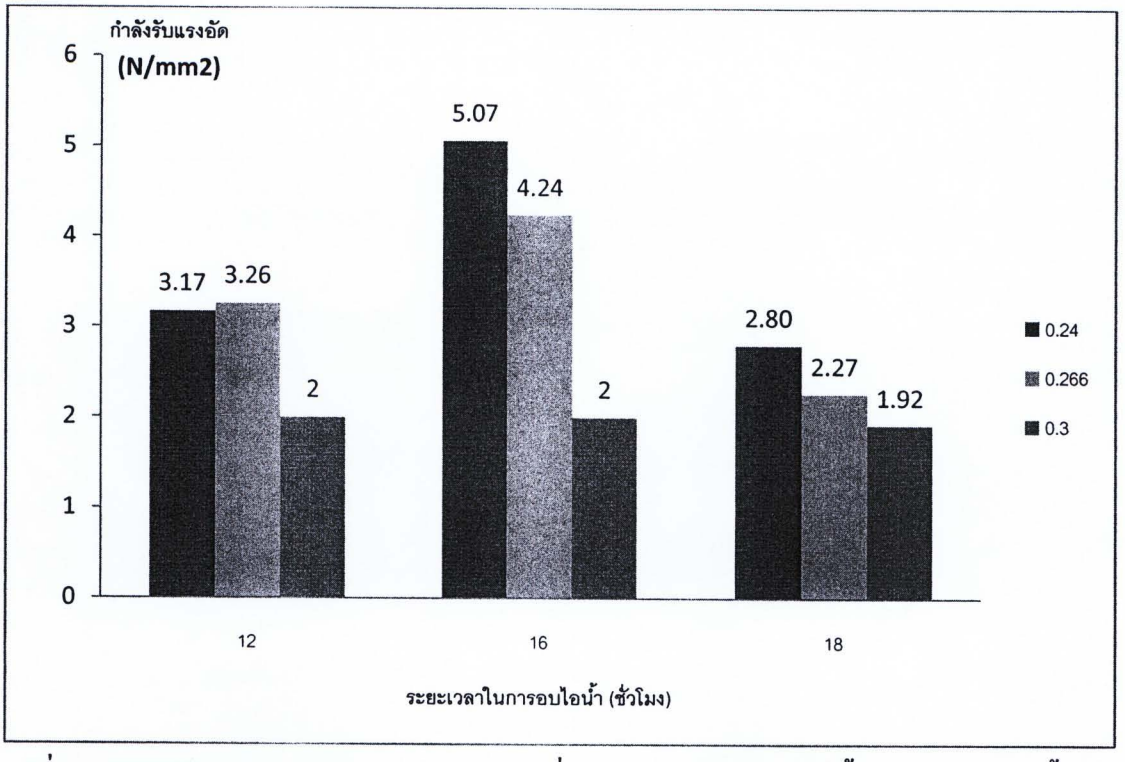
4.2.1 อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งทั้งหมดและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

ในการศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาจะทำการศึกษาเริ่มต้นที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบไอน้ำเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น โดยจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซิลิกาในทรายกับปูนขาวจากปูนซีเมนต์และปูนขาว ทำให้เกิดผลึก $CaO.SiO_2$ ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของชาตรี สาวทรัพย์และคณะ (2550) และ Topcu I., Uygunog T. (2550) ขณะที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเช่นกันจนถึงระยะเวลาหนึ่งกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นจะลดลงเนื่องจากการอบไอน้ำที่ระยะเวลานานเกินไปทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันอื่นที่เราไม่ต้องการขึ้นซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียกำลังรับแรงอัดและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน จากเหตุผลข้างต้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษา

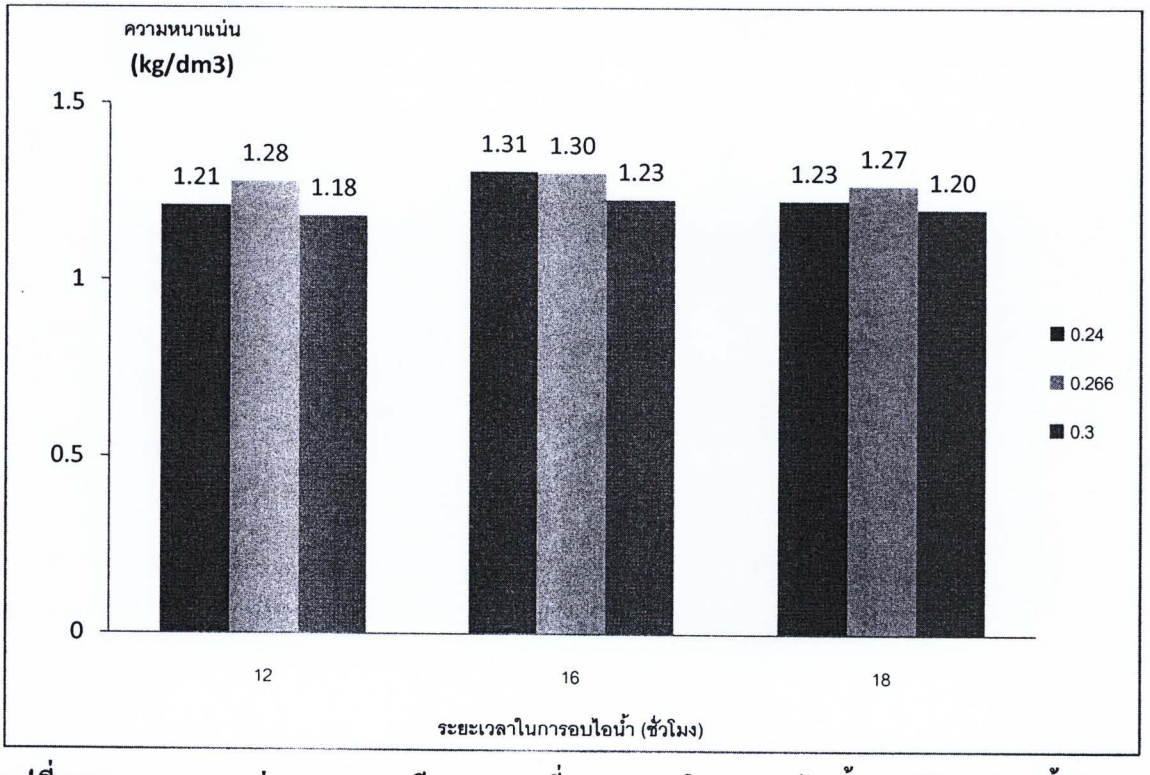
หาค่าระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสม สำหรับในการการศึกษาอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่ 16 ชั่วโมง

ปัจจัยหนึ่งที่ช่วยลดความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตมวลเบา คือ การเพิ่มอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมด Stamen and Bluefield (2002) ศึกษาว่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่อมีความพรุนในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยความพรุนจะเกิดขึ้นได้จากปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อปฏิกิริยาของอลูมิเนียมให้มีมากขึ้นและทำให้เนื้อปูนมีความเหลวมากขึ้นจึงทำให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นมีจำนวนมากขึ้นและสามารถรวมตัวให้มีขนาดใหญ่ได้ง่ายขึ้นเป็นเหตุให้รูพรุนในเนื้อคอนกรีตมีจำนวนมากและขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตและกำลังรับแรงอัดที่ลดลงในการศึกษาอัตราส่วนผสมในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เวลา 16 ชั่วโมง พบว่าอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.24 มีความหนาแน่นประมาณ 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรและกำลังรับแรงอัดประมาณ 5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรสำหรับอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมด ที่ 0.266 มีความหนาแน่นประมาณ 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรซึ่งเท่ากับอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.24และกำลังรับแรงอัดประมาณ 4 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในขณะที่อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.30 มีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรและกำลังรับแรงอัดประมาณ 3 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งอัตราส่วนที่มีกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นน้อยที่สุด จากงานวิจัยของ ชาตรี สาวทรัพย์ (2550) เลือกอัตราส่วนของน้ำต่อของแข็งทั้งหมดที่ 0.26 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งทั้งหมดได้ทั้งที่ 0.24 และที่ 0.26 เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกันทำให้ค่าผลการทดสอบของทั้งสองอัตราส่วนอยู่ในช่วงเดียวกัน ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ที่อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่ 0.24

สรุปได้ว่า เวลาที่เหมาะสมในการอบไอน้ำคือ 16 ชั่วโมงเพราะให้กำลังรับแรงอัดได้มากที่สุด และอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำที่เหมาะสมคือ 0.24 ต่อของแข็งทั้งหมด ด้วยเหตุผลเดียวกัน



รูปที่ 4-1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-2 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ระยะเวลาในการอบไอน้ำและอัตราส่วนน้ำต่อของแข็งที่แตกต่างกัน

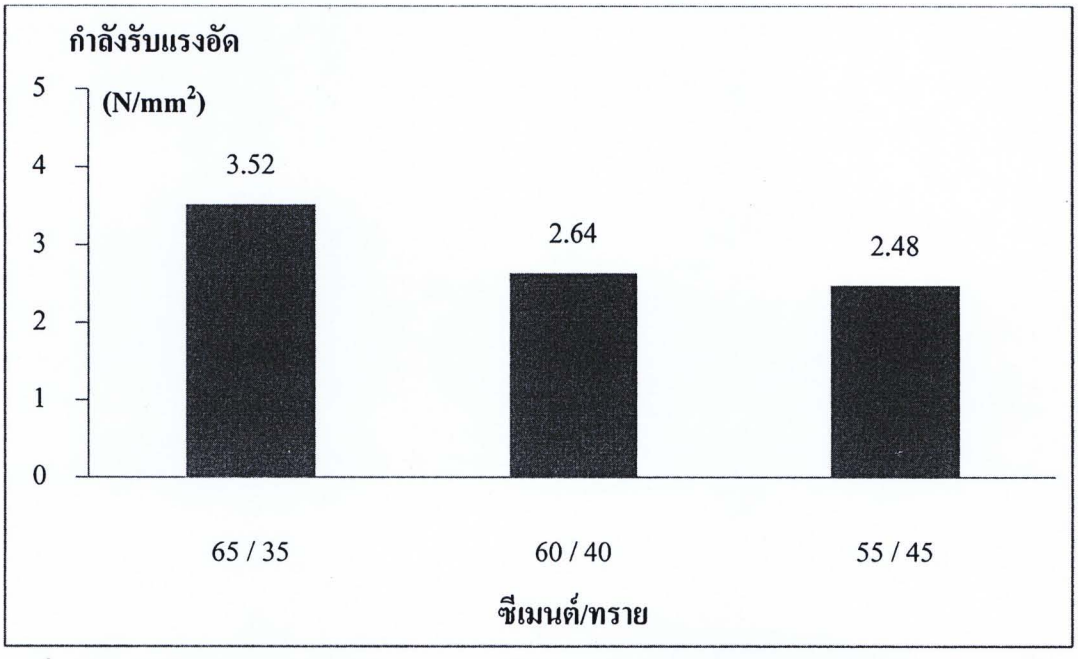
ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองในการหาระยะเวลาในการอบไอน้ำและ อัตราส่วนของน้ำต่อของแข็งทั้งหมด

ระยะเวลาในการอบไอน้ำ	อัตราส่วนน้ำต่อของแข็งทั้งหมด	กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength, N/mm^2)		ความหนาแน่น (kg/dm^3)	
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
12	0.24	3.17	0.41	1.21	0.02
	0.266	3.26	0.43	1.28	0.02
	0.3	2	0.2	1.18	0.11
16	0.24	5.07	0.33	1.31	0.01
	0.266	4.24	0.33	1.3	0.03
	0.3	2	0	1.23	0.01
18	0.24	2.8	0.46	1.23	0.04
	0.266	2.27	0.33	1.27	0.05
	0.3	1.92	0.18	1.2	0.04

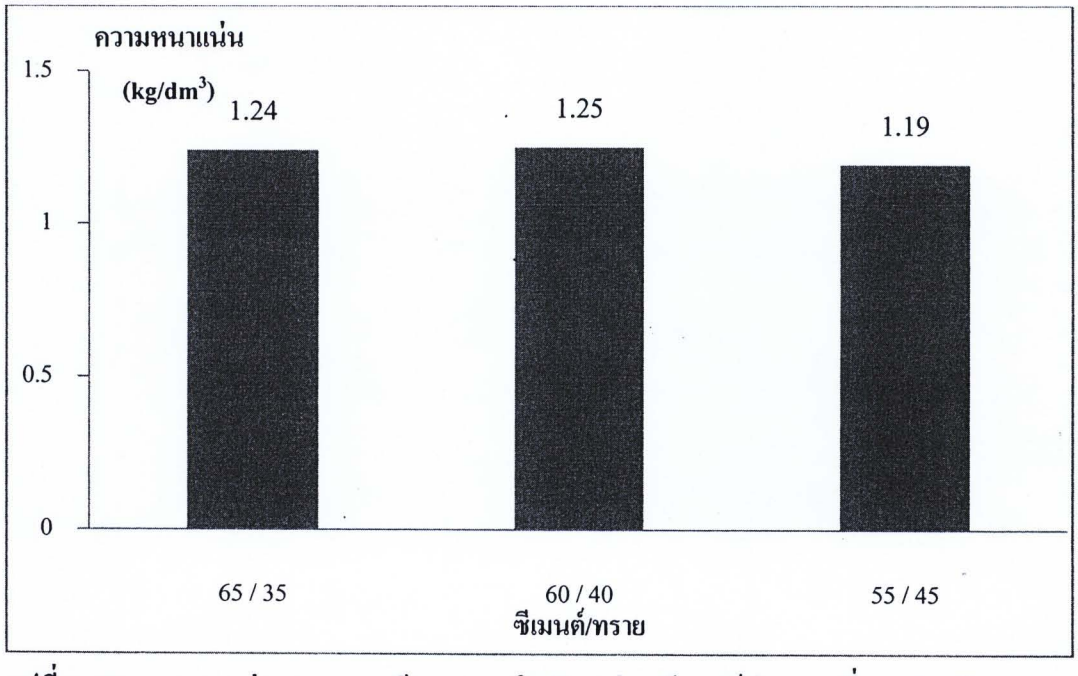
4.2.2 ผลการทดลองในการหาอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

จากการทดลองในการหาอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสมในการทำคอนนกรีตมวลเบา แสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายก้อนคอนกรีตมวลเบาจะทำให้มีปริมาณปูนขาวจากปูนซีเมนต์และปูนขาวมากขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซิลิกาและปูนขาวได้มากขึ้นระหว่างการอบไอน้ำเป็นผลให้มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วยโดยที่อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทราย 65:35 ให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุด คือ 3.52 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร กำลังรับแรงอัดรองลงมา คือ อัตราส่วนที่ 60:40 และน้อยที่สุดคือ อัตราส่วนที่ 55:45 เนื่องจากปริมาณปูนขาวน้อยกว่าทุกตัวอย่างการทดลองทำให้การเกิด $CaO.SiO_2$น้อยตามไปด้วย ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นพบว่าทุกอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันมากอย่างไม่แตกต่างกัน มีค่าประมาณที่ 1.2 กิโลกรัมต่อตารางเดซิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ชาตรี สาวทรัพย์ (2550)และ Panyakapo P., Panyakapo M. (2008) พบว่างานวิจัยมีความสอดคล้องกัน คือ เมื่อเพิ่มปริมาณทรายในคอนกรีตมวลเบาจะทำให้ความ

หนาแน่นมากขึ้น จากการทดลองสรุปได้ว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายที่ 60:40 เนื่องให้กำลังรับแรงอัดที่เหมาะสมและยังประหยัดปริมาณซีเมนต์ที่ใช้อีกด้วย



รูปที่ 4-3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-4 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายที่แตกต่างกัน

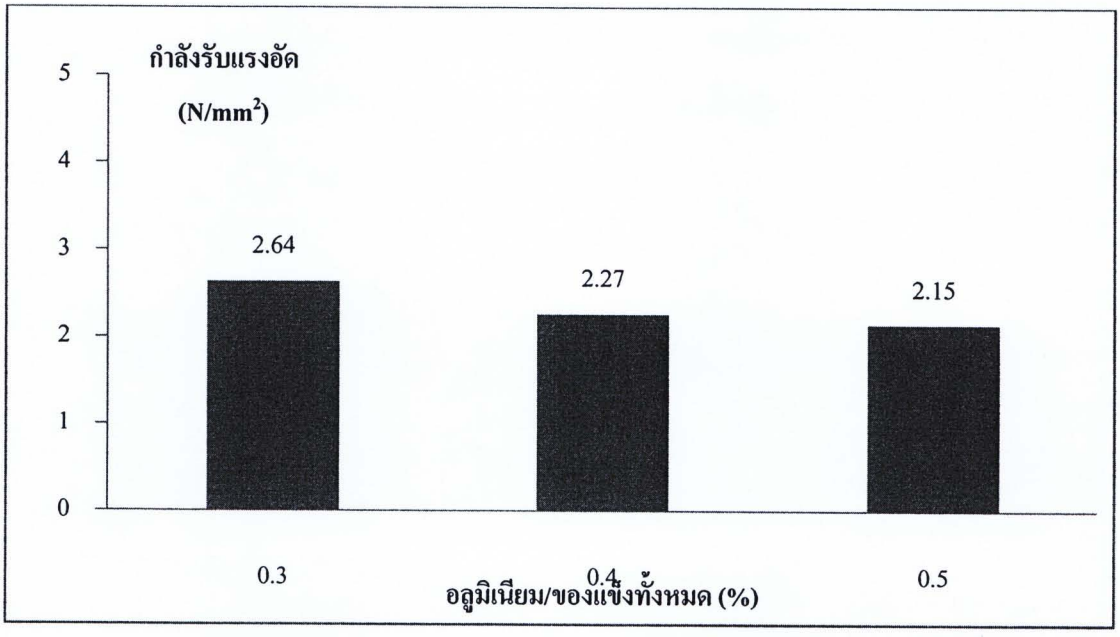
ตารางที่ 4-3ผลการทดลองอัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทรายที่เหมาะสม

อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย (Cement/Sand Ratio)	กำลังรับแรงอัด (N/mm^2)		ความหนาแน่น (kg/dm^3)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
65:35	3.52	0.33	1.24	0.03
60:40	2.64	0.46	1.25	0.03
55:45	2.48	0.33	1.19	0.02

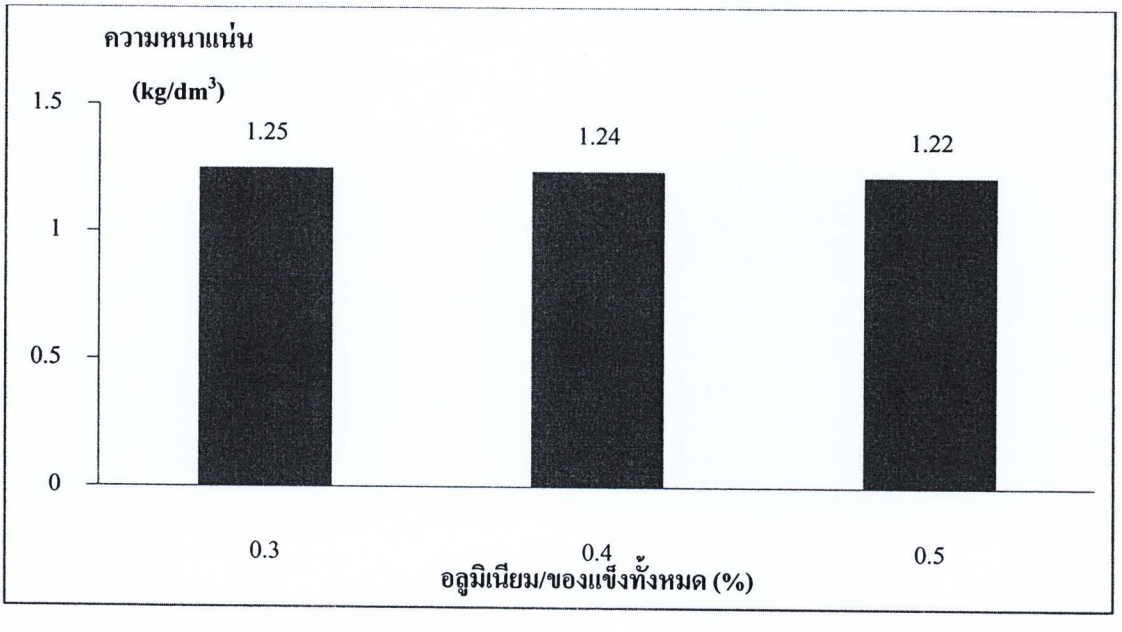
4.2.3 ปริมาณผงอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา

ในการศึกษาปริมาณผงอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4-4 พบว่าปริมาณอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นจะเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนขาวมากขึ้นเนื่องจากมีสารตั้งต้นมากขึ้นทำให้เกิดก๊าซในเนื้อคอนกรีตมากขึ้นและทำให้เนื้อคอนกรีตมีรูพรุนมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลงและกำลังรับแรงอัดลดลงด้วยและยังส่งผลให้ปูนขาวที่จะไปทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับซิลิกาลดลงเป็นผลให้การเกิด $CaO.SiO_2$ลดลงจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงด้วย ปริมาณอลูมิเนียมที่ร้อยละ 0.3 ให้กำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดคือ 2.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร รองลงมา คือปริมาณอลูมิเนียมที่ร้อยละ 0.4 และร้อยละ 0.5 ตามลำดับ ในขณะที่ความหนาแน่นของทุกตัวอย่างในการทดลองนี้มีค่าไม่แตกต่างกัน คือมีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อตารางลูกบาศก์เดซิเมตร จากการทดลองนี้พบว่าเมื่อปริมาณการใช้ผงอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงอัดทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง สาเหตุ คือ ปริมาณผงอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีโอกาสในการทำปฏิกิริยากับน้ำที่อยู่ในตัวอย่างมากขึ้นทำให้เกิดฟองจำนวนมากอย่างรวดเร็ว เมื่อฟองอากาศที่เกิดขึ้นจำนวนมากจะรวมตัวกันทำให้เกิดช่องว่างอากาศขนาดใหญ่หรือรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ แตกต่างกับการใช้ปริมาณผงอลูมิเนียมที่น้อย การเกิดปฏิกิริยาจะค่อยทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเล็กและปฏิกิริยาที่เกิดแบบช้านี้ทำให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดสม่ำเสมอกัน จากผลการศึกษาพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของชาตรี สาวทรัพย์ (2550)Ungsongkun (2005) และ Phuythamajitt (2006) ที่พบว่ากำลังรับแรงอัดมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณอะลูมิเนียมเนื่องจากอะลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นจะลดความหนาแน่นลง และงานวิจัยของ Gunawan (2006) ที่กล่าวว่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จากการ

ทดลองสรุปได้ว่าปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา คือ ปริมาณผงอลูมิเนียมที่ร้อยละ 0.3 ต่อของแข็งทั้งหมดเนื่องด้วยให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุด



รูปที่ 4-5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-6 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนอลูมิเนียมต่อของแข็งทั้งหมดที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองในการหาอัตราส่วนต่อของแข็งทั้งหมด

ปริมาณผงอลูมิเนียม (ร้อยละ) (Al powder/Total (%))	กำลังรับแรงอัด (N/mm^2)		ความหนาแน่น (kg/dm^3)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.3	2.64	0.46	1.25	0.03
0.4	2.27	0.23	1.24	0.01
0.5	2.15	0.38	1.22	0.02

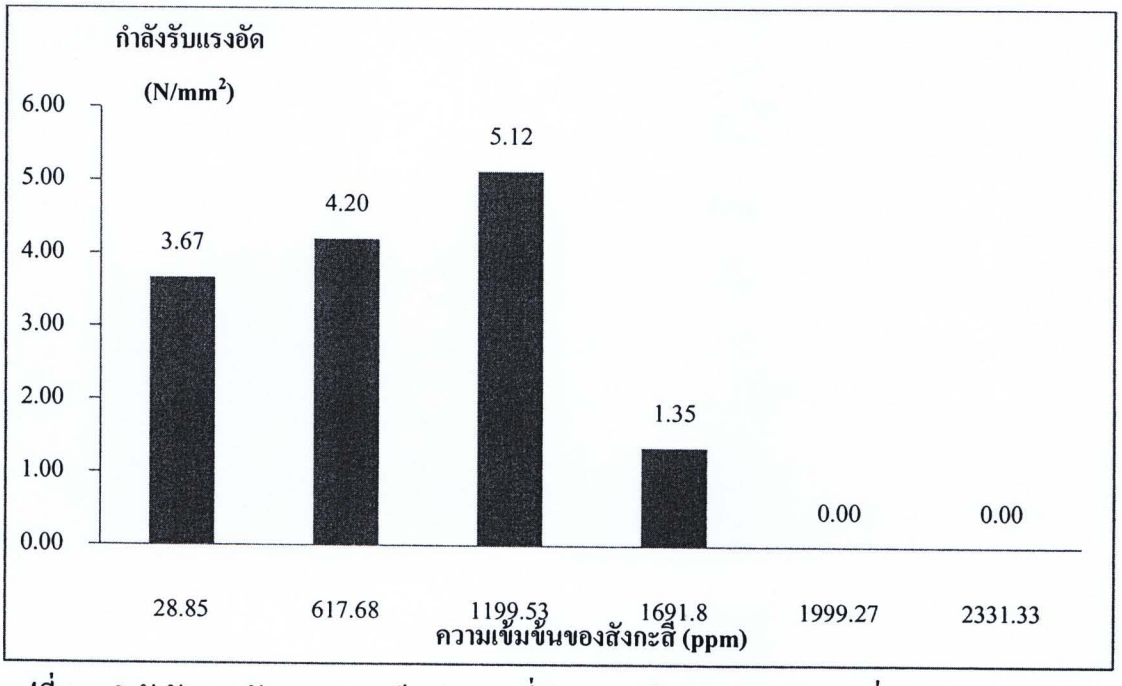
4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

หลังจากที่ได้ผลอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการอบไอน้ำที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาแล้วจะนำค่าที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีในการทดลองส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ และการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรม

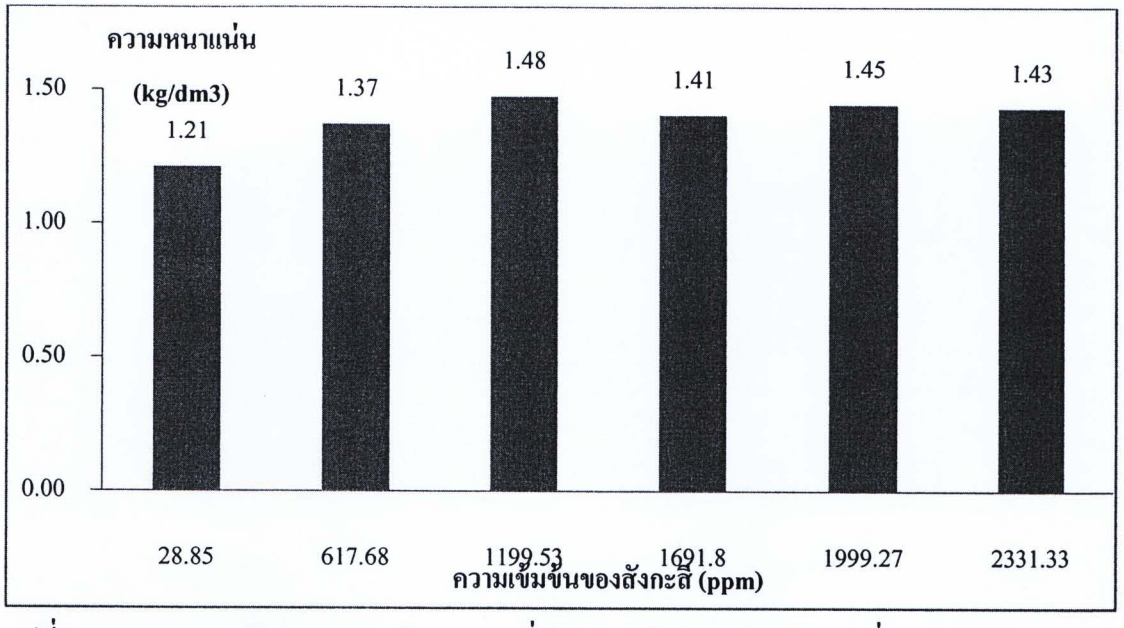
4.3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์โดยสารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ สังะสีซัลเฟต ($ZnSO_4$) ในการทดลองได้ทำการทดลองแบบ triplicate sample และ ผลการทดลองที่ได้นำแสดงในตารางที่ 4-5 ปริมาณสังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และความสามารถในการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้นในส่วนของกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความเข้มข้นที่ประมาณ 1199 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มเข้าไปจะดูดน้ำทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของอลูมิเนียมลดลงทำให้ก๊าซที่ได้จากปฏิกิริยาน้อยด้วยทำให้ความพรุนในเนื้อคอนกรีตลดลงเป็นผลให้กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณของ

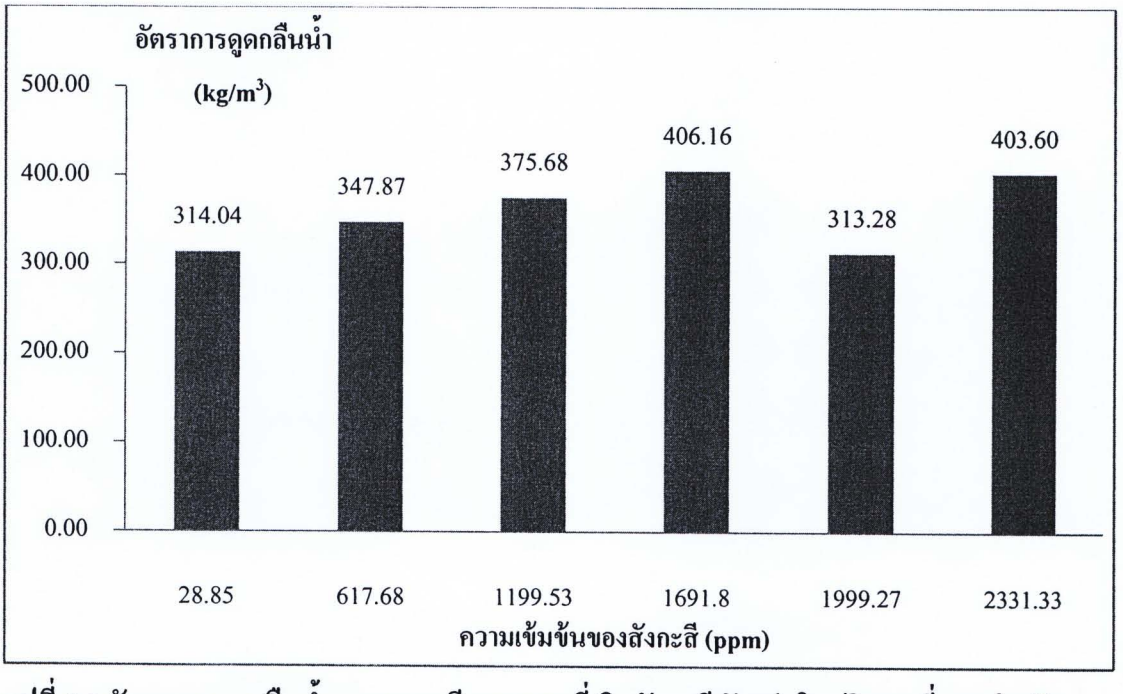
สังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงจนไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะจากความสามารถในการดูดความชื้นของสังกะสีซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมลดลงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มกำลังรับแรงอัดเกิดขึ้นได้น้อยเป็นผลให้กำลังรับแรงอัดที่ได้น้อยมากในสองตัวอย่างสุดท้าย ทั้งนี้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสามารถวัดค่าได้ถึงที่การเติมสารสังกะสีซัลเฟตได้ประมาณไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบผลการทดลองกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบามีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในค่ามาตรฐานกำหนดไว้ คือ ต้องมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 8-10 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนความหนาแน่นที่วัดได้มีค่ามากกว่าที่ค่ามาตฐานกำหนดไว้ คือ ต้องมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.81-1 กิโลกรัมต่อตารางเดซิเมตร ในขณะที่ค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าน้อยกว่าที่ค่ามาตรฐานกำหนดไว้ คือ ต้องมีค่าไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สาเหตุหนึ่งที่ค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เนื่องจากสารเคมี $ZnSO_4$เป็นสารที่มีความสามารถในการดูดความชื้น แต่ที่กำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยกว่าที่เกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดเนื่องจากสาร SO_4เป็นสารที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดโดยตรงนั้นเองดังนั้นในกากตะกอนที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบจะมีผลต่อการลดลงของกำลังแรงอัดของคอนกรีตมวลเบานั้นเอง



รูปที่ 4-7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-8 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-9 อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน

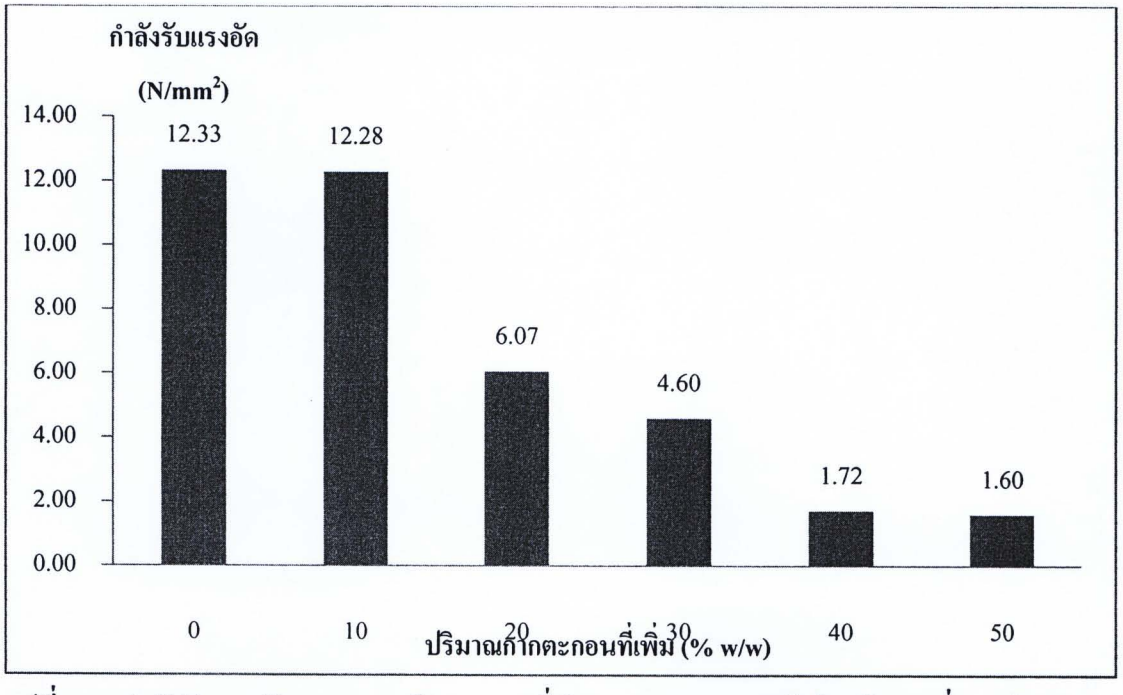
ตารางที่ 4-5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำหนักของ $ZnSO_4$ที่ทำการเติมลงไปในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา (กรัม)	ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อต่อตารางเดซิเมตร)		ความสามารถในการดูดกลืนน้ำ(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	28.85	0.79	3.67	0.53	1.21	0.1	314.04	6.52
5.51	617.68	11.52	4.2	0.22	1.37	0.02	347.87	16.07
11.07	1199.53	23.59	5.12	0.46	1.48	0.02	375.68	4.09
16.68	1791.80	16.74	1.35	0.19	1.41	0.01	406.16	1.84
22.34	1999.27	31.12	-	-	1.45	0.01	313.28	9.07
28.05	2331.33	69.4	-	-	1.43	0.03	403.60	5.61
มาตรฐานอุตสาหกรรม class 8	-	-	8-10	-	0.81-1	-	<500	-

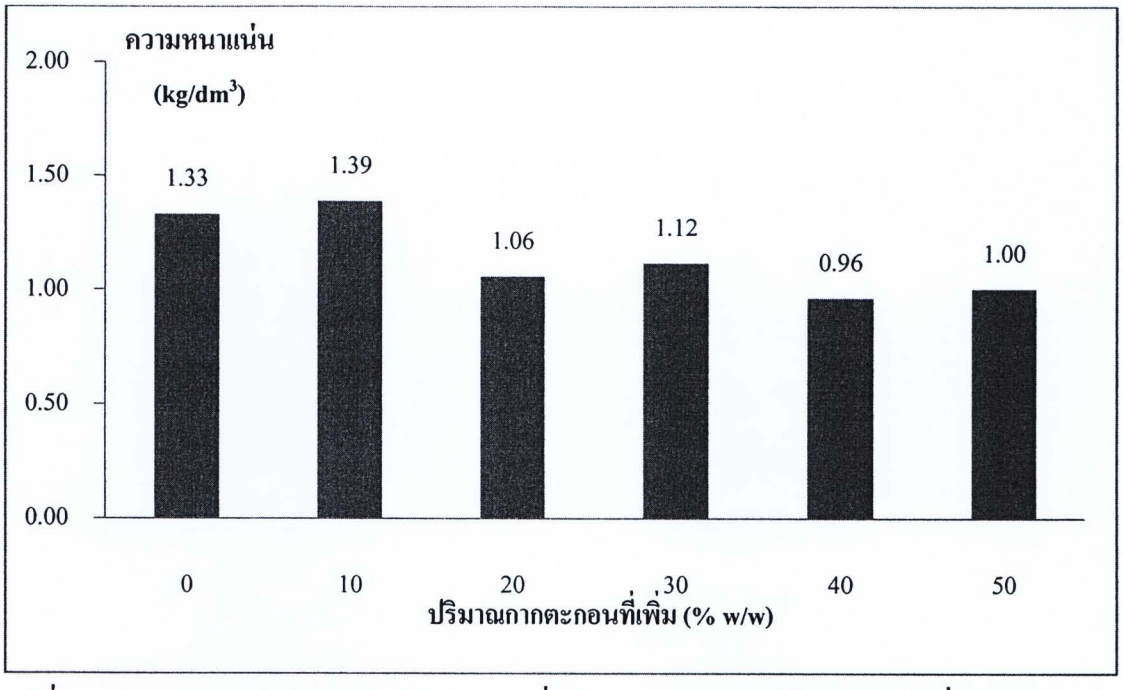
4.3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรม

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรมการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-6เมื่อพิจารณาที่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าเมื่อปริมาณของกากตะกอนเพิ่มมากขึ้น เนื้อคอนกรีตที่ผสมแล้วจะมีลักษระร่วนไม่เหลวเหมือนคอนกรีตที่ไม่ผสมกากของเสียจึงต้องมีการเติมน้ำเพื่อให้เนื้อคอนกรีตก่อนที่เทลงแบบมีความเหลวเท่าๆกัน และสีของคอนกรีตมวลเบาหลังจากการอบไอน้ำจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะลดลง ความหนาแน่นของตัวอย่างมีค่าลดลง เนื่องจากการที่เติมกากของเสียจะไปลดปริมาณปูนซีเมนต์ ปูนขาวและทรายทำให้สารตั้งต้นในปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง ทำให้เกิด$CaO.SiO_2$น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Panyakapo P., Panyakapo M. (2008) ที่เมื่อเพิ่มพลาสติกลงไปในส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาจะมีค่ารับแรงอัดน้อยลง และความสามารถในการดูดกลืนน้ำมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ทั้งนี้ปริมาณของกากตะกอนที่เติมลงไปในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้อยู่ในช่วงร้อยละ 10-20

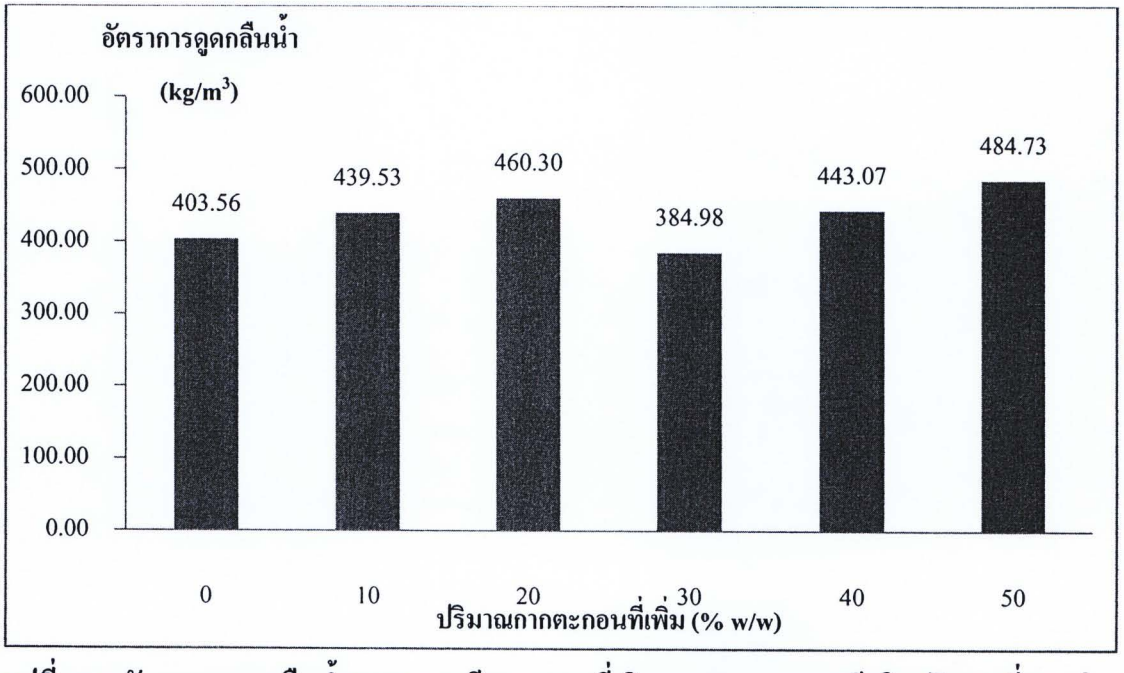
เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดเทียบกับผลการทดลองในข้อที่ 4.3.1 แสดงให้เห็นว่า กากตะกอนสังกะสีจากระบบบำบัดน้ำเสียนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างจากสารเคมี ทั้งนี้การใช้กากตะกอนในการบำบัดน้ำเสียในการผลิตอิฐมวลสามารถที่จะวัดค่ากำลังรับแรงอัดได้ถึงแม้จะมีการเติมลงไปมากถึง 50% และยังคงมีคุณสมบัติของการดูดความชื้นเช่นเดียวกับสารเคมีเนื่องจากค่าความสามารถในการดูดกลืนน้ำยังมีน้อยกว่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม



รูปที่ 4-10 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-11 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน



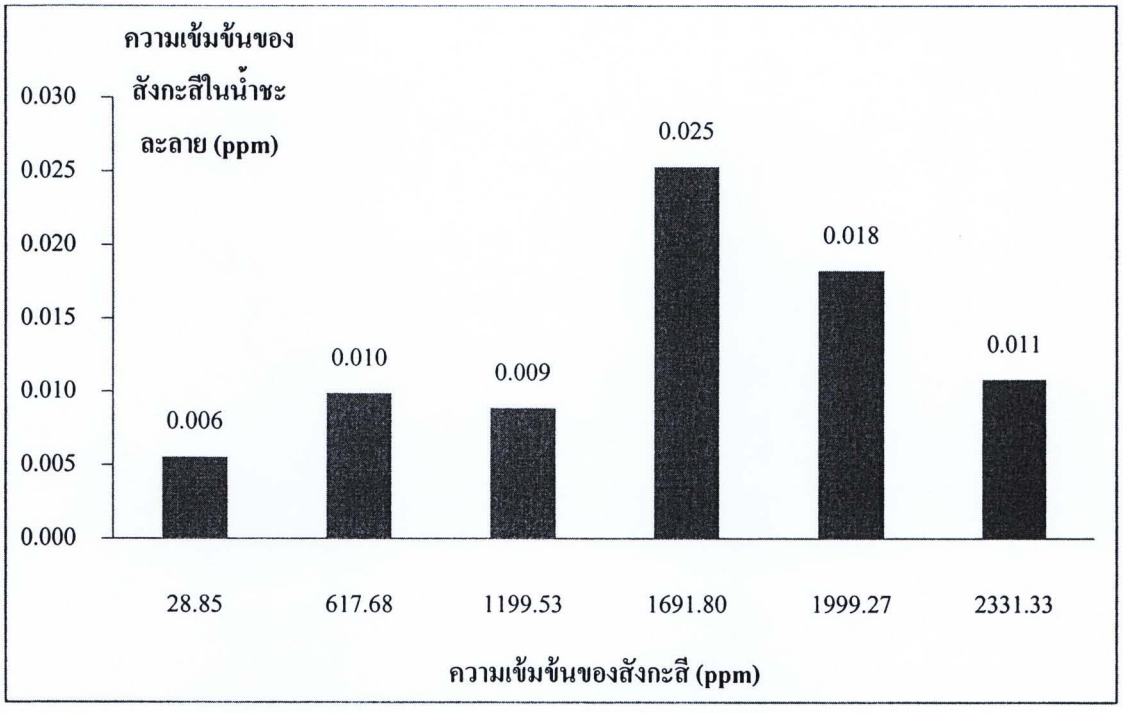
รูปที่ 4-12 อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-6 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

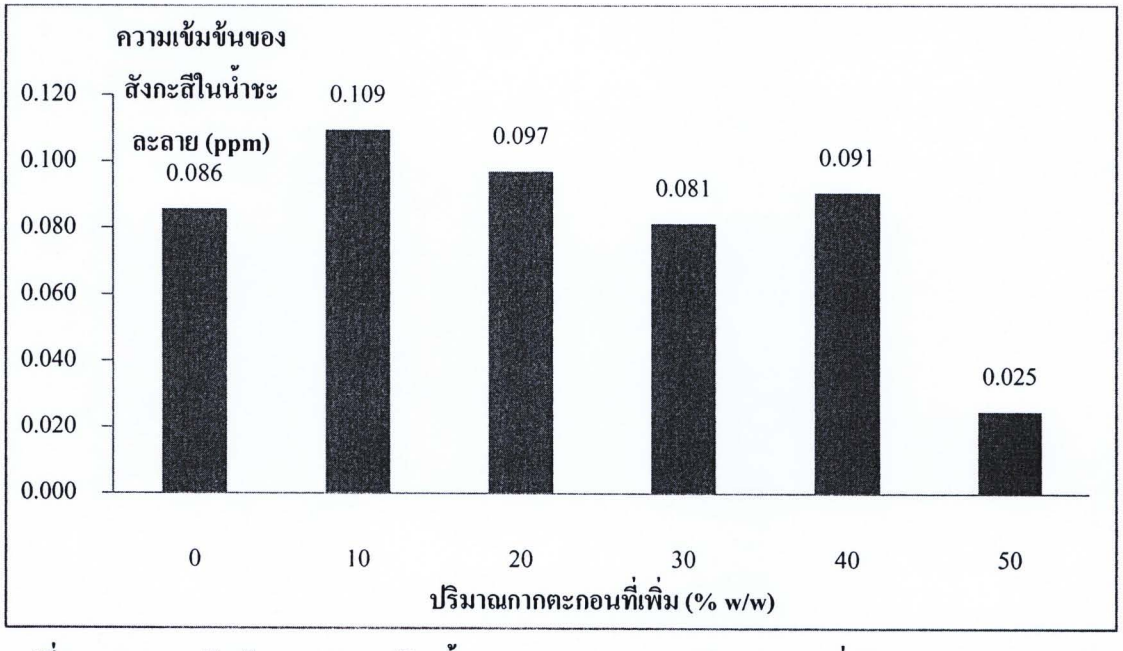
ร้อยละกากตะกอนที่ทำการเติมลงไปในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา	ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อต่อตารางเดซิเมตร)		ความสามารถในการดูดกลืนน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	153	17.98	12.33	0.37	1.33	0.02	404.56	6.82
10	1703	41.63	12.28	0.63	1.39	0.02	439.53	47.79
20	2597	15.27	6.07	0.78	1.06	0.01	460.3	27.34
30	3127	15.27	4.6	0.53	1.12	0.02	384.98	10.02
40	3255	20.82	1.72	0.18	0.96	0.02	443.07	3.93
50	3605	76.38	1.6	0	1	0.01	484.73	11.55
มาตรฐานอุตสาหกรรม class 8	-	-	8-10	-	0.81-1	-	<500	-

4.4 การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4-7 และผลการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี แสดงดังตารางที่ 4-8 พบว่าน้ำชะที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 แบบของตัวอย่างที่มีการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสีมีสีน้ำตาลปนอยู่ เมื่อตัวอย่างทั้งแบบสารเคมีและแบบเติมกากของเสียไปตรวจสอบปริมาณสังกะสีพบว่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ชะละลายออกมาได้จากทั้งกระบวนการ WET และ TCLP นั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสังกะสีที่มีอยู่ก้อนคอนกรีตมวลเบาเนื่องจากสังกะสีจะจับตัวได้ดีกับของแข็งและแทบจะไม่ละลายออกมาเลยในช่วงค่า pH 7-13 ซึ่งเป็นผลจากปูนซีเมนต์ที่มีค่าpH สูงอยู่แล้ว ในการชะละลายแบบ WET น้ำชะที่ได้มีฟองและจะข้นขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากของเสีย โดยค่าการชะละลายที่ได้นั้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมโรงงานอุสาหกรรม ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรดังนั้นการนำกากตะกอน



รูปที่ 4-13 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายจากของคอนกรีตมวลเบาที่เติมสังกะสีซัลเฟตในปริมาณที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4-14 ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลายของคอนกรีตมวลเบาที่เติมกากตะกอนของเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4-7การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวแทนกากตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		ปริมาณสังกะสีในน้ำชะแบบ TCLP (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
28.85	0.79	0.006	0.0007
617.68	11.52	0.010	0.0007
1199.53	23.59	0.009	0.0003
1791.8	116.74	0.025	0.001
1999.27	31.12	0.018	0.0005
2331.33	69.40	0.011	0.0004

ตารางที่ 4-8การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ร้อยละกากตะกอนที่ทำการเติมลงไปในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา	ปริมาณสังกะสีในก้อนตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์)		ปริมาณสังกะสีในน้ำชะแบบ TCLP (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ปริมาณสังกะสีในน้ำชะแบบ WET (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย
0	153	17.98	0.086	0.005	0.69
10	1703	41.63	0.109	0.05	8.88
20	2597	15.27	0.097	0.003	4.30
30	3127	15.27	0.081	0.004	5.11
40	3255	20.82	0.091	0.05	7.30
50	3605	76.38	0.025	0.01	0.34

4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองในข้อที่ 4.3.2 นำมาคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ เมื่อมีการนำกากของเสียมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ พบว่าต้นทุนการผลิตมีค่าลดลง และลดค่าใช้ในการกำจัดกากของเสียด้วยวิธีการฝังกลบได้

ตารางที่ 4-9การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่มีการใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนสังกะสี

ร้อยละกาก ตะกอน	ราคา (บาท)							
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายบด	ผงอลูมิเนียม	น้ำ	กากตะกอน	ไฟฟ้า	ราคาต่อ 1ลูกบาศก์เมตร
0	4182.76	586.95	823.23	0	0.77	0	1050	6643
10	3812.94	535.06	750.44	0	0.91	-77.97	1050	6071
20	2507.28	351.84	493.47	0	0.77	-115.36	1050	4288
30	2250.69	315.83	442.97	0	0.89	-177.52	1050	3883
40	1562.32	219.23	307.49	0	0.88	-191.68	1050	2948
50	1319.94	185.22	259.78	0	0.97	-242.92	1050	2573