บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาถึงยิบซัมชนิดที่ 4 ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยอะคริลาไมด์ โดยการทดลองในตอนที่ 1 ได้ศึกษาถึงปริมาณของกรดแอสคอบิกที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ของอะคริลาไมด์ เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของยิบซัมโดยแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุม 0.005M 0.013M 0.026M 0.052M และ O.105M โดยการศึกษาถึงผลต่อกำลังแรงอัด ระยะเวลาก่อตัว และ การขยายตัวขณะแข็งตัว เมื่อได้ปริมาณของกรดแอสคอบิกที่เหมาะสมแล้วนำมาทำการทดลองในตอนที่ 2 ซึ่งศึกษาถึงปริมาณของอะคริลาไมด์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของยิบซัมโดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม 1.5 2 2.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยศึกษาถึงผลต่อกำลังแรงอัด ระยะเวลาก่อตัว และ การขยายตัวขณะแข็งตัว

ตอนที่ 1 การศึกษาถึงปริมาณของแอสคอบิกที่แตกต่างกันที่มีผลต่อกำลังแรงอัดแรง ระยะเวลาก่อตัว และ การขยายตัวขณะแข็งตัวของยิบซัม

<u>การทดสอบค่ากำลังแรงอัด</u>

ผลการทดสอบค่ากำลังแรงอัดของชิ้นงานโดยใช้ปริมาณของกรดแอสคอบิกที่แตกต่างกัน คือ 0.005M 0.013M 0.026M 0.052M และ 0.105M โดยทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่เวลา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่ปริมาณของกรดแอสคอบิกที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 48 ชั่วโมง

กรดแอสคอบิก (Molar)	กำลังแรงอัด (MPa)		
	1 ชม.	24 ชม.	48 ชม.
กลุ่มควบคุม	21.54±1.60	34.73±1.82	39.19±0.95
0.005	22.83±1.14	26.69±1.14	33.81±1.80
0.013	21.83±1.36	36.94±1.61	39.87±1.67
0.026	25.11±0.93	38.58±0.97	40.61±1.09
0.052	21.64±1.52	31.02±1.74	36.98±1.47
0.105	22.09±1.70	30.23±2.42	36.94±0.78

นำข้อมูลดิบมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยการทดสอบแบบวันแซมเปิลโครโมโกรอฟสเมอนอฟ (One-sample Kolmogorov-Smirnov) พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (ภาคผนวกตาราง จ-ช) และทำการทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of variances) ด้วยการทดสอบแบบเลอวีน (Levene's test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน (ภาคผนวกตาราง ซ-ฌ) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยทั้ง 3 ช่วงเวลาคือ 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง พบว่า $p < 0.05$

แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงอัดของยิบซัมชนิดที่ 4 ที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และกลุ่มควบคุม ในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และกลุ่มควบคุม ที่แตกต่างกันที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ANOVA

compressive strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	46.005	5	9.201	4.695	.004
Within Groups	47.037	24	1.960		
Total	93.042	29			

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และกลุ่มควบคุม ที่แตกต่างกันที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ANOVA

compressive strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	505.642	5	101.128	35.656	.000
Within Groups	68.069	24	2.836		
Total	573.711	29			

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวที่ของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง

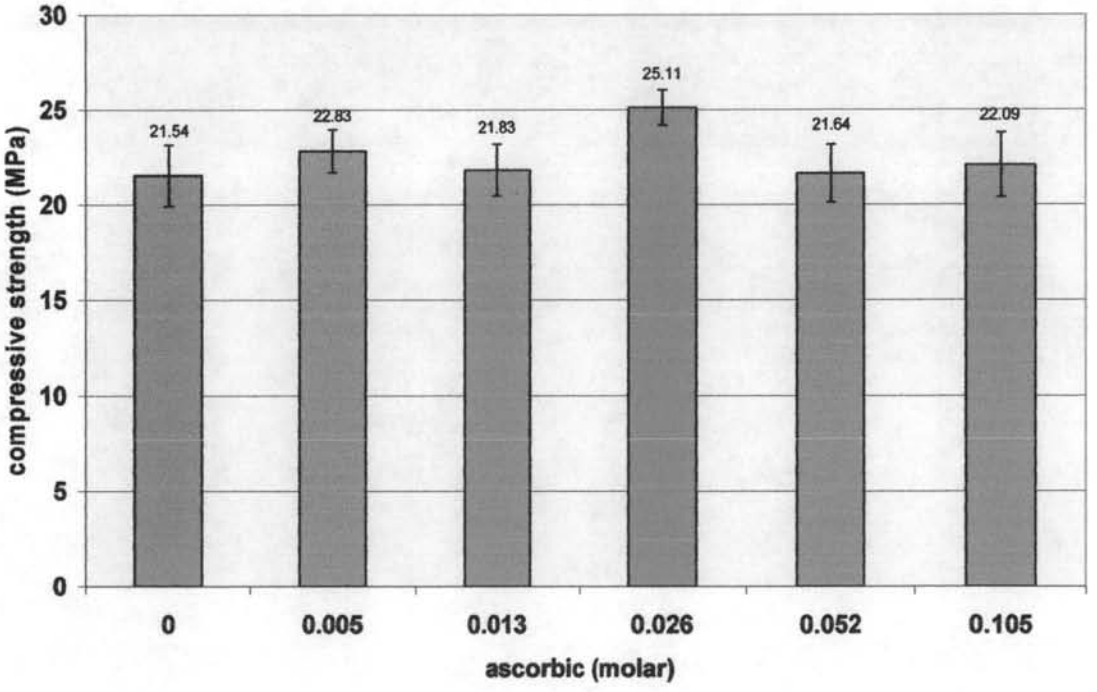
ANOVA

compressive strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	157.005	5	31.401	17.327	.000
Within Groups	43.494	24	1.812		
Total	200.499	29			

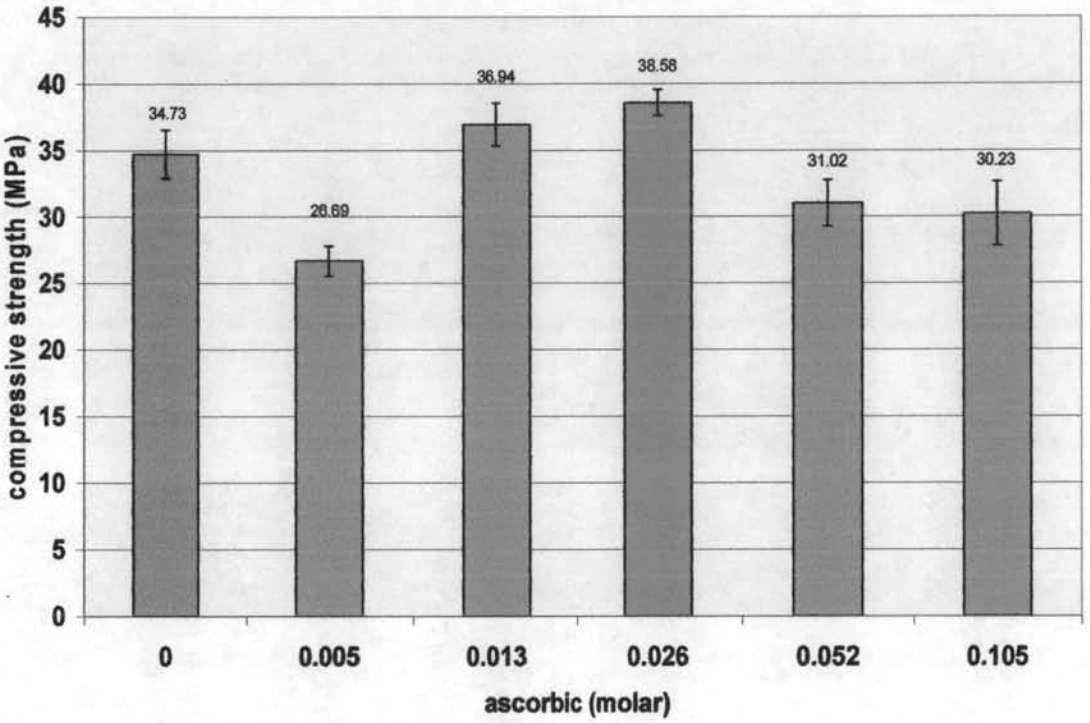
จากนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อหาประชากรที่มีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน (multiple comparisons) เพื่อวิเคราะห์ว่าข้อมูลกลุ่มใดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยทำการทดสอบด้วยวิธีของ บอนเฟอโรนี (Bonferroni method) (ภาคผนวกตาราง ฎ-ฐ) โดยแยกผลการวิเคราะห์ออกเป็นแต่ละช่วงระยะเวลาดังนี้

ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่า กลุ่มควบคุมมีค่ากำลังแรงอัดเท่ากับ 21.54±1.60 เมกะปาสคาล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังแรงอัดของกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.005M (22.83±1.14 เมกะปาสคาล) 0.013M (21.83±1.36 เมกะปาสคาล) 0.026M (25.11±0.93 เมกะปาสคาล) 0.052M (21.64±1.52 เมกะปาสคาล) และ 0.105M (22.09±1.70 เมกะปาสคาล) จะเห็นได้ว่าทุกกลุ่มมีค่ากำลังแรงอัดมากกว่ากลุ่มควบคุม แต่เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่ามีเพียงกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.026M (25.11±0.93 เมกะปาสคาล) ที่มีค่ากำลังแรงอัดที่มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95



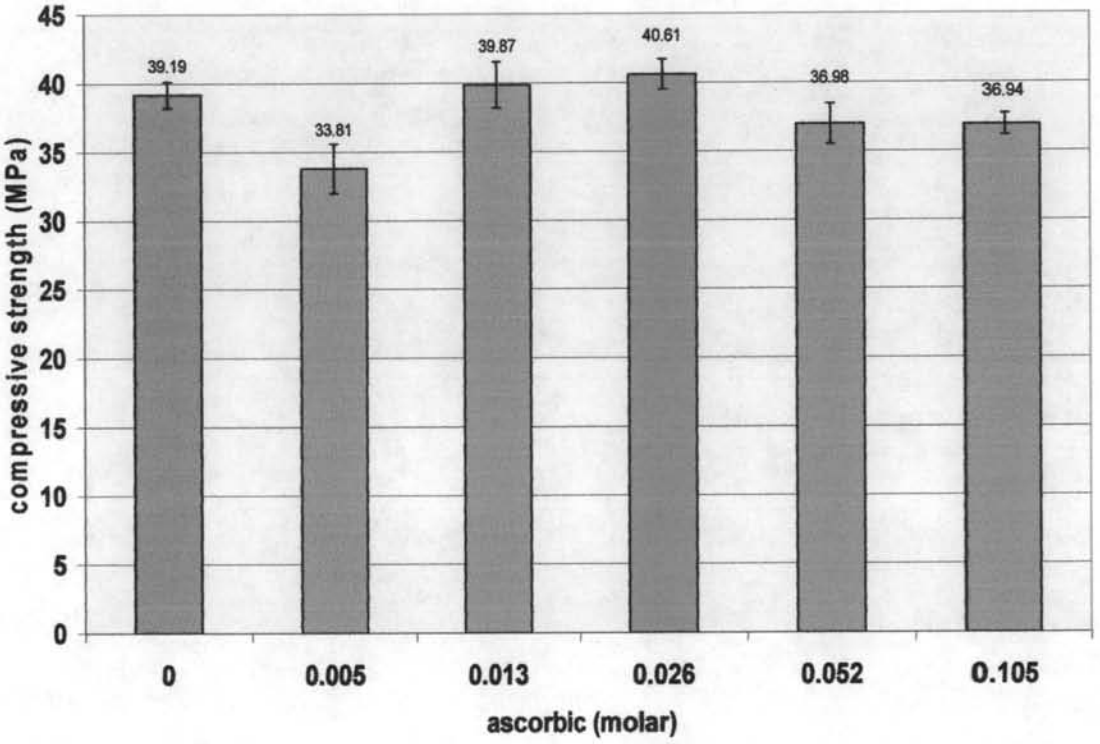
ภาพที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.013M และ 0.026M มีค่ากำลังแรงอัด เท่ากับ 36.94±1.61 เมกะปาสคาล และ 38.58±0.97 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ากำลังแรงอัดในกลุ่มควบคุม (34.73±1.82 เมกะปาสคาล) แต่ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.005M (26.69±1.14 เมกะปาสคาล) 0.052M (31.02±1.74 เมกะปาสคาล) และ 0.105M (30.23±2.42 เมกะปาสคาล) มีค่ากำลังแรงอัดน้อยกว่ากลุ่มควบคุม และ เมื่อทำการทดสอบทางสถิติพบว่ามีเพียงกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.026M มีค่ากำลังแรงอัดมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95



ภาพที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.005M 0.052M และ 0.105M มีค่ากำลังแรงอัดเท่ากับ 33.81 ± 1.80 เมกะปาสคาล 36.98 ± 1.47 เมกะปาสคาล และ 36.94 ± 0.78 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังแรงอัดของกลุ่มควบคุมที่มีค่ากำลังแรงอัดเท่ากับ 39.19 ± 0.95 เมกะปาสคาล แต่กลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.013 และ 0.026M มีค่ากำลังแรงอัดเท่ากับ 39.87± 1.67 เมกะปาสคาล และ 40.61 ± 1.09 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่ากำลังแรงอัดของกลุ่มควบคุม แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วพบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95



ภาพที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่ต่าง ๆ กัน และกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง

การทดสอบระยะเวลาก่อตัว

จากการทดสอบระยะเวลาก่อตัว โดยใช้ปริมาณของกรดแอสคอบิกที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการทดสอบค่ากำลังแรงอัด คือ 0.005 M 0.013M 0.026M 0.052M และ 0.105M โดยทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงระยะเวลาที่ก่อตัวแล้วของชิ้นงานยิบซัม ในกลุ่มที่ใส่ปริมาณของกรดแอสคอบิกที่แตกต่างกัน และกลุ่มควบคุม

Ascorbic (Molar)	Setting time								
	10.45	11.10	11.15	11.30	11.45	12.00	12.15	12.30	12.45
กลุ่มควบคุม							1 (20%)	4 (80%)	
0.005	1 (20%)	4 (80%)							
0.013		3 (60%)	1 (20%)		1 (20%)				
0.026				1 (20%)	3 (60%)	1 (20%)			
0.052							3 (60%)	2 (40%)	
0.105							1 (20%)	3 (60%)	1 (20%)

เนื่องจากการทดสอบทำทุกๆ 15 วินาที เพื่อดูว่าเมื่อถึงระยะเวลานั้นๆ ชิ้นงานได้ถึงระยะเวลาก่อตัวแล้ว ซึ่งค่าที่ได้ไม่ใช่ระยะเวลาก่อตัวที่แท้จริง จึงไม่สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ ดังนั้นในการทดสอบค่าทางสถิติจึงทำการทดสอบว่าปริมาณของกรดแอสคอบิกที่ใช้กับระยะเวลาก่อตัวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่โดยทำการทดสอบสถิติไคสแควร์ (Chi-square) ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์สถิติไคสแควร์ (Chi-square) ด้วยวิธี มอนติคาร์โล (Monte Carlo) ระหว่างระยะเวลาก่อตัว และปริมาณกรดแอสคอบิกที่แตกต่างกัน

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Monte Carlo Sig. (2-sided)		
				Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Pearson Chi-Square	68.962[a]	40	.003	.000[b]	.000	.095
Likelihood Ratio	64.848	40	.008	.000[b]	.000	.095
Fisher's Exact Test	55.515			.000[b]	.000	.095
N of Valid Cases	30					

a. 54 cells (100.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .17.

b. Based on 30 sampled tables with starting seed 1314643744.

จากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าค่า p < 0.05 แสดงว่าปริมาณของกรดแอสคอบิกที่ต่างกันกับระยะเวลาก่อตัวมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแต่ละกลุ่มเทียบกับกลุ่มควบคุมโดยทำการทดสอบสถิติไคสแควร์ (Chi-square) จะพบว่ากลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.005M 0.013M และ 0.026M มีระยะเวลาก่อตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (ภาคผนวกตาราง ฑ-บ)

การทดสอบการขยายตัวขณะแข็งตัว

ผลการทดสอบการขยายตัวขณะแข็งตัว โดยใช้ปริมาณของกรดแอสคอบิกที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการทดสอบค่ากำลังแรงอัด และการทดสอบระยะเวลาก่อตัว คือ 0.005 M 0.013M 0.026M 0.052M และ 0.105M โดยทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวในกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิกปริมาณที่แตกต่างกัน

กรดแอสคอบิก (Molar)	การขยายตัวขณะแข็งตัว (%)
กลุ่มควบคุม	0.127
0.005	0.091±0.014
0.013	0.076
0.026	0.076
0.052	0.076
0.105	0.094±0.011

จากนั้นนำข้อมูลดิบที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่ามี 4 กลุ่มด้วยกันที่ไม่มีค่าความแปรปรวน เพราะฉะนั้นแสดงว่าเป็นค่าคงที่ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) คือ กลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.127% และ กลุ่ม 0.013M 0.026M และ 0.052M มีค่าเท่ากับ 0.076% ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณค่าสถิติโดยตรงได้ จึงทำการเทียบกลุ่ม 0.005M (0.091±0.014%) และ กลุ่ม 0.105M (0.094±0.011%) ด้วยวิธีอินดีเพนเด้นแซมเปิลทีเทส

(Independent – Samples T test) เพื่อทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของ ทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันหรือไม่ (วรชัย เขาวปาณี, 2545: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธีอินดีเพนเด้นแซมเปิลที เทสต์ (Independent – Samples T test) ระหว่างกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.005M และ 0.105M

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
setting expansion	Equal variances assumed	1.487	.257	-.330	8	.750
	Equal variances not assumed			-.330	7.678	.751

จากการคำนวณทางสถิติพบว่า $p > 0.05$ แสดงว่ากลุ่ม 0.005M และ กลุ่ม 0.105M มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ทำการทดสอบค่าทางสถิติระหว่างกลุ่ม 0.005M กับค่าคงที่ของกลุ่มควบคุม (0.127%) และ กลุ่ม 0.013M 0.026M และ 0.052M (0.76%) ด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) (วรชัย เขาวปาณี, 2545: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) พบว่ากลุ่ม 0.005M มีค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่ม 0.013M 0.026M และ 0.052M และทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับกลุ่ม 0.105M ดังวิธีการทดสอบข้างต้น พบว่ากลุ่ม 0.105M มีค่าการขยายตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าการขยายตัวมากกว่ากลุ่ม 0.013M 0.026M และ 0.052M อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 9 – 12

ตารางที่ 9 แสดงการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) ระหว่างกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.005M (0.091±0.014%) กับค่าคงที่ของกลุ่มควบคุม (0.127%)

One-Sample Test

	Test Value = 0.127					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
setting expansion	-5.879	4	.004	-.036000	-.05300	-.01900

ตารางที่ 10 แสดงการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) ระหว่างกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.005M (0.091±0.014%) ค่าคงที่ของ กลุ่ม 0.013M 0.026M และ 0.052M (0.76%)

One-Sample Test

	Test Value = 0.076					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
setting expansion	2.449	4	.070	.015000	-.00200	.03200

ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) ระหว่างกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.105M (0.094±0.011%) กับค่าคงที่ของกลุ่มควบคุม (0.127%)

One-Sample Test

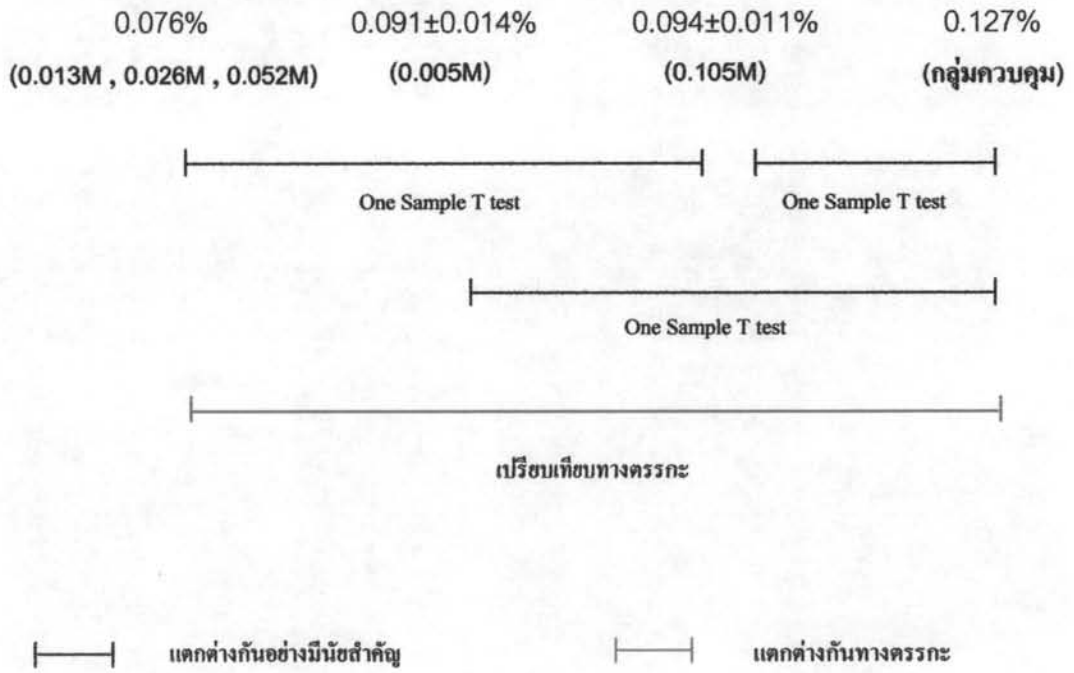
	Test Value = 0.127					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
setting expansion	-6.712	4	.003	-.033400	-.04722	-.01958

ตารางที่ 12 แสดงการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) ระหว่างกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.105M (0.094±0.011%) ค่าคงที่ของ กลุ่ม 0.013M 0.026M และ 0.052M (0.76%)

One-Sample Test

	Test Value = 0.076					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
setting expansion	3.537	4	.024	.017600	.00378	.03142

เนื่องจากไม่สามารถเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.013M 0.026M และ 0.052M ได้แต่เมื่อเปรียบเทียบโดยทางตรรกะแล้ว กลุ่มควบคุมก็น่าจะมีความแตกต่างกันกับกลุ่ม 0.013M 0.026M และ 0.052M ดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวระหว่างกลุ่มที่ใส่ปริมาณกรดแอสคอบิกที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองในตอนที่ 1 เพื่อหาปริมาณกรดแอสคอบิกที่เหมาะสมในการเริ่มต้นการเกิดปฏิกิริยาของอะคริลาไมด์ พบว่ากลุ่มการทดลองที่ใช้กรดแอสคอบิก 0.026M มีกำลังแรงอัดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มทั้งช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง โดยกลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.026M ทำให้ค่ากำลังแรงอัด มากกว่ากลุ่มควบคุมที่ช่วงเวลา 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจากผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวพบว่ากลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.026M ใช้ระยะเวลาก่อตัวสั้นกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้จากผลการทดสอบการขยายตัวขณะแข็งตัวเมื่อเปรียบเทียบโดยทางตรรกะแล้วก็พบว่ากลุ่มที่ใส่กรดแอสคอบิก 0.026M มีค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ดังนั้นจากการทดลองตอนที่ 1 สรุปว่าปริมาณกรดแอสคอบิกที่เหมาะสมคือ 0.026M จึงนำค่าของปริมาณกรดแอสคอบิกที่ได้มาใช้ในการทดลองตอนที่ 2 เพื่อหาปริมาณอะคริลาไมด์ที่เหมาะสมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของยิบซัมต่อไป

ตอนที่ 2 การศึกษาถึงปริมาณของอะคริลาไมด์ที่แตกต่างกันที่มีผลต่อกำลังแรงอัด ระยะเวลาก่อตัว และการขยายตัวขณะแข็งตัวของยิบซัม

<u>การทดสอบกำลังแรงอัด</u>

จากการทดสอบค่ากำลังแรงอัดของชิ้นงานโดยใช้ปริมาณของอะคริลาไมด์ที่แตกต่างกัน คือ 1.5% 2% 2.5% และ 3% โดยทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่เวลา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่ของอะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกัน และกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง 48 ชั่วโมง

อะคริลาไมด์ (%)	กำลังแรงอัด (MPa)		
	1 ชม.	24 ชม.	48 ชม.
กลุ่มควบคุม	21.54±1.60	34.73±1.82	39.19±0.95
1.5	28.25±0.90	40.57±0.68	43.80±1.03
2	30.91±1.20	44.40±1.37	45.81±0.89
2.5	25.11±0.93	38.58±0.97	40.61±1.09
3	25.92±1.11	38.14±0.97	39.36±1.54

จากนั้นนำข้อมูลดิบมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยการทดสอบแบบวันแซมเปิลโครโมโกรอฟสเมอนอฟ (One-sample Kolmogorov-Smirnov) พบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ (ภาคผนวกตาราง ป-ฝ) และทำการทดสอบความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of variances) ด้วยการทดสอบแบบเลอวีน (Levene's test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน (ภาคผนวกตาราง พ-ภ) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยทั้ง 3 ช่วงเวลาคือ 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง พบว่า $p < 0.05$ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่ากำลังแรงอัดของยิบซัมชนิดที่ 4 ที่ใส่ปริมาณของอะคริลาไมด์ที่ต่าง ๆ กันและกลุ่มควบคุมในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ดังตารางที่ 14-16

ตารางที่ 14 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ANOVA

compressive strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	246.690	4	61.673	44.722	.000
Within Groups	27.581	20	1.379		
Total	274.271	24			

ตารางที่ 15 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ANOVA

compressive strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	170.993	4	42.748	33.882	.000
Within Groups	25.234	20	1.262		
Total	196.227	24			

ตารางที่ 16 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง

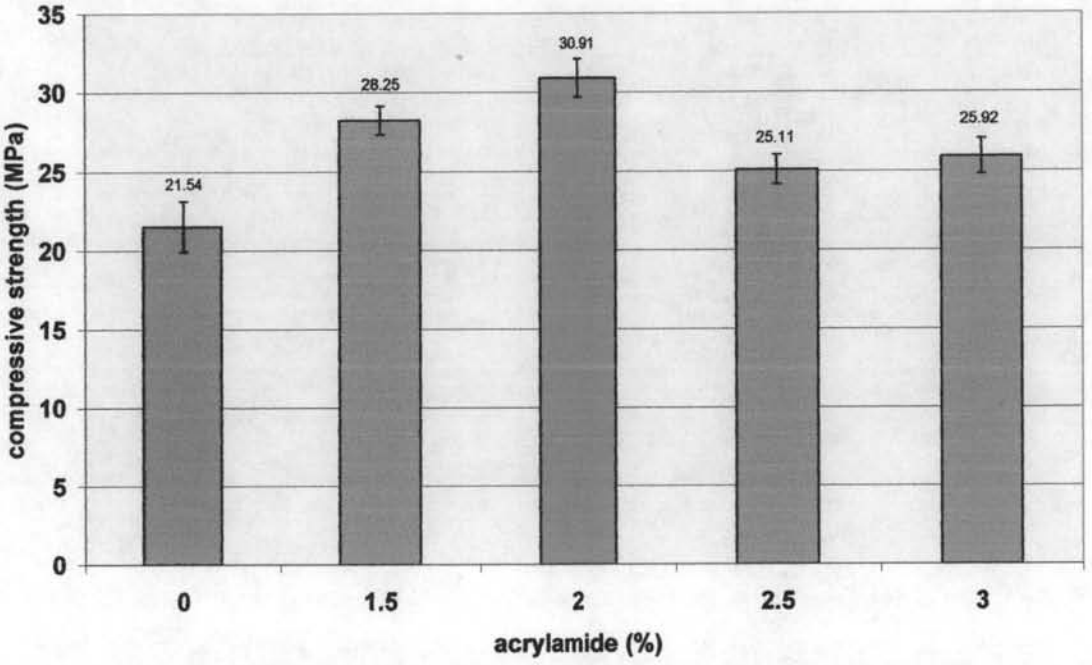
ANOVA

compressive strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	251.762	4	62.940	41.772	.000
Within Groups	30.135	20	1.507		
Total	281.897	24			

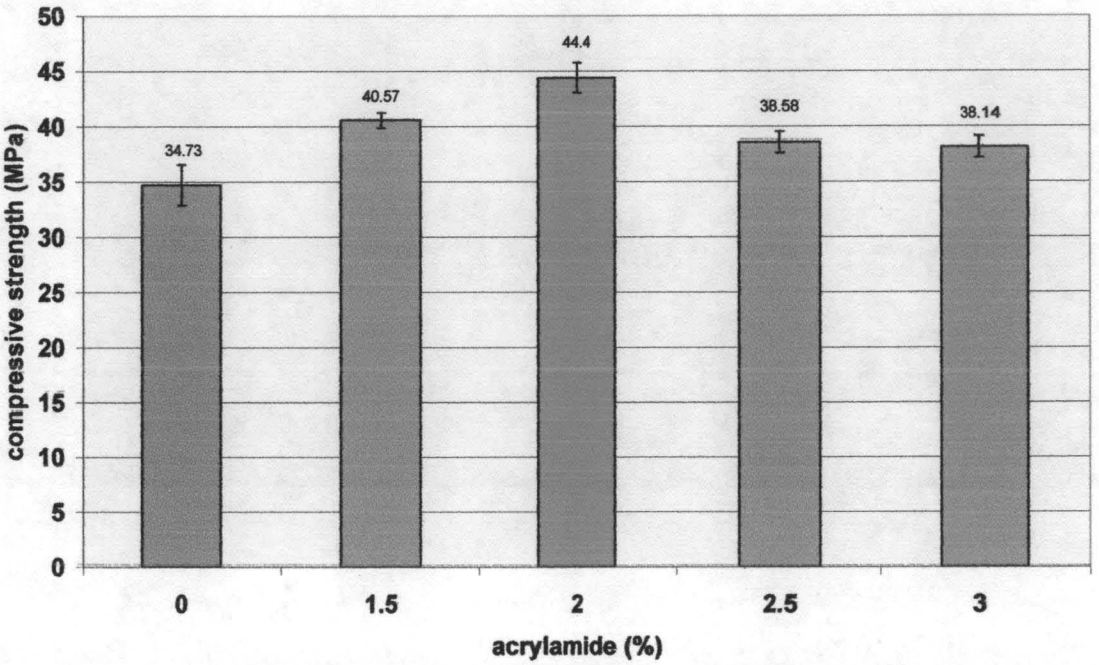
จากนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อหาประชากรที่มีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน (multiple comparisons) เพื่อวิเคราะห์ว่าข้อมูลกลุ่มใดแตกต่างกันอย่ามีนัยสำคัญ โดยทำการทดสอบด้วยวิธีบอนเฟอโรนี (Bonferroni method) (ภาคผนวกตาราง ม-ร) โดยแยกผลการวิเคราะห์ออกเป็นแต่ละช่วงระยะเวลาดังนี้

ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่า ทุกกลุ่มการทดลองจะให้ค่ากำลังแรงอัดมากกว่ากลุ่มควบคุมโดยกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 2.0% จะให้ค่าความทนทานแรดอัดสูงที่สุดคือ 30.91 ± 1.20 เมกะปาสคาล ซึ่งมากกว่ากลุ่มควบคุม (21.54 ± 1.76 เมกะปาสคาล) และกลุ่มการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ



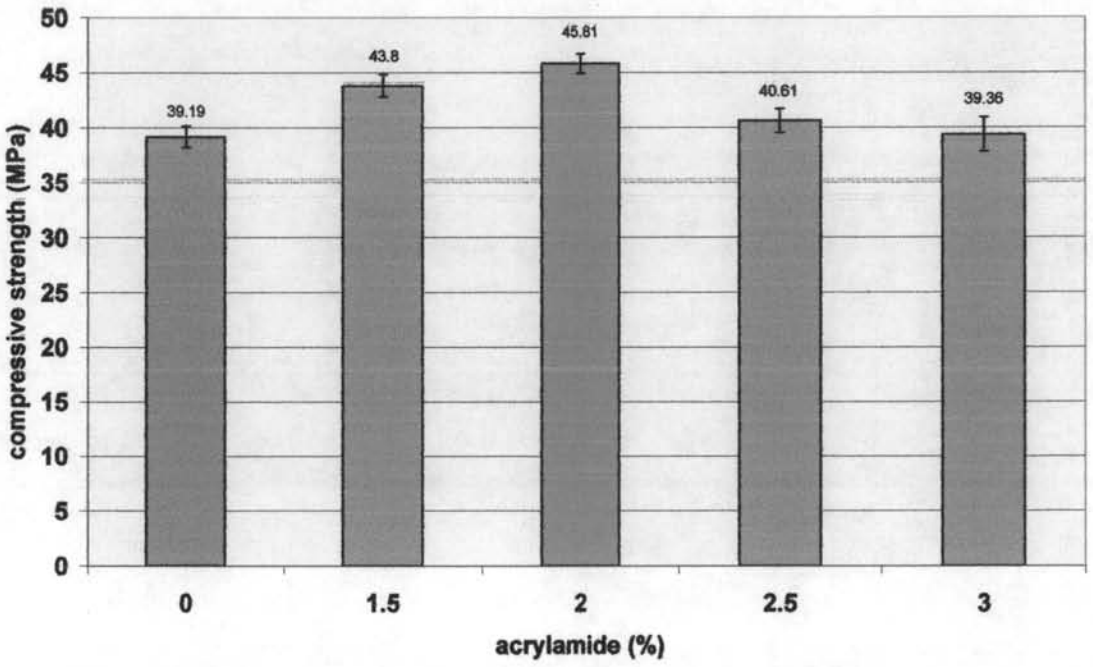
ภาพที่ 22 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จะพบว่าทุกกลุ่มการทดลองจะให้ค่ากำลังแรงอัดมากกว่ากลุ่มควบคุม เช่นเดียวกับที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 2.0% จะให้ค่ากำลังแรงอัดสูงที่สุดคือ 44.40 ± 1.37 เมกะปาสคาล ซึ่งมากกว่ากลุ่มควบคุม (34.73 ± 1.82 เมกะปาสคาล) และกลุ่มการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 23 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 1.5% และ 2.0% จะให้ค่ากำลังแรงอัดเท่ากับ 43.80 ± 1.03 เมกะปาสคาล และ 45.81 ± 0.89 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (39.19 ± 0.95 เมกะปาสคาล) จะพบว่ากลุ่ม 1.5% และ 2.0% ให้ค่ากำลังแรงอัดที่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่ม 2.0% จะให้ค่าที่สูงที่สุด



ภาพที่ 24 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังแรงอัด ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม ที่ระยะเวลา 48 ชั่วโมง

การทดสอบระยะเวลาก่อตัว

จากการทดสอบระยะเวลาก่อตัว โดยใช้ปริมาณอะคริลาไมด์ ที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการทดสอบค่าความทนทานแรงอัด คือ 1.5% 2.0% 2.5% และ 3% โดยทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แสดงระยะเวลาที่ก่อตัวแล้วของชิ้นงานยิบซัม ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ปริมาณที่แตกต่างกันและกลุ่มควบคุม

Acrylamide (%)	Setting time								
	10.30	10.45	11.30	11.45	12.00	12.15	12.30	16.15	16.30
กลุ่มควบคุม						1 (20%)	4 (80%)		
1.5	2 (40%)	3 (60%)							
2.0				1 (20%)	4 (80%)				
2.5			1 (20%)	3 (60%)	1 (20%)				
3.0								2 (40%)	3 (60%)

จากนั้นทำการทดสอบความสัมพันธ์ของปริมาณอะคริลาไมด์ที่แตกต่างกันกับระยะเวลาก่อตัว โดยทำการทดสอบสถิติไคสแควร์ (Chi – square) ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงการวิเคราะห์สถิติไคสแควร์ (Chi-square) ด้วยวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo) ระหว่างระยะเวลาก่อตัว และปริมาณอะคริลาไมด์ที่แตกต่างกัน

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Monte Carlo Sig. (2-sided)		
				Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Pearson Chi-Square	84.500[a]	32	.000	.000[b]	.000	.113
Likelihood Ratio	70.969	32	.000	.000[b]	.000	.113
Fisher's Exact Test	48.720			.000[b]	.000	.113
Linear-by-Linear Association	5.094[c]	1	.024	.040[b]	.000	.117
N of Valid Cases	25					

a. 45 cells (100.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .20.

b. Based on 25 sampled tables with starting seed 957002199.

c. The standardized statistic is 2.257.

จากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าค่า p < 0.05 แสดงว่าปริมาณอะคริลาไมด์ที่ต่างกันกับระยะเวลาก่อตัวมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแต่ละกลุ่มเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยทำการทดสอบด้วยสถิติไคสแควร์ (Chi – square) จะพบว่ากลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 1.5% 2.0% และ 2.5% มีระยะเวลาก่อตัวสั้นกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 3.0% จะใช้ระยะเวลาก่อตัวมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ภาคผนวกตาราง ล-อ)

การทดสอบการขยายตัวขณะแข็งตัว

จากการทดสอบการขยายตัวขณะแข็งตัวโดยใช้ปริมาณของอะคริลาไมด์ที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการทดสอบค่ากำลังแรงอัด และการทดสอบระยะเวลาก่อตัว คือ 1.5% 2.0% 2.5% และ 3% โดยทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวของชิ้นงานที่ใช้ปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน

อะคริลาไมด์ (%)	การขยายตัวขณะแข็งตัว (%)
กลุ่มควบคุม	0.127
1.5	0.076
2.0	0.076
2.5	0.076
3.0	0.071±0.112

จากนั้นนำข้อมูลดิบที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่ามี 3 กลุ่มด้วยกันที่ไม่มีค่าความแปรปรวน เพราะฉะนั้นแสดงว่าเป็นค่าคงที่ คือ กลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.127% และ กลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 1.5% 2.0% และ 2.5% มีค่าเท่ากับ 0.076% ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณค่าสถิติโดยตรงได้ จึงทำการทดสอบค่าทางสถิติระหว่างกลุ่มกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 3.0% กับค่าคงที่ของกลุ่มควบคุม (0.127%) และ กลุ่ม 1.5% 2.0% และ 2.5% (0.76%) ด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) (วรชัย เขาวปาณี, 2545: กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546) พบว่ากลุ่ม 3.0% มีค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่ม 1.5% 2.0% และ 2.5% อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 20-21) และเมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ของ

กลุ่ม 1.5% 2.0% และ 2.5% (0.76%) ก็น่าจะมีค่าการขยายตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 25

ตารางที่ 20 แสดงการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) ระหว่างกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 3.0% (0.071 ± 0.112%) กับค่าคงที่ของกลุ่มควบคุม (0.127%)

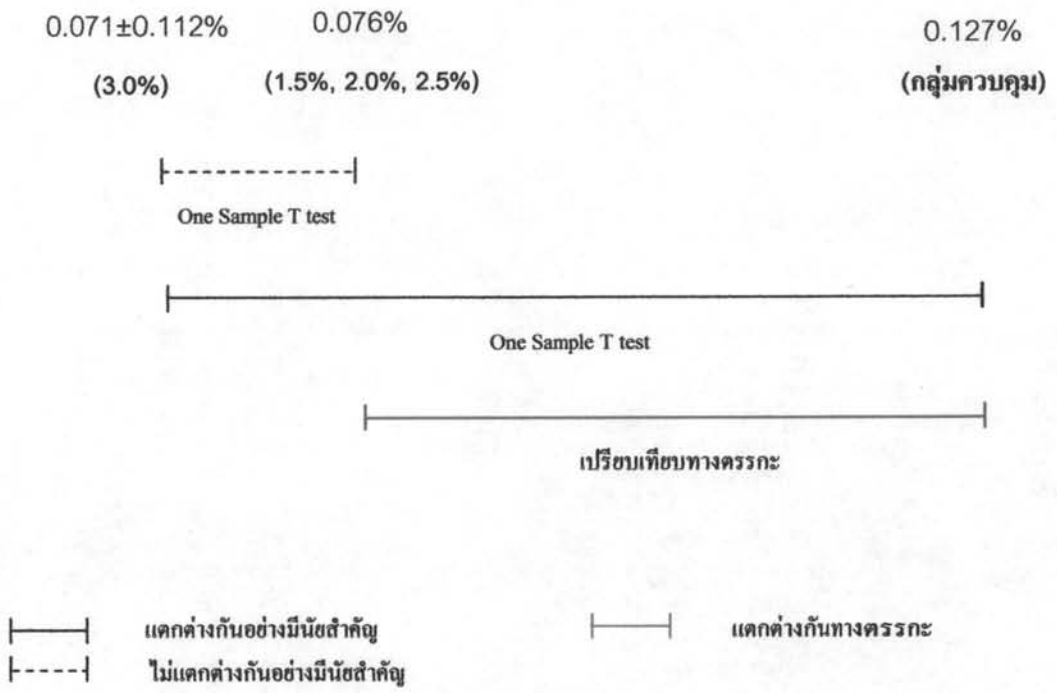
One-Sample Test

	Test Value = 0.127					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
setting expansion	-11.200	4	.000	-.056000	-.06988	-.04212

ตารางที่ 21 แสดงการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธีวันแซมเปิลทีเทส (One Sample T test) ระหว่างกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 3.0% (0.071 ± 0.112%) กับค่าคงที่ของกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 1.5% 2.0% และ 2.5% (0.76%)

One-Sample Test

	Test Value = 0.076					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
setting expansion	-1.000	4	.374	-.005000	-.01888	.00888



ภาพที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวระหว่างกลุ่มที่ใส่ปริมาณอะคริลาไมด์ ที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองในตอนที่ 2 เพื่อหาปริมาณอะคริลาไมด์ที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับยิบซัมชนิดที่ 4 จะเห็นได้ว่ากลุ่มการทดลองที่ใส่อะคริลาไมด์ 2.0% จะมีกำลังแรงอัดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มทั้งช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง โดยกลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 2.0% จะทำให้ค่ากำลังแรงอัดมากกว่ากลุ่มควบคุมที่ช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจากผลการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวพบว่ากลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 2.0% ใช้ระยะเวลาก่อตัวสั้นกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้จากผลการทดสอบการขยายตัวขณะแข็งตัวเมื่อเปรียบเทียบทางตรรกะแล้วก็พบว่ากลุ่มที่ใส่อะคริลาไมด์ 2.0% มีค่าการขยายตัวขณะแข็งตัวน้อยกว่ากลุ่มควบคุม ดังนั้นจากการทดลองตอนที่ 2 สรุปได้ว่าในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับยิบซัมชนิดที่ 4 ปริมาณอะคริลาไมด์ที่เหมาะสมที่สุดคือ 2.0%