บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการทำวิจัย

4.1.1 ผลการทดสอบวัตถุดิบอื่น(ที่ไม่ใช่ฝุ่นทรายแบบ)

ตาราง 4.1 แสดง Component of Additives in Sand Mixing

Additives	kg	%	Particle size	Remark
1.Bentonite	7	0.54	-	*รูปที่ 4.1*
2.Seacoal	0	0.00	146.34 AFS	*รูปที่ 4.2*
3.Return Sand	1300	100.00	60.56 AFS	*รูปที่ 4.3*
4.New Sand	13	1.00	57.08 AFS	*รูปที่ 4.4*
5.Dust	1	0.08	199.7 AFS	*รูปที่ 4.5*
6.Water	20	1.54		
	(Depend on Compactability)			

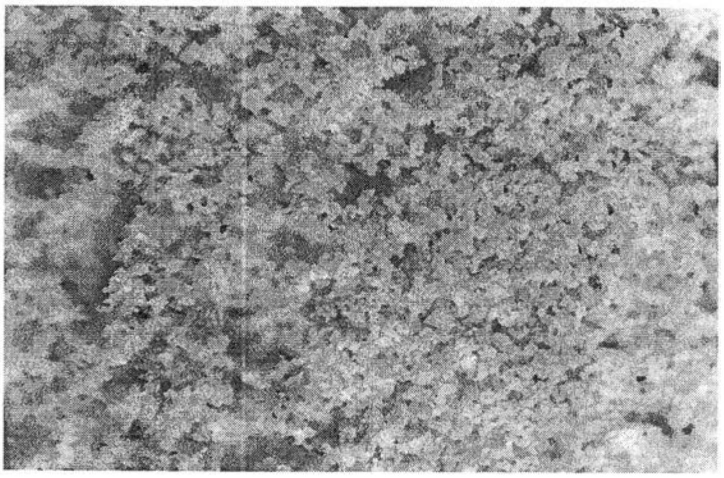
Bentonite

เป็น bentonite ชนิด Na (sodium bentonite) ยี่ห้อ Volclay เป็น bentonite ที่มาจากบริเวณภูเขาไฟในสหรัฐอเมริกา โดยมีค่าที่ต้องทดสอบดังตาราง 4.2 ต่อไปนี้

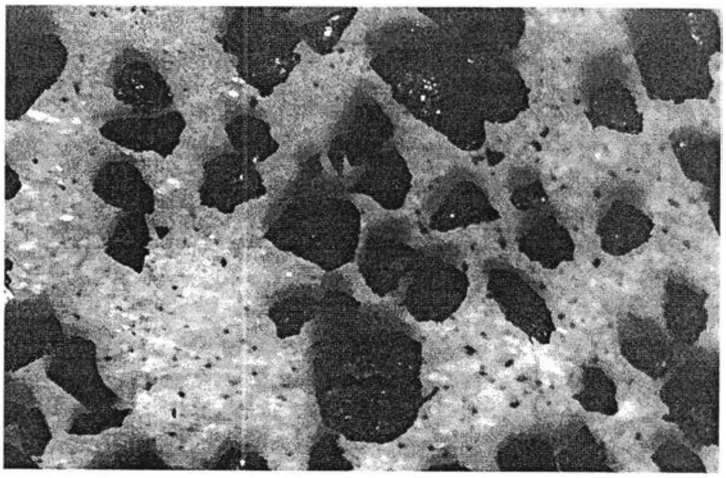
ตาราง 4.2 แสดงค่าที่ใช้ทดสอบ Bentonite

ค่าที่ทดสอบ	Actual	Standard	Evaluated	Remark
1.%Moisture	11.62	12 % Max	good	*ข้อมูลการตรวจสอบ
2.%Montmorillonite	78.49	75 % Min	good	วันที่2/8/99
3.%Swelling index	27.17	18 - 50 ml	good	
4.%Water Soluble	0.32	0.4 % Max	good	
5.ค่า pH	9.8	8.5 - 10.2	good	

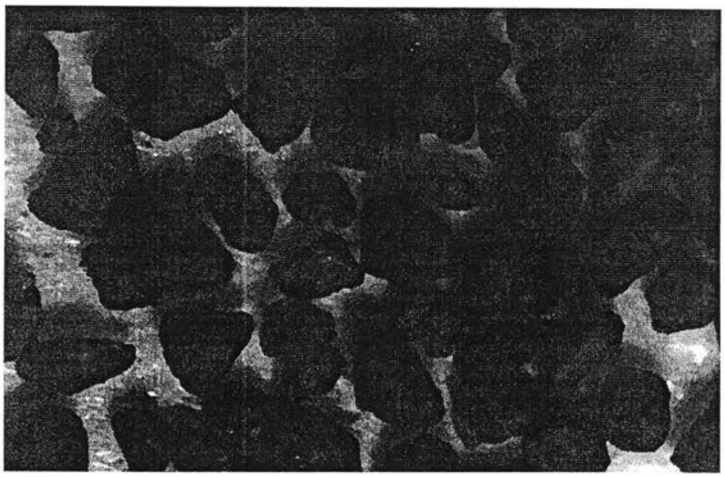
รูปที่ 4.1 Bentonite (กำลังขยาย 50 เท่า)



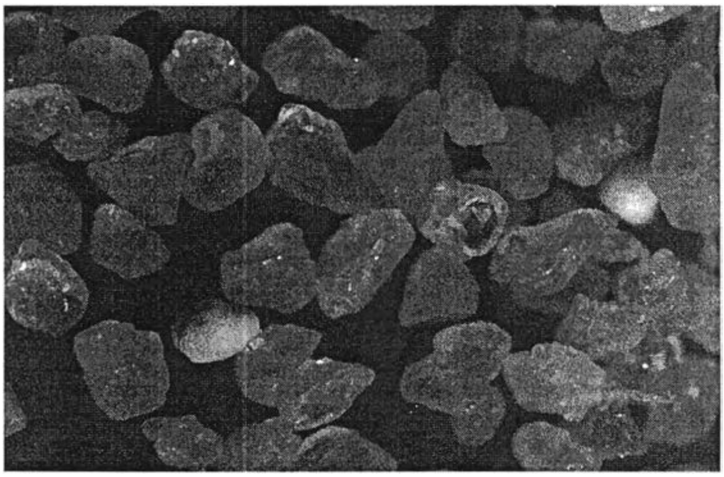
รูปที่ 4.2 Seacoal (กำลังขยาย 50 เท่า)



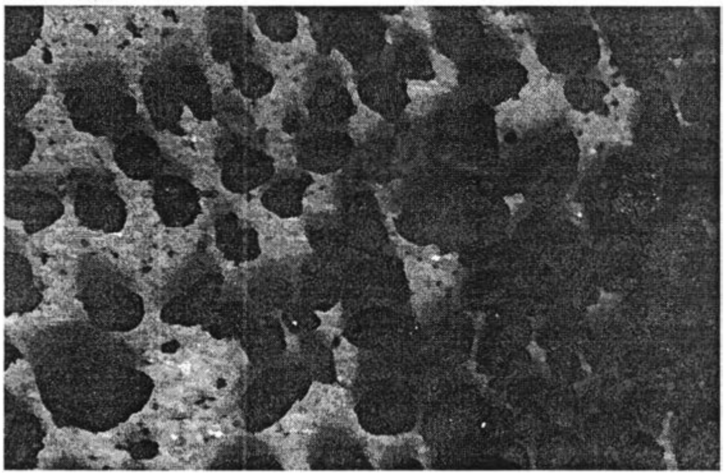
รูปที่ 4.3 Return sand (กำลังขยาย 50 เท่า)



รูปที่ 4.4 New sand (กำลังขยาย 50 เท่า)



รูปที่ 4.5 ฝุ่น (กำลังขยาย 50 เท่า)



ตาราง 4.3 แสดงค่าที่ใช้ทดสอบ Seacoal

ค่าที่ทดสอบ	Actual	Standard	Evaluated	Remark
1.%Lustrous carbon		10 % Min		**ไม่สามารถหาค่า
2.% Volatile matter	35.67	30 % Min	good	Lustrous carbon
3.% Loss of Ignition	91.89	90 % Min	good	ได้
4.% Sulfur	0.25	1.0 % Max	good	
5.% Ash	8.11	10 % Max	good	
6.% Moisture	2.88	3 % Max	good	
7. % Fix carbon	56.22	50 - 60 %	good	

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าที่ใช้ทดสอบReturn Sand

ค่าที่ทดสอบ	Actual	Standard	Evaluated	Remark
1.% Active clay	8.24	7 - 10	good	*ข้อมูลการตรวจสอบ
2.% Total clay	9.08	10.5 - 14.5	good	วันที่ 18/8/99
3.% Volatile matter	1.75	1.0 - 2.5	good	
4. % Loss of Ignition	2.05	1.5 - 3	good	
5. AFS .NO	60.56	55 - 60	FAIR	

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Chemical Composition ของ Return sand

ค่าที่ทดสอบ	Actual	Remark
1.% SiO_2	88.73	ทดสอบโดย
2.% Al_2O_3	3.06	X-ray
3.% Fe_2O_3	0.53	Fluorescence
4.% CaO	0.24	Spectrometer
5.% MgO	0.15	(XRFS)
6.% K_2O	0.37	
7.% SO_3	0	
8.% TiO_2	0.13	
9.% Cr_2O_3	0	
10.% Mn_2O_3	0	
11.%Loss of Ignition	0	

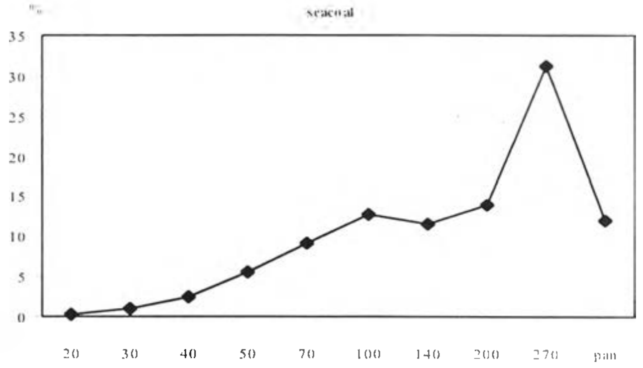
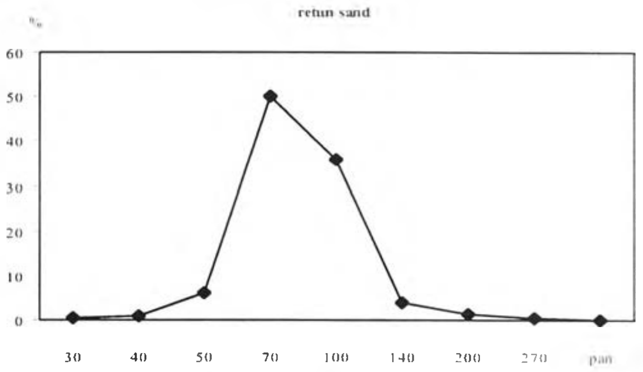
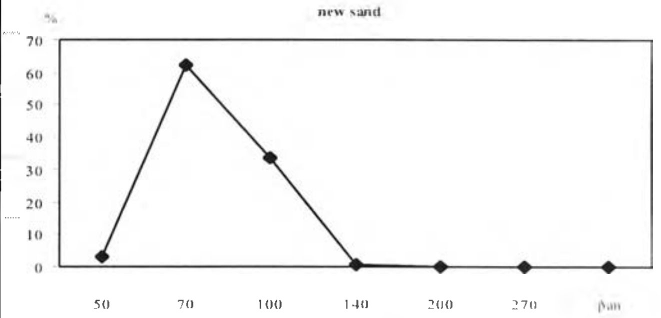
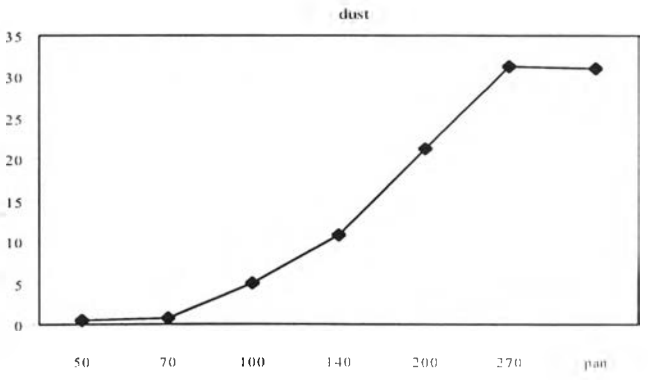
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าที่ใช้ทดสอบ New sand

ค่าที่ทดสอบ	Actual	Standard	Evaluated	Remark
1.AFS NO	57.08	55 - 60	FAIR	
2.Coefficent of angularity	1.25	ยิ่งน้อยยิ่งดี		
3.%Retained moisture	4.04	ยิ่งน้อยยิ่งดี		
4.Sintering point	>1500 C	> 1500 C	good	

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าที่ใช้ทดสอบ Dust (ฝุ่น)

ค่าที่ทดสอบ	Actual	Standard	Evaluated	Remark
1.% Active clay	26.19	> 20	good	*ข้อมูลการตรวจสอบ
2.% Total clay	52.76			วันที่ 27/8/99
3.% Volatile matter	7.28			
4. % Loss of Ignition	11.48			
5. AFS .NO	199.7			

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Sieve & AFS Grain Fineness Number

<table>
<tr><th>Additives</th><th>AFS. NO</th><th>Grain size distribution</th></tr>
<tr><td>1.Seacoal</td><td>146.34</td><td>
</td></tr>
<tr><td>2.Return sand</td><td>60.56</td><td>
</td></tr>
<tr><td>3.New sand</td><td>57.08</td><td>
</td></tr>
<tr><td>4.Dust</td><td>199.7</td><td>
</td></tr>
</table>

4.2.2 ผลการทดสอบองค์ประกอบของฝุ่นทรายแบบ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของฝุ่นทรายแบบ ได้ผลดังตารางที่ 4.9 (ตารางข้างล่าง)

cast date	AFS	Active Clay	Total Clay	Inactive Clay	Volatile	Ig-loss
4-Feb-99	86.75	15.56	21.42	5.86	2.56	5.89
8-Feb-99	97.34	15.39	20.16	4.77	2.55	4.83
15-Aug-99	107.47	21.63	26.34	4.71	3.56	8.25
18-Aug-99	89.23	13.76	20.15	6.39	2.33	3.64
19-Aug-99	79.93	15.96	19.45	3.49	2.35	3.89
20-Aug-99	83.01	13.52	15.5	1.98	2.31	3.36
21-Aug-99	187.15	45.48	63.59	18.11	7.53	11.23
25-Aug-99	199.7	38.46	58.63	20.17	7.45	11.48
26-Aug-99	83.49	13.53	15.5	1.97	2.03	2.59
27-Aug-99	99.38	13.29	15.43	2.14	2.13	3.05
29-Aug-99	179.92	46.15	63.49	17.34	7.39	10.32
8-Sep-99	81.96	13.38	15.27	1.89	2.01	3.23
9-Sep-99	190.9	42.39	65.28	22.89	8.36	10.3
11-Sep-99	117.95	23.56	29.45	5.89	3.89	6.86
9-Dec-99	91.52	18.95	29.34	10.39	3.15	6.23
12-Jan-00	184.35	39.94	59.37	19.43	7.89	9.78
4-Feb-00	110.78	22.58	26.96	4.38	3.96	6.43
5-Feb-00	113.21	19.36	23.35	3.99	3.25	5.79
7-Feb-00	107.74	19.82	24.37	4.55	3.59	5.98
8-Feb-00	94.79	15.63	18.76	3.13	2.48	3.71
average	119.33	23.42	31.59	8.17	4.04	6.34

จากข้อมูลสามารถแยกฝุ่นได้เป็น 3 กลุ่มตามขนาดของ AFS.NO. และ% Active clay ที่มีอยู่ในฝุ่น ดังแสดงในตาราง 4.10 ,4.11 ,4.12 ตามลำดับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆของฝุ่นทรายแบบกลุ่มที่ 1

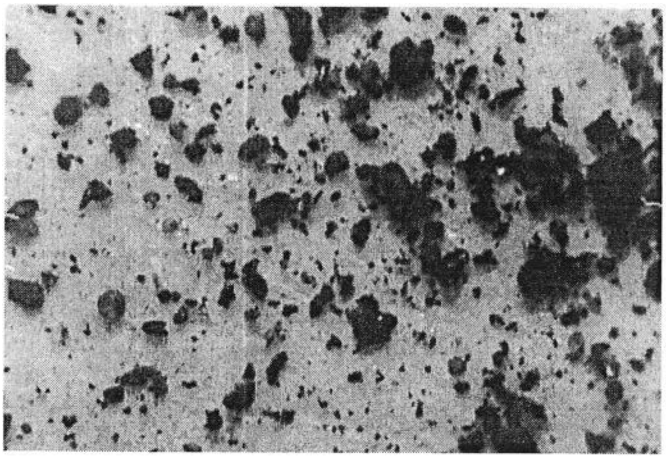
No	AFS	Active Clay	Total Clay	Inactive Clay	Volatile	Ig-loss
1	86.75	15.56	21.42	5.86	2.56	5.89
2	91.52	18.95	29.34	10.39	3.15	6.23
3	97.34	15.39	20.16	4.77	2.55	4.83
4	94.79	15.63	18.76	3.13	2.48	3.71
5	89.23	13.76	20.15	6.39	2.33	3.64
6	79.93	15.96	19.45	3.49	2.35	3.89
7	81.96	13.38	15.27	1.89	2.01	3.23
8	83.49	13.53	15.5	1.97	2.03	2.59
9	99.38	13.29	15.43	2.14	2.13	3.05
10	83.01	13.52	15.5	1.98	2.31	3.36
average	88.74	14.90	19.10	4.20	2.39	4.04

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆของฝุ่นทรายแบบกลุ่มที่ 2

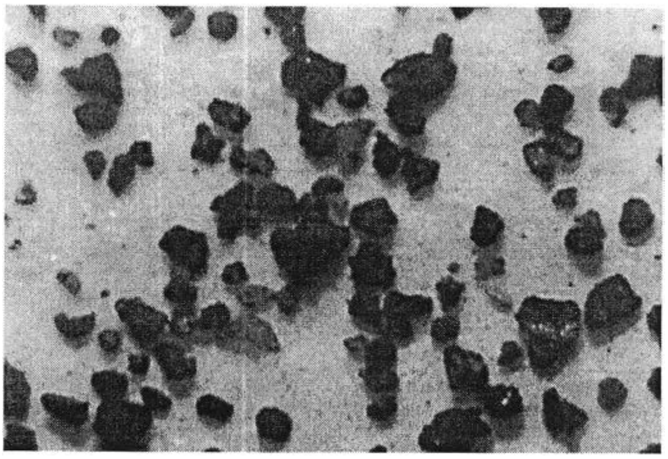
No	AFS	Active Clay	Total Clay	Inactive Clay	Volatile	Ig-loss
1	107.47	21.63	26.34	4.71	3.56	8.25
2	117.95	23.56	29.45	5.89	3.89	6.86
3	110.78	22.58	26.96	4.38	3.96	6.43
4	113.21	19.36	23.35	3.99	3.25	5.79
5	107.74	19.82	24.37	4.55	3.59	5.98
average	111.43	21.39	26.09	4.70	3.65	6.66

รูปที่ 4.6 แสดงภาพขยายของฝุ่นกลุ่มที่ 1 ,2 และ 3 ตามลำดับ (กำลังขยาย 50 เท่า)

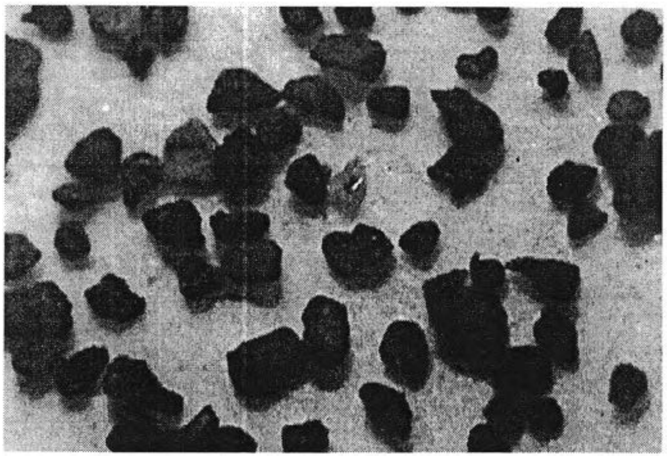
ฝุ่นกลุ่มที่ 1



ฝุ่นกลุ่มที่ 2



ฝุ่นกลุ่มที่ 3



ตารางที่ 4.12 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆของฝุ่นทรายแบบกลุ่มที่ 3

No	AFS	Active Clay	Total Clay	Inactive Clay	Volatile	Ig-loss
1	179.92	46.15	63.49	17.34	7.39	10.32
2	184.35	39.94	59.37	19.43	7.89	9.78
3	187.15	45.48	63.59	18.11	7.53	11.23
4	199.7	38.46	58.63	20.17	7.45	11.48
5	190.9	42.39	65.28	22.89	8.36	10.3
average	188.40	42.48	62.07	19.59	7.72	10.62

และเมื่อนำฝุ่นทรายแบบในแต่ละกลุ่มผสมกัน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆอีกครั้งดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆของฝุ่นทรายแบบที่ผสมในแต่ละกลุ่ม

ค่าคุณสมบัติ	ฝุ่นกลุ่มที่ 1	ฝุ่นกลุ่มที่ 2	ฝุ่นกลุ่มที่ 3
AFS	90.71	112.39	189.78
Active Clay	15.5	23.14	43.64
Total Clay	18.96	27.45	62.18
Inactive Clay	3.46	4.31	18.54
Volatile	3.49	3.83	5.67
Ig-loss	4.37	6.17	9.63

โดยที่ลักษณะของฝุ่นทรายแบบในแต่ละกลุ่ม มีความแตกต่างกันที่ชัดเจนในด้านขนาดของGrain และปริมาณ % Active clay (Active bentonite)ที่มีอยู่ในฝุ่นโดยสามารถแบ่งฝุ่นได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1.ฝุ่นกลุ่มที่ 1(ฝุ่นหยาบ) มีค่า AFS.NO. = 90.71 และค่า% Active clay = 15.5

2.ฝุ่นกลุ่มที่ 2(ฝุ่นหยาบปานกลาง) มีค่า AFS.NO.=112.39 และค่า%Active clay =23.14

3.ฝุ่นกลุ่มที่ 3(ฝุ่นละเอียด) มีค่า AFS.NO. = 189.78 และค่า% Active clay = 43.64

ดังรูปที่แสดงภาพขยายของฝุ่นกลุ่มต่างๆ ดังรูปที่ 4.6

4.2 ผลการศึกษาผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบต่อค่าคุณสมบัติทราย

4.2.1 ผลการศึกษาปริมาณฝุ่นที่มีผลต่อคุณสมบัติทรายโดยปรับ %ฝุ่นและคงที่ส่วนผสมตัวอื่นๆ มีดังตารางที่ 4.14 ต่อไปนี้

% ฝุ่น / *ค่าทดสอบ*	*0*	*0.5*	*1*	*1.5*	*2*	*2.5*	*3*	*3.5*
1.Compactability(%) CB	39	39	40	40	39	39	38	37
2.Compressive	2.55	2.52	3	2.98	2.85	2.5	2.34	2.4
3.Tensile Strength	0.34	0.34	0.34	0.4	0.38	0.39	0.34	0.38
4.Permeability	41	38	40	40	39	35	35	35
5.Moisture(%)	4.38	3.84	3.96	3.82	3.64	3.58	3.9	3.78
6.Active clay(%)	11.25	11.25	11.88	11.88	11.25	11.88	11.88	11.88
7.Total clay(%)	14.84	14.72	14.86	14.6	14.74	15.46	15.6	14.98
8.Volatile matter(%)	2.99	3.02	3.09	2.78	3.05	2.94	3.08	3.05
9.Loss of Ignition(%)	3.25	3.35	3.27	3.32	3.27	3.28	3.12	3.26
10.AFS NO.	68.98	64.18	70.32	72.04	69.04	65.86	70.54	73.14

นอกจากนี้ยังได้ทดสอบค่าคุณสมบัติทรายก่อนที่จะทำการทดลอง ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.15

ค่าคุณสมบัติทราย	Green sand	dust
Active clay (%)	10.31	32.5
Total clay (%)	4.26	
Volatile matter (%)	2.02	6.65
Loss of Ignition	2.46	8.52
AFS NO.	65.62	

โดยแสดงกราฟดังรูปที่ 4.7,4.8,4.9,4.10,4.11,4.12,4.13,4.14,4.15,4.16

4.2.2 ผลการศึกษาปริมาณฝุ่นและ Bentonite ที่มีผลต่อคุณสมบัติทรายโดยกำหนดให้ %Active clay มีค่าคงที่ดังตารางที่ 4.16

% ฝุ่น / *ค่าทดสอบ*	*0*	*0.5*	*1*	*1.5*	*2*	*R-SQUARE*
1.Compactability(%) CB	40	40	39	39	36	0.75
2.Temperature(C)	34	35	33	35	36	0.31
3.Compressive	2.3	2.33	2.2	2.26	2.4	0.075
4.Tensile Strength	0.3	0.3	0.31	0.29	0.31	0.036
5.Permeability	40	36	30	33	28	*0.8*
6.Moisture(%)	3.42	3.27	3.37	3.25	3.43	0
7.Active clay(%)	11.5	12.5	12.5	12	11.5	0.025
8.Total clay(%)	16.66	16.66	16.54	16.72	16.04	0.45
9.Volatile matter(%)	2.99	2.94	3.25	3.07	3.14	0.31
10.Loss of Ignition(%)	3.45	3.18	3.49	3.5	3.62	0.41
11.AFS NO.	70.8	72.82	74.8	71.74	72.76	0.1

นอกจากนี้ยังได้ทดสอบค่าคุณสมบัติทรายก่อนที่จะทำการทดลอง ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.17

ค่าคุณสมบัติทราย	Greensand	dust
Active clay(%)	10.5	33.5
Total clay(%)	13.26	
Volatile matter (%)	2.31	6.8
Loss of Ignition	2.85	8.61
AFS NO.	73.86	

โดยแสดงกราฟดังรูปที่ 4.17,4.18,4.19,4.20,4.21,4.22,4.23,4.24,4.25,4.26

4.2.3 ผลการศึกษาปริมาณฝุ่นโดยไม่มีส่วนผสมของ Bentoniteที่มีผลต่อคุณสมบัติทรายดังตารางที่ 4.18

% ฝุ่น / ค่าทดสอบ	2.5	3	3.5	4	4.5	5	R-SQUARE
1.Compactability(%)CB	43	40	35	35	34	33	0.85
2.Compressive	2.04	2.14	2.45	2.76	2.55	2.67	0.75
3.Tensile Strength	0.23	0.26	0.32	0.29	0.33	0.27	0.29
4.Permeability	55	52	50	42	40	34	0.97
5.Moisture(%)	3.49	3.54	3.56	3.55	3.63	3.66	0.9
6.Active clay(%)	10.5	10.9	11.7	11.9	11.5	11.5	0.5
7.Total clay(%)	13.56	13.76	14.34	14.87	14.69	14.11	0.4
8.Volatile matter(%)	2.69	2.71	2.78	2.85	2.74	2.77	0.27
9.Loss of Ignition(%)	3.17	3.26	3.78	3.71	3.73	3.81	0.73
10.AFS NO.	-	-	-	-	-	-	-

โดยแสดงกราฟดังรูปที่ 4.27,4.28,4.29,4.30,4.31,4.32,4.33,4.34,4.35

4.2.4 ผลการศึกษาขนาดและปริมาณของฝุ่นที่มีผลต่อคุณสมบัติทราย ดังตารางที่ 4.19,4.20 และ4.21 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบกลุ่มต่างๆที่มีผลต่อค่าคุณสมบัติทรายได้ดังกราฟรูปที่ 4.36,4.37,4.38,4.39,4.40,4.41,4.42 และ 4.43 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 แสดงถึงผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายกลุ่มที่ 1 ต่อค่าคุณสมบัติทราย

ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่าคุณสมบัติทราย (Fix ค่า Active clay=12 $\pm$ 0.5,Moisture = 3.2 $\pm$ 0.2)

กลุ่มที่ 1

%Dust / ค่าที่ทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	r-square
1.Compactability(%)CB	44	43	41	39	39	40	38	37	39	0.73
2.Compressive Strength(kg/cm^2)	2.3	2.27	2.2	2.26	2.12	2.17	2.12	2.15	2.07	0.79
3.Tensile Strergth (kg/cm 2)	0.33	0.31	0.3	0.29	0.29	0.26	0.25	0.27	0.24	0.89
4.Permeability	41	40	38	37	35	34	32	31	29	0.99
5.Total clay(%)	14.72	14.84	14.86	14.9	15.13	15.48	15.64	15.69	15.98	0.94
6.Volatile matter(%)	2.99	2.94	3.12	3.07	3.1	3.09	3.08	3.14	3.25	0.67
7.Loss of Ignition(%)	3.45	3.18	3.49	3.5	3.62	3.56	3.77	3.89	4.1	0.82
8.AFS NO.	63.45	64.18	69.04	67.89	70.32	72.04	72.82	74.8	72.76	0.88

ตารางที่ 4.20 แสดงถึงผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายกลุ่มที่ 2 ต่อค่าคุณสมบัติทราย

ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่าคุณสมบัติทราย (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)

กลุ่มที่ 2

%Dust / ค่าที่ทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	r-square
1.Compactability(%)CB	45	44	42	39	37	38	35	35	34	0.94
2.Compressive Strength(kg/cm ^{2})	2.29	2.27	2.17	2.13	1.98	2.01	1.95	1.97	1.93	0.89
3.Tensile Strength (kg/cm 2)	0.33	0.31	0.3	0.3	0.29	0.29	0.27	0.25	0.23	0.92
4.Permeability	41	40	38	35	32	31	30	29	28	0.96
5.Total clay(%)	14.76	14.86	14.89	15.1	15.13	15.89	16.15	16.66	16.72	0.92
6.Volatile matter(%)	2.99	3.03	3.12	3.07	3.1	3.09	3.08	3.15	3.19	0.7
7.Loss of Ignition(%)	3.18	3.46	3.49	3.5	3.59	3.56	3.68	3.89	3.92	0.89
8.AFS NO.	63.56	64.23	69.13	68.89	70.32	72.39	72.82	74.8	75.13	0.94

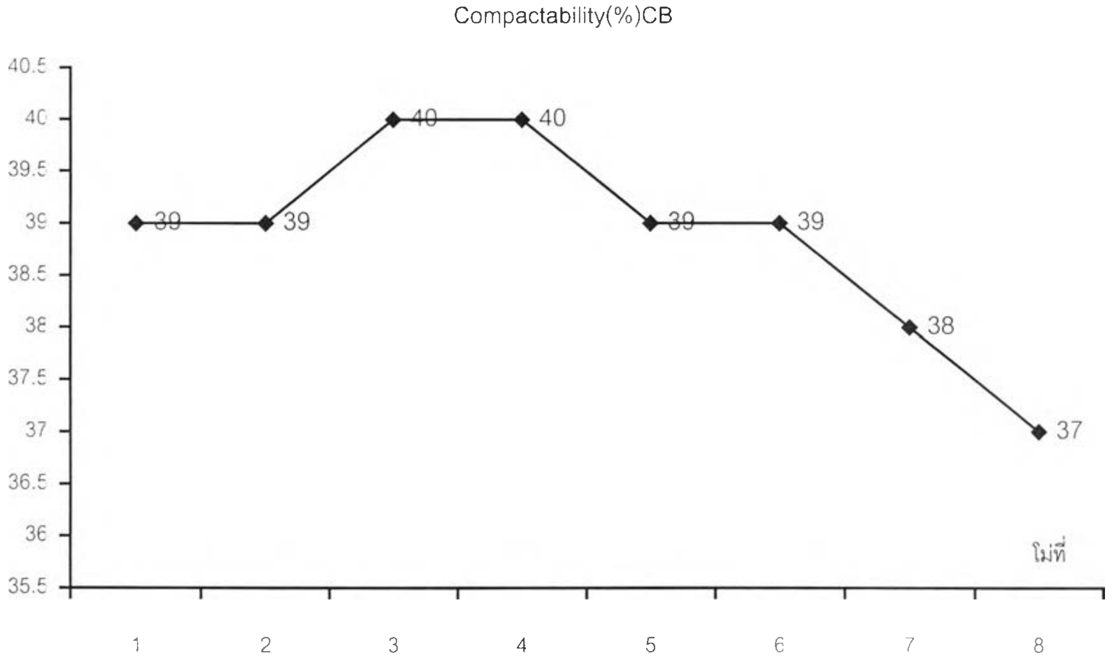
ตารางที่ 4.21 แสดงถึงผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายกลุ่มที่ 3 ต่อค่าคุณสมบัติทราย

ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่าคุณสมบัติทราย (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)

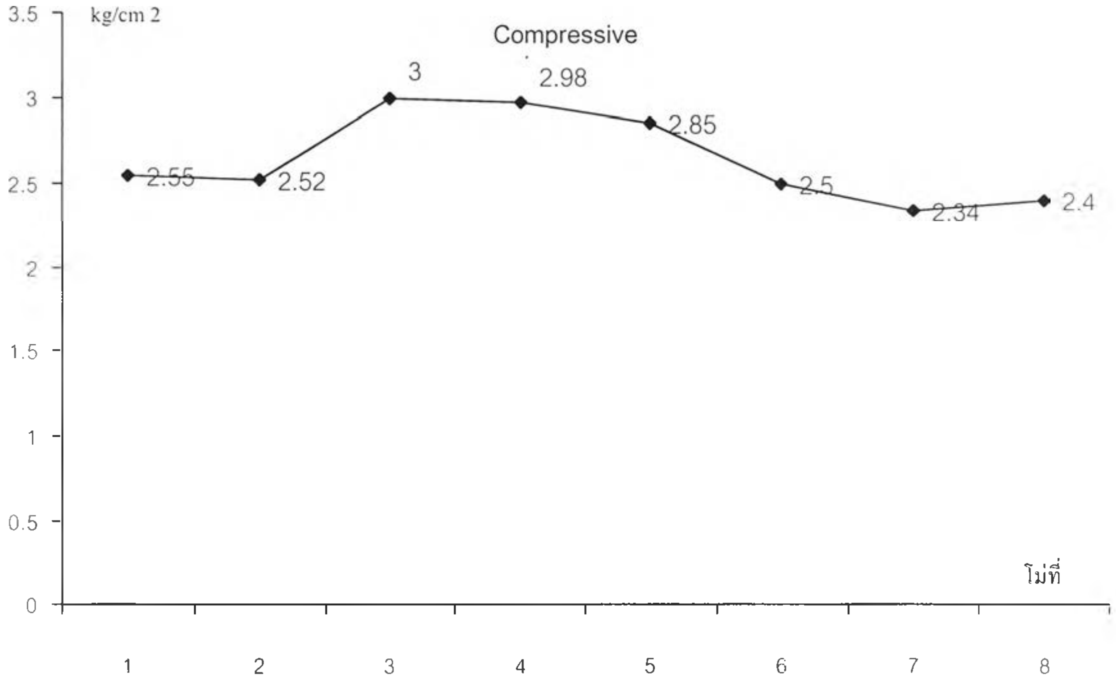
กลุ่มที่ 3

%Dust / ค่าที่ทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	r-square
1.Compactability(%)CB	44	40	39	39	34	30	29	25	23	0.99
2.Compressive Strength(kg/cm ^{2})	2.3	2.17	2.03	1.98	1.89	1.75	1.77	1.7	1.64	0.96
3.Tensile Strength (kg/cm 2)	0.33	0.3	0.29	0.27	0.25	0.23	0.25	0.2	0.2	0.93
4.Permeability	41	40	35	32	30	27	23	21	20	0.99
5.Total clay(%)	14.76	15	15.4	15.6	16.03	16.45	16.37	16.89	16.94	0.97
6.Volatile matter(%)	2.98	3.04	3.12	3.12	3.15	3.14	3.08	3.15	3.19	0.62
7.Loss of Ignition(%)	3.18	3.46	3.45	3.57	3.6	3.59	3.68	3.72	3.92	0.88
8.AFS NO.	63.56	65.28	69.25	69.79	72.36	73.48	73	75.63	75.91	0.93

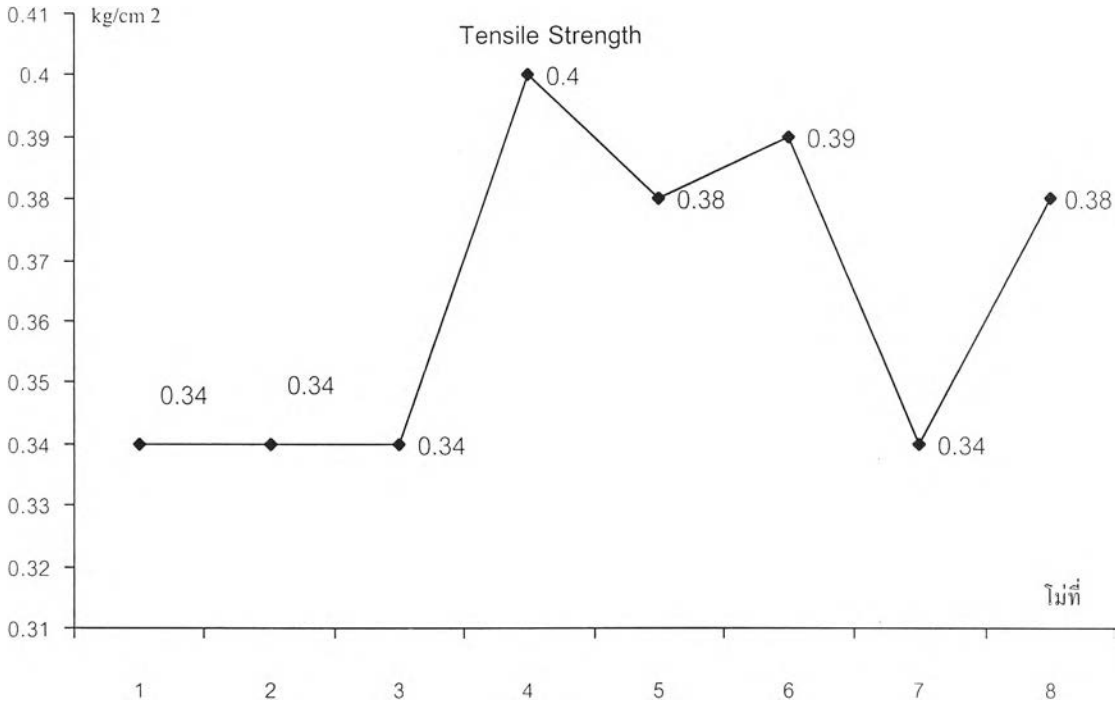
รูปที่ 4.7 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Compactability



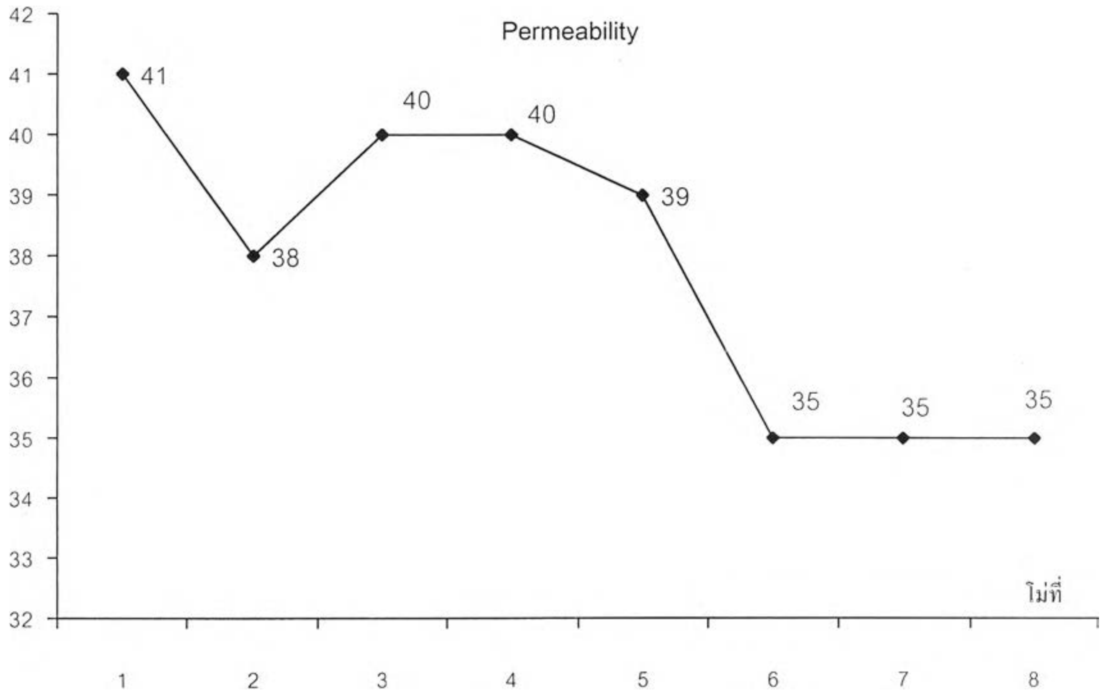
รูปที่ 4.8 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Compressive strength



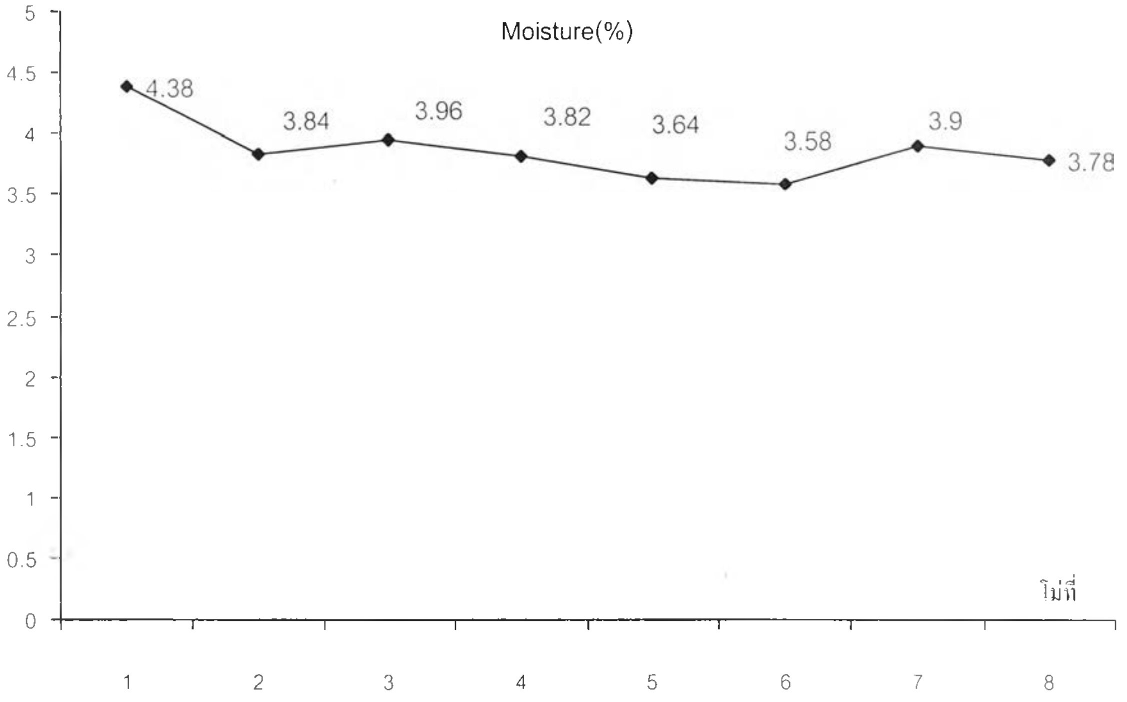
รูปที่ 4.9 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Tensile strength



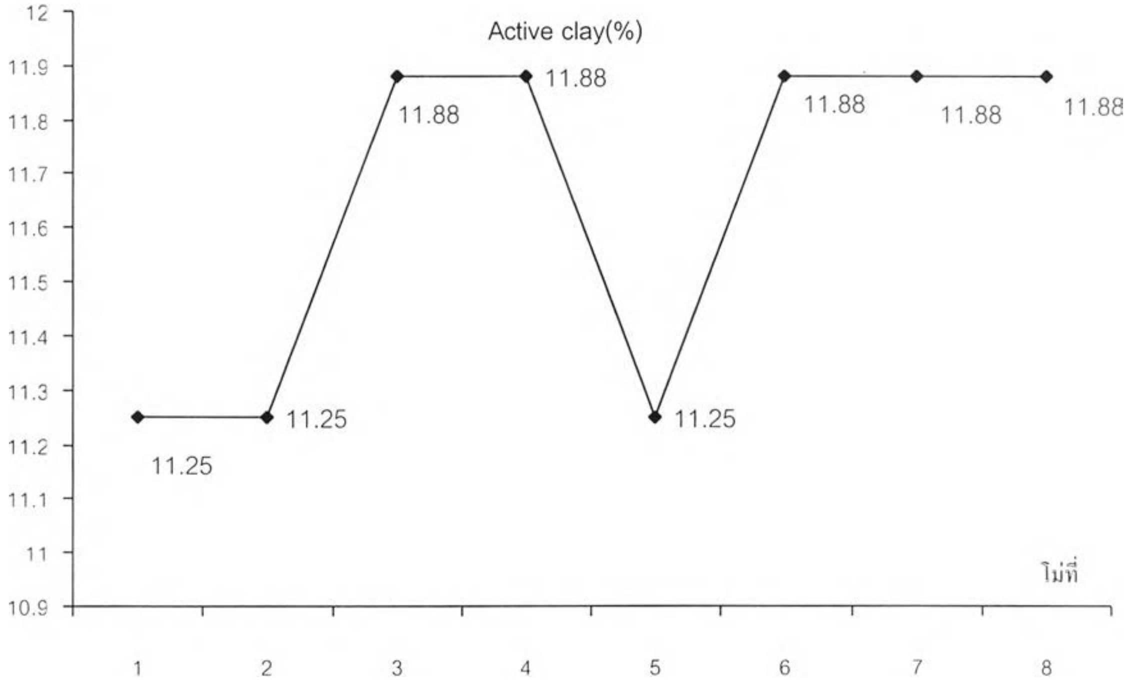
รูปที่ 4.10 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่าความโปร่งทราย



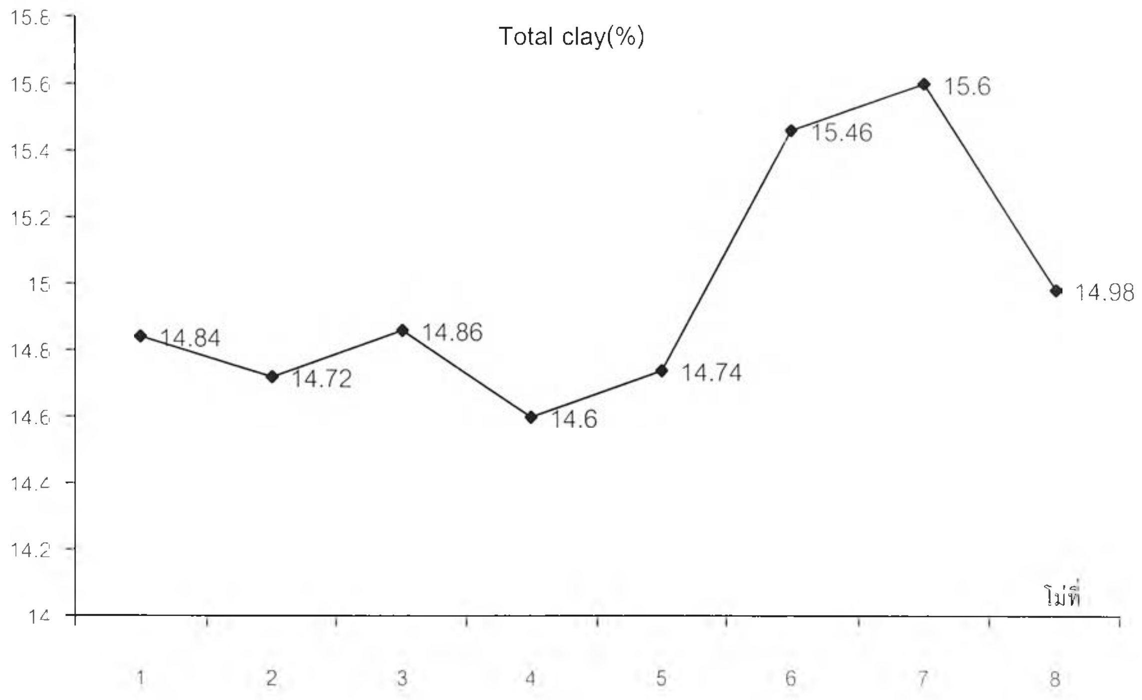
รูปที่ 4.11 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า ความชื้น



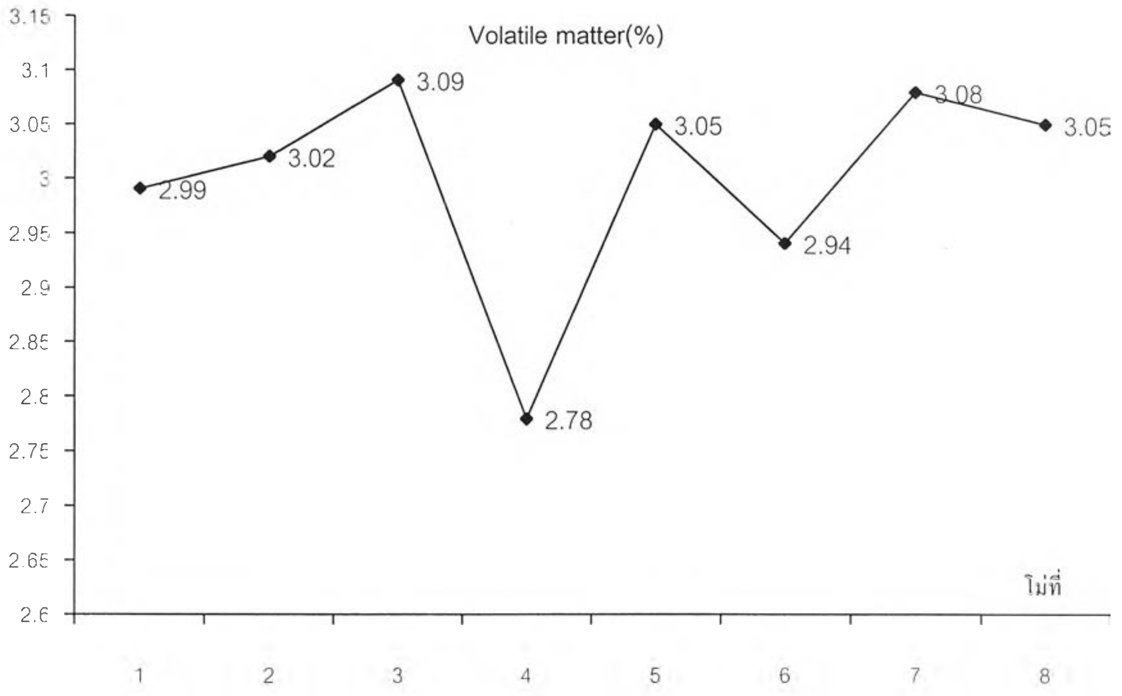
รูปที่ 4.12 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Active clay



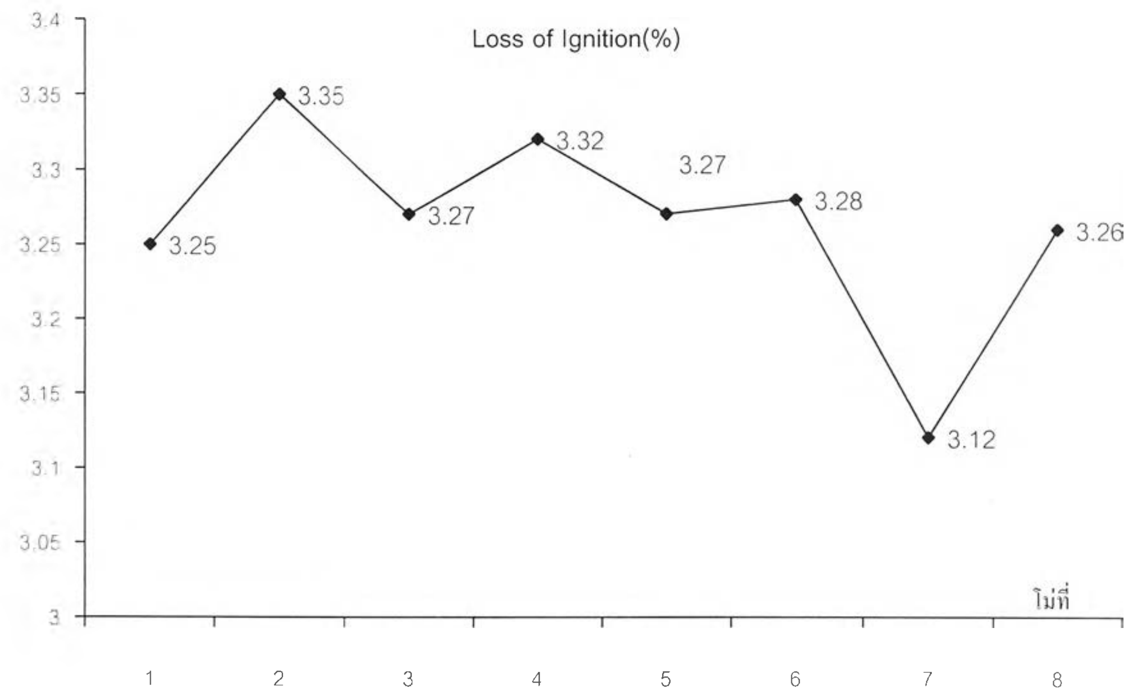
รูปที่ 4.13 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Total clay



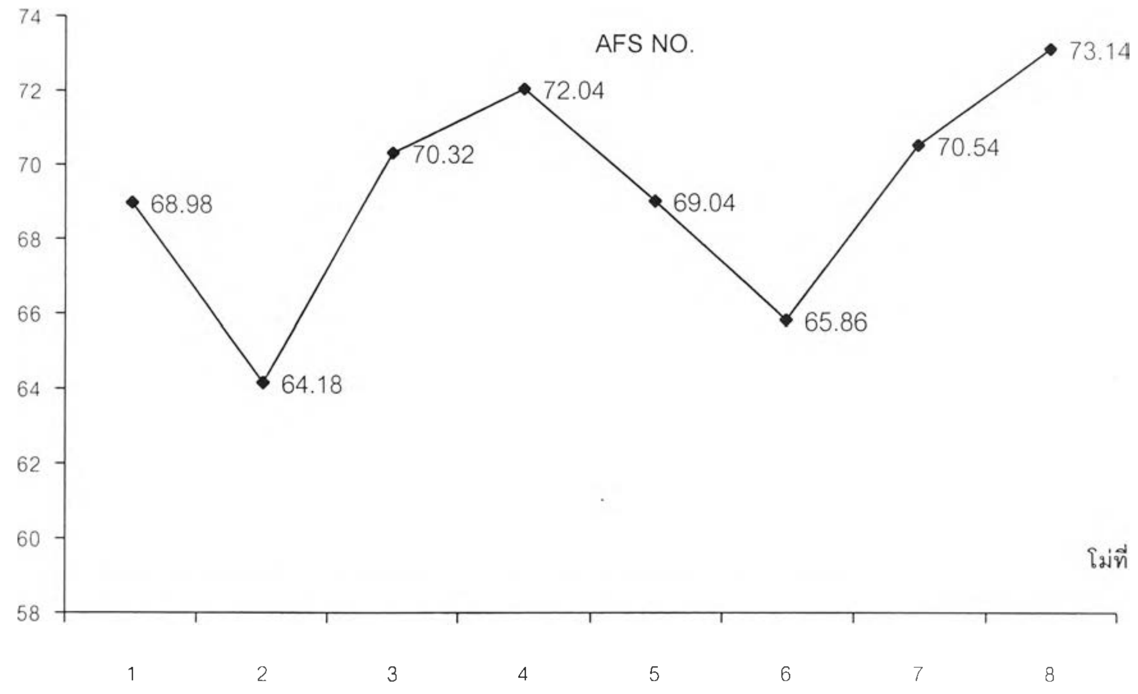
รูปที่ 4.14 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Volatile matter



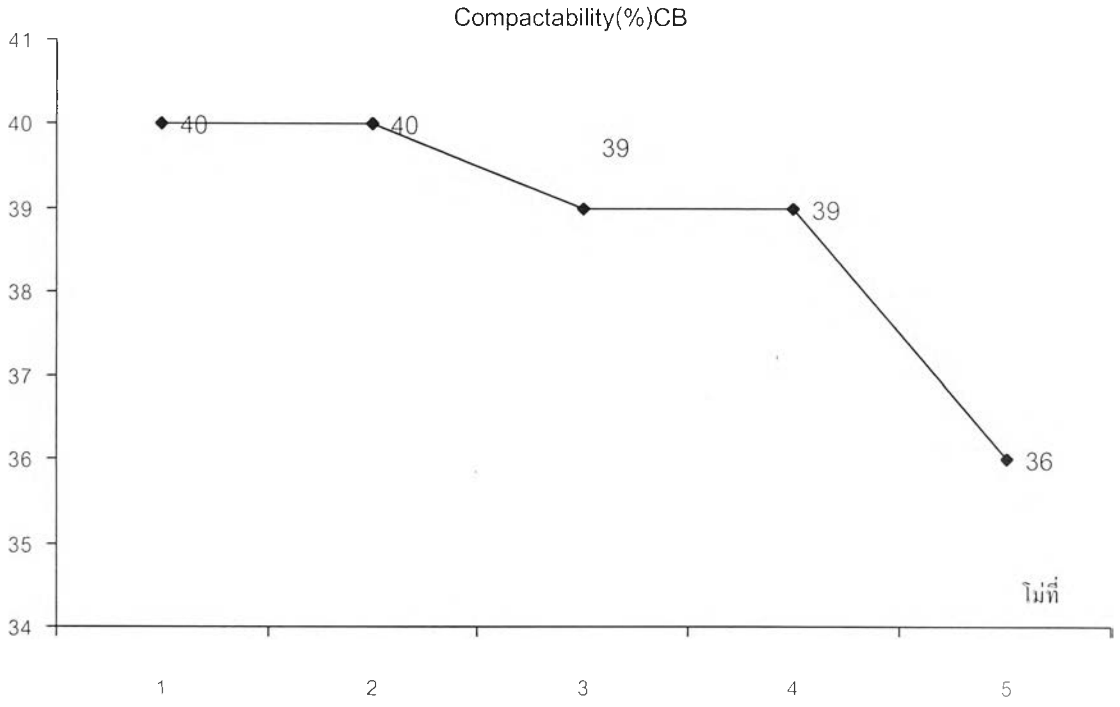
รูปที่ 4.15 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Loss of ignition



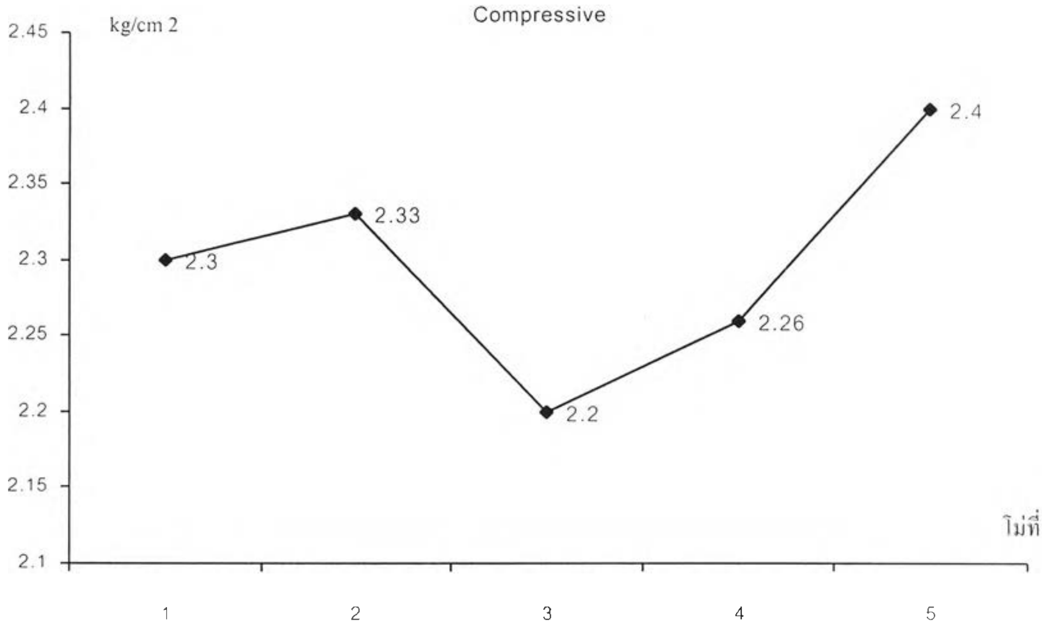
รูปที่ 4.16 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า AFS No.



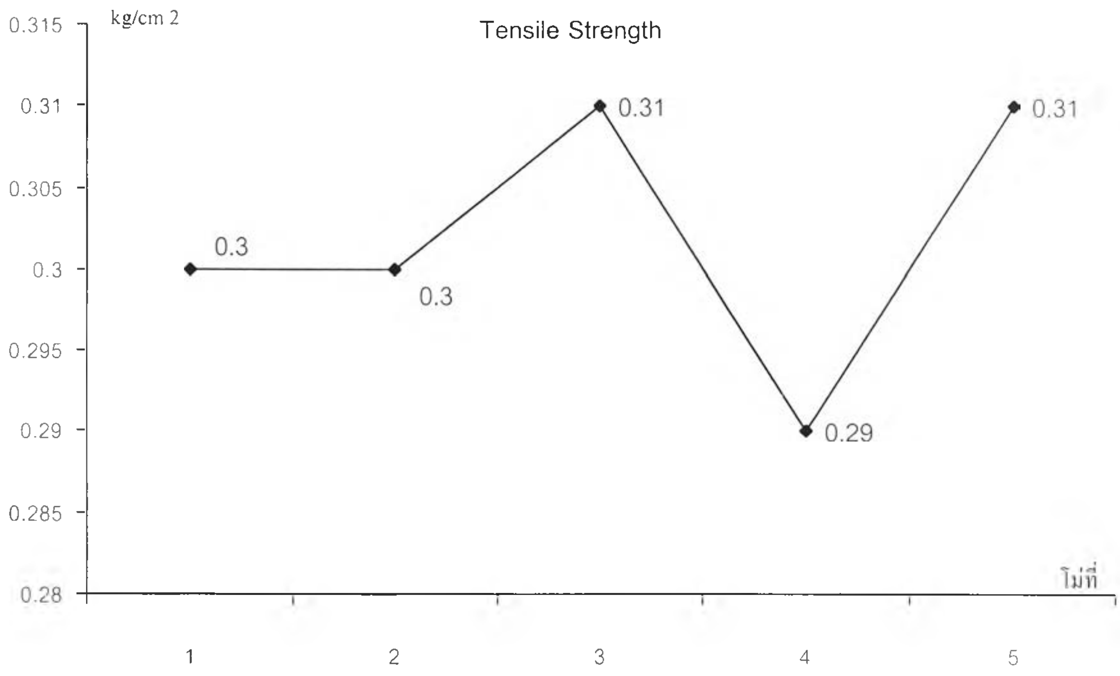
รูปที่ 4.17 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Compactability



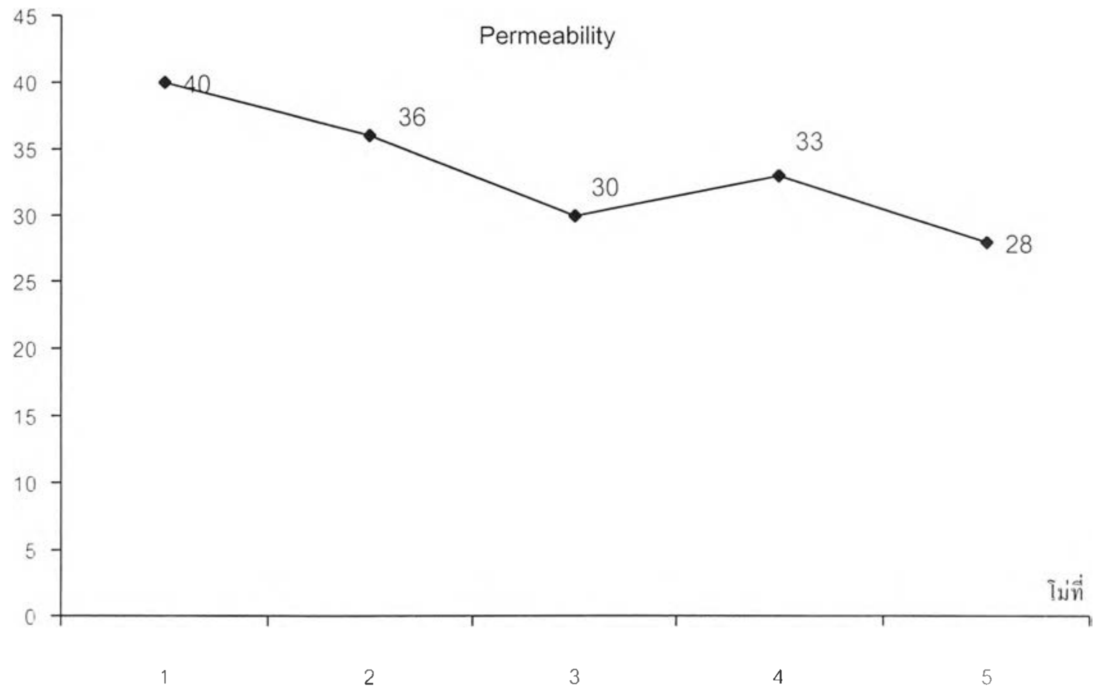
รูปที่ 4.18 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Compressive strength



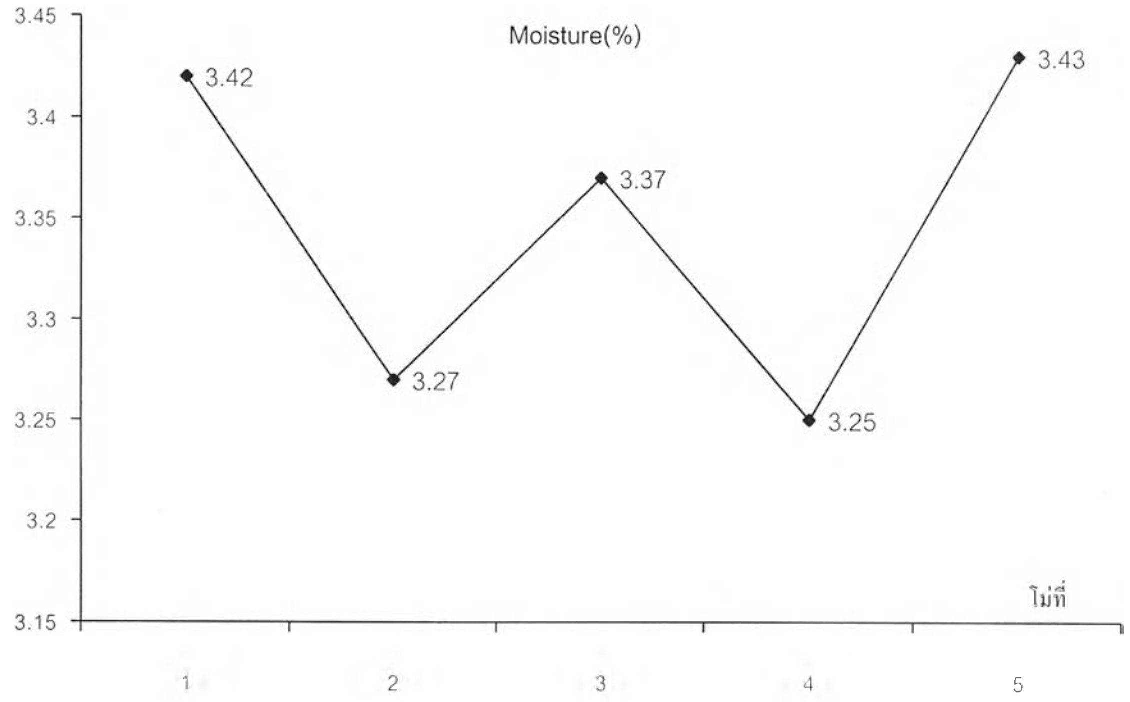
รูปที่ 4.19 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Tensile strength



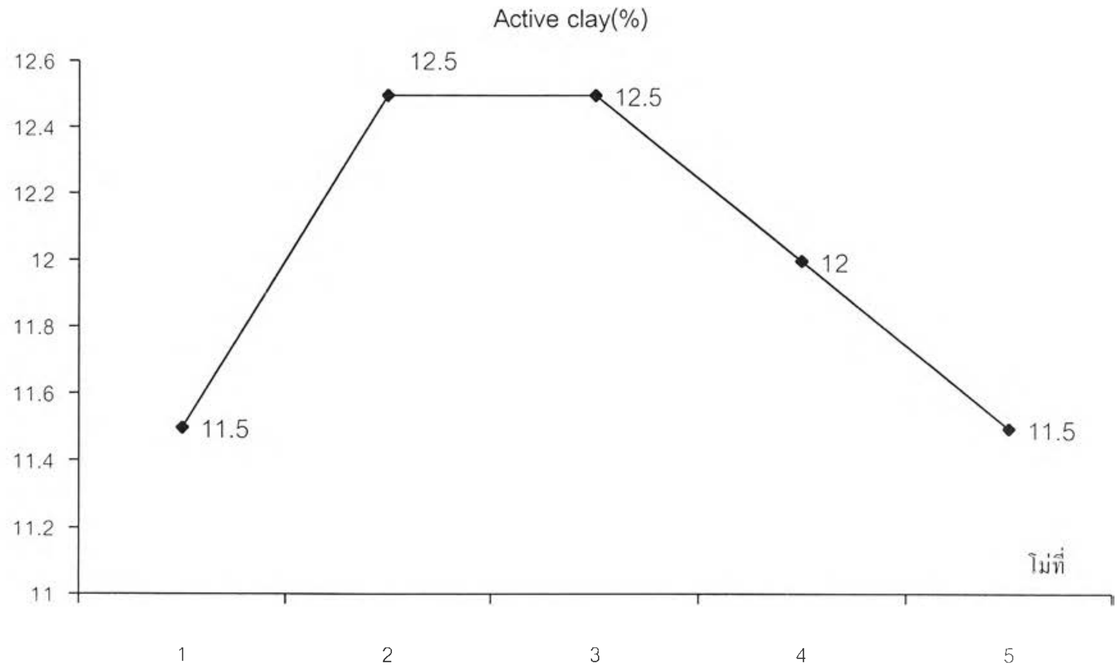
รูปที่ 4.20 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า ความโปร่งทราย



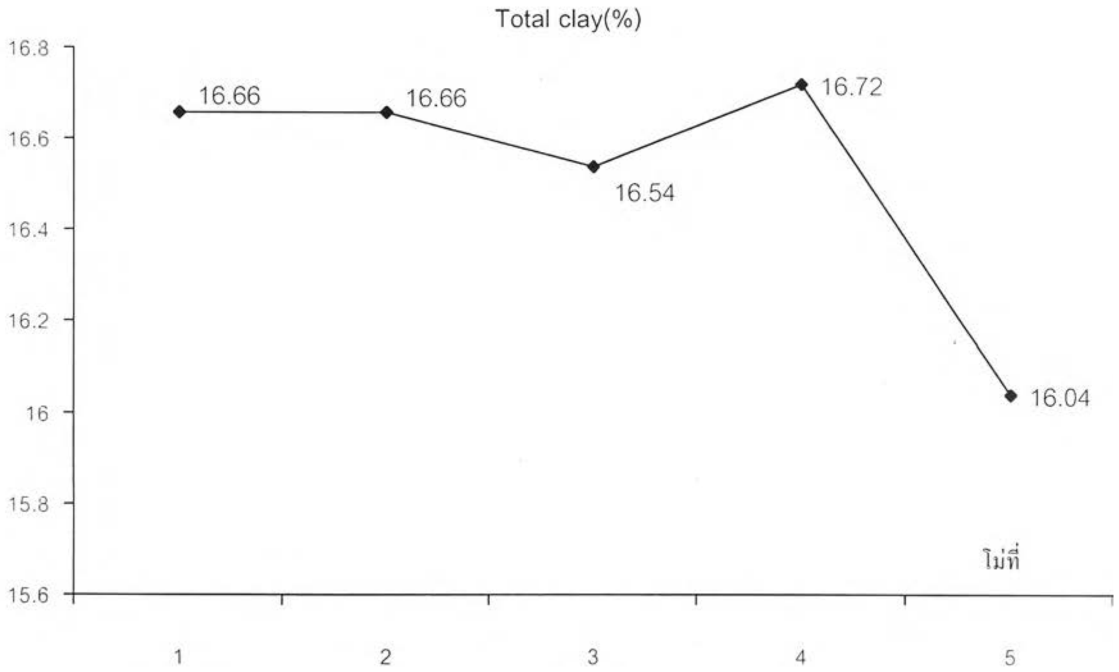
รูปที่ 4.21 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆที่มีต่อค่า ความชื้น



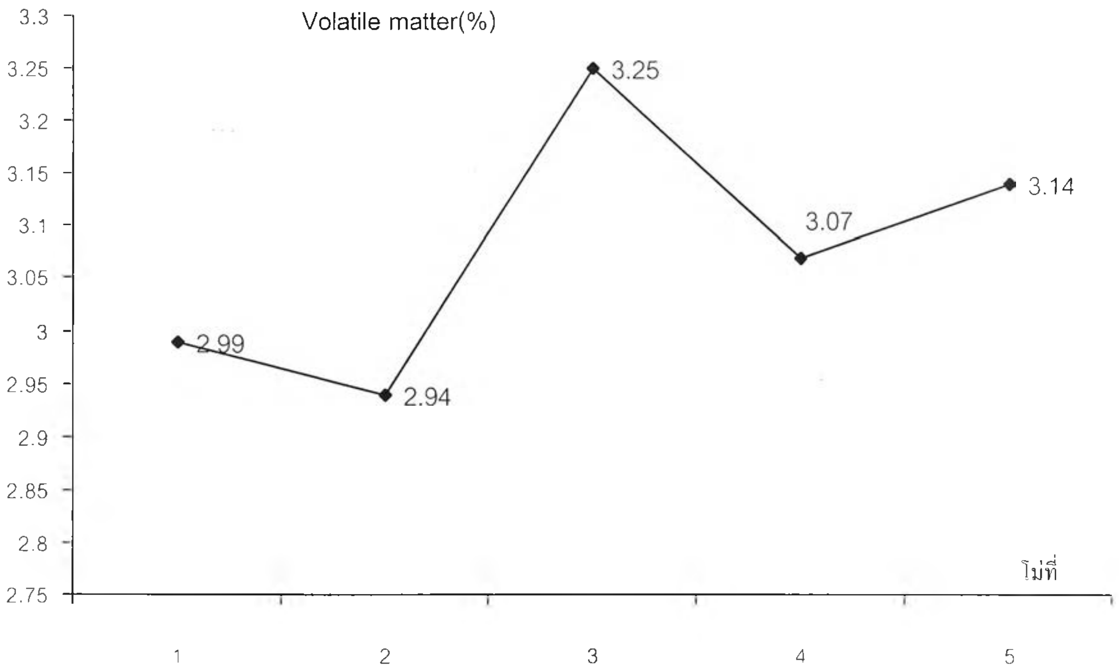
รูปที่ 4.22 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Active clay



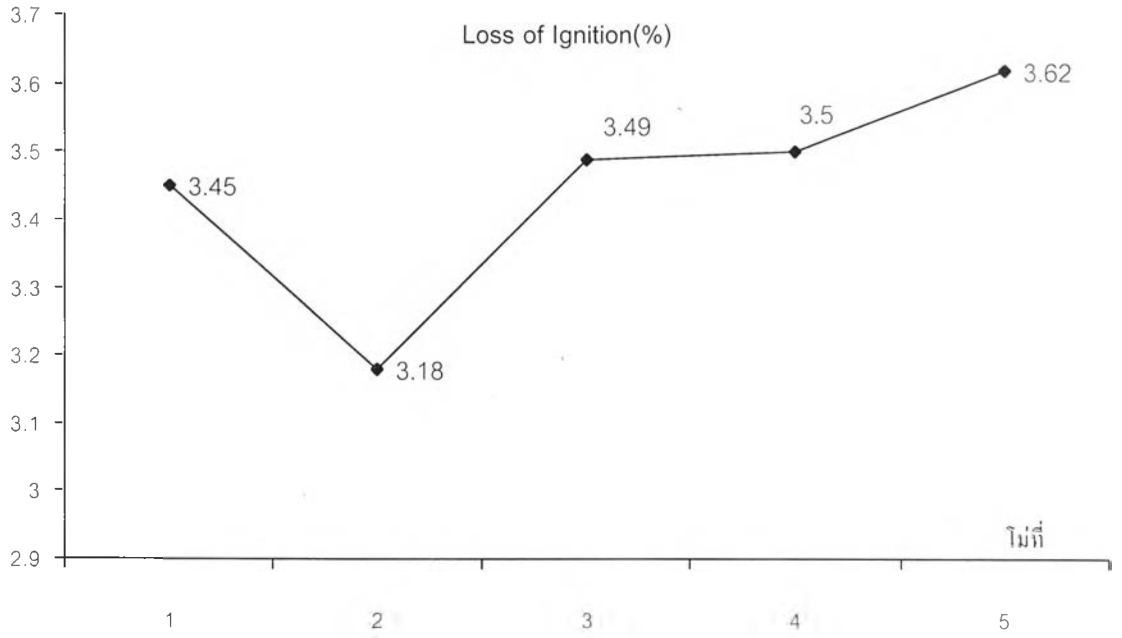
รูปที่ 4.23 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Total clay



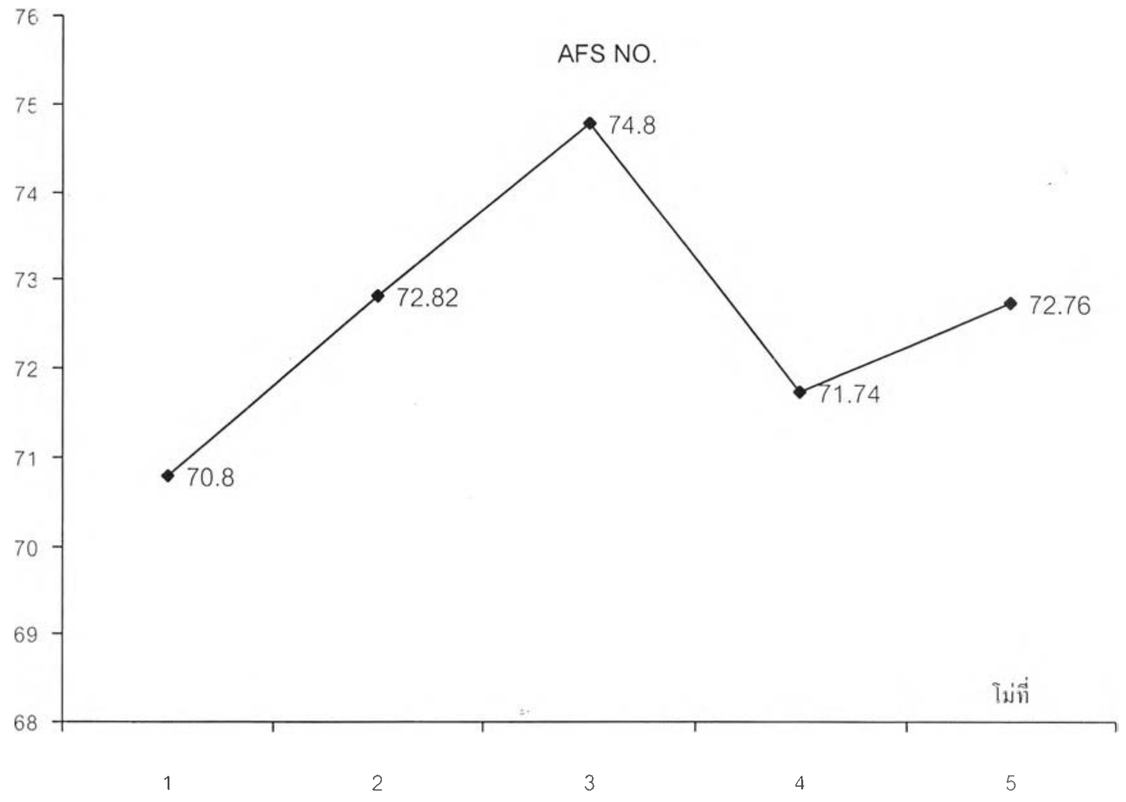
รูปที่ 4.24 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Volatile matter



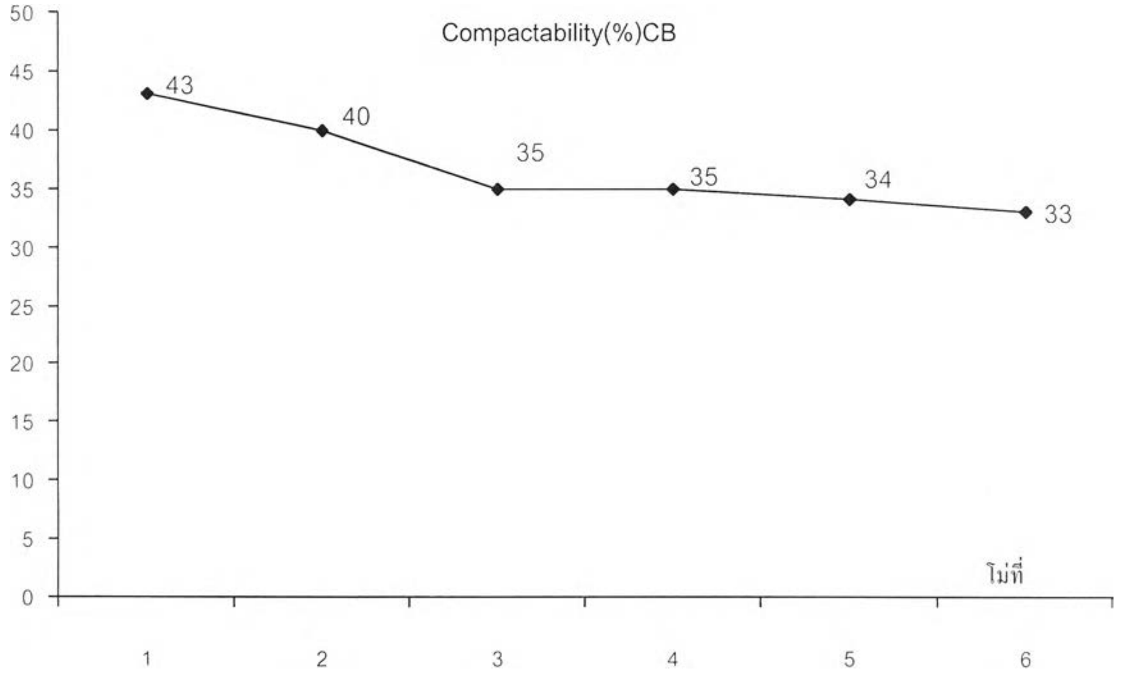
รูปที่ 4.25 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Loss of ignition



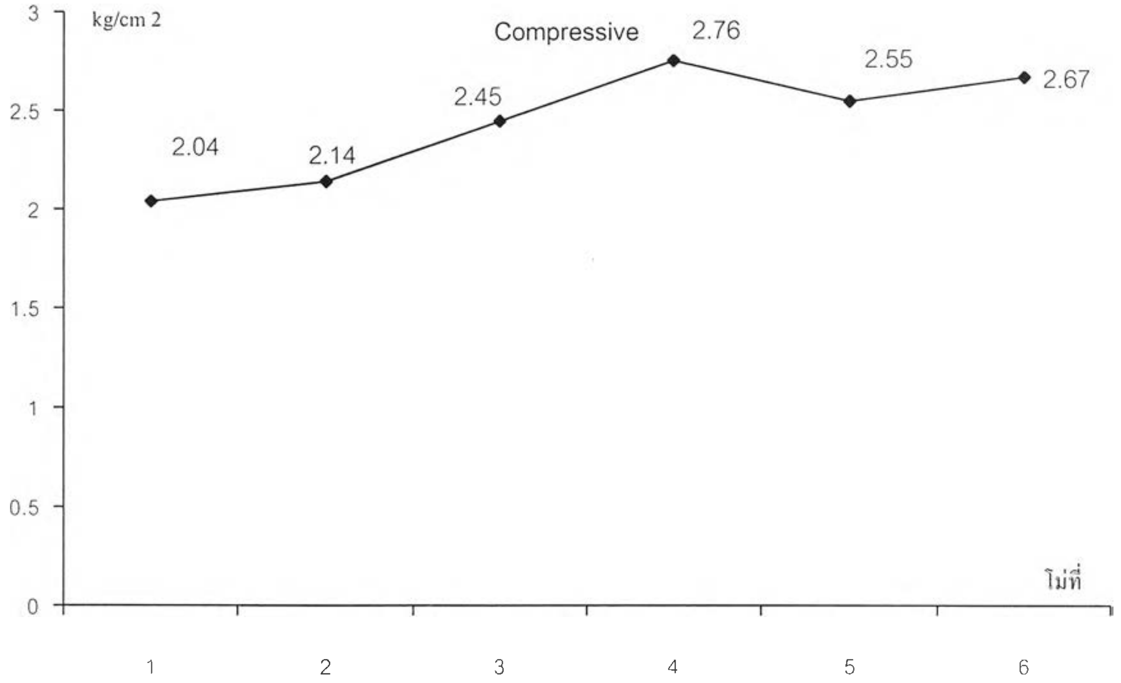
รูปที่ 4.26 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า AFS No.



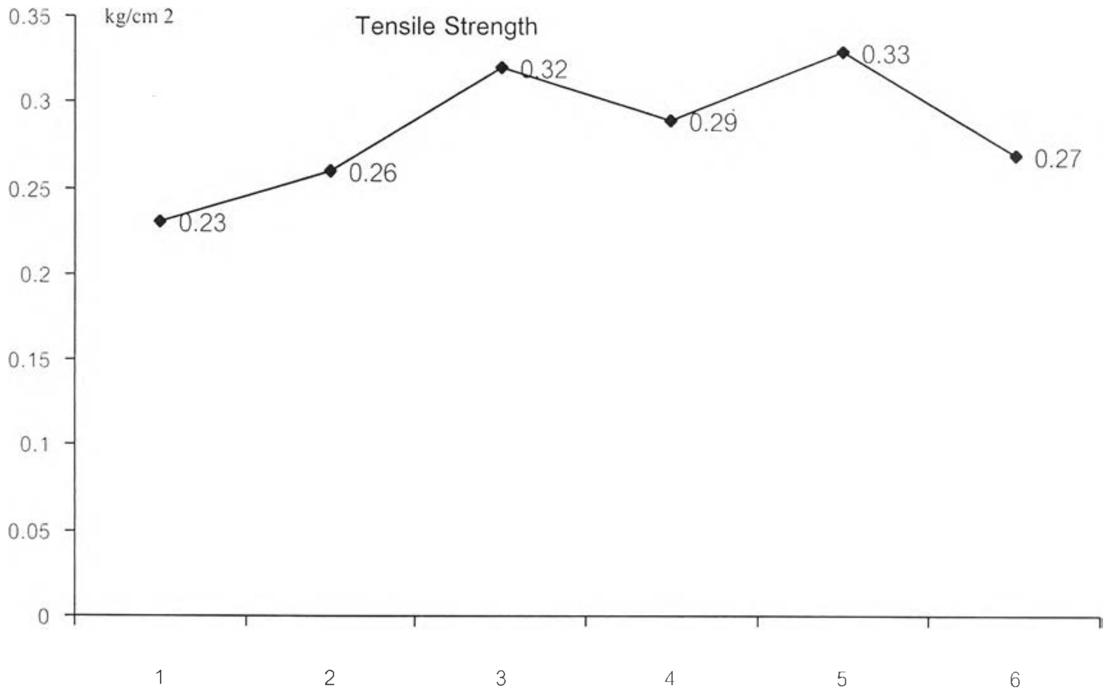
รูปที่ 4.27 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Compactability



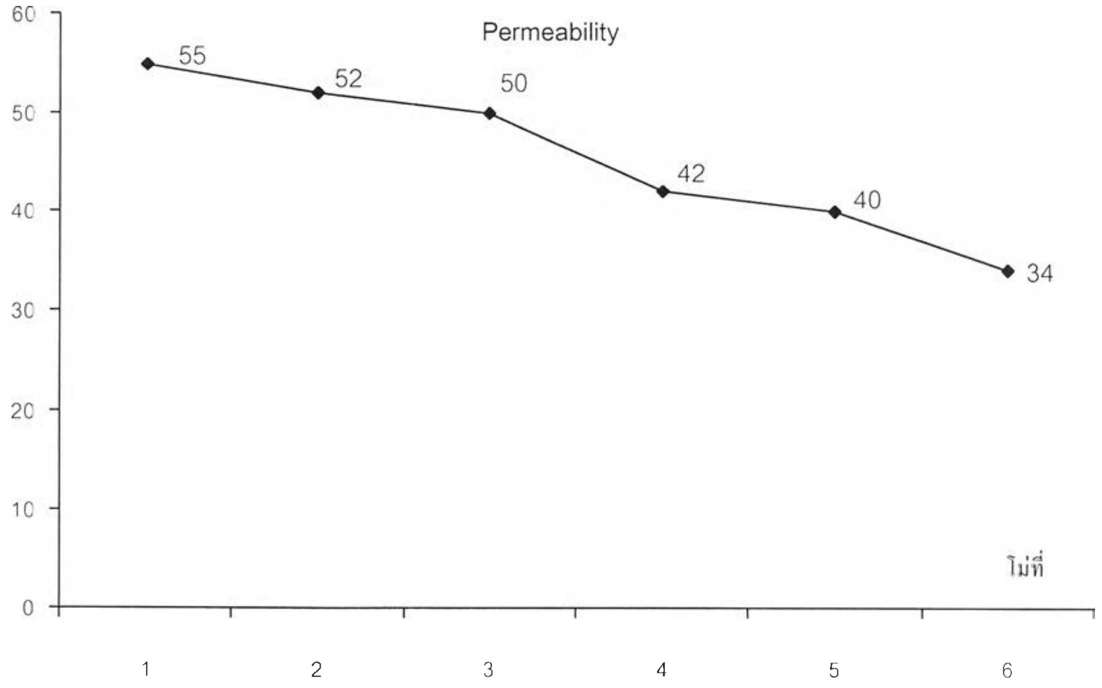
รูปที่ 4.28 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Compressive strength



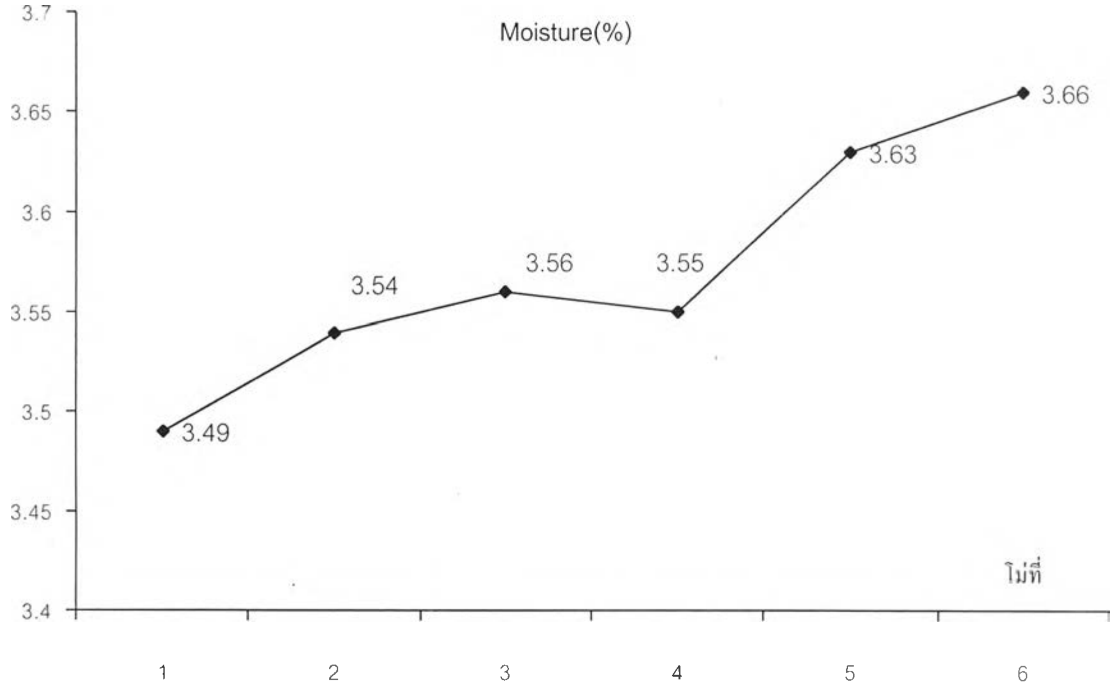
รูปที่ 4.29 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆที่มีต่อค่า Tensile strength



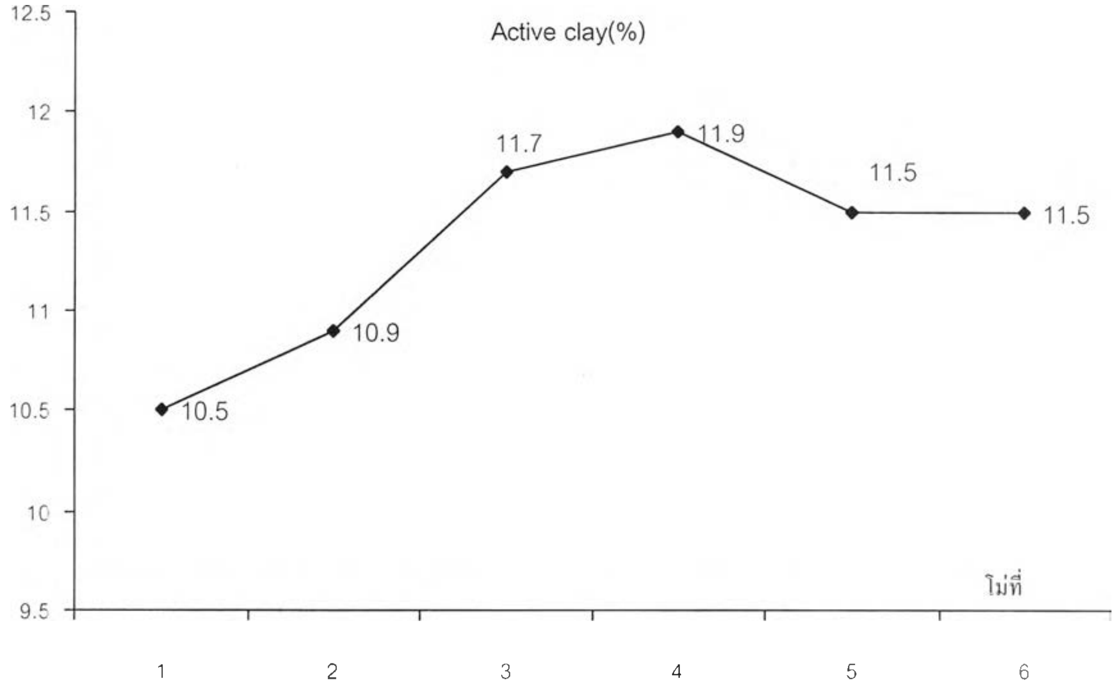
รูปที่ 4.30 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า ความโปร่งทราย



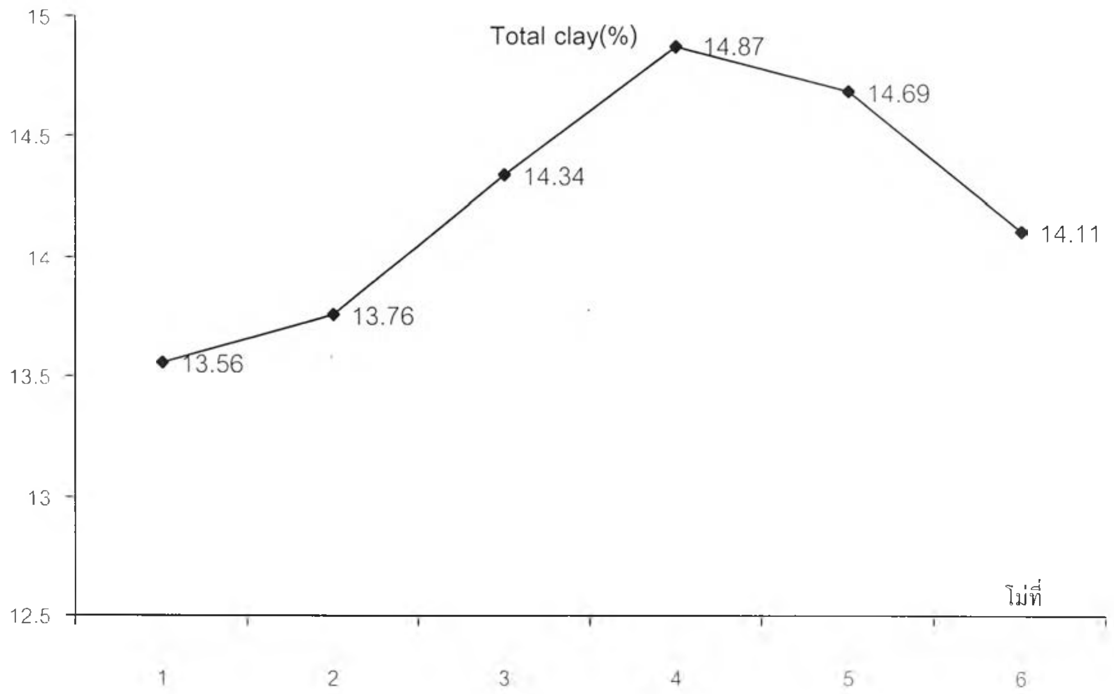
รูปที่ 4.31 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า ความชื้น



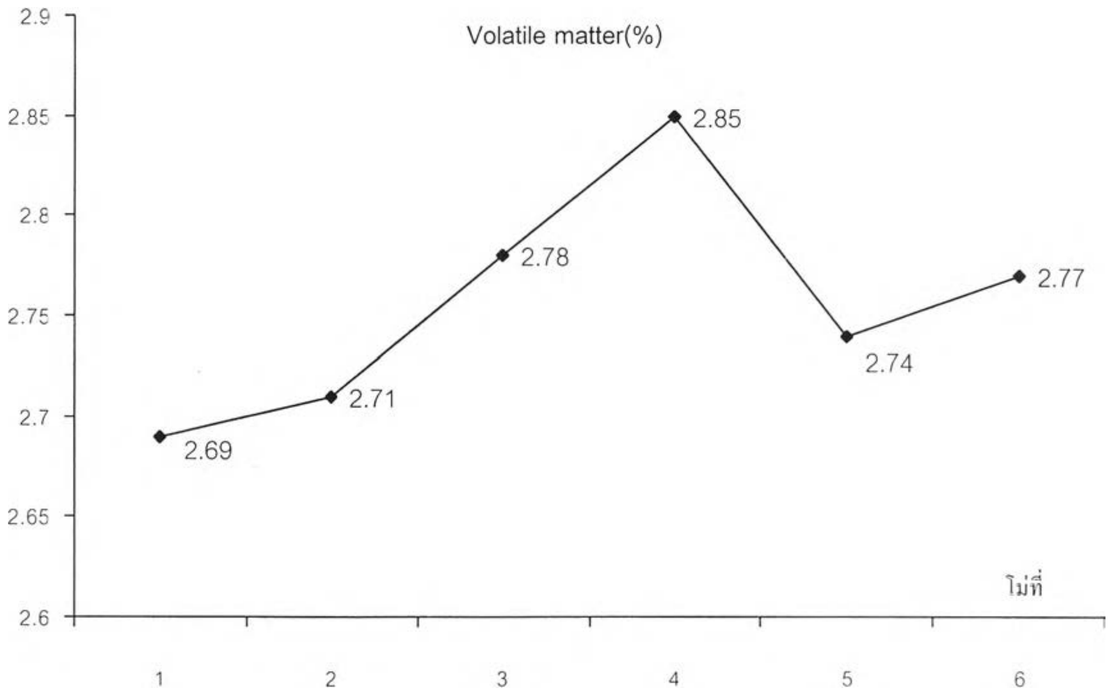
รูปที่ 4.32 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Active clay



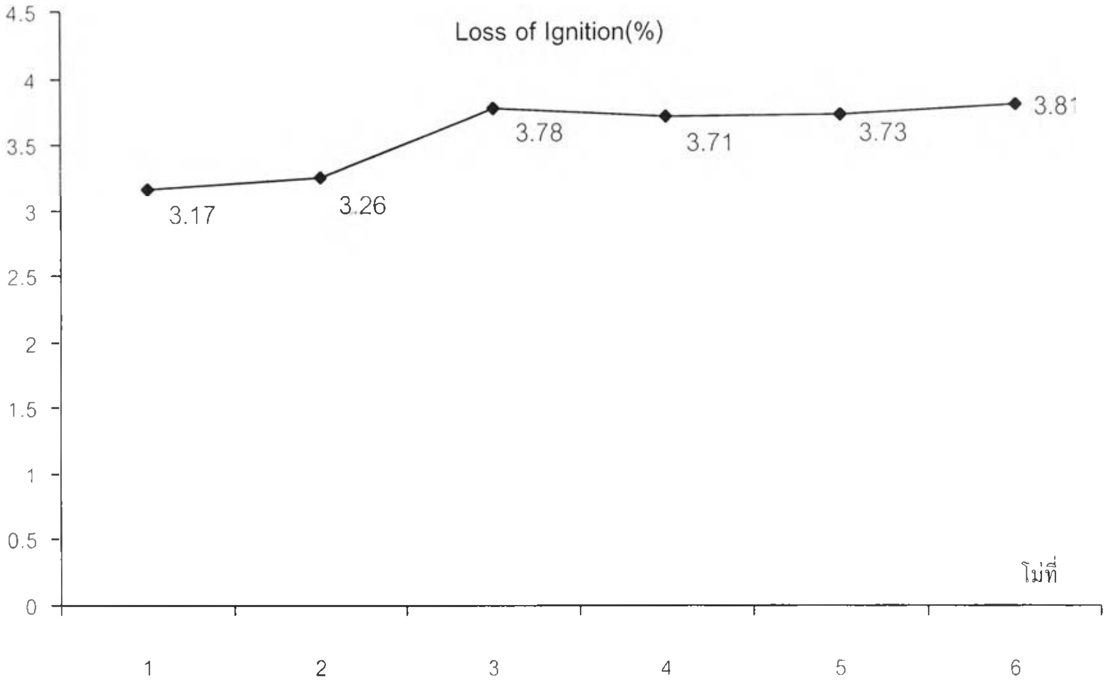
รูปที่ 4.33 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Total clay



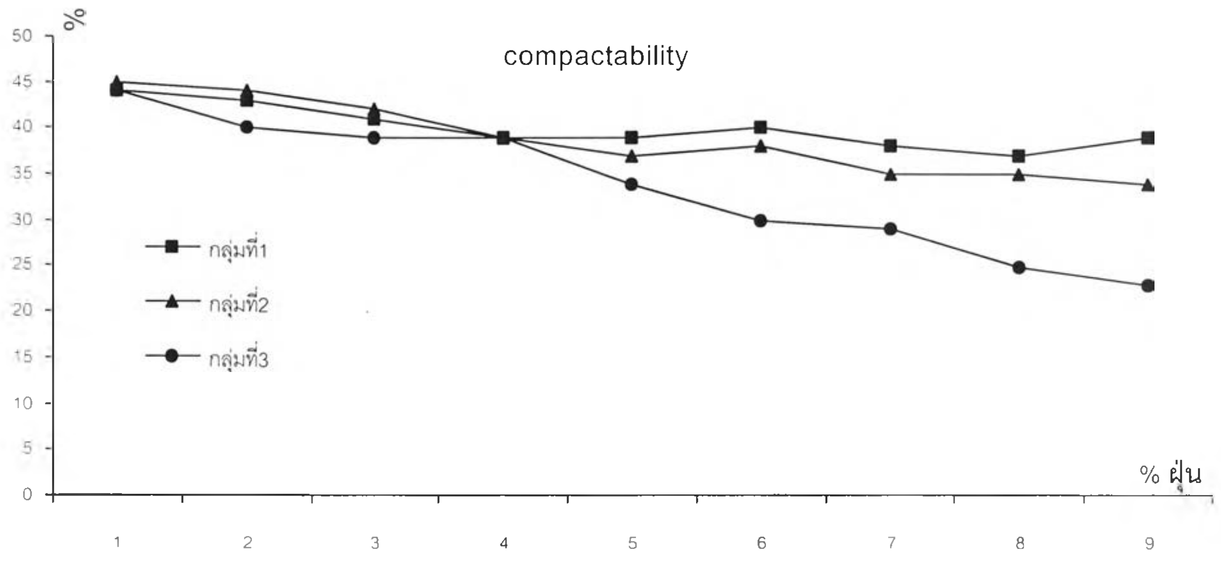
รูปที่ 4.34 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Volatile matter



รูปที่ 4.35 แสดงผลกระทบของการปรับฝุ่นทรายโดยคงที่ส่วนผสมอื่นๆต่อค่า Loss of ignition

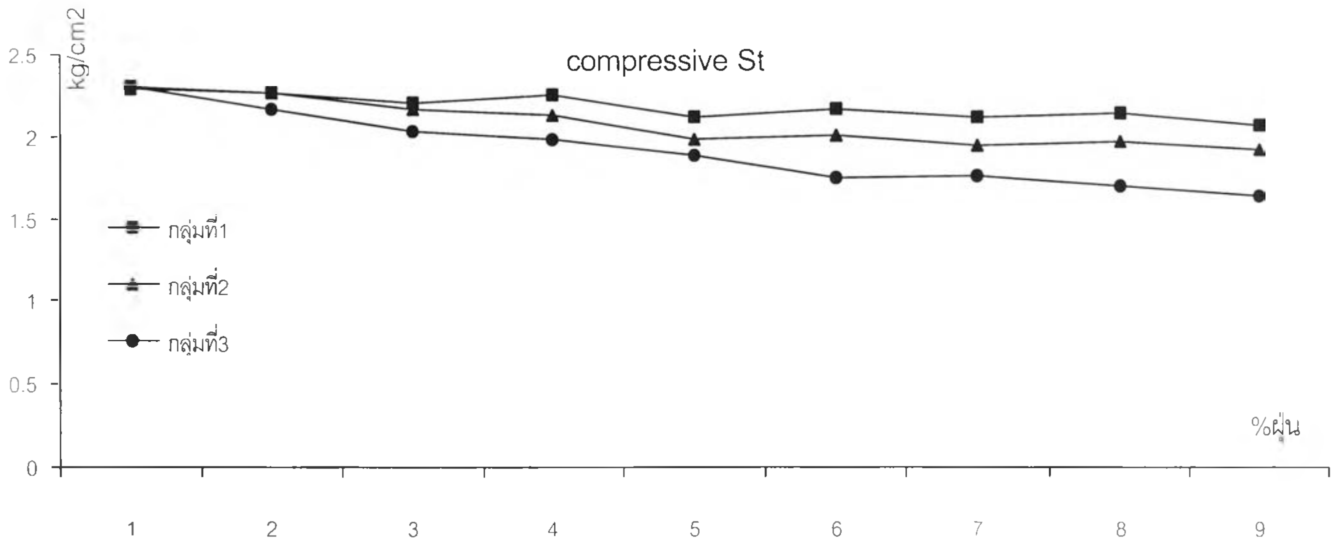


<u>รูปที่ 4.36 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า Compactability</u> (Fix ค่า Active clay=12 $\pm$ 0.5,Moisture = 3.2 $\pm$ 0.2)



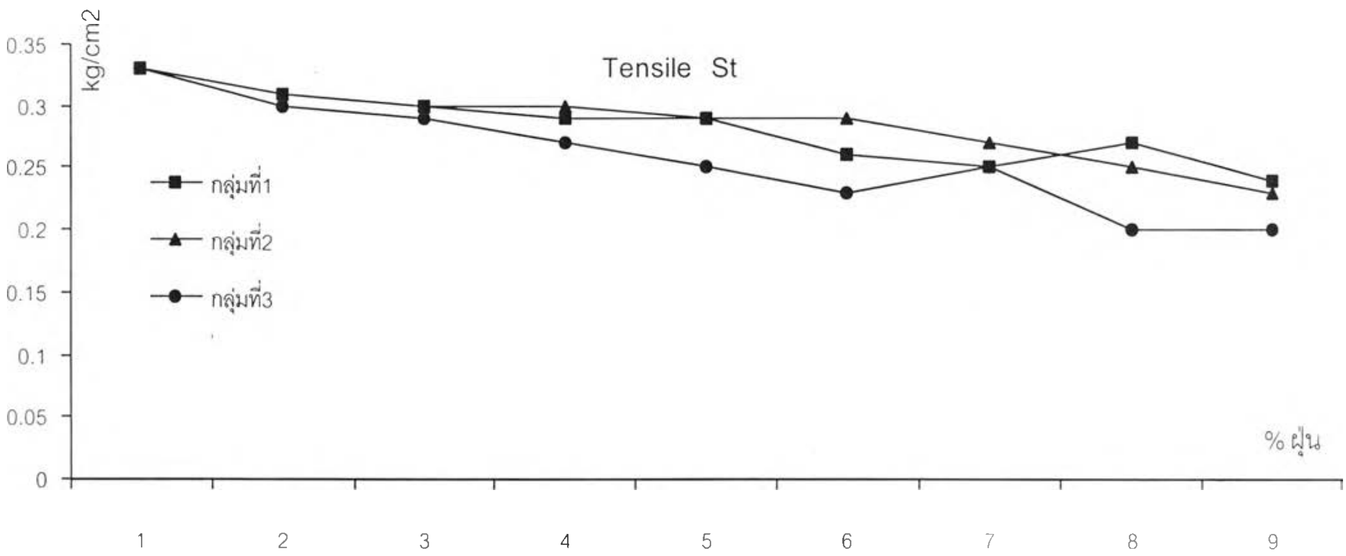
เมื่อเติมฝุ่นกลุ่มที่ 1 และ 2 ลงในทรายเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า Compactability มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยในขณะที่เมื่อเติมฝุ่นทรายกลุ่มที่ 3 เพิ่มมากขึ้นกลับทำให้ค่า Compactability มีแนวโน้มต่ำลงอย่างชัดเจน เนื่องจากปริมาณ Inactive clay ที่มีอยู่ในฝุ่นกลุ่มที่ 3 มากกว่าฝุ่นในกลุ่มที่ 1 และ 2 นอกจากนี้ยังมีขนาด grain size ที่เล็กกว่า ดังนั้นเมื่อเติมลงในทราย จึงเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้มากกว่า ซึ่งจะส่งผลให้ค่า Compactability ลดลง

<u>รูปที่ 4.37 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า Compressive</u> (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)



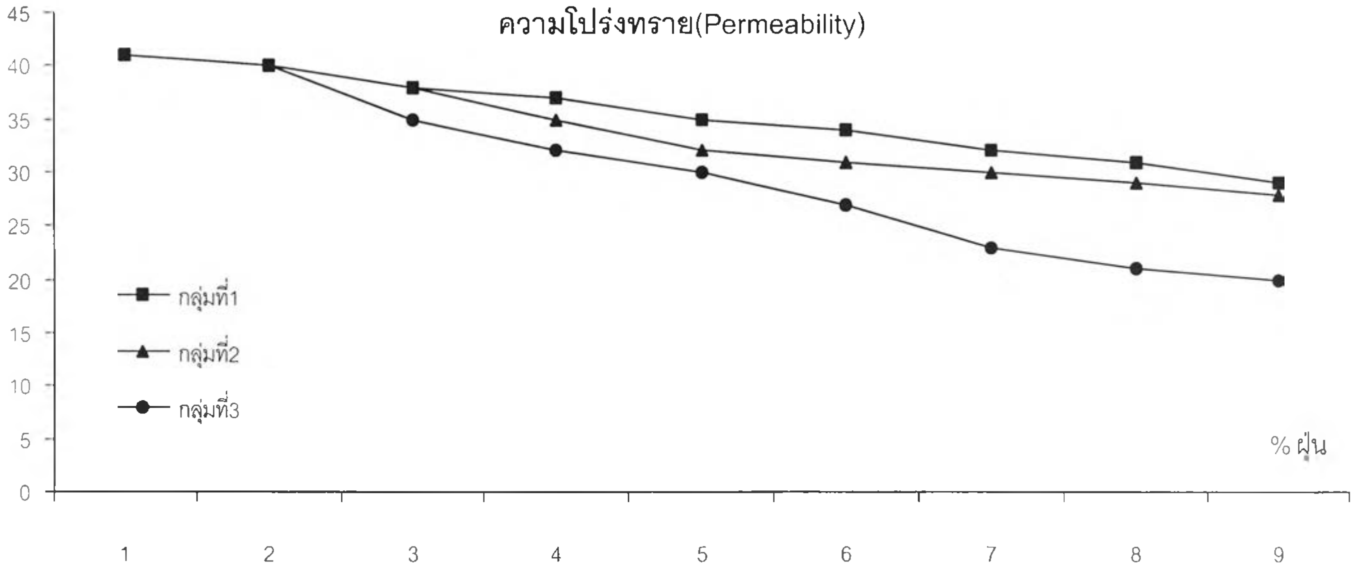
เมื่อเติมฝุ่นทรายแบบกลุ่มต่างๆลงในทรายเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Compressive strength ของทรายมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย โดยฝุ่นทรายกลุ่มที่ 3 มีผลต่อค่า Compressive strength มากกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณ Inactive clay ที่มีอยู่ในฝุ่นทรายแบบกลุ่มที่ 3 มีมากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 จึงทำให้ต้องใช้น้ำมากขึ้นในการสร้าง bonding ของ Bentonite (Active clay)เพื่อให้ได้ค่า Compressive strength โดยที่น้ำส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปกับ Inactive clay จึงทำให้ค่า Compressive strength ลดต่ำลง

รูปที่ 4.38 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า Tensile (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)



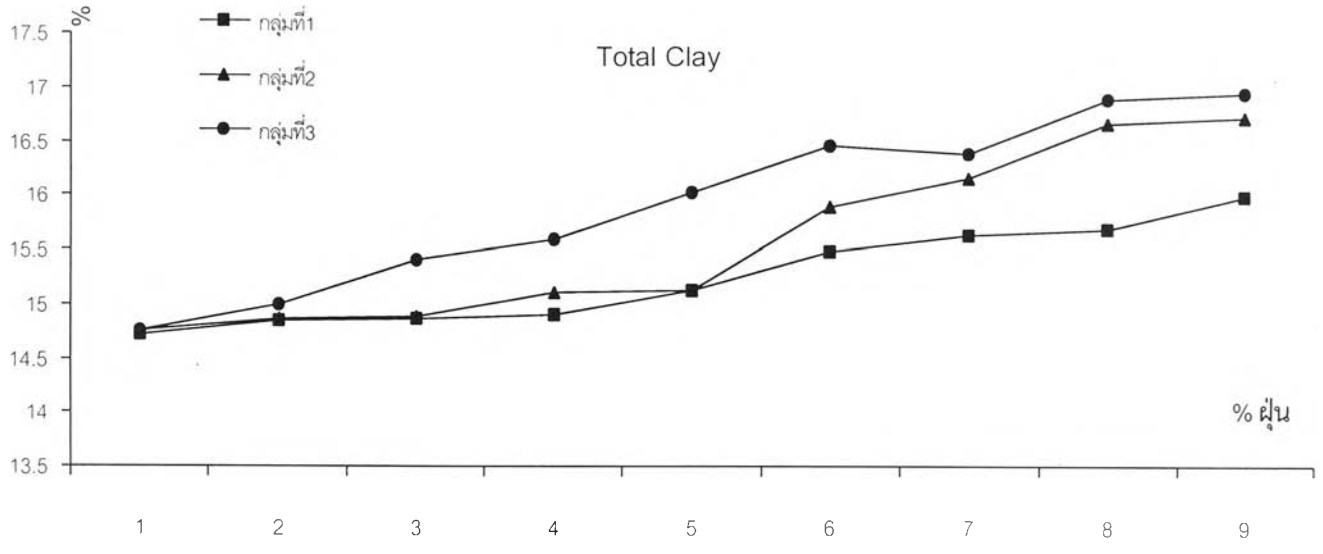
เมื่อเติมฝุ่นทรายแบบกลุ่มต่างๆลงในแบบทรายเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Tensile Strength ของทรายมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อย โดยฝุ่นทรายกลุ่มที่ 3 มีผลต่อค่า Tensile strength มากกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณ Inactive clay ที่มีอยู่ในฝุ่นทรายแบบกลุ่มที่ 3 มีมากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2 จึงทำให้ต้องใช้น้ำมากขึ้นในการสร้าง bonding ของ Bentonite (Active clay) เพื่อให้ได้ค่า Tensile strength โดยที่น้ำส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปกับ Inactive clay จึงทำให้ค่า Tensile strength ลดต่ำลง

<u>**รูปที่ 4.39 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า** Permeability</u> (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)



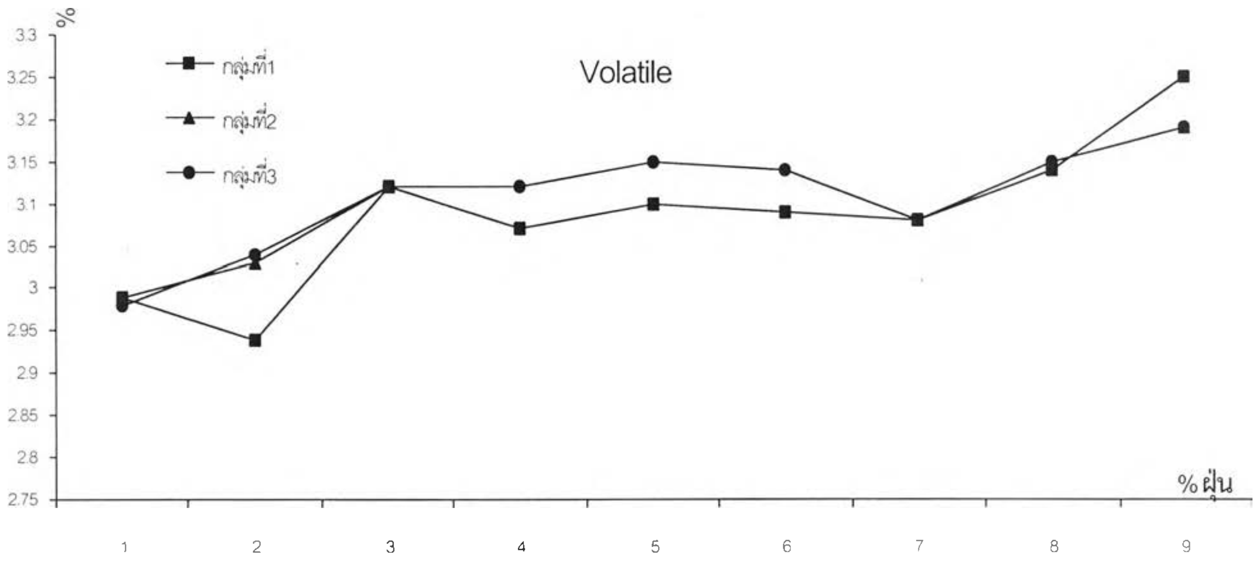
เมื่อเติมฝุ่นทรายเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Permeability มีแนวโน้มลดต่ำลงโดยเฉพาะฝุ่นทรายกลุ่มที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากขนาด Grain size เล็กกว่าและค่า Inactive clay มีค่ามากกว่าฝุ่นในกลุ่มที่ 1 และ 2 โดยจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้มากกว่า มีผลทำให้อากาศไหลผ่านได้น้อยกว่า ทำให้ค่า Permeability มีค่าต่ำลงมากกว่า

รูปที่ 4.40 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า Total clay (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)



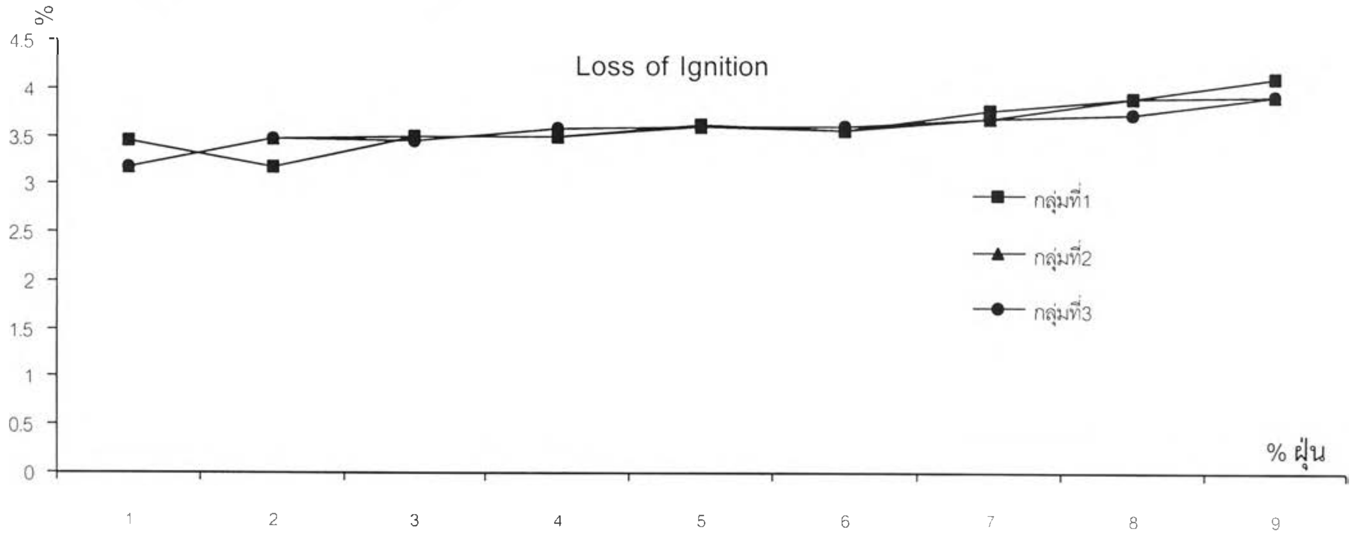
เมื่อเติมฝุ่นทรายกลุ่มต่างๆเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Total clay มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยฝุ่นกลุ่มที่ 3 มีแนวโน้มให้ค่า Total clay ที่สูงกว่ากลุ่มที่ 1 และ2 เนื่องจากมีปริมาณของ inactive clay มากกว่า

รูปที่ 4.41 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า Volatile (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)



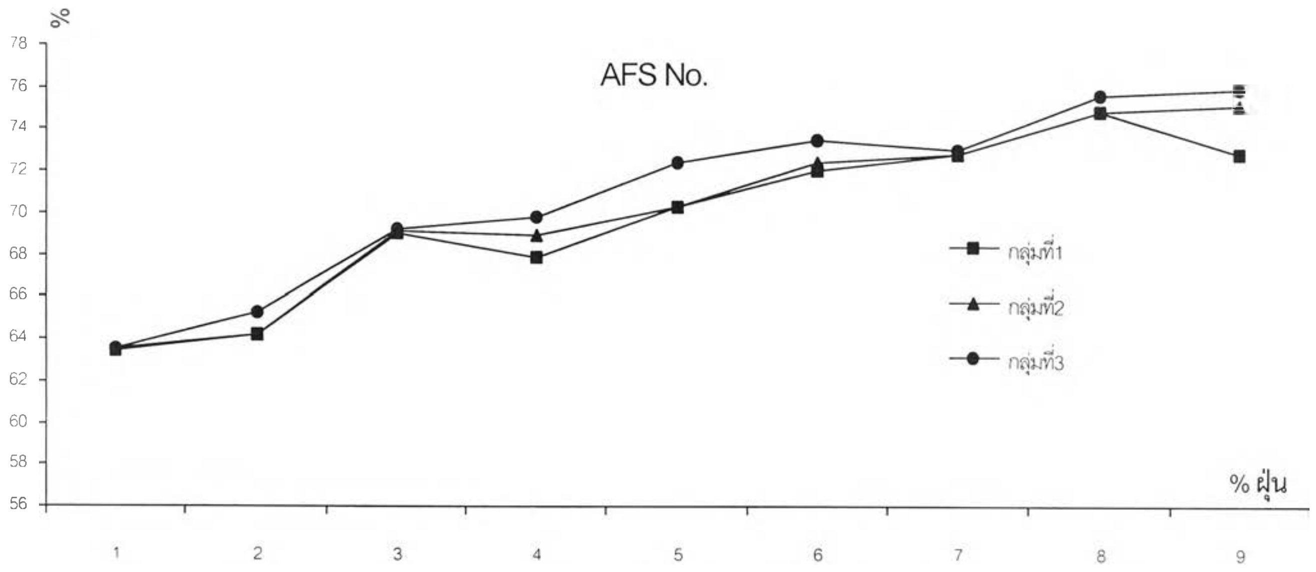
เมื่อเติมฝุ่นกลุ่มต่างๆเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Volatile matter เพิ่มมากขึ้น แต่ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเนื่องจากปริมาณของ Volatile matter ในฝุ่นทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกัน

<u>รูปที่ 4.42 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า Loss of Ignition</u> (Fix ค่า Active clay=12 $\pm$ 0.5,Moisture = 3.2 $\pm$ 0.2)



เมื่อเติมฝุ่นกลุ่มต่างๆเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Loss of Ignition เพิ่มมากขึ้น แต่ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเนื่องจากปริมาณของ Loss of Ignition ในฝุ่นทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.43 ผลกระทบของการเติมฝุ่นทรายแบบที่มีต่อค่า AFS No. (Fix ค่า Active clay=12 ± 0.5,Moisture = 3.2 ± 0.2)



เมื่อเติมฝุ่นทรายกลุ่มต่างๆเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า AFS NO.เพิ่มสูงขึ้นโดยฝุ่นกลุ่มที่ 3 มีผลกระทบมากที่สุด เนื่องจากมีความละเอียดและขนาด Grain size มากกว่ากลุ่มที่ 1 และ 2

4.2.5 การใช้สถิติวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่า Permeability จากการเติมฝุ่นทรายที่%ต่างๆและจากฝุ่นในแต่ละกลุ่ม

การหา Factorial Designs(Two-factor)ของค่า Permeabilityจากการเติมฝุ่นทรายที่%ต่างๆและจากฝุ่นในแต่ละกลุ่ม โดยคงที่ค่า %Active clay = 12 $\pm$ 0.5,%Moisture = 3.2 $\pm$ 0.2

Factor A ประเภทฝุ่น(กลุ่มของฝุ่น a = 3)

1.ฝุ่นกลุ่มที่ 1 (AFS.NO = 90.71 ,%Active clay = 15.5)

2.ฝุ่นกลุ่มที่ 2 (AFS.NO = 112.39 ,%Active clay = 23.14)

3.ฝุ่นกลุ่มที่ 3 (AFS.NO = 189.78 ,%Active clay = 43.64)

Factor B% ฝุ่นที่เติมแบ่งเป็น 3 ค่า คือ (b = 3)

1.ที่ %ฝุ่น = 1 %

2.ที่ %ฝุ่น = 5 %

3.ที่ %ฝุ่น = 9 %

ดังตารางที่ 4.22

ประเภทฝุ่น(I)	1%	5%	9%	Yi.
กลุ่มที่ 1	41	35	29	105
กลุ่มที่ 2	41	32	28	101
กลุ่มที่ 3	41	30	20	91
Y.j	123	97	77	297

$$SS_T = \varepsilon\varepsilon\ y^2_{ij} - y^2../ab$$

$$= (41)^2+(30)^2+(29)^2+\ldots(20)^2-(297)^2/9$$

$$= 10217-9801 = 416$$

$$SS_A = \varepsilon\ y^2_i/b - y^2../ab$$

$$= [(105)^2+(101)^2+(91)^2]/3 - (297)^2/9$$

$$= 34.7$$

$$SS_B = \varepsilon\ y^2_j/a - y^2../ab$$

$= [(123)^2+(97)^2+(77)^2]/3 - (297)^2/9$

$= 354.7$

$SS_{Resicual} = SS_T - SS_A - SS_B$

$= 26.6$

$SS_N = 0.63$

$SS_E = SS_{Residual} - SS_N$

$= 25.97$

ซึ่งจากการคำนวณข้างต้นสามารถเขียนเป็นตาราง ANOVA ได้ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ANOVA TABLE

SOURCE	SUM OF SQUARE	DEGREE OF FREEDOM	MEAN SQUARE	Fo	$F_{\alpha,v1,v2}$
ประเภทฝุ่น	34.7	$2(v_1)$	17.35	2.003	9.55
% ฝุ่น	354.7	$2(v_1)$	177.35	*20.489*	9.55
Non additive	0.63	$1(v_1)$	0.63	0.07	10.13
error	25.97	$3(v_2)$	8.66		
Total	416	8			

**Significant ที่ 5 % $\alpha = 0.05$

จากตาราง ANOVA สรุปได้ว่า % ฝุ่นมีผลต่อค่า ความโปร่ง(Permeability)มากที่สุด

จากการใช้สถิติในการหาผลกระทบที่มีต่อค่าความโปร่ง(Permeability)ระหว่าง% การเติมฝุ่นกับ ฝุ่นในแต่ละกลุ่ม พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความโปร่ง(Permeability)มากที่สุดคือ % การเติมฝุ่นและยังพบว่า ฝุ่นกลุ่มที่ 1 เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานมากที่สุด(มีผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติทรายน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ) ดังนั้นได้ทดลองเติมฝุ่น กลุ่มที่ 1 โดยปรับ %ฝุ่น และคงที่ส่วนผสมอื่นๆโดยปรับ %ฝุ่นที่ 0%,1%,5%,10%,11%และควบคุมค่า%Active clay=10+0.5 %และ %Moisture = 3.2 + 0.5 %และได้เปลี่ยนทราย Return โดยใช้ทราย Return ที่ได้จากสายการผลิตปัจจุบัน(ทราย Return เก่า พบว่ามีค่าความโปร่ง(Permeability) ต่ำกว่า STD >90) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.21 ดังนี้

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการทดลองปรับ%ฝุ่นโดยใช้ทรายจากสายการผลิตปัจจุบัน

% ฝุ่น / ค่าที่ทดสอบ	0	1	5	10	*11*	R-SQUARE
1.Compactability(%)CB	42	41	42	39	38	0.76
2.Temperature(C)	32	32	32	33	31	0.05
3.Compressive Strength(kg/cm ^{2})	2.4	2.35	2.27	2.1	1.93	0.95
4.Tensile Strength (kg/cm ^{2})	0.3	0.3	0.29	0.27	0.27	0.88
5.Permeability	100	95	92	89	*78*	0.92
6.Moisture(%)	3.2	3	2.9	3.1	2.8	0.49
7.Active clay(%)	10.3	10	10.3	10.3	*10.94*	0.52
8.Total clay(%)	12.9	13.27	13.4	13.97	14.2	0.97
9.Volatile matter(%)	1.92	2.16	*2.54*	*2.57*	*2.81*	0.95
10.Loss of Ignition(%)	2.79	2.98	*3.02*	*3.25*	*3.63*	0.92
11.AFS NO.	*65.74*	*67.56*	*70.04*	*71.32*	*70.7*	0.85

นอกจากนี้ยังได้ทดสอบค่าคุณสมบัติทรายก่อนที่จะทำการทดลอง ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.25

ค่าคุณสมบัติทราย	Greensand	dust
Active clay (%)	8.75	18.75
Total clay (%)	10.59	
Volatile matter (%)	1.84	
Loss of Ignition	2.44	
AFS NO.	65.86	100.48

จากผลการทดลอง พบว่าค่าความโปร่ง(Permeability)จากการเติมฝุ่นที่ 10 %จะมีค่าต่ำกว่า STD (90-160) จึงได้มีการทดลองเพิ่มเพื่อเพิ่มความโปร่ง(Permeability)ทรายโดยได้ทดลองเพิ่ม 2 การทดลองคือ

-การทดลองเพิ่มค่าความโปร่ง(Permeability)โดยการนำทรายไปอบที่อุณหภูมิ 110 C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการทดลองอบทรายก่อนหลังเพื่อเพิ่มความโปร่ง

condition / ค่าที่ทดสอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.Compactability(%)CB	34	33
2.Temperature(C)	34	31
3.Compressive Strength(kg/cm ^{2})	2.27	2.21
4.Tensile Strength (kg/cm ^{2})	0.3	0.3
5.Permeability	*95*	*98*
6.Moisture(%)	3.2	2.88
7.Active clay(%)	10.3	10.3
8.Total clay(%)	15.68	14.01
9.Volatile matter(%)	2.58	2.5
10.Loss of Ignition(%)	3.85	3.08
11.AFS NO.	74.7	72.74

-การทดลองเพิ่มค่าความโปร่ง(Permeability)โดยการเพิ่มปริมาณการเติมทรายใหม่ที่ 1%,10%,20% ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการทดลองเพิ่ม % New sand เพื่อเพิ่มความโปร่ง

% ทรายใหม่ / ค่าที่ทดสอบ	1	10	20
1.Compactability(%)CB	34	33	33
2.Temperature(C)	39	39	40
3.Compressive Strength(kg/cm ^{2})	33	32	32
4.Tensile Strength (kg/cm ^{2})	2.1	1.75	1.8
5.Permeability	*89*	*91*	*93*
6.Moisture(%)	3.1	2.8	2.8
7.Active clay(%)	10.3	10.3	10.3
8.Total clay(%)	13.97	14.1	13.84
9.Volatile matter(%)	2.57	2.5	2.63
10.Loss of Ignition(%)	3.25	3.1	3.25
11.AFS NO.	71.32	68.32	69.9

โดยที่จากผลการทดลองทั้ง 2 condition พบว่าสามารถเพิ่มค่าความโปร่งทรายได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิต

4.2.6 ผลการประยุกต์ใช้ฝุ่นทรายแบบในสายการผลิตจริง

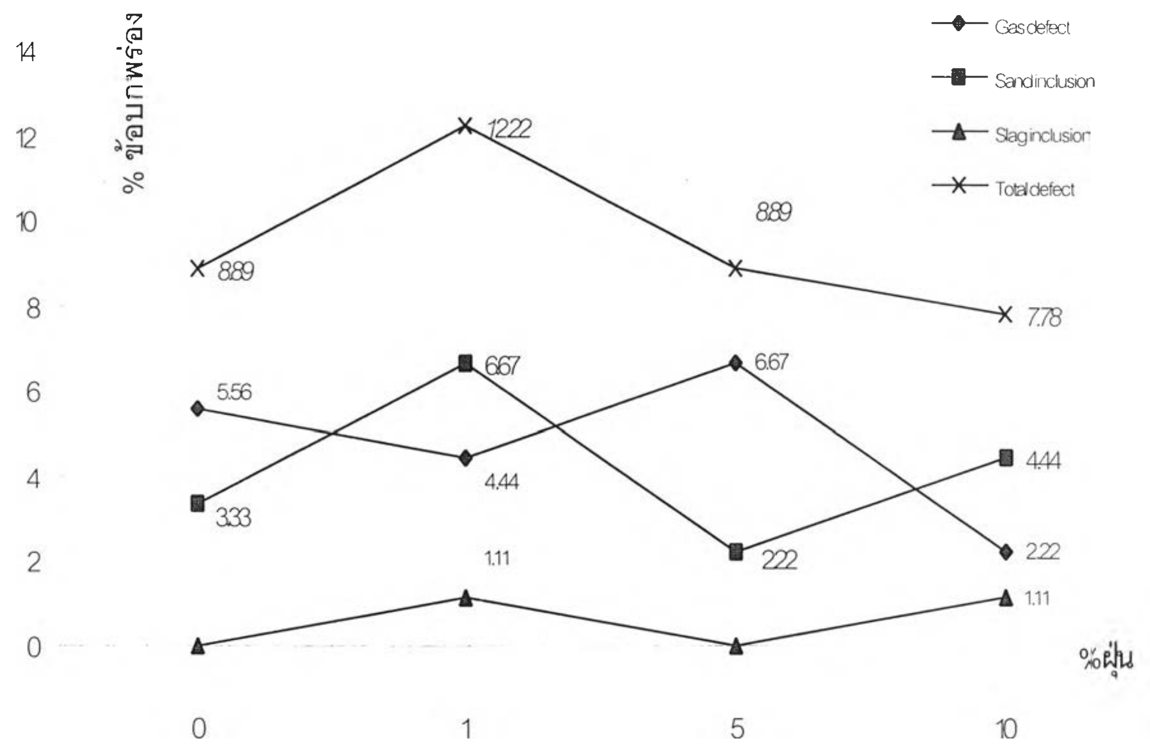
ตารางที่ 4.28 แสดงผลการทดลองปรับ%ฝุ่นในสายการผลิตจริง

% ฝุ่น / ค่าที่ทดสอบ	0	1	5	10	R-SQUARE
1.Compactability(%)CB	43	42	40	41	0.46
2.Temperature(C)	43	40	42	43	0.17
3.Compressive Strength(kg/cm ^{2})	2.13	2.25	2.1	1.89	0.8
4.Tensile Strength (kg/cm 2)	0.3	0.3	0.28	0.27	0.96
5.Permeability	115	110	96	87	0.97
6.Moisture(%)	2.89	3.1	3.12	3.43	0.88
7.Active clay(%)	8.7	9.4	10.03	10.78	0.94
8.Total clay(%)	10.38	11.58	13.52	14.38	0.9
9.Volatile matter(%)	1.94	2.42	2.42	1.99	0.03
10.Loss of Ignition(%)	2.6	2.97	3.05	3.27	0.78
11.AFS NO.	64.72	67.53	70.15	72.34	0.9

ตารางที่ 4.29 แสดงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน C/P/B 045 จากการเพิ่ม % ฝุ่นในสายการผลิตจริง

% ฝุ่น	0		1		5		10	
ข้อบกพร่อง	Pcs	% ข้อบกพร่อง	Pcs	% ข้อบกพร่อง	Pcs	% ข้อบกพร่อง	Pcs	% ข้อบกพร่อง
Gas defect	5	5.56	4	4.44	6	6.67	2	2.22
Sand inclusion	3	3.33	6	6.67	2	2.22	4	4.44
Slag inclusion	0	0.00	1	1.11	0	0.00	1	1.11
Total defect	8	8.89	11	12.22	8	8.89	7	7.78

โดยที่ใน 1 โม่ผสมสามารถปั้นแบบได้ทั้งสิ้น 30 แบบและใน 1 แบบมีชิ้นงาน 3 ชิ้น ดังนั้นใน 1 โม่ผสม จะมีชิ้นงานทั้งหมด 90 ชิ้น



รูปที่ 4.44 แสดงกราฟ ข้อบกพร่องของชิ้นงาน C/P/B 045 ที่ ฝุ่น ณ % ต่างๆ

จากการใช้สถิติวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ%ฝุ่นที่เติมต่อข้อบกพร่องของชิ้นงาน(ใช้ โปรแกรม SPSS)โดยวิเคราะห์แบบ LINEAR REGRESSION ซึ่งได้ข้อสรุปว่า การเพิ่ม %ฝุ่นไม่มีผลต่อข้อบกพร่องของชิ้นงาน (ภายใต้เงื่อนไขการใช้ฝุ่นกลุ่มที่ 1 ฝุ่นหยาบโดยมีค่า AFS NO. =90.71 และ % Active clay = 15.5 %)

4.3 ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้เมื่อมีการนำฝุ่นทรายกลับมาใช้ใหม่(ทดแทนการเติม bentonite)

เนื่องจาาปริมาณฝุ่นที่ถูกดูดออกมาจากระบบ Greeen sand system ของสายการผลิตมีปริมาณ 2,500 kg/วัน ดังนั้นในสายการผลิตจริงสามารถเติมฝุ่นลงไปผสมในทรายแบบได้สูงสุดประมาณ 1 % ต่อโม่ (คิดที่ใน 1 วันผสมทรายได้ 200 โม่) โดยที่ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้แสดงใน ตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าใช้จ่ายที่ลดได้เนื่องจากการทดแทน Bentonite เมื่อนำฝุ่นทรายแบบกลุ่มต่างๆ กลับมาใช้ใหม่

% ฝุ่นที่เติม	ค่าใช้จายที่สามารถลดได้จากการทดแทน bentonite						ปริมาณฝุ่นที่ใช้
	ฝุ่นกลุ่มที่ 1 (15.5 % Active clay)		ฝุ่นกลุ่มที่ 2 (23.14 % Active clay)		ฝุ่นกลุ่มที่ 3 (43.64 % Active clay)		
	บาท/โม่	บาท/เดือน	บาท/โม่	บาท/เดือน	บาท/โม่	บาท/เดือน	kg/โม่
0.1	1.81	7,254	2.71	10,830	5.11	20,424	1.3
0.2	3.63	14,508	5.41	21,659	10.21	40,847	2.6
0.3	5.44	21,762	8.12	32,489	15.32	61,271	3.9
0.4	7.25	29,016	10.83	43,318	20.42	81,694	5.2
0.5	9.07	36,270	13.54	54,148	25.53	102,118	6.5
0.6	10.88	43,524	16.24	64,977	30.64	122,541	7.8
0.7	12.69	50,778	18.95	75,807	35.74	142,965	9.1
0.8	14.51	58,032	21.66	86,636	40.85	163,388	10.4
0.9	16.32	65,286	24.37	97,466	45.95	183,812	11.7
1	*18.14*	*72,540*	*27.07*	*108,295*	*51.06*	*204,235*	13

โดยอ้างอิงที่ : Bentonite (Volclay) มีราคาประมาณ 9 บาท/kg

: ใน 1 โม่ผสมทรายสามารถผสมทรายได้ 1,300 kg

: ใน 1 วันทำงานสายการผลิตผสมทรายได้ 200 โม่

: ใน 1 เดือนทำงาน 20 วัน

โดยที่มีวิธีการคิดคำนวณ ดังนี้

สูตรการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้ต่อ 1โม่ = A x B x C x D บาท/โม่

สูตรการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้ต่อเดือน = (A x B x C x D) x E x F

A = % ฝุ่นที่เติม

B = น้ำหนักทรายที่ใช้ผสมใน 1 โม่ (คิดที่ 1,300 kg)

C = % Active clay ที่มีอยู่ในฝุ่นทรายในแต่ละกลุ่มโดยกลุ่มที่ 1 ,2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 15.5 %,23.14 % และ 43.64 % ตามลำดับ

D = ราคาของ bentonite ต่อ kg (คิดที่ 9 บาท/kg)

E = จำนวนโม่ทรายที่ผลิตได้ต่อวัน (คิดที่ 200 โม่)

F = จำนวนวันทำงานต่อเดือน (คิดที่ 20 วันทำงาน)

ตัวอย่างการคำนวณได้แสดงไว้ ดังต่อไปนี้ สมมติว่ามีการเติมฝุ่นทรายกลุ่มที่ 1 ที่อัตรา 0.3 % ต่อโม่ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้แสดงได้ดังนี้

สูตรการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้ต่อ 1โม่ = A x B x C x D บาท/โม่

A = 0.3 %

B = 1300 kg

C = 15.5 %

D = 9 บาท/kg

แทนค่าจะได้ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้จากการเติมฝุ่น = 5.44 บาท/โม่ หรือเท่ากับ 21,762 บาท/เดือน