

ภาคผนวก ก
ตารางประกอบ

ตาราง ก-1 ขนาดผลของทรายที่ใช้ในงานวิจัย

เปอร์เซ็นต์แรง	ตัวอย่างที่ 1			ตัวอย่างที่ 2		
	% ค้าง	% ค้างสะสม	% ผ่านสะสม	% ค้าง	% ค้างสะสม	% ผ่านสะสม
4	1.13	1.13	98.87	1.32	1.32	98.68
8	4.56	5.69	94.31	4.87	6.19	93.81
16	13.51	19.20	80.80	11.92	18.10	81.90
30	27.35	46.55	53.45	24.24	42.34	57.66
50	34.74	81.29	18.71	35.85	78.19	21.81
100	15.88	97.18	2.82	18.60	96.79	3.21
ถาด	2.82	100.00	0.00	3.21	100.00	0.00
FM	2.51			2.43		
เฉลี่ย FM	2.47					

ตาราง ก-2 ค่าความชื้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

ทดสอบครั้งที่	น้ำหนักปูนซีเมนต์ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)	ระยะเข็มจม (มม.)		
				ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1	650	170	26.15	4.5	4	4
2	650	180	27.69	10	9	13
3	650	190	29.23	17	19	20
4	650	200	30.77	27	25	30
ค่าความชื้นเหลวปกติ (%)				27.69	27.85	27.18
ค่าเฉลี่ย (%)				27.6		

ตาราง ก-3 ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

เวลาที่ผ่านไป (นาทีก)	ระยะเข็มจม (มม.)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
30	40	40	40
45	40	40	40
60	40	40	40
75	40	40	40
90	40	40	40
105	38	34	37
120	36	30	34
135	13	12	15
150	5	3	5
165	1	1	1
180	0.5	1	1
ระยะเวลาการก่อตัว (นาทีก)	127	124	127
ค่าเฉลี่ย (นาทีก)	126		

ตาราง ก-4 ทดสอบแรงดึงของเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม.

ตัวอย่างที่ทดสอบ				ขนาดประสิทธิภาพ ใช้ถ.พ.เหล็ก = 7.85 กรัม/ซม. ³		แรงดึง (กก.)		แรงกันดึง (กก./ซม. ³)		ความยืด (Elongation)			
ตัวอย่างที่	ขนาดระบุ (มม.)	ความยาว (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	เนื้อที่หน้าตัด (ซม. ²)	ที่จุดลลาก	ที่จุดสูงสุด	ที่จุดลลาก	ที่จุดสูงสุด	ความยาวพัก (มม.)	ระยะหลัง ทดสอบ (มม.)	ยืดออก (มม.)	ความยืด ร้อยละ (%)
1	DB12	50.4	400	11.3	1.01	4062	6437	4022	6373	60	74	14	23
2	DB12	51.5	411	11.4	1.02	4062	6437	3982	6311	60	77	17	28
3	DB12	56.8	452	11.4	1.01	4087	6462	4047	6398	60	76	16	27
เฉลี่ย				11.4	1.01	4070	6445	4017	6361		76	16	26

ตาราง ก-5 กำลังรับแรงอัดของปูนก่อ

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กรัม)	ความสูงเฉลี่ย (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (ซม.)	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	แรงอัดเฉลี่ย (กก.)	กำลังอัด (กก./ซม. ²)	เทียบเป็นกำลังอัดของ ลูกบาศก์ 5x5x5 ซม. (กก./ซม. ³)
M1	3141	20.2	10.1	79.3	7954	100	96
M2	3173	20.2	10.0	78.5	8578	109	105
M3	3163	20.1	10.1	79.3	9701	122	117
M4	3148	20.1	10.1	79.3	8827	111	107
M5	3300	19.9	10.1	80.1	13944	174	167
M6	3356	20.1	10.1	80.1	11074	138	133
M7	3266	20.0	10.1	79.3	12696	160	154
M8	3342	20.0	10.0	78.5	18437	235	225
M9	3350	20.0	10.0	78.5	19560	249	239
M10	3334	20.4	10.0	78.5	13445	171	164
M11	3209	20.0	10.1	79.3	12072	152	146
M12	3211	19.9	10.1	79.3	13694	173	166
M13	3386	20.3	10.0	78.5	16066	205	196
M14	3306	20.2	10.0	78.5	13944	178	170
M15	3402	20.1	10.0	78.5	23803	303	291
M16	3281	20.0	10.0	78.5	15816	201	193
M17	3300	19.9	10.2	80.9	8328	103	99
M18	3215	19.9	10.0	78.5	10949	139	134
M19	3259	20.0	10.0	78.5	15442	197	189
M20	3361	20.4	10.1	79.3	9950	125	120
M21	3338	20.1	10.1	79.3	10949	138	132
M22	3407	20.3	10.2	80.9	15816	195	188
M23	3221	19.8	10.1	79.3	12197	154	148
เฉลี่ย						167	160
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						49	47

หมายเหตุ: การเทียบกำลังของปูนก่อจากทรงกระบอกขนาด 10x20 ซม.เป็นลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 ซม.ใช้อัตราส่วน 0.96 ซึ่งได้จากการทดสอบปูนกรอก

ตาราง ก-6 กำลังรับแรงอัดของปูนรอกขนาด 10x20 ซม.

รหัส	น้ำหนัก (กรัม)	ความสูงเฉลี่ย (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (ซม.)	พื้นที่หน้าตัด (ซม. ²)	แรงอัดเฉลี่ย (กก.)	กำลังอัด (กก. ซม. ²)
G1	3439	20.0	10.0	78.5	14568	185
G2	3431	20.0	10.0	78.5	19685	251
G3	3429	20.1	10.1	79.3	15067	190
G4	3397	20.0	10.0	77.8	16939	218
G5	3469	20.3	10.0	78.5	14443	184
G6	3479	20.1	10.0	78.5	21931	279
G7	3477	20.1	10.1	79.3	14318	180
G8	3500	20.2	10.1	79.3	15941	201
G9	3427	20.1	10.0	78.5	20933	267
G10	3380	20.0	10.0	77.8	14568	187
G11	3369	20.2	10.1	79.3	18437	232
G12	3383	20.0	10.1	79.3	18686	236
G13	3409	19.9	10.1	79.3	20059	253
G14	3357	20.0	10.1	79.3	17189	217
G15	3444	20.2	10.1	80.1	17189	215
G16	3470	20.3	10.1	79.3	18437	232
G17	3413	20.2	10.1	79.3	17688	223
G18	3463	20.3	10.0	78.5	16814	214
G19	3363	19.9	10.0	78.5	14069	179
G20	3309	20.1	10.0	78.5	14693	187
G21	3371	20.0	10.1	79.3	14069	177
G22	3279	20.0	10.1	79.3	13819	174
G23	3376	19.8	10.1	79.3	13694	173
G24	3397	20.0	10.0	78.5	22555	287
G25	3383	20.2	10.1	79.3	13694	173
G26	3341	20.2	10.0	78.5	13694	174
G27	3428	20.5	10.0	78.5	14818	189
G28	3464	20.2	10.1	79.3	23179	292
G29	3459	20.1	10.1	80.1	20808	260
G30	3409	20.0	10.0	78.5	23429	298
G31	3395	20.0	10.1	79.3	19934	251
G32	3412	19.9	10.1	80.1	21307	266
เฉลี่ย						220
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						39

ตาราง ก-8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (กก.)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังอัดโดยหน้าตัดสุทธิ (กก./ซม. ²)	กำลังอัดโดยหน้าตัดรวม (กก./ซม. ²)
2	7083	39528	165	91
7	7135	36408	152	84
8	7416	46392	193	107
11	6986	38280	160	88
12	7192	42024	175	97
14	7285	41400	173	95
16	7056	36408	152	84
19	7107	42024	175	97
20	7131	38904	162	89
21	7382	40152	167	92
22	7349	46392	193	107
24	7239	38405	160	88
26	7054	39528	165	91
27	7197	46642	194	107
28	7343	48139	201	111
29	7099	38405	160	88
30	7610	37157	155	85
31	7111	38405	160	88
32	7143	38530	161	89
33	7158	37906	158	87
34	7448	44645	186	103
35	7119	47016	196	108
เฉลี่ย	7211		171	94
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	152		15	9

ตาราง ก-9 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

ตัวอย่างที่	น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง (กรัม)	น้ำหนักก้อนตัวในน้ำ (กรัม)	น้ำหนักก้อนแช่แห้ง (กรัม)	น้ำหนักปกติ (กรัม)	การดูดกลืนน้ำ (กรัม)	% ดูดกลืนน้ำ	% ความชื้น
1	7453	4116	6999	7130	136.05	6.49	28.85
2	7414	4091	6978	7083	131.21	6.25	24.08
3	7754	4334	7333	7477	123.10	5.74	34.20
4	7523	4159	7083	7220	130.80	6.21	31.14
5	7641	4255	7208	7329	127.88	6.01	27.94
6	7457	4115	6965	7083	147.22	7.06	23.98
7	7438	4117	7000	7135	131.89	6.26	30.82
8	7710	4304	7293	7416	122.43	5.72	29.50
9	7539	4144	7037	7165	147.86	7.13	25.50
10	7633	4247	7213	7338	124.04	5.82	29.76
11	7400	4042	6873	6986	156.94	7.67	21.44
12	7526	4162	7076	7192	133.77	6.36	25.78
13	7504	4113	7024	7142	141.55	6.83	24.58
14	7617	4221	7169	7285	131.92	6.25	25.89
15	7683	4279	7252	7377	126.62	5.94	29.00
16	7398	4058	6985	7056	123.65	5.91	17.19
17	7571	4204	7130	7278	130.98	6.19	33.56
18	7533	4163	7084	7228	133.23	6.34	32.07
19	7436	4109	6997	7107	131.95	6.27	25.06
20	7474	4113	7010	7131	138.05	6.62	26.08
21	7720	4285	7285	7382	126.64	5.97	22.30
22	7615	4249	7225	7349	115.86	5.40	31.79
23	7290	4022	6877	6928	126.38	6.01	12.35
24	7559	4170	7135	7239	125.11	5.94	24.53
25	7368	4071	6959	7065	124.05	5.88	25.92
26	7375	4072	6954	7054	127.46	6.05	23.75
27	7499	4147	7093	7197	121.12	5.72	25.62
28	7619	4234	7213	7343	119.94	5.63	32.02
29	7409	4089	6981	7099	128.92	6.13	27.57
30	7891	4430	7509	7610	110.37	5.09	26.44
31	7382	4088	6962	7111	127.50	6.03	35.48
32	7511	4136	7050	7143	136.59	6.54	20.17
33	7513	4135	7066	7158	132.33	6.33	20.58
34	7707	4298	7329	7448	110.88	5.16	31.48
35	7385	4089	6978	7119	123.48	5.83	34.64
เฉลี่ย	7530	4167	7095	7212	129.37	6.14	26.89
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	131	93	143	148	9.44	0.51	5.01

ตาราง ก-10 พื้นที่หน้าตัดสุทธิคอนกรีตบดล็อก

ตัวอย่างที่	ความสูงเฉลี่ย (ซม.)	น้ำหนักก้อนตัวหัวแห้ง (กรัม)	น้ำหนักก้อนตัวในน้ำ (กรัม)	พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย (ซม. ²)
1	14.0	7453	4116	238
2	14.0	7414	4091	237
3	14.0	7754	4334	244
4	14.1	7523	4159	239
5	14.0	7641	4255	242
6	13.9	7457	4115	240
7	13.9	7438	4117	239
8	14.0	7710	4304	243
9	14.0	7539	4144	243
10	14.1	7633	4247	240
11	13.9	7400	4042	242
12	13.9	7526	4162	242
13	14.1	7504	4113	240
14	14.0	7617	4221	243
15	14.0	7683	4279	243
16	14.0	7398	4058	239
17	14.1	7571	4204	239
18	14.0	7533	4163	241
19	14.0	7436	4109	238
20	14.0	7474	4113	240
21	14.1	7720	4285	244
22	14.1	7615	4249	239
23	14.0	7290	4022	233
24	14.1	7559	4170	240
25	14.0	7368	4071	236
26	13.9	7375	4072	238
27	14.0	7499	4147	239
28	14.0	7619	4234	242
29	14.0	7409	4089	237
30	14.1	7891	4430	245
31	14.0	7382	4088	235
32	14.1	7511	4136	239
33	14.0	7513	4135	241
34	14.1	7707	4298	242
35	13.9	7385	4089	237
เฉลี่ย				240
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				3

ตาราง ก-11 คุณสมบัติทั่วไปจากการทดสอบปริซึมคอนกรีตบล็อก

ตัวอย่าง	กำลัง (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)
1	51	13800
2	90	19400
3	69	17100
4	56	9980
5	40	9700
เฉลี่ย	61	14000

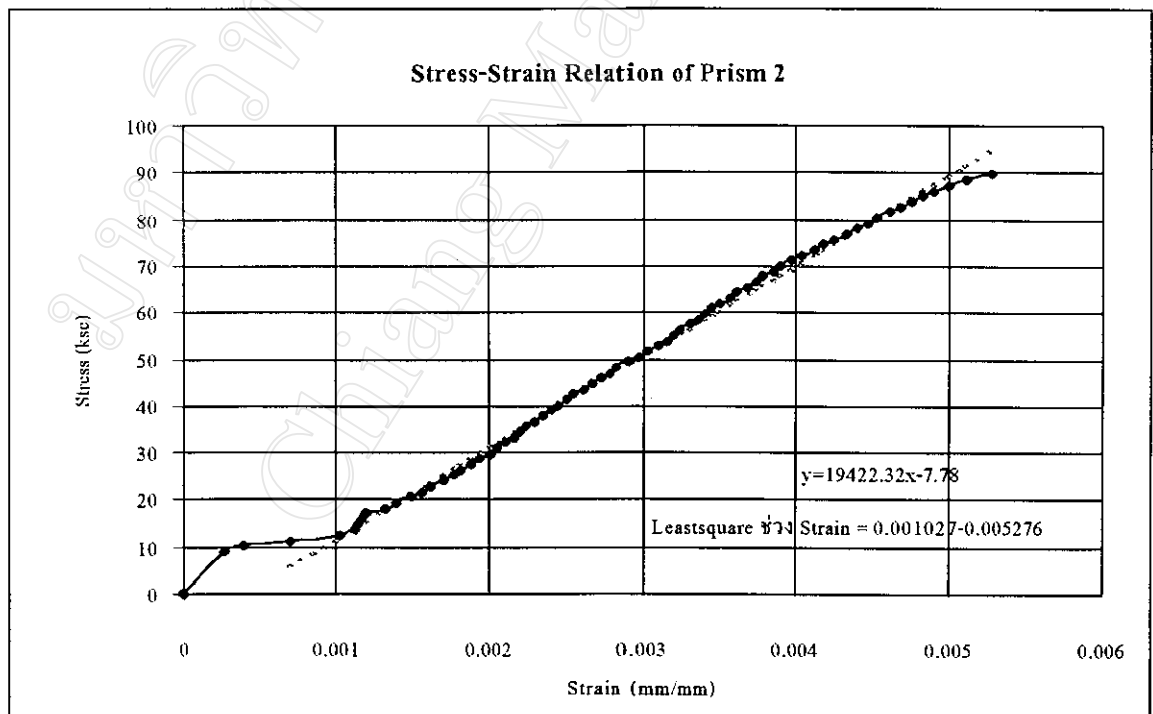
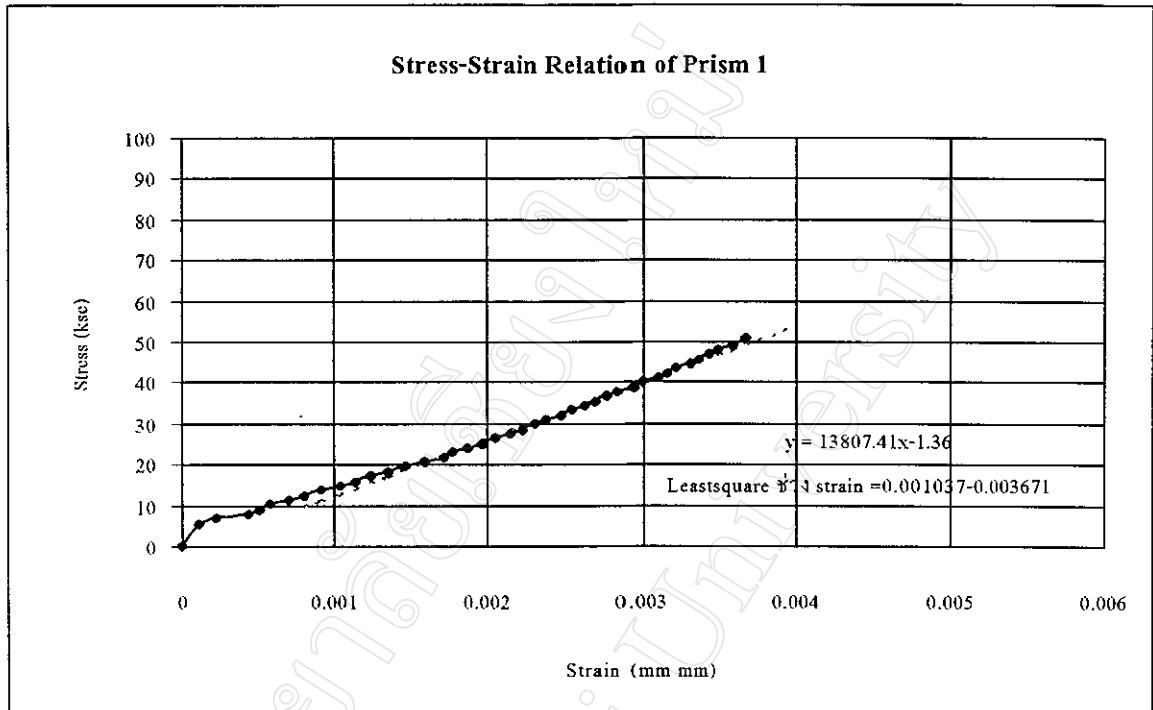
ตาราง ก-12 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกก้อนเดียว

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (ก.)	ความสูงเฉลี่ย (ซม.)	กำลัง (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย (กก./ซม. ²)
BME1	7427	13.97	89	36900	47200
BME2	7573	13.77	117	62600	
BME3	7168	13.87	106	43100	
BME4	7064	13.77	105	46200	

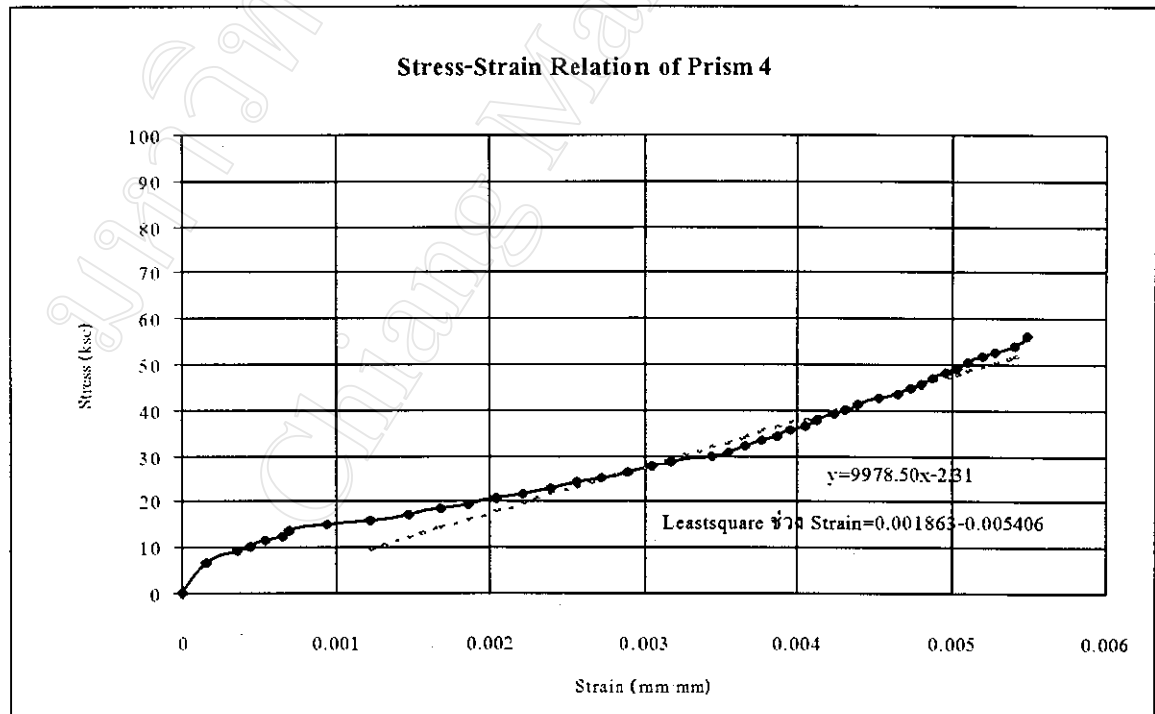
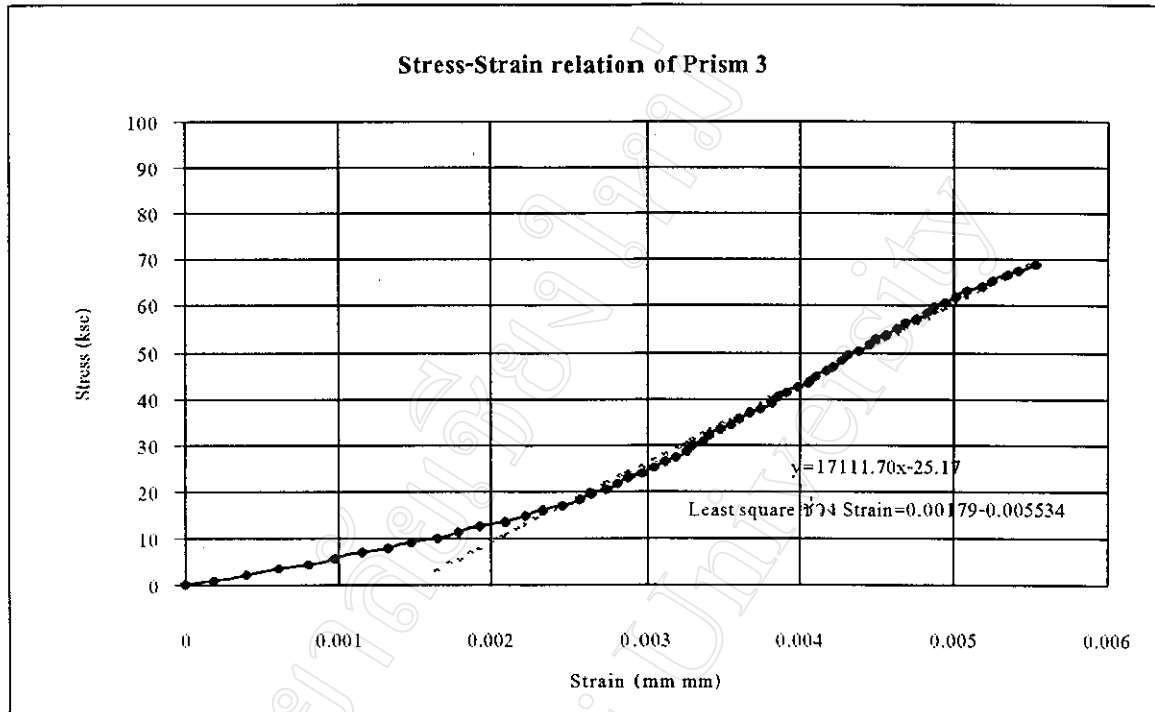
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ภาคผนวก ข

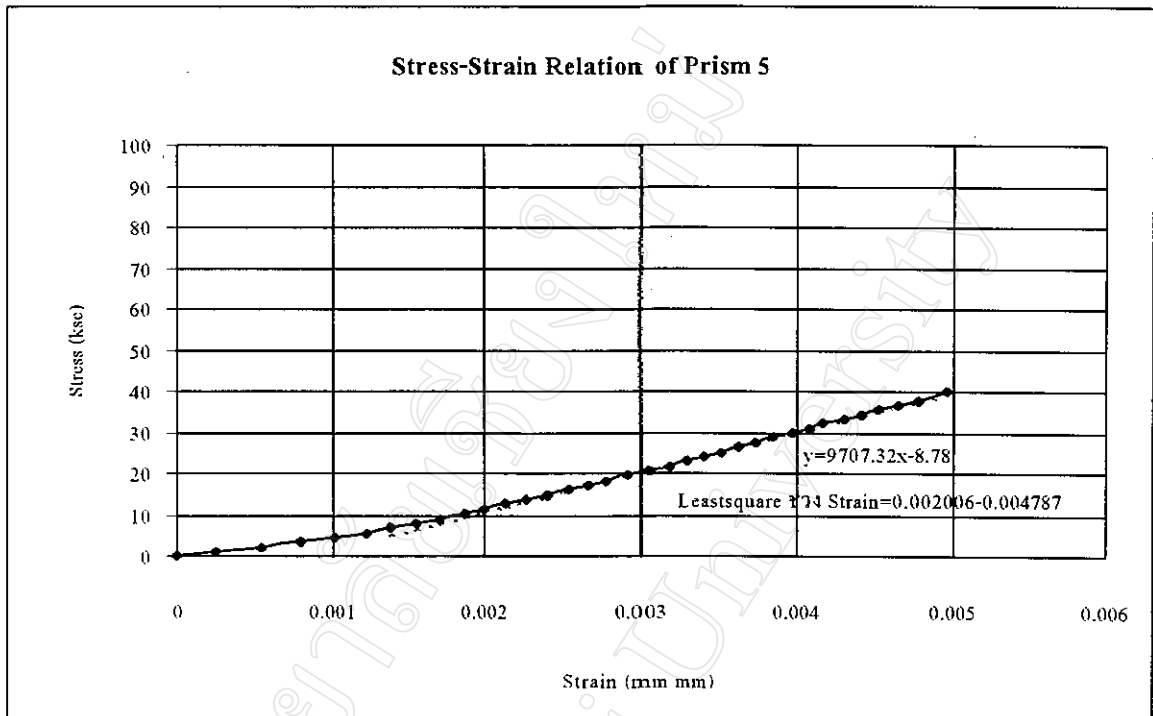
ภาพประกอบ



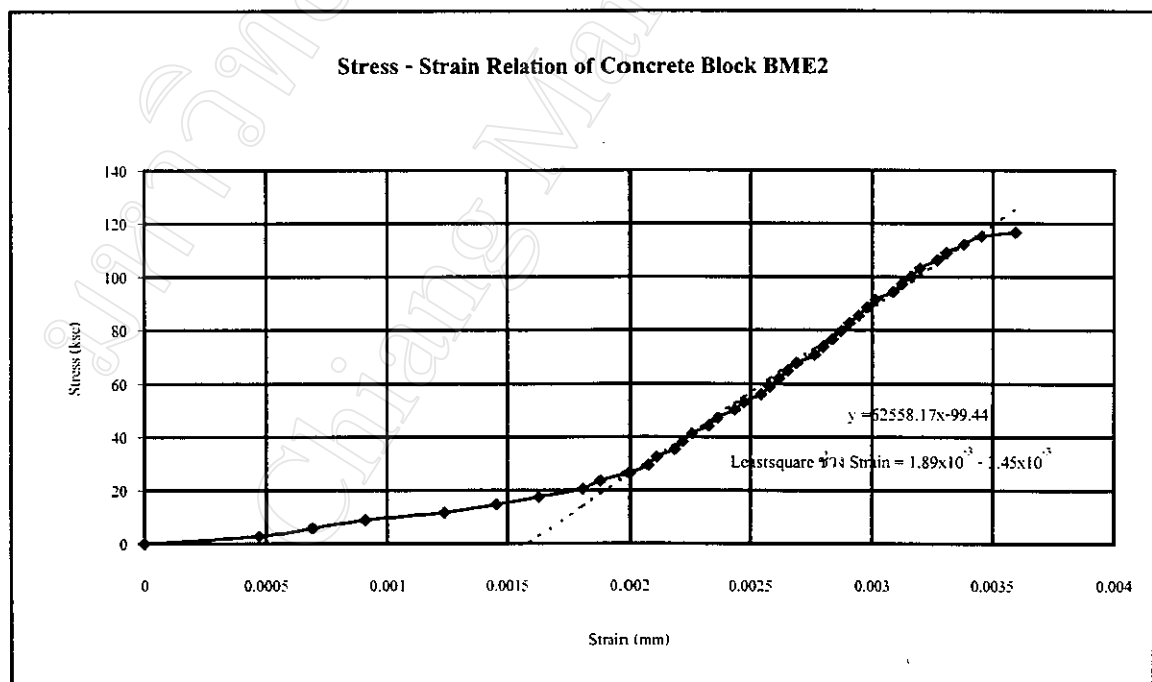
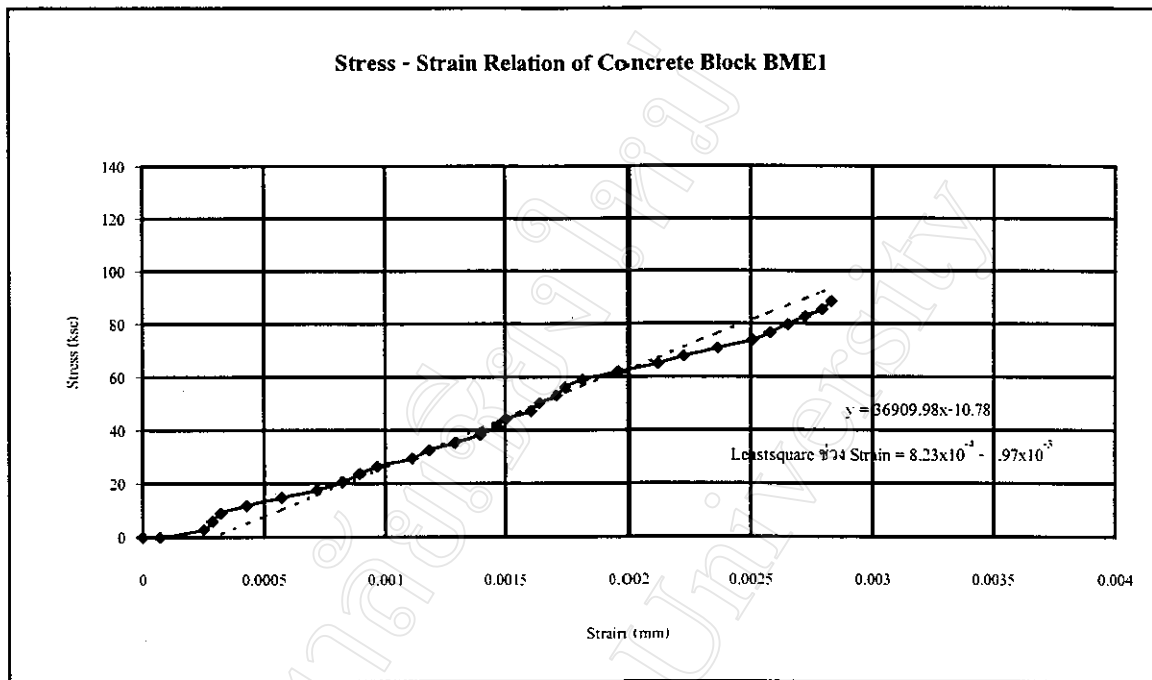
รูป ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของปริซึมคอนกรีตบล็อก



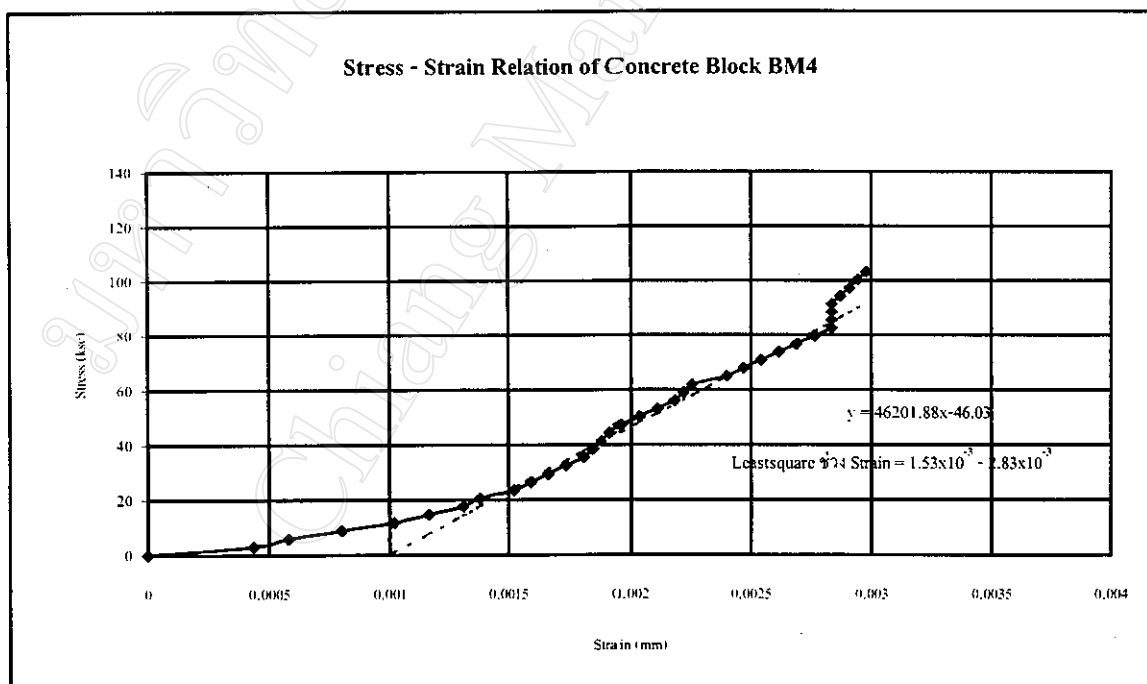
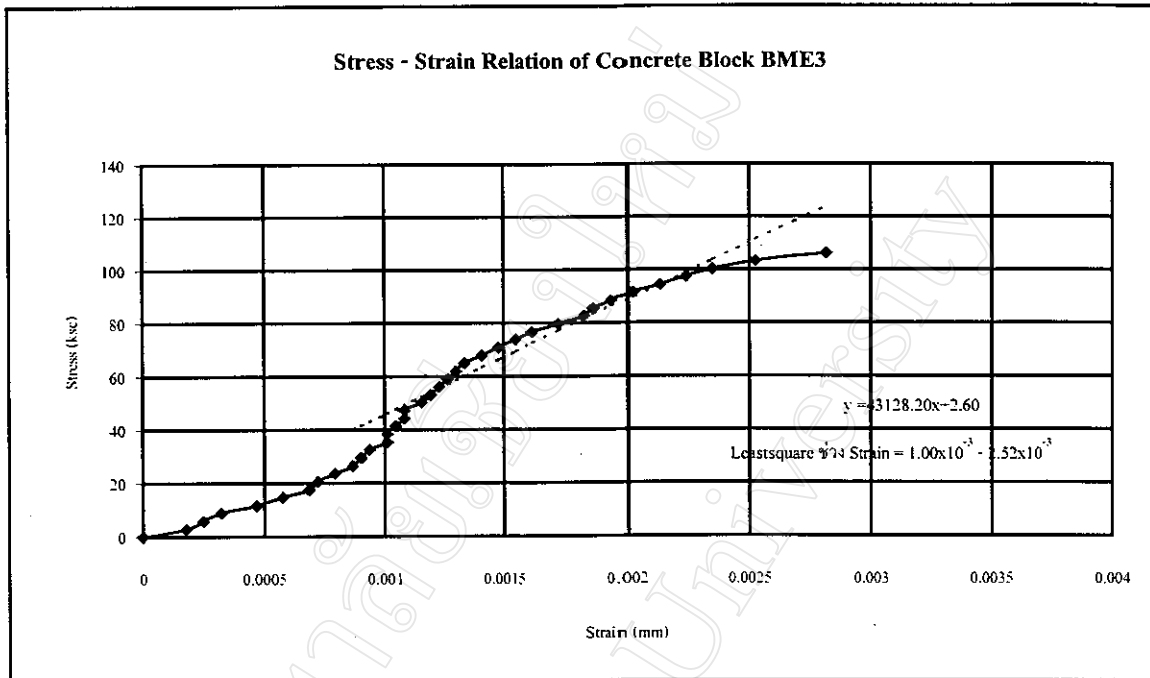
รูป ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของปริซึมคอนกรีตบล็อก (ต่อ)



รูป ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ strain ของปริซึมคอนกรีตบล็อก (ต่อ)



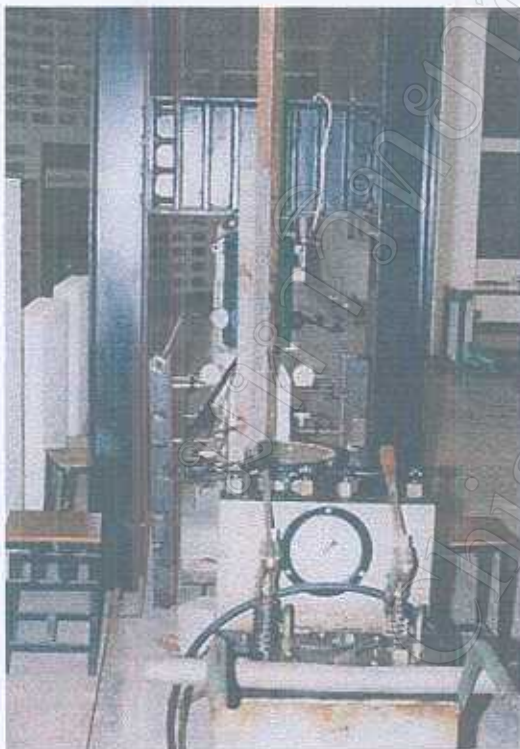
รูป ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตบล็อกก้อนเดียว



รูป ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของคอนกรีตบล็อกก้อนเดียว (ต่อ)



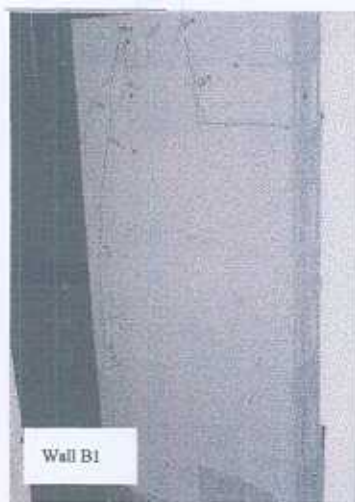
รูป ข-3 กำแพงทั้ง 12 แผงที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย



รูป ข-4 ภาพถ่ายการจัดตั้งเครื่องมือในการทดสอบกำแพงชุด A และ AG (รูปซ้าย)
และกำแพงชุด B และ BG (รูปขวา)



รูป ข-5 ภาพถ่ายการวิบัติของกำแพง



รูป ข-5 ภาพถ่ายการวิบัติของกำแพง (ต่อ)

ภาคผนวก ก
รายละเอียดการคำนวณ

ก1. การคำนวณกำลังรับแรงอัดของน้ำหนักระบายคงที่

การหาลำดับอัดของกำแพงคอนกรีตบล็อก จากสูตรของ Parson (1931)

จากสมการที่ (1.16)

$$M = Kb\sqrt{mu}$$

โดยค่าคงที่ต่าง ๆ มีดังนี้

$$m = 160 \text{ กก./ชม.}^2$$

$$K = 1$$

$$b = 0.552$$

$$u = 94 \text{ กก./ชม.}^2$$

หมายเหตุ : ค่า m เป็นค่ากำลังอัดเฉลี่ยของปูนก่อ จากตาราง ก-5

ค่า K เป็นสัมประสิทธิ์ใช้ปรับค่ากำลังอัด มีค่าเท่ากับ 1 โดยประมาณ

ค่า u เป็นค่ากำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกคิดจากหน้าตัดรวม จากตาราง ก-8

ค่า b คือพื้นที่ที่วางปูนก่อต่อพื้นที่ทั้งหมด เท่ากับ $240/(15 \times 29) = 0.552$

จะได้ว่า กำลังของกำแพง $M = 1 \times 0.552 \times \sqrt{160 \times 94} = 68 \text{ กก./ชม.}^2$

การหาลำดับอัดของกำแพงคอนกรีตบล็อก จากสูตรของ Rostampour (1973)

จากสมการที่ (1.17)

$$f_{mw} = 0.9 f_h^{0.67} f_m^{0.33}$$

โดยค่าคงที่ต่าง ๆ มีดังนี้

$$f_h = 94 \text{ กก./ชม.}^2$$

$$f_m = 160 \text{ กก./ชม.}^2$$

หมายเหตุ : ค่า f_h เป็นค่ากำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกคิดจากหน้าตัดรวมจากตาราง ก-8

ค่า f_m เป็นค่ากำลังอัดเฉลี่ยของปูนก่อ จากตาราง ก-5

จะได้ว่า กำลังของกำแพง $f_{mw} = 0.9 \times (94)^{0.67} \times (160)^{0.33} = 101 \text{ กก./ชม.}^2$

การหาค่ากำลังอัดของกำแพงคอนกรีตบล็อก จากสูตรของ Hamid and Drysdale (1979)

กรณีไม่มีปูนกรอก

จากสมการที่ (1.15)

$$f_{mu} = \eta \frac{3.6\sigma_{th} + \alpha\sigma_{cm}}{3.6\sigma_{th} + \alpha\sigma_{ch}} \left(\frac{\sigma_{ch}}{K} \right)$$

โดยค่าคงที่ต่าง ๆ มีดังนี้

$$\eta = 0.552$$

$$\sigma_{ch} = 171 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\sigma_{cm} = 160 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\sigma_{th} = 25.65 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\alpha = 0.07$$

$$K = 1.08$$

หมายเหตุ : ค่า η คืออัตราส่วนหน้าตัดสุทธิต่อหน้าตัดรวม เท่ากับ $240/(15 \times 29) = 0.552$

ค่า σ_{ch} คือค่ากำลังอัดเฉลี่ยของบล็อกคิดจากหน้าตัดสุทธิ จากตาราง ก-8

ค่า σ_{cm} คือค่ากำลังอัดเฉลี่ยของปูนก่อ จากตาราง ก-5

ค่า σ_{th} คือค่ากำลังรับแรงดึงของบล็อกมีค่าประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของ

กำลังอัด (Page. 1978)

ค่า α คืออัตราส่วนระหว่างความหนาของปูนก่อต่อความสูงของบล็อก = $1/14$

= 0.07

ค่า K คือตัวประกอบการปรับแก้หน่วยแรงมีค่า = 1.08 เมื่อไม่มีปูนกรอก

$$\text{จะได้ว่ากำลังของกำแพง } f_{mu} = 0.552 \times \frac{(3.6 \times 25.65 + 0.07 \times 160)}{(3.6 \times 25.65 + 0.07 \times 171)} \times \frac{171}{1.08} = 87 \text{ กก./ซม.}^2$$

กรณีมีปูนกรอก

จากสมการที่ (1.14)

$$f_{mg} = (1 - \eta)\sigma_{cg}$$

โดยค่าคงที่ต่าง ๆ มีดังนี้

$$\eta = 0.552$$

$$\sigma_{cg} = 211 \text{ กก./ชม.}^2$$

หมายเหตุ : ค่า η คืออัตราส่วนหน้าตัดสุทธิต่อหน้าตัดรวม เท่ากับ $240/(15 \times 29) = 0.552$

ค่า σ_{cg} คือกำลังอัดเฉลี่ยของปูนกรอก จากตาราง ก-7

จะได้ว่ากำลังของกำแพง $f_{mg} = (1 - 0.552) \times 211 = 95 \text{ กก./ชม.}^2$

**ค2. ตัวอย่างการคำนวณจำนวนเท่าของกำลังรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดต่อกำแพงรับน้ำหนัก
แผ่กระจายคงที่ (Strength Enhancement)**

ยกตัวอย่างจากสูตรของ Parson (1931)

กำลังอัดของกำแพงรับแรงแผ่กระจายคงที่ = 68 กก./ชม.²

กำลังอัดประลัยของกำแพงรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดจากกำแพง A1 = 237 กก./ชม.²

ดังนั้นจำนวนเท่าของกำลังรับน้ำหนักกระทำเป็นจุดต่อกำแพงรับน้ำหนักแผ่กระจายคงที่
(Strength Enhancement) = $237/68 = 3.5$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย ปรีดา ไชยมหาวัน
วัน เดือน ปี เกิด	19 ตุลาคม 2518
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลเชียงราย จังหวัดเชียงราย ปีการศึกษา 2530 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย ปีการศึกษา 2533 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม จังหวัดเชียงราย ปีการศึกษา 2536 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2540