

## บรรณานุกรม

- [1] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. *เนื้อดินเซรามิก*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2549.
- [2] ปริญญา จินดาประเสริฐ. *การวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกในค้ไทย*.  
วารสารวิจัย มข, 7(1):1-2, 2545.
- [3] ทยุติ อิศริยฤทธานนท์. *กำลังอัด ความต้านทานต่อการขีดสี และความทนทานต่อคอลไรดซ์ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าหนักจาก โรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่มวลรวมละเอียด*. วิทยานิพนธ์  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.
- [4] นิรชร นกแก้ว. *การศึกษาการใช้เถ้าหนักลิกในค้แทนมวลรวมละเอียดในแอสฟัลคอนกรีต*.  
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,  
2539.
- [5] Pakinaga, Keerati. *Use of Bottom Ash as Fine Aggregate in Concrete*.  
M.S. Thesis, Asian Institute of Technology, 1999.
- [6] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. *เซรามิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2547.
- [7] กระทรวงอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดิน  
เผาภาคเหนือ. *ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเซรามิกส์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ศูนย์พัฒนา  
อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา, 2538.
- [8] आयुวัฒน์ สว่างผล. *วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:  
โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2543.
- [9] กรมทรัพยากรธรณี กองเศรษฐธรณีวิทยา. *การสัมมนาเรื่องเซรามิกและแก้วของไทย: วัตถุดิบ  
และแนวทางการพัฒนา*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ฝ่ายเอกสารข้อมูล  
กองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2544.
- [10] "Ceramic tile history." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.ceramictilehowto.com> (15 พฤษภาคม 54).
- [11] "History of ceramic tiles." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.icctas.com/ceramicindustry/mainpage.htm#HISTORY> (15 พฤษภาคม 54).

- [12] आयुวัฒน์ สว่างผล. *เซรามิกส์เบื้องต้น*. กำแพงเพชร:ภาควิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะ  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, 2536.
- [13] เบ็ญจวรรณ รัตนเสถียร และคณะ. *แร่ หิน และเชื้อเพลิงธรรมชาติ*. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะ  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540.
- [14] “แร่หินและปิโตรเลียมที่พบในภาคเหนือ (ถ่านหิน).” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา  
<http://www.neutron.rmutphysics.com/physics/> (3 พฤศจิกายน 2553.)
- [15] ประจุกฤติ สารสิทธิ์. *การทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์ในงานเซรามิกส์*. คณะเทคโนโลยี  
อุตสาหกรรม ราชภัฏนครศรีธรรมราช, 2543.
- [16] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ฝ่ายประชาสัมพันธ์. *ข้อมูล  
องค์ประกอบทางแร่ของเถ้าหนักและเถ้าลอย*. ลำปาง, 2552.
- [17] “Bottom ash.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.pmetlabservices.com/  
library/Fly%20Ash/inde6.html](http://www.pmetlabservices.com/library/Fly%20Ash/inde6.html) (15 พฤษภาคม 54).
- [18] ญัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุกาพ. *การหาปริมาณที่เหมาะสมของเถ้าลอยสำหรับอิฐดินซีเมนต์*.  
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,  
2544.
- [19] นฤมล เสททยะ. *การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากเถ้าหนัก เถ้าลอย และเถ้าแกลบ*. วิทยานิพนธ์  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- [20] “Fly ash.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.pmetlabservices.com/library/  
Fly%20Ash/index4.html](http://www.pmetlabservices.com/library/Fly%20Ash/index4.html) (15 พฤษภาคม 54).
- [21] C.R. Cheeseman, S. Monteiro da Rocha, C. Sollars, S. Bethanis, and  
A.R. Boccaccini. *Ceramic processing of incinerator bottom ash*.  
Waste Management, 23:907–916, 2003.
- [22] V. Adell, C.R. Cheeseman, A. Doel, Beattie, and A.R. Boccaccini. *Comparison of  
rapid and slow sintered pulverized fuel ash*. Fuel, 87:187–195, 2008.
- [23] M. Erol, S. Kucukbayrak, and A. Ersoy-Mericboyu. *Characterization of sintered  
coal fly ashes*. Fuel, 87:1334–1340, 2008.

- [24] I. Queralt, X. Querol, A. Lopez-Soler, and F. Plana. *Use of coal fly ash for ceramics: A case study for a large Spanish power station*. *Fuel*, 76: 787–791, 1997.
- [25] S. Bethanis, C.R. Cheeseman, and C.J. Sollars. *properties and microstructure of sintered incinerator bottom ash*. *Ceramics International*, 28:881–886, 2002.
- [26] J.M. Chimenos, M.Segarra, M.A. Fernandez, and F. Espiell. *Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator*. *Journal of Hazardous Materials*, 64(3):211–222, 1999.
- [27] A. Zimmer, C.P. Bergmann. *Fly ash of mineral coal sa ceramic tiles raw material*. *Waste Management*, 27:59–68, 2007.
- [28] Z. Haiying, Z. Youcai, and Q. Jingyu. *Study on use of MSWI fly ash in ceramic tile*. *Journal of Hazardous Materials*, 141:106–114, 2007.
- [29] R.C.C. Monteiro, M.M.R.A. Lima, and S. Alves. *Mechanical characteristics of clay structural ceramics containing coal fly ash*. *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, 4:213–220, 2008.
- [30] M. Erol, S. Kucukbayrak, and A. Ersoy-Mericboyu. *Comparison of the properties of glass, glass-ceramic and ceramic materials produced from coal fly ash*. *Journal of Hazardous Materials*, 153:418–425, 2008.
- [31] พานทอง อินทรชัย. *คุณสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและยิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.
- [32] “สหสัมพันธ์ (Correlation).” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.geocities.ws/nincoo/mainb6.5.htm> (10 ตุลาคม 54).

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

## ภาคผนวก ก

### ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก1 ความต้านทานแรงดัดก่อนผา

ความต้านทานแรงดัดก่อนผา (MPa)					
สูตร	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ก้อนที่ 3	เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ดิน	6.51	4.99	5.09	5.53	0.70
10B	5.46	4.98	7.98	6.14	1.32
20B	4.06	5.03	-	4.54	0.48
30B	3.94	2.84	2.66	3.15	0.57
10B:40F	2.80	2.36	-	2.58	0.22
15B:35F	2.07	1.32	1.90	1.76	0.32
20B:30F	3.05	3.18	3.20	3.14	0.07
25B:25F	2.45	2.28	-	2.37	0.08
20F	4.10	4.96	-	4.53	0.43
30F	4.72	1.83	2.36	3.54	1.25
40F	3.59	2.17	-	2.88	0.71

ตารางที่ ก2 ความต้านทานแรงดัดหลังเผา

ความต้านทานแรงดัดหลังเผา (MPa)									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
ดิน	75.63	53.63	86.23	46.87	30.58	113.09	52.03	126.53	53.11
	71.29	53.06	84.56	60.00	47.11	111.04	53.42	129.60	59.62
เฉลี่ย	73.46	53.34	85.39	53.43	38.84	112.06	52.72	128.06	56.36
S.D.	2.17	0.28	0.84	6.56	8.26	1.02	0.70	1.54	3.26
10B	50.05	60.33	65.53	43.38	70.09	94.90	48.31	55.27	66.79
	49.42	61.34	73.71	46.39	78.22	88.36	46.02	56.10	65.52
เฉลี่ย	49.74	60.84	69.62	44.89	74.16	91.63	47.17	55.69	66.16
S.D.	0.32	0.51	4.09	1.50	4.06	3.27	1.14	0.42	0.64
20B	54.67	49.07	58.61	47.79	48.02	66.18	41.18	41.44	48.55
	55.44	48.16	58.29	49.29	46.05	67.62	37.95	41.68	43.92
เฉลี่ย	55.06	48.62	58.45	48.54	47.04	66.90	39.57	41.56	46.24
S.D.	0.38	0.46	0.16	0.75	0.98	0.72	1.62	0.12	2.32
30B	47.84	31.31	36.42	40.72	36.81	51.80	27.53	34.83	28.25
	45.43	32.95	34.65	41.66	34.92	51.59	26.51	35.45	31.84
เฉลี่ย	46.64	32.13	35.54	41.19	35.87	51.70	27.02	35.14	30.05
S.D.	1.20	0.82	0.88	0.47	0.94	0.10	0.51	0.31	1.80
10B:40F	45.21	34.23	57.84	49.09	55.14	59.84	38.24	39.42	37.57
	45.44	33.47	52.1	46.72	56.42	52.48	42.26	39.82	35.19
เฉลี่ย	45.33	33.85	54.97	47.91	55.78	56.16	40.25	39.62	36.38
S.D.	0.12	0.38	2.87	1.18	0.64	3.68	2.01	0.20	1.19
15B:35F	39.20	29.38	41.14	48.92	43.90	45.08	32.75	33.40	51.45
	40.06	29.74	42.27	50.52	37.38	47.98	29.36	35.98	49.18
เฉลี่ย	39.63	29.56	41.705	49.72	40.64	46.53	31.055	34.69	50.315
S.D.	0.43	0.18	0.56	0.80	3.26	1.45	1.70	1.29	1.14



ตารางที่ ก3 การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก

การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก (%)									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
ดิน	15.59	15.33	16.07	15.93	15.77	15.33	15.50	15.34	16.81
	15.64	15.33	15.64	15.96	15.82	15.58	15.05	15.12	16.86
	15.58	15.10	-	15.64	15.77	16.60	15.39	15.15	16.80
เฉลี่ย	15.60	15.25	15.85	15.84	15.79	15.84	15.31	15.20	16.82
S.D.	0.03	0.13	0.22	0.14	0.02	0.55	0.19	0.10	0.03
10B	17.66	17.25	17.73	17.93	17.36	15.17	17.47	16.23	15.08
	17.45	17.27	17.71	17.80	17.43	16.79	17.50	16.39	16.64
	17.80	17.24	16.16	18.07	17.30	16.85	17.41	16.19	15.24
เฉลี่ย	17.64	17.25	17.20	17.93	17.36	16.27	17.46	16.27	15.65
S.D.	0.01	0.01	0.73	0.11	0.05	0.78	0.04	0.09	0.70
20B	19.59	19.39	21.26	20.11	20.61	20.05	18.97	19.23	19.04
	19.77	19.51	19.28	20.07	20.52	20.08	19.01	19.18	19.28
	19.69	19.36	19.54	19.89	20.42	20.02	19.00	19.04	18.97
เฉลี่ย	19.68	19.42	20.03	20.02	20.52	20.05	18.99	19.15	19.10
S.D.	0.08	0.07	0.88	0.10	0.08	0.02	0.02	0.08	0.13
30B	22.28	21.94	22.21	22.24	22.21	23.19	22.03	21.70	21.48
	21.62	21.18	21.07	22.33	22.39	23.23	21.87	21.68	18.89
	21.98	21.29	22.17	22.31	22.32	23.11	21.71	21.81	21.35
เฉลี่ย	21.96	21.47	21.82	22.29	22.31	23.18	21.87	21.73	20.57
S.D.	0.27	0.33	0.53	0.04	0.07	0.05	0.13	0.06	1.19
10B:40F	20.83	22.27	20.02	20.89	21.24	21.59	19.07	20.03	21.41
	20.93	20.14	19.76	20.77	21.39	22.42	19.18	20.26	21.55
	20.90	20.77	20.26	20.83	20.69	21.74	19.13	19.27	21.60
เฉลี่ย	20.89	21.06	20.01	20.83	21.11	21.92	19.13	19.85	21.52
S.D.	0.04	0.89	0.20	0.05	0.30	0.36	0.04	0.42	0.08

ตารางที่ ก3(ต่อ) การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก

การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก (%)									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
15B:35F	21.78	22.19	21.05	21.92	20.95	23.14	21.37	21.01	22.12
	21.04	22.27	20.83	21.66	23.20	21.38	21.13	21.55	22.21
	21.34	22.30	20.93	22.07	22.97	22.93	21.30	22.35	22.57
เฉลี่ย	21.39	22.25	20.93	21.88	22.37	22.48	21.27	21.64	22.30
S.D.	0.30	0.04	0.09	0.17	1.01	0.78	0.10	0.55	0.19
20B:30F	23.55	21.84	22.26	23.23	23.14	24.05	21.49	22.24	23.27
	23.66	22.48	22.33	23.35	23.11	24.09	21.71	22.05	23.53
	23.47	22.82	22.44	23.16	21.18	23.88	22.25	22.94	23.98
เฉลี่ย	23.56	22.38	22.35	23.25	22.48	24.01	21.82	22.41	23.59
S.D.	0.08	0.40	0.08	0.08	0.92	0.09	0.32	0.38	0.29
25B:25F	23.81	23.77	22.77	24.21	22.97	24.06	23.18	24.24	24.72
	23.72	24.08	22.94	23.92	22.77	24.24	23.37	23.26	24.58
	23.91	23.95	23.62	23.04	23.04	24.14	-	24.17	24.06
เฉลี่ย	23.82	23.93	23.11	23.72	22.93	24.15	23.28	23.89	24.45
S.D.	0.08	0.13	0.37	0.50	0.11	0.07	0.10	0.45	0.28
20F	16.96	17.05	18.01	17.85	17.85	18.34	17.18	17.08	15.75
	17.18	19.09	18.23	18.06	17.67	18.18	16.87	17.23	15.71
	17.50	18.74	18.28	17.91	17.61	17.84	16.92	17.11	16.59
เฉลี่ย	17.21	18.30	18.17	17.94	17.71	18.12	16.99	17.14	16.02
S.D.	0.22	0.89	0.12	0.09	0.10	0.21	0.14	0.06	0.41
30F	19.61	19.90	13.66	19.22	19.44	20.04	18.68	19.11	19.83
	20.23	20.49	19.21	19.20	19.37	20.36	18.61	19.13	20.27
	20.03	20.19	19.42	18.90	19.09	20.20	18.13	19.00	20.35
เฉลี่ย	19.96	20.19	17.43	19.11	19.30	20.20	18.47	19.08	20.15
S.D.	0.26	0.24	2.67	0.15	0.15	0.13	0.24	0.06	0.23

ตารางที่ ก3(ต่อ) การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก

การดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิก (%)									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
40F	21.56	21.42	20.06	19.80	19.32	20.69	20.13	19.82	20.25
	22.37	21.04	19.83	19.47	19.33	18.48	19.79	19.64	20.30
	21.35	21.06	-	19.63	19.56	20.79	20.01	20.00	-
เฉลี่ย	21.76	21.17	19.94	19.63	19.40	19.99	19.98	19.82	20.28
S.D.	0.44	0.17	0.11	0.14	0.11	1.07	0.14	0.15	0.02
โรงงาน	-	-	-	-	-	-	-	-	15.19
	-	-	-	-	-	-	-	-	15.22
	-	-	-	-	-	-	-	-	15.30
เฉลี่ย	-	-	-	-	-	-	-	-	15.24
S.D.	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05

ตารางที่ ก4 ความพรุนของกระเบื้องเซรามิก

ความพรุนของกระเบื้องเซรามิก (%)									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
ดิน	28.20	27.94	29.18	28.84	28.68	28.24	28.42	28.18	30.63
	28.28	27.87	28.62	28.91	28.73	28.67	27.75	28.04	30.65
	28.14	27.57	-	28.39	28.65	30.37	28.29	28.04	30.62
เฉลี่ย	28.21	27.79	28.90	28.71	28.69	29.09	28.15	28.09	30.63
S.D.	0.0	0.16	0.28	0.23	0.03	0.92	0.29	0.07	0.01
10B	32.18	30.69	31.61	31.86	30.95	28.22	31.31	30.06	28.05
	30.85	30.63	31.51	31.66	31.00	30.61	31.38	30.27	30.42
	31.50	30.60	29.25	32.06	30.80	30.74	31.25	30.00	28.18
เฉลี่ย	31.51	30.64	30.79	31.86	30.92	29.86	31.31	30.11	28.88
S.D.	0.54	0.04	1.09	0.16	0.08	1.16	0.05	0.12	1.09

ตารางที่ ก4(ต่อ) ความพรุนของกระเบื้องเซรามิก

ความพรุนของกระเบื้องเซรามิก (%)									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
20B	34.03	33.51	36.43	34.70	35.16	34.73	33.22	33.84	33.51
	34.02	33.63	33.56	34.64	35.10	34.80	33.31	33.72	33.86
	34.10	33.47	33.91	34.40	34.93	34.74	33.31	33.53	33.47
เฉลี่ย	34.05	33.53	34.63	34.58	35.06	34.76	33.28	33.70	33.61
S.D.	0.04	0.07	1.28	0.13	0.10	0.03	0.04	0.13	0.18
30B	36.88	36.27	37.00	37.04	36.98	38.23	36.90	36.50	36.44
	35.90	35.93	35.63	37.17	37.25	38.26	36.67	36.53	32.73
	37.17	35.40	36.93	37.17	37.21	38.14	36.27	36.66	36.26
เฉลี่ย	36.65	35.87	36.52	37.13	37.15	38.21	36.61	36.56	35.14
S.D.	0.54	0.36	0.63	0.06	0.12	0.05	0.26	0.07	1.71
10B:40F	35.02	36.38	34.07	35.29	35.60	36.12	33.21	34.39	36.04
	35.10	33.98	33.75	35.14	35.82	37.22	33.26	34.58	36.23
	35.04	34.77	34.31	35.21	35.06	36.31	33.09	33.45	36.29
เฉลี่ย	35.05	35.05	34.04	35.21	35.49	36.55	33.19	34.14	36.19
S.D.	0.03	1.00	0.23	0.06	0.32	0.48	0.07	0.49	0.11
15B:35F	36.17	36.34	35.32	36.44	35.43	37.78	35.81	35.90	36.83
	35.25	36.53	35.09	36.14	37.80	35.96	35.69	36.35	36.97
	35.62	36.53	35.22	36.57	37.53	37.57	35.86	37.28	37.34
เฉลี่ย	35.68	36.47	35.21	36.38	36.92	37.10	35.79	36.51	37.05
S.D.	0.38	0.09	0.09	0.18	1.06	0.81	0.07	0.58	0.22
20B:30F	37.88	35.96	36.77	37.85	37.72	38.80	36.21	36.96	38.24
	38.03	36.73	36.83	37.99	37.64	38.83	36.37	36.76	38.49
	37.88	36.82	36.97	37.67	35.57	38.61	36.97	37.78	38.95
เฉลี่ย	37.93	36.50	36.85	37.84	36.98	38.75	36.52	37.17	38.56
S.D.	0.07	0.39	0.09	0.13	1.00	0.10	0.33	0.44	0.29



ตารางที่ ก5 ความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก

ความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก ( $\text{g/cm}^3$ )									
สูตร	$T = 850^\circ\text{ซ.}$			$T = 900^\circ\text{ซ.}$			$T = 950^\circ\text{ซ.}$		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
ดิน	1.81	1.82	1.82	1.81	1.82	1.84	1.83	1.84	1.82
	1.81	1.82	1.83	1.81	1.82	1.84	1.84	1.85	1.82
	1.81	1.83	-	1.82	1.82	1.83	1.84	1.85	1.82
เฉลี่ย	1.81	1.82	1.82	1.81	1.82	1.84	1.84	1.85	1.82
S.D.	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10B	1.82	1.78	1.78	1.78	1.78	1.86	1.79	1.85	1.86
	1.77	1.77	1.78	1.78	1.78	1.82	1.79	1.85	1.83
	1.77	1.77	1.81	1.77	1.78	1.82	1.80	1.85	1.85
เฉลี่ย	1.79	1.78	1.79	1.78	1.78	1.83	1.79	1.85	1.85
S.D.	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.0	0.00	0.01
20B	1.74	1.73	1.71	1.73	1.71	1.73	1.75	1.76	1.76
	1.72	1.72	1.74	1.73	1.71	1.73	1.75	1.76	1.76
	1.73	1.73	1.74	1.73	1.71	1.74	1.75	1.76	1.76
เฉลี่ย	1.73	1.73	1.73	1.73	1.71	1.73	1.75	1.76	1.76
S.D.	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30B	1.66	1.65	1.67	1.67	1.67	1.65	1.68	1.68	1.70
	1.66	1.70	1.69	1.66	1.66	1.65	1.68	1.69	1.73
	1.69	1.66	1.67	1.67	1.67	1.65	1.67	1.68	1.70
เฉลี่ย	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.65	1.68	1.68	1.71
S.D.	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
10B:40F	1.68	1.63	1.70	1.69	1.68	1.67	1.74	1.72	1.68
	1.68	1.69	1.71	1.69	1.67	1.66	1.73	1.71	1.68
	1.68	1.67	1.69	1.69	1.69	1.67	1.73	1.74	1.68
เฉลี่ย	1.68	1.67	1.70	1.69	1.68	1.67	1.73	1.72	1.68
S.D.	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00

ตารางที่ ก5(ต่อ) ความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก

ความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก (g/cm <sup>3</sup> )									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
15B:35F	1.66	1.64	1.68	1.66	1.69	1.63	1.68	1.71	1.67
	1.68	1.64	1.68	1.67	1.63	1.68	1.69	1.69	1.66
	1.67	1.64	1.68	1.66	1.63	1.64	1.68	1.67	1.65
เฉลี่ย	1.67	1.64	1.68	1.66	1.65	1.65	1.68	1.69	1.66
S.D.	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01
20B:30F	1.61	1.65	1.65	1.63	1.63	1.61	1.69	1.66	1.64
	1.61	1.63	1.65	1.63	1.63	1.61	1.68	1.67	1.64
	1.61	1.61	1.65	1.63	1.68	1.62	1.66	1.65	1.62
เฉลี่ย	1.61	1.63	1.65	1.63	1.65	1.61	1.68	1.66	1.63
S.D.	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01
25B:25F	1.61	1.61	1.64	1.61	1.64	1.62	1.63	1.62	1.61
	1.61	1.60	1.64	1.62	1.65	1.61	1.64	1.64	1.61
	1.61	1.61	1.63	1.64	1.64	1.61	1.64	1.62	1.63
เฉลี่ย	1.61	1.61	1.64	1.62	1.64	1.61	0.005	1.63	1.62
S.D.	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
20F	1.76	1.76	1.75	1.76	1.76	1.75	1.78	1.79	1.82
	1.75	1.71	1.75	1.76	1.77	1.75	1.78	1.80	1.82
	1.74	1.73	1.76	1.76	1.77	1.76	1.78	1.79	1.80
เฉลี่ย	1.75	1.73	1.76	1.76	1.77	1.75	1.78	1.79	1.81
S.D.	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
30F	1.70	1.76	1.91	1.73	1.72	1.71	1.74	1.74	1.72
	1.68	1.71	1.73	1.74	1.71	1.70	1.74	1.74	1.70
	1.69	1.70	1.72	1.74	1.72	1.71	1.76	1.75	1.70
เฉลี่ย	1.69	1.72	1.79	1.74	1.72	1.71	1.75	1.74	1.71
S.D.	0.01	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01

ตารางที่ ๕(ต่อ) ความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก

ความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก (g/cm <sup>3</sup> )									
สูตร	T = 850 °ซ.			T = 900 °ซ.			T = 950 °ซ.		
	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ	เร็วมาก	เร็ว	ปกติ
40F	1.65	1.65	1.70	1.71	1.72	1.69	1.71	1.73	1.71
	1.64	1.66	1.71	1.72	1.71	1.75	1.71	1.74	1.71
	1.65	1.66	-	1.72	1.70	1.69	1.71	1.72	-
เฉลี่ย	1.65	1.66	1.70	1.72	1.71	1.71	1.71	1.73	1.71
S.D.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00
โรงงาน	-	-	-	-	-	-	-	-	1.87
	-	-	-	-	-	-	-	-	1.87
	-	-	-	-	-	-	-	-	1.87
เฉลี่ย	-	-	-	-	-	-	-	-	1.87
S.D.	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00

ตารางที่ ๖ การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.

ดิน									
ก่อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	6.68	0.34	7.00	5.41	0.27	5.67	6.14	0.47	6.58
2	6.94	0.41	7.32	5.47	0.50	5.94	6.66	0.54	7.16
3	6.71	0.41	7.09	6.40	0.41	6.78	6.74	0.44	7.15
4	6.82	0.38	7.17	6.35	0.44	6.76	6.80	0.54	7.30
5	6.77	0.20	6.96	6.29	0.37	6.64	7.05	0.41	7.42
6	6.70	0.24	6.92	6.36	0.47	6.81	6.93	0.81	7.68
เฉลี่ย	<b>6.77</b>	<b>0.33</b>	<b>7.08</b>	<b>6.05</b>	<b>0.41</b>	<b>6.43</b>	<b>6.72</b>	<b>0.54</b>	<b>7.22</b>
S.D.	0.09	0.08	0.14	0.43	0.08	0.45	0.29	0.13	0.34

ตารางที่ ก6(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.

10B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.70	0.37	6.04	5.31	0.40	5.69	5.57	0.47	6.01
2	5.57	0.37	5.91	5.49	0.30	5.77	5.53	0.30	5.82
3	5.73	0.34	6.05	5.70	0.37	6.05	5.50	0.47	5.94
4	5.67	0.44	6.08	5.49	0.23	5.71	5.35	0.70	6.01
5	5.92	0.37	6.26	5.49	0.37	5.84	5.60	0.60	6.16
6	5.82	0.50	6.30	5.52	0.30	5.80	5.31	0.53	5.82
เฉลี่ย	<b>5.74</b>	<b>0.40</b>	<b>6.11</b>	<b>5.50</b>	<b>0.33</b>	<b>5.81</b>	<b>5.48</b>	<b>0.51</b>	<b>5.96</b>
S.D.	0.11	0.06	0.13	0.11	0.06	0.12	0.11	0.12	0.12

20B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	4.75	0.46	5.19	4.31	0.43	4.72	4.37	0.66	5.00
2	4.91	0.43	5.32	4.66	0.33	4.97	4.59	0.40	4.97
3	4.75	0.43	5.16	4.50	0.23	4.72	4.50	0.59	5.06
4	4.91	0.33	5.23	4.57	0.33	4.88	4.52	0.49	5.00
5	4.91	0.17	5.07	4.44	0.33	4.76	4.37	0.49	4.84
6	4.73	0.36	5.08	4.60	0.30	4.88	4.47	0.43	4.88
เฉลี่ย	<b>4.83</b>	<b>0.36</b>	<b>5.18</b>	<b>4.51</b>	<b>0.33</b>	<b>4.82</b>	<b>4.47</b>	<b>0.51</b>	<b>4.96</b>
S.D.	0.08	0.10	0.09	0.12	0.06	0.09	0.08	0.09	0.08

ตารางที่ 6(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.

30B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	4.28	0.46	4.73	3.66	0.23	3.88	3.95	0.39	4.33
2	4.18	0.36	4.53	3.78	0.16	3.94	4.29	0.36	4.63
3	4.22	0.36	4.56	3.72	0.23	3.94	3.67	0.62	4.27
4	4.03	0.43	4.44	3.05	0.42	3.46	4.23	0.33	4.54
5	4.15	0.53	4.66	3.18	0.59	3.75	4.16	0.52	4.66
6	4.26	0.36	4.61	4.18	0.33	4.49	3.72	0.52	4.22
เฉลี่ย	<b>4.19</b>	<b>0.42</b>	<b>4.59</b>	<b>3.60</b>	<b>0.33</b>	<b>3.91</b>	<b>4.00</b>	<b>0.46</b>	<b>4.44</b>
S.D.	0.08	0.06	0.09	0.38	0.14	0.31	0.24	0.10	0.18

10B:40F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.23	2.42	3.62	1.73	1.51	3.22	1.26	2.74	3.96
2	1.32	2.52	3.81	1.89	1.45	3.31	1.35	2.80	4.11
3	1.20	2.36	3.53	1.96	1.55	3.47	1.13	2.80	3.90
4	1.13	2.55	3.65	1.77	1.58	3.32	1.16	2.89	4.02
5	1.07	2.51	3.55	1.70	1.61	3.28	1.26	2.67	3.89
6	1.10	2.54	3.62	1.20	1.63	2.80	1.10	2.86	3.93
เฉลี่ย	<b>1.18</b>	<b>2.48</b>	<b>3.63</b>	<b>1.71</b>	<b>1.56</b>	<b>3.23</b>	<b>1.21</b>	<b>2.79</b>	<b>3.97</b>
S.D.	0.08	0.07	0.09	0.24	0.06	0.21	0.09	0.07	0.08

ตารางที่ ก6(ต่อ) การหาคัดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.

15B:35F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.39	2.21	3.57	1.13	1.50	2.61	1.22	2.32	3.52
2	1.58	2.31	3.85	1.26	1.53	2.77	1.32	2.32	3.61
3	1.39	2.24	3.60	1.01	1.46	2.46	1.29	2.27	3.53
4	1.45	2.37	3.79	1.10	1.50	2.58	1.26	2.39	3.61
5	1.39	2.15	3.51	1.13	1.43	2.55	1.35	2.23	3.55
6	1.23	2.04	3.24	1.35	1.63	2.96	1.32	2.36	3.65
เฉลี่ย	<b>1.40</b>	<b>2.22</b>	<b>3.59</b>	<b>1.16</b>	<b>1.51</b>	<b>2.66</b>	<b>1.29</b>	<b>2.32</b>	<b>3.58</b>
S.D.	0.10	0.11	0.20	0.11	0.06	0.16	0.04	0.05	0.05

20B:30F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.77	1.80	3.54	2.14	1.09	3.21	1.60	1.69	3.27
2	1.70	1.73	3.41	1.74	1.06	2.78	1.79	1.69	3.45
3	1.64	1.73	3.34	1.80	1.09	2.87	1.60	1.63	3.20
4	1.67	1.80	3.44	1.86	1.00	2.84	1.54	1.85	3.36
5	1.77	1.67	3.40	1.77	0.93	2.68	1.82	1.67	3.46
6	1.57	1.44	2.99	2.02	0.97	2.97	1.57	1.76	3.30
เฉลี่ย	<b>1.69</b>	<b>1.70</b>	<b>3.35</b>	<b>1.89</b>	<b>1.02</b>	<b>2.89</b>	<b>1.65</b>	<b>1.72</b>	<b>3.34</b>
S.D.	0.07	0.12	0.17	0.14	0.06	0.17	0.11	0.07	0.09

ตารางที่ 6(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.

25B:25F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.92	1.09	2.99	1.76	0.93	2.68	1.88	1.44	3.30
2	1.80	1.19	2.96	1.70	0.80	2.49	2.01	1.32	3.30
3	1.80	1.48	3.24	1.51	0.96	2.46	1.64	1.50	3.11
4	1.79	1.09	2.87	1.48	1.06	2.52	1.82	1.53	3.32
5	1.74	1.16	2.87	1.70	0.93	2.61	1.85	1.31	3.14
6	1.67	1.31	2.96	1.70	0.96	2.65	1.79	1.47	3.24
เฉลี่ย	<b>1.79</b>	<b>1.22</b>	<b>2.98</b>	<b>1.64</b>	<b>0.94</b>	<b>2.57</b>	<b>1.83</b>	<b>1.43</b>	<b>3.24</b>
S.D.	0.08	0.14	0.12	0.11	0.08	0.08	0.11	0.08	0.08

20F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.65	0.91	6.50	4.06	0.69	4.72	5.13	0.80	5.89
2	5.53	0.90	6.39	4.37	0.53	4.87	4.97	0.77	5.69
3	5.44	0.80	6.20	4.31	0.53	4.82	4.83	1.13	5.91
4	5.40	0.81	6.17	4.46	0.53	4.96	4.99	0.93	5.87
5	5.46	0.84	6.25	4.35	0.56	4.89	5.14	0.96	6.05
6	5.08	0.74	5.78	5.94	0.61	6.51	4.96	1.03	5.94
เฉลี่ย	<b>5.43</b>	<b>0.83</b>	<b>6.22</b>	<b>4.58</b>	<b>0.58</b>	<b>5.13</b>	<b>5.00</b>	<b>0.94</b>	<b>5.89</b>
S.D.	0.18	0.06	0.22	0.62	0.06	0.62	0.11	0.12	0.11

ตารางที่ 6(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 850 °ซ.

30F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	3.01	1.14	4.12	2.82	0.95	3.74	3.07	1.76	4.78
2	2.94	1.21	4.12	2.63	1.01	3.61	3.07	1.67	4.69
3	2.98	1.18	4.12	2.60	0.98	3.55	2.63	1.76	4.34
4	2.82	1.30	4.08	2.66	1.01	3.64	3.01	1.67	4.63
5	2.85	1.11	3.92	2.66	0.91	3.55	2.88	1.76	4.60
6	2.97	1.17	4.11	2.76	0.91	3.64	2.95	1.73	4.64
เฉลี่ย	<b>2.93</b>	<b>1.19</b>	<b>4.08</b>	<b>2.69</b>	<b>0.96</b>	<b>3.62</b>	<b>2.94</b>	<b>1.73</b>	<b>4.61</b>
S.D.	0.07	0.06	0.07	0.08	0.04	0.06	0.15	0.04	0.14

40F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.58	2.16	3.70	1.33	1.79	3.10	1.70	2.59	4.25
2	1.42	2.31	3.70	1.33	1.63	2.94	1.61	2.34	3.90
3	1.45	2.12	3.54	1.43	1.67	3.07	1.73	2.52	4.21
4	1.49	2.02	3.48	1.30	1.73	3.00	1.45	2.27	3.68
5	1.33	2.15	3.45	1.33	1.76	3.07	1.57	2.33	3.87
6	1.52	2.02	3.51	1.39	1.67	3.04	-	-	-
เฉลี่ย	<b>1.47</b>	<b>2.13</b>	<b>3.56</b>	<b>1.35</b>	<b>1.71</b>	<b>3.04</b>	<b>1.61</b>	<b>2.41</b>	<b>3.98</b>
S.D.	0.08	0.10	0.10	0.04	0.06	0.05	0.11	0.14	0.24

ตารางที่ ก7 การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

ดิน									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	6.34	0.71	7.42	6.71	0.51	7.19	5.30	0.93	6.18
2	7.10	0.94	7.11	6.48	0.61	7.05	5.96	0.60	6.53
3	6.75	0.75	7.50	6.62	0.51	7.09	6.31	0.84	7.10
4	6.23	-	-	6.64	0.65	7.24	6.49	0.91	7.35
5	6.91	-	-	6.66	0.67	7.29	6.45	0.78	7.18
6	6.81	-	-	6.44	0.64	7.04	4.57	0.69	5.24
เฉลี่ย	<b>6.69</b>	<b>0.80</b>	<b>7.34</b>	<b>6.59</b>	<b>0.60</b>	<b>7.15</b>	<b>5.85</b>	<b>0.79</b>	<b>6.60</b>
S.D.	0.31	0.10	0.17	0.10	0.06	0.10	0.70	0.12	0.73

10B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.71	0.87	6.53	6.41	0.71	7.08	5.79	0.87	6.61
2	5.91	0.71	6.57	6.20	0.57	6.74	5.82	0.84	6.61
3	5.71	0.77	6.44	6.00	0.74	6.69	5.61	0.74	6.31
4	6.07	-	-	6.27	0.68	6.91	4.76	0.93	5.64
5	5.98	-	-	5.93	0.77	6.66	4.58	0.96	5.49
6	6.04	-	-	5.98	0.54	6.49	4.55	0.83	5.34
เฉลี่ย	<b>5.90</b>	<b>0.78</b>	<b>6.51</b>	<b>6.13</b>	<b>0.67</b>	<b>6.76</b>	<b>5.19</b>	<b>0.86</b>	<b>6.00</b>
S.D.	0.15	0.06	0.05	0.17	0.08	0.19	0.56	0.07	0.53

ตารางที่ ก7(ต่อ) การหาคัดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

20B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	4.79	0.63	5.63	5.56	0.80	6.32	5.36	0.77	6.09
2	5.03	0.70	5.52	5.23	0.80	5.98	5.15	0.80	5.91
3	4.85	0.77	5.41	5.29	0.90	6.14	5.02	0.83	5.81
4	4.68	-	-	5.21	0.67	5.84	4.63	1.02	5.61
5	4.73	-	-	5.40	0.83	6.18	5.18	0.80	5.94
6	5.02	-	-	5.30	0.80	6.06	5.36	0.90	6.21
เฉลี่ย	<b>4.85</b>	<b>0.70</b>	<b>5.52</b>	<b>5.33</b>	<b>0.80</b>	<b>6.09</b>	<b>5.12</b>	<b>0.85</b>	<b>5.93</b>
S.D.	0.13	0.06	0.09	0.12	0.07	0.15	0.25	0.08	0.19

30B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.08	0.76	4.98	4.27	0.69	4.94	4.97	0.43	5.38
2	4.26	0.76	4.92	4.20	0.69	4.86	4.64	0.73	5.34
3	4.20	0.63	4.97	3.91	0.69	4.57	4.73	0.63	5.33
4	4.29	-	-	4.28	0.56	4.82	4.74	0.80	5.50
5	4.33	-	-	4.03	0.82	4.82	4.96	0.77	5.69
6	4.38	-	-	3.99	0.82	4.78	4.80	0.66	5.43
เฉลี่ย	<b>4.42</b>	<b>0.72</b>	<b>4.96</b>	<b>4.11</b>	<b>0.71</b>	<b>4.80</b>	<b>4.81</b>	<b>0.67</b>	<b>5.45</b>
S.D.	0.30	0.06	0.03	0.14	0.09	0.11	0.12	0.12	0.12

ตารางที่ ก7(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

10B:40F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.16	2.74	3.87	1.70	2.63	4.28	1.07	3.37	4.41
2	1.07	2.61	3.65	1.67	2.60	4.22	0.98	3.09	4.04
3	1.13	2.83	3.84	1.86	2.67	4.49	0.95	3.03	3.95
4	1.04	-	-	1.58	2.75	4.28	0.91	3.06	3.94
5	1.16	-	-	1.51	2.60	4.07	0.88	3.06	3.91
6	1.04	-	-	1.04	2.61	3.62	1.07	2.97	4.01
เฉลี่ย	<b>1.10</b>	<b>2.73</b>	<b>3.79</b>	<b>1.56</b>	<b>2.64</b>	<b>4.16</b>	<b>0.98</b>	<b>3.10</b>	<b>4.04</b>
S.D.	0.05	0.09	0.10	0.26	0.05	0.27	0.07	0.13	0.17

15B:35F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.07	2.42	3.47	1.20	2.49	3.66	2.01	2.98	4.93
2	1.07	2.42	3.47	1.73	2.37	4.06	1.98	2.88	4.81
3	1.10	2.48	3.62	1.60	2.27	3.83	2.07	2.98	5.00
4	1.07	-	-	1.54	2.46	3.96	1.01	2.62	3.60
5	1.16	-	-	1.57	2.30	3.84	0.98	2.68	3.63
6	1.54	-	-	1.82	2.34	4.12	0.98	2.48	3.44
เฉลี่ย	<b>1.17</b>	<b>2.44</b>	<b>3.52</b>	<b>1.58</b>	<b>2.37</b>	<b>3.91</b>	<b>1.51</b>	<b>2.77</b>	<b>4.24</b>
S.D.	0.17	0.03	0.07	0.19	0.08	0.15	0.52	0.19	0.68

ตารางที่ ก7(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

20B:30F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.42	1.91	3.30	2.18	1.77	3.91	1.20	2.33	3.50
2	1.29	2.01	3.46	1.89	1.93	3.78	1.26	2.27	3.50
3	1.45	1.80	3.75	2.11	1.83	3.91	1.20	2.30	3.47
4	1.42	-	-	1.89	1.96	3.82	1.23	2.20	3.40
5	1.48	-	-	1.93	1.87	3.76	1.07	2.39	3.44
6	1.99	-	-	1.55	2.09	3.61	2.64	2.19	4.77
เฉลี่ย	<b>1.51</b>	<b>1.91</b>	<b>3.50</b>	<b>1.93</b>	<b>1.91</b>	<b>3.80</b>	<b>1.43</b>	<b>2.28</b>	<b>3.68</b>
S.D.	0.22	0.09	0.19	0.20	0.10	0.10	0.54	0.07	0.49

25B:25F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.986	1.732	3.558	2.20	1.61	3.77	1.89	1.54	3.40
2	1.670	1.731	3.403	2.20	1.51	3.68	1.86	1.77	3.60
3	1.667	1.486	3.512	2.20	1.51	3.68	1.67	1.80	3.44
4	1.858	-	-	2.36	1.38	3.71	1.90	1.74	3.60
5	1.701	-	-	2.45	1.58	4.00	1.95	1.74	3.65
6	2.056	-	-	1.99	1.58	3.54	2.11	1.77	3.85
เฉลี่ย	<b>1.82</b>	<b>1.65</b>	<b>3.49</b>	<b>2.23</b>	<b>1.53</b>	<b>3.73</b>	<b>1.90</b>	<b>1.73</b>	<b>3.59</b>
S.D.	0.16	0.12	0.06	0.14	0.08	0.14	0.13	0.09	0.15

ตารางที่ ก7(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

20F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.15	1.20	5.77	5.47	1.28	6.68	6.09	1.42	7.42
2	4.95	1.24	6.26	6.18	1.51	7.60	5.87	1.52	7.29
3	4.89	1.18	7.24	6.09	1.24	7.26	5.61	1.54	7.07
4	4.63	-	-	6.25	1.21	7.39	5.68	1.48	7.07
5	5.08	-	-	6.19	1.25	7.36	5.71	1.45	7.07
6	6.13	-	-	6.38	1.28	7.58	5.81	1.55	7.27
เฉลี่ย	<b>5.14</b>	<b>1.21</b>	<b>6.42</b>	<b>6.09</b>	<b>1.30</b>	<b>7.31</b>	<b>5.80</b>	<b>1.49</b>	<b>7.20</b>
S.D.	0.47	0.02	0.61	0.29	0.10	0.31	0.16	0.05	0.14

30F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	2.89	2.61	5.39	3.72	1.83	5.49	3.32	2.16	5.41
2	2.86	2.51	5.29	3.44	1.96	5.33	3.55	2.23	5.70
3	2.76	2.80	5.60	3.69	1.67	5.29	3.46	2.30	5.68
4	2.85	-	-	3.66	1.77	5.36	3.19	2.35	5.47
5	2.85	-	-	3.69	1.77	5.39	3.20	2.59	5.70
6	2.88	-	-	3.88	1.74	5.55	3.45	2.39	5.75
เฉลี่ย	<b>2.85</b>	<b>2.64</b>	<b>5.43</b>	<b>3.68</b>	<b>1.79</b>	<b>5.40</b>	<b>3.36</b>	<b>2.34</b>	<b>5.62</b>
S.D.	0.04	0.12	0.13	0.13	0.09	0.09	0.14	0.14	0.13

ตารางที่ ก7(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 900 °ซ.

40F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.68	2.73	4.36	2.30	2.61	4.86	1.39	2.92	4.27
2	1.58	2.79	4.33	2.14	2.71	4.79	1.39	2.92	4.27
3	1.61	2.67	4.24	1.95	2.60	4.51	1.30	3.94	5.18
4	1.52	-	-	2.24	2.65	4.83	1.33	3.01	4.29
5	1.43	-	-	2.11	2.51	4.57	3.40	3.05	6.34
6	2.37	-	-	1.08	3.04	4.08	3.25	2.87	6.03
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1.70</b>	<b>2.73</b>	<b>4.31</b>	<b>1.97</b>	<b>2.69</b>	<b>4.61</b>	<b>2.01</b>	<b>3.12</b>	<b>5.06</b>
S.D.	0.31	0.05	0.05	0.41	0.17	0.27	0.93	0.37	0.86

ตารางที่ ก8 การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

ดิน									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.43	1.07	6.44	5.85	0.97	6.76	5.53	1.20	6.67
2	5.10	0.87	5.93	5.59	0.87	6.42	5.84	1.21	6.98
3	5.11	0.77	5.84	5.51	1.03	6.49	5.46	1.17	6.56
4	5.03	0.94	5.92	5.08	0.94	5.97	5.49	1.14	6.57
5	5.15	0.81	5.92	5.04	1.14	6.12	5.53	1.27	6.73
6	4.97	0.71	5.64	6.44	0.27	6.69	5.69	1.27	6.89
<b>เฉลี่ย</b>	<b>5.13</b>	<b>0.86</b>	<b>5.95</b>	<b>5.59</b>	<b>0.87</b>	<b>6.41</b>	<b>5.59</b>	<b>1.21</b>	<b>6.73</b>
S.D.	0.15	0.12	0.24	0.48	0.28	0.28	0.13	0.05	0.16

ตารางที่ ก8(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

10B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	4.87	0.81	5.64	4.00	0.93	4.89	5.63	1.04	6.61
2	4.80	0.87	5.64	4.10	0.93	4.99	5.67	1.14	6.74
3	4.67	0.94	5.57	4.24	0.96	5.16	5.93	0.74	6.62
4	4.88	4.36	9.03	3.72	1.09	4.77	5.85	0.97	6.77
5	4.85	0.84	5.65	4.14	0.90	5.00	5.99	1.15	7.07
6	4.64	0.74	5.35	3.85	0.96	4.77	5.58	1.17	6.69
7	-	-	-	-	-	-	5.08	1.40	6.41
8	-	-	-	-	-	-	5.05	1.03	6.03
9	-	-	-	-	-	-	4.83	1.16	5.94
<b>เฉลี่ย</b>	<b>4.79</b>	<b>1.43</b>	<b>6.15</b>	<b>4.01</b>	<b>0.96</b>	<b>4.93</b>	<b>5.51</b>	<b>1.09</b>	<b>6.54</b>
S.D.	0.10	1.31	1.29	0.18	0.06	0.14	0.40	0.17	0.34

20B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.49	0.80	6.25	4.66	0.93	5.54	5.14	1.47	6.54
2	5.51	0.87	6.33	4.56	0.80	5.32	5.16	1.37	6.46
3	5.51	0.73	6.20	4.63	0.96	5.55	5.20	1.40	6.53
4	5.41	1.00	6.36	4.68	0.83	5.47	5.16	1.43	6.52
5	5.45	0.90	6.31	4.65	1.03	5.64	5.10	1.47	6.49
6	5.30	0.87	6.12	4.66	0.96	5.58	5.10	1.20	6.24
<b>เฉลี่ย</b>	<b>5.45</b>	<b>0.86</b>	<b>6.26</b>	<b>4.64</b>	<b>0.92</b>	<b>5.52</b>	<b>5.14</b>	<b>1.39</b>	<b>6.46</b>
S.D.	0.07	0.08	0.08	0.04	0.08	0.10	0.04	0.09	0.10

ตารางที่ 8(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

30B									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	4.31	0.89	5.16	4.31	0.83	5.10	4.90	1.20	6.03
2	4.32	0.86	5.14	4.28	0.89	5.13	4.15	1.45	5.54
3	4.24	0.93	5.13	4.11	0.92	5.00	3.93	1.32	5.19
4	4.37	1.09	5.41	4.09	0.76	4.82	4.09	1.45	5.49
5	4.25	0.89	5.10	4.05	0.99	5.00	3.77	1.51	5.22
6	4.34	0.96	5.26	4.37	0.60	4.94	4.00	1.36	5.30
เฉลี่ย	<b>4.31</b>	<b>0.94</b>	<b>5.20</b>	<b>4.20</b>	<b>0.83</b>	<b>5.00</b>	<b>4.14</b>	<b>1.38</b>	<b>5.46</b>
S.D.	0.05	0.08	0.11	0.12	0.13	0.10	0.36	0.10	0.28

10B:40F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.71	2.61	4.28	0.79	3.18	3.94	1.19	3.02	4.18
2	1.71	2.71	4.37	0.69	3.24	3.91	1.13	3.06	4.15
3	1.58	2.73	4.27	0.76	2.92	3.66	1.04	2.99	3.99
4	1.62	2.61	4.18	0.76	2.95	3.69	1.20	3.09	4.25
5	1.52	2.73	4.21	0.76	2.99	3.72	1.07	3.05	4.09
6	1.58	3.04	4.57	1.65	2.61	4.22	1.10	3.06	4.12
เฉลี่ย	<b>1.62</b>	<b>2.74</b>	<b>4.31</b>	<b>0.90</b>	<b>2.98</b>	<b>3.86</b>	<b>1.12</b>	<b>3.05</b>	<b>4.13</b>
S.D.	0.07	0.14	0.13	0.34	0.20	0.19	0.06	0.03	0.08

ตารางที่ ๓8(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

15B:35F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.36	2.50	3.82	1.13	2.80	3.90	0.98	2.80	3.75
2	1.20	2.46	3.63	1.23	2.37	3.57	0.98	2.80	3.76
3	1.17	2.59	3.73	1.27	2.64	3.88	1.29	2.80	4.05
4	1.11	2.52	3.60	1.11	2.59	3.67	1.13	2.96	4.05
5	1.14	2.59	3.70	1.27	2.63	3.86	1.01	2.92	3.90
6	1.10	2.58	3.66	1.19	2.80	3.96	0.97	2.95	3.90
เฉลี่ย	<b>1.18</b>	<b>2.54</b>	<b>3.69</b>	<b>1.20</b>	<b>2.64</b>	<b>3.81</b>	<b>1.06</b>	<b>2.87</b>	<b>3.90</b>
S.D.	0.09	0.05	0.07	0.06	0.14	0.14	0.12	0.07	0.12

20B:30F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.71	2.00	3.67	1.68	2.19	3.83	1.19	2.54	3.70
2	1.61	2.12	3.69	1.42	2.28	3.67	1.29	2.39	3.64
3	1.71	1.99	3.66	1.33	2.17	3.47	1.22	2.26	3.45
4	1.70	1.89	3.56	1.27	2.28	3.52	1.29	2.58	3.83
5	1.64	1.99	3.60	1.33	2.28	3.57	1.19	2.45	3.61
6	1.33	2.08	3.39	1.26	1.95	3.18	1.26	2.42	3.65
เฉลี่ย	<b>1.62</b>	<b>2.01</b>	<b>3.60</b>	<b>1.38</b>	<b>2.19</b>	<b>3.54</b>	<b>1.24</b>	<b>2.44</b>	<b>3.65</b>
S.D.	0.13	0.07	0.10	0.14	0.12	0.20	0.04	0.10	0.11

ตารางที่ ก8(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 950 °ซ.

25B:25F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	1.68	1.81	3.46	1.85	2.02	3.84	1.51	2.02	3.50
2	1.71	1.99	3.67	1.36	2.09	3.42	1.48	2.08	3.53
3	2.05	1.61	3.63	1.36	1.80	3.14	1.32	2.11	3.40
4	1.67	2.06	3.70	1.46	1.93	3.37	1.51	1.98	3.46
5	1.89	1.83	3.69	1.46	0.48	1.94	1.58	1.99	3.53
6	1.27	1.90	3.14	1.70	1.73	3.39	1.70	2.11	3.77
เฉลี่ย	<b>1.71</b>	<b>1.87</b>	<b>3.55</b>	<b>1.53</b>	<b>1.68</b>	<b>3.18</b>	<b>1.52</b>	<b>2.05</b>	<b>3.53</b>
S.D.	0.24	0.14	0.20	0.18	0.55	0.59	0.11	0.05	0.12

20F									
ก้อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	5.03	1.71	6.66	5.88	1.97	7.74	6.06	2.49	8.40
2	5.66	1.52	7.09	5.40	2.06	7.35	5.98	2.89	8.70
3	5.60	1.65	7.16	5.24	2.12	7.25	5.57	2.73	8.15
4	5.53	1.58	7.02	4.97	1.99	6.86	5.17	2.76	7.78
5	5.44	1.75	7.09	5.16	1.82	6.89	5.23	2.86	7.94
6	5.65	1.62	7.18	5.17	2.02	7.09	5.57	2.83	8.25
เฉลี่ย	<b>5.49</b>	<b>1.64</b>	<b>7.03</b>	<b>5.30</b>	<b>2.00</b>	<b>7.20</b>	<b>5.60</b>	<b>2.76</b>	<b>8.20</b>
S.D.	0.22	0.08	0.18	0.29	0.09	0.30	0.34	0.13	0.30

ตารางที่ ก8(ต่อ) การหดตัวของกระเบื้องเซรามิกเผาที่อุณหภูมิ 950<sup>o</sup>ซ.

30F									
ก่อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	3.24	2.00	5.18	2.24	2.29	4.48	2.61	3.00	5.53
2	2.92	1.96	4.82	2.18	2.22	4.35	2.80	3.04	5.76
3	2.79	2.05	4.78	2.17	2.19	4.31	2.83	2.88	5.63
4	2.98	2.06	4.98	2.18	2.19	4.32	2.42	3.00	5.35
5	2.99	2.09	5.02	2.23	2.22	4.40	2.64	2.91	5.47
6	3.07	2.06	5.07	2.01	2.15	4.12	3.02	2.89	5.83
เฉลี่ย	<b>3.00</b>	<b>2.04</b>	<b>4.98</b>	<b>2.17</b>	<b>2.21</b>	<b>4.33</b>	<b>2.72</b>	<b>2.95</b>	<b>5.60</b>
S.D.	0.14	0.04	0.14	0.08	0.04	0.11	0.19	0.06	0.16

40F									
ก่อน ที่	เร็วมาก (%)			เร็ว (%)			ปกติ (%)		
	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อ แห้ง	หลังเผา	รวม	เมื่อแห้ง	หลังเผา	รวม
1	0.98	3.06	4.01	1.27	2.29	3.53	1.51	3.16	4.63
2	0.95	3.16	4.08	1.30	2.77	4.03	1.10	3.35	4.41
3	0.85	3.09	3.92	1.43	2.80	4.19	0.98	3.22	4.16
4	0.98	2.94	3.89	1.36	2.76	4.09	1.23	3.09	4.28
5	0.98	3.19	4.14	1.24	2.67	3.87	1.13	3.28	4.38
6	1.40	2.62	3.98	0.98	3.00	3.94	1.33	3.07	4.36
เฉลี่ย	<b>1.02</b>	<b>3.01</b>	<b>4.00</b>	<b>1.26</b>	<b>2.72</b>	<b>3.94</b>	<b>1.21</b>	<b>3.20</b>	<b>4.37</b>
S.D.	0.18	0.19	0.09	0.14	0.22	0.21	0.17	0.10	0.14

## ภาคผนวก ข

1. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 20
2. การประชุมวิชาการ โครงการทุนวิจัยมหบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 5

# ผลของเก้าถ่านหินที่มีต่อคุณภาพของกระเบื้องเซรามิก

จุฬารัตน์ วงศ์ขัติยะ<sup>1\*</sup>, เกศรินทร์ พิมรักษา<sup>2</sup>, อานนท์ ชัยพานิช<sup>3</sup>, เศรษฐพงศ์ เศรษฐรูปผา<sup>4</sup>

- 1) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์บูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
- 2) ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
- 3) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
- 2) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาสมบัติของกระเบื้องเซรามิก ที่ทำจากดินผสมกับถ่านหินและถ่านลวจากโรงไฟฟ้าถ่านหินลิกไนต์ แม่เมาะ ในอัตราส่วน ถ่านหินร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนัก และถ่านลวร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนัก มาผสมกับดิน ขึ้นรูปโดยการอัดแบบกึ่งเปียกกับน้ำร้อยละ 25 โดย น้ำหนัก เเผาที่อุณหภูมิ 850, 900 และ 950 °C ด้วยอัตราเผาปกติแบบโรงงาน (2 องศาต่อนาที) เเผาเร็ว (3 องศาต่อนาที) และเผาเร็วมาก (5 องศา ต่อ นาที) และได้ศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดัด การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น การหดตัว และศึกษาโครงสร้างจุลภาคและ องค์ประกอบทางแร่ของกระเบื้องเซรามิกหลังเผา ผลการศึกษาพบว่ากระเบื้องเซรามิกที่ผสมถ่านหิน 10% จะมีความต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้น เล็กน้อย แต่มีความหนาแน่นลดลง มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และการหดตัวลดลง เมื่อเติมถ่านหินมากกว่า 10% ค่าความต้านทานแรงดัดจะลดลง เท่ากับที่ไม่เติมถ่านหิน ส่วนการเติมถ่านลวสามารถเติมได้มากถึง 20% โดยให้ค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับที่ไม่มีการเติมถ่านลว เมื่อเผาเร็ว ขึ้นทำให้ความต้านทานแรงดัดลดลงและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอีก โดยกระเบื้องที่เผาที่อุณหภูมิ 900 °C ในอัตราเผาปกติให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด โครงสร้างประกอบด้วย เฟสต่างๆ ที่อยู่กันแบบต่อเนื่อง ทำให้มีความแน่นตัวสูง และพบว่ากระเบื้องที่ผสมถ่านหินก่อนเผามีปฏิกิริยาเคมีชนิดปอซโซลานิกเกิดขึ้น และกระเบื้องหลังเผาที่มีการผสมกับถ่านลวร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีการขึ้นไฟด้วยอัตราการเผาปกติ มีการพัฒนา องค์ประกอบทางแร่เกิดเป็นอะโนไทต์ ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ )

**คำสำคัญ:** กระเบื้องเซรามิก ถ่านหิน ถ่านลว การเผา สมบัติเชิงกล

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกในปัจจุบันเติบโตขึ้นอย่างมาก เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคตั้งแต่ปี 2551 การผลิตกระเบื้องปูพื้นและบุผนังมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากปี 2550 ร้อยละ 4.79 [1] ส่งผลให้มีความต้องการวัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตตามมา ถ่านหินและถ่านลวเป็นผลจากการเผาถ่านหินของโรงไฟฟ้ามี องค์ประกอบหลักคล้ายดิน คือ ประกอบด้วยซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) และ อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) [2,3] จึงได้นำมาทดลองผสมในกระเบื้องเซรามิก เนื่องจากมีราคาถูกและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม [4] ปริมาณการใช้ ถ่านหินของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปางมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดย กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าแม่เมาะปัจจุบันคิดเป็นประมาณร้อยละ 20 ของกำลังการผลิตทั้งประเทศ โดยใช้ถ่านหินประมาณปีละ 15-17 ล้านตัน ผลจากการเผาไหม้ถ่านหินทำให้เหลือถ่าน ถ่านถ่านหิน ประมาณปีละ 3.6 ล้านตัน ซึ่งแยกได้เป็นถ่านหินร้อยละ 20 ถ่านลว ร้อยละ 80 [5]

ปัจจุบันมีการวิจัยเพื่อนำถ่านหินและถ่านลวมาใช้ประโยชน์ เป็นจำนวนมาก เช่น นำมาใช้เป็นสารผสมในคอนกรีตผสมเสร็จ สำหรับงานก่อสร้าง สร้างถนน สร้างเขื่อน เป็นต้น และเป็นวัตถุดิบเสริมปูนซีเมนต์ในการผลิตวัสดุก่อสร้าง เช่น กระเบื้องมุงหลังคา, เสาเข็ม พื้นสำเร็จรูป เป็นต้น [6] ในด้านเซรามิกได้ทดสอบแล้วว่า สามารถใช้ถ่านหินและถ่านลวซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม มาผสมตามกระบวนการปกติได้โดยต้องควบคุมขนาด อุณหภูมิการเผา และต้องเลือกใช้ในส่วนที่เหมาะสม เนื่องจาก

องค์ประกอบของถ่านหินและถ่านลวไม่คงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของถ่านหิน [7,8] ข้อดีของการใช้ถ่านหินและ ถ่านลว มี 3 ประการ คือ 1) เนื่องจากถ่านลวและถ่านหิน คือดินที่ ผ่านการเผามาแล้ว จนเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่มีองค์ประกอบของ เนื้อแก้ว และ 2) สารประกอบที่ได้จะไม่มีการปล่อยก๊าซใดๆ อีกเมื่อนำไปเผาอีกครั้งหนึ่ง และ 3) มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับดิน โดยเฉพาะมีองค์ประกอบของเหล็กในปริมาณมาก ดังนั้นด้วยข้อดี ทั้งสามอย่างนี้จึงทำให้ ถ่านหินและถ่านลวถูกนำมาพิจารณาใช้เป็น วัตถุดิบหลักตัวหนึ่งในการผลิตกระเบื้อง โดยองค์ประกอบของ เนื้อแก้วที่มีมากในทั้งถ่านหินและถ่านลวจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วย หลอม (Fluxing agent) เพื่อช่วยลดอุณหภูมิในการเผา [4,10] และ การที่ถ่านหินและถ่านลวปลดปล่อยก๊าซออกมาน้อยเมื่อเผาจึงทำให้สามารถลดเวลาในการเผาได้ง่าย และนอกจากนี้กระเบื้องยังมี สีสนสวยงามเนื่องมาจากองค์ประกอบ ของเหล็กที่มีอยู่ในถ่านทั้ง สองชนิด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการผลิตกระเบื้อง เซรามิกที่ผสมถ่านหินและถ่านลว เพื่อให้สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ ต่ำลงและใช้เวลาในการเผาให้น้อยลง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเพิ่มปริมาณถ่านจะทำให้ค่า ความต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น และการหดตัวลดลง การดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น [7,9] และหากเผาด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า 1,100 °C คุณสมบัติจะไม่แตกต่างกันมากนัก แม้จะใช้อัตราการเผา ที่แตกต่างกัน [8] เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ความต้านทาน แรงดัดจะเพิ่มขึ้นตาม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาสมบัติเชิงกลเชิงกายภาพ และองค์ประกอบทางแร่ของกระเบื้องเซรามิกที่ทำจากเถ้าหนักและเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะผสมกับดิน ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิและอัตราการเผาต่างๆ กัน โดยมีการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของโรงงานกระเบื้องเคลือบเวียงพิงค์ จ. เชียงใหม่

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 วัตถุประสงค์และส่วนผสม

เถ้าหนักและเถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษามากจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ดินดำจากโรงงานกระเบื้องเคลือบเวียงพิงค์ อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ องค์ประกอบทางเคมีวิเคราะห์โดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence (XRF), Bruker รุ่น D8 Advance) แสดงในตารางที่ 1 พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกา (SiO<sub>2</sub>), อะลูมินา (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), เหล็กออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) และแคลไซต์ (CaO) เถ้าหนักและดินผ่านการบดจนมีขนาดอนุภาคที่วิเคราะห์ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงร่อน (Sieve analysis, U.S.A Standard Sieve ขนาด 80, 140 และ 200 mesh) แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะพบว่า เถ้าลอยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่า 62 µm ส่วนเถ้าหนักมีขนาดเฉลี่ยมากกว่า 177 µm และดินมีขนาดเฉลี่ยมากกว่า 105 µm จากนั้นนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยพิจารณาจากสูตรที่สามารถขึ้นรูปได้แล้วจึงนำเถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน ในแต่ละสูตรผสมกับน้ำร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และขึ้นรูปด้วยวิธีอัดโดยใช้เครื่องอัดแบบพั่นเฟือง (สุเทพการธรณีลำปาง) ที่ความดัน 20 MPa โดยชิ้นงานมีขนาด 5×10×1 cm จากนั้นจึงทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปเผา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของ เถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน

องค์ประกอบ	เถ้าหนัก(%)	เถ้าลอย(%)	ดิน(%)
SiO <sub>2</sub>	42.22	39.46	69.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.80	18.09	23.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.05	13.62	3.38
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.11	0
MgO	2.33	2.19	0
CaO	15.15	17.43	0.31
SO <sub>3</sub>	3.05	4.19	0
Na <sub>2</sub> O	1.55	2.16	0
K <sub>2</sub> O	2.22	2.29	2.27
TiO <sub>2</sub>	0.53	0.46	0.67

ตารางที่ 2 ขนาดอนุภาคของ เถ้าหนัก เถ้าลอย และดิน

ขนาดอนุภาค (µm)	เถ้าหนัก (%)	เถ้าลอย (%)	ดิน (%)
> 177	63.98	4.49	44.57
176 - 105	20.25	11.37	12.34
104 - 63	10.50	20.80	18.05
< 62	6.27	63.33	25.04

### 2.2 การเผา

นำชิ้นทดสอบที่แห้งไปเผาด้วยเตาไฟฟ้า (KI Inter Kilns) ณ อุณหภูมิ 850 °C, 900 °C, 950 °C และอัตราการเผาดังตารางที่ 4 โดยอัตราการเผาปกติคือการเผากระเบื้องเซรามิกก่อนการเผาเคลือบของโรงงานกระเบื้องเคลือบเวียงพิงค์

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสม

สูตร	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)		
	เถ้าหนัก	เถ้าลอย	ดิน
A	-	-	100
B	10	-	90
C	20	-	80
D	30	-	70
E	-	20	80
F	-	30	70
G	-	40	60

ตาราง 4 อัตราการเผา

อัตราการเผา	ช่วงที่ 1(เผาเริ่มต้น)	ช่วงที่ 2(เผาช่วงท้าย)
เร็วมาก(R1)	2 °C/นาที แช่ไฟ 30 นาที	5 °C/นาที แช่ไฟ 1.5 ชั่วโมง
เร็ว(R2)	2 °C/นาที แช่ไฟ 30 นาที	3 °C/นาที แช่ไฟ 1.5 ชั่วโมง
ปกติ(R3)	1 °C/นาที แช่ไฟ 30 นาที	2 °C/นาที แช่ไฟ 3 ชั่วโมง

### 2.3 การวัดสมบัติเชิงกล เชิงกายภาพและวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องหลังเผา

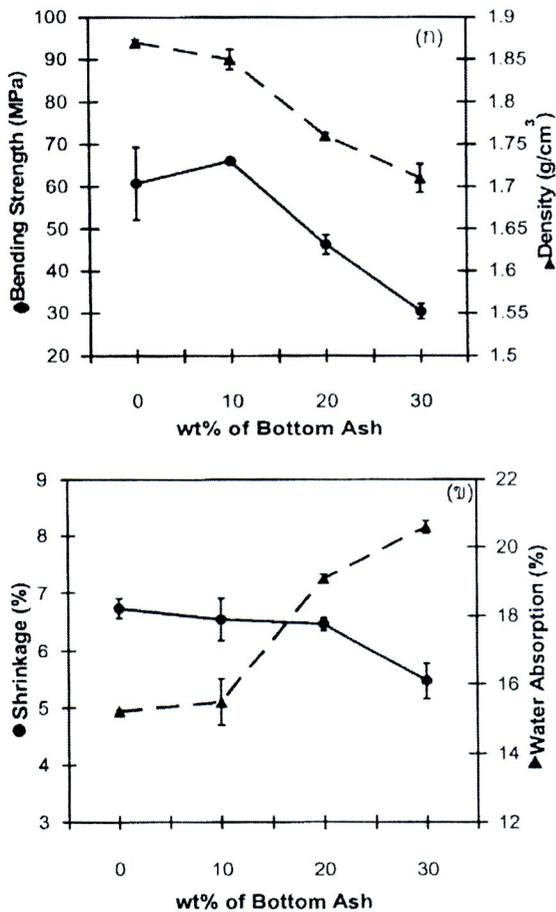
นำชิ้นงานหลังเผามาวัดสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล ดังนี้ (1) การหดตัว (% การหดตัวรวม) (2) การดูดซึมน้ำ (3) ความหนาแน่น (4) ความต้านทานแรงดัด ด้วยเครื่อง Universal wood testing machine และวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องเซรามิกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field emission scanning electron microscope (FE-SEM), JEOL รุ่น JSM-6335F) และศึกษาการพัฒนากาการเกิดสารประกอบต่างๆ หลังเผาโดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction: XRD)

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลของการเติมเถ้าหนักและเถ้าลอยต่อสมบัติเชิงกลของกระเบื้องเซรามิกที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิ 950 °C และอัตราขึ้นไฟที่ R3

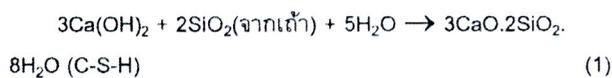
คุณสมบัติของกระเบื้องเซรามิกจากรูปที่ 1ก, 1ข, 2ก และ 2ข แสดงให้เห็นว่า เมื่อผสมเถ้าหนักและเถ้าลอยพบว่าการเติมเถ้าหนัก 10% ทำให้ความต้านทานแรงดัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความหนาแน่นลดลงเป็นอย่างมาก และมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเติมเถ้าหนัก 20% ค่าความต้านทานแรงดัดจะลดลงเท่ากับที่ไม่มีการเติมเถ้าหนัก และพบว่าการเติมเถ้าลอยสามารถเติมในกระเบื้องได้ถึง 20%

โดยยังคงให้ค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับที่ไม่มีการเติมเถ้าลอย แต่ค่าความหนาแน่นของกระเบื้องที่เติมเถ้าหนักหรือเถ้าลอยจะต่ำกว่ากระเบื้องที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียวเนื่องจากการใช้เถ้าหนักและเถ้าลอยที่มีรูปร่าง อนุภาคเป็นสามมิติ (3-Dimensional shape) ทำให้การผนึกตัวของอนุภาคก่อนเผาอยู่กันอย่างหลวมๆ ซึ่งต่างจากที่ใช้ดินเพียงอย่างเดียวที่มีอนุภาคเป็นแผ่น จะผนึกตัวแน่นกว่าและส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงหลังเผามากขึ้น นอกจากนี้ชิ้นงานมีค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าหนักและเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณรูพรุนเปิดที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมเถ้าหนักให้ผลดีในแง่สมบัติเชิงกล เนื่องจากเถ้าหนักมีส่วนช่วยในการหลอมตัวและทำหน้าที่เชื่อมประสานโครงสร้างได้ดีกว่าเถ้าลอย



รูปที่ 1 สมบัติทางกายภาพของกระเบื้องที่ผสมเถ้าหนัก  
(ก) ความต้านทานแรงดัดและความหนาแน่น  
(ข) การหดตัวและการดูดซึมน้ำ

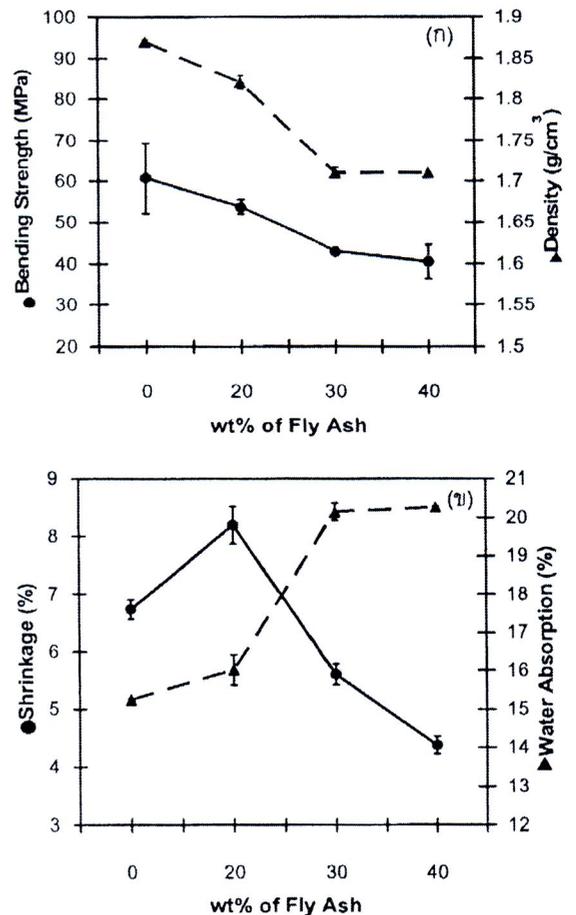
นอกจากนี้เถ้าหนักและเถ้าลอยยังช่วยลดการหดตัวหลังเผา ทำให้ชิ้นงานมีโอกาสเสี่ยงต่อการบิดงอหลังเผาน้อยกว่าการใช้ดินเพียงอย่างเดียว และเนื่องจากในเถ้าถ่านหินมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)<sub>2</sub>) และออกไซด์ของ ซิลิกา อลูมินา และเหล็ก ปนอยู่ จึงเกิดปฏิกิริยาเคมีชนิดปอซโซลานิก (Pozzolanic reaction) ได้ โดยนำน้ำไปใช้ในปฏิกิริยาบางส่วน ดังสมการที่ 1



โดยสารประกอบ C-S-H (Calcium silicate hydrate) ที่เกิดขึ้น จะช่วยในการเชื่อมประสานทำให้กระเบื้องมีความแข็งแรงก่อนเผามากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3ก และ 3ข โดยกระเบื้องที่ผสมเถ้าหนัก 10% จะมีความแข็งแรงก่อนเผา (Green strength) มากขึ้นเมื่อเทียบกับไม่เติมเถ้าหนัก แต่เถ้าลอยที่เติมลงในกระเบื้องไม่ได้ช่วยในเรื่องความแข็งแรงก่อนเผามากนัก เนื่องจากเถ้าหนักและเถ้าลอยเป็นวัสดุที่เปราะและไม่มีความเหนียว (Non-plastic material) จึงทำให้ชิ้นงานก่อนเผามีความต้านทานแรงดัดลดลง และในการเติมเถ้าหนักลงในกระเบื้องต้องระวังในเรื่องการขึ้นรูป เนื่องจากส่วนผสมจะแข็งตัวเร็ว โดยต้องทำการขึ้นรูปทันทีหลังจากที่เตรียมส่วนผสมเสร็จ

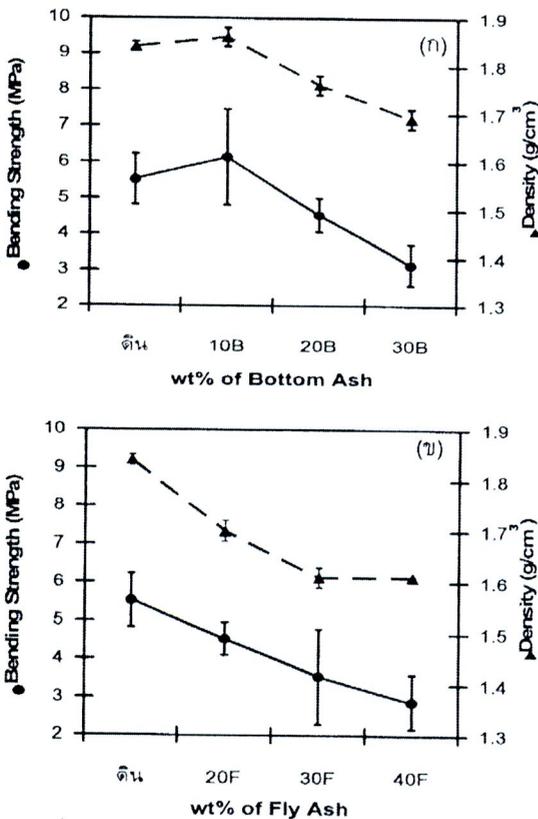
### 3.2 ผลของอุณหภูมิและอัตราการใช้เถ้าที่แตกต่างกันต่อสมบัติเชิงกลของกระเบื้องเซรามิก

จากรูปที่ 4ก, 4ข, 5ก และ 5ข พบว่าความต้านทานแรงดัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผากระเบื้องจาก 850 เป็น 900 °C และจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาเป็น 950 °C และพบว่าอุณหภูมิเผาที่ 900 °C เป็นอุณหภูมิการเผาผนึกของของกระเบื้อง เนื่องจากมีปริมาณแก้วหลอม (Glassy phase) ที่เพียงพอต่อการปิดรูพรุนที่อยู่ระหว่างอนุภาคได้ ทำให้ความต้านทานแรงดัดมีค่ามากที่สุด และเมื่ออุณหภูมิเผาเพิ่มขึ้นเป็น 950 °C พบว่าความต้านทานแรงดัดลดลง เนื่องจากอุณหภูมิการเผาสูงขึ้นจะมีปริมาณของหลอมมากขึ้น



รูปที่ 2 สมบัติทางกายภาพของกระเบื้องที่ผสมเถ้าลอย  
(ก) ความต้านทานแรงดัดและความหนาแน่น  
(ข) การหดตัวและการดูดซึมน้ำ

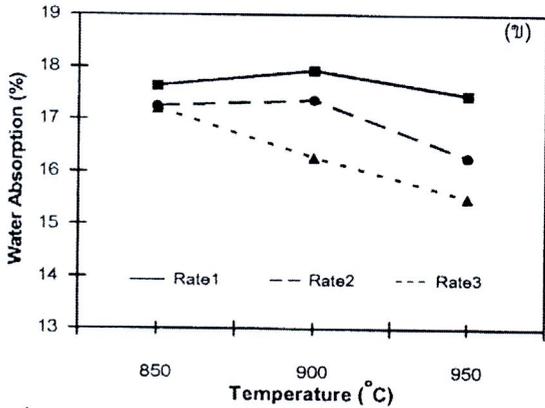
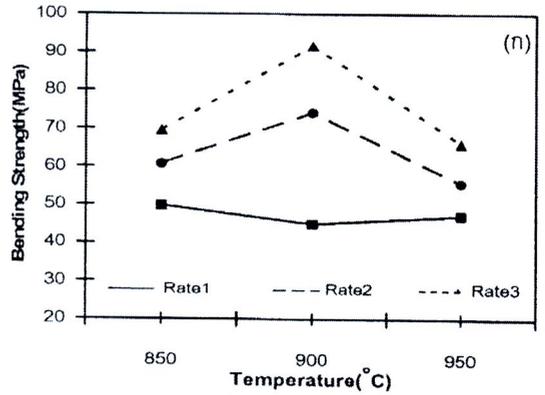
ความหนืดของของหลอมลดลง อาจทำให้เกิดการเดือดของ Glassy phase แล้วทำให้มีรูพรุนปิดได้ง่าย ซึ่งจะเห็นได้จากผลของค่าการดูดซึมน้ำที่ ยังคงที่เมื่ออุณหภูมิเผาเพิ่มขึ้นจาก 900 °C เป็น 950 °C แสดงให้เห็นถึงการมีรูพรุนเปิดที่ใกล้เคียงกันทั้ง 2 อุณหภูมิ แต่การเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีรูพรุนปิดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงดัดของกระเบื้องลดลง และจากผลการทดลองการเผาด้วยการใช้อัตราการขึ้นไฟที่แตกต่างกัน พบว่าหากขึ้นไฟเร็วในการเผากระเบื้องที่ผสมเถ้าหนัก 10% จะมีความต้านทานแรงดัดใกล้เคียงกับที่ผสมเถ้าลอย 20% และจะมีค่าเพิ่มขึ้นหากเผาด้วยอัตราที่ช้าลง แต่กระเบื้องที่ผสมเถ้าลอยให้ค่าความต้านทานแรงดัดที่ใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเผา โดยจากการทดลองกระเบื้องที่มีการผสมเถ้าหนัก 20% จะมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่ามาตรฐานของโรงงานมาก เมื่อเทียบกับการเติมเถ้าลอยที่ปริมาณเท่ากันจึงไม่นำมาพิจารณา และพบว่ากระเบื้องที่เติมด้วยเถ้าหนักและเถ้าลอย สามารถเผาแบบขึ้นไฟเร็วได้ โดยกระเบื้องไม่มีการบิดเบี้ยว ซึ่งให้ผลดีกว่ากระเบื้องที่มีแต่ดินเพียงอย่างเดียว



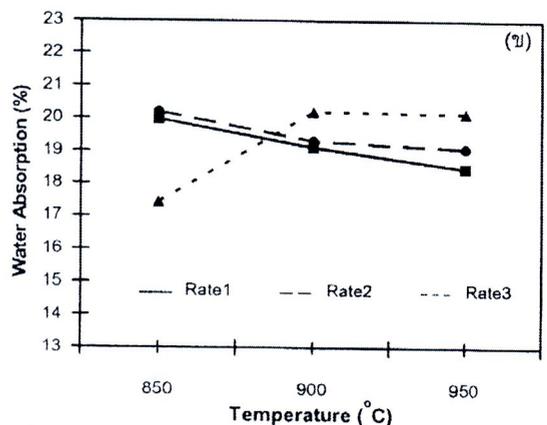
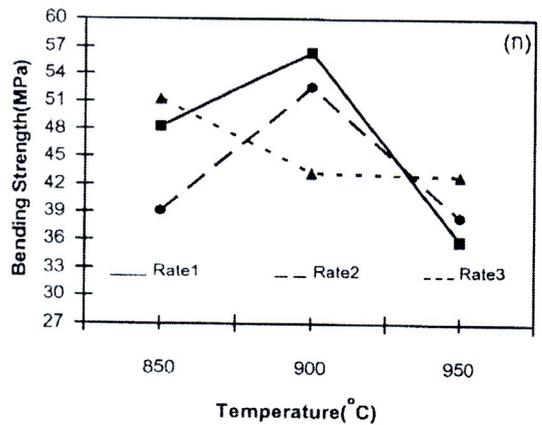
รูปที่ 3 ความต้านทานแรงดัดและความหนาแน่นก่อนเผา (ก) ดินผสมเถ้าหนัก (ข) ดินผสมเถ้าลอย

### 3.3 โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องเซรามิกที่เติมเถ้าลอยหรือเถ้าหนัก

โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องที่มีดินเพียงอย่างเดียวมีความต่อเนื่องของเฟสต่างๆเป็นอย่างไรดี มีความแน่นตัวสูง และไม่พบอนุภาคของแร่ดิน (Clay mineral) ที่เป็นสารตั้งต้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 °C การผสมเถ้าลอย 20% และ 30% และผสมด้วยเถ้าหนัก 10% ในดินสำหรับทำกระเบื้องทำให้มีโครงสร้างจุลภาคโดยทั่วไปไม่แตกต่างจากที่มีดินเพียงอย่างเดียว และพบว่าเมื่อผสม

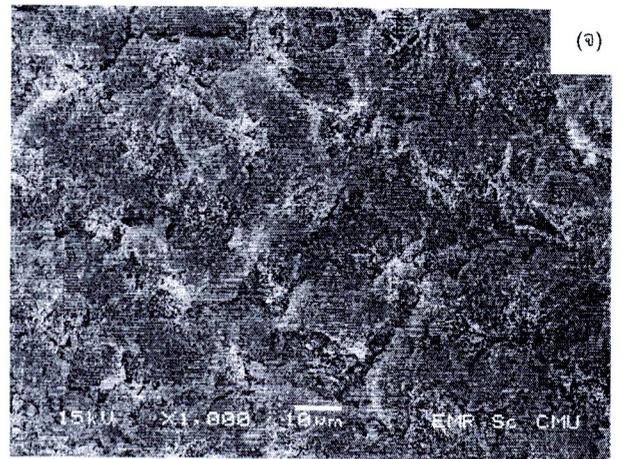
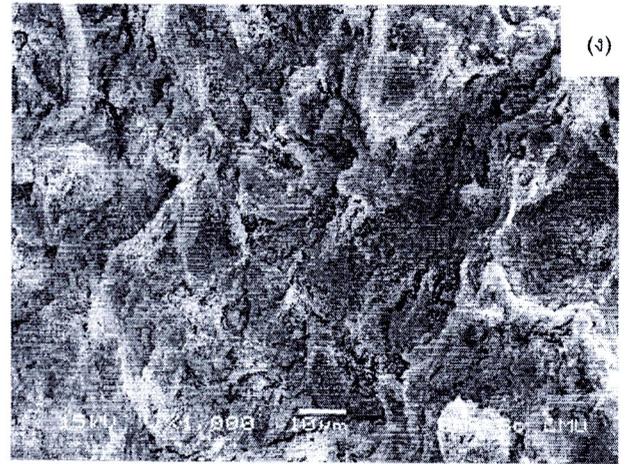
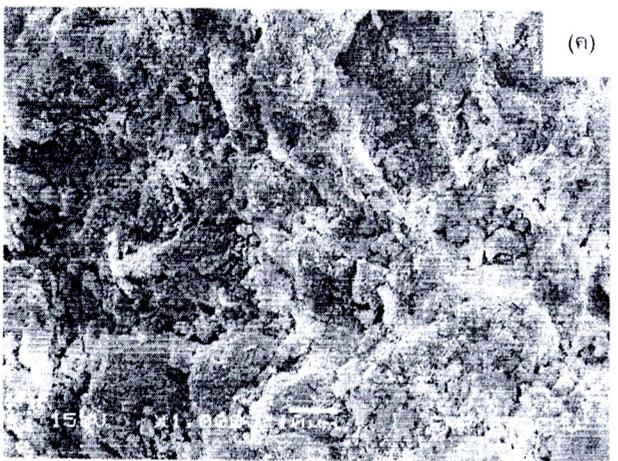
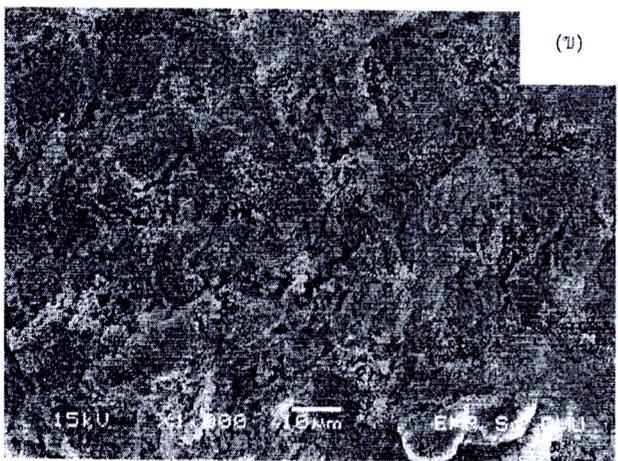
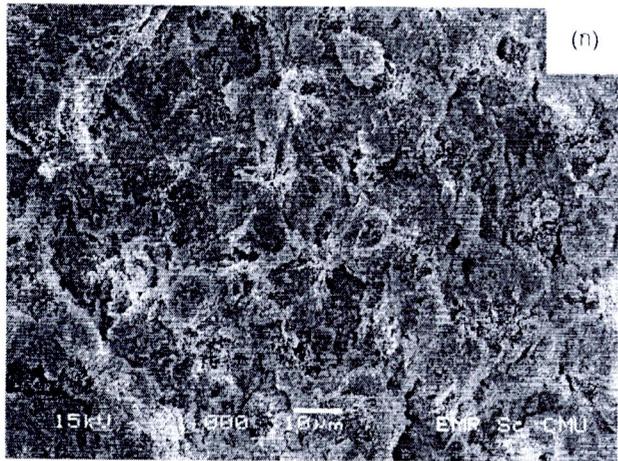


รูปที่ 4 คุณสมบัติหลังเผาของชิ้นทดสอบที่ผสมเถ้าหนักร้อยละ 10 (ก) ความต้านทานแรงดัด (ข) การดูดซึมน้ำ



รูปที่ 5 คุณสมบัติหลังเผาของชิ้นทดสอบที่ผสมเถ้าลอยร้อยละ 20 (ก) ความต้านทานแรงดัด (ข) การดูดซึมน้ำ

ด้วยเกณฑ์ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความต่อเนื่องของเฟสมากขึ้น เนื่องจากจากส่วนผสมมีการหลอมตัวมากขึ้น ได้ Glassy phase มากขึ้น สันนิษฐานว่าลักษณะที่มี Glassy phase มากขึ้นจากการเติมเกณฑ์นี้จะส่งผลทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดลดลง และจากการเติมเกณฑ์ที่ 10% ดังที่กล่าวมา พบว่าการเพิ่มขึ้นของความสามารถทนต่อแรงดัดยังไม่เห็นความสอดคล้องกับโครงสร้างจุลภาค

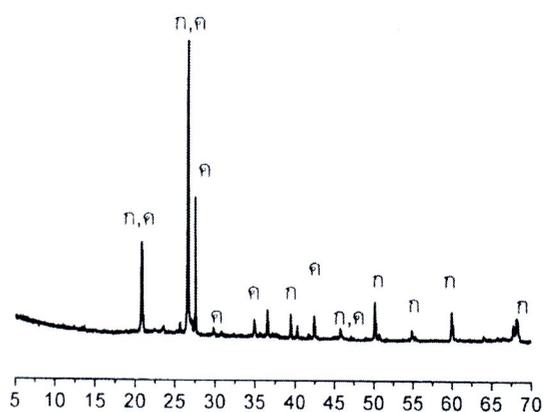


รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องเซรามิก

(ก) สูตร A เเผา 900 °C R3 (ข) สูตร E เเผา 900 °C R2

(ค) สูตร F เเผา 900 °C R2 (ง) สูตร B เเผา 900 °C R1

(จ) สูตร C เเผา 900 °C R1



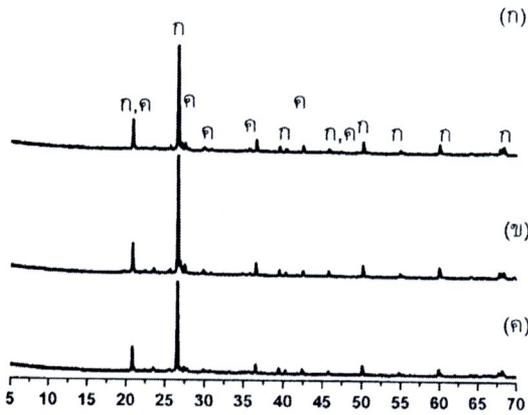
รูปที่ 7 องค์ประกอบทางแร่ของกระเบื้องเซรามิกจากดิน

เผาที่ 950 °C อัตรา R1

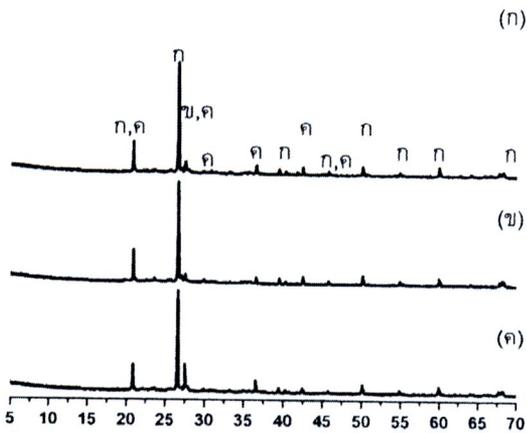
เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของกระเบื้องที่มีดินเพียงอย่างเดียว โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C พบว่ายังพบแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่พบอยู่ในดินก่อนเผา คือ ควอตซ์ ( $\text{SiO}_2$ ) และ

มัสโคไวต์ ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ) ส่วนแร่คาโอลิไนต์ได้เปลี่ยนสภาพไปอยู่ในรูปอะลูมิโนซิลิเกตซึ่งคาดว่าจะทำปฏิกิริยาเดียวกับมัสโคไวต์ เปลี่ยนเป็นออร์โทเคลส ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) โดยการเติมเกณฑ์แทนที่ดินบางส่วนจะไม่พบการพัฒนาการเกิดแร่ชนิดใหม่ขึ้น คาดว่าน่าจะเกิด

การหลอมตัวขององค์ประกอบต่างๆที่มีในวัตถุดิบตั้งต้นทั้งหมด ยกเว้นควอร์ซที่มีการหลอมเพียงบางส่วน แต่การเติมแก้วลอยในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์นั้นทำให้เกิดแร่ชนิดอะโนไทต์ ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) เนื่องจากแก้วลอยมีองค์ประกอบของ Ca อยู่ด้วย



รูปที่ 8 องค์ประกอบทางแร่ของกระเบื้องเซรามิกที่เติมแก้วหนัก  
(ก) 10% 950 °C อัตรา R1 (ข) 10% เเผาที่ 850 °C อัตรา R1  
(ค) 20% เเผาที่ 950 °C อัตรา R1



รูปที่ 9 องค์ประกอบทางแร่ของกระเบื้องเซรามิกที่เติมแก้วลอย  
20% และเผาที่อุณหภูมิ  
(ก) 950 °C อัตรา R1 (ข) 850 °C อัตรา R1  
(ค) 950 °C อัตรา R3

#### หมายเหตุ

ก (ควอร์ซ) ข (อะโนไรท์) ค (ออร์โทเคลส)

#### 4. สรุปผลการทดลอง

การใช้แก้วหนักแทนที่ดิน 10% ทำกระเบื้องก่อนเผาและหลังเผา ความสามารถทนต่อแรงดัดเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ดินเพียงอย่างเดียว และการแทนที่ดินด้วยแก้วลอย 20% ทำให้ค่าความสามารถทนต่อแรงดัดลดลงแต่ไม่มาก ซึ่งพบว่าเมื่อพิจารณาค่าความแรงดัดการดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่นของกระเบื้องที่มีการเติมแก้วหนัก 10% และแก้วลอย 20% มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้ของกระเบื้องที่มีแต่ดินเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสามารถใช้แก้วลอยหรือแก้วหนักแทนที่ดินบางส่วนในการทำกระเบื้องเซรามิกได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเงินทุนวิจัยจากสำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัย (สกว.) ร่วมอุตสาหกรรม รหัสโครงการ MRG-WI525S058

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สภาการเหมืองแร่. การบริการ : ภาวะอุตสาหกรรมเซรามิกส์ปี 2551 แนวโน้มปี 2552. <http://www.miningthai.org/detail.asp?id=268&news=1> (เมื่อ พฤษภาคม 1, 2553).
- [2] L. Barbieri, A. Corradi, I. Lancellotti, T. Manfredini, Use of municipal incinerator bottom ash as sintering promoter in industrial ceramics, *Waste Management*, 22, 2002, 859–863.
- [3] Z. Haiying, Z. Youcai, Q. Jingyu, Study on use of MSWI fly ash in ceramic tile, *Journal of Hazardous Materials*, 141, 2007, 106–114.
- [4] J.M. Chimenos, M.Segarra, M.A. Fernandez, F. Espiell, Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator, *Journal of Hazardous Materials*, 64(3), 1999, 211-222.
- [5] โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. นานาสาระ : การนำแก้วลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์. [http://maemoh.egat.com/index\\_maemoh/index.php?content=sara&topic=2](http://maemoh.egat.com/index_maemoh/index.php?content=sara&topic=2) (เมื่อ พฤษภาคม 1, 2553).
- [6] ทยุติ อีสริยฤทธานนท์. กำลังอัด ความต้านทานต่อการขัดสี และความทนทานต่อคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้แก้วหนักจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่มวลรวมละเอียด. วศ.ม., วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2003.
- [7] S. Bethanis, C.R. Cheeseman, C.J. Sollars, Properties and microstructure of sintered incinerator bottom ash, 28, 2002, 881–886.
- [8] V. Adell, C.R. Cheeseman, A. Doel, Beattie, A.R. Boccaccini, Comparison of rapid and slow sintered pulverized fuel ash, *Fuel*, 87, 2008, 187–195.
- [9] M. Erol, S. Kucukbayrak, A. Ersoy-Mericboyu, Characterization of sintered coal fly ashes, *Fuel*, 87, 2008, 1334–1340.
- [10] C.R. Cheeseman, S. Monteiro da Rocha, C. Sollars, S. Bethanis, A.R. Boccaccini, Ceramic processing of incinerator bottom ash, *Waste Management*, 23, 2003, 907-916.

# Glazed ceramic tiles made of bottom ash and fly ash from Mae Moh Power Plant

Jutharat Wongkuttiya<sup>a</sup>, Kedsarin Pimraksa<sup>b</sup>, Arnon Chaipanich<sup>c</sup> and Sethapong Sethabouppha<sup>d</sup>

a) Integrated Science-Mathematics, Faculty of science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

b) Department of Industrial Chemistry, Faculty of science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

c) Department of Industrial Physics, Faculty of science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

d) Faculty of Architecture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

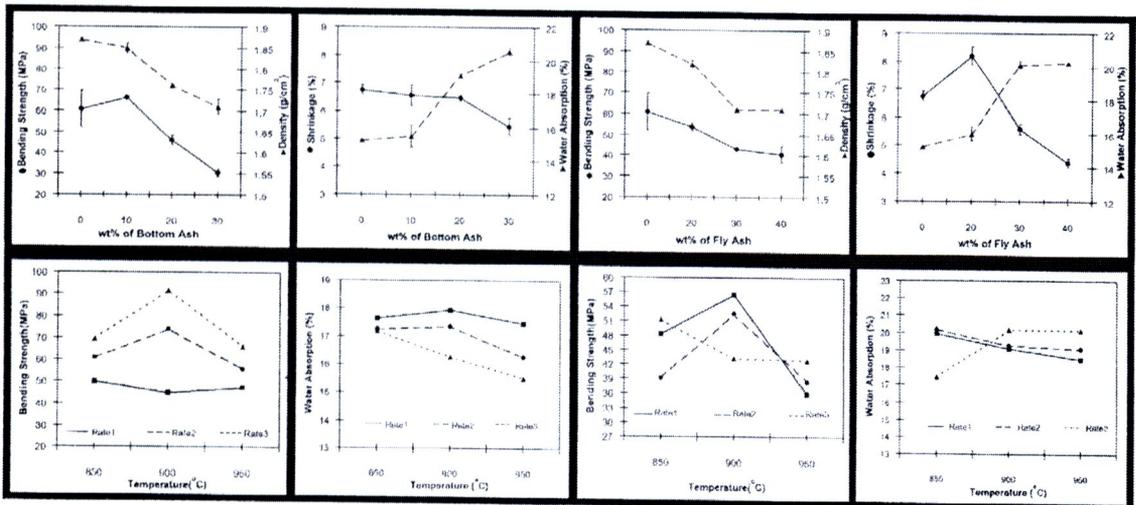
## Introduction and Objective

Huge amounts of bottom ash (BA) and fly ash (FA), by-products from lignite combustion have been left unused. These by-products compose of aluminosilicate phases very similar to those found in clays. They are considered to be used to replace china clays which are normally used in ceramic tile production. Due to their more reactive and less volatile phases, the lower firing temperature and faster firing rate in the production are expected.

## Methods

Either BA or FA was dryly blended with china clay and then formed into tile shape samples. The dried samples were fired at 850-950 °C with various firing rates (normal, fast and very fast). Total shrinkage, water absorption, bulk density and bending strength of fired samples were recorded. Microstructures and mineralogical compositions of fired samples were also observed.

## Results



## Conclusion

Mechanical properties of 10% BA replaced tile before and after firing were improved while 20% FA addition slightly decreased the bending strength. Regarding to bending strength, bulk density and water absorption, 10% BA or 20% FA replaced tiles could be comparable to pure clay tiles. BA and FA were, therefore, considered to be very promising alternative starting materials for ceramic tile production.

**Keywords:** ceramics, mechanical properties, bottom ash, fly ash, firing

## Selected References:

1. Barbieri L, Corradi A, Lancellotti I, Manfredini T. *Waste Management* 2002; 22: 859–863.
2. Haiying Z, Youcai Z, Jingyu Q. *J. of Hazardous Materials* 2007; 141: 106–114.
3. Cheeseman CR, Monteiro S, Sollars C, Bethanis S, Boccaccini AR. *Waste Management* 2003; 23: 907-916.

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ – สกุล

นางสาวจุฑารัตน์ วงศ์ขัติยะ

วันเดือนปีเกิด

8 กุมภาพันธ์ 2525

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาประถมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอนุบาลวังเหนือ  
อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง ปีการศึกษา 2537

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนลำปางกัลยาณี  
อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ปีการศึกษา 2540

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย  
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2543

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2547

สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ 1 ปี  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2548

