

# Clinker 物理特性에 관한 要因分析(통계적 고찰)

吳 熙 鉞

<雙龍洋灰 寧越工場>

## I. 序 言

Clinker 物理特性은 複雜하여 한마디로 표현하기는 매우 어렵다. 최근 X-ray diffractometer D.T.A 電子 현미경 등을 이용하여 結晶學的인 면에서 많은 연구 檢討가 進行되어 왔으며 그 성과도 지대하다. 그러나 原料 및 工程特性에 의한 영향은 앞으로 더 연구되어야 할 과제라 생각된다. 여기서는 Plant research를 목적으로 實驗室的으로 原料, 燒成, 冷却條件으로 Module 變化에 따라 Clinker 物理特性에 미치는 영향을 統計的인 방법으로 다음과 같이 검토하였다.

- ① 原料, 燒成, 冷却條件別 實驗
- ② Module 條件別 實驗(순수 시약 使用)

## II. 實驗 1. 原料, 燒成, 冷却條件別 實驗

### 1. 要因 및 水準

水 準	要 因	A (原料別)	B (燒成條件別)	C (冷却條件別)
1		Lime A	1,500°C	1,400°C~1,500°C에서 急冷
2		Lime B	1,400°C	1,000°C에서 急冷

### 2. Raw material

(單位 : %)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Lime A	4.0	1.2	0.6	51.7	0.18	0.36
" B	8.0	2.7	1.0	47.9	0.18	0.91
Clay	70.0	15.1	4.9	0.4	0.07	3.28
Quartz	96.8	19.0	0.2			
Iron ore	27.8	4.5	63.2		0.08	0.09

3. Raw mix module : (L.S.F : 93%, S.M : 25, I.M : 17 Const.)

4. Raw mix 配合比

- 1) Lime A의 境遇 : 83.1L + 15.4C + 15I
- 2) Lime B의 境遇 : 89.6L + 5.8C + 2.9Q + 1.7I

5. Raw mix 調製 : 각 Raw material을 Jaw crusher에 통과시켜(5mm under) 配合比別로 配合 Blaine 4,000cm<sup>2</sup>/g 되게 實驗 Mill에서 분쇄하였다.

6. Burning condition

① 成球 : Water 24%를 첨가하여 4g Size로 Pellets를 만든다.

② 100°C 2時間 Dry, 950°C에서 45~60分間 예열했다.

③ Burning time : Free CaO를 기준하여 0.7% 이내로 했다.

④ 燒成量 : 1회에 clinker로 400g되게 Pt. box에서 燒成하여 4回 燒成分을 混合 1實驗 lot로 했다.

7. Cement 調製 : 천연석고 3%를 가하여 Blaine 3,000cm<sup>2</sup>/g 되게 Cement를 調製했다.

8. 實驗結果

No.	燒成條件別	Burning time (min)	Free CaO (%)	W/C	Setting		Strength			
					初結 (分)	終結 (時)	Bicw	3ds	7ds	28ds
1	Lime B 1,500°C 急冷	45	0.4	7/35	35	5:20	63	166	273	306
2	Lime B 1,500°C 서냉	45	0.4	8/35	25	8:05	67	66	185	265
3	Lime B 1,400°C 急冷	70	0.7	5/35	30	5:00	64	154	253	322
4	Lime B 1,400°C 서냉	70	0.6	8/35	20	6:30	66	74	153	265
5	Lime A 1,500°C 急冷	45	0.3	9/24	185	4:40	56	169	264	366
6	Lime A 1,500°C 서냉	45	0.5	10/22.5	240	7:00	53	189	280	380
7	Lime A 1,400°C 急冷	70	0.5	10/23.5	200	5:10	50	173	302	408
8	Lime A 1,400°C 서냉	70	0.6	10/23.5	200	5:30	50	179	301	423

9. Clinker grindability test

① 試驗方法 : 燒成 Clinker로 Jaw crusher를 通過하는(5mm under)分 1,400g에 天然石膏粉末 30%를 添加하여 實驗 Mill(Steel ball mill)에서 분쇄하여 Blaine 3,000cm<sup>2</sup>/g될 때까지의 所要時間을 측정했다.

② 試驗結果

No.	Residue on 88 $\mu$	Blaine	Grinding time (min)	Time ratio
1	1.5	2,950	30	100
2	2.1	3,000	32	107
3	1.3	2,980	30	100
4	1.4	2,950	32	107
5	2.7	3,000	30	100
6	2.1	2,990	31	103
7	1.3	3,080	29	98
8	1.5	2,960	31	103

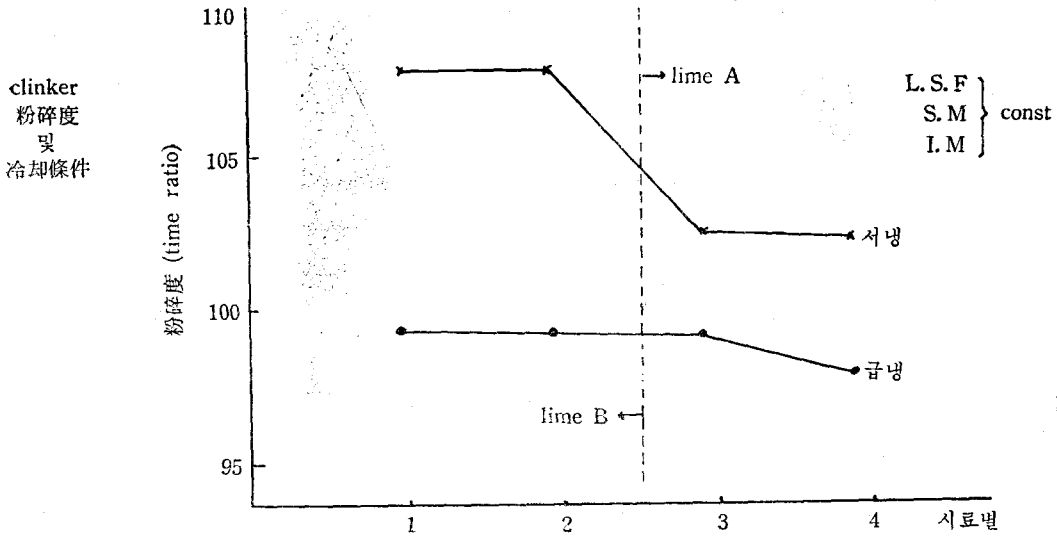
10. 結果分析

① Grindability 要因分析

本實驗에 의하면 Clinker grindability에는 冷却條件과 有意差가 있다. 즉 急冷인 경우 서냉보다 粉碎度가 좋다. Burning temp. 原料(Lime別) 變化는 Clinker 粉碎度에 영향이

分散分析表

要因	S	$\phi$	V	F <sub>0</sub>
A	245	1	245	5.76
B	0	1	0	
C	50	1	50	11.76*
e	17	4	4.25	
計	91.5	7		



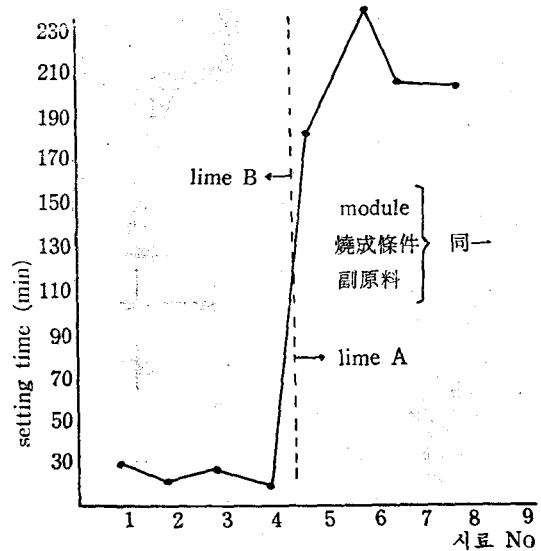
<Fig-1>

없는 것으로 나타났다(<Fig-1> 참조).

② Setting time(initial)

要因	S	$\phi$	V	F <sub>0</sub>
A	47,278	1	47,278	127.0**
B	528	1	528	
C	528	1	528	
e	1,487.4	4	371.8	

Clinker setting time에는 Lime別로 高度의 有意差가 있다. 즉 Lime B의 경우 Lime A보다 Setting time이 매우 짧다. 이는 Lime B의 경우 Alkali 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量이 많기 때문에 수화 반응이 급격한 발열 현상에 기인한다고 생각된다.

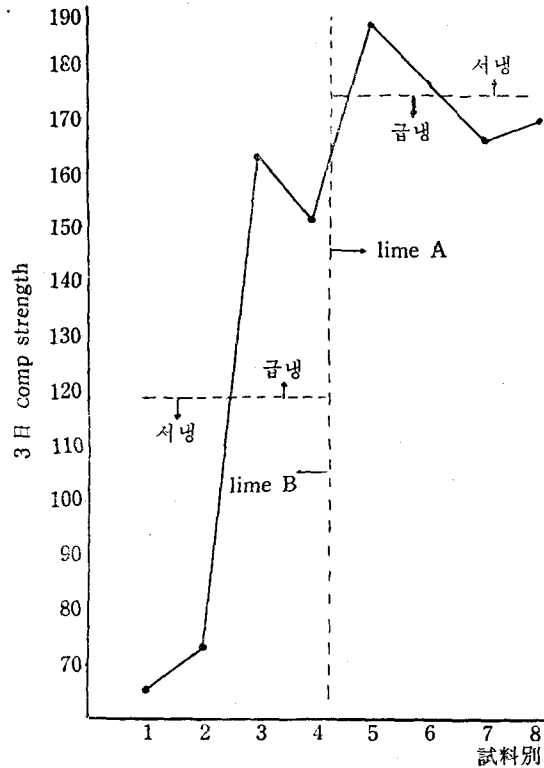


<Fig-2> Limestone & setting time

③ 3日 壓縮強度

要 因	S	$\phi$	V	F <sub>0</sub>
A	7,812.5	1	7,812.5	156.9**
B	12.5	1	12.5	—
C	2,964.5	1	2,964.5	59.5**
AC	5,304.5	1	5,304.5	106.5**
C	149.5	3	49.8	—
計		7		

3日 壓縮強度에는 原料別 冷却條件變化에 高度의 有意差가 있으며 또한 原料와 冷却條件의 交互 作用도 高度의 有意差가 있다. 즉 1) Lime A가 Lime B보다 強度에는 현저히 좋다 2) Lime B 使用時 冷却條件變化 즉 서냉의 경우 급냉보다 현저히 強度가 저하한다(Lime A에서는 그리 큰 變化가 없으며 서냉의 경우가 오히려 좋은 結果가 얻어졌다). 이는 理論적으로 볼 때 Lime B인 경우 R<sub>2</sub>O 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 많기 때문에 서냉시 이들이 활성화되어 Clinker 強度를 저해한다고 보며 Lime A의 경우 別차이가 없는 것은 서냉되면서도 계속 Crystal이 발달된 結果로 본다(C<sub>2</sub>S의 Crystal temp.가 1,250°C이기 때문).



<Fig-3> Lime & 冷却條件 및 3日 強度

④ 7日 強度

7日 強度에서도 3日과 같이 原料別로 有意差가 있으며 原料와 冷却 交互 作用은 유의차 없는 것으로 보이나 역시 영향을 미친다고 보아야 하겠다(28日 強度도 3日, 7日 強度와 같은 추세이므로 檢定을 省略한다).

要 因	S	$\phi$	V	F <sub>0</sub> =105
A	10,011	1	10,011	18.2*
B	6.1	1	6.1	—
C	374.1	1	374.1	—
AC	5,151	1	5,151	9.33
e	1,654.3	3	551.4	—
計		7		

III. 實驗 2.

原料 Module이 Clinker grindability에 미치는 영향 檢討

1. Raw material

- i) CaCO<sub>3</sub> : Pure reagent (시약 1級)
- ii) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : " ( " )

5 시멘트 심포지움

- iii) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : " (시약 1級)
- iv) SiO<sub>2</sub> : Quartzite(315 mesh 通過分으로 SiO<sub>2</sub>가 97%)

2. 要因 및 水準

水 準	要 因	A L.S.F	B S.M	C I.M
1		96	2.2	1.4
2		90	2.8	1.9

3. Raw mix 配合 : 각 條件別 試藥을 Poly-ethylen film에서 Hand mixing後 차재 Ball mill에서 30분간 Mixing했다.

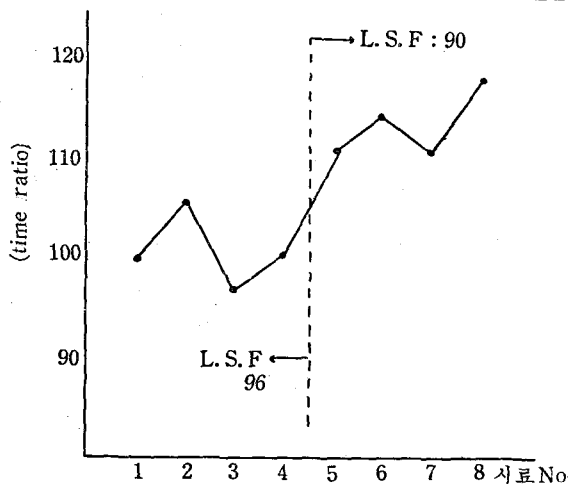
- 4. 成球 및 Preheating : 實驗 1과 同一
- 5. Burning : Free CaO 基準(0.7% 以下)
- 6. Burning temp : 1,450°C
- 7. Cement 調製 및 試驗項目 : 實驗 1과 同一
- 8. 實驗順序는 랜덤하게 했다(2.8. 1. 5. 7. 4. 3. 6)
- 9. Raw mix 配合比 및 成分 (單位 : %)

No.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	L.S.F	S.M	I.M
1	146	3.7	2.6	44.27	95.2	2.3	1.42
2	14.4	4.1	2.2	44.33	95.6	2.3	1.86
3	14.9	3.2	2.2	44.55	95.2	2.8	1.45
4	14.9	3.5	1.9	44.61	95.6	2.8	1.84
5	15.1	4.0	2.8	43.66	89.9	2.2	1.42
6	15.1	4.3	2.3	43.77	90.0	2.3	1.84
7	15.6	3.3	2.3	44.05	90.0	2.8	1.43
8	15.6	3.6	2.0	44.05	89.8	2.8	1.85

10. 試驗結果

- ① Clinker grindability : 實驗方法은 實驗 1과 同一

No.	Residue on 88 $\mu$	Blaine	Grinding time	Time ratio
1	3.1	2,930	28	100
2	2.8	2,970	29	104
3	2.8	2,950	27	96
4	3.4	2,940	28	100
5	2.9	2,950	31	111
6	3.5	2,940	32	114
7	2.5	3,040	31	111
8	2.8	3,050	33	118



<Fig-4> L. S. F & Clinker 粉碎度

② 物理性能

No.	原料條件			Burning time (分)	Free CaO (%)	Setting time			Comp. strength			
	LSF	SM	IM			W/C	Initial (分)	Final (時)	Flow	3ds	7ds	28ds
1	95	2.3	1.4	60	0.4	9/22.5	190	5:00	47	267	367	453
2	95	2.3	1.9	60	0.5	10/23	170	4:30	47	262	397	457
3	95	2.8	1.4	60	0.4	11/22.5	190	5:00	47	251	386	448
4	95	2.8	1.9	60	0.4	11/22.5	180	4:55	47	260	391	472
5	90	2.3	1.4	35	0.5	10/23	175	4:40	48	184	293	435
6	90	2.3	1.9	35	0.4	10/23	175	4:40	49	185	267	421
7	90	2.8	1.4	40	0.4	11/23	215	5:30	49	200	292	442
8	90	2.8	1.9	35	0.5	10/22.5	205	5:10	49	192	296	424

11. 結果檢討

① Clinker grindability

分散分析要	S	$\phi$	V	$F_0=7.71$
A	364.5	1	364.5	67.5**
B	1	1	1	
C	40.5	1	40.5	
e	-1.6	1	5.4	7.5*
計	427.6	4	411.4	7.5

a) L.S.F : Clinker 粉砕度와 高度의 有意差가 있다.

b) S.M : 粉砕度와 相關關係가 없다.

c) I.M : 有意差는 없으나 영향력이 있는 듯 하며 再試驗이 要求된다. 즉 L.S.F는 낮을 수록 粉砕度가 低下한다. I.M이 낮을수록 粉砕

度가 低下된다. 이는 High viscosity 性分(CaO, SiO<sub>2</sub>) 등이 많으면 分쇄도가 上昇하고 Low viscosity 性分(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 등이 많으면 粉砕度가 저하하는 듯하다.

② 其他 物理性能變化

a) Burnability : L.S.F에만 현저히 차이가 있으며 S.M, I.M에는 별 영향이 없다(L.S.F 95 基準했을 때 90 경우 Time ratio로 58%).

b) Setting time : 條件別로 큰 차이 없다.

c) Comp. strength : L.S.F에 따라 3日, 7日 강도는 크게 變하며 28日 강도는 별차이 없다. 즉 L.S.F가 높으면 조기 강도(3日, 7日)는 현저히 상승하며 상승률 1% L.S.F 상승에 3日 強度가 14 程度 上昇, 7日 강도는 20 程度 상승, S.M, I.M의 變化에 따라서는 강도에는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다.

IV. 綜合檢討

① Clinker 冷却條件에 따라 clinker 粉砕度는 달라진다. 즉 서냉 크링카일수록 粉砕效率은 저하한다.

② 原料(Lime)變化에 따라서는 有意差가 없는 것으로 判定되었으나 檢定結果 有意限界線과

유사한 것으로 보아(分散分析表 參照) 영향이 있을 듯하며 再實驗이 요구된다.

③ L.S.F 變化는 Clinker 粉砕度와 고도의 유의차가 있는 것으로 나타났다. 즉 L.S.F가 낮을수록 粉砕度が 저하한다.

④ 燒成溫度, S.M, I.M 등은 粉砕度에 큰 要因이 아닌 것으로 나타났다.

⑤ Lime B의 경우 Lime A보다 Setting time이 현저히 짧다.

⑥ Lime B의 경우 冷却條件에 따라서 강도가 크게 變한다.

⑦ Burnability는 L.S.F에만 현저히 차이가 있으며 S.M, I.M은 별영향력이 없는 것으로 나타났다.