

技術論叢

液體燃料의 助燃劑試用結果에 對한 報告

韓一세멘트 丹陽工場

李 南 龍

< 內 容 >

1. 序	2.2.2 Ring formation
2. 助燃劑使用結果에 對한 報告	2.2.3 Clinker 中 SO <sub>3</sub>
2.1 試驗方法에 對한 前提	2.2.4 經濟性 檢討
2.2 使用結果에 對한 報告	2.2.5 其他
2.2.1 Heat Consumption	3. 綜合

1. 序

本工場에서는 液體燃料의 助燃劑의 一種인 Gamlenol D.P. 231을 bunker C-oil 에 添加, Kiln 部門과 粘土乾燥機 및 raw mill 用 furnace 에 使用하여 그 効用性과 經濟性을 調査하였다.

本試驗은 2次에 亙하여 實施되었으며 第1次는 1966年 10月16日~11月14日(約1個月間)에 그리고 第2次 試驗은 今年 2月10日~3月25日 期間中에 施行하였다.

本稿는 第2次 使用結果에 對한 報告書이다.

그 効用性에 對해서는 助燃劑 添加前後의 熱消費를 比較하였고, kiln의 境溫 Ring formation의 推移와 Clinker 中の SO<sub>3</sub> 含量等을 調査比較하였다. 한편 現行價格을 基礎로 그 經濟性을 檢討하였다.

## 2. 助燃劑使用結果에 對한 報告

### 2.1 試驗方法과 몇 가지 前提

a) 助燃劑 添加率은 體積比로 1/1,000, 添加方法은 入荷된 Tank Car 豫熱中에 混入시켜 Storage Tank 에 一旦 貯藏시키므로써 助燃劑와 Oil 相互間의 混合, 反應時間을 可能한 대로 充分하게 維持하였다.

b) Service Tank 內의 Drain 을 隨時로 除去, 水性 Sludge 의 水分分離와 Emulsion 破壞效果를 調査하였다.

c) 同試驗期間 前後에 使用한 Oil 의 性狀 (Viscosity, 反應度 水分, 硫黃分 其他 不純物의 含量等)은 같다고 看做한다.

d) 또한 試驗期間을 前後에서 使用된 原燃料의 助成等 諸條件은 大體的으로 큰 變動이 없는 것으로 規定한다.

### e) 比較方法은

A : 添加前 20 日間 実績 (1月 20日 ~ 2月 9日)

B : 添加時 実績 (2月 10日 ~ 3月 25日)

C : 添加中止後 20 日間 実績 (3月 26日 ~ 4月 15日)로 区分 三者間의 差異를 比較하였다.

## 2.2 使用結果에 對한 報告

### 2.2.1 Heat Consumption

다음의 Table 1 은 助燃劑 使用前後의 熱消費의 推移를 나타낸 것이다. A 區間에서는 Coal 과 C-oil 의 混燒比는 79對 21 (重量比)程度이다. 助燃劑를 使用한 B 區間에서는 Clinker ton 당 Oil 使用量은 A 에서와 大同小異 하나 Coal 使用量의 減少로 Oil 混燒比는 22%로 되었다. C 區間에서는 Oil 使用量이 顯著하게 增加되어 28%線에 達하고 있다.

区分	Oper. hrs.	Clinker Through-put ton	Fuel Consum		Heat Consum Cal/kg.cl	对比	備考
			Anth Coal kg/ton.cl	C-oil kg/ton.cl			
A	969.23	23,861	134.6	36.8	1,129	100	-
B	2,021.14	52,460	127.9	37.0	1,091	97	助燃剂添加
C	915.10	23,391	117.4	45.7	1,112	98.2	-

Table 1 助燃剂添加와 熱消費變化 (Kiln部門)

Heat Consumption은 助燃剂 使用時 1,091 Kcal/Kg Cl.로 A, C 区間보다 微小한 減少傾向이 있음을 알 수 있다. 即 A 区間에서 보다 38 Kcal/Kg Cl. (約 3.0%), C보다 21 Kcal/Kg.Cl. (約 1.8%) 節減되었다. 이것은 Kiln의 境遇 助燃剂 添加로 燃燒狀態가 改善되는 餘地 (不完全燃燒 → 完全燃燒)가 稀薄함을 示唆해 주는 것이다. 特殊한 境遇를 除外하고는 Kiln에서 oil의 不完全燃燒란 생각할 수 없기 때문이다.

区分	Clay Dryer				Raw Mill				備考
	Oper. hrs.	Clay ※乾燥量 ton	Fuel Consum Kg/ton.Cl	对比	Oper. hrs.	raw me-al 生産量 ton	Fuel Cons-um. Kg/ton.Cl	对比	
A	142.40	1,873	23.5	100	724.10	37,119	6.1	100	助燃剂添加
B	268.30	3,823	19.3	82	1,448.35	77,417	5.2	85	
C	142.10	1,986	20.6	88	707.25	35,973	5.5	90	

※ Clay 乾燥量은 Dry base임

Table 2. 助燃剂添加와 熱消費變化 (raw mill部門)

Table 2는 Clay dryer와 Raw Mill 用 Furnace에서 助燃剂 使用으로 인한 燃料消費의 推移를 表示한 것이다. 各 Furnace에는

低圧空氣噴霧型 Oil Burner를 使用하고 있다. Oil의 Pre-heating은 Service Tank 内部에 있는 Unit Heater에 依해서만 實施되며 Oil은 自然 Head에 依해서 Burner 孔에서 噴出되므로 霧代狀態가 円滑하지 못한 形便이다. 表에서 알 수 있는 바와 같이 助燃劑 添加時 A 区間에 比하면 Clay Dryer에서 約 18%, Raw mill에서 約 15%의 燃料가 節減되고 있다. 한편 C 区間과의 對比에서는 Clay Dryer 6.3% Raw Mill 5.5%의 比率로 節減을 가져 왔다.

여기에서 注目되는 것은 A와 C 区間の 格差이며 이것은 生粘土 및 原料中 Initial Moisture等 季節的인 影響에서 然由된 것이 아닐가 생각된다. A 区間은 1月下旬~2月上旬에 그리고 C는 3月末에서 4月上旬에 達한 期間이기 때문이다.

따라서 위의 兩者間的 格差를 가져온 主된 原因이 季節的인 影響을 받는데 있다면 A, B 間의 對比에서 助燃劑使用으로 因한 燃料消費量 節減량은 18% (Clay Dryer)나 15% (Raw Mill)보다 적어질 것이다.

### 2.2.2 Ring Formation

Fuel 中の 硫黃分이 燃燒되어 亜黃酸gas ( $SO_2$ )가 되고 酸化鐵이나 Oil 中에 含有된 Vanadium 触媒下에서 黃酸gas ( $SO_3$ )가 生成되며 (註1) 이  $SO_3$  Gas는 原料中에 들어있는 Alkali 物質 ( $K_2O, Na_2O$ )과 結合 低融点의 Alkali Sulphate ( $K_2SO_4, Na_2SO_4$ )를 만들어 Ring Formation의 主要原因이 된다는 것은 周知의 事實이다. (註2)

Gamlenol D.P. 231은 그 化学作用으로 Oil 燃燒로 因한 黃酸 Gas의 生成을 抑制하여 Kiln內에 Ring Formation을 防止하는 効果를 가진다고 報告되어 있으나 (註3)

이에 대해서 實際 使用 結果에 依拠 比較 檢討하였다.

区分	Ring 除去		Ring 自然脱落		備 考
	回数	運休時間	回数	Piece 数	
A	1 回	1.30	-		Kiln No.2 2月8日 gun shell 883Pc 使用
B	-	-	3 回	毎回約20Pc	Kiln No.1 1回 Kiln No.2 2回
C	-	-	1	約25Pc	Kiln No.1

Table 3은 助燃劑使用前後의 Ring Formation 樣相을 나타낸 것이다. A 地区에서는 Kiln Gun 에 依한 1 回의 Ring 除去가 있었다. 그러나 B, C 区間에서는 Ring 的 自然脱落이 各各 3 回와 1 回있었음은 Kiln 運轉에 支障을 招來할 程度의 Ring Formation 은 없었다.

Table 4는 1966年 7月~12月間의 Ring Formation 關係를 나타낸 것이다. 表에서 알 수 있는 바와 같이 1966年 下半年 Ring 除去回數는 8 回 Kiln 運休時間 15 時間 50 分이었다. Table 4와 3을 綜合하면 本工場 Kiln 的 Ring Formation 은 助燃劑添加前에도 크게 問題視되지 아니했으며 助燃劑添加期間中에도 Ring 的 自然脱落現象이 尙存한 것으로 미루어 Ring Formation 을 防止한다기 보다는 Ring 的 軟質化作用으로 脱落이 容易하게 되는 效果가 있지 않는가 推測이 된다.

### 2.2.3 Clinker 中 SO<sub>3</sub>

Clinker 中 SO<sub>3</sub> 量의 變化를 論하기 前에 Kiln 에서의 Sulphur Cycle 에 關해서 言及할 必要가 있다.

Kiln 内部의 位置에 따른 Material 中 Sulphur Content 와 Gas 中 Sulphur 는 Cycle 을 形成하면서 變動된다. 即 Kiln Material 中の Sulphur Content 는 Material 自体溫度가 800°C( 이때 Gas

Kiln 別	Ring 除去 回數	運 休 時 間			備 考
		Ring 除去	Stop burwing	計	
Kiln No.1	3 回	3.00	2.30	5.30	
Kiln No.2	5 "	5.35	4.45	10.20	
合 計	8 "	8.35	7.15	15.50	

Table 4 . 1966年 下半期の Ring Formation 頻度

溫度는 1,200 ~ 1,400°C 範圍)가 되기까지는 增加되는 傾向이 있고 그 以上の 溫度에서는 Sulphate의 蒸發과 熱分解로 因하여 Kiln Outlet에 到達하기까지는 漸次的으로 減少된다. (Fig. 1 參照) 한 例로 Kiln Outlet에 이르는 過程에서 含硫黃化合物의 61~64%가 蒸發되고 Clinker 中에 남은 것은 36~39%에 不過하다는 報告가 있다. (註4)

한편 800°C (Klinker 溫度) 以上에서 熱分解되어 SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> 狀態로 된 Sulphur는 燃燒 Gas와 같이 Kiln Inlet 쪽으로 移動, Material 溫度가 700 ~ 800°C 以下가 되는 Zone에 이르면 그 一部分가 再凝結되어 Material에 吸收된다. 이러한 現象은 Lepol Kiln의 境遇 大部分이 Hot Chamber와 Kiln Inlet Zone에서 일어난다.

그 殘留分은 Gas 狀態 (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>)로 Waste Gas와 같이 大氣中에 排出된다. Material에 吸收되어 되돌아온 Sulphur는 Material의 移動에 隨伴되어 다시 Kiln Outlet 側을 向하여 옮겨가다가 Sinter Zone에 到達하면 그 61~64% 程度가 再蒸發하고 나머지 36~39%가 Clinker 中에 殘留하게 된다.

이렇게 해서 Kiln System에 潛入된 量과 排出된 量間에 Balance를 維持하면서 Sulphur Cycle을 形成한다.

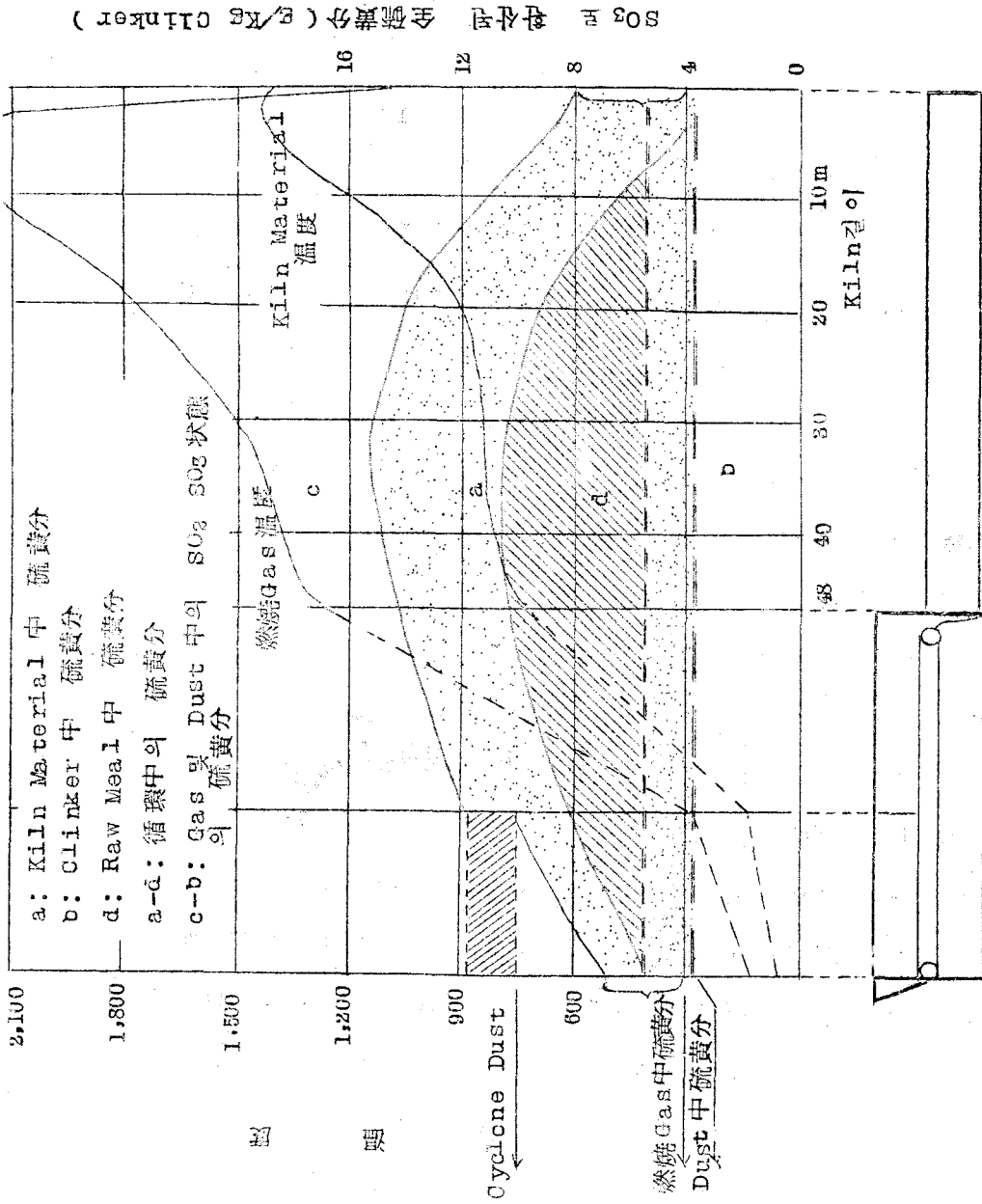


FIG. 1. Kiln Material Clinker Gas 硫黃分

Gas 中の  $SO_2$  나  $SO_3$  는 Material 에 含有된 Alkali 物質과 우선적으로 結合되며 過多量이 存在時에는  $CaCO_3$  나  $CaO$  와도 結合하는 것으로 알려져 있다.

따라서 Sulphur Cycle 過程에서 Material 에 吸收된 Sulphur 는 주로 Alkali 의 Sulphate 狀態로 存在한다.

	Clinker 中 $SO_3$ (平均)		備 考
	添加 前	添加 時	
Test No. 1	0.70%	0.43%	添加劑使用 10/16-11/14
Test No. 2	0.65%	0.40%	" " 2/10-3/25

Table 5. Clinker 中  $SO_3$  變化

Table 5 는 第 1 次와 2 次試驗에서 Clinker 中の  $SO_3$  變化를 나타낸 것이다. 1, 2 次 共히 助燃劑 使用時에는 Clinker 中  $SO_3$  量이 減少되었다. 따라서 Sulphur Balance 의 觀點에서 보면 Gas 狀態로 大氣中에 放出되는 Sulphur Content 가 增加되는 것으로 推測된다.

Clinker 中の  $SO_3$  는 Alkali 量이 적을때 Alkali 의 Sulphate ( $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ) 外에  $CaSO_4$  狀態로도 存在한다. (註 5) 이  $CaSO_4$  는 無水狀態이므로 Cement 에서 緩結劑 (Retarder) 役割을 못한다. (註 6) 따라서 Clinker 中  $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $CaSO_4$  는 不純物로 看做할 수 밖에 없다.

以上에서 觀察한 바와 같이 Gamlenol 使用이 Clinker 中の  $SO_3$  Content 를 減少시키는 効果를 나타내고 있는 점은 좋은 現象이다.



이로 미루어 Gamlenol은 Kiln 내에서 SO<sub>3</sub> 생성을 多少 抑制하는 효과가 있지 않는가하는 생각을 할 수 있다. 또한 이것은 軟質의 Ring Formation과 一聯의 連関性이 있지 않는지?

2.2.4 經濟性 檢討

助燃劑使用前後의 燃料費를 概算하면 Table 6, Table 7, Table 8과 같다.

區分	Fuel Consum		燃 料 費			對 比	備 考
	Coal	C-oil	燃料費	助燃劑	合計		
	Kg/ton.Cl	Kg/ton.Cl	원/ton.Cl		원/ton.Cl		
A	134.6	36.8	549	-	549	100	非添加
B	127.9	37.0	529	16원/ton Cl.	545	99.3	添 加

Table 6. 助燃劑使用前後의 燃料費比較 (Kiln 部門)

助燃劑添加前의 燃料費는 Clinker ton 當 549원인데 對해서 助燃劑添加時는 545원으로 4원, 即 0.7%가 節減된 셈이다.

따라서 Kiln에서 助燃劑使用으로 燃料費節減의 餘地는 稀薄하다.

區分	Fuel Consum (C-oil)	燃 料 費			對 比	備 考
		燃 料 費	助 燃 費	合 計		
	Kg/ton.clay	원/ton.clay		원/ton.clay		
A	23.5	122	-	122.0	100	非添加
B	19.3	100	8.2원/ton.clay	108.2	89	添 加

Table 7. 助燃劑使用前後의 燃料費比較 (Clay Dryer)

Raw Mill 部門의 Furnace에서 助燃劑添加로 節減된 燃料費는 Clay Dryer의 境遇 13.8원 (Clay ton 當), Raw Mill, 2.5원 (Raw Meal ton 當)으로 各各 11%와 8%에 該當한 數值다.

이것은 Furnace의 燃燒狀態改善度가 顯著함을 나타내고 있다. 上記比率로 月間節約額을 概算하면 Kiln에서 約 140,000 원, Clay Dryer에서 35,000 원, Raw Mill 135,000 원 程度이다. 그러나 2.2.1節에서 言及했드시 生粘土나 原料中 Initial Moisture量等 季節的인 影響을 考慮한다면 Clay Dryer와 Raw Mill 部門에서의 月間節約可能額은 줄어들 것이다.

区分	Fuel Consum (C-oil)	燃 料 費			対 比	備 考
		燃 料 費	助 燃 劑	合 計		
	kg/ton meal	원/ton meal	원/ton meal	원/ton meal		
A	6.1	31.7	-	31.7	100	非添加
B	5.2	27.0	2.2	29.2	92	添 加

Table 8. 助燃劑使用前後의 燃料費比較 (Raw Mill)

### 2.2.5. 其 他

a) 助燃劑添加로 上述한 外에 Oil supply line의 Sludge量의 減少, Filter部分의 沈澱物減少現象을 認할 수 있었으나 數值上의 比較는 어려웠다.

b) Service Tank의 Drain量이 多少 增加된 傾向이었으나 助燃劑에 依한 水分 分離效果의 結果인지 或은 다른 外的要因에 基因된 것인지는 確認할 수 없었다.

c) Waste Gas中の SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Gas量의 Test는 同試驗期間中에 實施되지 아니해서 그 推移를 알 수 없었다.

### 3. 綜 合

液体燃料에 助燃劑를 試用한 結果 Kiln部門에서는 微小한 熱消費 節約(1.8%~3.0%)이 있었을 뿐이나, Clay Dryer와 Raw Mill 部門에서는 各各 18%와 15%의 比率로 熱消費量이 減少되었다.

그러나 Initial Moisture 등 試用期間의 季節的인 影響을 勘案할 때 實質的인 減少率은 이 보다 低下될 것이다.

本工場의 Kiln Ring Formation은 助燃劑添加前에도 크게 問題視될 程度로 甚한 便이 아니었으며 試用期間에도 Ring의 自然脫落現象이 尙存한 것으로 미루어 Ring Formation을 防止한다고 하기 보다는 Ring의 軟質化作用으로 脫落이 容易하게 되는 效果가 있지 않다가 推測된다.

同試驗期間中에 Clinker中  $SO_3$ 는 添加前 0.65%에서 0.40%로 減少되었다. Clinker中の  $SO_3$ 는 Alkali 量의 多寡에 따라 Alkali의 Sulphate外에  $CaSO_4$  狀態로도 存在하나 이것은 無水狀態이므로 Cement에서 緩結劑(Retarder)效果는 없을 것이다. 따라서 Clinker中  $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $CaSO_4$ 는 不純物로 看做되는 以上 Clinker中の  $SO_3$  Content 減少는 品質面에 多少라도 좋은 影響을 준 것이다. 이로 미루어 Gamlenol D. P. 231은 Kiln內에서  $SO_3$  生成을 어느 程度 抑制하는 效果가 있지 않다가 하는 생각을 할 수 있다.

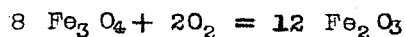
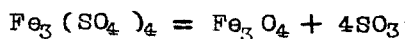
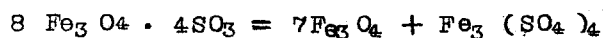
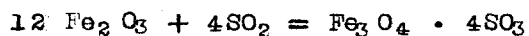
助燃劑試用期間中 燃料費 節減率은 Kiln部門에서 0.7%로써 그 減少率은 無視할 程度이다. 即 助燃劑 使用으로 燃料費 節減의 餘地는 稀薄하다. 反面 Clay Dryer와 Raw Mill Furnace部門에서 燃料費는 各各 11%, 8%가 減少되었다. 그러나 生粘土와 原料中 Initial Moisture의 季節的인 變化等 前述한 바와 같은 理由로 實質的인 節減率은 低下될 것이다. 어찌던 Kiln에서 보다 Raw Mill部門에서의 節減率은 클 것이다.

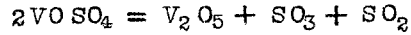
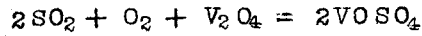
同試驗期間中 Oil Supply line의 Sludge 量의 減少, Filter部分의 附着物 減少現象을 있볼 수 있었다.

追記 : 本 Report는 事前에 몇 가지 前提를 했드시 試驗期間을 前後한 原燃料條件等 다른 作用因子 (Factor) 들은 不變한 것으로 規定하고 그 結果值에 依한 比較를 試圖하였다. 이것은 論據의 單純化를 爲해서 不可避한 것이었으나 實質的으로 結果에 影響을 미치는 作用因子들은 許多하고 複雜微妙한 것이다.

한 例로 Ring Formation問題에 있어서만 해도 그 原因으로 數十, 數百 가지를 헤아릴 수 있으며 또한 時時刻刻으로 變化되고 있는 것이다. 熱消費量算出에 있어서도 비록 試驗期間이 短期라 하여도 一貫된 燃料條件이나 原料條件을 維持한다는 것은 期待難이다. 原料條件의 變動에 따라서도 熱消費量은 變할 수 있으며 運轉條件을 어떤 原則에 符合시키느냐에 따라서도 또한 變動된다. 바로 여기에 同試驗에 對한 問題點이 內在하는 것이며 本 Report에 對한 스스로의 不滿이기도 하다. 그러나 微視的인 內的現象의 綜合이 반드시 어떤 現實에 對한 適切한 表現이 될 수 있는 것도 아니다. 따라서 本稿는 原因에서 그 結果를 推理한다기보다 結果로 부터 그 原因(効用性)을 類推한 것에 不過하다.

註 1 )  $SO_2$   $SO_3$  生成過程에서 酸化鐵과 Vanadium의 触媒反應式은 다음과 같다.





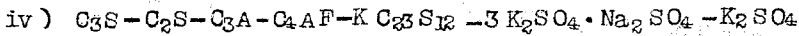
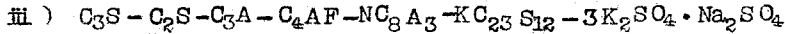
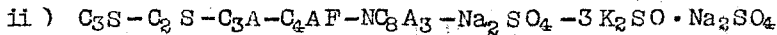
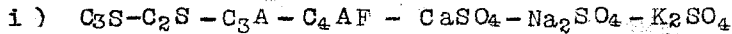
註 2 ) Zement - Kalk - Gips Nr.5 Mai 1962 P.205~207 参照

註 3 ) Gamlen Chemical Co. 의 " Gamlen Combustion Control Products in Cement Industry " Dec. F.1966 報文 参照

註 4 ) " Heat Transfer in Rotary Kiln " by Dr. Ing. Paul Weber P.41 参照

註 5 ) " The Chemistry of Portland Cement " by R.H. Bogue P. 455 参照

Clinker 中  $SO_3$  Alkali 는 그 量의 多寡에 따라서 다음과 같은 礦物組織을 形成한다.



註 6 ) " The Chemistry of Portland Cement " by R. H. Bogue P. 492 参照

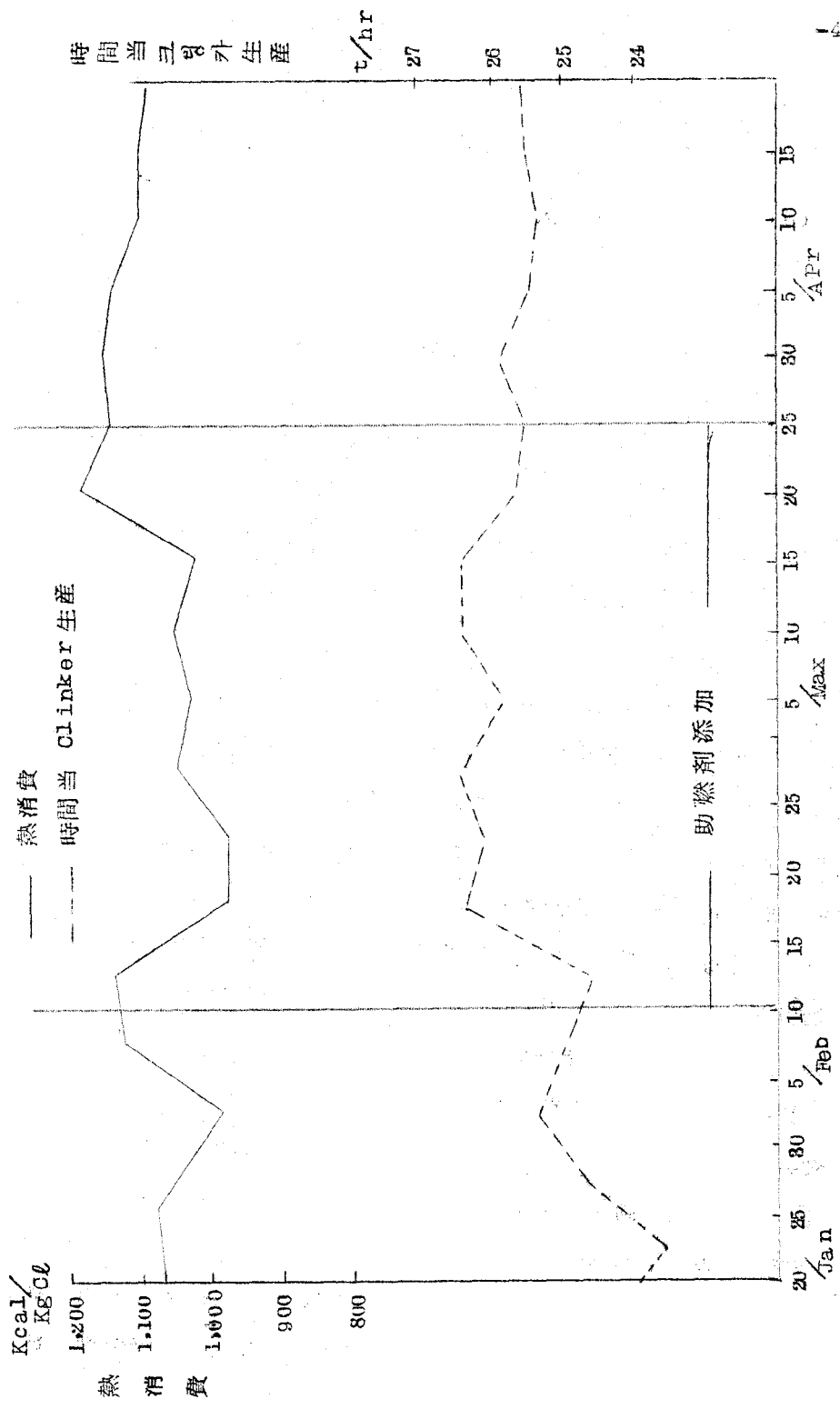


Fig. 2. 時間当 Clinker 生産熱消費 (助燃剂使用前後)