

크링카 냉각공정에 대한 고찰

(Fuller Cooler를 中心으로)

쌍용양회 동해공장 생산과

金 勇 瑞

차 례

1	서 언
2	회수열
2-1	2차공기
2-2	2차공기 온도 상승
3	급 냉
3-1	냉각공기 집중공급
3-2	VS팬 설치
3-3	소형 고압팬 설치
3-4	품질 예측 장치
4	결 론

1. 서 언

크링카 쿨라(clinker cooler)는 로타리 키른(Rotary kiln)에서 燒出되는 高溫의 크링카를 急冷시켜 시멘트밀(cement mill)에서 크링카의 粉碎能(Grindability) 및 시멘트 품질을 향상시키며 키른에서 燃燒를 위해 필요로 하는 高溫의 2차 공기를 공급하여 키른의 熱효율을 증가시키기 위한 裝置이다. 즉 크링카 쿨라의 궁극적 목적은 크링카 급냉 및 회수열 증가에 귀착된다.

크링카 쿨라는 몇가지 종류로 분류될수 있으나 여기에서는 몇년간의 Fuller cooler의 운전 경험을 바탕으로 Fuller cooler에 대해서만 기술하고 아울러 최근 歐美의 경향을 소개하고자 한다.

<表-1>

공 장 별 2 차 공 기 온 도

공 장 별	日 本 H-Cement	日 本 P-Cement	佛 Lafarge	동 해
2차공기온도 (°C)	700~750	500~550	780~950	780~820
측 정 형 태			Suction thermocouple형	suction thermocouple형

2. 열회수(Heat Recovery)

2-1. 2차공기

2-1-1. 2차공기 溫度의 測定

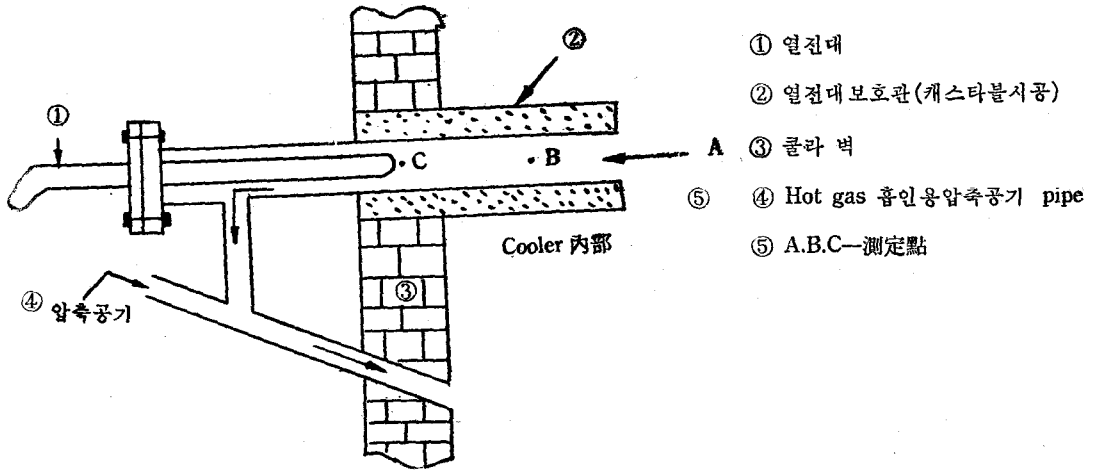
정상조업중 2차공기량은 대개 일정하므로 회수열량이 어느 정도인가 하는 것은 2차공기 온도로써 판단하는 것이 보통이나 測定方法, 測定位置에 따라 상당한 차이가 나타나므로 각공장의 2차공기 온도를 보고 직접 비교하기는 곤란하다.

따라서 어떻게 하면 진온도를 측정할 수 있을 것인가 하는 문제가 대두된다. 보통 2차공기온도는 열전대를 이용하여 측정하는 것이 보통이나 이 열전대의 위치에 따라 복사열에 의한 온도가 달라진다.

간단한 例로서 <그림-1>과 같이 복사열의 영향을 최소로 하기 위하여 고안된 고온 gas 흡인형(Hot gas suction type) 열전대의 경우에도 열전대의 삽입정도에 따라 상이한 온도를 나타내고있다.

<表-2>에서 알수 있음과 같이 측정점 A와 C는 200°C 나 차이가 발생하고 있다.

이럴 경우 쿨라의 열평형(Heat Balance)을 수회에 걸쳐 측정하여 계산으로 구한 2차공기온도



〈그림 1〉 2차공기온도 측정용 열전대(예)

와 일치되는 측정점을 찾아 측정점으로 고정하는 것이 좋다.

〈表-2〉 測定點에 따른 溫度差

측 정 점	2 차 공 기 온 도 (°C)
A	720
B	640
C	520

2-1-2. Cooler Heat balance 例

1) 입열 (Q₁)

a) 크링카 지입열 (Q₁₁)

$$Q_{11} = C_{cli}(t_{cli} - t) = 0.256(1330 - 20) = 336 \text{ kcal/kg-cli}$$

cli : 크링카 비열 (kcal/kg-cli°C)
tcli : 크링카 온도 (°C)

b) 냉각공기 현열 (Q₁₂)

i) H.P.F 현열 (Q₁₂₁)

$$Q_{121} = AH \cdot C_A (t_A - t) = 0.025 \text{ Nm}^3/\text{kg-cli} (38 - 20) \times 0.310 \text{ (kcal/Nm}^3\text{°C)} = 1.3 \text{ kcal/kg-cli}$$

AH : 냉각공기량 (Nm³/kg-cli)

C_A : 비열 (kcal/Nm³°C)

t_A : 냉각공기 온도 (°C)

ii) L.P.F 현열 (Q₁₂₂)

$$Q_{122} = 2,736 \text{ Nm}^3/\text{kg-cli} (35 - 20) \times 0.310$$

① 열전대

② 열전대 보호관 (케스타블시공)

③ 클라 벽

④ Hot gas 흡인용 압축 공기 pipe

⑤ A.B.C-測定點

$$= 12.7 \text{ kcal/kg-cli}$$

따라서 Q₁₂ = Q₁₂₁ + Q₁₂₂

$$= 1.3 + 12.7 = 14.0 \text{ cal/kg-cli 이}$$

고 총입열 Q는

$$Q_1 = Q_{11} + Q_{12} = 336 + 14 = 350.0 \text{ kcal/kg-cli}$$

2. 출열 (Q₂)

a) 크링카 持去熱 (Q₂₁)

$$Q_{21} = 0.190(124 - 20) = 19.8 \text{ kcal/kg-cli}$$

b) Cooler 배기 持去熱 (Q₂₂)

$$Q_{22} = 1.64 \text{ Nm}^3/\text{kg-cli} \times 0.316 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C} (320 - 20) = 155 \text{ kcal/kg-cli}$$

c) 대류 복사 손실열 (Q₂₃)

$$Q_{23} = 5.0 \text{ kcal/kg-cli}$$

따라서 출열 Q₂ = Q₂₁ + Q₂₂ + Q₂₃

$$= 19.8 + 155 + 5.0 = 179.8 \text{ kcal/kg-cli}$$

3) 회수열 (Q₃)

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 350 - 179.8 = 170.2 \text{ (kcal/kg-cli)}$$

4) Cooler Heat balance 종합 —〈表-3〉

5) Heat Balance 에 의해 계산으로 구한 2차공기온도.

공기의 온도와 Sensible heat Curve 에서 Sensible heat 170.2 kcal/kg-cli 때 공기 온도는 540°C 로서 測定點 C 에서 얻은 값과 유사하므로 이 경우는 C 點을 측정점으로 함이 좋다.

〈表-3〉 Cooler Heat balance (예)

	입 열	출 열
크링카持入熱	336	—
냉각공기현열	14	—
크링카持去熱	—	19.8
쿨라배기持去熱	—	155.0
대류복사손실열	—	5.0
회수열	—	170.2
계	350	350.0

2-1-3. 2차 공기량

온도가 낮은 1차공기량을 최소로 하고 2차공기량도 연소에 영향을 끼치지 않는 범위내에서 가능한 한 고온으로 소량 공급하므로 큰 열효율을 향상시킬 수 있다. 공정 파악을 위해 쿨라의 Air balance 를 취해 2차공기량이 어느 정도이며 Clinker cooling air 분배가 어떤가 확인하여 봄이 좋다. Air balance 는 pitot tube 나 orifice 에 의해 측정하는 것이 보통이다.

〈表-4〉 Cooler air balance(例)

	Lafarge(佛)		동해 1(Nm ³ /kg-cli)		日本 H-Cement	
	input	output	input	output	input	output
1실	0.36		0.28		0.82	
2	0.70		1.13		0.42	
3	0.72		0.47		0.63	
4	0.78		0.44		0.28	
5	5실 fan 사용 없음		0.34			
6			0.25			
7			0.22			
쿨라배기		1.65		2.08		1.26
2차공기		0.91		1.05		0.89
계	2.56	2.56	3.13	3.13	2.15	2.15

unit: Nm³/kg-cli.

2-2. 2차공기 온도상승

2차공기온도를 상승시키기 위해서 여러가지

방법들을 사용하고 있다.

- 1) clinker bed thickness 의 증가
- 2) Grate plate Blind.
 - a) with control
 - b) castable 시공.

2-2-1. clinker bed thickness 의 증가

- 1) clinker bed thickness 의 측정방법.
 - a) 기계적인 방법

2-3. 2차공기 온도 상승

2차공기 온도를 상승시키기 위해 다음과 같은 여러가지 방법을 사용하고 있다.

- 1) clinker bed thickness 의 증가
- 2) Grate plate Blind,
 - a) with control,
 - b) castable 시공

2-3-1. clinker bed thickness 의 증가

- 1) clinker bed thickness 의 측정방법,
 - a) 기계적인 방법.

내열성 자(尺) 또는 파이프를 쿨라 内部로 집어 넣어서 실제 증후를 직접측정하는 방법이다.

- b) γ-Ray 에 의한 方法

r-Ray 장치를 설치하여 측정하는 방법

- c) 計算에 의한 方法

쿨라 고유의 수송 효율을 측정하여 계산으로 구하는 방법

기계적인 방법 γ-Ray 에 의한 방법 등은 부정확 불편 및 고가로 사용하는 예가 드물고 현장에서 용이하게 구할수 있는 계산에 의한 방법을 가장 많이 이용하고 있다.

- 2) 수송효율(η)의 측정

〈表-5〉 Cooler 수송효율測定(例)

(# 1480 Fuller Cooler)

stroke 수 (str/min)	tr	η
10	0.90	0.71
11	0.98	0.70
12	1.06	0.69
13	1.11	0.67
Ave		0.69

$$\eta = \frac{tr}{l \cdot s}$$

where η ; 수송효율(보통 0.6~0.7 사이임)
 tr; 실제크링카 이동속도(m/min)
 l; Grate stroke 당 이동거리(m)
 s; stroke 수(str/min)

3) 크링카 Bed thickness의 계산
 수송효율(η)이 측정되어 결정되면

$$Th = \frac{c}{d} \times \frac{1}{l \cdot s \eta} \times \frac{1}{w}$$

where; Th=크링카 bed thickness(mm)
 c=크링카 생산량(kg/min)
 l=Grate stroke 당 운동거리(m/str)
 d=크링카 Bulk density(t/m³)
 s=Grate의 stroke 수(str/min)
 μ =수송효율
 w=cooler의 유효폭(m)

計算例

c=2,050 kg/min
 l=0.127 m/str
 d=1.5 t/m³
 s=11 str/min
 η =0.69
 w=3.00 m

$$Th = \frac{2050}{1.5 \times 0.127 \times 11 \times 0.69} = 400(\text{mm})$$

4) 크링카 bed thickness의 증가방법
 현재의 크링카 쿨러들은 대개가 3요소 자동운전을 하고있다.

즉 3요소란

- ① 1실 압력과 1단 Grate speed
- ② 2실 담파개도와 후드 압력
- ③ Cooler I.D.F damper 개도와 차압이어서 bed thickness를 증가시키려면 1실 압력을 상승시키지 않으면 안된다. 1실 압력을 상승시키려면 1실 Fan 능력과도 관계

<表-6> 크링카 bed thickness 증가에 의한 2차공기온도의 변화(예)

크링카층후(mm)	300	420	500
2차공기온도(°C)	560	620	780

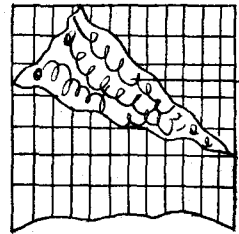
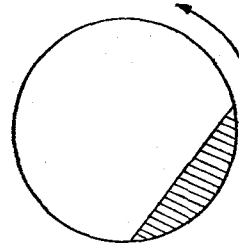
가 있으나 1실압력 증가에 의해 2차공기온도는 현저하게 상승된다.

부가적으로 크링카 bed thickness의 증가로 Grate plate의 破損 빈도를 줄일 수 있다.

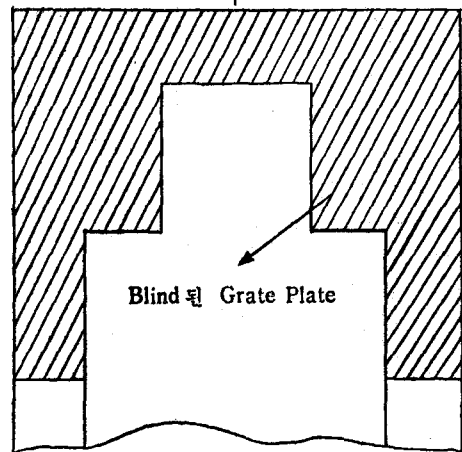
2-3-2. Grate plate의 Blind

1) with control

키른에서 쿨러로 떨어진 크링카 분포는 대개 아래 <그림-2>와 같은 형상이 되므로 크링카 분포가 없는 부분으로의 냉각공기 통과를 방지하기 위해 이 부분의 Grate plate를 blind시켜 2차 공기온도의 상승을 도모하고 있다.



<그림-2> 크링카 분포 상태
Kiln



<그림-3> Grate plate blind 현상

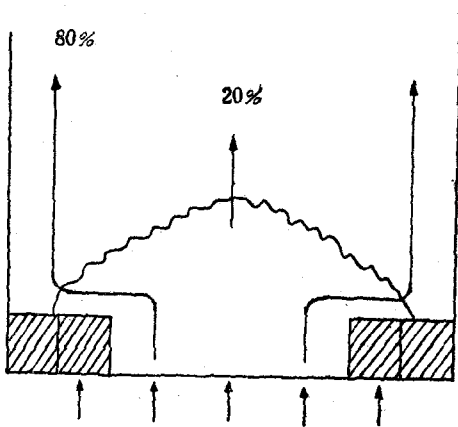
2) 케스타블 시공

Grate plate 를 blind 시켜도 크링카 분포가 균일치 못하여 저항이 적은 양측의 Grate plate 의 틈사이로 Cooling air 가 집중적으로 통과하여 Cooling effect 가 나쁘고 2차공기 온도도 떨어지므로 이를 방지하고(그림-4) 크링카 분포를 양호하게 하기 위해 <그림-5>와 같이 blind G.P 부분에 케스타블을 시공하기도 한다.

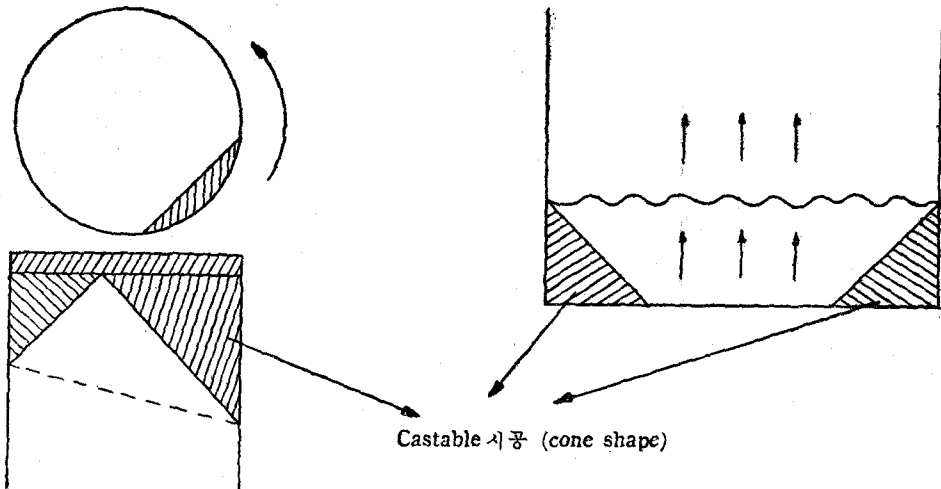
단 water jacket 나 cooler 벽에 coating 부착이 심할 때는 케스타블 시공은 곤란하다.

3. 크링카 급냉(Clinker Rapid Cooling)

크링카 및 시멘트의 품질을 향상시키고 粉砕能을 양호하게 하기 위하여 크링카를 급냉시키



<그림-4> with control 시의 문제



<그림-5> Castable 시공(예)

고 있다. 특히 최근 대주요가의 시멘트에 대한 재인식으로 인해 제품의 질적 개선이 시급해지고 있어 가장 신속한 방법으로 품질을 예견하여 제조공정에 반영시키므로 우수한 제품 생산이 가능하도록 노력하고 있는 실정이다. 한편 전력절감을 위해 냉각공기량을 최소로 하려는 경향이 있으나 급냉에 필요한 충분한 양만큼은 보낼 필요가 있다.

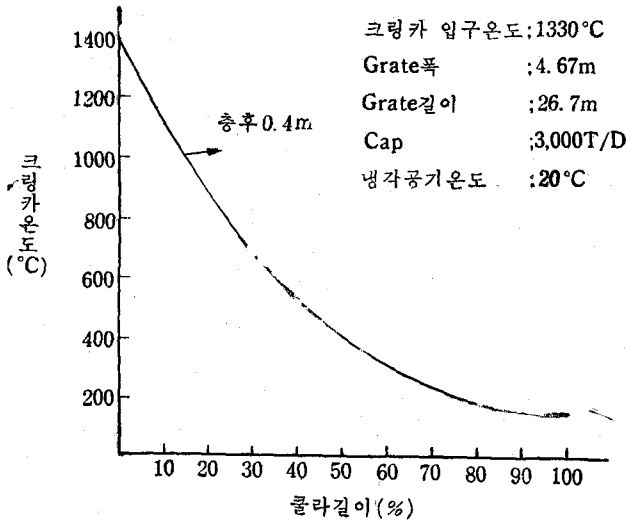
3-1. 냉각공기 집중공급

가능하면 고온부(1.2실)로 다량의 고압냉각공기를 집중 공급하여 급냉시킴이 좋다. 크링카 증후, 쿨라크기, 냉각공기량, 냉각공기의 분배에 따라 다소의 차이는 있으나 쿨라 길이에 따른 냉각속도를 그리면 다음 Graph 와 같다.

이때 상기해야할 점은 다량의 공기를 고온부로 공급하므로 quenching 효과는 얻을 수 있으나 2차공기의 溫度가 하강할 우려가 있고 쿨라 배기의 온도상승으로 Cooler IDF(induced draft fan)나 필타에 무리를 주기도 한다.

3-2. 고온부(1.2실) V.S Fan 設置

자동조작장치(Auto control system)에 의하여 일정 크링카 증후가 유지되도록 되어 있으나 대형 크링카코팅 낙출 등으로 저항의 변동이 야기될수 있으므로 V.S Fan(가변속 팬)을 설치하여 언제든지 일정량의 냉각공기가 공급되도록 하

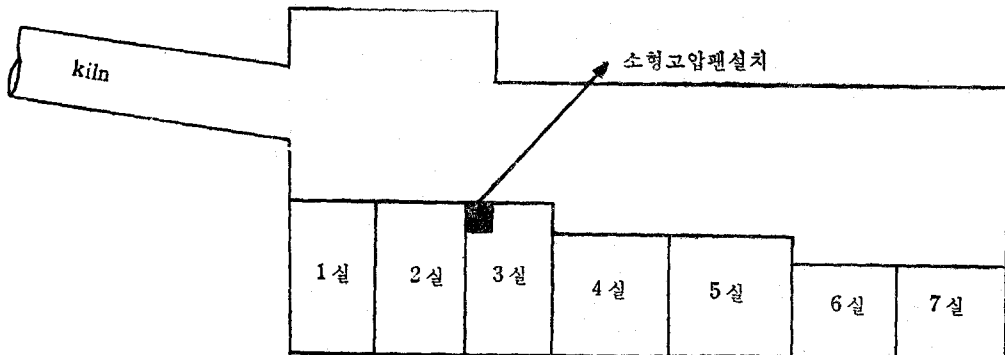


〈그림-6〉 쿨라 깊이에 따른 크링카온도

여 급냉(rapid cooling)효과를 얻고 Flame 형태를 일정하게 유지시킨다. 냉각공기의 유량측정에는 pitot tube나 orifice type을 사용하나 pitot tube는 폐쇄 등의 고장회수가 잦아 orifice type을 많이 사용한다(상 피어 라쿠어 공자 프랑스).

3-3. 소형 고압팬 설치(neutral fan)

1. 2실 사이에 소형 고압팬을 설치하고 고압인 1실에서 저압인 2실로의 air leak를 방지하여 급냉효과를 얻는다.



〈그림-7〉 Neutral Fan

3-4. 품질조기예측.

빠른 시간내에 품질을 예측하고 문제점 발생시는 제조공정으로 즉각 반영이 가능하도록 현미경 또는 강도 조기측정 장치 등을 사용한다. 이와같은 장치들이 없을 때는 28일 강도를 알기 위해선 28일 간이나 기다리지 않으면 안되기 때문이다.

3-4-1. 현미경

크링카 및 시멘트의 광물조성을 판별하여 28일 강도예측이 가능하다. 여기에는 Reflect light method와 Fransit light method로 대별할수 있다.

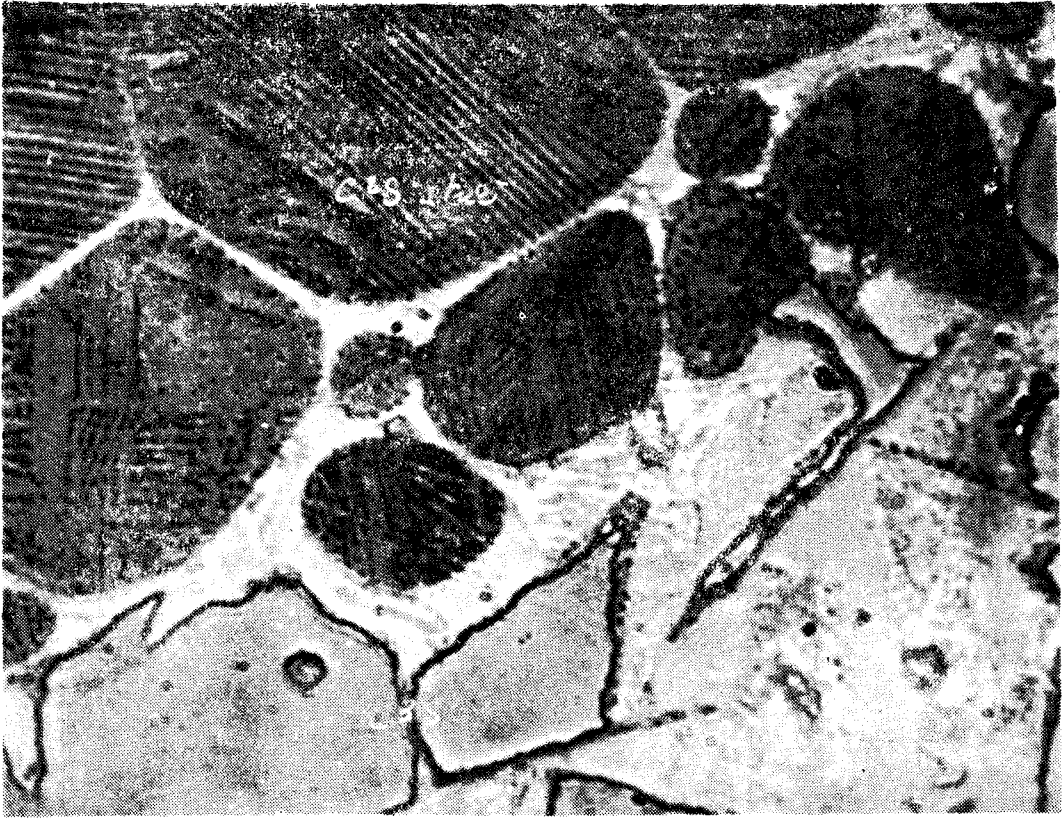
3-4-2. 강도 조기 측정기

Sample 조제후 5-8Hr 만에 시멘트의 28일 강도를 예측할수 있다(Z-K-G 참조).

상기 장치들의 활용에도 상당기간의 훈련을 필요로 한다.

4. 結 論

이상에서 기술한 바와 같이 크링카 쿨라는 크링카의 급냉에 의한 품질 향상 및 회수율 증가에 의한 큰 열효율의 향상이 궁극적이나 양자는 상호 역작용의 관계가 있으므로 적정 운전 조건을 찾지 않으면 안된다. 수요자들의 시멘트에 대한 재인식 및 국제시장에서의 경쟁을 고려할 때 큰 열효율 면도 중요하나 충분한 냉각



〈그림-8〉 현미경에 의한 광물조성 판별

공기를 공급하여 우수한 제품을 생산하여야 할 것이다.

회수열 증가를 위해 크링카 층후의 증가 및 Grateplate의 Blind 방법을 많이 사용하고 있으나 이것은 팬의 용량과 직결되는 문제이기 때문

에 신중을 기하지 않으면 안되고 아울러 냉각문 제도 고려해야 할것이다. 시멘트 제조 공정중 점 차 쿨라의 비중이 증대되어 가고있는 경향이므로 향후 Cooling process에 대한 전문적인 연구가 요청되고있다.

近 着 圖 書

◎ 세멘트 콘크리트 1971. 6

1. 樹脂含浸セメント製品の強度に関する二,三の實驗と考察, 田澤榮一, 小林貞雄
2. 西湘バイパスのコンクリ트舗裝, 坂上義次郎, 渡邊三郎
3. 三國トンネルにおける酸性湧水による巻き立てコンクリ트의侵食とその對策, 鈴木道雄, 諏訪義雄
4. 本州四國連絡橋基礎工に関するプレバッドコンクリ트의大型施工實驗-陸上實驗概要-淺岡敏生, 原田 宏
5. 콘크리트舗裝の施工に関する檢討, 高速道路調査會 舗裝分科會 콘크리트舗裝研究班

◎ 세멘트 콘크리트 1971. 7

1. おが國における碎石の物理的性質, 谷々隆久
2. 普通または高爐セメントを混入したコンクリ트의強度性狀, 松井嘉孝, 清水五郎
3. 大型콘크리트パネルの保進養生と長期強度, 友澤史紀
4. 試し練りのデータのきとめ方, 洪耀忠
5. 軸方向荷重をろけるくいの破壞曲げモメント, 三浦一郎
6. 昭和度における建設省關係事業의 概要, 松田公二