

크링카 燒成 工程內的 各種 Bypass 시스템의 比較

朴 羅 赫 (譯)

〈現代시멘트(株) 丹陽工場 品質管理室 代理〉

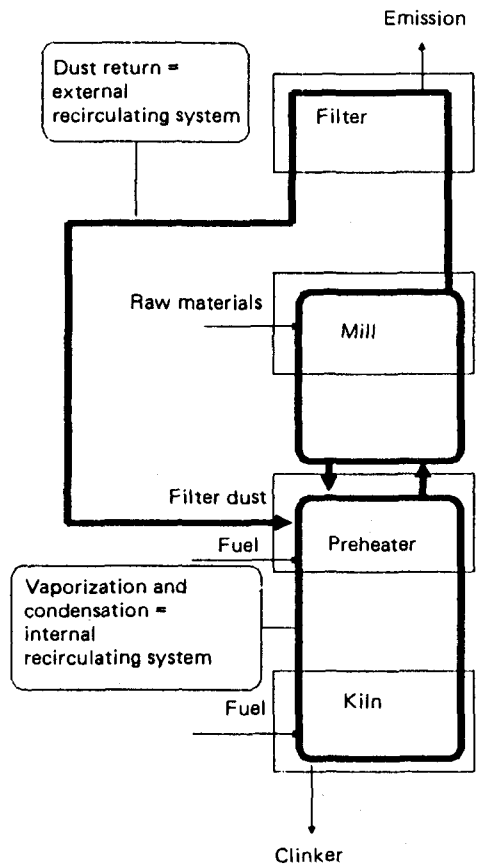
1. 개 요

시멘트 소성공정시 투입되는 원료와 연료에 함유되어 있는 2차 성분(알칼리, 유황, 염소)은 부분적으로 고온대에서 증발하게 되고 다시 소성계에서 응축하게 된다. 이러한 재순환계의 형성은 코팅형성으로 인하여 커린 운전에 지장을 가져올 뿐만 아니라 크링카 품질에 해로운 영향을 가져다 줄 수도 있다. 또한 미량성분들 (Pb, Cr, Ni, As, Cd, Ti)도 커린계에서 발생되어 순환계를 형성하게 되며 이들을 관리하는 장치가 없을 경우에 때로는 불필요한 열의 방출을 가져오게 된다. 이런 관점에서 불때 재순환계를 적절한 허용한계치 이내로 유지토록 하는 공정기술이 필요하며 특히 알칼리 함유량이 Na_2O 로 환산해서 0.6% 이하를 요구하는 저알칼리 크링카의 생산에 있어서는 다양한 설비의 bypass 장치를 필요로 하고 있다. 따라서 각종 bypass system의 기술적 고찰로서 효율성, 설치의 복잡성, 열의 이용 가능한 방법 등을 서술하고자 한다.

2. 재순환계의 구조

〈그림-1〉은 주로 알칼리, 유황, 염소 등으로 발생하는 물질이 시멘트 소성계내에서의 재순환계 형성경로를 나타내고 있다. Internal 재순환계는 커린에서 2차 성분이 증발되어 예열기 하단에서 응축됨으로써 형성되고 External 재순환계는 예열기에서

응축되지 않는 물질이 원료 밀을 통과하여 배출가스 정화시스템인 필터를 경유하여 계내로 다시 회수됨으로써 형성된다. 증발과 응축장소는 화합물의 물



〈그림-1〉 크링카 소성계내에서의 원료 재순환

리적인 특성에 의존한다. 즉 폐순환계는 크린과 원료분쇄 장치/필터를 포함한 원료예열기 양쪽에서 발생될 수 있다.

크링카와 정화된 가스를 배출하기 위해서는 계내에 함유된 2차 성분 제거용 밸브를 설치해야 한다. 재순환계의 형성은 휘발성의 정도, 예열기·밀·필터의 흡수작용, 크링카와의 결합정도에 따라 달라지며 정상적인 상태로 될때까지의 정도, 기간을 결정짓는 요소가 된다. 농도를 하락시키는데 소요되는 기간은 수시간(알칼리, 유황)에서 수개월(TI 등 중금속)에 걸쳐 다양하다. 공정상 inputs와 outputs 사이에 평형이 늘 이루어지지만 항상 유지되는 것은 아니다.

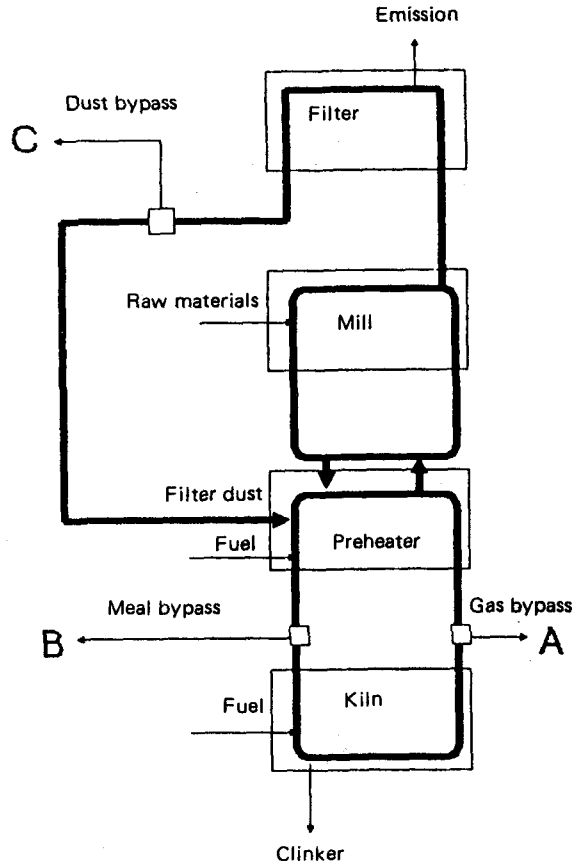
3. Bypass 설비에 의한 재순환계의 억제

1) Bypass의 원리

〈그림-2〉는 재순환계를 억제 혹은 완화하는 세가지 주요 가능한 방법을 나타내고 있다. 가장 일반적인 방법은 크린과 예열기 사이의 전이점에 연결된 gas bypass로서 재순환계를 형성하는 휘발성화합물을 함유한 크린 가스의 일부를 추출하는 것이다. 알칼리 염화물과 황화물은 이런 방법에 의해 효과적으로 제거될 수 있으며 이것은 또한 약간의 중금속에도 적용된다.

Hot meal bypass는 재순환계를 형성하는 성분들로 농축된 크린 투입원료의 일부 혼입을 제거하는 것이다. 이 장치는 원료가 예열기에서 강하게 응축되고 또한 운전과 조건에 있어서 이 원료의 일부 혼입을 제거함으로써 항상 된다면 예열기내 어떤 장소가 될 수도 있다.

Dust bypass는 필터 다스트의 유출을 형성하며 External 재순환계를 억제시키는데 이용되고 Thallium (TI)의 경우에 효율적으로 적용된다. bypass의 효과는 일부 원료에 포함된 산물의 제거, 그곳에 포함된 미량성분의 농도에 의해 결정된다. 공정상의 관점에서 불매 소성계에서 최대 응축되는 장소를 추출 위치로 채택하는 것이 가장 좋으며 원료, 가스, 열손실을 최소화할 수 있다. 이것은 소성계내의 재순환계에 대한 형성과정을 연구, 조사, 측



〈그림-2〉 재순환의 억제 가능한 방법

정함으로써 얻어질 수 있다. 재순환계의 억제는 연속 혹은 불연속이 될 수 있으며 전자의 경우 bypass율의 함수로서 재순환계의 수준을 일정하게 할 수 있고 불연속적인 bypass 작용은 재순환계를 주기적으로 억제 혹은 형성토록 할 수 있으므로 배출기간을 조정하여 재순환계가 평균 요구 수준에 도달할 수 있다.

2) 크링카 소성 공정내 Bypass의 구상

(1) 필요 조건

기록에 의하면 bypass system은 재순환계의 억제가 효과적이고 경제적이 되는 매체를 적용하도록 설계되어야 한다. Bypass는 독립적으로 생각해서는 안되며 bypass 흐름이 시멘트 공장내 전체적인 생산공정에 어떻게 영향을 끼치는지 세심한 관심을

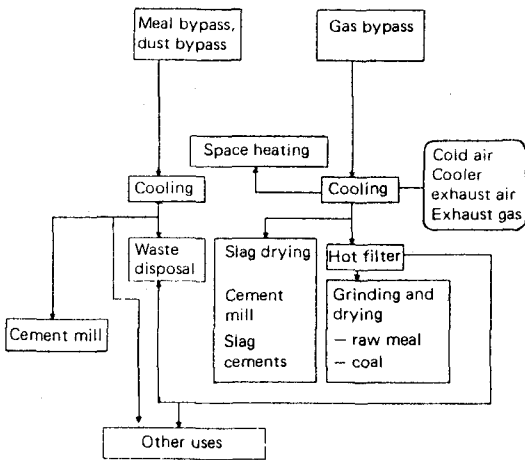
기울여야 한다.

〈그림-3〉은 bypass 흐름이 전체적 공정에서 어떻게 처리되는지를 한 예로 들었다. 다스트 제거는 건조원료가 소성 공정을 통과할 때만 필요로 하며 다스트 분급은 시멘트 밀에서 혹은 분급 건조기에서 슬래그를 건조시킬 때 시행된다. 원료와 다스트의 흐름은 시멘트 분쇄시 시멘트 등급에 의해 결정되는 허용량을 첨가할 수 있다. 〈그림-3〉의 other uses 는 특수한 바인더를 형성하는 다스트흐름을 이용한다.

예를 들어 hot meal bypass 흐름은 시장성이 있고 성능이 좋은 수경성 석회를 생산할 수 있다. 다스트 bypass는 폐기처분 대책이 없을 때 bypass 흐름이 커서 잔유량을 버려야 할 때 고려되어야 한다.

〈그림-4〉는 가장 적절한 bypass 형태를 어떻게 선택하느냐 하는 계통도를 나타내고 있다. 재순환계를 형성하는 입고 화합물, 그들의 위치, 휘발성의 정도에 따라 재순환계를 억제시키는 가장 좋은 방법을 선택할 수 있다.

저휘발성 물질은 작은 순환계로서 크링카와 높은 결합수준을 나타내므로 bypass를 필요로 하지 않는다. 휘발성이 높은 물질의 다량투입은 큰 순환계를 형성하는데 이것은 휘발현상이 키른에서 발생한다



〈그림-3〉 Bypass 공정에 의한 원료와 열의 이용

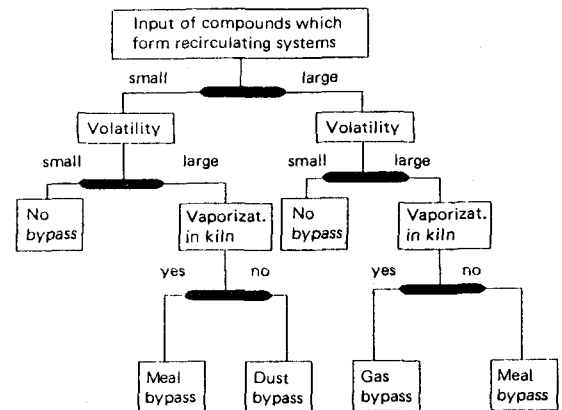
다면 gas bypass로서 효율적으로 줄일 수 있다. gas bypass 공정을 주로 적용하는 것은 알칼리, 유황, 염소를 줄이기 위한 것이며 또한 증금속도 차단된다.

재순환계 물질이 예열기 영역에서 증발된다면 농도가 가장 높은 위치에 meal 혹은 다스트 bypass를 설치해서 이런 재순환계를 철저히 차단시키며 그런 경우에 주기적으로 재순환계를 완화시켜줄 필요가 있다. 소량 투입으로 키른에서 높은 수준의 휘발성을 가진다면 휘발물의 최대 농도가 사이클론 최하단의 hot meal에서 발생하며 hot meal의 소량을 추출함으로써 재순환계를 상당한 수준까지 완화시킬 수 있다. 이런 경우는 적은 염소 유입량과 높은 소성대를 가지면서 다량의 연화물 재순환계가 될 때 발생된다.

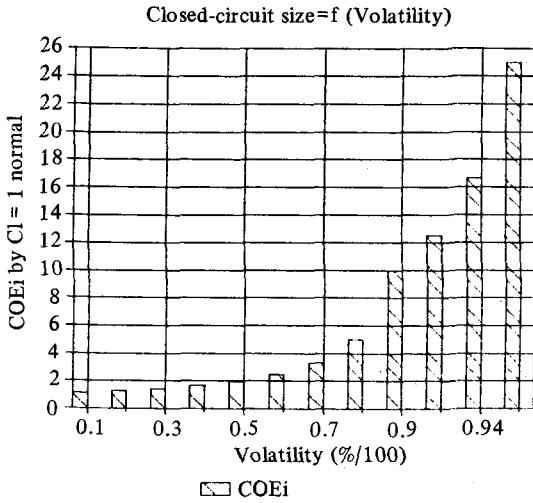
〈그림-5〉는 예열기와 키른 사이의 전이점에서 hot meal내 농도에 따라 재순환계를 형성하는 성분인 휘발성의 영향을 나타내었다. hot meal내 90% 농도의 휘발성은 유입 수준의 10배에 달하며 96%의 휘발성은 유입 수준의 25배에 달한다.

〈그림-6〉은 10%의 bypass 작동에 의한 휘발성 함수로서 나타낸 bypass 효과를 나타내고 있다. 재순환계를 형성하는 화합물의 휘발성이 증가함에 따라 bypass 효과는 커진다. 휘발성이 90%라면 10%의 bypass를 통해서 유입량의 약 50%를 제거할 수 있다.

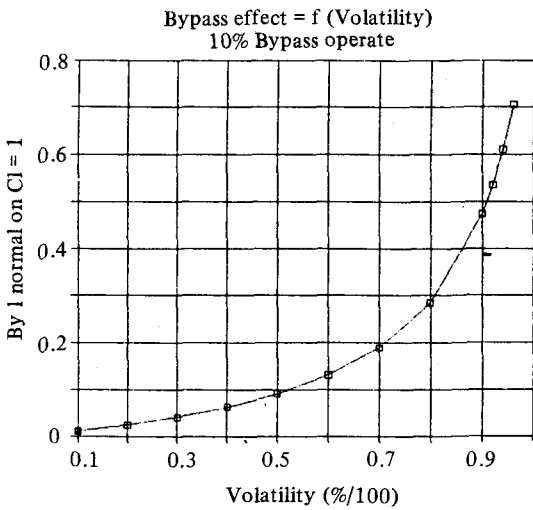
프리히터 키른에 precalcination의 유무에 의한 측정정도를 〈그림-7〉에서 평균 휘발성 정도로서 나



〈그림-4〉 Bypass 결정 계통도

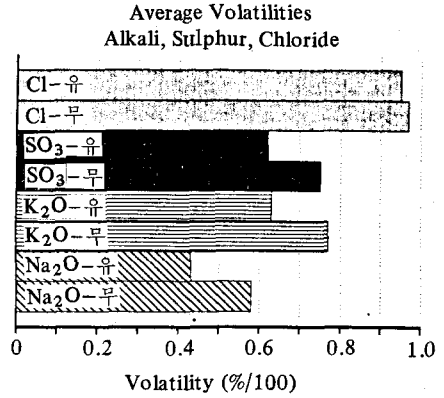


〈그림-5〉 키른 입구에서 hot meal내 농도에 따른 재순환계 성분인 휘발성의 영향



〈그림-6〉 재순환성분의 휘발성 함수로서 나타낸 bypass 효과

타내었다. precalcination 장치가 있는 키른의 휘발성이 이 장치가 없는 것에 비해 모든 성분에 있어서 낮게 나타났다. 이는 그들의 높은 하중으로 precalciner 키른내에서 키른 공급원료의 체류시간이 짧기 때문이다. 이것은 키른 입구에 코팅이 발생하지 않는 이점이 있으며 precalciner 키른이 프리히터 키른보다 재순환계를 형성하는 성분을 많이 투입해도 가능하다는 것을 의미한다.



〈그림-7〉 프리히터 키른의 Precalcination 유무에 의한 재순환성분의 평균 휘발성

그러나 이러한 재순환계의 작용이 불이익이 될 수도 있다. 예를 들어 bypass를 이용해 저알칼리 크링카를 생산하고자 할 때 알칼리의 증발이 적은 경우를 말한다. 이런 경우에는 보조 첨가제를 사용해야 한다(알칼리 휘발성을 높이고자 하는 원료에 염소 첨가).

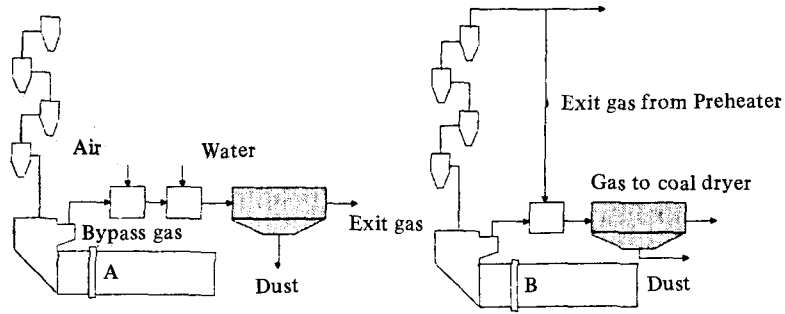
(2) 산업용 Bypass 유형도

〈그림-8〉의 (a)와 (b)는 크링카 소성설비에서 사용되는 각종 bypass system을 나타내고 있다. System A에서는 다스트를 함유한 bypass 가스를 키른 입구에서 추출해 공냉시켜 약 350°C로 낮추고 다시 수냉시켜 150°C로 내려 전기집진기 혹은 백필터로 다스트를 제거한다. 이런 설계는 bypass 가스에 함유된 잠열을 이용하지 못하고 있는 경우이다.

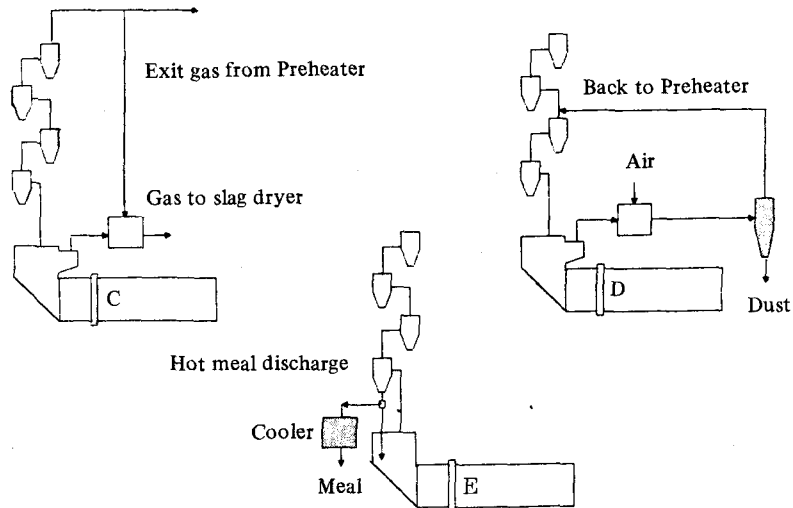
System B는 bypass의 열을 석탄과 원료 건조시 이용하며 bypass 가스는 예열기로부터 배출가스와 함께 400~450°C로 냉각되어 다스트는 전기집진기에서 제거되고 가스는 석탄분쇄와 건조공정 혹은 원료건조 공정으로 이동된다.

System C는 bypass 가스내 열이 슬래그 표면 건조시 이용되고 있다. bypass 가스내 함유된 다스트가 시멘트 품질에 해로운 영향을 끼치지 않는다면 가스필터는 없어도 가능하다.

System D는 system A를 모방, 단순화시킨 것이다. Bypass 가스는 공냉시켜 500~600°C로 내리고 다스트는 높은 분급률을 갖는 사이클론으로 제거



(a) Bypass 유형 A, B



(b) Bypass 유형 C, D, E

<그림-8> (a) Bypass 유형 A, B

(b) Bypass 유형 C, D, E

한다. 사이클론 배출가스는 같은 온도로서 프리히터에 보내져 원료를 예열시키는데 사용됨으로써 열손실을 줄이고 있다. 사이클론 집진기는 전기 집진기나 백필터보다 분급효율이 낮으므로 재순환성 성분의 일부가 다시 소성계로 들어온다. 즉 bypass 효율은 떨어지지만 높은 bypass율이 적용됨으로써 이것은 실제로 균형을 유지할 수 있다.

System E는 염화물을 제거하는데 이용되는 hot meal bypass를 나타내고 있다. 염화물을 재순환계는 국부적인 meal 흐름을 연속 혹은 불연속으로 제거함으로써 적절히 완화될 수 있다. 이 공정 설계는 간단하며 열손실은 비교적 적다.

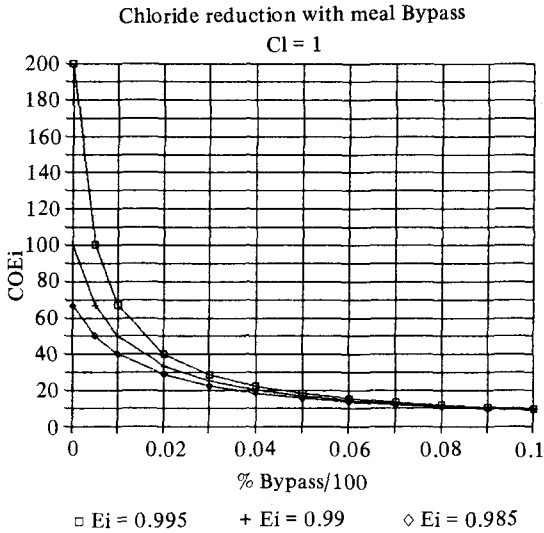
Hot meal bypass의 효율은 <그림-9>에서 볼

수 있다. 99.5%의 염화물 휘발성에서 재순환 염화물은 hot meal의 0.5%를 bypass 시킴으로써 반감된다. 만일 휘발성이 99%라면 그때는 hot meal의 1%를 bypass 시켜야 재순환계가 반감된다. Bypass를 통한 원료 손실은 염화물 휘발성이 감소함에 따라 증가하므로 이런 설계는 염화물 휘발성이 99%보다 큰 경우에 채택 되어야 한다.

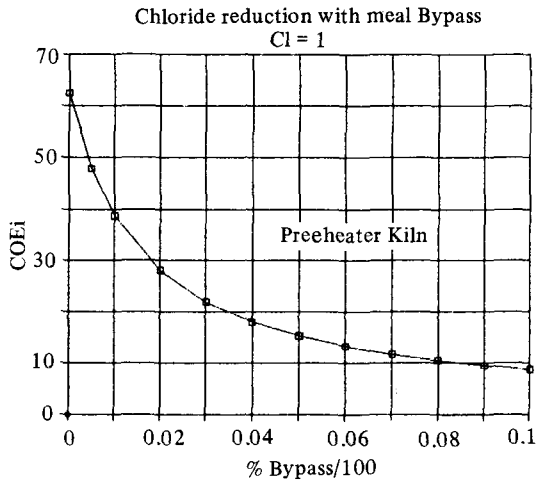
<그림-10>은 프리히터 키른에서 가스 bypass에 의해 감소되는 염화물을 나타내고 있다. 염화물 휘발성은 98.4%이다. Bypass를 하지 않으면 키른 운전시 염화물의 농도가 투입 수준의 60배 이상 된다. 키른 입구에서 약 2%의 부분적인 가스를 방출 시킴으로써 재순환계의 염화물을 반감시킬 수 있다.

5%의 bypass를 하면 bypass가 없는 운전수준의 25%로 재순환계의 수준을 가져올 수 있다.

Precalcination 설비에서의 투입 연화물을 같은 수준의 bypass를 적용하여 <그림-11>에 나타내었다. 그림에서처럼 연화물 투입초기보다 hot meal에서 21배의 연화물 휘발성이 나타나며 5%를 bypass 시키면 재순환계에서 반으로 줄어들며 10%일 때는 1/3까지 줄일 수 있다. 이것은 프리히터



<그림-9> 여러 가지 휘발성에 있어서 Hot meal에 의한 연화물 감소



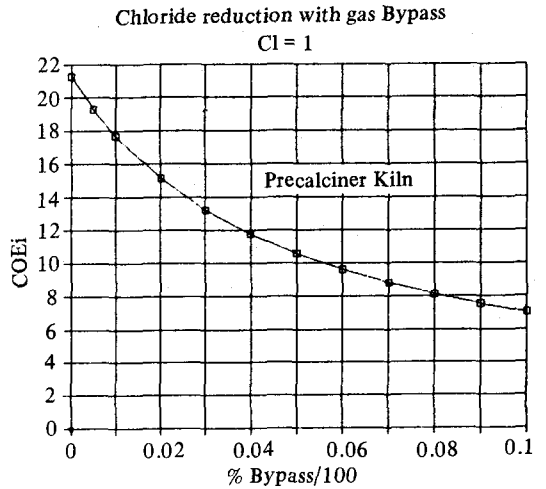
<그림-10> 프리히터 킬내 가스 bypass에 의한 연화물 감소

키른과 Precalciner 키른의 명확한 차이점이다. Precalciner 키른에서의 증발률은 프리히터 키른에서 보다 항상 낮게 나타난다.

3) Bypass 가스의 잠열 이용

Bypass 가스로부터의 손실열은 다음과 같다.

① 키른 가스내의 현열.

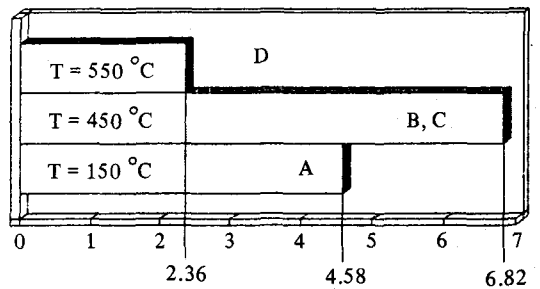


<그림-11> Calciner를 갖춘 프리히터 킬내 가스 bypass에 의한 연화물 감소

Heat loss through bypass gas:

1 Nm ³ bypass gas: 1,100°C	1,800 kJ/Nm ³
0.2 kg Dust/Nm ³ : 80% calcined	557 kJ/Nm ³
Sum	2,357 kJ/Nm ³

Amount of gas after gas cooling (Nm³/Nm³ bypass gas)



<그림-12> 각종 bypass 유형내 bypass 가스와 혼합가스의 열량

② 가스에 함유된 다스트의 현열.

③ 다스트의 하소에 의한 열손실(이 에너지는 커튼에서 사용된 bypass 열손실로 보아야 한다).

〈그림-12〉는 프리히터 커튼내 bypass 가스의 열손실을 나타내고 있다. Bypass 가스 Nm³당 열손실은 2,357KJ(560kcal/Nm³)이며 1% bypass로 되면 30,6KJ/kg-cl' (7,3kcal/Nm³)이다.

〈그림-12〉는 다른 온도에서 혼합가스의 함유량 변화가(〈그림-8〉 참조) bypass 종류에 따라 그리고 냉각 조건에 따라 달리 나타남을 보여준다. System A는 150°C의 혼합가스 온도에서 이용되고 혼합가스의 열량은 더이상 이용되지 않는다. 즉 bypass 열손실이 열평형을 유지하는데 충분한 영향을 끼치는 것을 말한다. Bypass 열손실과 평형을 이루는 공급은 B와 C의 경우와 같이 건조하는데 가스내 열을 이용하는 것이다. D의 경우는 열손실

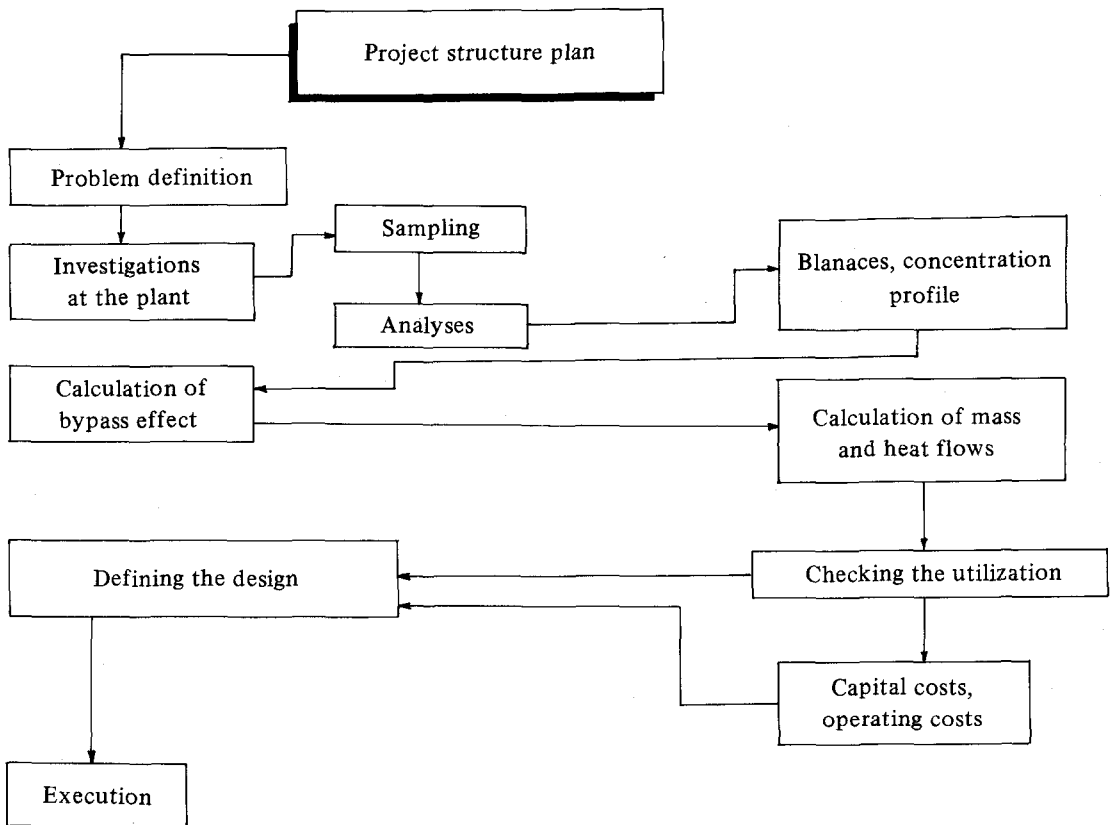
각종 Bypass 유형의 평가

〈表-1〉

Bypass system	A	B	C	D	E
Bypass effectiveness	100	100	100	80-90	100
Heat utilization	no	yes	yes	yes	no
Complexity	high	high	low	low	low

주요 적용

- A : 높은 bypass 효율이 요구되고 열이용이 불필요할때
- B : 높은 bypass 효율이 요구될때와 석탄과 원료를 건조시키는데 열이용이 가능함.
- C : 높은 bypass 효율이 요구될 때와 첨가제를 바탕으로 하는 시멘트를 건조시키는 것이 가능함.
- D : A~C와 같은 높은 bypass 효율이 요구되지 않을때.
- E : 매우 높은 염화물 휘발성에 적용.



〈그림-13〉 Bypass 설계의 구상

대용으로 원료를 예열하기 위해 가스중의 열을 이용하는 것이다. 그러나 가스/물질 열용량비를 상승시킴으로써 발생하는 원료 예열기 이후의 배출가스 온도에 있어서는 다소의 증가가 있다. Hot meal bypass에 의한 bypass 열손실은 1% bypass 당 15.9KJ/kg-cl' (3.8Kcal/kg-cl')이다.

4. 평가와 선택의 범위

키른계에서의 조건은 다양하며 bypass와 환경에 대한 요구사항 또한 다르다. 그래서 다른 bypass계의 질적인 검토도 가능하다.

이런 사항들을 <表-1>에 요약해 놓았다.

재순환계를 형성하는 혼합물이 완전히 제거될때 System A, B, C와 E에 대한 bypass가 100% 효율을 나타내고 있다. System D에 있어서는 사이클론의 분급효율에 따라 달라지므로 혼합물이 크링카 소성계로 다시 회수되어 100% 보다는 낮게 나타난다. Bypass열이 이용되면 A와 E는 제외된다. C, D, E의 설계는 복잡하다. 즉 기술적 관련 수준이 낮다.

Bypass 공장 계획을 세우고자할때는 기존의 잘 알려진 사실들과 범위를 특수 공정에 가장 좋은 bypass 설비를 선택할 수 있도록 숙고해야 한다.

<그림-13>에 나타난 바와 같이 Project structure plan의 토대하에 진행해 나가는 것이 도움이 될 것이다. 농도범위를 계산하고 재순환계를 형성하는 성분분석을 소성계에서 시료를 채취하여 시행할 수 있다.

Bypass 영향은 이런 결과를 통해 계산하고 열과 원료의 흐름을 결정하며 이용수준도 시험한다. 마지막 작업은 bypass 공정에 대한 설치자금과 운용 비용으로 모든 범위를 평가하는 최종 설계를 작성한다.

<참 고 문 헌>

- 1) Weber, P.: Alkaliprobeme und Alkalibeseitigung bei warmesparenden Trockenoten. Zement-Kalk-Gips 17 (1964) S. 335-344.
- 2) Ritzmann, H.: Kerislaute in Zementdrehofen. Zement-Kalk-Gips 24 (1971) S. 338-343.
- 3) Sprung, S.: Technologisch Problemebein Brennen

des Zementklinkers. Ursache und Losung. Schrittenreih der Zementindustrie Heft 43/82. Verein Deutscher Zementwerke e. V. Dusseldorf.

- 4) Kreft, W.: Methode zur Vorausberechnung von Schadstoffkreislafen in Zementofen Zement-Kalk-Gips 35 (1982) S. 456-459.
 - 5) Kreft, W.: Alkali-und Schwefelverdampfung in Zementofen in Gegenwart hoher Chloreinnahmen. Zement-Kalk-Gips 38 (1985) S. 418-422.
 - 6) Kreft, W.: Moglichkeiten und Grenzen bei der Herstellung von Low Alkali Klinkeg Cemento Hormigon. Heft 7 (1984) S. 601-618.
 - 7) Kreft, W., Scheubel, B., und S. Chutte, R.: Klinkerqualith. Energiewirtschaft und Umweltbelastung-EinfuBnahme und Anpeassung des Brennprozesses. Teil 1: Basisbetrachtungen. Zement-Kalk-Gips 40 (1987) H. 3, S. 127-133.
 - 8) Kreft, W., Schubel, B., und Schutte, R.: Klinkerqualitat. Energiewirtschaft und Umweltbelastung-EinfuBnahme und Antassung des Brennpzesses. Teil 2: Erfahrungen aus der Praxis. Zement-Kalk-Gips 40 (1987) H. 5, S. 243-258.
 - 9) Schulze, K., H.: Vorherse der Schwermetallemissionen bei Zementofenanlgen mit Hilfe der Prozebsimulation an Rechner. Zement-Kalk-Gips 39 (1986) H. 10, S. 563-565.
 - 10) Pisters, H., Bsh, W. und Focken, E.: Entlastung des Warmetauscherturms von Alkalien und Schwermetallen uber ein kombiniertes Zementmahlroc-knungs-und Bypass-System. Zement-Kalk-Gips 39 (1986) H. 10, S. 569-570.
 - 11) Kirchner, G.: Das Verhalten des Thlliums beim Brennen von Zementklinker. Schriftenreih der Zementindustrie Heft 47. Beton Verlag GmbH.
 - 12) Kirchner, G.: Thalliumkreislaufe und Thalliumemissionen beim Brennen von Zementklinker. Zement-Kalk-Gips 40 (1987) H. 3, S. 134-144.
 - 13) Henkel, F.: Betriebserfahrungen mit dem Abzug von calcinierten Rohmehl aus Warmetuscheranlagen. Zement-Kalk-Gips 39 (1986) H. 12, S. 666-667. ▲
- <資料 : ZKG No.1 1990>