

日本の KSV 開發 現況

調 査 課

획기적인 熱效率 向上으로 長期安定運轉에 成功

川崎重工業에서 開發한 KSV 助燃爐는 噴流層과 渦室의 結合을 특징으로 하고 있다.

1. 噴流層

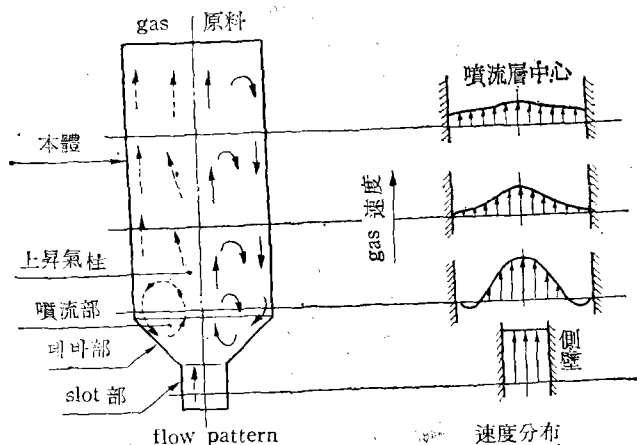
시멘트 製造 프로젝트에 있어서는 噴流層이 새로운 裝置이나 다른 분야에서는 오래 전부터 粒子·粉體의 乾燥·豫熱·燒成 장치로 사용되어 왔다.

噴流層의 概要는 <그림-1>에서 보여 주고 있다. 장치는 上昇氣流를 整流하는 slot 部, 넓은 斷面積을 가지고 있는 本體 및 逆 Cone 形의 데바部로 이루어져 있다. slot 部를 15~30m/s 으로

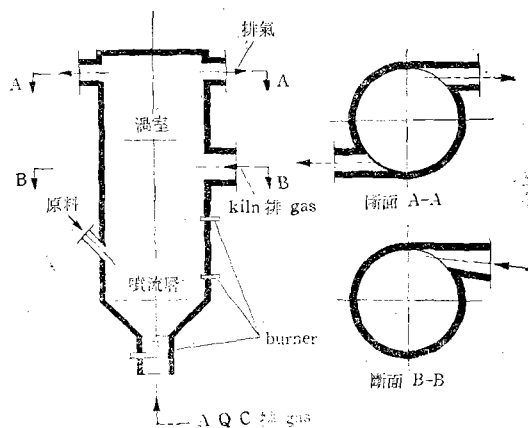
上昇하는 gas 는 本體에 들어 가서도 어느 정도의 높이까지는 中央部에 上昇氣柱를 만든다. 한편 데바部 부근에서는 斷面積이 급격히 증가하기 때문에 渦流가 생기며 이때에 噴流層이 형성되게 된다. 本體에 投入되는 原料는 이 gas 의 흐름에 따라 噴流層에서 얼마의 시간을 지체한 후 gas와 함께 上部에서 排出된다. 構造의으로는 內裝品이 없기 때문에 극히 간단하다는 것이 특징이다.

2. 渦室

渦室은 종래의 SP 에서도 각 장소에 採用되어 왔다. 개스는 接線方向에 導入되어 内部에서 旋回한다. 이 gas 中에 供給되는 原料는 격렬하게 혼합되어 有效한 熱交換이 행하여진다는 사실이 이미 확인되어 있다.



<그림-1> 噴流層



<그림-2> KSV 의 概念

3. 基本構想

KSV는 이 兩者의 결합을 發想의 기본으로 삼고 있다. 噴流層은 그 構造・機能으로부터 생각해 볼때 下部에 위치하여야 하며 한편 渦室은 그 上部에 부착시켜도 충분한 성능을 발휘할 수 있다. 한편 假燒의 方法에 있어서는 原料粉末을 직접 火焰에 접촉시키는 方法 즉 輝焰輻射를 이용하는 것이 지극히 有效하다는 것이 알려지게 되었다. 따라서 버너는 粉末濃度가 큰 噴流層을 표적으로 설치한다. 熱 gas의 利用에 관해서는 酸素分이 풍부한 에어 쿨칭 콜라(이하 AQC라 칭함) 排氣를 slot部로부터 吹入하여 燃燒用의 二次空氣로 한다. 高溫의 排 gas는 <그림-2>에서 볼 수 있는 바와 같이 渦室에 接線方向으로부터 導入하여 이곳에서의 假燒에 사용된다. 原料粉末의 投入은 側面의 낮은 位置 및 渦室天井으로부터 垂直下向시키는 2가지 方法이 고려되고 있다. 디자인 포인트가 되는 各部 gas速度에 관해서는 우선 일반적으로 알려져 있는 slot部 25m/s, 本體部 平均 10m/s 前後를 기준으로 하고 있으며 테바부의 펼쳐진 角은 60° 前後로 한다.

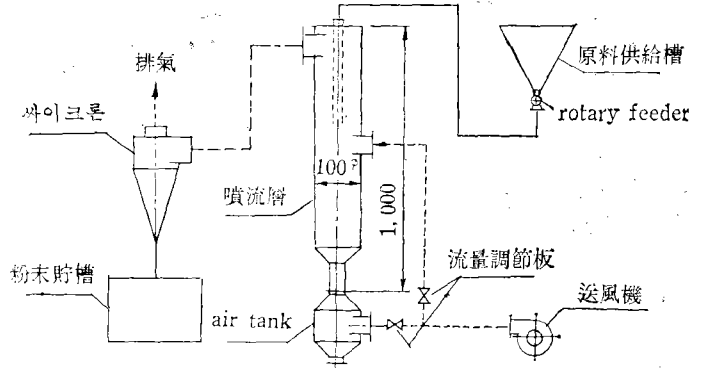
이상과 같이 기본적인 구상이 매듭지어져 구체적인 開發에 착수하게 되었다.

100mm 直徑 모델 시험

本實驗은 극히 기본적인 資料를 획득하는 것을 목적으로 행하여졌다. 여기에서 얻은 데이터는 다음의 640mm 直徑 모델 시험의 계획을 세우는데 사용되었다.

1. 裝置의 概要

內部가 보이는 투명한 플라스틱 모델을 사용하여 KSV 내부에 있어서의 粉末의 舉動과 공기 속도의 관계에 主眼을 두었다. 送風機로부터의 공기는 一部는 밑의 slot로부터 吹入되어 噴流層을 형성하고 나머지는 上部의 渦室에 旋回



<그림-3> 實驗裝置 flow sheet (100 mm直徑)

流로서 도입된다. 原料粉末은 頂部 天井으로부터 投入되어 噴流層, 渦室을 경유하여 사이크론에서 捕集된다.

2. 實驗結果

本實驗에서 확인된 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 原料粉末은 本體 平均 上昇速度가 3m/s 정도에서도 치켜올라가 本體 內部에서의 蓄積은 생기지 않는다.
- 2) 渦室에 投入되는 旋回流는 入口로부터 上下方向에 扇型으로 擴散된다.
- 3) slot部 上昇氣流는 최저 10m/s 정도 필요하며 한편 旋回를 시키게 되면 그 영향이 噴流層內에까지 미쳐 噴流部가 혼란하게 된다.

640mm 直徑 모델 시험

噴流層 內部에 있어서의 原料粉末의 flow pattern을 觀察하여 側面으로부터 吹入되는 燃燒用 2次 空氣의 영향을 조사할 목적으로 當社 播磨工場에 640mm 直徑의 플라스틱 모델 플랜트를 만들어 실험을 행하였다.

1. 裝置의 概要

<그림-4>에서 實驗裝置의 flow를 보이고 있다. 原料粉末은 原料 탱크로부터 rotary feeder를 통해 定量的으로 噴流層에 공급된다. 한편 공기는 main fan으로 air tank 및 slot部를 경유하여 本體에 들어가 噴流部를 형성한다. 空氣

〈表-1〉 KSV 內에서의 flow pattern

flow pattern				
	사이드 에어가 없기 때문에 상향의 흐름이 주가 된다.	사이드 에어의 영향으로 상향의 흐름이 역류가 된다.	slot 部 上昇速度가 적어 途中에서 原料가 落下된다.	本體 上昇速度가 적어 下向의 흐름이 두들어진다.
slot 直徑 d (mm)	350	350	350	200
空氣速度 V ₁ (m/s)	19.1	19.1	9.6	18.6
空氣速度 V ₂ (m/s)	—	13.3	6.7	9.3
空氣速度 V ₃ (m/s)	5.7	8.3	4.2	3.6
原料投入量 (kg/min)	108	108	108	108

의 관찰, 各部 壓력의 計測, 保有量의 측정 등을 행하였다.

1) 粉末의 舉動

〈表-1〉에 장치 밖에서 관찰한 flow pattern의 예를 나타냈다. 〈表-1〉은 外部로부터의 스케치이기 때문에 中心部의 上昇氣柱에서의 pattern은 포함되지 않았다.

本體에서의 上昇速度가 커지게 되면 本體 全面에 걸쳐 原料의 上昇이 보여지나 속도가 낮을 경우에는 內表面쪽으로 쏠려 原料가 落下된다. 한편 slot 部에서의 속도가 10m/s 前後가 되며는 原料의 slot 部에의 下降이 보이며 그 부근이 slot 部 風速의 下限으로 추정된다. 本體 上昇 속도

에 관해서는 약 3m/s 에서도 原料의 KSV 內 蓄積이 없었기 때문에 原料의 分散이 良好할 경우에는 그 정도로도 문제가 없다. side air는 上昇流에 旋回를 줌과 동시에 壁面쪽으로 쏠려 下降하는 原料의 分散에 효과가 있다는 사실이 관찰되었다.

2) 內部壓力

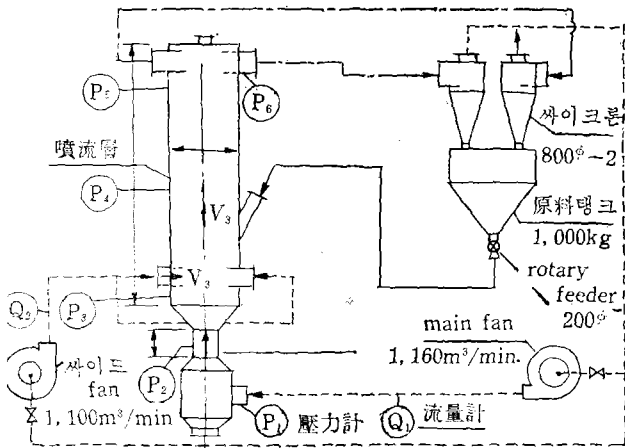
KSV 內部에서의 壓力損失은 예상했던 것보다도 아주 적었다. 本體速度 약 4m/s, slot 部 속도 약 10m/s의 경우, slot 部와 本體上部의 差壓은 약 5 mm Aq 였다. 空氣速度·粉末濃도가 커지면 당연히 壓力損失은 증대되지만 slot 直徑이 적은 경우 즉 slot 部 直徑과 出口와의 차이가 클 때에 이 부분에서의 壓力 손실이 현저하게 된다. 한편 공기의 도입, 排氣에 있어 旋回를 通할 경우에는 이 부분에 있어서의 壓力 손실은 급격히 증대된다.

3) 原料保有量

定常狀態에 달할 때에 裝置 전체를 정지하여 KSV 內에 保有되어 있는 粉末量을 측정했다.

통상의 duct와 비교해 볼 경우 약 7배 정도와 原料가 保有되고 있는 사실이 확인되었다.

이상 冷間 테스트로서 여러가지 데이터를 얻

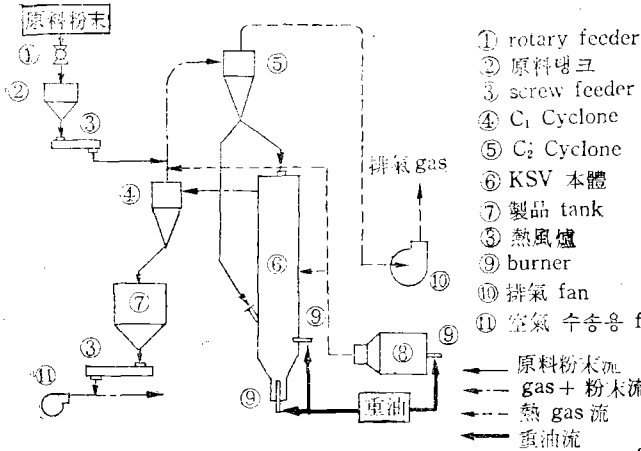


〈그림-4〉 實驗裝置 flow sheet (640 mm 直徑)

와 함께 本體로부터 排出된 粉末은 싸이크론에 捕集되어 다시 原料 tank 에 저장된다. 공기는 싸이크론을 나온 후 fan 으로 돌아와 系統 전체는 閉回路로 운전되어진다. 側面 fan 으로부터의 공기는 接線方向으로 本體에 導入된다.

2. 實驗結果

原料는 실정에 맞게 하기 위해 시멘트 原料粉末을 사용하였다. 送風機의 damper 를 조작하여 slot 部, 本體의 공기 속도를 조절함으로써 原料粉末을 定量 공급하고 외부로부터의 flow pattern



<그림-5> 燒成實驗裝置 flow sheet

게 된 바 특히 pattern의 면에서 불때 slot 部の 空氣速度는 15m/s 이상, 本體 上昇速度는 投入 原料의 分散 정도에 따라 다르지만 5m/s 이상이 적당하다는 사실이 확인되었다. 한편 保有量의 計測에 의해 噴流層이 有効하게 活用되고 있으며 상당한 平均停滯 시간이 확보되고 있다는 사실도 判明되었다.

燒成 테스트

이상 冷間時에 있어서 flow pattern 을 주로 한 data 가 얻어졌으므로 다음에는 실제로 熱을 가 하여 hot run test 로 이의 性能을 확인하기에 이르렀다. 本테스트에 關係서는 T社의 好意를 얻어 同社 南陽工場에서 原料·燃料 등을 支給받아 실시하게 되었다.

<表-2> 燒成 테스트 條件

테스트 No	1	2	3	4	5	6	7	8
테스트條件								
↑: 버너								
↑↑: 冷風								
↑↑: 熱風								
↑: 原料								
原料豫熱 gas	有	有	有	有	無	無	無	無
原料投入量	350 kg/h	350	350	350	350	350	350	350
重油焚量								
下部 burner	45t/h	45	40	52	0	0	55	0
側部 burner	0	0	0	0	0	15	15	15
熱風 gas	72	80	74	75	70	55	0	55

1. 裝置의 概要

<그림-5>는 實驗設備의 flow 를 보여 주고 있다. 本테스트에서는 기존 대신 熱風發生爐를 設置하고 實機에 있어서는 기존 排gas 利用도 檢討項目에 넣었다. 原料는 上部·下部 사이크론을 이은 連結 duct 에 投入되어 豫熱된 後 KSV 에 投入된다. 이곳에서 脫酸 反應을 行한 原料는 排氣와 함께 下部 사이크론으로 운반되어 gas 로 부터 分離되어 裝置外로 排出된다.

2. 實驗結果

實驗은 條件을 여러가지로 변화시켜 8개의 事項에 걸쳐 行하여졌다. <表-2>는 測定條件을 나타내는 것이다.

1) 輝焰輻射의 效果

테스트 5, 6, 7을 비교해 볼 때 合計 油量은 동일하나 버너에서의 油量을 증가함에 따라 脫酸率이 좋아지며 버너의 火焰을 직접 原料에 쪼이는 輝焰輻射의 이용이 有効하다는 사실을 알게 되었다.

2) 기존 排 gas 이용의 效果

熱風이 갖고 있는 熱量에 의한 脫酸效果는 輝焰에 비해 적었지만 旋回流로서 導入할 경우 사이크론 效果에 의해 原料를 再次 下降시켜 버너의 火焰에 접촉시키는 效果를 함께 기대할 수 있었다(테스트 1, 2의 合計 油量은 거의 같았으며 2에서 熱風을 旋回流로서 導入했다).

3) 原料 投入方法의 영향

原料를 頂上部로부터 投入하면 原料가 上部에서 short pass 되어 排出되어 噴流部가 有効하게 活用되지 않는다. 投入位置는 側面의 낮은 부분이 좋다(테스트 2, 3). 原料를 吹入하는 경우 原料의 分散은 良好하다는 사실이 관찰되었으나 今回의 테스트에서는 吹入에 冷風을 사용하였기 때문에 爐內 溫度가 내려감에 따라 脫酸率은 좋지 않았다(테스트 4).

4) 버너의 燃燒狀態

燃燒狀態가 良好한 것은 테스트 4, 6, 7이 었다. 4는 原料投入 방법이 양호하기 때문 에, 6은 slot 部로부터 熱風이 導入되기 때 문에, 7은 버너가 2本이 있어 相互 pilot burner 의 역할을 하고 있었기 때문이라고 추정된다.

本테스트에 있어서는 data 未整理 때문에 定性的인 보고를 그렸으나 계속하여 定量的인 검토를 行하고 있다.

實機 테스트

순서에 따라 進行되어온 KSV 助燃爐의 개발도 드디어 최종단계의 實用化 테스트에 들어 가게 되었다. 이번에도 同社 南陽工場의 好意에 의해 同 工場의 4,000 t/d 급의 대형 基른에 KSV 助燃爐 를 부착시켜 실제의 生産設備에 있어서의 성능을 확인하게 되었다. 테스트는 同社의 우수한 운전 기술에 따라 순조롭게 進行되어 脫酸効果, 基른 燒出量의 증대도 확인되기에 이르른 바 下記와 같이 報告한다.

1. 裝置의 概要

1) flow sheet

<그림-6>은 本裝置의 flow sheet 를 표시하 고 있다. SP 에서 豫熱된 原料는 그의 一部分 이 damper 에서 分岐되어 KSV 에 投入된다. 여 기에서 직접 버너의 火焰에 쪼이게 되어 脫酸反 應이 行하여진 原料는 頂上部로부터 排 gas 와 함께 보내져 나오게 되며 SP 최하단 싸이크론에 서 捕集된 후 基른에 投入된다. 燃燒用 空氣는 常溫으로서 AQC 의 排氣는 사용되지 않는다.

2) 裝置 主要 規格

助燃爐 寸法 : 3.0m shell 內徑×15m 높이 (煉 瓦 두께 350mm)

slot 直徑 : 500mm

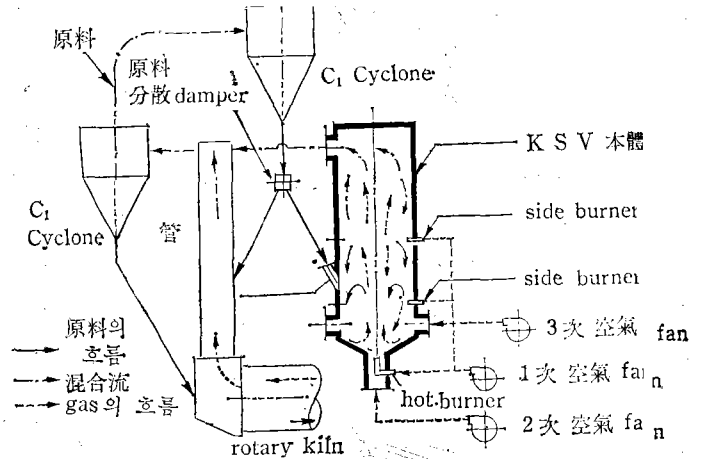
燃燒用 버너 數量 : 5本 (常用 3~4本), 合計 油 量 : max 2,400l/h

送風機 : 1次空氣用 75m³/min×1,200 mmAq

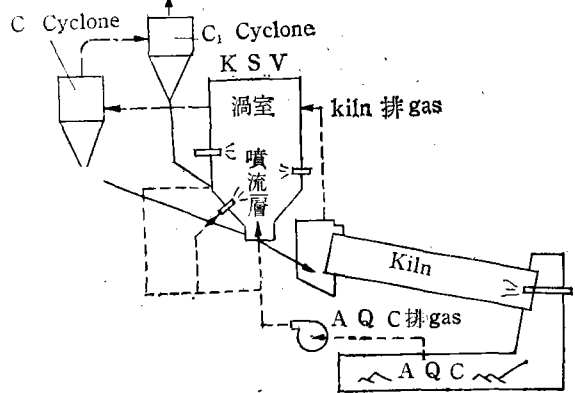
2次空氣用 700 " ×400 "

3次空氣用 250 " ×200 "

原料投入量은 原料分取 damper 에 의해 조정.



<그림-6> 實機 test 裝置 flow sheet



<그림-7> KSV 助燃爐 附着 kiln plant

<그림-7>은 實機에 부착된 KSV 助燃爐의 外 觀을 보이고 있다

2. 運轉結果

모델 테스트의 결과를 기초로 하여 slot 部, 本 體의 gas 速度를 정하여 運轉을 개시하였다. 當 初 두세가지의 trouble 도 있었으나 burner 위치 의 변경, 각 burner 에서의 油量의 조정 등을 실 시한 이후에는 안정된 運轉이 行하여졌다. 이렇 게 하여 KSV 出口에서의 脫酸率은 80%를 넘어 重油 焚量의 增加와 더불어 基른 燒出量이 증가 되었다.

1) 運轉 data

運轉은 단계적으로 進行되었으며 그 후 重油 焚量은 2,000 l/h 까지 올라가게 되었다. 이렇 게 하여 基른에서의 燒出量의 증가에 따라 合計 熱 消費率도 감소하게 되었다.

2) 脫酸効果

脫酸率의 測定值의 한 예를 <表-3>에서 보여 주고 있다. 數値는 SP 投入 전 原料의 Ig loss를 기초로 구한 것이다.

<表-3>에서 보여 주고 있는 바와 같이 脫酸率은 평균 82~85% 確保되어 당초의 계획대로의 脫酸效果가 나타나게 되었다. 뒤에 행한 측정의 결과에서는 重油焚量이 2,000l/h 정도로 증대되는 경우에서도 거의 같은 脫酸效果를 얻을 수 있다는 사실이 확인되었다.

3) heater balance

<表-4>는 重油焚量 1,400l/h의 경우의 一例로서 20°C base로 계산된 것이다.

4) 各部 溫度

KSV 内部溫度는 870°~880°C 부근에서 안정되고 있다. 爐內에 溫度計를 삽입하여 測定한 결과 中·下部에서는 壁面近處에서 700°C 이하, 爐中央部 가까이 갈수록 온도가 높고 한편 上部에서는 대부분 全域에서 900°C가까이의 일정한 霧圍氣로 되었다. 爐內의 上·中·下部의 gas 溫度는 原料의 投入量이 증가함에 따라 거의 같은 値에 접근된다. 이로부터 爐內에서 噴流層이 形成

<表-3> KSV 內에서의 脫酸效果

No.	重油焚量 l/h	原料投入量 (推定) t/h	脫酸率
1	800	10	85.4
2	950	15	82.3
3	1,100	20	83.6
4	1,300	24	84.5
5	1,450	30	83.0

<表-4> heater balance의 一例

入熱(kcal/kgcl')		出熱(kcal/kgcl')	
重油燃燒熱	75.09	原料技去熱 (假燒끝남)	7.05
重油持入顯熱	0.3	同上 (未假燒)	18.01
原料持入顯熱	31.06	排 gas 持去熱	32.30
		分解熱	48.45
		放散熱	0.64
合計	106.45	合計	106.45

(註) <그림-7>에 KSV 助燃爐付燒成 프랜트로서 rotary kiln, AQC를 포함한 基本의인 개념을 보임

되어지는 사실을 엿볼 수 있다.

5) coating

當初 coating의 成長 및 그의 落下에 의한 slot 部의 閉塞가 가장 크게 걱정되었으나 内部 點檢의 結果 부분적으로 10~20mm 정도의 부드러운 原料의 附着이 보이는 정도로서 하등 문제가 되지 않았다.

以上 實機에 있어서 운전의 結果, 當初 걱정되던 burner의 失火, 原料의 上昇移送不能, coating의 성장과 그의 脫落에 의한 slot 部의 閉鎖, 등은 하등 문제가 되지 않았고 助燃爐로서의 KSV의 實用性이 확인되었다. 물론, 效率를 더욱 높이기 위해서는 burner 및 그의 附着位置, side air의 量과 導入位置 등 檢討되어야 할 문제는 많이 남았으나 키 큰 負荷의 低減, 燒出量의 增大, 長期安定運轉이라는 본질적인 문제에 관해 KSV는 충분히 그의 성능을 발휘할 수 있다는 확신을 얻게 되었다.

後記

현재 시멘트業界는 膨大한 수요를 배경으로 설비의 大型化, 自動化에 진력하고 있다. 특히 그 核心이 되는 rotary kiln 部門의 新技術導入은 極히 의욕적으로 行하여져 지금이야말로 SP의 시대로부터 助燃式 SP方式으로 움직여 가고 있다고 하겠다. 本研究에서 취급한 KSV方式도 이미 日産 2,500톤의 實機로서 設計, 製作중에 있으며 멀지 않아 生産을 開始할 수 있게 되었다.

今後 實用化 장치로서 大成하기 위한 조건은 高效率는 물론이고 더욱 長期間의 安定運轉, 용이한 自動制禦를 할 수 있다는 사실이 중요한 factor가 된다. 이 點에서도 KSV 助燃爐의 性能은 實機 test에 의해 확인되게 되었다.

현재의 助燃式 SP方式은 커다란 SP에 助燃爐를 부착시키는 形態가 되고 있으나 장래는 助燃爐만으로 原料의 豫熱·假燒를 행하게 하여 compact한 그리고 大容量의 장치에로 나아갈 것으로 예상된다.

최후로 本研究開發에 協力을 베풀어 준 德山社 南陽工場 및 關係 諸位에게 심심한 감사사를 드리는 바이다.

(註) 本論考는 日本セメント新聞 73년 10월 29日字 및 同11월 19日字에 2회에 걸쳐 연재되었던 것임.