

수직 밀과 非活性 가스회로에 의한 石炭粉碎 및 乾燥

李大桓(譯)

<코리어헤럴드外信部長>

I. 플랜트 說明

1. 순환시스템

두드러진 점은 연소, 증발, 공기침투에서 생기는 氣體(gases)의 순환이다. 이 시스템에는 4개의 단위가 있다. 즉 수직밀(mill), 사이클론(cyclone), 팬(fan) 및 熱가스 발생기이다 <그림-1> 참조, (수직밀에는 롤러밀과 유사기계가 포함된다).

시스템이 休止상태 일때는 시스템의 모든 부분의 壓力은 같다. 팬이 作動하면 가스가 壓力部門에서 吸收部門으로 순환한다. 순환상태에서의 壓力差의 合計는 休止壓力과 同一하다. 休止壓力 또는 어떤 作業壓力의 絶대値는 外部로부터 결정된다. 例컨데 시스템의 어떤 特定한 點에서는 大氣壓力을 적용할 수 있다. 그리고 모든 다른 壓力은 팬壓力증대와 壓力하강에 의해 결정된다.

다음 要因들은 外部로부터 이 시스템에 作用한다.

- ① 석탄의 피드·인(feed-in)과 排出.
 - ② 모든 數의 누설源(leaking source)에서의 공기침투.
 - ③ 熱力學현상
 - ④ 배기가스의 抽出
 - ⑤ 석유 및 연소공기의 注入
- 실제상의 목적으로는 시스템의 壓力(休止上의)은 배기가스抽出 및 연소공기 注入의 상호작용

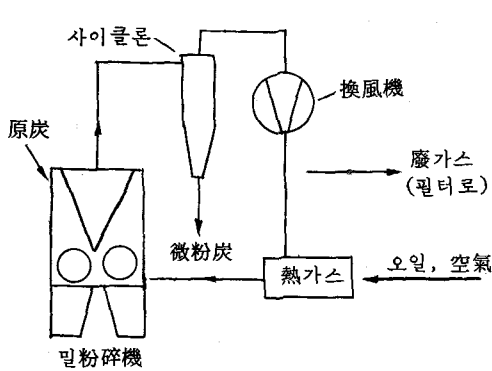
에 의해 결정되며 석탄, 석유 및 누설공기침투가 壓力部分에 미치는 효과는 무시할 수 있다.

현재의 경우에서는 배기가스 流通路와 공기注入 流通路에 팬이 있으며 이들 팬에는 각기 발브(valve), 제동장치 또는 注入통제지도날개(valve)가 달려 있다.

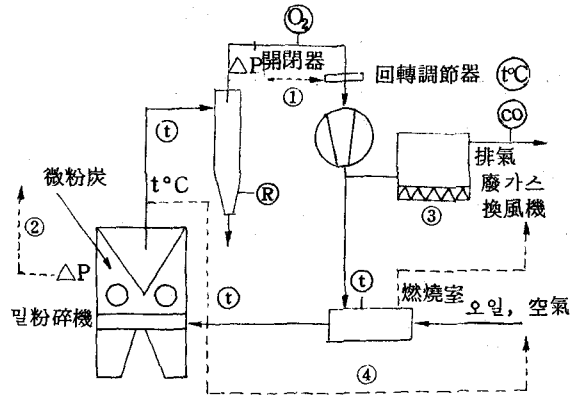
배기가스 流通路의 배기팬이나 공기注入 流通路의 注入팬 자체만으로도 충분할 수 있다. 그러나 보통 熱가스발생기에 팬이 장치되어 있는 것이 표준적이며 안정적인 연소 유지를 위해 연소실내에 약간의 負壓(negative pressure)이 유지되어야 한다. 이는 그렇지 않은 경우 자유롭게 선택할 수 있는 연소실의 壓力이 미리 정해진다는 것을 뜻한다. 회로의 모든 다른 지점에도 이와 같이 정도의 차는 있지만 負壓이 생길 것이다. 연소실의 약간의 負壓은 그렇지 않은 경우 가스순환팬의 壓力측면에서 가장 높은 正壓(positive pressure, 대기壓力이상)이 생기는 회로지점에서 정해지기 때문이다.

특징은 사이클론에서 단순히 예비정화된 가스가 회로로 다시 注入된다는 것이다. 가스를 대기속으로 放出하기에 적합한 정도로 더욱 정화하기 위한 필터(filter)는 실제로 放出되는 가스만을 정화해야하며 이는 순환가스보다 그 량이 훨씬 적다. 이 밖에 대량의 순환가스가 섬유 필터를 통하여 겪게 될 壓力하강이 예방된다.

1,600°C에서 熱가스 생산장치에서 나오는 가스와 사이클론에서 정화된 가스(여전히 m³당 약 50g의 炭塵을 포함)는 熱가스 생산장치와 연



<그림-1> 粉砕回路圖



<그림-2> 制御・監視 시스템圖

결된 선회실 (swirling room)에서 간단히 그려 나 철저하게 혼합된다.

<表-1> 플랜트의 디자인值

區 分	디 자 인 值
<性能值>	
容 量	10t/h 完製品
硬 度	55 HI
殘 餘 濕 氣	1.5 %
粉 末 度	15 % R 0.09 mm
<限界值>	
廢 氣 溫 度	min. 20 ~ 30°C
O ₂ 一 濃 度	Max. 12/14 Vol. % O ₂ im 循環乾燥가스
粉 碎 機 入 口 溫 度	Max. 300°C
<部門別메이터>	
粉 碎 機	EM 47 ; 90 KW
換 風 機	90 mb ; 20,000 m ³ /h ; 90 KW
사 이 클 론	95 % 分離圖 19,000 m ³ /h
熱 氣 發 生 機	25 - 100 kg/h 오일
廢 氣 濾 器	10,000 m ³ /h

2. 플랜트의 디자인值

플랜트의 디자인 기준은 <表-1>에 기재되어 있는 바와 같으며 <表-2>는 8%의 습도를 함유한 석탄의 경우 최초계산에서 산출된 가스회로值를 나타낸다. 순환가스에서는 11.8%의 산소함유도가 예상되었다. 이산화탄소 注入은 분쇄 플랜트의 始動을 위한 안전예방조치로 明記되었다.

3. 통제와 감시관리

명확하고 질서있는 통제와 감시관리 (monitoring) 디자인 개념을 달성하는데 각별한 주의가 기울여져야 한다 (<그림-2>) 참조.

회로의 4개의 值가 소망대로 통제된다.

① 순환가스流動率이 순환팬의 吸入 날개에 의해 통제된다.

<表-2>

<그림-1>의 시스템에 대한 가스回路值

項 目	溫 度 (°C)	比 氣 量 (m ³ i. N. / kg)	가 스 分 析 值 (Vol. %)			
			O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O
熱 氣 斯	1600	0.147	5.88	74.98	10.01	8.96
循 環 氣 斯	103	1.201	7.84	53.69	4.58	33.81
粉 碎 機 入 口 氣 斯	287	1.348	7.63	56.02	5.18	31.10
粉 碎 機 出 口 氣 斯	103	1.522	7.84	53.69	4.58	33.81
粉 碎 機 內 氣 斯	10	0.080	20.73	78.07	0.00	1.20
濾 器 內 氣 斯	10	0.010	20.73	78.07	0.00	1.20
廢 氣 斯	103	0.332	8.22	54.40	4.45	32.86

② 밀 (mill)의 差壓이 석탄注入 (feed)에 의해 통제된다.

③ 연소실의 負壓이 배기가스팬의 吸入되는 날개에 의해 통제된다.

④ 밀의 온도하락 (downstream)이 熱가스流動率에 의해 통제된다.

교정을 위한 조정의 여지가 충분히 주어졌다. 회로의 한결같은 가스순환율을 위한 제어·루프 (control loop)는 밀의 差壓에 근거한 밀의 피드 통제를 위한 필수적 요건이다. 오일·버너 (oil burner) 와 이에 따라 熱가스 產出이 밀의 배기 온도 固定點 (set point)에 의해 통제된다. 差壓의 고정점 조정에 따라 얻어지는 실적의 수준이 다르다. 오일·버너와 따라서 熱가스 產出은 밀의 배기 온도 고정점에 의해 통제된다. 이렇게 버너가 회로에 注入하는 여러가지의 熱가스流動率은 그후 버너의 소망스런 壓力에 따라 배기가스팬에 의해 제거된다.

여러가지 습도의 注入材 (feed material)로서 한결같은 가스 순환율을 확보하는데 필요한 밀의 각기 다른 熱소요는 밀 앞의 각 온도에 나타난다. 350°C에서는 주의신호 (alarm signal)가 작동하게 되어 있다. 밀을 통과하는 공기율과 석탄율이 300°C 이상은 예상할 수 없도록 조절되어 있다. 기타 모니터링되는 限界値는 <表-3>에 기재되어 있다. 즉 순환가스의 산소, 필터를 통과하는 일산화탄소, 시스템의 여러지점의 극한 온도, 재료吸收 表示로서의 負壓.

플랜트는 自律의인 非活性상태를 유지토록 설계되어 있다. 12% (乾·dry) 이하의 산소로는 석탄피드가 플랜트를 始動시키도록 되어 있고 정상가동중 14%의 산소에서는 피드가 중단된

다. 정상가동중 12%의 산소 (dry)에서는 주의 신호가 작동한다. <表-2>에 따르면 8%의 습도 (moisture content)를 가진 석탄의 경우 습도가 1% 잔류하도록 건조하면 11.8% (乾)에 상당하는 7.84% (濕)의 산소 함유도가 예상된다. 이러한 値는 완전히 분쇄된 석탄의 kg 당 침투 공기가 0.08 Nm³, 즉 밀의 공기 流動率이 약 5%라는 가정을 바탕으로 회로제산을 한 결과 얻어진 것이다.

II. 試運轉에서 나타난 문제

플랜트의 조심스런 디자인과 건설에도 불구하고 試運轉에서 상당한 문제가 나타났다. 각 부문에 영향을 미치는 기계고장에 대해서는 여기에서 言及할 필요가 없겠다. 대신 工程上的 엔지니어링 고장과 장애, 그 분석 및 취해진 시정 조치를 기술해 보겠다. 주된 문제는 다음과 같은 것이었다.

① O₂가 너무 높게 나타난다.

② 공기吸收시설 속의 가루炭이 이 시설의 手動발브가 열릴 때 불이 꺼지게 하거나 불을 붙인다.

③ 필터가 탄다.

④ 밀, 사이클론 또는 필터가 석탄으로 막힌다.

⑤ 버너를 끌때 밀의 온도상승이 일어난다.

이미 言及한 기계고장 이외에도 위에 기술한 운전상의 문제로도 작업중단 및 폐쇄가 발생했다. 시운전의 후반단계에서는 이미 추정원인, 예컨대 밀이 막혔다는 표시로서의 밀의 差壓증대에 호응하여 제어간여가 이루어졌기 때문에 이러한 문제들이 더 이상 발생하지 않았다.

이젠 그 원인을 정밀 분석하고 검토하기 시작했다. 온도 및 압력의 관찰과 이슬點 및 시스템속으로 공기가 새어드는 곳에 대한 조사가 실시되었다. 그래도 역시 플랜트의 성능은 만족스럽지 못했고 잔여습도가 2%로 너무 늘었는데 원인이 있는 듯 했다.

시멘트공사로서는 그라인딩·플랜트 (grinding plant)를 始動하는데 사용해야 하는 실린더의 바테리에서 발생하는 CO₂를 감당할 것으로는 생각할 수 없으며 더우기 침투공기의 補正수단으로

<表-3> 監視限界値 (모니터링限界値)

項 目	限 界 値
산소 :	max. 12/14% O ₂ 循環가스중
일산화탄소 :	max. 0.3% 필터뒤
최대온도 :	기 어 65/70°C
	필터뒤 110°C
	연소실 1600°C
	粉碎機入口 350°C
	粉碎機出口 135°C
負壓 (物質의 凝集尺度)	사이클론 깔대기에서 100mm WS

는 더욱 그러하다. 따라서 사태를 바로잡기 위한 첫 시도는 공기침투로부터 시작되었다. 공기침투의 主源은 原炭병커였다. 병커의 全斷面보다 더 큰 저항을 하는 더 가늘고 긴 吸收샤프트를 설치함으로써 공기침투가 줄었다. 이러한 조치의 결과, 特定 O₂ 함유도가 달성되었으며 특히 높은 원료가공물에서는 더욱 그러했다. 그러나 그 결과로 이음點이 올라갔다. 밀의 공기분리기 사이클론 및 필터를 막는 차단(blockades)은 증발물이 증대되었는데도 공기 침투율이 변하지 않기 때문에 일어나는 통제되지 않은 높은 이슬點에 기인하는 것으로 분석되었다.

동시에 순환율은 팬의 능력한도까지 증대되었다. 밀의 差壓은 부분負荷운전 상태에서도 이미 너무 높았다.

더 강력한 팬의 설치가 옳은지에 대한 논의가 있었다. 순환율을 고정시키기 위한 시정 잉여능력을 희생시켰다.

측정 오리피스(orifice)는 이미 압력하강을 줄이기 위해 피토편(pitot tube) 流量器와 대체되었다.

逆분출에도 불구하고 이 流量器가 막혔다. 이 분출이 응축물을 형성하여 장애가 일어난 듯하다.

필터의 火災發生은 自然點火 또는 다루기 힘든 熱가스 발생로의 内部에서 발생, 운전을 중단할 때 팬의 復선회(after-running)나 熱作用에 의해 필터로 옮겨가는 殘熱에 기인하는 것으로 분석되었다.

熱가스 발생로에 단지 始動補助장치로 補助輪쪽을 설치하는 방법이 해결책으로 간주되었다. 끝으로 밀과 熱내부장치의 인접성이 공기吸收시설속에서 미세하게 뿜아진 석탄에 불이 붙은 확률을 높이는 원인으로 진단되었다.

이 시설속의 석탄粒子는 지나치게 미세하여 다른 장치에서 흔히 일어나는 바와 같이 밀의 분쇄실에서 발생, 노즐·링(nozzle ring)을 통과한 것으로는 보기 어려웠다. 熱가스 발생기가 뒤떨어하여 석탄으로 막힌다는 사실로 순환가스에 너무 많은 먼지가 섞인다는 것을 충분히 알 수 있었다. 따라서 결국 회로에 필터를 설치해야만 했다.

Ⅲ. 고장분석 및 대책

1. 시스템의 細分

工程工學시스템에서는 어떤 조치 또는 수정이 가해지는 경우 전체시스템에 영향을 미친다. 비교적 소규모이고 명확히 설계된 플랜트일지라도 전체 시스템을 상당히 독립된 서브시스템(subsystem) 즉 「가스회로」 및 「석탄취급」으로 분할하는게 有益한 것으로 알려졌다. 이 방법으로 하면 고장분석이 이러한 서브시스템에 더 편리하게 또 더 신속히 적용될 수 있는 것이다.

2. 석탄에 영향을 미치는 조치

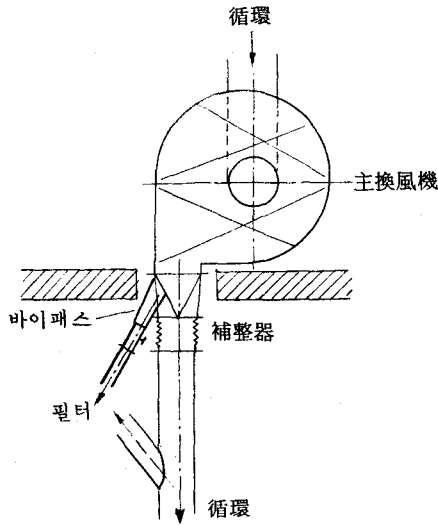
거의 모든 수직밀과 같이 피터즈·밀도 먼지나 너무 큰(oversize) 粒子의 통과를 막기 위한 등의 목적으로 공기를 高速으로 통과시키는 外部 노즐·링이 있다. 오버사이즈 물질이나 異물질은 통상 공기吸收 시설과 노즐·링 밀의 集炭호퍼(hopper)에 모인다. 현재의 경우에는 분쇄실이나 회로에서 생긴 대단히 미세한 먼지를 포함하고 있는 것으로 밝혀졌다.

이 먼지가 막혀 버너의 운전중지후 밀의 온도가 올라가는 원인이었음이 틀림없다. 그러한 증거는 검사도어(door)가 열리자 공기가 들어가 곧 불꽃이 인 것으로도 뒷받침 되었다.

이러한 일은 공기吸收시설에 平底(flat bottom)와 분쇄보울(bowl)과 같이 회전하는 정화날개(clearing-out blade)를 아지테이터(agitator)의 作用을 하도록 설치하고 노즐·링을 우회하는 2인치 파이프(pipe)를 시설함으로써 시정되었다. 400 mm w. g. 差壓에서 이 파이프는 노즐에 공급되는 공기의 약 5%를 전달하고 炭먼지와 오버사이즈 粒子를 밀의 분쇄실로 되 보냈다.

集炭호퍼와 공기吸收시설은 이 결과 완전히 먼지와 불에서 해방되었다.

미세하게 분할된 석탄의 부피밀도(bulk density)가 每 0.4 kg 이라는 제한된 가정하에서 사이클론·에어로크(air-lock)의 量的 放出率



〈그림-3〉 회로부터 塵가스 抽出

을 再計算한 결과 많은 고장이 사이클론의 放出率이 적절하지 못해 사이클론이 일부 채워진 상태로 있는 경향이 있어 분리효과가 지나치게 不良한데 기인하는 것임을 알 수 있었다. 따라서 연속된 現存의 비교적 작은 회전식 에어·로크·게이트를 더 큰 한개로 대체했다. 이 조치가 성공적이었으며, 이로써 새로이 粉碎되어 사이클론에 들어가는 석탄의 부피 밀도가 너무 낮다는 것을 알 수 있었다.

플랜트를 수정할 때 사이클론 円錐를 스테인리스鋼으로 만든 것으로 대체했다. 철강기둥에 얹혀있는 받침부착물들은 사이클론에 대한 콜드·브리지(cold bridge)를 막기 위해 절연물질위에 얹었다. 필터의 円錐도 스테인리스鋼으로 만든 것과 대체했으며 중앙放出대신 스크류·콘베이어(screw conveyor)와 로타리·게이트(rotary gate)가 장치된 세로放出시스템을 설치했다.

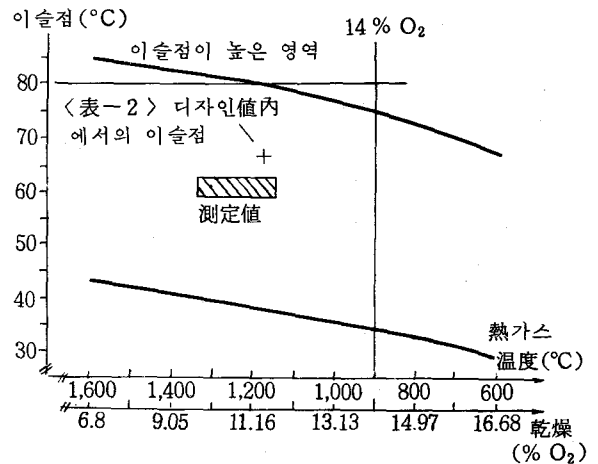
퇴적물의 生成을 막기 위해 회로에서 필터로 배기가스를 운반하는 放出管은 逆굽힘(reverse bend)으로 만들어져 있었다. 이때문에 이 導管의 먼지集積度가 순환가스에서 보다 낮은 것으로 짐작되었다. 그러나 이를 실제의 측정으로 증명하기란 불가능했다. 이 管을 바꾸어야 했다던 비용이 많이 들고 힘이 들었을 것이다. 대신 〈그

림-3〉에서 보는 바와 같이 팬의 가장자리에 쌓인 먼지가 필터로 放出되도록 바이패스管(bypass pipe · 內直徑 80 mm)을 팬에 연결했다.

사이클론의 降水효능과 밀의 差壓을 포함한 최초의 압력하강은 순환가스의 먼지集積度의 현저한 하락으로 좋은 영향을 받았다.

3. 가스에 영향을 미치는 조치

플랜트·오퍼레이터(operator)는 이 시스템에 석회석을 피드(feed)하는 가능성을 상정했다. 그러나 단지 석탄을 포함하는 플랜트를 깨끗이 할 수 있을 뿐이었으며 건조작업이 물로서만 시뮬레이션(simulation)이 가능했다. 따라서 문제를 별도로 다루기 위해 플랜트가 對應해 나가야 하는 통상조건에 거의 상응하는 비율로 물이 뿌려지도록 조치를 취했다. 分當 10 l가 솔레노이드·발브(solenoid valve)를 통해 고정적으로 공급되도록 했다. 처음 약간의 어려움을 겪은 끝에 확실한 증발을 위해 물을 적당히 분무화할 필요가 있다는 것을 알아냈다. 피터즈·밀에서는 공기吸收시설이 물을 注入하기에 적당한 부분이다. 이같은 비율의 물注入으로 통제된 조건하에서 버너와 회로는 얼마든지 운전이 가능했으며 따라서 작업의 석탄측면에서 발생하는 애로를 제거하거나 橋絡하는데 충분한 시간을 벌 수 있었다.



〈그림-4〉 O₂ 含量과 이슬점과의 관계

석탄注入과 연관, 스위치를 끝때마다 솔레노이드·발브가 열려야 하며 석탄건조에서 물시물레이션으로 전환이 이루어져야 한다. 이에서 생기는 작업荷重의 대단히 뚜렷한 변화마저도 제어루프(control loop)에 의해 적절히 차단·보정된다.

밀의 공기분리기에서 이미 일부 일어나기는 하나 사이클론과 필터에서 더 현저히 발생하는 현저한 이슬點 문제는 外部絶연만으로는 고칠수 없었다. 따라서 필터와 사이클론의 凹錘부분에 電力히팅·매트(heating mat)를 설치했다. 스웨덴의 기후조건 하에서 이같은 대책은 장기적인 이익이 될 것이다.

에어·로크·게이트(air-lock gate)를 크게 함으로써 석탄밀집을 제거하는 외 또하나의 중요한 시정조치는 침투공기율을 높임으로써 이슬點에 관한 온도차를 확대하는 것이었다. 後者는 이같은 종류의 폐쇄회로시스템에서는 恒量(constant quantity)이다. 이는 건조 및 가스加熱率이 낮을 때가 높을 때보다 도입되는 침투공기량이 비교적 많다는 것을 뜻한다. 이슬點과 순환가스의 O₂ 함유도는 기능상 <그림-4>에 나타나 있는 바와 같이 相關關係를 이룬다.

<그림-4>에는 연소의 과잉공기와 모든 침투공기가 산술적으로 결합되어 공기에 의해 묶어진 일정한 온도와 O₂ 함유도를 가진 연소폐기가스(waste gas)가 얻어지는 것을 보여주고 있다. 가스온도와 O₂ 함유도는 가로축에 표시되어 있다. 폐기가스가 물의 증발로 냉각될 때 상부의 곡선에 일치하는 이슬點이 얻어진다. 냉각이 건조석탄의 加熱이나 플랜트벽을 통한 熱손실로 일어날 때는 폐기가스의 이슬點은 不變이다(하부곡선). 물증발, 석탄加熱 및 침투공기에 의해 이루어지는 냉각의 실제比率에 따라 어떠한 주어진 환경에서의 작업조건은 두 곡선의 사이에 놓여지게 된다.

낮은 건조율에 대해서는 높은 O₂ 値와 낮은 이슬點이 얻어진다. 높은 건조율의 경우에는 이슬點 이상의 온도차가 너무 적어 밀, 사이클론 및 필터의 온도가 이슬點 이하로 떨어질 위험이 따른다.

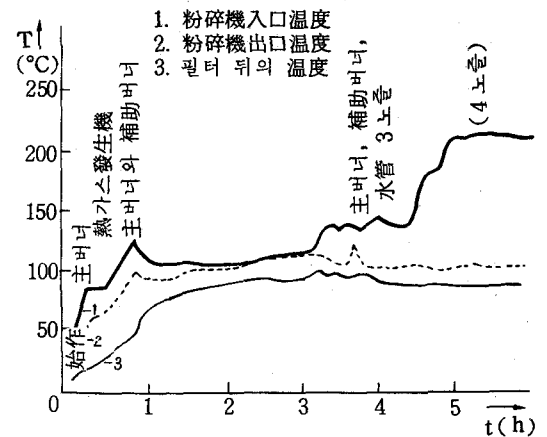
논리적으로는 침투공기를 제거해서는 안되며

통제해야 한다. 이를 위해 카브레이터의 원리에 따라 기능하는 석유와 공기의 複合조절기를 설치, 熱공기발생기에 소망되는 혼합물이 공급되도록 했다. 複合조절기의 공기제어장치를 조정하여 熱산출량이 증가하는데 따라 공기요인이 증가하고 자주 발생하는 바와 같이 내려가지 않도록 했다. 이같은 조치로 이슬點과 O₂ 함유도를 광범위한 荷重내에서 거의 不變(65°C와 11%의 O₂ 함유)토록 유지하는게 가능하게 되었다.

플랜트始動때 이러한 상태를 만들어 내는데 특별한 문제에 부딪혔다. 찬(冷) 상태에서 始動하면 응축물이 生成될 가능성이 있기 때문에 凹錘의 外部加熱로 단순히 미리 더워진 필터에 이러한 공기를 注入하는 것은 옳지 못한 것으로 생각되었다.

필터와 전체플랜트를 100°C 가까운 가동온도로 우선 데우는게 바람직한 것으로 생각되었다. <그림-4>가 보여주는 바와 같이 설계點 이상의 물증발만으로 80°C의 이슬點을 기대할 수 있기 때문이었다. 無荷重상태에서 운전되는 폐쇄회로 플랜트는 팬으로 약 70°C 까지 加熱했다. 소량의 필요한 追加加熱은 熱가스발생기의 주버너로 공급하기에는 너무 작았다. 이 버너의 최저 가동한계가 全산출량의 25%였기 때문이다. 따라서 주버너의 定格 全산출량의 10%로 가동하는 보조버너를 설치했다.

보조버너의 선택은 쉬운 일이 아니었다. 다음의 요건을 충족시키는 것이어야만 했다.



<그림-5> 加熱曲線

① 加熱시간 절약을 위한 높은 산출량.

② 낮은 필터온도와 관련, 높은 밀온도로 필요해지는 플랜트폐쇄나 가동중단을 피할 수 있을 것.

②의 요건을 충족시키기 위해 보조버너는 작업온도까지 加熱된 플랜트의 熱손실(배기가스속의 熱손실 포함)만을 보충, 플랜트가 無限定 그러한 加熱상태를 유지할 수 있도록 하는 것이어야만 했다. 최종온도는 漸近的으로만 달성되었다.

<그림-5>에 의하면 보조버너의 열산출량으로 온도가 3시간 동안에 단지 약 10°C 올랐으며 그래서 실제로 오래동안 같은 온도상태를 거의 유지할 수 있었다.

<그림-5>에 나타난 바와 같이 加熱시간은 당초 초버너를 1시간 약간 못미쳐 동안 산출능력의 25%로 가동시킴으로써 약 10시간 단축되었다.

<그림-5>에 그려진 加熱곡선은 실제의 플랜트 가동에서 얻어진 것인데 밀의 최종온도에 이미 도달했기 때문에 초버너를 본 후 보조버너로 필터의 온도흐름(downstream)이 68°C에서 97°C로 올라갔음을 보여주고 있다. 68°C에서 물을 注入했다면 필터백(bag)에 물이 채워졌을지도 모른다. 始動중 초버너를 일단 끄으로써 필터온도를 충분히 올리는 것도 가능했을 것이다. 그러나 플랜트수정계획이 시급했기 때문에 이러한 시도는 하지 않기로 결정되었다.

여기 기술된 방법으로 플랜트를 안전하게 加熱하고 물로써 실제의 熱가동상태를 시뮬레이션 하는 것이 가능했다. 폐쇄때 필터의 發火위험을

제거하기 위해 보조쿨뚝을 첨가하는 것도 필요항가가 문제가 되었다.

폐쇄때 배기가스팬 뿐만 아니라 순환팬도 필터에 뒤쳐졌다. 팬에 제동을 건 경우에도 연소실(온도가 1600°C까지에 이르렀다)의 熱가스가 올라갔다. 이러한 상황은 공기動作시린더로 닫히는 차단발브(shut-off valve)로 시정되었다. 이 발브의 차단효과는 온도문제가 상당히 많은 량의 가스에서만 생기기 때문에 엄격한 요건을 충족시킬 필요는 없었다. 회로를 막기 위한 발브와 배기가스 통로를 차단하기 위한 발브, 즉 각 팬에 하나씩의 발브가 필요했다.

앞으로는 누브르형(lovre-type)의 셔터·발브(shutter valve)를 사용, 건설비를 절약할 수 있는데 이 셔터·발브는 비상차단용으로도 사용할 수 있고 구태여 吸收제어날개(Vane)를 필요로 하지 않는다. 이러한 발브는 급속하게 닫히기 때문에 침투공기가 들어옴으로써 산소집중도가 14% 이상 올라가는 것보다 더 빨리 석탄먼지가 폭발적인 집중도 이하로 떨어지리라고 기대할 수 있는 것이다.

4. 수정된 작업절차 및 連動조건

값비싼 가스순환팬의 크기는 다소 모자라게 했다. 압력하강을 줄이기 위해 吸收날개 제어루프의 측정 오리피스(orifice)를 없애기로 했다. 대신 사이클론의 差壓을 미리 그린 特性곡선에 대해 不變토록 유지했다.

팬의 용량이 딱딱히 제한되어 있기 때문에 전에는 吸收제어날개가 완전히 열린 상태에서 가동

* 생활의 지혜 *

◆ 야위고 설사졌을때

특별한 이유 없이 바짝 야위고 기운이 없으며 조금만 먹어도 설사를 하는 따위 현상은 편식을 하는 사람에게 많은데 주로 칼로리와 단백질 부족 때문.

이런 경우는 편식에 유의하고 영양가 높은 우유·유제품·달걀·간·어육류·콩제품 등을 골고루 먹고 몸을 튼튼히 해야한다.

질뽕하면 감기에 걸리고 열이 나고 귀가 아프거나하며 잔병이 많고 살결이 거칠어 잘 트는 것은 비타민 A의 부족 증세. 물론 여러 영양소 및 칼로리 부족이 원인일 수도 있다. 편식하지 말고 신선한 채소·과일·생선·해초·우유 등 균형있는 영양 섭취를 해야 한다.

되었다. 그러나 그러한 상황하의 팬의 特性곡선은 밀의 최대압력증가를 나타내지 않는다. 그밖에 가스순환율이 클 경우, 이 압력은 회로에서 比例이상으로 소모된다. 따라서 사이클론, 熱가스발생기의 아지테이터·믹서(agitator mixer) 및 밀의 노즐·링에서도 마찬가지이다. 밀의 능률을 결정짓는 밀差壓의 증대는 吸收제어날개를 부분적으로 열어 놓은 상태에서 單 달성될 수 있었다. 이러한 작업조건 하에서는 熱가스발생기의 산출량이 同一한 경우 순환가스량은 더 적고 배출가스량과 밀 앞의 온도(temperature ahead of the mill)는 더 높다. 이런 式의 작업에는 회로에서 마른 가루炭이 생기는 경우, 잔류시간에 따르는 것이긴 하지만, 300°C 이상이어서는 안되는 밀 入口 온도와 가루炭을 운반하는데 필요한 최저의 가스속도의 제한을 받게 된다.

플랜트를 이런 방식으로 가동시켜 보니 필요한 성능의 달성은 물론 예상대로 건조도가 호전되었다. 밀에서 먼지가 떨어지거나 밀의 差壓이 하강하는 일이 이젠 없어졌다. 플랜트를 이같이 수정한 후에는 사이클론, 필터 및 熱가스발생기에 먼지가 쌓이지도 않게 되었다.

위에 서술한 諸難과 관련, 다음과 같은 단계로 조치를 취했다.

加熱 1 - 타임·스위치 또는 테르모스타트(thermostat)가 신호를 낼 때까지 電力外部加熱로 事前加熱.

加熱 2 - 밀 出口 온도가 110°C 가 되고 신호가 주어질 때까지 主버너를 25%로 가동.

加熱 3 - 필터끝 온도가 100°C 가 되고 신호가 주어질 때까지 보조버너를 主버너의 10%의 熱산출량으로 가동.

非活性化-O₂가 12%(乾)가 되고 신호가 주어질 때까지 물을 注入하고 버너를 제어.

분쇄· 건조-석탄 注入시작, 물 注入중지.

플랜트를 정지시키기 위해서는 물과 관계된 청소를 20분동안 실시하며 이동안 플랜트는 석탄먼지를 충분히 없애고 위에 기술한 절차에 의해 再始動할 태세를 갖추게 된다. 이러한 밀의 먼지청소작업이 실제로 효율적이기 위해서는 밀속의 모든 정지 표면이 적절한 경사를 이루어야 하며 먼지가 퇴적되지 않아야 한다. 밀의 분쇄板

(grinding table)은 遠心力에 의해 저질로 소재되며 공기吸入케이징(수정후)은 회전브레이드의 작용에 의해 내부에서 청소되고 기타 모든 표면은 그를 지나는 공기에 의해 청소된다.

청소단계 후 모든 드라이브의 스위치를 넣는다. 발브가 닫힌다. 熱가스발생기는 자체냉각이 되도록 설계되어 있다.

非活性상태하의 이같은 정상청소는 전기나 물 공급고장 등으로 인한 비상 스위치·오프(switch-off)인 경우에는 불가능하다. 再始動前의 임시 플랜트청소를 위해 公業용진공소제기로 석탄먼지를 제거할 수 있도록 파이프연결쇠가 분쇄판, 사이클론出口, 필터出口 및 수직도관의 폐쇄발브위 등 여러곳에 설치되어 있다. 먼지 제거를 위해 플랜트는 CO₂로 채워진다. 제거후 플랜트는 버너를 끄고 팬과 밀을 운전하면서 깨끗이 가동될 수 있는데 이는 통상적인 청소의 경우에 못지않게 효율적이다.

始動과 停止를 위해서는 主프로그램 단계만이 실시된다. 모든 副단계의 프로그래밍을 위해서는, 주로 수정이나 원래 CO₂에만 의존하던 始動 및 停止안전예방대책의 증대를 위한 것이지만, SLITE 시멘트 공사로 出口로부터 프로그램 가능한 제어조절 여지가 충분해진 것을 알 수 있게 되었다.

IV. 결과분석

가스와 석탄 시스템에 대한 이같은 기술적인 向上과 가동방식의 수정으로 플랜트는 현재 약 6개월동안 고장없이 가동되고 있으며 따라서 작업능력도 그만큼 높다.

원거리제어가 가능하며 필요하면 완전자동으로 정지와 재시동도 가능하다. 따라서 이 플랜트의 당초개념이 성공적으로 완수되었다 하겠다.

더 구체적으로 말하면 자체 非活性시스템 개념의 존립 가능성이 확인된 것이다. Niemyer는 非活性플랜트에 대한 경험부족으로 인해 폭발방지 디자인을 구체화하는 시스템에 찬성을 표하고 그에 대한 이유를 상세히 설명했지만 물에 의한 시뮬레이션운전 등 連動시동 및 정지절차로 플랜트의 시동 및 폐쇄중일지라도 석탄분쇄의 한결

같은 非活性가동양식이 가능하게 되었다. 그러나 물의 증발만이 있고 加熱된 가루석탄에 의한 熱제거가 없으면 이슬點이 높아지게 된다. 따라서 배기가스가 통과하는 플랜트의 부분이 적절히 절연되어야 하며 流動조건이 비교적 弱한 사이클론과 필터罐는 일반적으로 외부에서 加熱될 수 있어야 한다. 침투공기가 연소를 및 이에 상승하는 폐기가스산출량과 밀접히 연관되어 있다는 사실 때문에 정상적인 분쇄 및 건조작업중의 플랜트는 미리 정해진 산소함유 및 이슬點의 범위에서 벗어날 수 없다. 발브나 제동기가 열려 갑작스럽게 외부공기가 들어오는 경우는 예외이다. 그런 사고는 산소감시 및 이에 따르는 타임·래그(time-lag)를 통해서만 확인될 수 있다. 이 사실이 허용되는 O₂ 함유도(스위치·오프가 시작되는點)와 위험限度 사이의 적정 안전마진을 허용하는 論據가 된다. 非活性상태하에 유지되어야 하는 플랜트 부분의 반드시 접근가능해야 하는 발브는 직접 連動되는게 바람직하다. 예컨데 아무런 압력구제발브(relief valve)도 설치되어 있지 않기 때문에 그러한 발브는 얼마되지 않는다. 그밖에 이러한 조치는 위에 언급한 한계치에 대한 O₂ 함유도의 안전마진이 불필요하게 클 필요가 없다.

이미 알려져 있는 배기가스의 O₂ 함유도를 실제 필요한 이하로 낮출 필요가 없다. 65°C의 이슬點과 95°C의 배기공기 온도에서, 즉 이슬점에 대한 30°C의 온도차와 이에 연관된 11% (乾)의 산소함유도의 경우, 여기에 서술한 플랜트는 받아들일만한 건조실적과 최종분쇄석탄의 잔류습도를 이룩하여 이와 함께 플랜트의 배기가스 부분의 농축물生成에 관한 안전마진도 적절하다.

예컨데 물증기 함유도에 의존함으로써(안전문제를 고려하지 않는다면) 산소함유도를 높여도 괜찮다고 생각되면 같은 배기가스 온도에 대해 이슬點의 폭(margin)을 확대하거나 또는 그대신 배기가스온도를 낮추고 따라서 최종분쇄석탄의 온도를 낮추어 작업하는 것이 가능할 것이다. 최종분쇄석탄온도를 낮추면 플랜트의 앞으로의

단계의 부분에서 막히는 가능성이 줄어들게 될 것이다.

비상정지 후 플랜트를 재가동하는데는 공업용 진공청소기에 의한 청소가 필요하다. 회로나 필터를 향한 出口에 연기밀도측정장치를 설치하면 더욱 좋을 것이다. 그런 장치로 현재 시행되고 있는 바와 같이 안전을 도모하기 위해 20분동안 계속하는 대신 물시물레이션으로 청소가 끝났음을 신속하고 정확히 알 수 있을 것이다. 더우기 보조버너를 非活性버너로 사용함으로써 석탄으로 오염된 상태에서도 플랜트를 시동하는게 가능할 것이다. 非活性버너를 사용하면 가스속도가 대단히 낮은 수준을 유지하기 때문에 연기밀도측정 장치에 석탄먼지가 일어나고 있음이 나타나지 않는다.

작업결과로 더우기 미리 정화된 가스를 회로에 注入하고 배기가스流路에 최종정화필터를 설치하는 것만으로도 충분하다는게 확인되었다. <表-2>의 디자인치에 의하면 이같이 배기가스路에 설치되는 필터는 밑에서 나오는 가스流通率의 4분의 1 정도만을 대상으로 설계되된다. 습기가 대단한 석탄을 취급하는 경우마저도 그러한 流通率의 반에 상응하는 용량의 필터가 적절한 것이다. 주어진 조건하에서, 즉 O₂ 함유도를 낮추고 밀 앞의 혼합가스온도 300°C에서 온도 1600°C의 폐기가스가 m³ 당 약 50g의 가루炭을 가진 회로가스와 아무 탈없이 혼합되었다. 부분연소현상, 脫가스 또는 脫油로 인한 백필터(bag filter)의 손상은 일어나지 않았다.

따라서 여기에 기술된 형태의 플랜트로 다음과 같은 利點이 이루어졌다.

- ① 시동 및 정지중임을 막론, 非活性化에 의한 豫防的 안전.
- ② 배기가스순환(cycle)의 熱節約向上.
- ③ 폭발저항시설, 압력배출 도어(door), 屋外도판(지붕위, 폭발위험시에 대한 안전예방책으로)의 건설비 배제.
- ④ 가스정화에·용량이 훨씬 낮은 백·필터의 사용가능. ♣♣

(ZEMENT - KALK - GIPS No. 11/1980, 本文(獨文)은 同 No. 9/1980)