

Suspension Preheater에 있어서의 Energy 節減

~ 高性能 Cyclone의 開發 ~

藤沢哲夫 · 谷岡隆

金性完 (譯)

〈雙龍洋灰(株) 東海工場 工程管理室〉

1. 緒言

최근의 dry process kiln은 原料의 예열 및 煏燒 工程으로 cyclone을 多段 조합하여 使用하고 있다. 따라서 energy 절감을 목적으로 한 suspension preheater에 있어 cyclone의 低壓損化와 高集塵效率化에 對한 연구가 계속 되어 오고 있는 中에 이 연구보고에서는 cyclone 入口에 guide vane을 附着함으로써 壓力損失과 集塵效率를 同時에 개선한 高性能 cyclone을 開發, 이의 실용화에 對한 검토를 論하고자 한다.

2. 高性能 cyclone의 必要性 및 基本構造

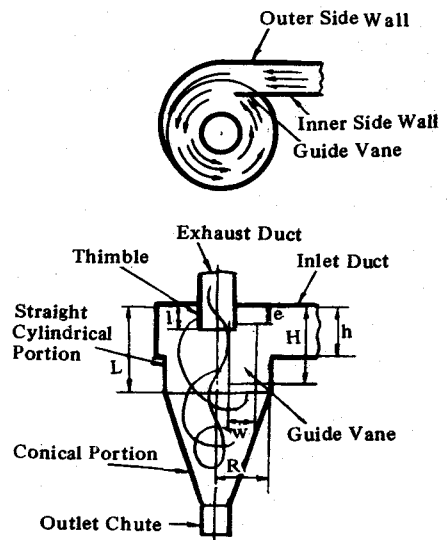
各 cyclone의 集塵效率가 낮으면 preheater 内部에서의 原料粉末의 循環量이 증가하여 system에 必要한 燃料소모량을 증가시킨다. 또한 cyclone이 多段으로 조합되어 있기 때문에 IDF 흡입구의 靜압은 $-500 \sim -1,000 \text{ Aq}$ 가 되고 IDF의 動力은 燒成 system의 全消費動力의 40~60%에 해당하는 $7 \sim 15 \text{ kwh/t-ce}$ 에 이른다. 따라서 최근의 경향은 IDF 흡입구 靜압을 낮게 설계하고 있지만 preheater가 原來 60~80m의 高층설비이고 preheater의 cyclone을 크게 할 必要가 있어 建設費의 증대를 초래하고 있다. 이러한 觀點에서 압력손실을 작게 하는 동시에 집진 효율을 크게 한 小型의 高性能 cy-

clone의 開發이 강력하게 요구되었다.

高性能 cyclone의 開發 및 實用化는 크게 다음 3 단계를 거쳐 행하여졌다.

- ① 小型模型 cyclone에 依한 冷間 test
- ② 大型模型 " " 熱間 "
- ③ 實機 preheater에서의 實證 段階

〈그림-1〉에 보면 低壓損·高集塵效率 cyclone의 基本 構造를 表示하고 있는데 入口 duct의 cyclone 내측벽의 연장선상에서 入口 duct의 外측벽과 나란히 cyclone 내부로 돌출한 guide vane을 설치하였다.



〈그림-1〉 高性能 cyclone의 基本構造

筆者는 guide vane이 附着된 cyclone의 集塵機能을 改善하고자 여러가지의 연구를 行한 結果 <그림-1>에도 나타나 있지만 다음과 같이 하여 양호한 結果를 얻었다(實用新案出願中).

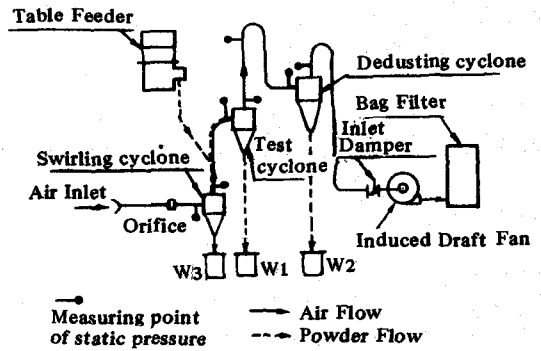
- guide vane의 上段을 入口 duct의 天井벽보다 一定한 間격으로 낮게 위치한다.
- guide vane의 下段을 入口 duct의 底面보다 下方으로 延長한다.

3. 小型模型 cyclone 에 依한 冷間 test

1) test 裝置

test 장치의 flow는 <그림-2>에, 그리고 시험에 사용되는 cyclone의 諸元은 <그림-3>에 各各 表示하고 있다. type I-S는 suspension preheater의 上段 cyclone을, 그리고 type II-S는 中段 cyclone을 比例的으로 縮少한 것이며 type III-S는 type II-S를 出入口 寸수를 동일하게 하고 몸체는 15% 縮少시켰으며 높이는 약 17% 가량 낮게 하였다.

swirling cyclone은 原則的으로 test cyclone과 同一한 것으로 使用하였으나 type I-S의 test cyclone을 使用할 경우는 실제 suspension

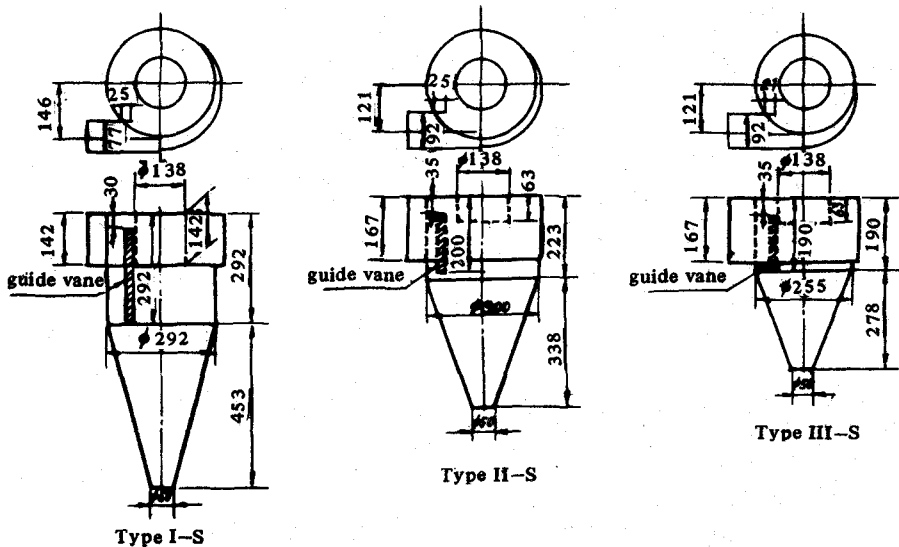


<그림-2> 小型冷間 test 장치의 flow

<表-1> 冷間 test 장치의 보조기구의 사양

Equipment	Specification
Table Feeder	Dia. of Table : 350 mm Cap. : Max. 45 kg/min.
I. D. F.	25 m ³ /min × 900mmAq.
Dedusting Cyclone	430φmm × 800Hm/m

preheater의 cyclone과 맞추어 type II-S를 使用하였다. test 장치를 구성하는 보조기구의 사양은 <表-1>과 같다.



<그림-3> 小型模型 cyclone 의 諸元

2) test 方法

IDF를 가동하고 통과유량은 IDF 입구의 damper에 의해 조절하며, table feeder에서 test 장치로 시료분말을 一定時間投入하면서 運轉한다. 基準 운전 조건은 다음과 같다.

cyclone 入口유속 : 18 m/sec

入口혼합비 : 1.0 ± 0.02 kg 粉末/kg air

粉末投入時間 : 약 1 分間

3) test 結果

guide vane의 無次元群으로는 다음을 使用하였다.

W/R : guide vane의 幅과 cyclone 直筒部の 半徑의 比

H/h : guide vane의 높이와 入口 duct의 높이와의 比

e/h : guide vane 上部의 간격과 入口 duct의 높이와의 比

(1) 全般 性能

guide vane을 附着한 cyclone과 附着하지 않은 cyclone과의 性能比較가 <表-2>에 表示되어 있는데 主要한 結果를 보면 다음과 같다.

① guide vane을 附着함으로써 平均 18.6%의 압력損失이 저하되고 있다.

② cyclone에서의 壓力損失 以外에 접속 duct의 壓力損失도 平均 16.3%가 줄고 있다.

③ 各 cyclone 共히 壓力損失 저하와 同時에 集塵效率도 향상되고 있다.

④ type III-S의 소형 cyclone은 guide vane이 없는 type II-S의 cyclone과 거의 같은 集塵效率을 나타내고 있으며 壓力損失은 약 7% 낮아지고 있다.

(2) guide vane 幅의 영향

type II-S cyclone을 使用하여, guide vane 幅이 cyclone 壓力損失과 集塵效率에 미치는 영향에 對하여 측정한 結果를 <그림-4>에 表示하고 있다. 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

① 壓力損失은 幅의 증대와 더불어 처음엔 급격히 저하하나 $W/R > 0.3$ 에 이르러 거의 일정값에 이른다. 이 때의 壓力損失은 증래의 cyclone에 比하여 약 60%로 낮아지고 있다.

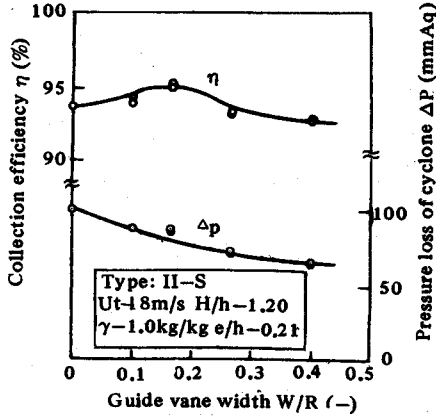
② 集塵效率은 폭의 증대와 더불어 처음엔 상승하나 $W/R = 0.15$ 부근에서 최대가 되고 그 후 차츰 낮아진다. 集塵效率의 최대치는 증래 cyclone의 93.7%에 對하여 95.2%이다.

(3) guide vane의 높이의 영향

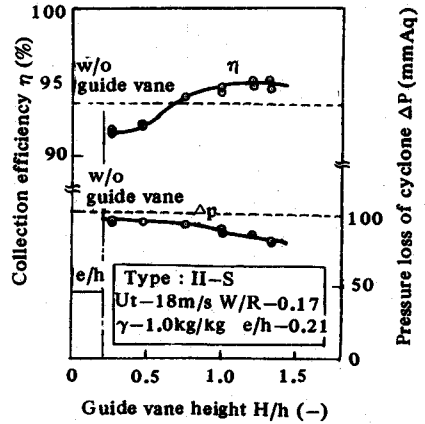
<表-2>

小型冷間 test의 guide vane 有無에 依한 性能

Type of Cyclone	Performance items	Cyclone w/ guide vane	Cyclone w/o guide vane	Ratio of w and w/o
I - S	Pressure loss at test cyclone	73 mmAq	96 mmAq	76.0%
	Pressure at connecting duct	187 mmAq	210 mmAq	89.0%
	Collection efficiency	97.8%	97.4%	100.4%
II - S	Pressure loss at test cyclone	83 mmAq	100 mmAq	83.0%
	Pressure at connecting duct	152 mmAq	194 mmAq	78.4%
	Collection efficiency	95.2%	93.7%	101.6%
III - S	Pressure loss at test cyclone	93 mmAq	109 mmAq	85.3%
	Pressure at connecting duct	155 mmAq	185 mmAq	83.8%
	Collection efficiency	93.3%	91.0%	102.5%



〈그림-4〉 guide vane 幅의 영향



〈그림-5〉 guide vane 높이의 영향

type II-S cyclone에 대하여 guide vane의 높이가 cyclone의 壓力損失와 集塵效率에 미치는 영향을 〈그림-5〉에 나타내고 있다. 〈그림-5〉에 있어서 $M/h \leq 0.21$ 에서는 guide vane이 부착되지 않은 종래의 cyclone을 나타내고 있고 $H/h = 1.34$ 는 guide vane이 直筒部 하단까지 연장되어 있는 경우를 말한다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

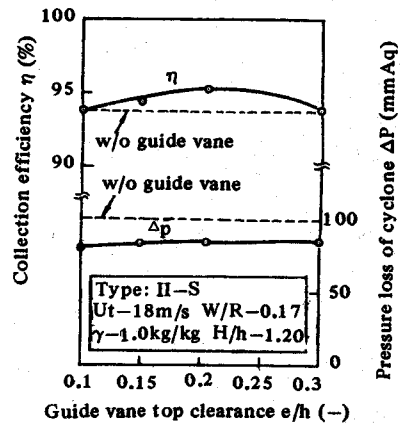
① 壓力損失는 guide vane의 높이가 入口 duct의 높이와 같을 때 크게 저하하고 guide vane의 하단을 직통부의 하단까지 연장하면 壓力損失는 서서히 저하한다.

② 集塵效率은 높이가 낮은 guide vane에서는 크게 낮으나 높이가 증대하면서 상승된다. 또한 guide vane의 하단을 入口 duct의 하단보다 낮게 연장하면 집진 효율은 향상되고 직통부의 하단 근처까지 연장하면 최대가 된다.

(4) guide vane 상부 간격의 영향

type II-S cyclone에 대하여 guide vane의 상부의 간격이 cyclone의 壓力損失 및 集塵效率에 미치는 영향을 〈그림-6〉에 나타내었다. 〈그림-6〉의 점선은 guide vane이 없는 cyclone에 대한 것이며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 壓力損失는 e/h 가 0.1~0.3의 범위에서 거의 일정하다.



〈그림-6〉 guide vane 상부 간격의 영향

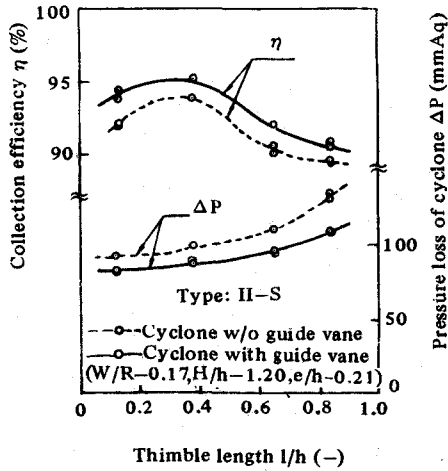
② 집진效率은 $e/h = 0.2$ 부근에서 최대가 되며 간격이 이것보다 크거나 작아도 집진效率은 작아진다.

(5) cyclone 内筒 길이의 영향

type II-S cyclone에 대하여 내통길이가 cyclone의 壓力損失 및 集塵效率에 미치는 영향을 〈그림-7〉에 나타내었다. 〈그림-7〉의 점선은 guide vane이 없는 경우의 값을 나타내고 있으며 그 조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 내통 길이에 관계 없이 guide vane을 설치하면 壓力損失 및 집진효율을 개선할 수 있다.

② 壓力損失는 내통이 길어질수록 커진다.



〈그림-7〉 cyclone 内筒 길이의 영향

③ 집진 효율은 $e/h=0.3$ 부근에서 최대가 된다.

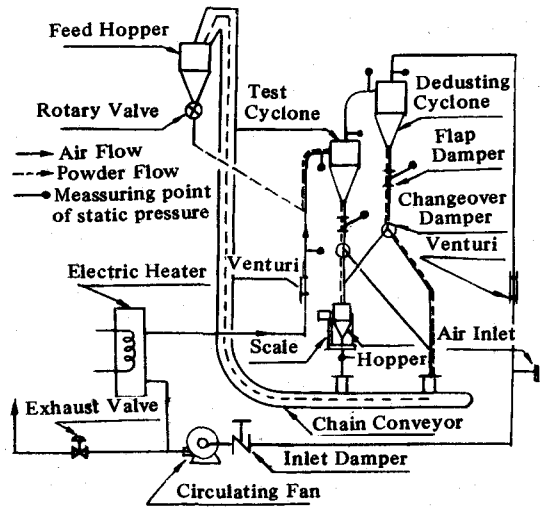
4. 大型模型 cyclone 에 의한 熱間 test

1) test 장치

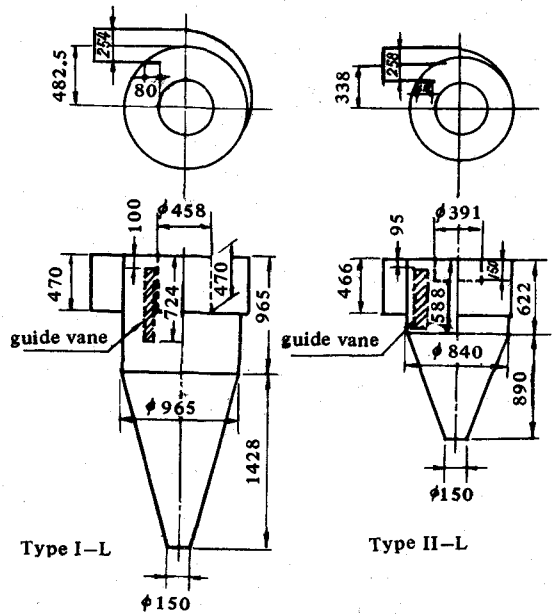
test 장치의 flow가 〈그림-8〉에 있다. 여기에서 test cyclone 入口 duct에 선회류는 주지 못했고 氣流은 전기 heater에 의해 가열된다. 시료분말 및 가열공기는 폐회로를 구성하며 시료분말은 chain conveyor에 의해 供給 hopper에 실린다. 그 외에 對하여는 基本的으로 小型 冷間 test 장치와 똑같이 구성되어 있다. test에 사용되었던 cyclone 및 guide vane에 對한 諸元이 〈그림-9〉에 있는데 type I-L은 suspension preheater의 상단 cyclone을 대상으로 하였던 type I-S와 비슷하고 type II-L은 중단 cyclone을 대상으로 하였던 type II-S와 비슷하다.

2) test 方法

통과 공기 유량 및 가열 온도는 순환 fan 입구 damper와 전기 heater에 의해 조절하고 시료 분말은 rotary feeder에 의해 다음 조건에



〈그림-8〉 大型熱間 test 장치의 flow



〈그림-9〉 大型模型 cyclone 의 諸元

따라 조절한다.

cyclone 入口 유속 : 18~19 m/s

" 온도 : $250 \pm 10^\circ\text{C}$

入口 혼합비 : $1.0 \pm 0.05 \text{ kg 粉末/kg 공기}$

<表-3>

Type of Cyclone	Performance items	Cyclone w/ guide vane	Cyclone w/o guide vane	Ratio of w and w/o
I - L	Pressure loss at test cyclone	38 mmAq	55 mmAq	69.1%
	Collection efficiency	95.4%	94.3%	101.2%
II - L	Pressure loss at test cyclone	38 mmAq	65 mmAq	58.5%
	Collection efficiency	94.6%	94.5%	100.1%

3) test 結果

guide vane 을 설치한 cyclone 의 성능을 종래의 cyclone 과 비교하여 <表-3>에 나타내었다. 주요 결과를 다음과 같이 요약한다.

① 폭이 좁은(W/R=0.17) guide vane 을 부착한 type I-L cyclone 에서는 종래 cyclone 에 비하여 壓力損失이 크게 저하하는 동시에 집진 효율도 향상되고 있다.

② 폭이 넓은(W/R=0.27) guide vane 을 부착한 type II-L cyclone 에서는 종래 cyclone 에 비하여 壓力損失은 현저히 낮아지고 있으나 집진 효율은 그다지 큰 영향을 미치고 있지 않다.

5. 실제 preheater 에서의 使用현황

模型 cyclone 에 依한 test 단계를 거쳐 현재 까지 10基 以上の preheater 에 대하여 최하단 cyclone 을 제외하고(고온으로 인한 guide vane 의 내열도가 문제됨) 중단 및 상단 cyclone 에 guide vane 을 부착하여 사용하고 있다. 오래된 것으로는 1980년으로 꼭 3년이 경과하고 있으나 열변형이나 마모 및 내구성면에서도 문제가 없으며 guide vane 뒷면에 coating 부착 문제도 없는 것으로 확인되고 있다. 단지 조업 상태의 변동 및 계측상의 제약으로 각각 cyclone 에 對한 단독의 효과를 명확히 파악하기가 어려울 뿐이다. 다음은 실제 preheater 에 guide vane 을 설치한 效果의 一例를 소개한다.

1) test 응용 개요

suspension preheater 의 仕様

<表-4>

Type	4-stages cyclone type preheater with DD Furnace
No. of Cyclone × Dia	
1st stage	4 × 3.8 m ϕ
2nd stage	2 × 5.5 m ϕ
3rd stage	2 × 5.9 m ϕ
4th stage	2 × 5.9 m ϕ

<表-4>에 기재된 既設 suspension preheater 를 개조하여 2단 및 3단 cyclone 에 guide vane 을 설치하였다.

cyclone 형상은 1단은 模型 cyclone 의 type I-L과, 그리고 2~4단은 type II-L과 비슷하고 2단 및 3단에 부착한 guide vane 의 폭은 730m/m 및 800m/m이다.

2) 운전 結果

guide vane 의 부착 전후의 주요 운전 data 가 <表-5>에 表示되어 있다. kiln 및 preheater 의 조업상태를 변화시키지 않고 소성로의 출구에서 IDF 전까지의 壓力損失의 감소량을 check 해야 하나 여기에서는 同一능력으로 조업한 경우에 IDF 入口 정압을 check 하여 그 결과를 보았으며 그 결과는 guide vane 을 부착함으로써 약 12%가 감소되었다.

< 表 -5 >

Performance	Before applying guide vane	After applying guide vane
Clinker production rate (t/h)	165	180
Rotating speed of IDF (rpm)	850	870
Ampere of IDF motor (A)	154	168
Exhaust gas volume (Nm ³ /min)	3710	4070
Exhaust gas temperature (°C)	391	390
Static pressure (mmAq)		
Inlet of I.D.F.	-565	-559
Outlet of DD Furnace	-107	-95
Pressure loss between outlet of DD Furnace and inlet of IDF (mmAq)	458	464

6. 考 察

1) 壓力損失 감소의 mechanism

guide vane을 부착한 cyclone의 壓力損失은 다음 3가지 요인에 의한 것으로 생각된다.

- ① 入口部に 있어서 氣流의 충돌 감소
- ② cyclone 内の 流速 低下
- ③ cyclone 内の 氣流旋回 回數의 감소

종래의 cyclone에 있어 入口 duct에서 流入하여 cyclone 内를 한바퀴 돌아온 氣流는 入口 duct에서 새로 들어온 氣流에 對하여 경사 방향으로 부딪치고 入口 duct에서 流入하는 氣流가 cyclone 周壁側에 눌러 흐르는 소위 축류현상을 발생시킨다. 따라서 cyclone의 直胴部 周壁面에서는 入口 duct보다 유속이 증가하여 압력 손실이 증대된다. 반면 guide vane이 부착된 cyclone에서는 <그림-1>에 表示된 것처럼 guide vane의 案内로 새로 유입된 기류와 평행으로 規制되어 흐르므로 前記의 縮流現象이 완

화되고 入口部に 있어서 氣流의 충돌과 cyclone 内の 流速 증가를 억제할 수 있다. 다음 cyclone 内에서의 流速低下는 큰 流路斷面積을 必要로 하고 氣流의 하강 및 상승時의 수평면에 對한 旋回角度가 크게 됨과 동시에 內向流가 증가하고 氣流의 선회回數가 감소하여 압력손실 저하에 공헌한 것으로 생각된다. guide vane 상단에 설치한 간격은 入口 duct의 上部에 축류현상을 남기고 하부에는 축류현상을 방지하는 역할을 한다. 따라서 <그림-6>에 있어서 guide vane 상부 간격의 증대와 同時に cyclone의 壓損이 거의 일정하게 되는 것은 入口部に 있어서 氣流의 충돌로 발생하는 壓力損失 증가와 선회回數의 감소에 의한 압력 손실 감소가 서로 相殺되는 것으로 생각된다. 또 cyclone 内에서의 氣流의 선회角度의 증가는 排出 duct内 氣流의 선회角度를 크게 하여 排出 duct 内에 있어서 壓力損失도 감소된다.

2) 集塵效率 向上的 mechanism

guide vane을 설치하여 集塵效率이 향상되는

기술로 원가 절감 품질로 시장 확보

요인은 다음 3가지라 할 수 있겠다.

① cyclone 内壁面을 旋回下降하는 捕集粉의 再飛散 감소

② 氣流의 反轉時에 發生하는 捕集粉의 再飛散 감소

③ cyclone 入口 氣流의 整流작용

cyclone 内に 있어 氣流에서 분리되어 壁面을 선회하강하는 捕集粉의 一部는 旋回氣流 中에 再飛散하나, guide vane 에 충돌하여 捕集粉이 下方으로 案内됨과 同時에 壁面流速 저하로 再飛散의 程度가 감소되어 종래의 高농도 cyclone 에 있어서 入口 流速이 저하될 경우와 같이 集塵效率이 향상된다. 다음 cyclone 内の 氣流의 선회角度가 크게 되고 cyclone 하단에 있어서 氣流의 軸방향 反轉속도가 커지게 되므로 이 부분에 停滯하여 재비산捕集粉을 효과적으로 분리하는 것으로 생각된다.

3) 小型 冷間 test 結果와 大型 熱間 test 結果의 相關性

guide vane 설치 效果에 對하여 小型 冷間 test 結果와 大型 熱間 test 結果와의 比較에서 다음과 같은 關係를 생각할 수 있다.

① 高溫·大型化함으로써 cyclone 壓損 감소 율은 커진다.

② 集塵效率의 向上效果는 高溫·大型化한 경우에서도 거의 같은 結果를 준다.

壓損감소 效果에 對해서는, 兩 test 共重量·混合比를 1.0 으로 하였지만 無負荷時(空氣만을 통과시킬 場合)에 있어서 guide vane의 壓力 감소 效果가 負荷時(粉末 供給時)보다 크기 때문에 容積 混合比가 작게 되는 高溫에서 guide vane 에 依한 압력 감소 效果가 커지는 것으로 생각되며 高溫, 大型化 場合의 集塵效率에 미치는 效果에 對해서는 6-2절에 있는 要因과 같다고 생각한다.

7. 高性能 cyclone의 特徵

以上과 같이 高性能 cyclone 을 suspension

preheater에 적용할 場合 일반적인 特徵을 보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

① cyclone 本體 및 接續 duct에 있어서도 壓力 損失이 저하된다.

② 集塵效率이 개선되기 때문에 소성 system 에서의 燃料 소비량을 줄일 수 있다.

③ cyclone 을 소형화해도 集塵效率의 저하 및 壓力 損失의 증가가 종래의 cyclone 에 比해 작기 때문에 新設備에 對하여서는 열경제성을 손상하지 않고 소형화를 할 수 있다.

④ 구조가 간단하여 改造가 용이하다.

이와 같은 特徵이 있어 이미 설치되어 있는 suspension preheater 를 대상으로 다음과 같은 目的으로 使用할 수 있다.

㉠ IDF 동력 감소(생산능력이 일정할 경우)

㉡ 생산능력의 증가

clinker 소성 공정 능력이 IDF 의 능력에 의해 제한될 場合 guide vane 을 부착하여 생산 능력을 증가시킬 수 있고 따라서 열소비량도 절감할 수 있다.

㉢ 設備 變更에 의한 증가 壓力 損失의 吸收.

8. 結 言

suspension preheater 를 구성하는 cyclone 의 低壓損化 및 高集塵效率化를 달성하기 위하여 cyclone 入口에 부착한 guide vane 의 形狀 및 비율 등에 對하여 실험으로 검토하고 guide vane 상부에 간격을 둠으로써 cyclone 의 개선 가능성을 보았다. 검토에 依하여 guide vane 의 최적 비율로는 ① W/R = 0.1~0.3 ② H/h = 1.0~L/h ③ e/h ≒ 0.2 라는 사실을 파악하였으며 또 大型 模型 cyclone 에 依해 250°C 의 高温 下에서의 guide vane 效果를 확인 실험하여 小型 模型에 의한 冷間 test 結果와 거의 같은 效果를 얻었다. 이와 같은 단계를 거쳐 실제 preheater 에서의 性能 實證을 行하여 IDF入口 靜 압이 약 12% 절감되는 效果를 얻어 實用化를 달성하였다. ♣