

技術論叢

工業과 대기汚染과 그對策

國立工業研究所 李 錫 源

< 內 容 >

- 1. 緒 言
- 2. 大氣汚染物質
- 3. 大氣汚染의 實態
- 4. 産業公害의 事前對策
- 5. 結 言

1. 緒 言

最近에 와서 갑자기 問題가 되고 있는 産業公害는 産業의 發達과 人口의 都市密集等이 큰 要因이 되고 있음은 周知의 事實이다.

우리나라도 6.25 動亂을 겪은 以後로 産業이 漸次로 일어났고 特히 5.16 革命以後로 第1次經濟開發 5 個年計劃의 推進으로 大規模 工業이 일어서고 따라서 앞으로 繼續될 第2次 5 個年計劃에서는 커다란 工業團地가 마련 될바이지만 建設計劃과 併行하여 公害問題를 考慮에 넣어야 할것이다.

大氣汚染은 人間의 保健衛生上으로만 問題가 되는 것이 아니고 精密工業, 纖維工業, 建築業, 農林業等의 經濟面과 衣服, 住宅의 汚染, 交通이나 文化財, 美術品等 生活文化面에 까지 影響을 미치고 있다.

人類文明生活이 漸次로 發達하고 生活自体가 便利하여 진 反面에 이러한 附隨的인 問題가 惹起함은 어쩔수 없는 일이었으나 두고 방관할수만은 없는 形便이므로 지금까지 究明되고 있는 大氣汚染物質과 그들이 發生하는 原因을 살펴보고 지금껏 實施되고 있는 方

策을 살펴보고자 한다.

2. 大氣汚染物質

大氣를 汚染하는 物質은 粒狀物質과 가스狀으로 分類되고 이들을 더 細部的으로 分類하면 表1과 같고 이들 汚染物의 發生源을 工程別로 나누면 表2와 같다.

Dust 등의 固形物의 發生에는 各種燃料의 燃燒, 시멘트燒成, 製鋼의 平爐, 軋爐, 非鐵金屬의 製鍊, 카바이드製造用 電氣爐, 카본블랙의 製造, 石灰, 肥料, 化學藥品等粉體의 混合에 基因한다고 볼수 있다.

Gas 와 mist에 對하여 說明하면 SO_2 , SO_3 는 石炭, 石油의 燃燒時, 金屬製鍊, 黃酸工場, 石油工場 등에서 發生하고 H_2S 는 石炭乾溜 工程, 石油精製, 製鍊工程, 製鋼工場 펄프工場 등에서 發生하는 것이 많고 때에 따라서는 汚染된 河川에서 發生하는 境遇가 있다.

表 1. 大氣汚染物의 分類

Group	例
微粒固形物 (直径100 μ 以下) 粗粒固形物 (直径100 μ 以上)	C, flyash, $CaCO_3$, ZnO, $PbCl_2$ 等
黄化合物 窒素化合物 酸素化合物 할로젠化合物 有機化合物	SO_2 , SO_3 , H_2SO_4 , H_2S , CH_3SH 等 NO , NO_2 , N_2O_5 , HNO_2 , HNO_3 等 O_3 , 過酸化合物, CO, CO_2 F_2 , Cl_2 , HF, HCl 等 炭化水素, aldehyde, ketone, 有機酸, 有機할로젠化合物

表 2. 汚染物의 發生源

工 程	airosol	gas 및 蒸氣
燃 燒	dust, fume	NO ₂ , SO ₂ , CO, 有機物, 酸類
自 動 車 엔 진	fume	NO ₂ , CO, 酸類, 有機物
石 油 精 製	dust, mist	SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , CO, 炭化水素類, mercaptan 類
化 学 操 作	dust, mist fume, 飛沫	工程에 따라서 SO ₂ , CO, NH ₃ , 酸類, 有機物, 溶媒等
加 熱 炉, 電 氣 炉	dust, fume	SO ₂ , CO, 弗化物, 有機物 (dust 로서 Fe ₂ O ₃ 等)
金 屬 製 鍊	dust, fume	SO ₂ , CO, 弗化物, 有機物
食 品 및 飼 料 加 工	dust, mist	亞臭性物質

NO, NO₂ 는 窒酸, 黃酸劑製造, 有機合成化學工場, 燃燒排氣가스, 自動車排氣가스에서 發生한다. 炭化水素 aldehyde, ketone 類는 燃料의 不完全燃燒, 石油의 生産, 輸送, 精製過程에 있어서의 gasoline 類, 燃料 gas 의 漏洩, 自動車排氣가스로부터 發生한다. O₃ 는 O₂ 의 光에 依한 酸化, 地表, 空中의 放電, 上層 ozone 層의 擴散, NO₂, 炭化水素, O₂ 의 光化學的反應等에 依하여 發生한다. CO 의 汚染源으로서는 燃料의 不完全燃燒, 內燃機關의 排 gas, 石油精製, 金屬製鍊, 燃料 gas 의 漏洩이 原因이다. Cl₂ 塩素化合物은 海水飛沫, 塩素製造 소오다 工場이 發生原因으로 된다.

그런데 大氣汚染物이 發生源으로부터 어느 距離까지 미치는가를 例를 들면 微粉炭을 燃燒하는 境遇 灰滓의 飛散距離를 表示한 것

이 그림 1 인데 風速 3.6m/sec 글쪽의 높이 80m, 粒徑 10^μ 이던 約 50Km 의 距離에 達한다.

3. 大氣汚染의 實態

(1) 亜黃가스와 無水黃酸

無水黃酸가스는 前述한바와 같이 石炭이나 重油의 燃燒에 依해서 發生하고 煤煙이나 灰, 炭化水素, NO₂, O₃, 過酸化物, aldehyde 類와 더불어 工業都市나 大都市에서 共通的으로 問題가 되는 汚染物이다. 지금 年間 石炭을 30萬ton, 重油를 90萬KL 消費하는 工業地區를 생각해 보면 燃燒하여 SO₂로 되는 石炭中の 黃의 含量을 0.5%, 重油中の 含量을 3%라고하면 石炭 1ton中の 黃은 0.005ton으로서 이 黃의 燃燒에 依해서 0.01ton의 SO₂를 發生하고 마찬가지로 重油 1ton으로부터 0.06ton의 SO₂를 發生하므로

$$\frac{300,000 \times 0.01 + 900,000 \times 0.06}{365} = 160 \text{ ton}$$

로되고, 1日當 160ton으로 되고 이 SO₂의 30%가 無水黃酸으로 되고, 다시 黃酸으로 되면

$$160 \times 0.3 \times \frac{H_2SO_4}{SO_2} = 73.5 \text{ (ton/day)}$$

와 같이 算出되고 이 大量의 黃酸mist가 広範圍에 걸쳐서 스모크의 커다란 原因의 하나라고 생각된다.

F. E. Gartrell 등의 測定에 依하면 20萬KW의 發電機 4臺를 갖는 石炭燃燒의 火力發電所의 煙道內가스에 있어서 無水黃酸은 15~40ppm, 亜黃酸가스는 2,200ppm이고 無水黃酸은 全黃分의 1~2% 存在하는데 不過하지만 dust의 触媒作用과 湿度 등의 條件에

依해서 大氣中에 排出된 亜黄酸가스의 30~50%가 數時間后에 黄塵 mist 로 變化한다。

(2) 煤塵降下

우리나라에서는 公害防止法을 法律第 1436 号로 1963年11月5日에 公布했는데 同法施行令(1964年10月16日字, 大統領令第 195 号)에서 가스(煙氣와 煙霧包含)와 粉塵에 對하여 規定한바를 以 下의 如하와 같다。

表 3. 가스 (煙氣와 煙霧를 包含한다)

名 称	基 準
一酸化炭素 (CO)	100 ppm
암모니아 (NH ₃)	100 ppm
酸化水素	20 ppm
亜黄酸 (SO ₂)	5 ppm
二酸化窒素 (NO ₂)	5 ppm
二黄化炭素 (CS ₂)	20 ppm
塩 素 (Cl ₂)	1 ppm
塩化水素 (HCl)	5 ppm
시안化水素 (HCN)	10 ppm
아세르알데히드	200 ppm
아크릴론	0.5 ppm
벤젠	35 ppm
폴 마 립	5 ppm
弗化水素	3 ppm
세렌化水素	0.05 ppm

名 称	基 準
나뭇카아보닐	0.001 ppm
프 스 질	1 ppm
포 스 핀	0.05 ppm
三 塩 化 磷	0.5 ppm
三塩化에틸렌	100 ppm
시안化合物(CN으로서)	5 mg/m ³
弗 化 物	2.5 ppm
鉛	0.15 ppm
黄 磷	0.1 ppm
5 塩 化 磷	1 ppm
黄 酸	1 ppm

表 4 . 粉 塵

含 有 物 名	基 準
시안化合物(CN으로서)	5mg/m ³
弗 化 物	2.5ppm
鉛	0.15ppm
黄 磷	0.1ppm
5 塩 化 磷	1ppm
黄 酸	1ppm
歛物性 粉塵으로서 遊離 珪酸을含有하지아니하는것 또는 珪素를 除去하지 아니하는것	1750/Cm ³

그런데 아직까지 이러한 스모그의 발생과 降下媒粉塵量을 測定한 바를 發表한바 없으나 大都市의 公衆衛生問題와 工場地帶의 公衆衛生問題上 時急히 調査檢討되어서 対策을 세워야 할것이다。

參考的으로 歐美의 여러 都市의 浮遊粉塵의 濃度에 對한 資料를 살펴보면 다음 表5와 같다。

表5 歐美諸都市之空浮遊粉塵濃度

(單位: mg/m³)

都 市 名	平 均 值	最 高 值
발 타 모 어	0.87	1.72
센 시 나 터	0.42	1.98
도 노 라	0.74	2.50
데 트 로 이 트	0.51	1.47
로스안제레스	0.51	1.47
런 던	0.31	3.12
그 라 스 고 오	0.25	2.62
平 均	0.52	

그에서 塵業公害라는 것은 지금까지 紹介한 여러가지 問題點으로 말미암아 工場의 設置나 立地를 選定할 境遇에 미리 事前対策을 취할 것과 現存 工場의 施設에는 公害를 防止할수있는 事後対策이 必要하다. 또한 이러한 大氣汚染의程度를 正確히 把握하기 爲해서 는 여러가지 測定法이 發達하고 있고 또한 確立되어 있다。

4. 産業公害의 事前對策

公害防止를 爲해서는 地域開發에 즈음하여 大氣汚染, 水質汚濁, 騒音等 公害의 發生을 未然에 防止하는 것은 가장 重要한 課題의 하나이다.

大氣汚染에 依한 公害發生을 防止하기 爲해서는 例를 들면 다음과 같은 要素를 事前에 調査檢討하고 또한 新設工業都市에 있어서의 工業의 規模, 種類 및 工場配置條件等を 생각할 必要가 있다.

(a) 地形 (b) 風向 (c) 風速 (d) 氣溫 (e) 汚染源의 種類와 排出量 (f) 汚染源의 排出되는 높이 (g) 汚染源 相互의 位置와 集合의 程度 (h) 實施可能한 除去方法 確立의 有無 (i) 環境最高濃度와 許容濃度 (j) 汚染의 到達距離와 最高濃度 (k) 公衆衛生上의 諸問題 (l) 汚染과 産業相互의 諸問題 등과 같은 事項을 미리 充分히 檢討한 然後에 새로운 産業都市의 構想과 都市計劃을 推進하여 工場誘致等を 하여야 할 것이다.

(1) 煙氣의 拡散式等を 應用한 檢討

여러가지 氣象條件과 排出條件下에서 굴곡으로부터 排가스가 大氣中에 拡散하여 上昇할때의 狀態를 表示하는 式으로 Bosanquet & Pearson式, 英國의 氣象局의 式 등이 있어서 煙氣의 降下着地点이나 最高가스濃度 등에 對하여 大略적인 것을 알 수가 있다.

$$C_{o \max}(\text{ppm}) = \frac{4Q \cdot 10^6}{\sqrt{2\pi} \cdot e^{-2} u H^2} \cdot \frac{p}{q}$$

$$X_{\max} = \frac{H}{2p}$$

$C_{o \max}$; Maximum Ground Level Concentration (ppm) vol

X_{\max} ; Distance to point of Maximum Ground Level

Concentration (Km), Q : 排氣量/秒

P/q ; 擴散係數의 比, H ; 汚染源의 地上으로 부러의 높이,
 P ; 擴散係數, \bar{u} (\bar{U}) ; 平均風速 (m/sec)

上記 Bosanquet & Pearson 式 以外에 다음 i), ii), iii), iv) 의 式등이 있다.

- i) Bosanquet Pearson & Lowry 의 式 (1hr. interval)
- ii) Bosanquet Pearson 의 式
- iii) Bosanquet Pearson 의 式
- iv) Hewson Bierly & Gill (Univ Michigan) 의 式
 (Diffusion near a shoreline, Enriev Fermi Plant Site) Proc. Am. Power Conf. (1961)

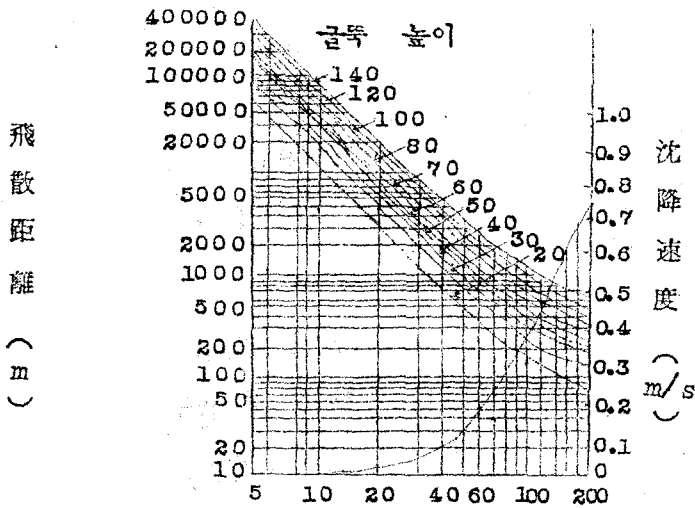
例로서 어느 火力發電所의 굴뚝에 對하여 上記 各式으로 試算한 結果가 表6과 表7과 같다.

表6 平均風速을 3m/sec 로 算할 때의 煙氣의 到着地点 (Km) 와 最高濃度 (Ppm)
 表7 平均風速을 6m/sec 로 算할 때의 煙氣의 到着地点 (Km) 와 最高濃度 (Ppm)

	$\bar{U} = 3m/sec$			$\bar{U} = 6m/sec$	
	C_{max} (Ppm)	X_{max} (Km)		C_{max} (Ppm)	X_{max} (Km)
i)	0.01	-	i)	0.01	-
ii)	0.05	10	ii)	0.07	2.7
iii)	0.03	12.3	iii)	0.06	5.8

그림 2는 上述式의 計算例로 부터 (ii) 式에 依한 것에 따라서 煙氣가 降下하여 着地하는 地域을 圖示한 것인데 竪軸에서 2개의 煙氣中 높이 上昇한 쪽은 風速 3m/sec 일 때이고 낮은 쪽의 煙氣는 風速 6m/sec 일 때의 大略의 狀況을 表示한 것이다。

煙氣의 上昇과 拡散의 狀況과 그 地形等を 생각하여 大氣汚染에 依한 公害發生程度를 檢討하는 資料로 할 수가 있다。



風速 = 3.6m/s, 飛灰重量 = 2g/cm³
 그림 1 飛灰粒子의 飛散距離와 沈降速度

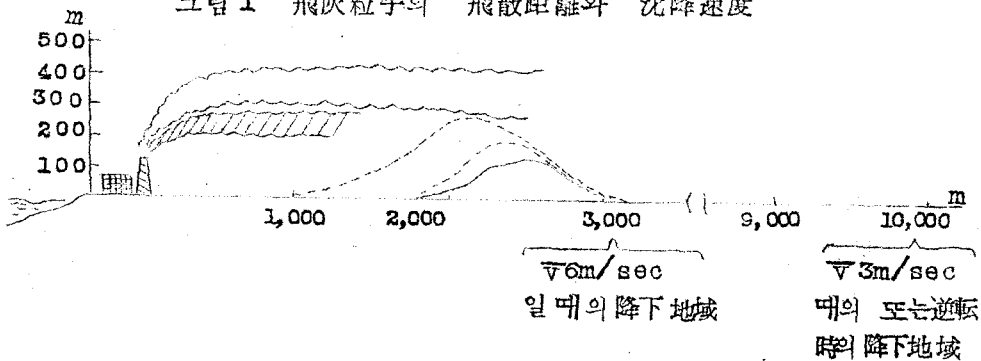


그림 2 Bosanqvist & Pearson 修正式 ii)에 依한 煙氣 降下着地 (0.6ht)

(2) 亜黄가스의 除害法の 研究

獨逸에서 研究하고 있는 亜黄가스의 除害法에 Reinluft 法이라는 方式이 있고 獨逸에서는 가장 注目되고 있다. 그러나 그 實情을 調査하여 보면 現段階의 實驗結果로 判斷하여 볼때 크게 期待할 바는 못되지만 研究段階로서는 注目할만한 것이다. 이 方法은 그 립 3에 表示한 바와 같이 活性炭의 吸着塔을 設置하여 SO_2 를 含有하는 排가스를 吸着塔의 中間에서 送入하여 最初에 SO_3 分을 取하고 다시 한번 가스를 吸着塔에서 빼내어 溫度를 조금 내려서 다음에 또한 吸着塔에 送入하여 SO_2 를 除去한다.

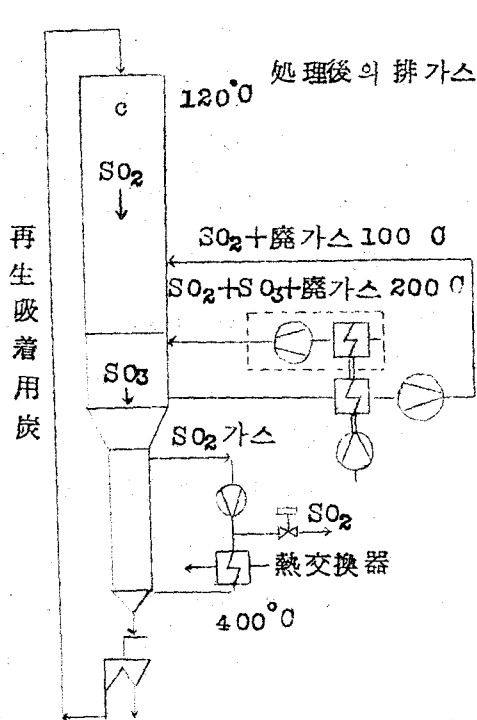


그림 3 Reinluft 法

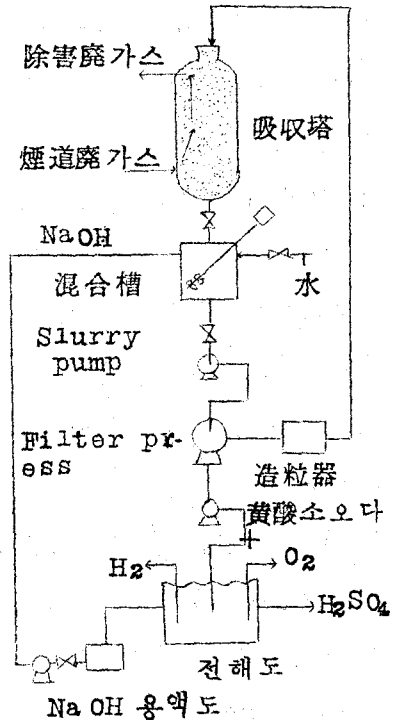


그림 4 酸化망강에 依한 工程圖

이 吸着劑의 上部에서 Charge 되어 30分乃至 1時間마다 活性炭이 塔의 下部에서 내려가서 吸着塔의 밑部分이 活性炭의 再生塔으로 되어 있는데 高溫度의 가스를 送入하여 SO₃를 脱着시켜서 濃厚한 亞硫酸가스로서 回收된다.

再生된 吸着劑는 다시 위에서 送入하는 方法이 있음으로 理論적으로 보면 大端히 緻密한 方法이지만 實際에는 排가스中 極히 稀薄한 亞硫酸가스를 回收하기 爲하여 大端히 방대한 吸着塔의 設備가 必要하다. 또 이 吸着劑의 炭素質(活性炭의 一種)物은 二除害裝置를 下降하는 사이에 一部는 摩耗하여 粉末로 되던가 다시 反應에 必要한 量이 酸化하여 損失되므로 其他 여러가지 技術上의 問題點을 考慮하면 Reinluft法은 經濟的이라고 하기 困難하다.

世界的으로 實用되고 있는 例로서 런던火力發電所가 있는데 處理法이 濕式洗淨法이기 때문에 그 結果는 그리 좋지 못하고 美國의 境遇 한두개의 發電所가 研究가 한창이라고 한다. 美國鐵務局에서는 Alkalized-Alumina法에 依한 吸着方式의 작은 Bench-Scale의 試驗이 進行中인 것으로 알려지고 있으며 酸化망강法이 研究된 바 있다고 한다.

그림 4에 flow sheet를 掲載한 바와 같다.

로스안제레스는 特別 大氣汚染對策이 嚴格한 곳인데 緊急事態가 發生하면 規制値를 한 段階내려서 SO₂에서는 排가스를 0.02%以下로 하지 않으면 안된다. 그래서 로스안제레스의 發電所에서는 緊急時에는 黃分이 極히 적은 燃料를 使用하고 一般的으로 緊急하지 않을 季節에는 石油가스를 태워서 SO₂를 0.02%의 基準以下로 維持하거나 높은 굴뚝으로 擴散시키는 對策을 세우고 있다.

(2) 集塵에 依한 對策

지금까지 여러 가지 例示한 바와 같이 大氣汚染物質은 가스, 미스트, 浮遊粉塵등을 들었는데 어느 것을 莫論하고 公衆衛生을 侵害하는 것인데 主로 粉塵의 除去는 그 方法이 지금까지 여러 가지로 發達하고 있는데 大別하면 (a) 濕式集塵法 (b) 濾過式集塵法 (c) 遠心力式集塵法 (d) 電氣式集塵法等으로 나눌수 있는데 大略的인 것을 用途別로 들면 다음과 같다.

(a) 濕式集塵裝置

濕式集塵裝置는 dust 나 mist를 含有하는 氣流를 물 또는 그외의 液体와 接觸시켜서 粒子를 물(洗淨液)中에 移動시켜서 分離하는 一種의 Scrubber라고 呼ぶ수 있는 것으로서 裝置가 比較的 簡單하고서도 集塵效率이 큰 長點을 가지고 있다

(b) 濾過式 集塵裝置

生産工程中에 使用되는 여러 가지 種類와 公害防止用으로 使用되는 것으로 나누어 지는데 Bag filter가 主로 많이 使用되고 있다. Bag filter는 本体 濾布 払落 機構 前處理機構 및 Dust處理機構 등으로 되는데 이中에서도 濾布와 払落機構가 集塵性能과 效率을 左右하는 것으로 가장 重要한 것이다. 濾布材料로서는 木綿, 羊毛, 사란, 네비론, 비닐론, 나일론, 테리켄, 테도론, 그라스등을 쓰는데 가지가지 그 特性을 가지고 있으며 이 Bag filter는 實際로 Carbon black 工場 Cement 工場, 石綿工場 아아크爐등에 많이 使用되고 있다.

(c) 遠心力式集塵裝置

가장 中心이 되는 것은 所謂 Cyclone 式集塵裝置로서 設備費가 低廉하고 維持하기가 便利하여 多方面으로 幅넓게 쓰이고 있다. 氣流를 接線方向으로 導入하던가 또는 案内翼에 依해서 導入하여 旋

回流를 얻는 Cyclone形과 機械的으로 強制回轉을 시키는 形이 있는데 後者는 動力消費가 큰點 構造가 複雜해지는 點등으로 別리 實用되지 못하고 있다.

Cyclone을 選定할 때 必要한 것은 他 集塵裝置에서도 마찬 가지지만 集塵目的 即 公害防止用的 境遇라면 出口含塵量이라던가 集塵效率를 면밀하게 檢討해야 할 것이다.

遠心力에 依한 分離作用을 原理로 하기 때문에 氣流의 旋回半徑을 적게 하면 分離限界粒子徑은 적어져서 集塵效率이 向上하는 反面에 單位 Cyclone의 處理 가스量은 減少하게 된다. 따라서 Multicyclone의 Cyclone所要本數가 增加하여 設備費가 많이 들게 된다. 그리고 一般的으로 壓力損失과 集塵效率 關係는 壓力損失이 크면 集塵效率이 커지고 同一壓力損失 狀態에서는 單位 Cyclone의 徑이 적을수록 效率이 向上된다.

(d) 電氣式集塵裝置

電氣集塵裝置는 重力, 慣性力, 遠心力, 熱力, 擴散付着力, 音波力 등의 集塵作用力을 主로 하는 다른 集塵裝置에 比較하여 極히 緻細한 粒子의 捕集이 容易하다. 또한 壓力損失이 적고 溫度, 濕度, 壓力 등의 가스狀의 使用範圍가 넓은 點에서 有價値物質의 回收, 製品의 向上은 勿論 煙害防止와 空氣調和等 多方向에 活用性이 많다.

電氣集塵裝置는 電氣力이 가장 效果的인 作用이지만 同時에 慣性力 重力等を 利用하여 集塵裝置로서의 機能을 發揮하게 된다.

一般的으로 媒煙等を 處理할 境遇에는 가스 및 dust의 性狀의 變動이 甚하고 突効電壓, 放電電流의 變化가 크기 때문에 始發電壓과 閃絡電壓과의 差가 크다.

帶電粒子가 集塵極에 走行하는 分離速度 V_0 (cm/s)은 다음 式으로

로 表示된다 .

$$V_e = \frac{K_c \cdot d - E_c \cdot E_p \cdot K_m}{12 \pi \mu}$$

K_c : 誘電係數 (e.s.u), d : 粒子的 直徑 (Cm)

E_c : 帶電電界의 強度 (e.s.u), E_p : 集塵電界의 強度 (e.s.u)

μ : 가스의 粘度 (e.s.u), K_m : 스토크스 칸닝감의 補正係數
이들의 여러 가지 因子中에서 V_e 를 가장 크게 支配하는 것은 E_c 인데 이것은 電極의 形狀 含塵量, 粒子的 質量 이온 移動度, 媒煙의 性狀에 依한 Corona 電流密度에 依해서 大幅으로 左右된다.

電氣集塵裝置의 機能은 前述한 바와 같이 電氣力, 慣性力, 重力의 集塵作用力에 따라서 決定되고 그 集塵率은 平板形集塵極에서는

(A) 式 管形集塵極에서는 다음의 (B) 式에 依해서 表示된다.

$$\eta = 1 - e^{-\frac{V_p L}{U e p_e} K_1 K_2} \quad (A)$$

$$\eta = 1 - e^{-\frac{4V_e L}{UD} K_1 K_2}$$

η : 集塵率 ($\times 100\%$), V_e : 集塵速度

U : 處理가스 速度 (Cm/s), L : 集塵極의 가스流 方向의 全長 (Cm)

p_e : 集塵極과 放電極의 距離 (Cm)

D : 管形集塵極의 直徑

K_1 : 電極의 幾何學的 形態에 依한 係數

K_2 : 凝集, 再飛散등에 依한 係數

5. 結 言

以上 大氣汚染의 發生源을 中心으로 檢討하고 그 對策에 對하여 몇가지 紹介하였으나 우리나라에는 아직 規制하는 法規만이 있을 따름이고 이에 對한 뚜렷한 對策이 없음은 그든 實情이 그러하니 強硬될수 없는 処地지만 두고 볼수만은 없는 形便이라서 平素에 보아둔 것을 整理하였으나 充實한 內容이 되지 못함을 부끄럽게 생각하셔서 이 問題가 國家的으로만 解決될 것이 아니라 社會적으로 Close up 되어서 보다 더 過감한 施策이 있어야 함 것이라고 생각하는 바이다.

公害防止對策과 併行하여 여러가지의 汚染物 測定法에 對하여 紹介하고자 하였으나 여러가지 事情으로 다음 機會에 詳細한 것을 紹介하고자 한다.