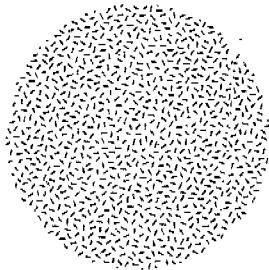


# 火力發電所의 汚染 物質 大氣擴散豫測

The Prediction for the Air  
Pollutants Concentration  
Around the Thermal Power  
Plants



李 鎬 宰

韓 電 電源計劃部 環境技術擔當役

## 1. 序 論

우리 韓國電力公社는 火力發電所의 設置前後 大氣管理를 위하여 擴散原理에 의거 大氣汚染 物質이 發電所 周圍에 擴散되는 상태를 豫測하고 있다.

大氣汚染物質의 擴散豫測에는 해당地域內的 汚染物質 排出量과 氣象 및 地形條件에서 各種 汚染物質(黃酸化物, 粉塵)의 擴散 分布 狀況을 豫測 하고 또한 被害地點에서 各汚染源別로 寄與率도 算出 할 수 있는 數學的인 方法으로 電子計算機를 利用한다

發電所 周圍 地域特性에 알맞는 擴散Model을 選定하여 效率的으로 活用할 수 있도록 現在 努力을 계속하고 있다. 여기에서는 黃酸化物의 大氣擴散모 델에 대하여 記述하고자 한다.

## 2. 必要性

근래 우리나라 燃料 使用量은 人口都市集中 現象과 車輛增加, 工業化에 따라 현저하게 增加해 왔으며 이와 더불어 大都市와 産業都市 周圍의 黃酸化物 濃度增加는 주지의 事實이다. 이 黃酸化物 濃度增加를 防止하는 對策으로서 低黃分 燃料油의 使用 煙突의 集合高煙突化等이 채택 되어 왔다. 또한 火力發電所로서 大氣中 黃酸化物 濃度 增加防止에 寄與하기 위하여 從來부터 大氣擴散效果가 큰 集合高煙突의 設置는 當然한 것이다. 또한 低黃分 燃料油를 使用하면 火力發電所 周圍에 주는 影響은 대단히 적다. 그러나 産業都市 全體의 汚染度를 고려해서 量的으로 限定된 低黃分 燃料油 消費量에 比較해 보면, 局地地域 地上濃度에 影響이 적은 火力發電所에서 常時 多量 消費하는 것은 다른 低煙突을 갖고 있는 中小企業의 排出施設에 低黃分 燃料油가 配分되지 않게 되어 全體地域 汚染管理에서 불쾌 좋은 對策이 되지 못한다.

이러한 理由로 火力發電所에서 그때 그때의 氣象條件에 따라 排煙이 地上黃酸化物 濃度에 미치는 影響을 推定해서 燃料油 使用을 적절하게 변경 할 수 있다면 低黃分 燃料油 使用量의 減少와 더불어 보다 效率的인 大氣汚染管理를 할 수 있다고 하겠다.

우리나라 海岸에 위치한 發電所 6個所의 海風比 率은 平均 44%이고 나머지 55%는 地上에 影響을

덜 미치는 陸風이 불고 있다. 또한 하루 가운데 쉼  
 間에 부는 바람과 夜間에 부는 바람의 變化는 여름  
 에 현저하고 겨울에는 安定하다.

大氣擴散現象의 連續인 觀測은 적극적으로 행  
 하여지고 있으며 大都市에서 大氣汚染監視網이 設  
 置運用되어 監視와 함께 Data가 集積되고 있다. 이  
 와 같이 大氣汚染狀態를 連續으로 測定하는 目的  
 은 汚染實態를 정확히 파악해서 長期인 對策을 樹  
 立하고 現時點의 Data를 基礎로 하여 數時間 후의  
 순간汚染度를 豫測하여 環境에 미치는 影響을 최소  
 화하는데 그 目的이 있다.

또한 産業都市에서 汚染物質을 排出하는 排出源  
 이 多數 存在하고 있을때 黃酸化物의 環境濃度는 個  
 個의 排出源에 依한 地上黃酸化物의 疊으로 누적된  
 것이다.

監視網으로 測定되는 黃酸化物濃度도 누적된 것  
 이므로 排出源마다의 寄與度를 직접 評價할 수는 없  
 다. 어떤 地域에서 基準値를 넘는 黃酸化物 濃度가  
 測定되고, 數時間 후에 高濃度가 豫測되는 경우, 그  
 地域의 黃酸化物濃度에 대하여 各排出源의 寄與度  
 가 評價될 수 있고 그 높은 濃度에 대하여 지배적  
 인 排出源을 명확히 알 수 있다면 大氣汚染 制御는  
 보다 용이하고 합리적으로 行할 수 있다.

火力發電施設의 大氣汚染이 環境에 미치는 影響  
 은 복합적이고 多樣하므로 被害度 및 寄與率을 時  
 期적절하게 調査 算出하는 常時體制 즉 電算處理를  
 할 수 있는 環境監視體制 구축이 必要하다. 또한  
 發電所 排出가스가 周圍大氣質汚染에 미치는 影響  
 을 파악하고 누적치가 環境基準値를 超過해서 地上  
 累積濃도에 대해 發電所로 인한 影響이 클것으로 推  
 定되는 경우, 低黃分 燃料油 供給量의 변경에 依해  
 서 周圍의 累積濃度를 制御하는 方案이 可能하다.

發電所 建設豫想 地點의 環境狀態를 豫測하여 항  
 후 發電所 稼動후 環境變化狀態를 調査 적절한 防  
 止施設의 設置 및 技術改善을 도모하는데 利用하고  
 있다.

### 3. 大氣擴散 Model

한개의 煙突에서 排出하는 汚染物은 처음 단계에  
 서는 煙氣自体가 갖는 運動量과 浮力에 依한 上昇  
 現象이 大氣中 亂流에 의한 擴散現象에 지배되면

서 擴散稀釋되어 地上附近에 도달한다. 이地點에서  
 風下方向軸上의 濃度는 서서히 增加해 가면서 最大  
 에 도달한후 減少해 간다.

以上の 現象은 汚染物質이 煙突에서 나와 1~2  
 時間以內, 20~30km 以內에서 일어나는 現象이고  
 그 自体의 化學的 變化는 적고 大氣와의 物理的 稀  
 釋만을 고려하고 있다. 汚染物質의 大氣中 정체시  
 간이 數時間以上 또한 煙突에서 數km 以上 되면 擴  
 散現象外에 汚染物質은 그때까지 擴散課程에서 구  
 름, 水分, 粉塵 및 地表附近에 있는 物質에 接觸,  
 混合·反應·吸着等 集積되면서 排出時와 다른形態  
 를 취하는 率이 크게 된다. 大氣中에서 最終的인  
 汚染物質의 行方은 비의 淨化作用·海水·土壤에 混  
 入消散해 끝나게 된다. 이와같은 汚染物의 排出에  
 서 最終 消散되기까지의 課程에서 人間生活에 汚染  
 物質의 影響이 없도록 할 必要가 있고 이 때문에이  
 러한 課程의 解析과 汚染物의 擴散豫測은 대단히  
 重要하다.

大氣中 排出된 物質의 擴散에 관한 理論的 解析  
 은 輸送理論과 統計的 方法이라는 두가지 手段을  
 병용해 가면서 進展해 왔다. 그중에 統計的 方法은  
 그展開途中에 擴散에 관해서 特別한 假設을 하지않  
 고 亂流運動의 統計値를 使用하는 數學的 解明方法  
 이다.

#### 3. 1 統計的 Model 에 依한 一般式

擴散現象을 미시적으로 보면  $x, y, z$  各方向으로  
 輸送되는 煙氣의 量은 單位面積當 單位時間에 各各  
 方向의 濃度勾配에 比例한다. 比例係數  $k_x, k_y, k_z$   
 을 擴散係數라고 한다. 空間적으로 생각한 微小立  
 體中の 煙氣의 物質収支에서 定常狀態를 가정하고  
 主軸方向 擴散을 생각하면 排煙濃度  $C$  에 對하여 다  
 음 基礎方程式을 얻을 수 있다.

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial C}{\partial z})$$

여기서 境界條件으로 地表面  $z=0$ 에서 完全反射  
 $x, y, z \rightarrow \infty$ 일때  $C \rightarrow 0$ 을 준다. 이때 解는 擴散係  
 數 및 風速分布를 주는 方法에 따라서 여러가지를  
 얻을 수 있다. 일반적으로 同一한 風速( $U$ )에서 排  
 煙의 分布가 鉛直方向( $Z$ 方向) 및 煙氣의 軸에 直角  
 인 水平方向( $y$ 方向)에 各各 正規分布라면 排煙의  
 連續性에서 任意點의 濃度가 定해진다. 즉 排煙의

地面에서 反射한다면

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(Z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(Z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

여기서  $\sigma_y, \sigma_z$ 은 各各  $y$  方向,  $z$  方向 濃度 分布의 標準 偏差로서 多같이 煙源에서 거리  $x$ 의 함수이다. 위 式에서 式上 濃度를 求하는 式을 얻는다.

$$C = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$xyz$  : 座標

$Q$  : 排煙 排出量

$U$  : 風速

$H$  : 煙源有效高度

$$k_y = \frac{U}{2x}\sigma_y^2$$

$$k_z = \frac{U}{2x}\sigma_z^2$$

## 4. 大氣擴散 Modeling 電算處理

### 4.1 大氣安定度

大氣安定度는 大氣의 稀釋能力을 評價함에 있어서 매우 重要하다. 실제 稀釋能力은 亂流의 구조와 強度에 의해서 좌우되며 이러한 量은 高度別 溫度差·風速·Wind Shear, 地面의 거친 狀態等에 依해 좌우된다. 따라서 亂流의 直接測定은 이러한 條件들이 고려될뿐만 아니라, 稀釋能力을 보다 確實하게 豫測할 수 있다. 大氣의 安定은 強한 逆轉層에 基因하는 것이며 大氣의 稀釋能力이 貧弱한것을 말하며 不安定은 큰 氣溫減率과 관련되어 大氣의 稀釋能力이 좋은 狀態를 말한다.

### 4.2 大氣安定度 分類方法

우리 會社에서의 大氣安定度 分類方法은 Pasquill에 依한 大氣安定度 分類方法을 基礎로 하여 氣象台資料를 活用한 日射量指數에 依하여 算出하는 方法과 發電所 氣象資料를 利用한 亂流의 程度(標準偏差)에 依한 方法 두가지를 活用하고 있다.

가. 氣象台 資料(日射量指數)에 依한 安定度分類 原理

(表-1) 大氣의 安定度

Surface Wind Speed (at 10m) m/sec	Insolation (cal/cm <sup>2</sup> /h)			Night	
	Strong	Moderate	Slight	Thinly Overcast < 3/8 or > 4/8 Low Cloud	Cloud
< 2	1	1-2	2	—	—
2-3	1-2	2	3	6	6
3-5	2	2-3	3	5	6
5-6	3	3-4	4	5	5
> 6	3	4	4	5	5

1. Extremely Unstable
2. Moderately Unstable
3. Slightly Unstable
4. Neutral (daytime)
5. Neutral (Night time)
6. Moderately Stable

나. 發電所 氣象資料에 依한 安定度 分類原理

現在 發電所에서 使用하고 있는 大氣安定度 分類方法은 Pasquill의 安定度 分類方法을 基礎로 하여 10分間 連續平均裝置에 依해 平均化되어 記錄된 風向記錄紙에서 風向의 60分間隔 變化曲線으로 부터 最大 風向變化角을 求한 다음 이 變化角을 6等分하고 Scaling Factor (4.5)를 곱하여 風向變化에 대한 標準偏差의 값( $\sigma\theta$ )으로 定하였다.

風向變化에 대한 標準偏差의 값은 大氣安定度와 서로 相關關係를 가지고 있다.

$$\sigma\theta = \frac{A_1 + A_2}{6} \times 4.5$$

여기서

$$A_1 = \theta_{\max} - \theta_{\text{avg}} \quad : \theta_{\max} > \theta_{\text{avg}}$$

$$A_1 = 360 + \theta_{\max} - \theta_{\text{avg}} \quad : \theta_{\max} < \theta_{\text{avg}}$$

$$A_2 = \theta_{\text{avg}} - \theta_{\min} \quad : \theta_{\min} < \theta_{\text{avg}}$$

$$A_2 = 360 + \theta_{\text{avg}} - \theta_{\min} \quad : \theta_{\min} > \theta_{\text{avg}}$$

$\theta_{\max}$  = 風向角의 最大偏角

$\theta_{\min}$  = 風向角의 最小偏角

$\theta_{\text{avg}}$  = 平均風向角

4.5 = Scaling Factor

各發電所 氣象觀測所로 부터 60分 간격으로 얻어진 大氣安定度의 觀測值는 같은 期間의 風向·風速資料와 함께 우리 公社에서 開發된 METERO코드를 基礎로 IBM-360 Model 電子計算機로 電算 處理하여 氣象綜合頻度係數를 求하고 있다.

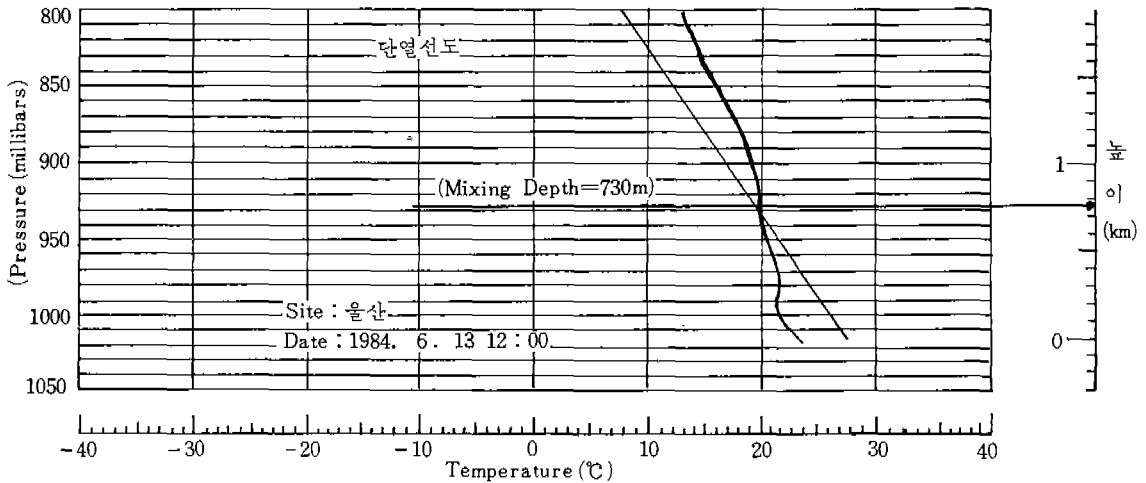
다. 混合層의 높이測定

混合層의 높이(깊이)라 함은 地面으로 부터 比較的 大氣의 垂直混合이 旺盛하게 일어나는 높이를 말하며 이層에서는 氣溫減率(高度에 따른 溫度變化率)이 大氣乾燥斷熱減率(-9.8°C/km)과 같다. 蔚山地域의 混合層 높이는 東海中部를 따라 나타나는 逆轉層 基底面까지의 높이로 定하여진다. 平均的으로 蔚山地域의 混合層 높이는 포항 高層氣象觀測 資料

에 의하면 700m 정도로 推定된다.

發電所에서의 大氣混合高度의 精確한 Data를 얻기 위하여 1983年 1月 Tether Sonde를 購入活用하고 있으며 地上 1km以內의 混合高度 測定할 수 있어 '84年 5月 Tether Sonde 裝備의 Program一部를 수정하여 Air Sonde도 적용할 수 있도록 하였다.

〈그림-1〉 大氣混合高度 實測資料



라. 電算入力資料

1) 氣象綜合頻度係數(Joint Frequency Function)

氣象綜合頻度係數는 地上平均濃度를 計算할때 f(K, L, m) 形態로 入力되며 K는 風向, L은 風速, m은 大氣安定度이다. 따라서 氣象綜合頻度係數는 16가지의 風向, 6가지의 風速等級, 6가지의 大氣安定度等級에 依하여 이루어진 576가지의 조합별로 各各의 相對發生頻度이다. 이를 모두 合하였을 때 는 1.0이 되어야 한다.

가. 測候所 氣象資料를 利用, 氣象綜合頻度係數 구하는 方法

全國 特別對策地域 大氣管理에 關한 研究(KAIST 發行 1979) 報告書에 상세히 紹介되어 있으므로 省略나. 發電所 氣象資料를 利用, 氣象綜合頻度係數 구하는 方法

이미 앞에서 說明한 大氣安定度等級(6等級) 風向(16方向) 風速等級(16等級)의 576가지 頻度の 合이 1.0이 되도록 精確히 處理하여 入力한다.

2) 排出源 資料調查

汚染物質 排出源은 大別하여 點汚染源(Point Source) 面汚染源(Area Source)과 移動汚染源(Mobile Source)으로 分類한다.

點汚染源은 年間 SO<sub>2</sub> 10Ton以上을 排出하는 業체로서 火力發電所 大規模工場, 産業施設 大型보일러를 갖고 있는 관공서, 아파트, 學校, 호텔 등으로 調査項目은 汚染源의 位置, 排出量, 煙突높이, 煙突 排出口 直徑, 排出速度, 排기가스, 溫度等이다.

面汚染源은 年間 SO<sub>2</sub> 10Ton以下로 排出하는 小규모 業체로서 난방용 燃料를 使用하는 一般住宅, 商業用 小규모보일러, 小각로, 小규모 工場이나 産業施設로서 해당 Grid에 대하여 均一하게 排出되는 排出源을 對象으로 한다.

對象對象 洞·里單位別 人口數, 人口分布, 密度等 面汚染源의 調査項目을 調査한다.

移動汚染源은 自動車·汽(車·선박·비행기等 保有台數, 平均走行距離, 距離當 燃料消耗率, 주요간선도로, 철도거리를 調査 한다.

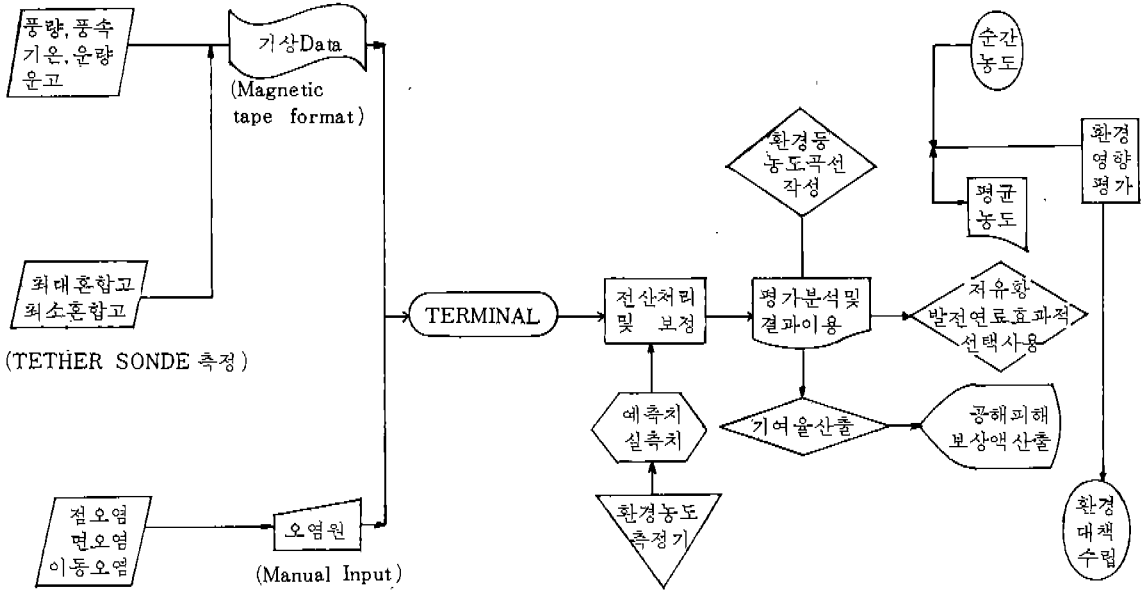
마. Modeling 適用

앞에서 說明한 바와 같이 統計 Model 中에서 地

域特性目的에 따라서 CDMQC, VELLE, CRSTER Model을 利用, 周邊地形에 알맞는 Modeling을 선택함으로써 環境濃度豫測을 정확히 하고 環境汚染防止施設의 設置效果를 極大化 하는데 있다.

여기서 蔚山地域 周邊大氣質 擴散豫測에서 發電所와 測候所 氣象資料를 入力하여 結果를 比較해 보고자 한다.

〈그림-2〉 우리公社 대기확산 전산모델링 운용계통도



1) 蔚山測候所 對 發電所 氣象資料 利用時의 安 定度等級, 風速等級 風向 發生頻度 電算結果

가) 안정도 발생빈도 순위

측후소	4 등급 (38.3%)	6 등급 (24.6%)	3 등급 (14.5%)	5 등급 (14.4%)	2 등급 (7.3%)	1 등급 (0.9%)
발전소	6 등급 (53.2%)	5 등급 (13.3%)	1 등급 (9.9%)	3 등급 (9.9%)	4 등급 (8.5%)	2 등급 (6.1%)

나) 풍속등급 발생빈도 순위

측후소	1 등급 (52.9%)	2 등급 (21.0%)	3 등급 (17.0%)	4 등급 (8.7%)	5 등급 (0.4%)	6 등급 (0%)
발전소	1 등급 (28.5%)	2 등급 (24.3%)	3 등급 (21.3%)	4 등급 (17.2%)	5 등급 (6.5%)	6 등급 (2.2%)

다) 풍향별 발생빈도 순위

측후소	SW	SSW	ESE	N	NNW	ENE	SE	NNE	NE	WSW	NW	S	SSE	E	W	WNW
소	13.6%	9.4%	9.3	8.4	7.7	7.4	6.7	5.5	5.5	4.7	4.6	4.6	3.9	3.8	2.8	2.1
발전소	SSW	SW	N	WSW	NNE	NW	W	NNW	NE	S	ENE	ESE	E	SE	NNW	SSE
소	21.7%	19.0	13.6	6.2	5.3	5.3	5.0	5.0	4.6	4.4	3.1	2.6	2.0	1.1	1.1	0.0

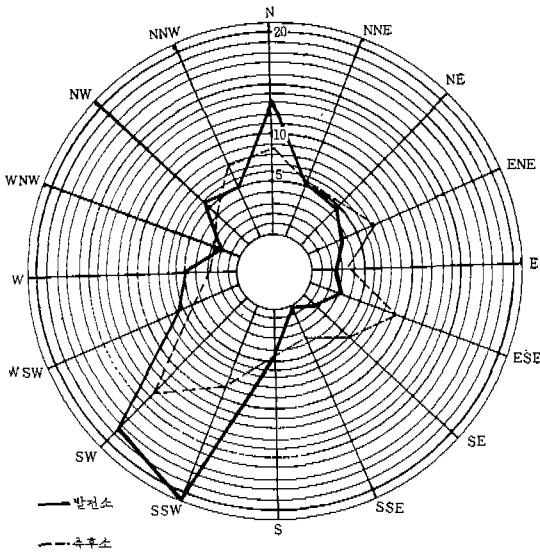
라) 육풍 해풍 발생빈도

측후소	육풍 : 35.8%	해풍 : 64.2%
발전소	육풍 : 41.5%	해풍 : 58.5%

마) 풍육, 해풍구분

육 풍	N, NNE, WSW, W, WNW, NW, NNW
해 풍	NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW

2) 發電所 및 測候所 氣象資料 풍배도



3) 蔚山 火力發電所 周圍 6 個地點에 SOx 自動測定器를 設置運營하여 測定한 '82 5 月 環境濃度

지역	A	B	C	D	E	F	비 고
平均	24	51	44	24	55	44	○단위 : ppb ○일일 20시간 이상 기준

4) 發電所와 測候所 資料를 利用한 環境濃度 實測 對 豫測值의 相關係數 및 有意性 檢討

번 호	차 요		A		B		상관관계		비 고
	X	Y	(예측)	(실측)	(예측)	(실측)	A	B	
1	231.2	224.8	35	44	47	44	0.75	0.64	1. 코멘트의 유의성 5%~1% 0.63~0.77 2. A: 발전소 B: 측후소 3. 단위 (ppb)
2	232.4	224.3	60	43	54	43			
3	232.4	224.5	45	54	37	54			
4	233.9	223.8	42	44	35	44			
5	233.2	229.3	27	27	18	27			
6	229.0	228.4	14	35	28	35			
7	228.2	226.2	12	19	32	19			
8	230.1	225.3	16	33	38	33			
9	228.7	225.5	10	24	31	24			
10	230.9	224.1	34	51	51	51			
합 계			295	374	371	374			

사. 氣象入力 資料活用上 差異點

1) 測候所 氣象資料

新設敷地의 環境影響評價와 他汚染源과의 公害被害度, 寄與率紛爭時 基準點 設定이 용이한 長點이

있으나 夜間Data의 信빙성이 不足하고 신속한 資料를 얻기가 어렵고, 一部 汚染源에 대해서는 地形의 影響에 따라 풍향이 상이하게 나타남을 發見 할 수 있다.

2) 發電所 氣象資料

地形을 고려한 하나의 固定汚染源의 排煙擴散狀態의 風向을 正確히 算出할 수 있고 신속히 資料를 구할 수 있어 瞬間環境濃度 算出에 利用할 수 있는 長點이 있으나 Data의 판독자에 따라 誤差發生要因이 수반되는 短點이 있다. 우리會社에서는 84年 8 月頃 Data판독의 誤差를 줄이기 위하여 美國 Clamatolic社의 "σ自動測定 安定度分類" 氣象裝備를 구입하여 우선 仁川 蔚山 麗水火力發電所에 裝置運營할 豫定이다. 향후 發電所 氣象資料와 瞬間汚染 Source入力自動化를 電算化할 豫定으로 推進中에 있다.

아. 低黃分 燃料油 使用에 따른 環境濃度 檢討

蔚山地域 發電所에 2.5% 低黃分 燃料油使用時에 地域環境에 미치는 影響을 氣象學的 擴散모델 (CD MQC)을 利用한 電算化 結果는

가. 蔚山, 嶺南火力에 2.5%BC油를 全量사용 하더라도 蔚山地域 環境濃度는 1.6~0.7ppb의 濃度減少 밖에 안되며

나. 蔚山全体에 미치는 寄與率은 4.4~2.5%로 나타났다.

다. 發電所의 黃酸化物 排出量은 75%를 차지 하나 環境濃度 및 寄與率이 적은 것은 해안가에 위치하고 있고 또한 煙突이 他汚染源에 비해 월등히 높아 擴散이 큰 것으로 생각된다.

라. 따라서 黃酸化物 環境濃度 低減을 위하여서는 發電所보다도 다른 소규모排出 事業場에 低硫黃油를 보다 많이 使用하는 것이 局地地域의 環境保全對策을 樹立하는데 보다 效果의일 것으로 생각된다.