

CDMQC Model 을 利用한 蔚山地域의 大氣質 豫測과 實測值와의 比較研究

Air Quality Prediction by CDMQC and Its Validation in the
Ulsan Industrial Complex

申 應 培*
Shin, Eung Bai
李 光 浩**
Lee, Kwang Ho

Abstract

This study involves 1) air quality dispersion predictions and 2) a comparison of the predicted data with the actually measured ones in terms of annual sulfur dioxide concentration in the Ulsan Industrial Complex. The prediction was made by utilizing the CDMQC air quality simulation computer model.

The higher concentrations were observed at the Bugok Dong (Sampling Site) and the Yeochun Dong Sampling Site with the values of 44 and 46 ppb, respectively whereas the predicted values for both sites were 52 and 47 ppb, respectively.

A statistical examination has revealed that the level of confidence was 90.02% from the Chi-squared test and the correlation coefficient was 0.827. It thus demonstrates that the model used for the study appears to be applicable to yield reliable predictions in terms of annual sulfur dioxide concentrations in the study area.

要 約

本 研究에서는 蔚山地域을 對象으로 CDMQC 모델을 利用하여 大氣質을 豫測하였으며 아울러 同一對象地域에서 實測을 施行하므로써 電算모델을 利用한 豫測值와 實測值間의 比較檢討를 실시하였다.

모델링結果 가장 汚染이 심한 地域은 夫谷洞과 呂川洞地域으로 年平均 SO₂의 모델링值는 52 ppb 및 47ppb였으며, 實測值는 44ppb 및 46ppb를 나타냈다. 또한 實測值와 모델링值와의 比較에서 χ^2 檢證法에 의한 信賴性은 90.02%로 두 資料間에 屬性이 있음을 나타냈으며 相關係數 (r)는 0.827로서 높은 相關關係를 나타내어 CDMQC 모델은 蔚山地域의 大氣質豫測을 위하여 適合한 것으로 판단되었다.

I. 序 論

特定地域의 大氣質 現況을 把握하기 위한 方

法으로는 實測方法과 電算모델을 利用하여 豫測하는 方法으로 크게 大別할 수 있다. 實測方法은 一定期間동안 連續的인 測定으로 測定地點의 正確한 資料를 얻을 수 있으므로 短期間에 적은 費用으로 所期의 目的을 達成할 수도 있으나 大

* 正會員·韓國科學技術院環境시스팀研究部 責任研究員

**正會員·韓國科學技術院環境시스팀研究部 先任研究員

氣質의 現況把握 및 分析評價를 위한 長期間 測定을 要할 경우에는 많은 問題點을 가지게 되며 특히 長期的인 側面에서의 大氣質豫測은 不可能하다. 反面 電算모델에 의한 경우는 모델링에 必要한 汚染源 資料 및 氣象資料 等 基礎入力資料를 準備할 수 있다면 모델의 特性에 따라 短期間에서부터 長期間에 이르기까지 大氣質을 豫測할 수 있다. 그러나 電算모델을 利用할 경우 選定모델이 研究對象地域에 어느 정도 符合되느냐가 가장 큰 問題이다.

이의 檢討는 同一期間에 現地實測을 실시하여 實測值와 모델링 結果值와의 比較分析에서 評價될 수 있으며 이의 結果가 滿足스러울 경우 選定모델은 對象地域의 大氣質을 豫測하는데 使用되어 질 수 있다.

따라서 本 研究에서는 美國 EPA에서 開發한 UNAMAP(User's Network for Applied Modeling of Air Pollution) system의 하나로 點源(point source), 面源(area source) 및 線源(line source)에서의 排出汚染物로 因한 地上에서의 季節 및 年平均濃度를 豫測하는데 適用되는 CDMQC 模型을 選定하여 蔚山工業團地 地域에서의 SO₂를 對象으로 1年間에 걸친 實測值와 모델링 結果值를 比較分析하므로써 CDMQC 模型을 利用한 蔚山工業團地 地域의 大氣質 現況 및 將來 大氣質豫測의 可能性 與否를 檢討하였다.

II. 電算모델링 및 實測

1. 모델링

가. CDMQC 模型의 原理

CDMQC 模型은 對象地域內의 汚染物質 排出量과 氣象條件을 考慮하여 對象地域內에서 各種 汚染物質의 分布狀況을 Gaussian model을 利用하여 豫測하는 數學的 方法의 하나이다.

Gaussian model에서 바람부는 方向을 X軸으로 잡고, 風速 U의 바람이 불 때 單位時間當 Q의 汚染物質을 連結의 으로 내뿜는 點汚染源에 의한 座標(x, y, z)에서의 濃度 C는 다음식과 같이 풀이된다^{(1), (2), (3)}.

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left[\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-H_s}{\sigma_z}\right)^2\right]\right] \quad (2-1)$$

$$+ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H_s}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2-1)$$

여기서, H_s: 汚染發生源의 有效높이
σ_y 및 σ_z: 바람부는 方向으로 距離 x에서의 y 및 z方向의 汚染物質濃度分布의 標準偏差

地表 z=0에 있어서의 濃度는 地表에서의 反射量을 考慮할 때 다음식으로 풀이된다^{(1), (2)}.

$$C = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H_s}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (2-2)$$

만약 汚染物質이 大氣中에서 化學反應이나 비에 의한 洗滌 等에 의하여 감소하면 다음식과 같이 減少한다⁽⁴⁾.

$$\frac{dc}{dt} = -kC \quad (2-3)$$

여기서 k: 大氣汚染物의 減少率係數
따라서 式(2-2)는 다음식으로 表現된다.

$$C = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2\right] - \frac{1}{2}\left(\frac{H_s}{\sigma_z}\right)^2 \exp\left(-k\frac{X}{U}\right) \quad (2-4)$$

本 研究에서 使用한 CDMQC 模型에서는 風向을 16方向으로 나누어서 各 風向에 대하여 汚染物質이 22.5°C의 角度 範圍內에서 均一하게 퍼지는 것으로 假定하였고 汚染物質의 大氣中에서의 減少는 半減期 概念을 利用하였으며, 임의의 着地點에서 點汚染源과 面汚染源으로 因한 任意의 平均時間에 의한 平均濃度를 구하는 식은 式 5 및 式 8과 같다⁽⁴⁾.

1) 點汚染源

$$C_p = \frac{16}{2\pi} \sum_{n=1}^{16} \sum_{l=1}^6 \sum_{m=1}^6 \frac{f(k_n, l, m) Q_n S(\rho_n, 0)}{\rho_n} \quad (2-5)$$

여기서 k_n: 各 着地點을 基準으로 n번째 點汚染源에 刻當하는 wind sector

k: 風向

l: 風速

m: 大氣安定度

ρ_n: 着地點에서 n번째 汚染源까지의 距離

f(k_n, l, m): n번째 點汚染源에 起因한 氣象 綜合頻度

Q_n: n번째 點汚染源의 排出量

S(ρ_n, 0): 式(2-2), (2-3)에서 定義된 擴散式

$\sigma_x(\rho_n) \leq 0.8L$ 경우

$$S(\rho_n, 0) = \left[\frac{2}{U \sqrt{2\pi} \sigma_x(\rho_n)} \right] \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{H_n}{\sigma_x(\rho_n)} \right)^2 \right] \exp \left[\frac{-0.693 \sigma_n}{UT(1/2)} \right] \quad (2-6)$$

$\sigma_x(\rho_n) > 0.8L$ 경우

$$S(\rho_n, 0) = \frac{1}{UL} \exp \left[\frac{-0.693 \sigma_n}{UT(1/2)} \right] \quad (2-7)$$

여기서

u : 風速

$\sigma_x(\rho_n)$: 垂直擴散式

H_n : n 번째 汚染源의 有效煙突高

L : 오후의 混合高

$T(1/2)$: 汚染物質의 半減期

2) 面汚染源

$$C_A = \frac{16}{2\pi} \left\{ \left[\sum_{k=1}^{18} g_k(\rho) \sum_{l=1}^6 \sum_{m=1}^6 f(k, l, m) S(\rho, 0) \right] d\rho \right\} \quad (2-8)$$

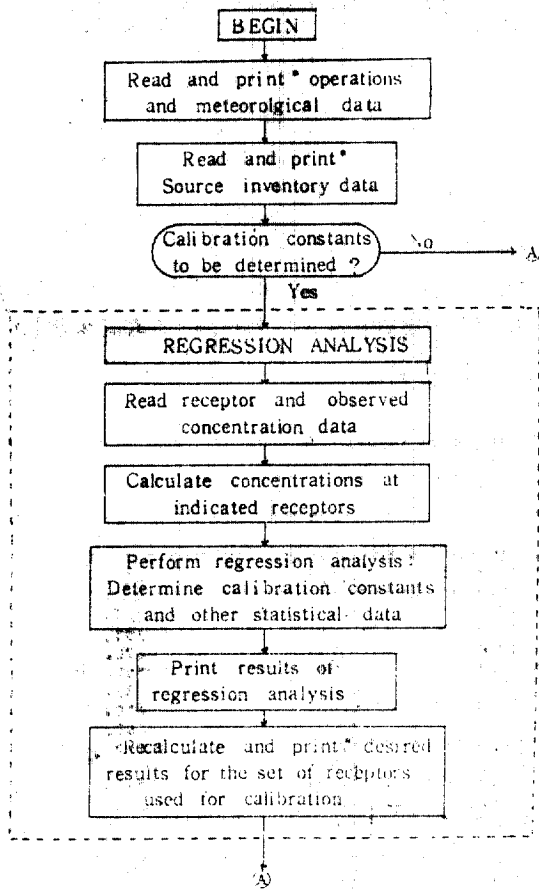
여기서 $g_k(\rho)$: k sector 에 對한 排出量

$Q(\rho, \theta)$: 面汚染源의 排出量

$f(k, l, m)$: 氣象綜合頻度

ρ : 任意的 着地點에서 극히 작은 面汚染源까지의 距離

따라서 任意的 着地點에서 點汚染源으로 인한 平均濃도와 面汚染源으로 인한 平均濃도의 合이 그 着地點에서 任意的 平均時間에 對한 平均濃度라고 볼 수 있다. 참고로 CDMQC 모델의 Flow Diagram 은 그림 1 과 같다(4).



asterisks denote output subject to user option.

그림 1. CDMQC의 Flow Diagram(1)

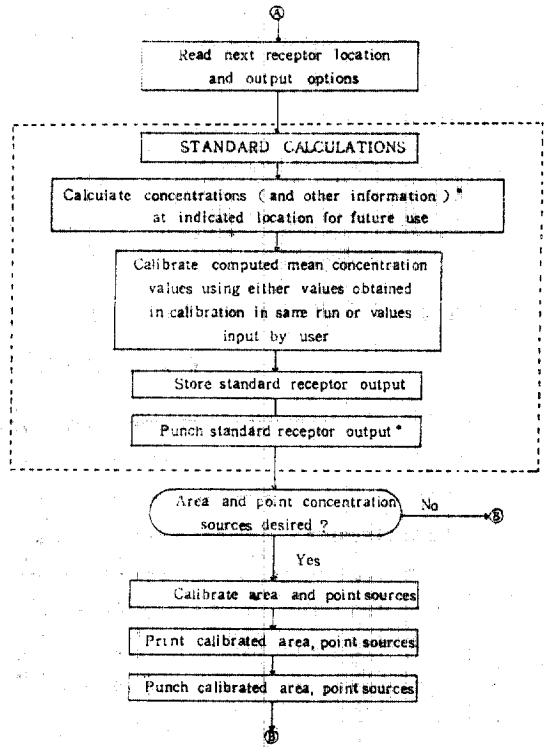


그림 2. CDMQC의 Flow Diagram(II)

나. 入力資料

1) 氣象資料

大氣中 汚染物質의 擴散은 風向, 風速 및 氣流의 特性에 따라 크게 左右되므로, 大氣汚染擴

散모형을 利用하여 大氣汚染物質 擴散 現況의 研究에서 氣象調査는 必須的이라 하겠다. 本 研究을 위하여 實施한 氣象調査는 蔚山市 三山洞 地域에서 每月 Minisonde(Aero-Aqua Inc. No. 3001, USA)를 使用하여 蔚山地域 高度別 溫度 風向, 風速分布를 測定하였으며 이를 利用하여 混合高를 豫測하였고, 그의 必要한 氣象資料는 中央觀象臺로부터 入手한 蔚山測候所 資料를 利用하였다.

㉔ 風向 및 風速

大氣汚染度를 豫測하기 위하여 必要한 安定度別 風向, 風速, 發生頻度를 구하기 위하여 風向은 16 方向으로 나누었으며 風速은 6 等級(表 1 참조)으로 區分하였다.

表 1. CDMQC 모델의 風速等級⁽⁴⁾

Wind Speed Class	Speed Interval (Knots)	Class Wind Speed (m/sec)
1	0 to 3	1.50
2	4 to 6	2.46
3	7 to 10	4.47
4	11 to 16	6.93
5	17 to 21	9.61
6	>21	12.52

參考로 表 2에 Minisonde를 使用하여 測定한 氣象資料를 電算處理하여 高度別 垂直溫度分布

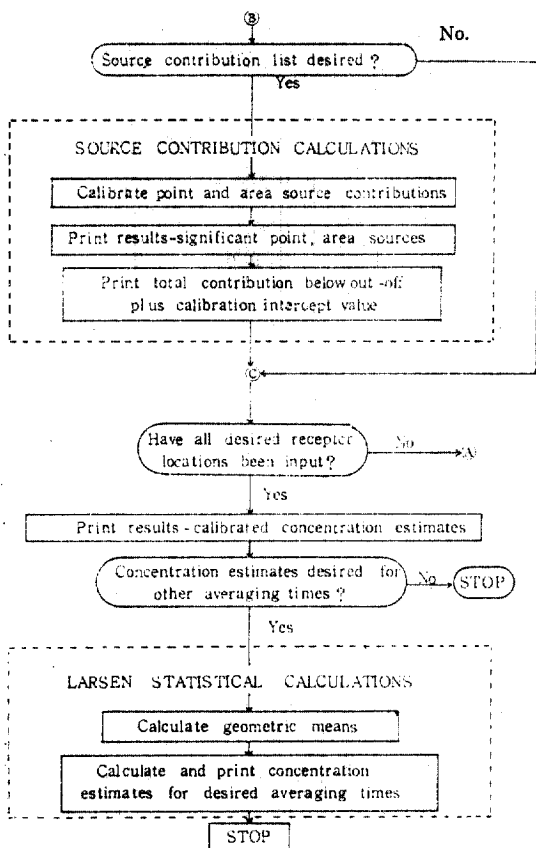


그림 3. CDMQC의 Flow Diagram(III)

表 2. 高度別 垂直溫度分布 및 風向, 風速

Height (m)	Temp (°C)	Temp (°F)	W. ANGLE	V. ANGLE	WIND SPEED (KNOTS)	WIND DIRECTION	
1	0.5	33.0	29.6	47.6	3.17	9.715	
2	1.0	33.0	29.9	39.9	3.431	245.	
3	1.5	33.0	27.1	61.1	3.774	257.	
4	2.0	33.0	25.8	64.3	3.985	255.	
5	2.5	33.0	24.1	69.3	37.0	4.152	271.
6	3.0	33.0	22.9	73.2	30.7	2.939	261.
7	3.5	33.0	22.1	74.7	37.5	4.943	262.
8	4.0	33.0	22.9	75.2	36.9	4.603	258.
9	4.5	33.0	21.1	76.0	24.7	7.031	263.
10	5.0	33.0	20.7	70.1	37.4	5.222	255.
11	5.5	33.0	21.4	81.0	36.2	4.715	275.
12	6.0	33.0	20.2	84.3	27.4	13.254	279.
13	6.5	33.0	20.4	84.5	25.1	13.806	265.
14	7.0	33.0	21.4	84.4	23.3	14.275	257.
15	7.5	33.0	20.5	86.4	22.4	13.337	295.
16	8.0	33.0	20.2	83.6	21.6	14.404	224.
17	8.5	33.0	20.7	83.2	21.3	10.635	259.
18	9.0	33.0	20.3	83.3	20.9	10.605	255.
19	9.5	33.0	20.2	83.7	20.0	10.265	265.
20	10.0	33.0	20.1	84.2	20.3	10.643	271.
21	10.5	33.0	20.2	84.3	19.3	11.270	280.
22	11.0	33.0	20.4	86.3	19.0	11.732	251.
23	11.5	33.0	20.5	87.2	19.5	12.343	276.

및 風向, 風速을 計算한 結果의 一部를 나타냈다.

㉔ 安定度別 風向 및 風速의 發生頻度(Joint Frequency Function)

大氣汚染物質은 對流과 擴散에 의하여 隣近地域에 퍼지므로 大氣汚染物質의 地上濃度는 垂直과 水平方向의 擴散樣相을 決定해주는 大氣의 安定度와 汚染物質의 移動方向과 速度를 決定해주는 風向, 風速에 따라 달라진다. 이와같은 大氣의 安定度는 대개 日射量과 風速으로부터 推定된다⁽⁵⁾. 구름이 없는 경우 日射量은 日中 또는 年中時間의 函數로 表示되는 太陽高度에 따라 變하게 된다. 구름의 量과 두께는 地表에 들어오고 나가는 日射量을 減少시키는 역할을 하며 낮에는 雲量과 雲高에 따라 日射量이 變하지만 밤에는 단지 雲量에 의해서만 日射量이 變化하게 된다.

大氣의 安定度는 Pasquill⁽⁶⁾에 의하면 7等級으로 나누어지나 本 研究에서는 都市地域의 特

殊性を 考慮하여 Pasquill의 4等級을 晝間은 4等級, 夜間은 5等級으로 區分하였으며, 5.6.7等級은 6等級으로 묶었다⁽⁷⁾(表 3 참조).

表 3. Paquill의 安定度와 CDMQC 모델의 安定度 比較

Stability(Pasquill)		Stability(CDMQC)
1	극히 不安定	1
2	不安定	2
3	약간 不安定	3
4(day time)	中立	4
4(night time)		5
5	약간 安定	6
6	安定	6
7	극히 安定	6

安定度는 風速, 日射量, 雲量, 雲高, 太陽高度에 의해서 決定되며, 이의 計算은 電算프로그램을 開發하여 使用하였다. 計算結果 蔚山地域의 安定度의 等級別 發生頻度는 年中 6等級의 發生頻도가 44.82%로(表 4 참조) 가장 높게 나타나

表 4. 蔚山地域의 安定度別, 月別 發生頻度

MONTHLY JOINT FREQUENCY FOR EACH STABILITY CLASS (ULSAN AREA, 1978)													
STABILITY	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNUAL
1	0.023	0.030	0.112	0.102	0.197	0.798	0.999	0.979	0.959	0.807	0.250	0.000	0.624
2	0.171	0.197	0.000	0.138	0.159	0.127	0.061	0.175	0.150	0.192	0.115	0.190	0.117
3	0.140	0.149	0.150	0.101	0.113	0.170	0.161	0.177	0.180	0.103	0.169	0.192	0.182
4	0.137	0.112	0.123	0.115	0.046	0.240	0.272	0.195	0.215	0.125	0.123	0.058	0.175
5	0.116	0.142	0.097	0.047	0.020	0.115	0.031	0.024	0.070	0.176	0.040	0.123	0.097
6	0.017	0.075	0.056	0.026	0.004	0.025	0.026	0.090	0.070	0.160	0.020	0.070	0.020

表 5. 蔚山地域의 風速別, 月別 發生頻度

MONTHLY JOINT FREQUENCY FOR EACH WIND SPEED CLASS (ULSAN AREA, 1978)													
WIND SPEED CLASS	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNUAL
1	0.704	0.715	0.797	0.779	0.131	0.430	0.279	0.244	0.227	0.279	0.199	0.000	0.000
2	0.075	0.034	0.014	0.090	0.112	0.059	0.110	0.119	0.090	0.102	0.075	0.101	0.101
3	0.090	0.107	0.020	0.070	0.070	0.175	0.197	0.044	0.039	0.045	0.033	0.020	0.020
4	0.049	0.010	0.029	0.075	0.013	0.019	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000

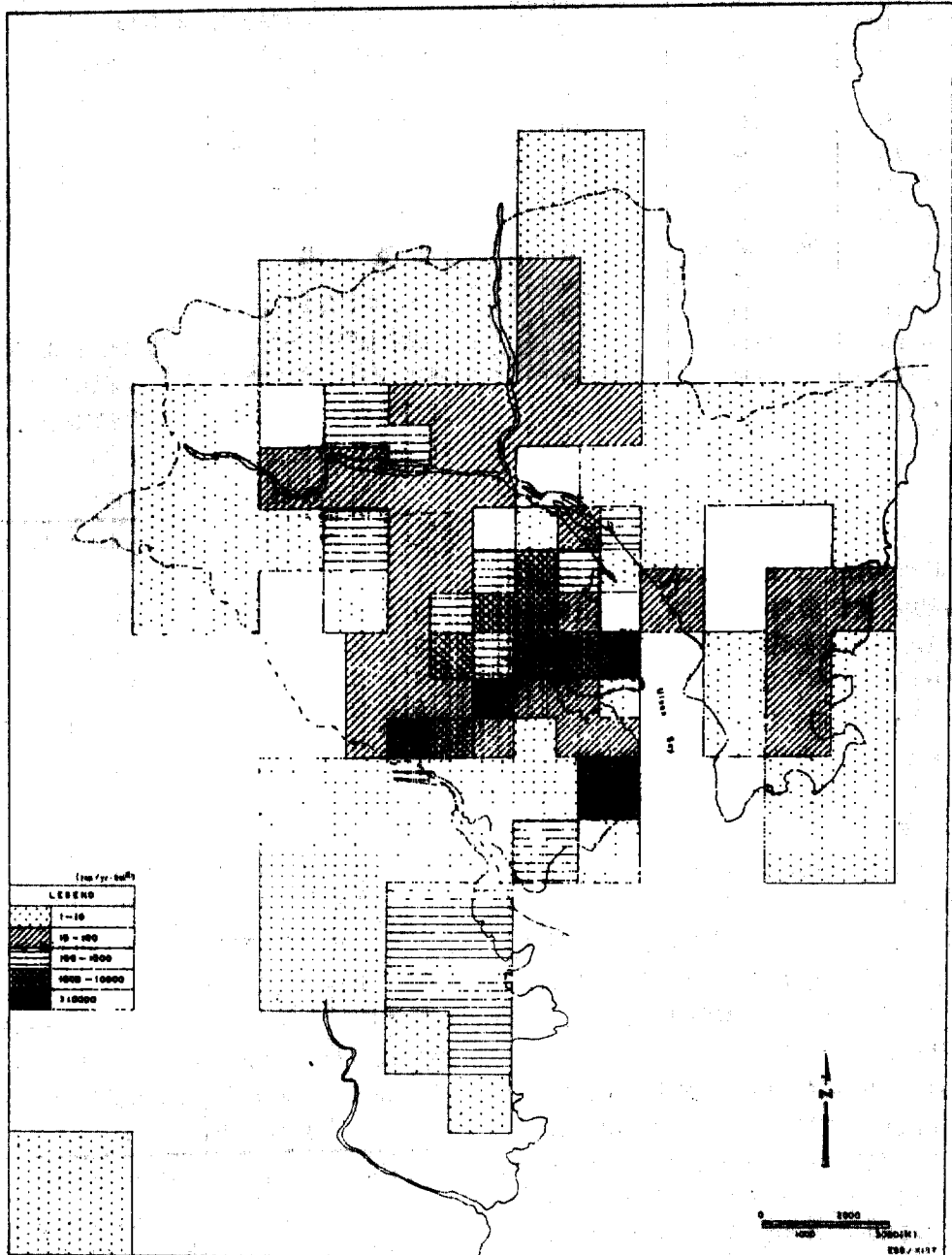


그림 5. SO₂ Emission Density(ton/yr·km²) Map(蔚山 1979)

表 8. 蔚山地域의 最大 및 最少混合高

Observation Date	Mixing Height(m)	
	Max	Min
1979. 4. 16.	1490	not available
7. 18.	800	0
7. 19.	1080	0
9. 16.	432	0
9. 18.	360	250
10. 29.	1386	0
12. 21.	160	0
12. 22.	960	0
1980. 1. 17.	not available	0
2. 23.	1320	0
3. 14.	1140	0
4. 20.	1840	0
5. 23.	440	0
6. 14.	280	0
8. 7.	1000	0
11. 5.	1100	0

2) 汚染源

汚染源의 調査는 研究對象地域內에서 發生되는 汚染物의 量을 計算하기 위한 基本資料로써 蔚山地域內의 點汚染源과 面汚染源 및 移動汚染源을 1980年 3月부터 3개월이내 걸쳐 직접 設問書를 통해 조사하였다.

點汚染源으로는 研究對象工場인 總 165個 中 비교적 汚染物 排出量이 많다고 豫想되는 78個 工場으로 煙突數로는 232個가 點汚染源으로 計算되었으며, 面汚染源으로는 10 m 以上の 煙突을 가진 小規模事業所 87個 業所이외에 蔚山市 및 蔚州郡 住居地에서의 無煙炭과 石油 및 輕油와 같은 暖房用 燃料使用量이 고려되었고 移動汚染源으로는 各種車輛과 鐵道機關車의 運行에 따른 排出量⁽⁸⁾을 고려하였다.

上記와 같이 算定한 點汚染源과 面汚染源 및 移動汚染源에서 排出된 年間 SO₂ 排出總量은 表 9와 같으며 局地的인 大氣汚染物 擴散現象을 比較하기 위한 資料로써 研究對象地域을 3 km × 3 km, 1.5 km × 1.5 km 및 1 km × 1 km 크기의 小區域으로 Grid化하여 各 Grid 別로 排出되는 SO₂의 總量을 算定하고 排出量에 따라 5等分으로 區分하여 Emission Density Map을 作成하였으며 그 結果는 그림 5와 같다.

表 9. 蔚山工業團地(蔚山市 및 蔚州郡) 일원의 大氣汚染物 排出總量(1979年 基準)

汚染源分類	汚染物質名	SO ₂ (ton/yr)
點汚染源	大規模產業體 (78業所, 232煙突)	156,026
	面汚染源 小規模事業所 및 住居 地域暖房	1,943
移動汚染源	各種車輛運行	1,369
	鐵道機關車運行	4.2
排出總量		159,380

2. 實 測

가. 實測地點

實測地點은 SO₂에 의한 汚染度가 比較的 심하다고 생각되는 地點과 거의 汚染度가 없을 것으로 豫想되는 地點으로 總 11個地點을 選定하였으며 各各의 位置는 그림 6과 表 10에 나타났다.

表 10. 大氣質 實測地點

Site Code	Location	Longitude*	Latitude*
1	松 亭 洞	232.2	233.8
2	無 去 洞	223.9	228.0
3	三 山 洞	231.0	227.5
4	夫 曲 洞	230.7	222.0
5	方 魚 洞	237.0	220.5
6	溫 山 面	231.0	214.0
7	福 山 洞	229.0	229.0
8	鹽 浦 洞	233.5	225.7
9	呂 川 洞	231.0	224.5
10	青 良 面	226.5	220.5
11	龍 淵 洞	232.6	219.0

*TM(Transverse Mercator) Cordinate System

나. 測定頻度 및 期間

實測頻度는 每 2個月마다 한번씩 實測하였으며 測定期間은 1979年 7月부터 1980年 5月까지 總 6회를 實施하였다. 試料採取 日字는 表 11

表 11. 大氣試料採取日字

Frequency	Sampling Date
1	July 13~23, 1979
2	Sep. 10~20, 1979
3	Nov. 17~24, 1979
4	Jan. 15~21, 1980
5	Mar. 12~18, 1980
6	May 17~25, 1980

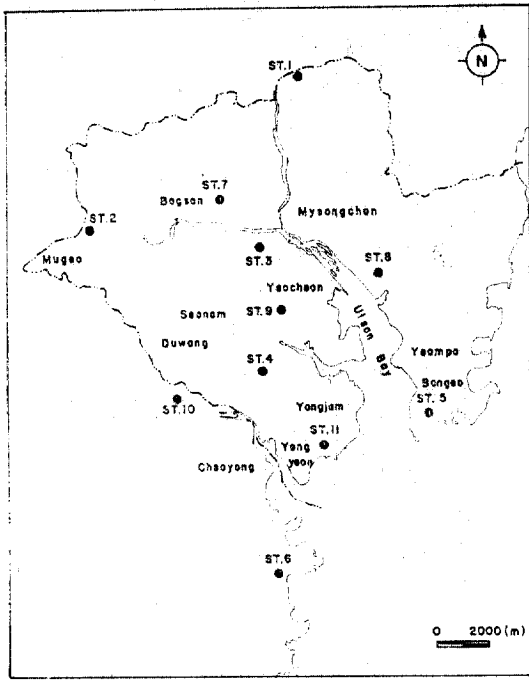


그림 6. 試料採取地點

과 같다.

다. 試料採取 및 測定方法

試料採取는 Impinger에 의한 Wesk-Gaeke 방법을 위해서 RAS(Research Appliance Co.)의 5 gas sampler를 利用하였으며, 특히 農作物에 대한 影響이 深하다고 豫想되는 三山洞(測點 3)

에서는 RAC의 sequential sampler(Model PV)를 利用하여 24時間 連續採取하였고 測定方法은 colorimetric titration 方法으로 하였다.

III. 實測值의 統計的 分析

研究期間동안 6회에 걸쳐 實測한 結果値는 表 12와 같다.

大氣汚染物의 實測結果를 보면 대부분 汚染物 質濃度는 0에 近似하고 檢出되는 것은 높은 값을 나타내어 定規分布를 이루지 않고 歪曲된 分布를 이룬다. 그러나 測定濃度 자체는 定規分布를 이루지 않아도 濃度の 對數값은 定規分布를 이룬다. 따라서 이러한 理論을 바탕으로 Larsen(9),(10)은 大氣汚染物 實測 結果를 統計처리하기 위한 方法을 提案하였으며 이 方法을 利用하여 대부분의 大氣質 實測資料를 分析하고 있다.

Larsen은 統計的 처리에 의한 結果로부터 平均化 時間모델(averaging time mathematical model)을 提案하였으며 다음과 같은 理論을 證 驗하였다.

(1) 汚染物濃度는 모든 平均化時間에 對하여 對數定規分布를 이룬다.

(2) 모든 平均化時間에 대하여 中央值濃度는 對數그라프紙에서(濃度 對 平均化時間) 거의 直線이므로 median 濃度는 exponent의 平均化時間乘에 比例한다.

表 12. 측정지점별 SO₂ 실험결과

(단위 : ppb)

측점	1 차		2 차		3 차		4 차		5 차		6 차	
	Impinger	24hr Continuous	Impinger	24hr Continuous	Impinger	24hr Continuous	Impinger	24hr Continuous	Impinger	24hr Continuous	Impinger	24hr Continuous
1	8.16		1.37		5.30		9.50		3.19		27.78	
2	6.48		<1		63.04		8.40		155.33		4.90	
3	<1	0.6	13.02	31	15.16	12.35	6.22	3.55	4.54	-	21.73	19.33
4	51.21		32.51		3.89		24.58		46.86		91.17	
5	6.88		7.14		95.70		63.25		39.68		10.35	
6	10.39		9.98		24.32		26.47		26.64		25.46	
7	36.16		9.22		14.40		19.73		43.45		58.91	
8	1.44		<1		36.48		<1		40.55		38.99	
9	20.30		43.32		42.09		26.94		33.55		119.62	
10	14.69		10.75		4.05		13.68		1.46		30.10	
11	12.64		19.30		33.98		25.76		86.00		21.12	

(3) 最大濃度は exponent 의 平均化時間乘에 反比例한다.

(1)에 의하면 汚染物質은 對數定規分布를 하므로 濃度 C와 頻度(frequency) y 사이에는 다음과 같은 관계가 成立된다.

$$y = \frac{n}{\sqrt{2\pi} \ln S_r} \exp\left[0.05 \left(\frac{\ln C - \ln m_r}{\ln S_r}\right)^2\right] \quad (3-1)$$

n = 總 觀測數

m_r = 幾何平均

S_r = 幾何標準偏差

따라서 對數定規分布인 경우를 代數確率紙에 그리면 直線이 되며 이 경우 幾何標準偏差(S_r)와 幾何平均(m_r)을 標準偏差(S)와 算術平均(m)의 函數로 나타내면 다음과 같다.

$$S_r = \exp\left[\ln 0.5 \left(\frac{S^2}{m^2} + 1\right)\right] \quad (3-2)$$

$$m_r = \exp\left(\frac{m}{0.5 \ln^2 S_r}\right) \quad (3-3)$$

또한 실제 測定資料를 높은 濃度順으로부터 낮

은 濃度로 나열했을 때 특정 累積頻度(cumulative frequency)에 해당하는 농도의 順位와의 相關關係는 다음 式에 의해 決定된다.

$$r = \frac{f_n}{100\%} + 0.999 \quad (3-4)$$

r : 高濃度順으로 나열했을때의 觀測順位

n : 總 觀測數

f : 累積百分率頻度

0.999 : 電算에 의한 結果值가 均一하기 위한 1 보다 약간작은 常數

위와 같이 高濃度順으로 나열했을 때의 觀測順位에 依해 計算된 累積百分率頻度和 觀測된 濃度를 對數確率紙에 나타낼 경우 直線이 되며 이 直線에서 累積百分率頻度 50%에 해당하는 값이 幾何平均(혹은 中央值)이며 이 直線의 기울기가 幾何標準偏差이다. 이 幾何標準偏差는 1 標準偏差에 해당되는 16 percentile의 濃度를 幾何平均으로 나누므로써 얻을 수 있다.

또한 실제 測定值가 不定確, 測定回數의 빈곤으로 인한 測定最高值를 보완하는 方法으로 다

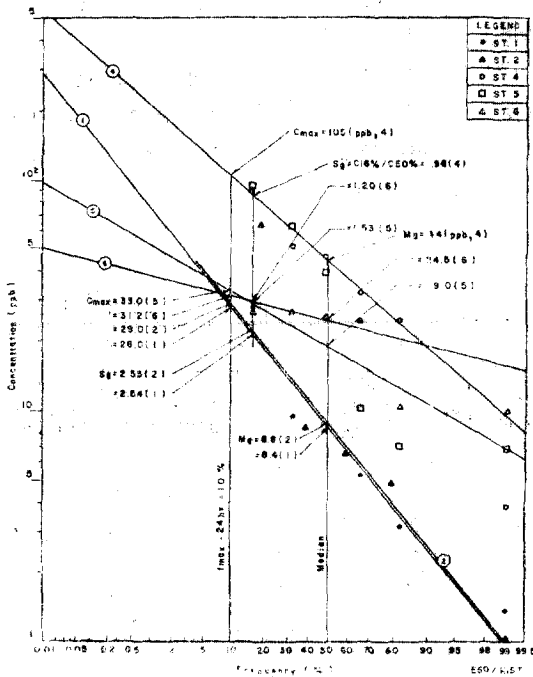


그림 7. 觀測된 24時間 平均 이산화유황농도와 累積百分率頻度와의 關係(I)(Sampling Site 1-6. July 1979 to May 1980)

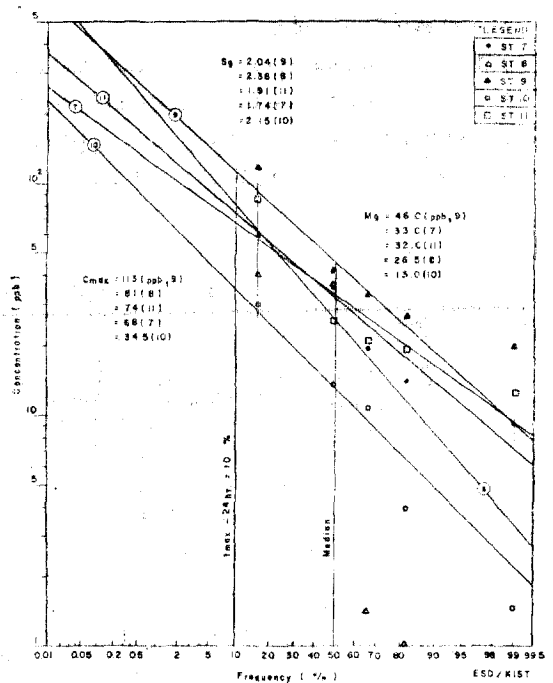
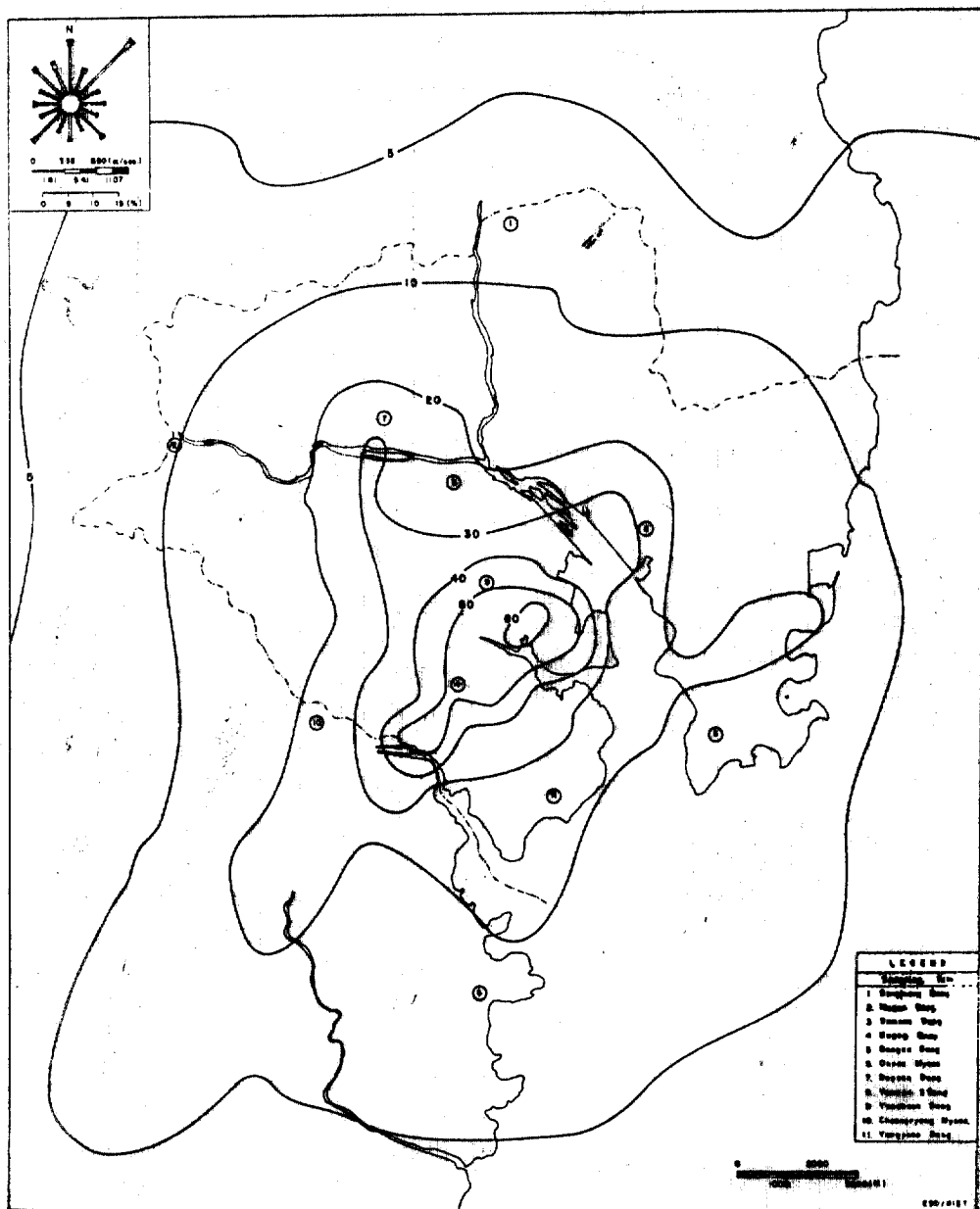


그림 8. 觀測된 24時間 平均 이산화유황농도와 累積百分率頻度와의 關係(II)(Sampling Site 7-11. July 1979 to May 1980)



二圖 9. 蔚山地域 年平均 SO₂ 等濃度曲線

음 (3-5)식을 利用하여 예상되는 最高濃度を 주는 累積頻度(cumulative frequency)를 구하므로써 그라프상에서 豫想最高濃度(expected maximum concentration)를 구할 수 있다.

$$f=100\% \frac{r-0.4}{n} \quad (3-5)$$

f : 豫想되는 最高濃도를 주는 累積頻度(percentile)

r : 豫想되는 最高濃도의 順位($r=1$ 일 때 最大濃度)

n : 總試料數

本 研究에서 測定된 資料도 위에서 記述된 Larsen 의 平均化時間 數學的 모델을 利用하여 統計처리하였으며 이를 위해 作成된 關係圖는 그림 7.8과 같으며 그 결과는 表 13과 같다.

表 13. 平均化時間分析에 의한 SO₂의 統計資料 (24 hr averaging time SO₂)

Site Code	Site	Arith-metic mean (ppb)	S.D.①	Mg② (ppb)	Sg③	C _{max} ④ (ppb)
1	松亭洞	9.22	8.75	8.4	2.54	28
2	無去洞	16.76	23.27	8.8	2.53	29
3	三山洞	9.26	11.86	6.1	2.82	100
4	夫曲洞	41.70	26.99	44.0	1.96	105
5	方魚洞	37.17	33.29	19.0	1.53	33
6	溫山面	20.54	7.36	24.5	1.20	31
7	福山洞	30.31	17.49	33.0	1.74	68
8	鹽浦2洞	18.91	18.80	26.5	2.38	81
9	呂川洞	47.64	33.18	46.0	2.04	113
10	靑良面	12.46	9.24	13.0	2.15	35
11	龍淵洞	33.12	24.51	32.0	1.91	74

- 備考: ① Standard deviation
 ② Geometric mean
 ③ Standard geometric deviation
 ④ Expected annual maximum concentration

IV. 結果 및 考察

1. 모델링

모델링結果 蔚山地域의 年平均 SO₂ 等濃度曲線은 그림 9와 같으며 實測地點으로 選定한 11個地點에서의 모델링結果値는 表 14와 같다.

結果値에서 보면 無公害地域으로 對照地點으로 選定했던 測點 1(松亭洞), 測點 2(無去洞)에서는 가장 낮은 濃도로 10 ppb 以下를 보였으며,

문제가 되고 있는 測點 4(夫谷洞), 測點 9(呂川洞)에서는 제일 높은 濃도로 約 50 ppb 程度를 나타냈으며, 그림 9에서 볼 수 있듯이 夫谷, 呂川洞地域은 거의 大部分地域이 年平均 50 ppb 정도를 超過하고 있다.

表 14. 모델링에 의한 各實測地點의 年平均 SO₂ 濃度 (單位: ppb)

測定地點		모델링 結果
1	松亭洞	8
2	無去洞	9.5
3	三山洞	25
4	夫谷洞	52
5	方魚洞	17
6	溫山面	16
7	福山洞	25
8	鹽浦2洞	29
9	呂川洞	47
10	靑良面	22
11	龍淵洞	25.5

2. 實測值

實測結果는 本研究에서 2個月에 1回씩 間歇的으로 6回測定된 값으로서 測定된 結果値가 測定地點別로는 많은 값의 變化를 나타냈다(表 12 참조). 따라서 算術平均의 結果는 큰 의미를 附與하기가 어려우므로 Larsen 의 平均化時間分析에 의한 幾何平均値(Geometric mean)를 實測値의 濃도로 하였으며 豫想되는 最大濃度(C_{max})는 最高濃도가 되는 順位, 즉 $r=1$ 일 때의 最大濃도가 發生되는 累積頻도를 計算하여(III章-(5)式參照) 해당 累積頻度에서의 C_{max} 값을 그림 7,8에서 求하였다($n=6$ 일 때의 最大濃도가 發生되는 累積頻度는 10%).

實測値는 모델링値와 類似하게 無公害地域인 測點 1,2에서 比較的 낮은 10 ppb 以下の 값을 나타냈으며 比較的 汚染程度가 높다고 豫想되었던 測點 4,9에서 44~46 ppb 값을 나타냈다.

反面 測點 3(三山洞)에서는 6.1 ppb 로 豫想보다도 낮은 濃도를 나타냈는데 이 地域은 광활한 平野地帶로 平소에는 汚染物의 擴散이 잘 이루어지다가 特別한 氣象의 要因에 의해 急性的인 大氣汚染影響을 받고 있는 것으로 추측되며 每2個月에 1回씩 測定한 本研究에서는 이러한 狀態

가. 測定當時에는 잘 잡히지 못한 原因으로 사료 된다.

3. 모델링值와 實測值와의 比較

上記 結果에서 얻어진 모델링值와 實測值와의 聯關性은 選定모델자체의 効用性의 觀點에서 매우 重要한 意味를 갖는다. 따라서 本研究에서는 一次的으로 兩 資料間의 有意性을 檢討하기 위하여 χ^2 檢證方法에 依하여 檢討하고, 兩 資料間의 屬性에 차이가 없다는 것을 確認後 그 資料間의 相關程度를 求하였다.

表 15에 年平均 SO_2 實測值와 모델링值와의 比較를 나타냈다.

表 15. 年平均 SO_2 測定值와 모델링值의 比較 (單位: ppb)

測定地點	測定值	모델링值
1	8.4	8
2	8.8	9.5
3	6.1	25
4	44	52
5	19	17
6	24.5	16
7	33	25
8	26.5	29
9	46	47
10	13	22
11	32	25.5

가. χ^2 檢證^{(11), (12)}

두 獨立標本사이의 有意性을 檢證하는 χ^2 檢證 公式은 式 (4-1)과 같다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (4-1)$$

O_{ij} : r 個의 行과 k 個의 列의 行列表 또는 類關表에서 i 제 行과 j 제 列이 교차하는 칸(Cell)의 觀察頻度

E_{ij} : 위와 같은 表에서 i 行과 j 제의 列이 교차하는 칸의 期待頻度

또한 어떤 特정한 값의 신뢰성은 주어진 資料에서의 自由度에 따라 달라지는데 $r \times k$ 의 類關表로 된 資料에서의 自由度(ν)는 (4-2)式과 같다.

$$\nu = (r-1)(k-1) \quad (4-2)$$

r : 類目(行)의 數

k : 集團(列)의 數

따라서 本研究에서 實測值를 觀察頻度值로, 모델링에 依한 值를 期待頻度值로 보아 式(4-1)에 依해 計算한 χ^2 值는 28.4771이였으며 自由度(ν)는 10으로서 이들 값으로 χ^2 分布表에서 얻은 信賴水準을 90.02%로써 屬性이 충분히 있다고 보는 90%를 상회하고 있어 兩 資料사이에는 信賴性이 있다고 判단된다.

나. 相關係數⁽¹²⁾

앞에서 兩 資料間에 信賴性이 있는 것으로 檢證이 됨에 따라 여기에서는 兩 資料間의 相關程度를 알아보기 위하여 相關係數를 求하였다. 相關係數(r)를 求하는 式은 다음 (4-3)과 같다.

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{S_x S_y} \quad (4-3)$$

S_{xy} : 資料 x, y 의 公分散

$S_x S_y$: x 와 y 의 標準偏差의 積

\bar{x}, \bar{y} : $\sum x$ 와 $\sum y$ 의 算術平均値

表 15에서 各 測定地點의 實測值를 x 로, 該 當地點의 모델링值를 y 로 보아 式(4-3)에 依해 求한 相關係數는 0.827로 상당히 높은 相關을 나타냈다.

V. 結 論

1. 實測과 모델링結果 蔚山地域에서 가장 汚染이 심한 地域은 夫谷洞地域(實測值 44 ppb, 모델링值 52 ppb)과 呂川洞地域(實測值 46 ppb, 모델링值 47 ppb)으로 나타났다.

2. 年平均 SO_2 實測值와 모델링值의 比較에서 χ^2 檢證에 依해 信賴性은 90.02%로 兩 資料間의 屬性이 있음을 나타냈으며 또한 相關係數(r)는 약 0.83으로 높은 相關係를 나타내어 CDMQC 모델은 蔚山地域特性에 適合한 것으로 思料된다

3. 上記結果로 CDMQC 모델을 利用한 將來의 大氣質 豫測이 可能하며 이의 結果를 토대로 大氣質管理를 위한 長短期 對策樹立이 可能하다고 判단된다.

參 考 文 獻

1. Perkins, H.C., *Air Pollution*, McGraw-Hill

- Book Co., New York(1974)
2. Stern, A.C., *Air Pollution*, Vol. I, Academic Press, New York(1968)
 3. Stern, A.C., et al, *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press Inc., New York(1973)
 4. Busse, A. D. and J.R. Zimmerman, *User's Guide for the Climatological Dispersion Model*, EPA-R4-73-024, Research Triangle Park, N.C., (December 1973)
 5. Tuner, D.B., "A Diffusion Model for an Urban Area" *Journal of Applied Meteorology*, Vol.3, 83(Feb. 1964)
 6. Pasquill, F., *Atmospheric Diffusion*, 2nd ed. Wiley & Sons, New York (1974)
 7. Schnelle, K.B., *The Engineers Guide to Air Pollution Meteorology*, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee (1976)
 8. U.S. EPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", *OAP Publication No. AP-42*, Research Triangle Park, NC. (Feb. 1977)
 9. Larsen, R.I., *A Mathematical Model for Relating Air Quality Measurements to Air Quality Standards*, Research Triangle Park, U.S. EPA, AP-89, (Nov. 1971)
 10. Larsen, R.I., "A New Mathematical Model of Air Pollution Averaging Time Frequency", *J. APCA* Vol. 19, 24~30(Jan. 1969)
 11. 김영취, 「공업통계학」서울, 청문각(1979)
 12. 정영진, 「실용현대통계학」서울, 경림출판사(1978)
(接受: 1981. 11. 24)