

# 서울시 광화문 지역의 대기질 변동 특성의 추계학적 분석

한 홍 · 김 영 식\*

서울대학교 보건대학원  
\*국립밀양전문대학 환경보호과

## Stochastic Properties of Air Quality Variation in Seoul

Han Hong · Kim Young Sik\*

Graduate School of Public Health Seoul National University  
\*Dept. of Environmental Protection Miryang National Junior College

### ABSTRACT

The stochastic variance and structures of time series data on air quality were examined by employing the techniques of autocorrelation function, variance spectrum, fourier series, ARIMA model. Among the air quality properties of atmosphere, SO<sub>2</sub> is one of the most significant and widely measured parameters. In the study, the air quality data were included hourly observations on SO<sub>2</sub>, TSP and O<sub>3</sub>. The data were measured by automatic recording instrument installed in Kwanghwamoon during February and March in 1991. The results of study were as follows ;

1. Hourly air quality series varied with the dominant 24 hour periodicity and the 12 hour periodic variation was also observed.
2. The correlation coefficients between SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> is -0.4735.
3. In simulating or forecasting variation in SO<sub>2</sub> ARIMA models are on a useful tools. The multiplicative seasonal ARIMA (1, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub> model provided satisfactory results for hourly SO<sub>2</sub> time series.

### I. 序 論

대기질 예측 모델은 물리적 모델(Physical model)과 수학적 모델(Mathematical model)으로 분류한다. 물리적 모델은 도시지역의 소규모 풍동(Wind tunnel) 등이며, 수학적 모델은 대기의 이동과 대기오염물질의 화학적 반응을 수식화하여記述한記述的模型(Descriptive model)과 과거의 대기질에 관한 통계적 분석을 主臺로 한 통계적 모델(Statistical model) 등이다.<sup>1,2)</sup>

대기질은 수질과 같이 시간적인 週期성을 나타내고 있으며, 傾向과 週期成分 외에도 說明할 수

없는 無作爲 成分(Random component)이 包含되어 있기 때문에 連續的으로 測定된 대기질의 時系列은 推計學的 現象으로 볼 수 있다.<sup>3,4)</sup>

環境汚染 物質變動에 대한 推計學的 分析은 氣象分野와 水文學 分野에서 應用되고 있으며 世界的으로 1970年代 後半부터 많은 研究가 進行되어 왔다. Box와 Jenkins(1970)이 一般的으로 觀測되는 時系列을 獨立的이 아닌 從屬的인 時系列로 생각하고 母數(Parameter)의 數가 적고 간단한 推計學的 模型을 提示한 이래 經濟學, 工學 및 自然科學 等에 이 模型이 利用되고 있다.<sup>5,6)</sup>

대기汚染에 대한 推計學的 分析으로 Box와 Tiao(1975)가 時系列 分析方法의 一種인 介入分

析法을 導入하였다. 또한 이들은 Los Angeles 光化學 스모그의 變動에 대하여 推計學의 分析을 實施하였다.<sup>7-9)</sup>

Gleit(1985)는 石炭 보일러에서 排出되는 SO<sub>2</sub> 濃度의 變動에 대하여 ARMA 模型을 利用하여 推計學的인 分析을 試圖하였다.<sup>10)</sup>

國內에서의 研究는 金(1988)등이 서울시 一部 地域(성수 및 오류지역) SO<sub>2</sub> 汚染度의 變動에 關한 自己相關分析 및 月別 SO<sub>2</sub>의 時系列에 ARIMA (1,0,0) (0,1,0)<sub>12</sub> 模型이 適合한 것으로 나타 났다.<sup>11)</sup> 金(1988)은 서울시 쌍문동 地域의 SO<sub>2</sub> 汚 染度의 時別 時系列에 대한 推計學인 分析 및 豫 測을 實施한 結果 ARIMA (0,1,1) (2,1,1)<sub>24</sub> 模型 이 適合한 것으로 나타났다.<sup>11)</sup>

本 研究는 서울시 光化문 地域의 SO<sub>2</sub>, TSP 및 O<sub>3</sub> 濃度等과 關聯된 大氣質 變動에 대하여 分析하 였으며 연구의 목적은 다음과 같다.

- 1) 大氣質의 週期性 및 變動의 特性 把握
- 2) 時別 SO<sub>2</sub>에 대한 ARIMA 模型의 適用性 檢 討 및 豫測

大氣質의 推計學的 研究를 위한 連續 時系列의 資料를 求하기 어렵고 資料의 信賴性 問題로 因하 여 長期間의 時系列 資料를 利用할 수 없는 與件 에 있다. 그러므로 時間 間隔이 1時間인 離散型 時 系列을 택하여 分析에 利用하였다. 大氣質의 週期 性 및 變動의 特性 把握을 위하여 Fourier 級數, 自己相關係數, Spectrial 分析을 利用하였으며 時 別 SO<sub>2</sub> 濃度에 대하여 觀測 時系列 自體를 季節型 ARIMA 模型에 適用하여 模型을 確立시키고 4日 間의 豫測值를 發生시켜 實際 觀測值와 比較 分析 하였다.

## II. 資料의 分析

Box와 Jenkins는 模型을 評價 및 豫測하는 過 程을 (1) 模型의 判別 (2) 母數의 推定 (3) 模型의 檢定 (4) 豫測에 대한 algorithm을 Fig. 1과 같이 提示하였으며,<sup>6)</sup> ARIMA 模型의 分析은 統計 팩 키지인 SPSS/PC<sup>+</sup> Ver. 2.0을 使用하였다.

## III. 測定資料

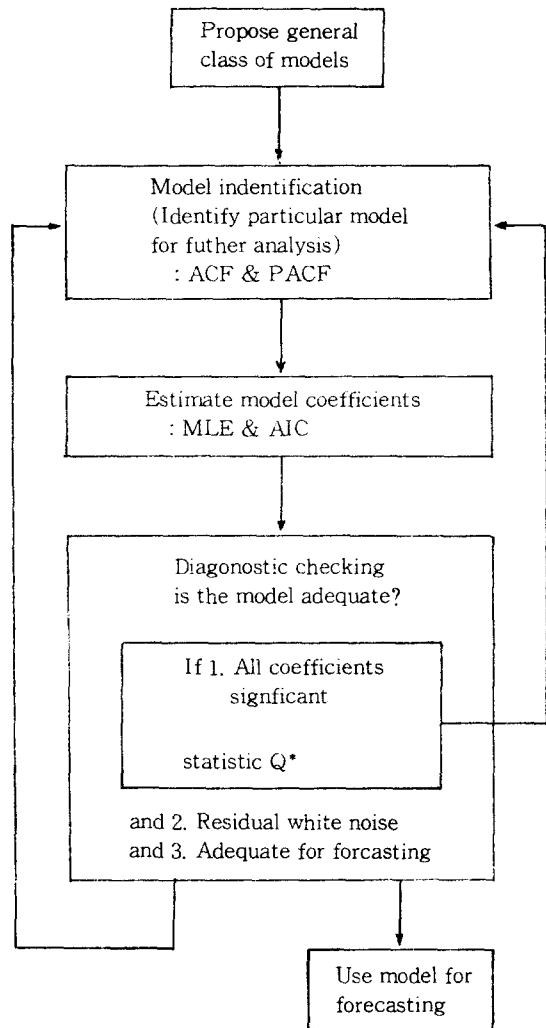


Fig. 1. Iterative approach to model building.

統計的 解析에 利用되는 大氣質 資料는 外的 影 響이 적은 地域이 妥當하다. 그러나 이러한 地域 에서 連續的인 資料를 蒐集하는 것은 매우 어렵 다. 本 研究에 利用한 資料는 環境處에서 運營하 는 大氣 自動測定裝置가 設置된 光化문 地域의 SO<sub>2</sub>, TSP 및 O<sub>3</sub> 濃度의 時間別 測定資料를 利用 하였으며 測定期間은 1991年 2月 4日~同年 3月 10日 까지이다.<sup>12)</sup>

### 1. 測定地域의 狀況

서울 市內에는 大氣汚染 測定網이 20個 있으며

Table 1. Statistical properties of hourly data

Items	Unit	Max.	Min.	Mean	S. D.	Skewness	No. of data
SO <sub>2</sub>	ppm	0.357	0.012	0.060	0.051	2.259	840
TSP	μg/m <sup>3</sup>	499	13	88.8	67.75	2.198	840
O <sub>3</sub>	ppm	0.032	0.000	0.006	0.008	1.065	840

서울市와 環境處가 各各 10個씩 管理하고 있다.

이 중 環境處에서 管理하고 있는 10個所 中 比較的 機器 故障 等으로 결측된 資料가 적은 곳이 光化문, 불광동, 문래동 地域이다. 光化문 地域의 自動 測定製置之의 可動率은 項目別로 差異가 있지만 5% 以下이다.

光化문 地域의 1990年 年平均 SO<sub>2</sub> 濃度는 0.044 ppm으로 環境保全法에서 定한 基準值인 年平均 濃度 0.05 ppm을 超過하지 않고 있다.

## 2. 資料의 定理

本 研究에 利用된 時間別 時系列에서 機器 故障 等으로 결측된 資料는 다음과 같이 補完하였다.

$$X_p \tau = X_p \tau - 1 + (m\tau - m\tau - 1) \dots \dots \dots (1)$$

여기서 p = 1, 2, 3, ..., n : p는 測定期間이 n 日인 p番째 日

τ = 1, 2, 3, ..., 24는 1日 동안의 時間

mτ : 日別 時系列의 總 資料數 N = 24n 中 τ의 平均值

mτ - 1 : 日別 時系列의 總 資料數 N = 24n 中 τ - 1의 平均值

時間別 및 日別 時系列의 결측 資料 補完을 거 친 各 時系列의 統計的 特性은 Table 1과 같다.

## IV. 測定資料의 變動 特性 分析

### 1. 時間別 變動 特性 分析

大氣汚染物質 濃度의 時間別 變動 分析에는 Table 1에 提示한 光化문 地域의 測定資料를 利用 하였다. 時間別 SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>의 測定值間의 相關 係數는 Table 2와 같다.

O<sub>3</sub>과 SO<sub>2</sub> 濃度間의 相關係數 r은 -0.4735로 逆 相關 關係를 나타내고 있고 TSP와는 -0.1719로

Table 2. Correlation variables SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub> with SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>

Items	SO <sub>2</sub>	TSP	O <sub>3</sub>
SO <sub>2</sub>	1.0000*	0.5282*	-0.4735*
TSP		1.0000*	-0.1719*
O <sub>3</sub>			1.0000*

\* 有意水準 P < 0.001

서 역시 逆相關 關係를 나타내었다. 이 結果는 김 (1988) 等이 서울地域의 오존濃度의 變動 및 影響 因子에 관한 研究에서 제시한 O<sub>3</sub>와 SO<sub>2</sub>와의 相關 係數 -0.2331(한남동), -0.4453(쌍문동), TSP 와는 -0.3266(구의동), -0.4538(방이동)로써 本 分析과 類似함을 보이고 있다.<sup>13)</sup> 그러므로 서울市 大氣中의 O<sub>3</sub> 濃度와 SO<sub>2</sub> 및 TSP는 逆相關性의 關係를 가지고 있다고 볼 수 있다.

SO<sub>2</sub>와 TSP 濃度間의 相關係數 r은 0.5282로 正 相關 關係를 나타내고 있는데 이 結果는 김(1986) 등이 밝힌 SO<sub>2</sub>와 TSP의 相關係數 0.694(한남동)와 類似함을 보이고 있다.<sup>14)</sup> SO<sub>2</sub>와 TSP 發生源이 주로 빌딩 및 家庭用으로 使用되는 重油나 石炭 등의 燃料 燃燒 및 交通量과의 關係에 起因한 때 문으로 볼 수 있다.

時系列 項目別로 어떠한 週期性을 가지면서 變動하는가를 把握하기 위하여 Spectrum分析 및 調和分析을 實施하였으며, Table 3은 時間別 週期와 Spectrum, 調和函數의 Fourier 係數 및 說明 分散을 나타내었다.

SO<sub>2</sub> 濃度는 2次 調和數까지의 說明 分散比가 20.4%로 상당히 낮은 說明比를 나타내고 있다. 또한 SO<sub>2</sub>에 正相關 關係를 가진 TSP는 2次 調和 函數에 대한 說明分散이 16.4%로 SO<sub>2</sub>와 비슷한 說明分散을 가짐을 알 수 있다. 姜(1988) 및 姜 (1989)等은 SO<sub>2</sub> 濃度의 變化는 排出源의 特性 및

Table 3. Period of hourly air quality and spectral density explained variance

Items	Period (Hr)	Variance	Spectral density Uk	Fourier Aj	Coefficant Bj	*Cj	**θj	Explained variance %
SO <sub>2</sub>	24	0.003	0.813	-0.003	0.03	0.03	-1.47	15
	12	0.003	0.06	-0.01	-0.015	0.018	0.983	5.4
	8	0.003	0.015	0.008	-0.002	0.008	-0.245	1.1
TSP	24	4,590	227,991	-31.9	12.6	34.3	-0.376	12.8
	12	4,590	64,870	11.0	-14.6	18.3	-0.925	3.6
	8	4,590	16,168	-0.886	8.39	8.44	-1.466	0.8

\* 진폭(Amplitude)

\*\* 위상각(Phase angular)

排出量, 風速, 交通量 等の 影響을 받고 있다고 하였다.<sup>15,16)</sup>

TSP는 SO<sub>2</sub> 濃度의 變化와 같은 形態를 띠다고 하였다.<sup>2,17)</sup> 그러므로 SO<sub>2</sub>와 TSP는 地球의 自轉 및 空轉 등의 自然 現象 보다도 人爲的인 要因에 影響을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

設計된 Fourier 係數를 24時間 週期性 變動 狀態를 나타내는 SO<sub>2</sub>와 TSP의 支配的인 週期 成分의 時系列은 다음과 같은 式으로 表示할 수 있다.

$$X_F \text{ SO}_2 = 0.06 + 0.03 \cos \left\{ \frac{2\pi jt}{840} + 1.47 \right\} \dots (2)$$

$$X_F \text{ TSP} = 88.8 + 34.3 \cos \left\{ \frac{2\pi jt}{840} + 0.376 \right\} \dots \dots \dots (3)$$

2. 時間別 SO<sub>2</sub> 濃度에 대한 ARIMA(p, d, q)

(P, D, Q)s 模型 및 豫測

ARIMA 模型 設定에 利用된 資料는 840個의 時間別 資料로 調和分析을 通하여 調和函數 3次까지 考慮하여 週期性을 除去시킨 殘差 時系列 Zt를 原時系列 Zt로 간주하여 季節型인 ARIMA(p, d, q) (P, D, Q)s 模型에 適用시켰다. Table 3에서 나타난 바와 같이 SO<sub>2</sub>의 週期는 24時間이 支配的인 임을 알 수 있었다. 그러므로 ARIMA 模型에 適用한 週期는 24時間을 基本 週期로 適用하였다. Box-Jenkins의 理論에 의하면 AR(1) 模型은 ACF가 指數 減少나 振動 減少를 나타내는 傾向이 있고 AR(2) 模型은 sine 形態의 減少를 한다 고 하였다.

Fig. 2는 계차 (d, D)에 따른 ACF와 PACF를 圖示하였으며, d=1, D=1, d=1, D=2로 주어 젤 있을 境遇 K=3, 5, 6, 7에서 信賴限界를 超過 하며 나머지 값들은 信賴區間內에 存在하므로 White noise에 가깝게 됨을 알 수 있다.

PACF는 時系列의 時間 遲滯에 의한 두 觀測值의 關係가 얼마나 密接한가를 나타내는 尺度이다. Fig. 2에서 d=1, D=1로 주어 젤 있을 境遇 K=2에 信賴限界를 超過하고 있다. 그러나 매우 돌출한 값을 볼 수 없으므로 순수한 AR로 判別하기는 어렵고, AR과 MA項의 混合된 模型으로 判別된다. d=1, D=2에서도 週期 傾向이 많이 減少되었음을 알 수 있다. 따라서 季節型 또는 非季節型 MA 項을 包含된 것으로 判斷된다.<sup>18,19)</sup>

ACF와 PACF를 通하여 다음과 같이 模型을 ARIMA(1,1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub>, ARIMA(1, 1, 0) (0, 1, 1)<sub>24</sub>, ARIMA(2, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub>로 設定하였다.

選擇된 母數를 Σat<sup>2</sup> (φ<sub>1</sub>, φ<sub>2</sub>, Φ<sub>1</sub>, θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>)에 最小가 되도록 推定하였다. 母數의 自乘 合의 變化가 0.00001 以下로 減少되면 推定을 中斷하였다.<sup>18)</sup>

推定 結果 母數 및 Log likelihood, AIC 등의 結果值를 Table 4에 나타냈다.

Log likelihood의 값이 가장 적은 模型은 ARI-MA(1, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub> 模型이며 單純性 檢定과 AIC를 基準으로 하여 다른 模型과 比較하여 볼 때에도 가장 適合하게 나타났다.

殘差 成分에 대한 獨立的인 確率 成分 與否에 대한 檢定인 Q\* 檢定을 보면 세가지 模型이 모두 獨立的인 確率 成分으로 判定되었다. 이 중 ARI-

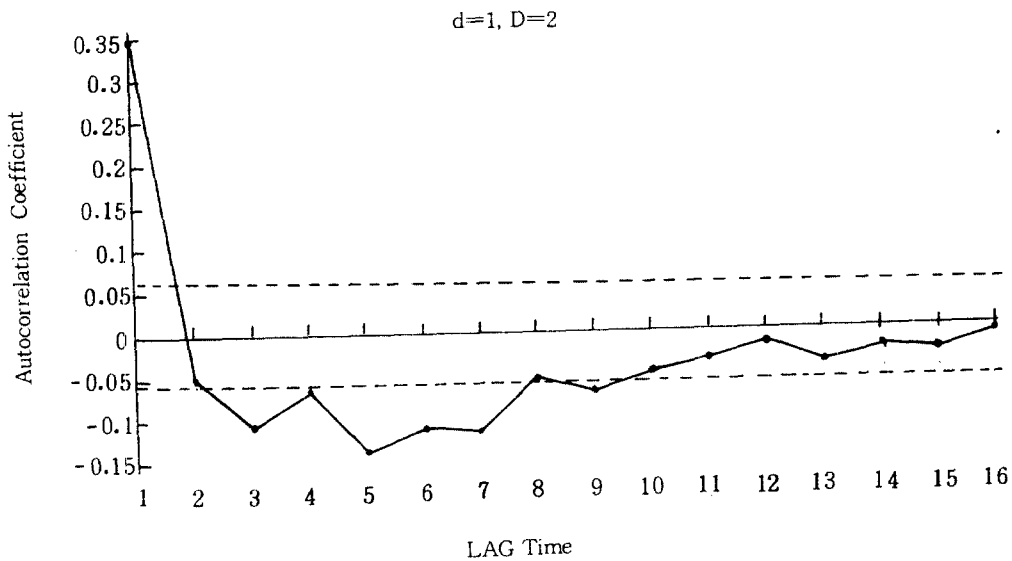
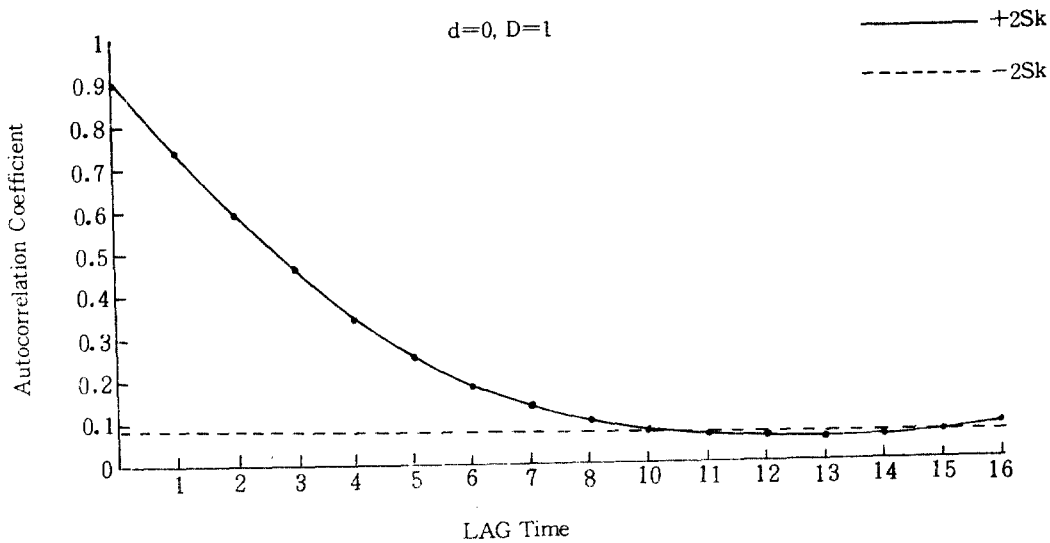


Fig. 2. Autocorrelation coefficients for hourly SO<sub>2</sub>.

MA(1, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub> 모델이檢定統計量 Q\*가 가장 낮으로 나타났다.

서울市 光化門 地域의 時間別 SO<sub>2</sub> 濃度에 대한 豫測은 1991年 2月 4日부터 同年 3月 10日까지 觀測 時系列을 基礎로 模型을 選定하여 4日간의 豫測을 實施하였다. Fig. 3은 ARIMA(1, 1, 0)

(0, 2, 1)<sub>24</sub> 模型을 이용한 豫測置이다.

豫測 結果 午前 10時를 基準으로 Peak치를 나타내고 있는데 이는 Kilchenmann(1989) 등이 Baden-Wuerttemberg의 大氣汚染 分析에서 SO<sub>2</sub> 濃度는 交通量과 暖房燃料 使用 시기에 影響을 받는다고 밝힌 結果와 類似함을 알 수 있다.<sup>21)</sup>

Table 4. Parameter estimation of ARIMA (p, d, q) (P, D, Q)<sub>s</sub> model

Parameters	Parameters					Variance	Variance reduction	AIC	Log likelihood	-Q*	x <sub>2</sub>
	$\phi_1$	$\phi_2$	$\Phi_1$	$\theta_1$	$\theta_1$						
(1, 1, 0)	0.378	-	-	0.935	-	0.0009	70	3339	1672	23.15	25.8
(0, 2, 1)											
(1, 1, 0)	0.298	-	-	0.979	-	0.0004	86.7	4062	2035	24.67	33.47
(0, 1, 1)											
(2, 1, 0)	0.451	-0.189	-	0.935	-	0.0009	70	3363	1685	32.80	35.20
(0, 2, 1)											

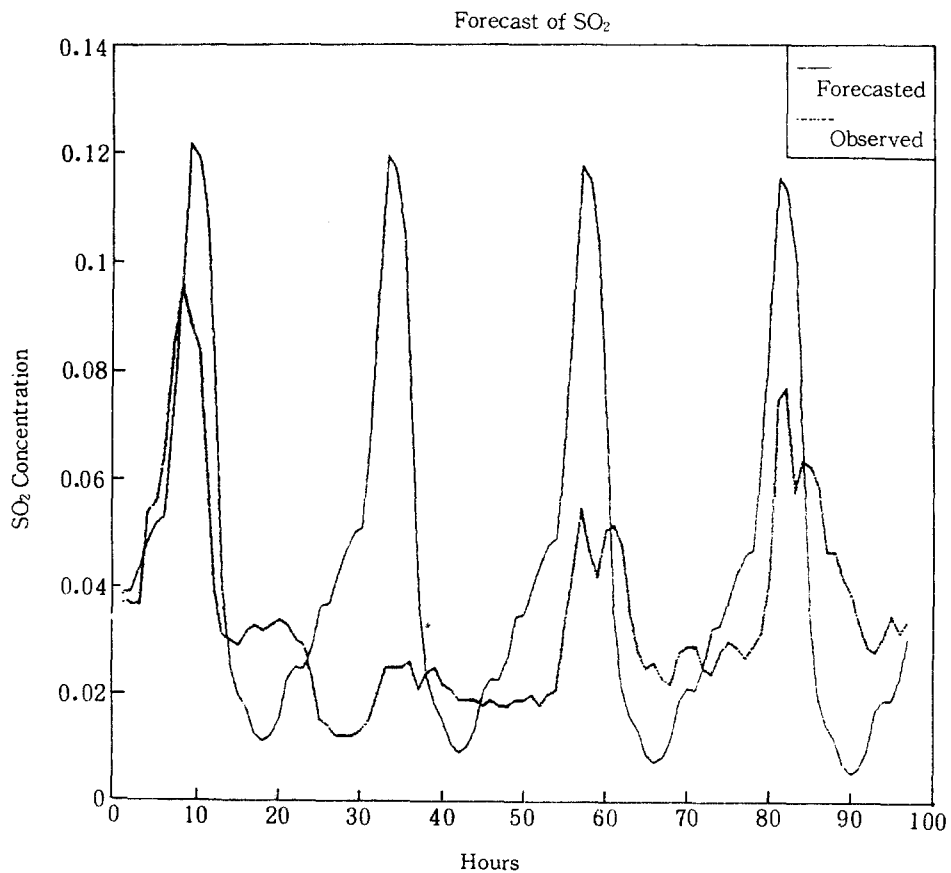


Fig. 3. Observed SO<sub>2</sub> and forecasted SO<sub>2</sub> using ARIMA(1, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub>.

## V. 結 論

本 研究는 大氣自動 測定器로 測定된 光化學 地域의 1991年 2月 4日 부터 同年 3月 10日 까지 連續 測定된 SO<sub>2</sub>, TSP, O<sub>3</sub>에 대한 時系列을 分析하여 週期性和 變動 狀態를 究明하였다.

週期性和 變動 狀態에 대한 分析 技法으로는 調和 分析, Sepctrum 分析, 自己相關分析 等의 技法을 使用하였고 推計學的 模型 分析에는 ARIMA (p, d, q) (P, D, Q)<sub>s</sub> 模型을 適用시켰으며 그 結果는 다음과 같다.

1. 時間別 大氣質의 時系列은 주로 24時間의 週期和 12時間 週期로 變動하였다. 12時間 週期는 燃料 使用 時間과 交通量에 影響을 받은 것으로 判斷된다.

2. 時間別 SO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>과의 相關係數는 -0.4735로 서로 逆相關性을 나타내고 있으며, SO<sub>2</sub>와 TSP와의 相關係數는 0.5282로 正相關 關係를 나타내고 있다.

3. 時間別 SO<sub>2</sub> 時系列에서 自己相關函數와 偏自己 相關 函數를 移用하여 判別된 模型은 ARIMA(1, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub>, ARIMA(1, 1, 0) (0, 1, 2)<sub>24</sub>, ARIMA(2, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub>이며, 이중 가장 適合한 것은 ARIMA(1, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub>이며, 이중 가장 適合한 것은 ARIMA(1, 1, 0) (0, 2, 1)<sub>24</sub> 模型으로 分析되었다.

## 參 考 文 獻

- 1) 김종호 : 추계학적 모형을 응용한 SO<sub>2</sub> 농도의 단기 예측에 관한 연구, 서울 시립대학교 대학원, 환경공학과, 석사학위논문, 1988.
- 2) 차철환, 노재식, 김영철, 김승환, 이영복, 윤명조, 이태희, 구연창 : 대기오염, 산업공해연구소, 서울, 420, 1981.
- 3) 이흥근 : 한강수질 하류부의 수질 변동에 대한 추계학적 특성, 서울대학교 대학원, 토목공학과, 박사학위논문, 1982.
- 4) 이준호 : ARIMA 모형을 이용한 한강의 DO 변동분석, 서울대학교 보건대학원, 환경보건학과, 석사학위논문, 1991.

- 5) Mabert, V. A., : An Introduction to Short Term Forecasting Using the Box-Jenkins Methodology, AIIE Production Planning and Control Division series, **2**, 1975.
- 6) Box, G.E.P., Jenkins, G., : Time Series Analysis, Forecasting and Control, Holden-day, Sanfrancisco, Calif., 1976.
- 7) Tac, T. C., Delleur, J. W., : Seasonal and Nonseasonal ARMA Models in Hydrology, J. Hydraul. Eng. Div. ASCE, 102(HY10), 43~57, 1976.
- 8) Tiao, G. G., Box, G. E. P., Analysis of Los Angeles Photochemical Smog Data : A Statistical Overview, JAPCA, **25**(3), 1975.
- 9) Tiao, G. C., Box, G. E. P : A Statistical Analysis of the Los Angeles Ambient Carbon Monoxide Data, JAPCA, 1985~1972, **25**(1), 1975.
- 10) Gleit. A., SO<sub>2</sub> Emissions and Time Series Model, JAPCA, **35**(2), 1985.
- 11) 김광진, 이성훈, 정용 : ARIMA model에 의한 서울시 일부지역 SO<sub>2</sub> 오염도의 월별화에 대한 시계열 분석, 한국대기보전학회지, **4**(2), 77~81, 1988.
- 12) 환경처, 대기자동측정 자료, 1991.
- 13) 김민영, 강희곤, 이완중, 장봉훈, 박성배 : 서울 지역의 광화학 오염물질 농도 현황 및 기상인자의 영향에 관한 연구, 서울시 보건 환경 연구원소보, **24**, 222~271, 1988.
- 14) 김민영, 박상현, 박성배 : 서울지역의 광화학 오염물질 농도 현황 및 기상인자의 영향에 관한 연구, 서울시 보건 환경 연구원소보, **22**, 223~224, 1986.
- 15) 강인구, 김양균, 나진균, 이석조, 유승도, 김진규, 김정수, 박보현 : 대기오염 예측 모델 개발에 관한 연구(Ⅲ), 국립 환경연구원보, **10**, 213~224, 1988.
- 16) 강인구, 김양균, 나진균, 이석조, 유승도, 김정수, 이재인, 박보현, 상영규 : 도시 지역 대기질 개선에 관한 연구(Ⅰ), 국립 환경 연구원보, NIER NO. 89-09-258, **86**, 1989.

- 17) Seinfeld, J. H., Ozone Air Quality Models : A Critical Review, JAPCA, **38**(5), 1988.
- 18) Mehat, B. M., Ahlert, R. C., : Stochastic Variation of Water Quality of the Passaic River, Water Resour. Res., **11**(2), 300~308, 1975.
- 19) Hipel, K. W., McLeod, A. I., Lennox, W. C., Advances in Box-Jenkins Modeling 2. Application, Water Resource Reserach, **13**(3), 577~586, 1977.
- 20) Akaike, H., : A New Look at the Statistical Model Indentification, IEEE Trans. Autom. Control **19**(6), 716~723, 1974.
- 21) Kilchenmann, A., Henning, K., Gries, A., : Air pollution in Baden Wverttemberg, DE 89770188, **33**, 1989.