

環境大氣中 水銀의 分布와 動態에 關한 研究 (I)

金旻永 · 姜熙坤 · 朴聖培

서울特別市 保健環境研究所

Study of Distribution and Behaviour of Mercury in Ambient Air

Min Young Kim · Hee Gon Kang · Sung Bae Park

*Seoul Metropolitan Government Institute
of Health and Environment*

Abstract

This study was conducted to measure the diurnal variation and behaviour of atmospheric mercury in an urban area by gold amalgamation and cold vapour atomic absorption spectrophotometry.

The results were as follows:

1. The Hg concentration in ambient air averaged 21.13ng/m^3 for 111 determinations (C.V. 78.5) in urban area and 5.91ng/m^3 for 140 determinations (C.V. 21.3) in suburban area. The urban area concentration was significantly higher and fluctuated more than its rural counterpart.
2. Regression analysis of the interaction between mercury concentration and other components showed a significant correlation between mercury concentration and sulfur dioxide; also, TSP were found. Mercury concentration was shown to have a similar behaviour, on the whole, with other air pollutants.
3. It demonstrated a positive correlation with sunlight (UV-ray), while it had a negative response to wind speed and humidity. Its concentration showed a tendency to increase during calm weather specifically.
4. The Hg concentration at the Mt. DōkYou inland clean area ranged from 1.33ng/m^3 to 2.0ng/m^3 , with a mean value of 1.63ng/m^3 .

I. 緒 論

때문에 全地球的 規模의 循環은 大氣圈이 重要한 役割을 하게 된다.'
大氣中이나 大氣圈에 密接하게 關聯있는 環境大氣中の 水銀濃度와 이들 사이의 移動에 關水銀과 그의 化合物은 높은 蒸氣壓을 갖기

한 研究는 最近 活潑히 遂行되고 있는 便이다^{2~15}.

따라서 現在까지 大氣圈, 生物圈, 水圈, 또는 影響面에 있어서 水銀의 舉動은 상당히 究明되었으나¹⁶, 우리 나라에 있어서 大氣圈의 水銀舉動은 短偏的인 極히 一部の 調査가 있을 뿐이다^{17~19}.

水銀의 有用性은 溫度計, 水銀電池나 마노메타, 農藥, 顔料 그리고 各種 藥品이나 觸媒等 그의 用途가 극히 넓은 것으로 理解하였으나 미나마타病이 發生한 以來 水銀은 사람에게 가장 거리는 元素로서 널리 알려지게 되었다.

미나마타病 發生 以後 1960 年에도 新潟縣 河川流域에서 水中의 여러 生物間의 食物連鎖를 經由한 메칠水銀中毒事件이 發生하였으며^{20~21} 大氣中에는 生産活動의 增加와 더불어 水銀放出量의 增大가 豫測되어 大氣圈에 있어서의 水銀의 舉動에 關한 研究는 그 重要性이 더욱 增大될 것이 分明하다.

大氣中의 水銀舉動에 關한 研究가 적은 것은 大氣環境中의 水銀測定法上의 問題 때문에 由 判斷된다.

즉, 日本環境廳指針에 나타난 方法은 黃酸酸性 - 環元氣化原子吸光光度法이었으나²² 試藥 Blank 值가 높고, 捕集에 長時間이 所要되며, 二酸化망간이 Impinger 壁에 附着되며, 捕集後 即時 定量分析을 實施하여야 하는 등의 缺點²³이 있으므로 現在 日本環境廳에서도 環境大氣調査에는 使用하지 않는 것으로 알려져 있다²⁴.

이에 代身하여 乾式捕集 - 加熱氣化原子吸光光度法이 많이 쓰이고 있으며 活性炭을 捕集劑로 하는 方法²⁵도 있으나 再現性이 나쁜 것으로 평가되고 있다²³.

一般的으로는 金(Au)이나 은(Ag)을 이용하여 水銀을 아말감으로 하여 捕集하는 方法이 쓰이고 있으며 金(Au)이 捕集劑로서 쓰일 때의 形態로서는 金(Au)을 여러가지의 坩堝表

面에 附着시킨 金 - 海砂²⁶, 金 - 유리 beads²⁷, 金 - chromosorb²⁸, 金 - 石英 wool^{29~30}, 多孔質金³⁰ 등이 報告되고 있다

또한 銀을 捕集劑로서 쓰는 方法도³² 있지만 長時間 使用하면 硫化水素나 亞黃酸가스 등의 大氣中 防害物質이 銀表面에 coating 되어 捕集效率이 나빠지는 點 등이 指摘되고 있다²³.

그中 chromosorb W에 金を 코팅한 捕集劑를 쓰는 것이 缺點이 적은 良好한 結果를 나타내는 것으로 알려져 있으며³³ 이를 捕集劑로 해서 金아말감 - 冷原子吸光光度法을 使用한 自動連續測定裝置가 報告되어 있고³⁴ 本 調査時 이를 利用하였다.

우리 나라에서 環境대기중 水銀의 濃度分布와 動態에 關한 研究는 거의 없으며 이의 管理對策을 위한 基本資料로서 참고코저 本 研究에 착수하였으며 앞으로도 계속 수행할 계획이며 일부의 知見을 얻었기 보고한다.

II. 實驗方法

1. 調査對象 및 調査期間

本 研究의 調査對象은 서울市의 都心地域인 漢南洞과 서울市 外郭 田園地域인 서울大公園의 2 個所를 對象으로 하여 都心地域은 1987 年 8 月 12 日부터 8 月 17 日까지 5 日間, 漢南洞 서울市保健環境研究所 大氣汚染自動測定室에서, 田園地域은 1987 年 8 月 6 日부터 8 月 12 日까지 6 日間 서울市 郊外의 서울大公園內에서 連續測定을 實施하였다.

2. 水銀測定方法

大氣中 水銀의 連續測定은 氣中水銀分析裝置(Nippon Instrument 社製 Mercury Monitor AM-1)을 使用하여 30 分 單位로 測定하였다.

裝置는 Fig.1과 같이 洗氣除濕部, 水銀捕集部, 檢出部로 構成되어 있고, 0.5 l/min의 流速으로 試料空氣를 捕集하여 緩衝液(pH 6.86)으로

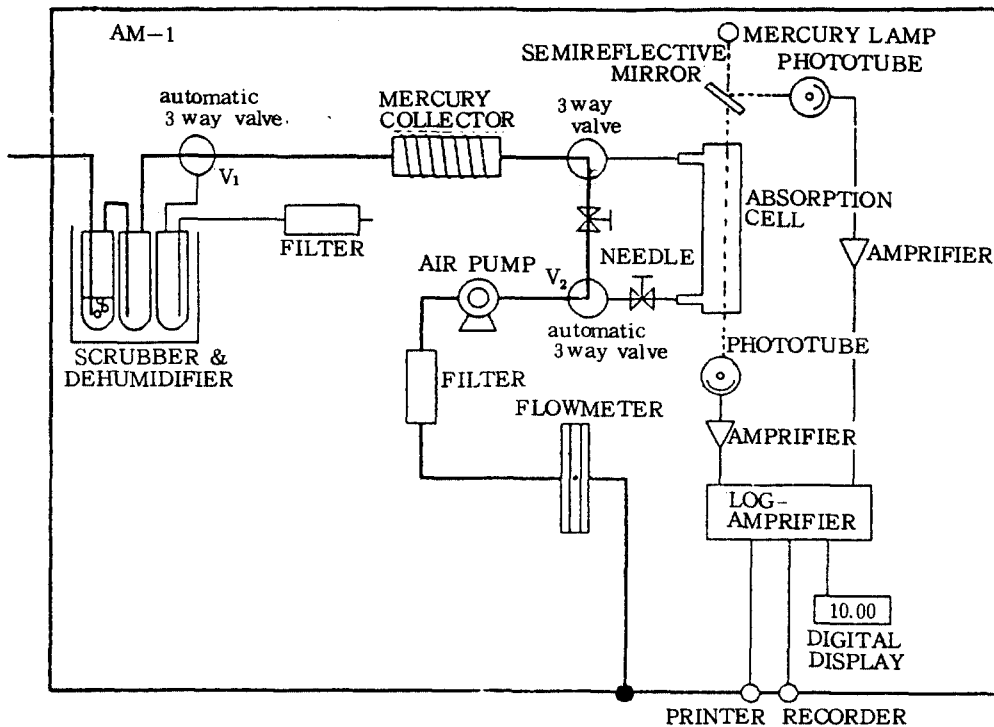


Fig. 1. Schematic diagram of apparatus for the determination of mercury in ambient air by cold vapor atomic absorption spectrophotometry.

洗氣한 後 除濕하여 150 °C로 豫熱되어 있는 水銀捕集管에 水銀을 金-아말감으로서 捕集한 後, 水銀捕集管을 約 700 °C로 急加熱하여 流量 0.3 l/min 으로 吸收 cell에 導入 冷原子吸光度法(cold vapour atomic absorption spectrophotometry)에 의하여 水銀量을 定量하도록 되어 있다. 檢出限界(SN比=2)는 0.01 ng (nanogram)이다.

水銀捕集管(Fig. 2)는 石英유리管(ID4mm, OD 6mm)에 $\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1g 을 數ml의 D.W에 녹인 溶液에 chromosorb P(AW) 32 mesh의 것 3g을 含浸시켜 管狀爐에서 空氣를 흐르게 하면서 約 800 °C에서 30분간 加熱한 後 80mg 을 充塡시킨 것을 使用하였다.

가스狀水銀標準試料는 室溫에서 放置한 飽和 水銀蒸氣 chamber(Fig. 3)에서 100 μl gas

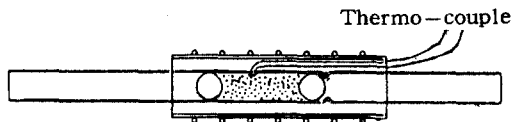


Fig. 2. Mercury collector

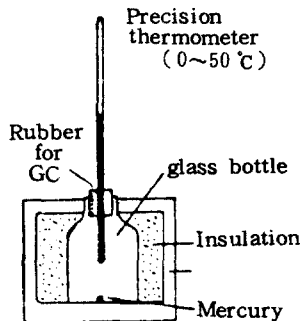


Fig. 3. Saturated mercury vapor bottle

Table 1. Mercury vapor density

Temp	Density	Temp	Density	Temp	Density	Temp	Density	Temp	Density
°C	ng/ml	°C	ng/ml	°C	ng/ml	°C	ng/ml	°C	ng/ml
0.0	2.179	0.2	2.225	0.4	2.271	0.6	2.319	0.8	2.368
1.0	2.417	1.2	2.465	1.4	2.514	1.6	2.564	1.8	2.614
2.0	2.666	2.2	2.716	2.4	2.766	2.6	2.818	2.8	2.871
3.0	2.924	3.2	2.978	3.4	3.033	3.6	3.089	3.8	3.146
4.0	3.204	4.2	3.264	4.4	3.325	4.6	3.388	4.8	3.451
5.0	3.516	5.2	3.583	5.4	3.650	5.6	3.719	5.8	3.789
6.0	3.861	6.2	3.933	6.4	4.007	6.6	4.083	6.8	4.159
7.0	4.237	7.2	4.316	7.4	4.396	7.6	4.478	7.8	4.561
8.0	4.645	8.2	4.731	8.4	4.817	8.6	4.905	8.8	4.994
9.0	5.085	9.2	5.178	9.4	5.273	9.6	5.369	9.8	5.467
10.0	5.567	10.2	5.666	10.4	5.767	10.6	5.870	10.8	5.974
11.0	6.079	11.2	6.187	11.4	6.296	11.6	6.407	11.8	6.519
12.0	6.633	12.2	6.751	12.4	6.870	12.6	6.992	12.8	7.115
13.0	7.240	13.2	7.369	13.4	7.501	13.6	7.635	13.8	7.771
14.0	7.909	14.2	8.049	14.4	8.191	14.6	8.335	14.8	8.481
15.0	8.630	15.2	8.781	15.4	8.935	15.6	9.092	15.8	9.251
16.0	9.412	16.2	9.575	16.4	9.742	16.6	9.910	16.8	10.081
17.0	10.255	17.2	10.429	17.4	10.604	17.6	10.783	17.8	10.964
18.0	11.148	18.2	11.337	18.4	11.529	18.6	11.724	18.8	11.922
19.0	12.123	19.2	12.328	19.4	12.536	19.6	12.747	19.8	12.961
20.0	13.179	20.2	13.400	20.4	13.623	20.6	13.851	20.8	14.081
21.0	14.315	21.2	14.553	21.4	14.795	21.6	15.040	21.8	15.289
22.0	15.542	22.2	15.800	22.4	16.061	22.6	16.326	22.8	16.596
23.0	16.869	23.2	17.148	23.4	17.431	23.6	17.718	23.8	18.010
24.0	18.306	24.2	18.606	24.4	18.911	24.6	19.220	24.8	19.534
25.0	19.852	25.2	20.174	25.4	20.500	25.6	20.830	25.8	21.166
26.0	21.506	26.2	21.853	26.4	22.204	26.6	22.560	26.8	22.922
27.0	23.289	27.2	23.660	27.4	24.036	27.6	24.418	27.8	24.805
28.0	25.198	28.2	25.598	28.4	26.003	28.6	26.415	28.8	26.832
29.0	27.255	29.2	27.685	29.4	28.121	29.6	28.564	29.8	29.012
30.0	29.467	30.2	29.928	30.4	30.395	30.6	30.868	30.8	31.348
31.0	31.835	31.2	32.329	31.4	32.830	31.6	33.339	31.8	33.854
32.0	34.376	32.2	34.908	32.4	35.448	32.6	35.995	32.8	36.549
33.0	37.111	33.2	37.681	33.4	38.258	33.6	38.843	33.8	39.437
34.0	40.038	34.2	40.647	34.4	41.264	34.6	41.889	34.8	42.523
35.0	43.165	35.2	43.819	35.4	44.481	35.6	45.152	35.8	45.832

Table 2. Measuring & calibration method.

Item	Model	Measuring method	Calibration method
SO ₂	KIMOTO Model -314	Electro conductivity method	Standard solution method
TSP	KIMOTO TD-10	Tape Sampler (Light transmittance method)	Standard film method (Optical density value)
NO _x	KIMOTO Model -258	Chemiluminescence method	Gas phase titration method
Oxidant	KIMOTO Model -813	Chemiluminescence method	Gas phase titration method
CO	KIMOTO Model -520	Non Dispersive Infrared Ray method (NDIR)	Static method (high pressure cylinder method)
HC	KIMOTO Model -712	Flame Ionization Detector method (GC)	Static method (high pressure cylinder method)
Wind speed	KIMOTO WDS-102	Cup anemometer	DC generator (1000 mile/hr at 369 rpm)
Wind direction	KIMOTO WDS-102	Flat plate wind vane	Potential meter calib
Temperature	YEW Type 2577	Semiconductor	Standard glass thermometer
Humidity	YEW Type 2577	By computing from ambient temperature and dew point	Standard hygrometer
UV	KIMOTO UV-300	UV-ray sensor	Standard radiation lamp

tight syringe 으로서 一定量 採取한 것을 使用하였다.

水銀量은 飽和水銀蒸氣 chamber 內의 溫度를 計測하여 그의 溫度에서의 飽和水銀蒸氣壓에서 計算에 의하여 算出하였으며 (Table 1 參照) 流量計의 Reading 과 通氣時間에서 體積을 求하여 單位體積當의 水銀量으로 計算하였다.

3. 大氣汚染物質濃度 및 氣象因子測定

亞黃酸가스, 浮遊粉塵, 窒素酸化物(NO, NO₂ 및 NO_x), 一酸化炭素, 옥시단트, 總炭化水素, (THC, non-CH₄ & CH₄系 炭化水素) 등의 汚染物質濃도와 風向, 風速, 氣溫, 濕度, 紫外線(UV) 등 氣象data는 都心地域에서는 漢南洞 大氣汚染自動測定所에서 觀測된 Data를 利用하였으며 田園地域은 自動測定所와 同一한 裝備가 搭載된 Mobile Lab을 利用 同時에 連續 測定하였으며 各 測定項目別 測定器種과 較正方法은 Table 2 와 같다.

III. 結果 및 考察

1. 都心地域

都心地域의 環境大氣中 水銀濃度の 經時變化를 다른 汚染物質과 함께 Fig.4 에 나타내었다.

大氣中 水銀濃度は 30 分値로서 最高 131.0 ng/m³, 1 時間값으로서 90.98 ng/m³, 平均值는 21.13 ng/m³, 變動係數는 78.5 였다 (Table 3). 大氣中 水銀濃度の 變動은 SO₂와 TSP 등의 濃度變動과 잘 一致하는 것으로 나타났고, 大氣中 水銀濃도와 의 相關係數는 亞黃酸가스는 0.333 浮遊粉塵은 0.311 로서 이들 石炭系汚染物質濃도와 의 사이에 1%의 有意水準으로 相關이 認定되었다 (Table 4).

著者들의 調査³⁵⁾에 의하면 서울시에서 1 年間 放出되는 SO₂ Emission 量中 約 62%, 浮遊粉塵은 總排出量中 約 80%가 石炭燃焼에 의 한 것으로 나타났다.

石炭이 水銀의 重要發生源이라고 指摘한 Billings³⁶⁾에 의하면, 石炭燃焼火力發電所(66 萬 kw급)에서 水銀의 收支는 石炭中에 含有되어 있는 水銀의 約 90%가 가스狀水銀으로 排出되고 (2.3 kg/day) 約 10%가 재(灰) 中에

Table 3. Concentration of various air pollutants & meteorological factors at urban area (Hannamdong).

Item	n	mean \pm s. d	C. V	range	remark
Hg	111	21.13 \pm 16.59 ng/m ³	78.51	5.09 ~ 90.98	
SO ₂	106	18.1 \pm 9.76 ppb	53.92	7.0 ~ 59.0	
DUST	107	179.7 \pm 97.22 μ g/m ³	54.10	18.0 ~ 393.0	
NO	107	94.85 \pm 58.12 ppb	61.27	22.0 ~ 237.0	
NO ₂	107	23.8 \pm 9.75 ppb	41.88	3.0 ~ 53.0	
NO _x	107	118.1 \pm 63.95 ppb	54.14	27.0 ~ 276.0	
NO ₂ /NO _x	107	22.6 \pm 8.7 %	38.49	9.8 ~ 45.6	
O ₃	107	9.31 \pm 21.28 ppb	228.57	0 ~ 148.0	
CO	107	1.08 \pm 0.63 ppm	58.33	0.1 ~ 2.9	
CH ₄	30	3.50 \pm 0.194 ppm	5.54	3.13 ~ 4.0	
n-CH ₄	30	0.27 \pm 0.131 ppm	48.52	0.02 ~ 0.56	
THC	30	3.78 \pm 0.247 ppm	6.53	3.39 ~ 4.36	
UV	107	0.22 \pm 0.325 mW/cm ²	147.72	0.01 ~ 1.72	
WS	107	0.58 \pm 0.62 m/sec	106.89	0 ~ 2.70	
HUM	107	80.5 \pm 13.12 %	16.29	46.0 ~ 97.0	
TEMP	107	25.1 \pm 3.10 $^{\circ}$ C	12.35	21.1 ~ 34.2	

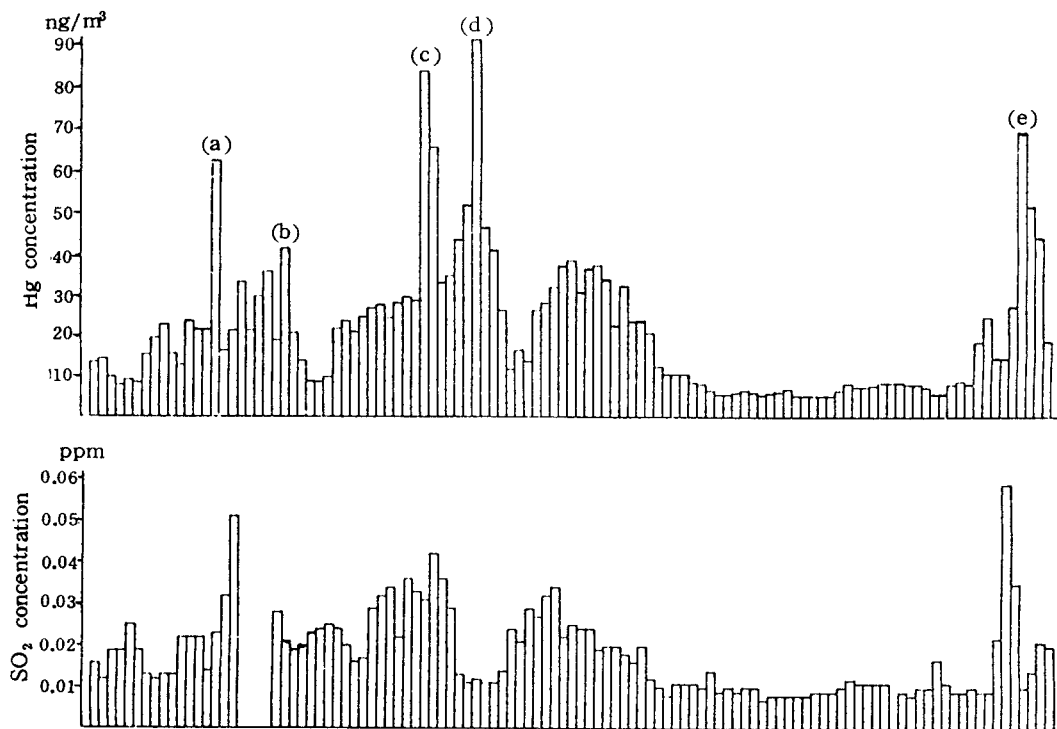


Table 4. Correlation coefficients between mercury and other pollutants at each site

Seoul Grand Park Hannamdong

	Hg	SO ₂	DUST	NO	NO ₂	NO _x	NO ₂ -NO _x	O ₃
Hg		0.421**	0.231**	0.106	0.028	0.085	0.058	-
SO ₂	0.333**		0.278**	0.386**	0.186*	0.352**	0.044	-
DUST	0.311**	0.547**		0.469**	0.465**	0.554**	0.279**	-
NO	0.071	0.310**	0.739**		0.418**	0.877**	-0.126	-
NO ₂	0.041	0.465**	0.669**	0.543**		0.803**	0.759**	-
NO _x	0.071	0.353**	0.773**	0.991**	0.646**		0.318**	-
NO ₂ /NO _x	0.086	0.014	-0.299**	-0.701**	0.091	-0.623**		-
O ₃	0.008	-0.078	-0.083	-0.248**	0.066	-0.215*	0.342**	
CO	0.180	0.484**	0.824**	0.851**	0.657**	0.873**	-0.463**	-0.075
CH ₄	0.296	-0.077	0.356*	0.488**	0.440**	0.495**	-0.140	-0.034
n-CH ₄	-0.042	-0.238	0.584**	0.602**	0.470**	0.598**	-0.259	0.130
THC	0.219	-0.175	0.593**	0.707**	0.598**	0.710**	-0.253	0.044
UV	0.264**	-0.113	-0.153	-0.339**	-0.016	-0.311**	0.486**	0.336**
WS	-0.565**	-0.468**	-0.525**	-0.296**	-0.292**	-0.314**	-0.004	0.057
HUM	-0.282**	-0.103	-0.144	0.080	-0.395**	0.013	-0.491**	-0.388**
TEMP	0.177	-0.094	-0.009	-0.263**	0.255**	-0.200*	0.576**	0.415**

	CO	CH ₄	n-CH ₄	THC	UV	WS	HUM	TEMP
Hg	0.040	0.156	-0.078	0.139	-	-0.018	0.005	0.107
SO ₂	0.142	-0.055	0.083	-0.035	-	-0.192*	-0.017	0.062
DUST	0.485**	0.138	0.473**	0.211	-	-0.235**	-0.181*	0.327**
NO	0.511**	-0.006	0.369**	0.059	-	-0.180*	0.164*	-0.169*
NO ₂	0.593**	0.025	0.378**	0.091	-	-0.117	0.276**	-0.311**
NO _x	0.650**	0.010	0.446**	0.088	-	-0.180*	0.254**	-0.275**
NO ₂ /NO _x	0.302**	0.146	0.237*	0.184	-	-0.029	0.206**	-0.192*
O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-
CO		0.155	0.329**	0.204	-	-0.244**	0.104	-0.062
CH ₄	0.498**		0.147	0.984**	-	0.030	-0.052	0.160
n-CH ₄	0.483**	0.097		0.314**	-	-0.339**	0.252*	-0.102
THC	0.652**	0.844**	0.615**		-	-0.032	-0.000	0.127
UV	-0.211*	-0.016	0.200	0.095		-	-	-
WS	-0.379**	-0.378*	-0.207	-0.410*	0.003		-0.351**	0.160*
HUM	-0.090	-0.066	-0.141	-0.131	-0.720**	0.019		-0.922**
TEMP	-0.050	-0.155	0.084	-0.078	0.739**	0.086	-0.935**	

* p < 0.05 ** p < 0.01

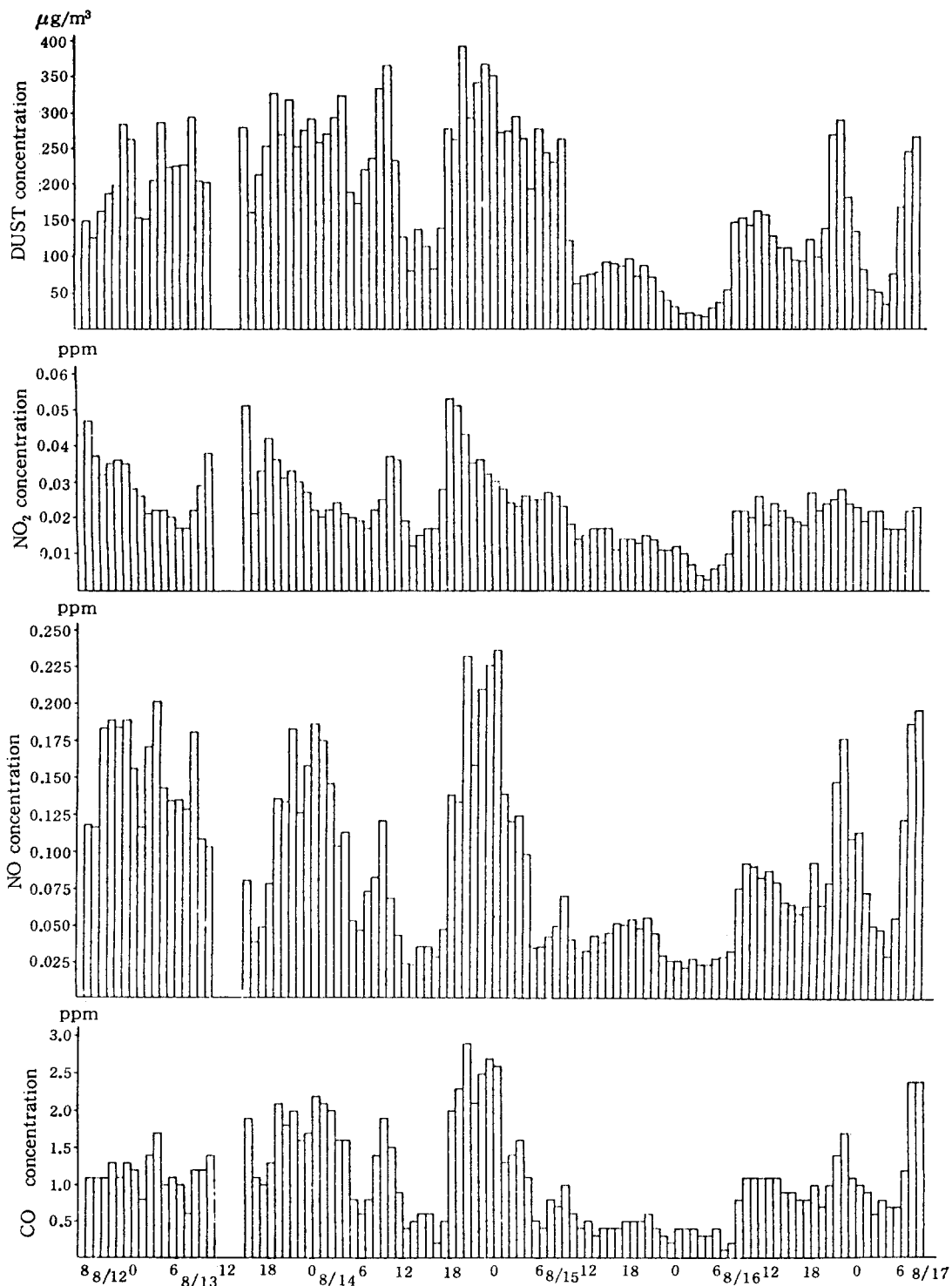


Fig. 4. Diurnal variation of mercury & other pollutants at urban area

남는다고 報告하고 있다.

單位時間當의 水銀排出量은 發電規模와 燃料炭中の 水銀濃度에 따라 크게 變化하고 石炭中の 水銀濃度는 産地에 따라 크게 다르며, $0.0x \sim 0.x \mu\text{g/g}$ 의 石炭이 많고³⁷⁾ 石炭中の 水銀濃度を $0.2 \mu\text{g/g}$ 으로 하여 그의 90%가 大氣中에 放出된다고 하면, 서울시에서 石炭消費量이 1986年度에 9,108,111ton³⁸⁾이므로 約 1.64 ton의 水銀이 石炭燃焼에 의하여 排出되었다고 할 수 있다.

大氣中 水銀이 이들 燃焼系汚染物質과 相關이 깊다는 이같은 傾向은 伊瀨等³⁹⁾이 東京에서, 松本³⁸⁾가 奈良市에서, 小林³⁹⁾ 등이 兵庫縣에서 各各行한 調査에서도 指摘하고 있고, 大氣中 水銀이 다른 燃焼系大氣汚染物質과 特히 石炭燃焼大氣汚染物質과 類似한 舉動을 나타낸다는 것을 類推할 수 있을 것이다. 及川⁴⁰⁾ 등이 銀아말감法으로 世田谷區에서 行한 大氣中水銀濃度 $2 \sim 17 \text{ ng/m}^3$ (平均 7 ng/m^3)와 伊瀨³⁹⁾ 등이 東京都廳앞에서 行한 平均濃度 9.8 ng/m^3 보다 多少 높은 濃度分布를 나타내고 있는 바 이는 實驗研究室的 室內空氣의 影響때문인 것으로 思料된다. 즉, Robert⁴¹⁾는 化學實驗室內 水銀濃도가 $398 \sim 930 \text{ ng/m}^3$ 인 것으로 밝히고 있고, 嚴¹⁷⁾이 實施한 測定結果도 實驗室內的 水銀濃度는 外氣보다도 約 15倍程度 높은 것으로 報告하고 있듯이 測定地點이 化學實驗室에서 不過 1m以內的 建物外側이므로 特히 낮勤務時 窓門을 開放하므로써 이의 影響이 있는 것으로 判斷된다. 燃焼系汚染物質中 窒素酸化物(NO , NO_2 & NO_x)과 一酸化炭素, 炭化水素 그리고 2차汚染物質인 Oxidant와는 相關성이 없는 것으로 나타났다.

또한 大氣中 水銀濃도와 氣象要因과의 關係를 보면 紫外線量과는 相關係數 0.264로서 正의 相關이 나타난 反面 溫度와는 相關성이 없는 것으로 나타났다.

McCarthy⁴²⁾는 California에서 行한 調査

結果 氣溫이 높은 12時頃에서 16時頃까지가 大氣中 水銀濃도가 높고 午前 3時頃에서 6時頃까지가 가장 낮게 되어 地表面에서의 水銀의 蒸發이 溫度에 依存한다고 報告하였는 바 水銀의 吸着平衡이 地表面溫度의 變化에 따라 敏感하기 때문에 氣溫의 上昇이나 日射量의 增加에 따라 大氣中の 水銀濃도가 上昇되리라는 것을 推察할 수 있다.

本 調査結果 日射量인 紫外線과는 高度로 有意한 相關이 認定된 反面 溫度와는 相關성이 없었던 바 이의 原因은 測定當時가 雨期로서 8月 15日과 16日에 걸쳐 各各 23.2 mm와 179.9 mm의 降雨量이 있었던 點과 水銀濃도가 比較的 높은 都心地域인 點等 때문인 것으로 思料된다.

또한 氣象因子中에서 風速과 濕度와는 各各 -0.565 , -0.282 로서 1% 有意水準에서 負의 相關을 나타내고 있는 바 이는 稀釋空氣量의 差異, 傳導, 對流, 蒸發에 의한 放熱效果等으로 因한 現象으로 매우 興味있는 結果로서 注目된다.

Fig. 4와 Fig. 5의 大氣中 水銀濃度の 經時變化에서 볼 수 있는 peak中 (a)~(e)는 亞黃酸가스濃度에서는 볼 수 없는 peak이며 (c)(d) 및 (e)는 亞黃酸가스와 浮遊粉塵濃度에서 共히 볼 수 없는 peak로서 모두 0.3 m/sec 以下の 無風狀態에서 나타났다.

2. 田園地域

서울市の 隣近 田園地域인 서울大公園에서 의 大氣中 水銀濃度の 經時變化는 다른 大氣汚染物質과 氣象因子와 함께 Fig. 6과 Fig. 7에 各各 나타내었으며, 이들 間의 相關係數 亦是 Table 4에 나타내었다.

大氣中 水銀濃度는 1時間值로서 最高 11.28 ng/m^3 平均値는 5.91 ng/m^3 變動係數는 21.31로서 都心地域에 比하여 低濃度인 同時에 變動도 적은 것으로 나타났다(Table 5).

燃焼系汚染物質인 亞黃酸가스와 浮遊粉塵과

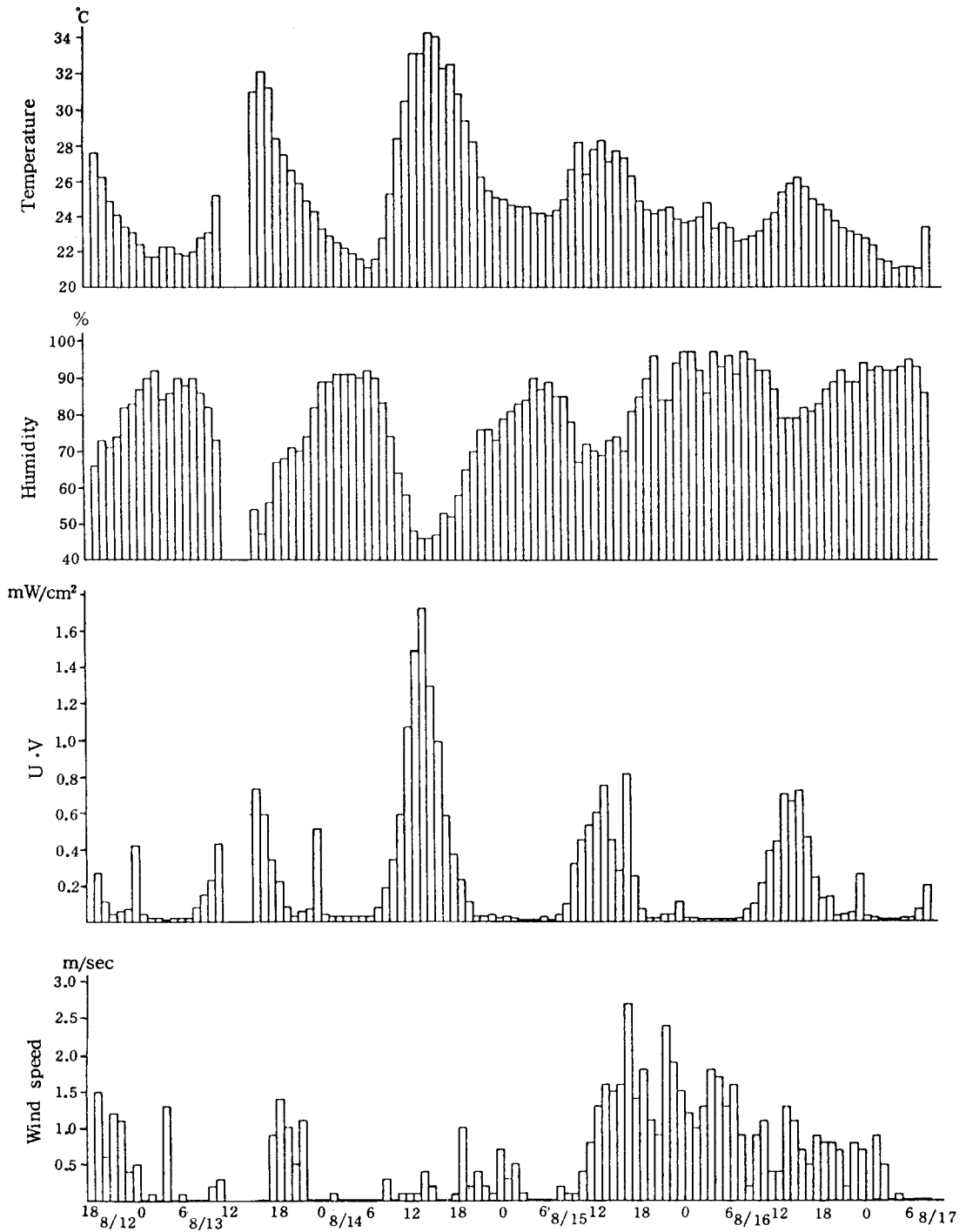
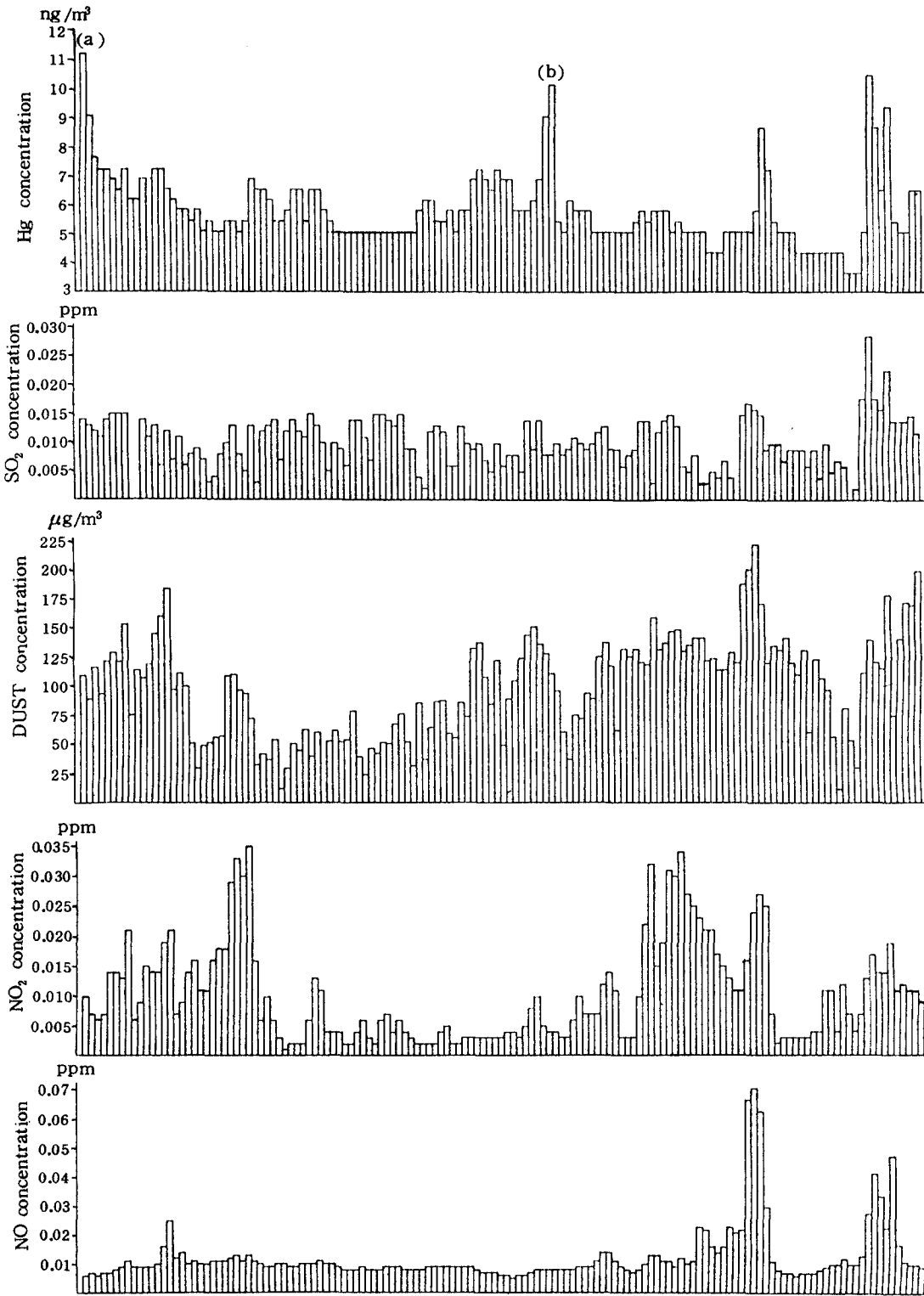


Fig. 5. Diurnal variation of meteorological factor at urban area



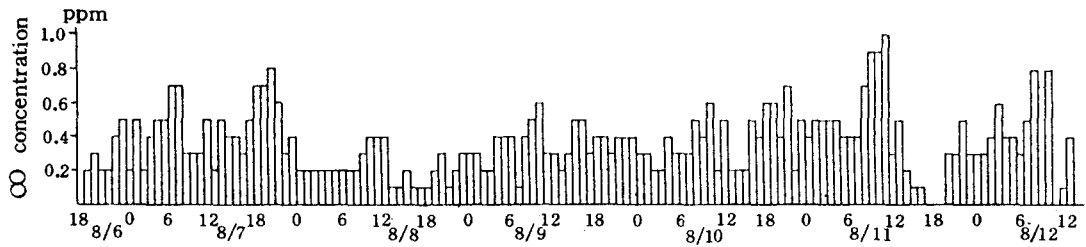


Fig. 6. Diurnal variation of mercury & other pollutants at suburban area

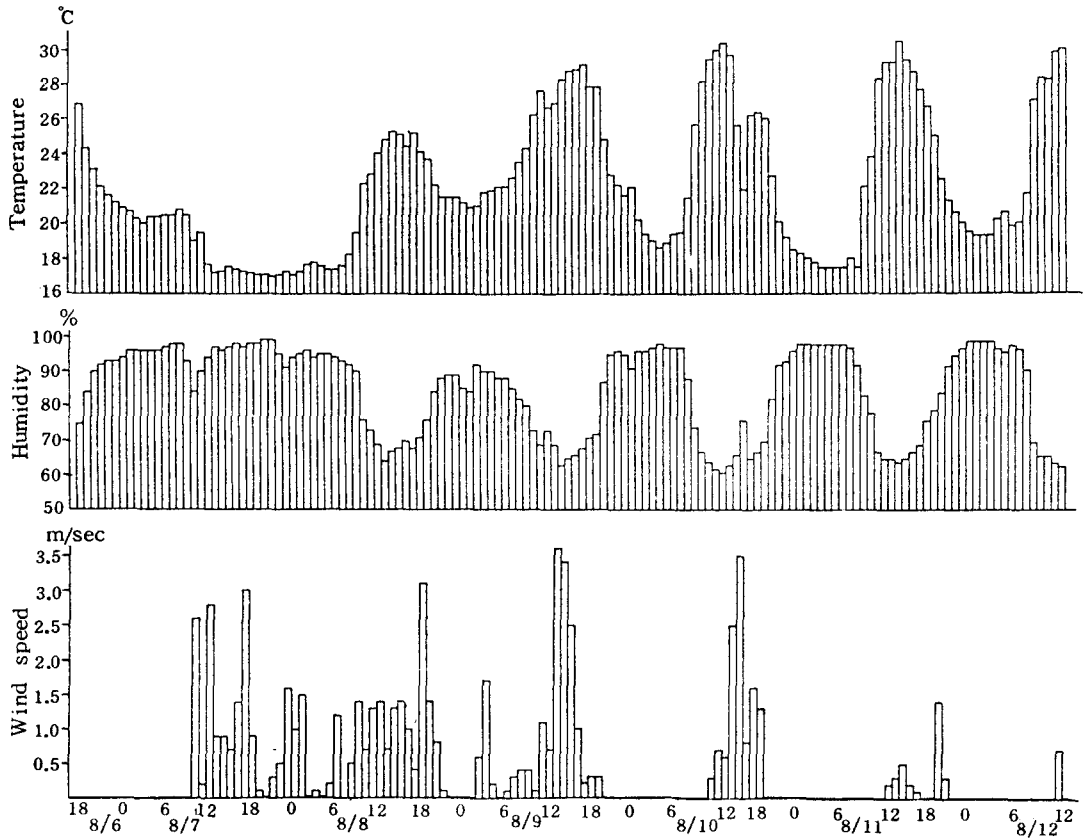


Fig. 7. Diurnal variation of meteorological factors at suburban area

의 사이에 1%의 有意水準에서 正의 相關關係에 있는 點은 都心地域과 대체로 一致하지만 氣象因子와는 어느 것 과도 相關性이 없는 點은 都心地域과는 달랐다.

燃燒系汚染物質中 窒素酸化物(NO , NO_2 & NO_x), 一酸化炭素, 炭化水素等과 相關性이 없는 點도 都心地域과 一致하였다.

Oxidant 와 UV는 測定치 못하였으며, 大氣中 水銀濃度와 溫度, 濕度, 風速等 氣象因子와 相關性이 없는 것으로 나타난 것은 前述한 바와 같이 季節의 雨期의 影響때문으로 보이며 8月 7日, 8日, 9日 및 12日에 各各 75.6 mm, 0.3mm, 0.2mm 그리고 9mm의 降雨現象이 있었다.

Table 5. Concentration of various air pollutants & meteorological factors at rural area (Seoul Grand Park)

Item	n	mean ± s. d	C.V	range	remark
Hg	140	5.91±1.26 ng/m ³	21.31	3.63 ~ 11.28	
SO ₂	136	10.2±4.27 ppb	41.86	2.0 ~ 29.0	
DUST	139	98.4±43.98 μg/m ³	44.69	12.0 ~ 224.0	
NO	140	12.3±10.25 ppb	83.33	5.0 ~ 71.0	
NO ₂	140	10.3±8.26 ppb	80.19	1.0 ~ 35.0	
NO _x	140	22.6±15.62 ppb	69.11	9.0 ~ 95.0	
NO ₂ /NO _x	140	42.1±15.7 %	37.29	9.1 ~ 76.9	
O ₃	-	-	-	- ~ -	
CO	136	0.37±0.18 ppb	48.64	0.1 ~ 1.0	
CH ₄	64	3.08±0.461 ppm	14.96	1.05 ~ 4.87	
n-CH ₄	64	0.17±0.084 ppm	49.41	0.01 ~ 0.39	
THC	64	3.25±0.48 ppm	14.76	1.16 ~ 5.03	
WS	140	0.48±0.815 m/sec	69.79	0 ~ 3.60	
HUM	140	85.1±12.68 %	14.90	61.0 ~ 99.0	
TEMP	140	22.2±3.98 °C	17.92	17.0 ~ 30.5	

Table 6. Atmospheric mercury levels in air at Mt. DökYou

Date	Weather	Sampling time (min)	Flow rate (l/min)	Total Hg (ng)	Concentration (ng/m ³)	Above the sea (m)	Sampling site
1987.9. 19	clean	21:30-22:30 (60)	0.5	0.08	1.33	960	BackRyunSa
9. 19	clean	22:30-23:30 (60)	0.5	0.08	1.33	960	"
9. 19	clean	23:30- 0:30 (60)	0.5	0.09	1.67	960	"
9. 20	clean	04:50-05:35 (45)	0.5	0.08	1.78	960	"
9. 20	clean	05:40-06:15 (45)	0.5	0.07	1.33	960	"
9. 20	clean	09:19-09:49 (30)	0.5	0.07	2.0	1614	HyangJökBong
9. 20	clean	13:07-13:57 (50)	0.5	0.09	2.0	-	Chilyönfalls

大氣中 水銀濃度の 經時變化에서 볼 수 있는 peak 中 (a)와 (b)는 SO₂와 TSP, 一酸化炭素, 窒素산화物(NO & NO₂) 등 다른 汚染物質에서 볼 수 없는 peak 였고, 특히 (b)는 溫度에서도 볼 수 없는 peak 였으며, 이들의 出現時는 無風狀態였다.

大氣中 水銀은 Background 濃度로서는 Williston⁴³⁾이 太平洋上에서 얻은 0.6~0.7 ng/m³이나 及川等⁴⁰⁾이 長崎縣에서 얻은 4ng/m³,

北海道에서의 2ng/m³ 등의 값이 알려져 있고, 著者들이 行한 德裕山頂에서 7回 行한 調査結果 1.33 ~ 2.0 ng/m³의 範圍로서 平均 1.63 ng/m³이었다(Table 6). 孫等¹⁸⁾이 실악산 오색약수부근의 계곡에서 行한 조사결과도 0.7 ~ 1.8 ng/m³ 였고 平均치는 1.2ng/m³ 이었다.

Background 濃度를 1.63 ng/m³로 본다면, 都心地域과 田園地域 모두 매우 높은 농도로서 t 검정결과 두 地域間에 매우 有意한 차이가 있

었다($P < 0.0000$).

IV. 結 論

都市地域에서 環境大氣中 水銀의 日中 濃度 變化 및 舉動을 把握키 爲하여 金아말감-冷原子 吸光光度法을 利用 서울市の 都心과 隣近 田園地域을 對象으로 水銀濃度の 連續測定을 行하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 都心地域은 平均 21.13 ng/m^3 (變動係數 78.5), 田園地域 平均 5.91 ng/m^3 (變動係數 21.3)으로 都心地域쪽이 濃度も 높고, 變動도 컸다.

2. 環境大氣中 水銀濃度는 亞黃酸가스와 TSP等 石炭系燃焼汚染物質濃度와의 사이에 正의 相關이 있고, 大氣中 水銀이 다른 汚染物質과 대체로 類似한 舉動을 나타내었다.

3. 都心地域에서는 大氣中 水銀濃도와 日射量(紫外線量)과의 사이에 正의 相關이 確認되었고, 風速, 濕度와는 負의 相關이 認定되었으며 無風時에 特異적으로 大氣中 水銀濃도가 上昇하는 傾向을 나타내었다.

4. 內陸淸淨地域으로서 德裕山은 2 ng/m^3 이하로서 平均 1.65 ng/m^3 의 濃도를 나타내었다.

參 考 文 獻

1. Andren, A.W., Nriagu, J.O.: The global cycle of mercury In: The biogeochemistry of mercury in the environment, ed. Nriagu, J.D., Elsevier, Amsterdam, pp. 1-21 (1979).
2. 大氣環境中の水銀, 福崎紀夫; 大氣汚染學會誌, pp. 1~12, (1986)
3. 伊瀬洋昭, 渡邊武春, 小野塚 春吉, 朝采野國彦, 大氣中水銀の分布と動態に関する調査(1), 東京都公害研究所報, pp. 57~64, (1984)

4. 龍澤 行雄, 皆川 興榮, 倉山 令子, 中村 功, 阿部 亨, 藤井 正美: 人間環境における水銀の舉動に關する研究: 日本公衛誌, vol. 23, No. 9, pp. 535~539, (1976)
5. 中川良三; 都市大氣中の粒子狀水銀濃度とその舉動, 日本化學會誌, vol. 4, pp. 709 ~ 713, (1985)
6. Oiva I. Joensuu: Fossil Fuels as a Source of Mercury Pollution, Science, Vol.172, pp. 1027-1028, (1971).
7. Yoshio Otani, Hitoshi Eml, Chikao Kan-aoka, Saburo Matsui: Behavior of Metal Mercury in Gases, Environ. Sci. Technol. Vol. 18, pp. 793-769 (1984).
8. E.E. Lewin, R.G. De Pena, J.P. Shimshock: Atmospheric gas and particle measurements at a rural Northeastern U.S. site, Atmospheric Environ. Vol. 20, No. 1, pp. 59-70, (1986).
9. J.D. Robertson, C.J. Price: An assessment of mercury emissions from the after copper smelter, British Columbia Canada, JAPCA, Vol. 36, No. 7, pp. 803-807, (1986).
10. Sanford M. Siegel, Barbara Z. Siegel: Geothermal hazards. Mercury emission, Environmental Science & Technology, Vol.9, No. 5, pp. 473-474, (1975).
11. Romano Ferrara, Biancaelena Maserti, Antonio Petrosino, Roberto Bargagli: Mercury levels in rain and air and the subsequent washout mechanism in a central Italian region, Atmospheric Environ. Vol. 20. No. 1. pp. 125-128, (1986).
12. Cliff I. Davidson, Suresh Santhanam, Roy C. Fortmann, Marvin P. Olson: Atmospheric transport and deposition

- of trace elements onto the Greenland Ice Sheet, *Atmospheric Environ. Vol.*, 19, No. 12, pp. 2065-2081, (1985).
13. 小林禧樹, 中川吉弘, 光木偉勝, 渡邊 弘; 着生地衣植物を用いた水銀による大気汚染の評価, *大気汚染學會誌*, vol. 21, No. 2, pp. 151~155, (1986)
 14. Cyrill Brosset: Transport of Airborne mercury emitted by coal burning into aquatic systems, *Wat. Sci. Tech. Vol.* 15, pp. 59-66, (1983).
 15. Harry M. Ohlendorf, Craig S. Harrison: Mercury, Selenium, Cadmium and Organochlorines in Eggs of Three Hawaiian Seabird Species, *Environmental Pollution (Series B)* 11, pp. 169-191, (1986).
 16. 龍天行雄, 藤井正美; 人間環境における水銀の挙動に関する研究 I, 気相中における光化学メチル反応, *日公衛誌*, 23, (9) (1976)
 17. 巖石源; 大氣中 水銀捕集法の改良と分析에 關한 究研, 서울시立大學校 都市行政大學院 碩士學位提出論文, (1986)
 18. 孫東憲, 趙冠英, 韓龍文; 都市大氣中 水銀 농도, *藥學會誌*, vol. 30, No. 6, pp. 281~287, (1986)
 19. 趙冠英; 金 amalgam 法에 依한 大氣中 水銀의 捕集과 分析에 對한 研究, (1985)
 20. Tsubaki, T., Irukayama K. ed.: *Minamata disease: Methyl mercury poisoning in Minamata and Niigata, Japan*, Kodansha, Tokyo (1977).
 21. 喜田村正次; 重金屬による環境汚染問題, *環境情報科學*, 8(3), pp.14~21(1979)
 22. 環境廳 大氣保全局; 昭和 56 年度大氣分析方法等指針, p.35. (1981)
 23. 中川良三; 環境に関する水銀分析とその検討, *PPM*, 9, pp. 18~27, (1978)
 24. 環境廳 大氣保全局 大氣規制課; 有害物質全國總點檢調查結果報告書, p. 6. (1984)
 25. Scaringelli, F.P., Puzak, J.C., Bennet, B.I., Denny, R.L.: Determination of total mercury in air by charcoal adsorption and ultraviolet spectrophotometry, *Anal. Chem.*, 46, pp. 278-283 (1974).
 26. Dumarey, R., Heindryckx, R., Dams, Hoste, J: Determination of volatile mercury compound in air with the Coleman mercury analyzer system, *Anal Chim. Acta*, 107, pp. 159-167 (1979).
 27. Fitzgerald, W.F., Gill, G.A.: Subnanogram determination of mercury by two-stage gold amalgamation and gas phase detection applied to atmospheric analysis, *Anal. Chem.* 51, pp. 1714-1720, (1979)
 28. 西 末雄, 堀本能之, 中野信雄; 燃焼法による有機物中の微量水銀分析法, *分析化學*, 23, pp.386~391, (1973)
 29. 大川時夫, 近藤雅信; 加熱分解法と金-石英ウールコレクターを用いる空氣中水銀の乾式捕集法, *衛生化學*, 23, pp.191~199, (1977)
 30. Yoshida, Z., Motoyama, K.: Rapid determination of mercury in air with gold coated quartz wool as collector, *Anal. Chim. Acta*, 106, pp. 405-410, (1979)
 31. 今枝一男, 大澤敬子, 捕集劑として多孔質金を用いる水銀分析, *分析化學*, 28, pp. 239~243, (1979)
 32. Long, S.J., Scott, D.R., Thompson, R.J.: Atomic absorption determination of elemental mercury collected from ambient air on silver wool, *Anal. Chem.*, 45, pp. 2227-2233, (1973).

33. Robert S. Braman, David L. Johnson: Selective Absorption Tubes and Emission Technique for Determination of Ambient Forms of Mercury in Air, *Environ. Scien. and Technology*, Vol. 8, No. 12, pp. 996-1003, (1974)
34. 谷田幸次, 福田洋之, 星野宗弘; 金アマルガム, 冷原子吸光法による氣中水銀の連續測定, *分析化學*, 32, pp. 352~356, (1983)
35. 金旻永, 韓商運, 金光振, 崔允燮, 李龍基, 朴相賢; PbO₂ Candle Method 및 Deposit Jar에 의한 서울市の 大氣汚染度 調査(第 19 報), *서울特別市 保健環境研究所報*, vol. 22, pp. 245~260, (1986)
36. Billings, C.E., Sacco, A.M., Matson, W.R. Griffin, R.M., Coniglio, W.R., Harley, R.A.: Mercury balance on a large pulverized coal-fired furnace, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 23, pp. 773-777, (1973).
37. 喜田村正次, 近藤雅臣, 瀧澤行雄, 藤井正美, 藤木素士; 水銀, 講談社, (1976)
38. 松本光弘; 一般環境および水銀鑛床地域における大氣中水銀濃度の舉動, *大氣汚染學會誌*, 18, 1, p. 67. (1983)
39. 小林禮樹; 環境大氣中における水銀の舉動, *大氣汚染學會豫稿集*, p. 329, (1981)
40. 及川紀久雄; 人間環境における水銀の舉動に関する研究, *日本公衛誌*, 23, 10, p. 659. (1976)
41. Robert S. Foote: Mercury vapor concentrations inside building, *Science*, Vol. 177, pp. 513-514 (1972).
42. McCarthy, J.H.: Mercury in the environment, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, p. 713 (1970).
43. Williston, S.H.: Mercury in the Atmosphere, *J. of Geophysical Research*, 73, 22, pp. 7051-7055 (1968).