서울特別市 保健環境研究院報 第24卷(1988)
Report of S.I.H.E., 24 : 209~221(1988)

都市大氣의 水銀動態와 影響因子에 關한 硏究

환경조사과
金 旻 永·朴 相 賢·朴 聖 培

Study on the Behavior of Gaseous Mercury and its Influencing Factors in Urban Ambient Air

Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment
Min-Young Kim, Sang-Hyun Park, Sung-Bae Park

=Abstract=

Atmospheric gaseous mercury was automatically measured by a mercury air monitor (Mercury monitor AM-1) The sample air was led to a scrubber and washed with buffer solution, and mercury was trapped with gold coated chromosorb P(AW) was successively eluted by heating the chromosorb and then detected by the cold vapor atomic absorption spectrophotometry. SO_2, TSP, NOx, CO, THC. and some of meteorological factors were also measured simultaneously with mercury.

A significant correlation between the concentration of mercury and those of SO_2, TSP, NOx, CO, THC. and some of meteorological factors was found. As the results of 2,513 measurements, gaseous mercury concentration ranged from 4.73 to 112.8ng/m^3 with an annual mean of 14.7ng/m^3 in urban area. At this place there was a clear seasonal variation with a maximum in December-January and a minimum in March-June. A secondary maximum existed in August to September. The seasonal variation was found that the gaseous mercury in ambient air has a tendency to become low in spring and high in winter. Namely, the average of concentration in winter was about two times, 19.2ng/m^3, higher than that in spring.

In Seoul mercury levels on some months mainly September-October increase with increasing relative humidity of the atmosphere. In Olympic park air levels were 8.2 (range 4.4~23.7) ng/m^3 with an coefficients of variation of 0.34 and in Seoul sports complex those were 7.7 (range 4.4~25.5)ng/m^3 with an coefficients of variation of 0.38 within the Seoul olympiad holding period of time. A significant diurnal mercury variation occurs both at the measuring sites and in the period of observation.

1. 緖 論

수은은 인위적 혹은 자연적인 요인으로서 대기, 수질, 토양, 생물등의 무기적, 유기적환경을 순환하는 가장 움직임이 큰 중금속으로서 인식되어 있고, 이는 수은이 다른 금속에 비하여 매우 높은 기화, 揮散性을 갖고 있기 때문이다.

대기권의 수은이 인위적 또는 자연적으로도 그의 환경농도에 영향을 주기 때문에 대기권수은의 행동양상 또는 농도분포등을 파악하므로서 환경에서의 수은의 동태를 밝힐 수도 있고, 나아가 환경에서의 수은의 순환실태를 규명할 수도 있다고 생각된다.

그러나 대기중의 수은측정법에 관한 연구는 많지만[1-5] 도시지역에서의 대기중 수은의 농도변화나 그의 擧動, 발생원寄與등에 대하여는 국내외를 막론하고 일부의 조사연구가 이루어 졌을 뿐이다.[6-12]

화석연료나 하수처리장[13]에서 발생하는 수은은 거의

전부가 금속수은증기로 보여지며 환경대기중의 수은은 가스상태로서 존재한다는 것이 통념적이다. 실제로 용매흡수법[14]에 의한 대기중 수은값과 High volume air sampler에 의한 먼지중의 수은농도는 5~20배나 전자가 많은 것으로 나타났다.[15] 수은의 인체에 대한 독성과 관련하여 ACGIH (American Conferences of Governmental Industrial Hygienists)는 금속수은 및 무기수은의 폭로한계를 0.05mg/m^3, 유기수은에 대하여는 0.01mg/m^3(수은으로서 8시간 평균)로 정하고 있다[16]. 더우기 WHO(세계보건기구)는 수은에 관하여 일반환경대기중의 Guide line value[17]로서 0.015mg/m^{3}가 알려져 있다.

현재 환경오염공정시험법(대기분야)에도 표준적 대기중 수은분석법은 없으며 노동위생에서 공기중 수은측정법으로 되어 있는 황산산성과망간산칼륨용액에 의한 포집이 그대로 답습되고 있는 실정이다.

그러나 이 방법은 장시간에 걸친 연속분석이 어렵고 사용하는 시약에서 수은의 혼입이나 분석법이 번잡하며 폐액처리등의 문제가 있어 대기중 수은의 미량분석에는 적합치 않은 것으로 되어있다.[18,19] 최근 금아말감법에 의한 수은분석법이 미량으로 함유되어 있는 환경시료의 측정에 쓰이고 있고 양호한 결과가 보고되고 있다.[4,5,9,20]

대기중에는 생산활동과 더불어 화석연료의 소비증가와 수은의 소비량이 증가할 것으로 예측되어 대기권에서의 수은거동에 관한 연구는 매우 중요한 일로 평가되어야 한다.

본 연구는 금아말감법(Gold Amalgamation and Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometry)[21]을 이용한 자동연속측정장치를 사용하여 서울시의 4개지역에서 1년간 측정을 실시하여 환경대기중 수은의 거동과 영향인자에 관하여 지견을 얻었기에 보고한다.

2. 實驗方法

2-1. 調査對象 및 期間

본 연구의 조사대상지점은 서울의 도심지역인 한남동과 서울올림픽이 개최된 시기에 올림픽공원, 잠실종합운동장, 구로공단등 4개지점을 대상으로 하였고, 표1과 같이 1987년 8월 12일부터 1988년 10월 14일까지 매월 1주일간을 기본측정단위로 실시하였으며 한남동에서는 월간 및 계절변동을 파악키 위하여 1년간 매월 측정하였고 방이동올림픽공원과 잠실종합운동장, 그리고 구로공단에서는 서울올림픽개최기간을 전후하여 24시간 연속측정하여 조사하였다.

2-2. 測定方法[3,9,19]

일본인스트루먼트社제품인 Mercury Auto Monitor (AM-1)을 사용하여 30분을 측정단위로 대기중의 수은을 연속측정하였다.

장치는 그림 1과 같이 악조건에서도 견딜 수 있도록 개량된 대기중 수은자동정량장치[22]이며 대기의 흡인, 多孔質金에 의한 수은의 포집, 가열기화, 冷原子吸光光度法에 의한 정량이 모두 타이머, 릴레이스윗치를 이용하여 Cycling이 자동적으로 행하여 진다.

수은량은 기록지에 자동기록되며, 감도는 수은으로 0.01ng이고 유량계의 눈금과 통기시간에서 체적이 구하여지며 단위체적당 수은량을 계산할 수 있도록 되어 있다. 장치의 교정은 포화수은증기가 들어 있는 Calibration chamber에서 100μl gas tight syringe로서 일정량을 채취하여 행하였다. Chamber내부의 온도와 이 온도에서의 포화수은증기압에서 계산에 의하여 산출하였다.

2-3. 汚染物質濃度 및 氣象因子測定[9]

풍속, 기온, 습도, 자외선강도등 기상 Data와 CO, NOx(NO&NO$_2$), SO$_2$, TSP, O$_3$ 等의 오염물질농도는 서울시에서 운영관리중인 한남동, 방이동, 잠실 그리고 구로대기오염상시측정소의 MCSAM system[23]에 의하여 관측된 측정치를 이용하였으며 이들 분석자료의 통계처리는 TrigemAT의 SPSS와 SAS통계 package를 이용하였다.

3. 結果 및 考察

3-1. 수은의 일간변동

그림2는 겨울철의 대기중 수은과 SO$_2$, TSP, NOx, CO, THC 그리고 풍속, 기온, 자외선강도등을 시간대별로 하루의 변동상황을 나타낸 것이다. 수은의 경우는 오후 11시부터 농도가 상승하여 오전3시경에 1차피크를 이룬 다음 오전 10시부터 급상승하여 11시에 2차피크를 이룬 후 고농도상태가 오후 4시까지 계속되며, 오전 6시부터 오전 9시사이 그리고 오후 6시부터 10시사이에 최저농도를 나타냄을 알 수 있다. 또한 야간에 형성되는 1차피크에 비하여 주간의 2차피크는 오래 지속되는 것을 알 수 있다.

기온이 높은 정오부터 오후 4시까지 대기중 수은농도가 가장 높다고 보고한 McCarthy[24]의 지적과 본 조사와는 잘 일치하고 있으나, 오전 3시경에 나타나는 또하나의 피크는 본 측정지점이 교통량이 매우 많은 간선도로변이며 주택가이기 때문에 차량배기가스와 가정연료의 영향을 크게 받는 지점인 때문으로 사료된다. 가소린이나 경유등 차량연료에 함유한 수은은 0.005~0.015

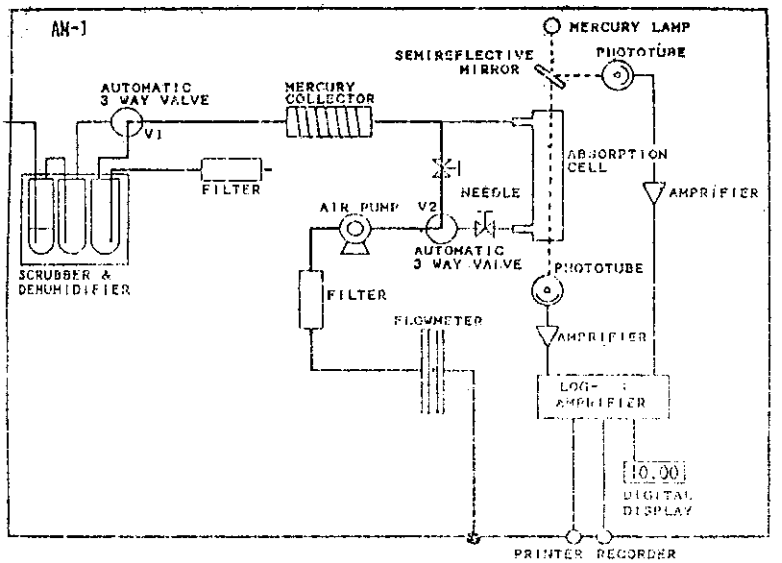

Fig. 1. Schematic diagram of the Au amalgamation gas flow system for the determination of Hg in the vapour phase.

Table 1. Measurement period

Month	Measurement period Date	Time	Date	Time	Site
Aug '87	8.12	18 : 00~	8.17	09 : 30	SIHE* (Hannam)
Sep	9.18	19 : 30~	9.28	08 : 00	
Oct	10.13	12 : 30~	10.28	08 : 00	〃
Nov	11.23	18 : 30~	12.1	09 : 00	
Dec	12.21	15 : 30~	12.28	17 : 00	〃
Jan '88	1.25	16 : 30~	2.1	17 : 00	
Feb	2.13	14 : 30~	2.22	10 : 00	〃
Mar	3.12	12 : 00~	3.21	10 : 00	
Apr	4.11	16 : 30~	4.18	18 : 00	〃
May	5.21	14 : 00~	5.28	12 : 00	
Jun	6.8	13 : 30~	6.27	10 : 00	〃
Jul	7.16	12 : 30~	7.25	08 : 30	
	8.6	13 : 00~	8.14	17 : 00	OP**(Bang I)
Aug	8.16	17 : 30~	8.24	10 : 30	SSC*** (Jamsil)
	8.26	16 : 00~	9.2	14 : 00	Kuro****
Sep	9.20	13 : 30~	9.28	15 : 00	OP
	9.28	17 : 30~	10.6	15 : 00	SSC
Oct	10.6	18 : 00~	10.14	16 : 00	Kuro

*Seoul Metropolitan Government Institute of Health & Environment.
**Olympic Park
***Seoul Sports Complex
****Kuro Industrial Complex

ppm 정도[25]인 점에서 도심지역의 상대적고농도의 주원인은 차량배기가스보다도 가정연료인 연탄이라 할 수 있다. 저자들이 조사한[26] 바로는 가정연료인 연탄중의 수은함량은 0.16~0.36ppm으로 평균 0.24ppm이며 이중 약 98.9%가 가스상수은으로 된다.

1988년도의 서울시내에서 소비한 석탄소비량이 8,232천톤이므로 약 1.95톤의 수은이 연탄연소에 의하여 배출되었다고 할 수 있다. 따라서 서울시에 있어서 가정연료인 연탄이 도시대기중 수은량의 증가에 크게 기여함을 알 수 있으며 이같은 이유가 야간에 발생하는 피크의 중요한 요인이라 사료된다.

반면에 겨울철의 SO_2의 일간변화는 자정부터 햇살이 퍼져 기온역전이 완전히 풀리는 오전11시까지 고농도 상태를 유지하며 그 이후 기온상승과 함께 급격히 감소한 후 오후4시부터 다시 농도가 상승함을 알 수 있다.

대기중 수은량과 SO_2와의 일간변동을 비교하면 오후 8시부터 익일 오전 5시까지는 두성분간에 매우 유사한 변동을 보였는데, 대기중 수은농도의 변동이 연소계오염물질농도와 유사한 양상을 나타낸다는 것은 小林等[7], 松本等[8], 伊瀬等[25]도 각각 일본내에서 행한 조사에서 지적하고 있다. 다만 오전 6시부터 오후7시까지는 서로 상이한 양상으로 나타난다. 이시간대의 시간당 기온변화는 0.51°C/hr인 데 비하여 유사한 변동이 나타나는 오후 8시부터 오전 5시까지의 시간당 기온변화는 전자의 1/2정도인 0.27°C/hr로 나타나고 있어

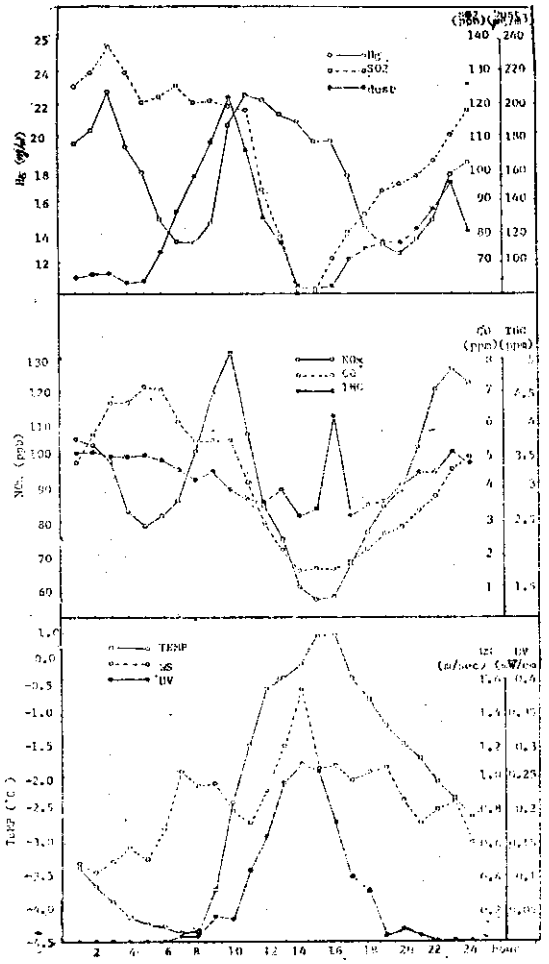

Fig. 2. Diurnal variations of mercury and various air pollutants concentration (Winter average in Hannam)

기온등 기상요인이나 대기중에서 sink되는 과정 혹은 소요시간등의 차이도 이에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

배출원이 유사한 SO_2와 CO, 그리고 TSP와 NOx 사이에서 각각 매우 유사한 변동을 나타냄을 알 수 있다.

그림 3은 도심지역에서 대기중 수은농도의 일간변동의 계절평균치를 나타낸 것이며 봄철의 일간변동은 매우 작아 그의 진폭은 4ng/m³이었다. 그러나 가을철의 일간변화는 매우 커서 진폭은 15ng/m³이나 되어 봄철의 약4배나 되었으며, 여름철의 일간변화의 진폭도 8ng/m³으로 봄철에 비하여 2배나 되었다.

겨울철과는 달리 3계절 모두 오전 9시경에 Peak가 나타나며 여름철의 경우 오후 3시경에 2번째의 피크후

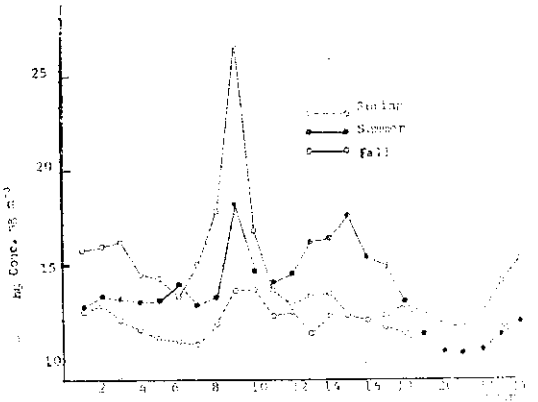

Fig. 3. Diurnal variations of mercury concentration in different seasons (1987~1988).

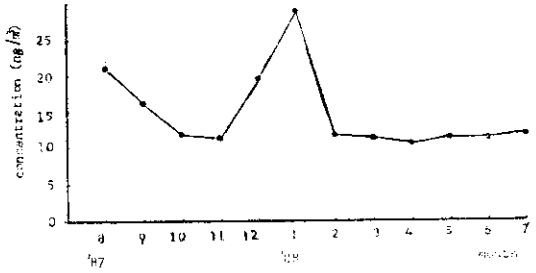

Fig. 4. Monthly variation of Hg concentration in Ambient air in 1987~1988.

급속히 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 전술한 바와 같이 지표면에서의 수은 증발이 온도의 영향을 크게 받으므로 오후 3시까지는 증가하게 되나 그 이후는 지표면기온상승으로 인하여 형성되는 강력한 熱的亂流로 인하여 대기중 수은이 급속히 희석확산되기 때문에 감소속도가 다른 계절과는 달리 크게 되는 것으로 생각된다.

3-2. 大氣中 水銀濃度의 月間變動

도심지역인 한남동에서의 대기중 수은농도측정결과는 그림4 및 표 2와 같으며 측정한 총검체 2,513개시료(30분단위로는 5026회)를 월별로 분류하여 수은농도범위, 평균치와 표준편차 그리고 중앙치와 변동계수(C.V)를 나타내었다. 중앙치는 특이적으로 높은 고농도치에 의한 영향과 수은농도범위의 기울기를 이해하기 위하여 나타낸 것이다. 총수은농도는 최저 4.7ng/m³, 최고 112.8ng/m³의 범위였으며, 그중 총수은농도 20~49ng/m³의 범위가 413개시료(16.4%), 50ng/m³ 이상인 시료가 42개시료(1.7%)이며, 2,513개시료의 8

Table 2. Monthly variation of mercury concentration in ambient air in Seoul

month	no. of samples	Hg (ng/m^3)	s.d	min (ng/m^3)	max (ng/m^3)	c.v	median (ng/m^3)
Aug	111	21.1	16.8	5.1	91.0	0.80	16.4
Sep	224	17.2	11.8	4.7	112.8	0.69	12.4
Oct	233	13.3	6.4	5.1	45.5	0.48	11.6
Nov	182	12.7	7.5	5.1	63.7	0.59	11.3
Dec	170	18.7	13.1	5.8	88.4	0.70	12.7
Jan	169	27.6	19.8	5.8	108.8	0.72	19.7
Feb	212	13.2	5.7	6.2	36.4	0.43	11.2
Mar	213	12.2	4.6	5.8	42.2	0.37	9.8
Apr	170	10.8	2.8	7.3	20.4	0.26	10.2
May	167	12.2	5.3	7.3	38.9	0.43	10.6
Jun	449	12.0	6.5	5.1	46.9	0.55	10.6
Jul	213	13.2	5.1	7.3	51.0	0.38	12.4
Annual	2,513	14.7	10.3	4.7	112.8	0.70	11.3

Table 3. Seasonal variation of mercury concentration (ng/m^3) in ambient air in Seoul

season*	no. of samples	Hg (ng/m^3)	s.d	min (ng/m^3)	max (ng/m^3)	c.v	median (ng/m^3)
Spring	550	11.8	4.4	5.82	42.21	0.37	10.55
Summer	773	13.6	9.0	5.09	90.98	0.66	11.64
Autumn	630	14.5	9.1	4.73	112.81	0.63	12.0
Winter	630	19.2	14.8	5.82	108.81	0.76	12.37

*Spring: Mar, Apr, May, Summer: June, Jul, Aug,
Autumn: Sep, Oct, Nov, Winter: Dec, Jan, Feb,

1.9%가 20ng/m^3이하 였다. 따라서 전시료의 평균치는 14.7ng/m^3, 중앙치는 11.3ng/m^3이었다.

환경대기중 수은농도 level은 최근 10여년간의 문헌에 의하면 도시대기에서는 24시간평균치로서 數~30ng/m^3의 측정치가 보고되며[6,27-30] 또한 Background 지역에서는 1ng/m^3이하에서부터 5ng/m^3의 값이 제시되고 있다.[2,31,32]

또한 일본에서 아말감포집법에 의한 도시지역 환경대기중의 수은농도는 평균치로서 數~10數ng/m^3의 값이 보고[6,8,33] 되고 있는 바, 이와 비교하면 본조사연구에 의한 서울 한남지역의 측정농도가 약간 높은 level이라는 것을 알 수 있다. 그림 4에서와 같이 월별 대기중 수은농도는 무덥고 쾌청한 8월, 9월과 가장 춥고 화석연료의 소비가 많은 12월, 1월이 각각 높은 것으로 나타났다. 또한 50ng/m^3이상의 고농도도 11월, 12월, 1월에 각각 4, 5, 18회씩 나타났으며 하절기인 7월, 8월, 9월에 각각 2, 14, 4회씩 나타나 대기중 수은농도와 기온의 고저 그리고 배출량의 多少와는 밀접히 연관되어 있는 것으로 보인다.

3-3. 季節變動 및 影響因子

표3은 대기중 수은농도를 계절별로 분류한 것으로 봄, 여름 가을, 겨울철의 順으로 수은농도가 높았으며 대체로 농도가 높은 계절일수록 변동폭도 큰 것으로 나타났다.

20ng/m^3이상의 농도가 측정된 회수는 봄철 32회(1.3%), 여름철 105회(4.2%), 가을철 115회(4.6%), 겨울철 161회(6.4%)의 순으로 겨울철이 단연 높았다. 50ng/m^3이상의 고농도측정치는 여름 8회(0.32%) 가을 6회(0.24%), 겨울 28회(1.1%)로서 역시 겨울철이 가장 많았고 여름 가을의 순으로 낮았으며 봄철에는 없었다.

최저농도는 계절에 관계없이 비슷한 수준이나 최고

치는 최저인 봄철에 비하여 다른 계절은 모두 2배이상의 높은 피크치를 나타내어 변동폭도 매우 큰 것으로 나타났다.

대기수은농도와 기상인자와의 관계에 대하여 Williston[31]은 지표에서의 수은증산은 온도변화의 영향을 크게 받아 겨울철에 낮고 여름철에 높게 된다고 보고하고 있으나 이외에도 대기의 안정도와 같은 기상조건도 관계되므로 대기의 안정도가 증가하여 확산이 정체하는 가을~겨울철에 대기중 수은 농도가 다소 높게 되는 것으로 사료된다.

Table 4. Average concentration of mercury, other air pollutants and meteorological factors in urban ambient air

		Spring			Summer			
item	no.of samples	m±s.d	range	c.v*	no. of samples	m±s.d	range	c.v*
Hg(ng/m³)	550	11.8± 4.4	5.8~ 42.2	0.37	773	13.6±9.0	5.0~90.9	0.66
SO_2(ppb)	234	95.0±36.8	13.0~19.8	0.38	433	16.6±6.6	5.0~59.0	0.40
DUST(μg/m³)	488	113.5±63.8	12.0~403.0	0.56	461	132.0±90.7	18.0~415.0	0.68
NO(ppb)	392	43.0±34.0	1.0~202.0	0.79	565	54.4±53.0	2.0~287.0	0.97
NO_2(ppb)	392	33.1±15.5	4.0~78.0	0.46	565	31.5±16.1	3.0~97.0	0.51
NO_x(ppb)	392	76.1±43.0	10.0~234.0	0.56	565	86.0±59.5	8.0~327.0	0.69
NO_2/NO_x	392	0.49±0.19	0.09~0.91	0.39	565	0.47±0.22	0.08~ 0.90	0.46
CO(ppm)	496	2.2± 2.0	0.00~12.1	0.91	563	0.99±0.57	0.10~ 3.80	0.57
O_3(ppb)	481	17.7±20.2	0.00~102.0	113	565	8.8±12.8	0.0~148.0	1.45
n-CH_4(ppm)	263	0.34± 0.29	0.00~2.3	0.86	82	0.35±0.21	0.02~1.0	0.59
THC(ppm)	263	2.0±0.52	1.43~4.3	0.25	82	3.0±0.94	0.56~4.9	0.31
WS(m/sec)	496	0.64±0.54	0.00~3.9	0.84	660	0.68±0.49	0.0~2.7	0.72
UV(mW/cm²)	166	0.45±0.64	0.00~2.6	140	493	0.53±0.64	0.0~2.8	1.48
TEMP(°C)	496	11.7± 6.7	−0.8~30.2	0.57	660	24.1±3.5	17.4~34.2	0.14
HUM(%)	496	36.8±17.8	13.0~97.0	0.48	660	65.2±18.4	22.0~99.0	0.28
		Autumn			Winter			
Hg(ng/m³)	630	14.4± 9.2	4.7~112.8	0.63	560	19.2±14.8	5.8~108.8	0.79
SO_2(ppb)	551	54.8±44.5	5.0~198.0	0.81	341	105.1±49.2	8.0~199.0	0.46
DUST(μg/m³)	568	120.7±79.9	12.0~409.0	0.66	420	119.5±64.6	31.0~436.0	0.54
NO(ppb)	574	77.9±55.2	12.0~346.0	0.70	432	76.0±49.1	13.0~291.0	0.64
NO_2(ppb)	574	18.5±15.2	2.0~105.0	0.82	433	16.6±6.9	5.0~40.0	0.41
NO_x(ppb)	574	96.4±61.4	17.0~391.0	0.63	432	92.5±50.2	25.0~311.0	0.54
NO_2/NO_x	574	0.22± 0.11	0.01~0.60	0.52	432	0.2±0.1	0.02~ 0.58	0.47
CO(ppm)	472	2.2± 1.8	0.20~10.7	0.83	431	4.2±3.9	0.4~22.0	0.92
O_3(ppb)	576	8.7±16.5	0.0~107.0	1.89	432	8.4±13.2	0.0~66.0	1.55
n-CH_4(ppm)	570	0.73± 0.69	0.0~3.5	0.93	138	1.4±0.6	0.27~2.5	0.41
THC(ppm)	570	2.5± 0.98	1.2~6.6	0.37	138	3.2±1.0	1.42~11.5	0.31
WS(m/sec)	576	0.75± 0.80	0.0~4.5	1.06	448	0.8±0.7	0.0~4.3	0.87
UV(mW/cm²)	499	0.15± 0.26	0.0~1.3	1.72	130	0.06±0.10	0.0~0.43	1.71
TEMP(°C)	575	13.8± 6.7	−6.0~29.3	0.48	429	−0.21±5.4	−9.4~11.1	25.21
HUM(%)	576	52.3±17.6	18.0~97.0	0.33	429	48.2±21.3	15.0~97.0	0.44

* c.v: coefficients of variation

표 4는 같은 지역의 대기오염물질농도와 환경인자등을 계절별로 측정한 결과로서 봄철의 대기중 수은 농도는 1시간평균치로서 최고 42.2ng/m³ 평균치 11.8 ng/m³, 변동계수 0.37이었다.

Hammerle等[34]은 오염원을 추정하는 통계적방법으로서 "單一汚染源 Model"을 제시하였는 바, 이는 오염원이 하나이며 오염원에서의 성분조성이 확산과정에서 불변한다고 가정할 때 환경대기측정으로 얻어진 2개성분농도사이의 회귀방정식은 그 절편이 0이 되고 기울기는 오염원의 성분조성비에 대등하게 된다는 것이다.

이는 汚染系가 복잡한 곳에서는 사용할 수 없지만 비교적 단순한 곳에서는 적용할 수 있기 때문에 이 방법을 대기중 수은에 대하여 적용하였다.

1시간농도값으로 수은과 SO_2, NOx, CO등의 대기오염물질 및 기상인자와의 사이에 회귀분석을 행한 결과는 표 5와 같았다.

수은과 가스상오염물질과의 관계를 보면 가을철을 제외한 모든 계절에서 SO_2와 분명히 유의한 상관을 나타내고 있고, NO와 NOx, CO, THC와도 통계적으로 유의한 상관을 확인할 수 있었다.

다만 NO_2와는 여름에는 負의 상관을 나타낸 것이 특이하며, 가을철에는 正의 상관이 확인은 되었으나 다른 오염물질에 비하여 상대적으로 상관계수가 매우 낮았다.

小林等[33]은 대기중 수은농도가 NO_2와는 유의한 상관을 나타냈지만 NO에 대하여는 상관성이 없음을 보고하고 있고, 伊瀨등[25]은 대기중 수은농도가 NO보다도 NO_2에 양호한 상관을 나타낸다고 보고하고 있으나 이번 조사결과에서는 상반된 결과로 나타났다.

표 4에서와 같이 NO_2/NOx는 여름이 47%인데 비하여 가을철은 22%로서 절반이하의 수준이고 NO_2가 O_3 발생의 주반응물질인 반면 NO는 O_3과의 반응에 의한 파괴작용이 매우 크므로 변동계수에서도 알 수 있듯이 여름이 가을에 비하여 고농도오존발생이 많아진다. 따라서 여름에는 배출원의 영향보다는 오존형성과 같이 대기 중에서 2차적화학반응등의 변화의 영향을 크게 받는 반면에 가을철에는 연소계오염물질배출량이 상대

Table 5. Regression analysis between the atmospheric mercury concentration and the concentrations of air pollutants and meteorological factor.

		SO_2	DUST	NO	NO_2	NO_x	CO
Spring	r	0.302**	0.196**	0.181**	—	0.174**	0.354**
	slope	0.028	0.014	0.022	—	0.017	0.763
Summer	r	0.284**	0.371**	0.161**	−0.119**	0.111**	0.154**
	slope	0.457	0.043	0.030	−0.073	0.018	2.663
Autumn	r	—	0.309**	0.392**	0.163**	0.393**	0.328**
	slope	—	0.036	0.066	0.099	0.059	1.732
Winter	r	0,208**	0.309**	0.348**	—	0.338**	0.396**
	slope	0.065	0.035	0.071	—	0.066	3.165

		n-CH_4	THC	WV[1]	UV[2]	TEMP[3]	HUM[4]
Spring	r	0.244**	0.342**	−0.210**	0.354**	0.149**	−0.119**
	slope	4.447	3.549	−1.718	2.924	0.099	−0.030
Summer	r	—	0.221*	−0.273**	—	0.176**	—
	slope	—	1.855	−5.117	—	0.461	—
Autumn	r	0.126**	0.180**	−0.281**	—	0.121**	0.226**
	slope	1.726	1.729	−3.322	—	0.150	0.121
Winter	r	0.525**	0.310**	−0.118*	−0.357**	0.137**	—
	slope	2.218	1.769	−3.669	−1.968	−0.449	—

* $p<0.05$ ** $p<0.01$

1) wind velocity
2) ultra violet intensity
3) temperature
4) humidity

적으로 커지면서 NO_2가 수은과 함께 방출되어 대기농도를 형성하게 되므로 배출원의 영향이 증가하여 연소성오 염물인 NO_2와 正의 상관관계를 나타내는 것으로 판단된다. 비메탄계탄화수소는 여름철을 제외한 모든 계절에서 유의한 상관을 확인할 수 있었으며 먼지와도 계절에 관계없이 유의한 상관이 확인되었다.

SO_2에 비하여 NO_2의 상관계수가 낮거나 상관계수가 적은 것은 수은함량이 적은 차량배기가스의 영향을 받기 때문이라 생각되며 조사된 모든 대기오염물질과의 사이에서 계절에 따라 회귀방정식의 기울기가 크게 다른 것은 기상조건의 변동에 따라 오염원에서의 기여방식에 변화를 주기 때문인 것으로 추측되었다.

이상과 같이 수은과 SO_2, TSP, NO_x, CO, THC등의 농도와의 사이에서 유의한 상관이 인정된다는 점에서 수은의 방출이 이들 오염물질을 수반하는 가열연소시설에서 기인한다고 판단된다.

SO_2의 계절평균치는 가장 낮은 하절기에 비하여 가장 높은 겨울철은 6.3배나 되었으나, NO_x농도와 NO_2/NO_x는 겨울과 가을철이 매우유사하며, 봄과 여름에서는 전자에 비하여 농도는 다소 낮고 NO_2/NO_x는 거의 2배이상이나 높아 질소산화물중 NO_2가 차지하는 비율이 계절에 따라 큰 차를 나타냄을 알 수 있다.

CO는 봄과 가을철이 농도가 같고, 가장 낮은 여름철에 비하여 겨울철이 4.2배나 높게 나타나 계절별 화석연료소비량에 비례하여 대기농도가 높게 됨을 알 수 있었다.

풍속과 기온과는 계절에 관계 없이 높은 상관을 나타내고 있고, 풍속과는 負의 상관을 나타내어 일반 대기오염물질과 같이 대기중 수은농도도 풍속에 큰 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 여름철의 대기중 수은농도는 1시간평균치로서 최고 90.9ng/m³ 평균치 13.6ng/m³, 변동계수 0.66을 나타내어 봄철에 비하여 농도는 다소 높고 변동폭은 매우 큰 것으로 나타났다.

SO_2, CO, O_3등의 가스상물질은 봄철에 매우 높으나 NO_x(NO & NO_2) TSP, THC등은 여름철이 오히려 높으며, 풍속과 자외선강도는 유사하나 온도와 습도에서 매우 큰 차이를 나타내고 있었다.

3-4, 기타지역의 수은농도

88서울올림픽개최기간을 전후하여 잠실종합운동장. 방이동올림픽공원 그리고 구로공단내에서 수은 및 각종오염물질농도 그리고 기상인자에 대한 조사 결과는 표 6~표 8과 같다.

올림픽공원의 경우 8월중에 대기중 수은농도는 6.5~36.7ng/m³의 범위였으며 평균치 13.4ng/m³, 변동계수 0.44이고 올림픽개최기간중인 9월중에는 이보다 다소 낮아져 평균치 8.2ng/m³, 4.4~23.7ng/m³의 범위로서 변동계수는 0.34였다.

도심지역인 한남동과 비교하여 평균치, 농도범위에

Table 6. Average concentration of mercury, other air pollutants and meteorological facters in ambient air in Olympic Park.

item	August				September			
	no. of samples	m±s.d	range	c.v	no. of samples	m±s.d	range	c.v
Hg(ng/m³)	196	13.4± 5.9	6.5~ 36.7	0.44	194	8.2± 2.9	4.4~ 23.7	0.34
SO_2(ppb)	192	12.0± 6.6	3.0~ 39.0	0.55	192	12.7± 7.1	3.0~ 41.0	0.55
DUST(μg/m³)	190	63.0±44.5	11.0~198.0	0.70	191	34.0±29.4	5.0~135.0	0.86
NO(ppb)	190	15.8±19.3	0.0~ 80.0	1.21	193	20.4±27.4	1.0~122.0	1.34
NO_2(ppb)	190	24.1±17.3	4.0~ 84.0	0.71	193	21.7±13.6	2.0~ 69.0	0.62
NO_x(ppb)	190	39.9±32.7	4.0~150.0	0.81	193	42.1±36.2	4.0~172.0	0.86
NO_2/NO_x	184	0.7± 0.2	0.3~ 1.0	0.27	193	0.6± 0.2	0.2~ 0.9	0.31
CO(ppm)	194	0.6± 0.4	0.0~ 1.6	0.72	194	0.8± 0.4	0.1~ 2.2	0.60
O_3(ppb)	179	17.9±19.7	0.0~ 88.0	1.09	193	15.5±15.6	0.0~ 69.0	1.01
n-CH_4(ppm)	194	0.4± 0.1	0.2~ 0.7	0.29	191	0.3± 0.2	0.1~ 1.0	0.82
THC(ppm)	194	2.4± 0.4	1.9~ 3.6	0.17	191	2.2± 0.5	1.8~ 3.8	0.20
WS(m/sec)	197	0.9± 1.0	0.0~ 4.0	1.04	194	0.9± 1.2	0.0~ 6.0	1.23
UV(mW/cm²)	197	0.4± 0.5	0.0~ 1.7	1.23	194	0.3± 0.4	0.0~ 1.4	1.35
Temp(°C)	197	30.4± 4.0	23.1~ 38.6	0.13	194	19.8± 5.2	9.6~ 29.9	0.26
Hum(%)	197	65.4±16.3	38.0~ 98.0	0.25	194	67.6±20.0	29.0~99.0	0.29

Table 7. Average concentration of mercury, other air pollutants and meteorological factors in ambient air in Seoul Sports Complex.

item	no. of samples	m±s.d	range	c.v	cc
Hg	190	7.7± 2.9	4.4~ 25.5	0.38	—
SO_2	171	14.9± 6.7	6.0~ 37.0	0.44	0.4728**
DUST	187	142.8±95.2	17.0~392.0	0.66	0.5029**
NO	187	41.3±46.1	0.0~219.0	1.11	0.5094**
NO_2	187	12.9± 5.5	4.0~ 31.0	0.42	0.1144
NO_x	187	54.2±48.9	6.0~237.0	0.90	0.4930**
NO_2/NO_x	183	0.4± 0.2	0.1~ 0.9	0.56	−0.3972**
CO	187	1.2± 0.8	0.2~ 3.4	0.67	0.5738**
O^3	187	4.8± 6.9	0.0~ 29.0	1.44	−0.2222**
n-CH_4	187	0.3± 0.3	0.0~ 3.0	0.99	0.4275**
THC	187	2.5± 0.6	1.9~ 6.1	0.24	0.4928**
Temp	186	20.4± 2.0	16.3~ 23.9	10.0	−0.1197
Hum	186	59.7±11.1	33.0~ 82.0	0.18	0.3287**

Table 8. Average concentration of mercury, other air pollutants and meteorological factors in ambient air in Guro.

item	August				October			
	no. of samples	m±s.d	range	c.v	no. of samples	m±s.d	range	c.v
Hg(ng/m^3)	165	6.3± 1.5	2.9~ 13.8	0.23	190	14.0± 6.8	6.2~ 43.7	0.48
SO_2(ppb)	91	8.2± 8.1	0.0~ 37.0	0.98	191	63.7± 47.2	10.0~201.0	0.74
DUST($\mu g/m^3$)	115	84.3±49.1	5.0~262.0	0.58	166	178.1±139.0	4.0~657.0	0.78
NO(ppb)	165	15.7±14.4	2.0~ 99.0	0.91	191	43.8± 45.2	4.0~203.0	1.03
NO_2(ppb)	165	21.9± 6.8	7.0~ 47.0	0.31	191	27.0± 12.0	6.0~ 65.0	0.44
NO_x(ppb)	165	37.6±18.5	10.0~125.0	0.49	191	70.7± 52.9	10.0~244.0	0.74
NO_2/NO_x	165	0.6± 0.1	0.2~ 0.9	0.22	191	0.5± 0.2	0.2~ 0.8	0.37
CO(ppm)	165	0.7± 0.3	0.2~ 1.9	0.42	191	3.0± 2.4	0.5~ 9.7	0.80
O_3(ppb)	165	3.1± 3.0	0.0~ 14.0	0.95	191	1.1± 1.8	0.0~ 10.0	1.71
n-CH_4(ppm)	165	0.3± 0.2	0.0~ 0.8	0.74	187	0.5± 0.5	0.0~ 2.4	0.93
THC(ppm)	165	1.9± 0.4	1.3~ 4.4	0.20	187	1.7± 0.8	0.6~ 4.2	0.45
WS(m/sec)	165	0.7± 0.4	0.0~ 1.6	0.62	191	0.4± 0.4	0.0~ 2.0	0.99
UV(mW/cm^2)	141	0.1± 0.2	0.0~ 0.8	1.38	191	0.1± 0.1	0.0~ 0.5	1.36
Temp(°C)	165	24.5± 2.5	20.4~31.6	0.10	191	17.4± 4.5	6.4~ 27.7	0.25
Hum(%)	165	58.1±11.0	36.0~88.0	0.18	191	56.7± 17.8	26.0~92.0	0.31

있어 모두 낮고 변동폭도 낮은 것으로 나타났으나 월별변동상황은 매우 유사함을 알 수 있었다.

잠실종합운동장의 9월중 수은농도는 4.4~25.5ng/m^3, 평균치 7.7ng/m^3 변동계수는 0.38로서 올림픽공원의 9월중 농도와 거의 일치함을 알 수 있었다.

공업지역인 구로공단에서의 8월중 수은농도는 2.9~13.8ng/m^3의 범위이고 평균치 6.3ng/m^3, 변동계수 0.23으로 조사대상중 가장 낮은 농도를 나타내었으며 변동폭도 가장 작았다.

10월중에는 6.2~43.7ng/m^3의 농도범위와 평균치 14.0ng/m^3, 변동계수도 0.48을 나타내어 8월중에 비하여 2배이상의 농도를 나타내었으나 이는 같은 달의

한남동지역과 비슷한 수준이며 방이동의 월간변동패턴과는 완전히 상치하는 것으로서 공업지역의 독특한 오염형태임을 알 수 있었다.

이들 3개지점가운데 조사기간중 50ng/m³이상인 시료는 없었으며 20~49ng/m³의 범위는 올림픽공원 8월 21회 (10.7%), 9월 1회(0.51%)이며 잠실종합운동장 1회(0.52%), 구로공단의 8월중엔 초과시료가 없었으나 10월에 31회(16.3%)로서 도심인 한남지역에 비하여 현저히 낮은 농도임을 알 수 있었다. 수은의 물에 대한 용해도는 매우 크므로 젖은 토양에 의하여 묶인 일부의 수은은 토양이 건조하는 만큼 재휘산할 수도 있고 일부는 부식성물질에 의하여 막힐 수도 있다. Anderson,[35] Williston,[31] Rogers,[36] Kozuchowski,[37] Johnson,[28] Hogstrom[38] 等은 토양의 온도, 수은종류 (mercury species), pH, redox conditions, 부식토함유량, 식물식생等이 수은방출에 영향을 미칠 수 있다고 하였는 바, 발생원의 영향이 적다고 사료되는 8월중에 서울의 지역에 따라 대기중 수은농도에 차이가 큰 것은 이러한 원인이외에도 도로포장상태등도 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

표 9는 올림픽공원, 잠실종합운동장 그리고 구로공단등 지역에서 수은과 각성분농도간에 회귀분석을 행한 결과를 나타낸 것이며 수은과 SO_2와의 사이에는 방이동의 9월과 구로공단의 8월을 제외하고는 모두 유의한 상관을 나타내었다.

한남지역에서도 보았듯이 동일지점이라고 하더라도 월별 혹은 계절에 따라 수은과 오염물질간에 유의한 상관이 나타날 수도 혹은 없을 수도 있음을 알 수 있었으나 이러한 점을 모든 조사지점에서도 확인할 수 있었다.

8월중에는, 올림픽공원의 경우 대기중 수은농도와 TSP NO, NO_x, NO_2/NO_x 사이에서 상관성이 없는 반면 풍속, 자외선강도, 그리고 기온과의 사이에서 위험율 1%로서 유의한 상관을 나타내었으며 구로공단에서는 같

Table 9. Regression analysis between the atmospheric mercury concentration and the concentrations of air pollutants and meteorological factor.

		SO_2	DUST	NO	NO_2	NO_x	NO_2/NO_x	CO
Olympic(Aug)	r	0.361**	0.129	−0.010	0.197**	0.098	0.138	0.220**
park	slope	0.319	—	—	0.068	—	—	3.286
Olympic(Sep)	r	−0.000	0.409**	0.392**	0.201**	0.372**	−0.235**	0.281**
park	slope	—	0.039	0.041	0.042	0.029	−3.355	1.639
Seoul sports	r	0.473**	0.503**	0.509**	0.114	0.493**	−0.397**	0.574**
complex(Sep)	slope	0.212	0.015	0.032	—	0.029	−5.429	2.092
Guro(Aug)	r	0.010	0.096	−0.009	0.014	−0.002	0.027	0.080
	slope	—	—	—	—	—	—	—
Guro(Oct)	r	0.736**	0.506**	0.765**	0.545**	0.777**	−0.613**	0.778**
	slope	0.106	0.025	0.114	0.309	0.099	−22.79	2.157

		O_3	n-CH_4	THC	WS	UV	Temp	Hum
Olympic(Aug)	r	0.492**	0.163*	0.148*	−0.192**	0.217**	0.263**	−0.124
park	slope	0.150	8.570	2.096	−1.183	2.395	0.389	—
Olympic(Sep)	r	0.100	0.523**	0.447**	−0.279***	−0.011	0.151*	0.056
park	slope	—	7.288	2.859	−0.691	—	0.083	—
Seoul sports	r	−0.222**	0.428**	0.493**	—	—	−0.119	0.329**
complex(Sep)	slope	−0.094	4.05	2.349	—	—	—	0.087
Guro(Aug)	r	0.164*	0.032	−0.040	−0.005	0.382**	0.135	0.011
	slope	0.081	—	—	—	2.625	—	—
Guro(Oct)	r	−0.409**	0.666**	0.594**	−0.564**	−0.416**	0.003	0.633**
	slope	−1.521	9.264	5.169	−9.231	−20.524	—	0.240

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

은 달에 오존과 자외선강도와의 사이에서만 유의한 상관이 인정되었다.

9월에 들어서, 올림픽공원에서는 SO_2, O_3, 자외선강도, 습도등에서 그리고 잠실종합운동장에서는 NO_2, 풍속 자외선강도등을 제외한 모든 항목간에 유의한 상관을 나타내었다.

10월의 구로공단에서는 기온을 제외한 모든 성분과 기상인자간에 유의한 상관이 인정되었으며, 상관성이 있는 모든 항목에서 다른지역의 경우에 비하여 상관계수가 매우 높음을 알 수 있다.

습도와는 잠실 9월과 구로 10월에 정의 상관이 나타났으며, 한남동의 9월과 10월중의 상관계수도 각각 0.286($p<0.01$), 0.246($p<0.01$)로서 정의 상관이었으나

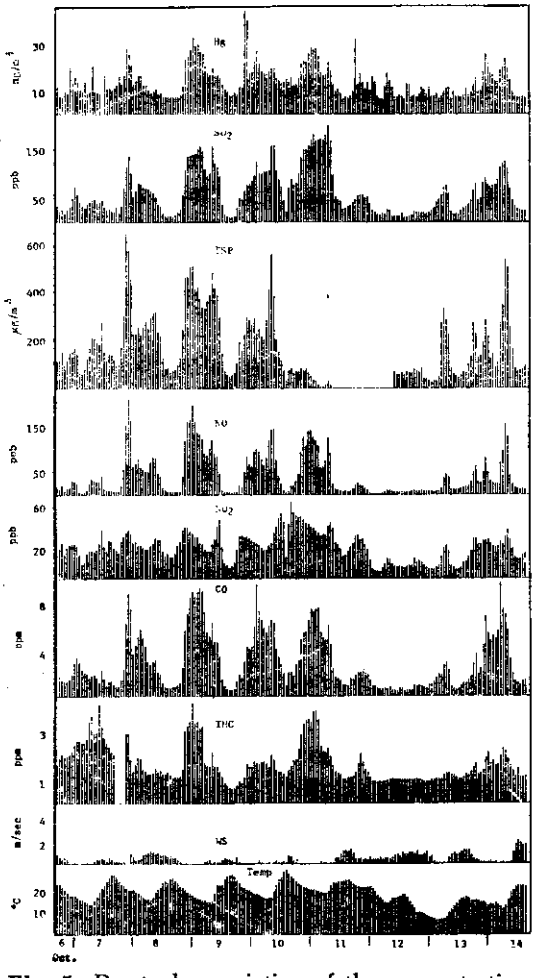

Fig. 5. Day-to-day variation of the concentrations of gaseous mercury, air pollutants, and meteorological factor at Guro Industrial Complex(1988).

같은 지역의 5月, 6月 8月은 각각 −0.234($p<0.01$), −0.134($p<0.01$), −0.295($p<0.01$)로서 負의 상관으로 나타나 계절에 따라 상반되는 결과를 보여 기온이 높은 계절 즉 자연발생의 영향이 큰 시기에는 감소인자로서 작용하고 발생원의 영향이 큰 시기에는 증가인자로서 작용하고 있음을 알수 있었다. 이는 기온이 낮은 데도 불구하고 동틀녘에 미스트와 안개가 존재시 $40ngm^{-3}$ 이상의 고농도 대기수은의 확인과, 휘발성수은은 대기의 상대습도가 증가함과 함께 증가한다는 Kothny[39]의 리비풀에서의 조사와도 일치하는 매우 중요한 사실로서 받아진다.

이상과 같이 8월보다는 9월, 9월보다는 10월중에 대기중 수은농도와 오염물질성분간에 상관성이 높고 상관계수도 크기 때문에 발생원의 영향이 적은 기온이 높은 계절에는 대기오염성분과의 상관성이 약한 반면에 기상인자와의 상관성은 높다. 그리고 발생원의 영향이 큰 연료의 소비가 많은 계절에는 대기오염성분과의 상관성이 크게 되고 기상인자와의 상관성은 약하게 된다.

이러한 결과로서, 하절기에는 수은의 吸着平衡이 지표면온도변화에 민감하여 기온의 상승이나 일사량의 강도에 따라 대기중의 수은농도가 상승하고, 연료의 소비가 커지면 자연상태의 수은량보다는 연소계발생원의 기여가 상대적으로 커져 이의 영향을 크게 받는 다는 것을 입증하는 것이다.

그림 5는 대기중 수은농도와 각오염물질성분농도 그리고 기온 풍속등의 時系列變化의 일례를 구로공단(10월)에 대하여 도시한 것으로서 각오염물질과 변화 Pattern이 서로 잘 대응하는 특징을 나타내었으며 풍속과 온도와는 서로 상반된 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다.

4. 結　論

金—아말감포집후 가열기화—cold vapor 원자흡광분광분석방식의 수은측정장치를 이용하여 대기중의 가스상수은농도를 연속분석함과 동시에 병행하여 SO_2, TSP, NO, NO_x, CO, Oxidant, HC등의 대기오염물질과 기온, 습도, 풍향, 자외선강도등의 기상인자를 서울도심인 한남동지역에서 1년간 매월 측정하였으며, 올림픽개최를 전후하여 올림픽공원, 잠실종합운동장, 그리고 구로공단등의 지점에서도 연속분석을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 대기수은농도와 오염물질성분농도 그리고 기상인자간에 회귀분석을 행하여 수은과 각성분및 기상인자

간에 유의한 상관이 인정되었으나, 측정지점과 계절에 따라 상이한 점이 나타났으며 도심지역의 경우 최저 4.73ng/m³, 최고 112.8ng/m³, 년평균치 14.7ng/m³, 중앙치는 11.3ng/m³로서 최저치는 계절에 관계없이 비슷한 수준이나 최고치는 계절적차이가 컸으며 년최고치는 9월중에 나타났다.

2. 총검체 2,513개시료중 20~49ng/m³ 범위가 413개시료(16.4%), 50ng/m³이상인 시료가 42개시료 (1.7%)이며 2,058개시료(81.9%)가 20ng/m³이하였다.

3. 대기중 수은농도는 기온이 높고 쾌청한 8,9월과 가장 춥고 연료소비가 많은 12,1월이 각각 높은 농도를 나타내었으며 20ng/m³이상 측정된 회수는 봄 32회(1.3%), 여름 105회(4.2%), 가을 115회(4.6%), 겨울 161회(6.4%) 였고, 50ng/m³이상 측정된 회수는 가을 6회(0.24%), 여름 8회(0.32%), 겨울 28회(1.1%)의 순이었다.

4. 대기중 수은농도는 질소산화물중 NO_2보다 NO와의 사이에서 더욱 유의한 상관성이 확인되어 서울지역의 독특한 결과로 평가 된다.

5. 겨울철의 가스상수은의 일간변동은 오전 3시경과 오전11시에 각각 2개의 피크를 이루는 bi-modal 분포를 나타내며 2차피크는 오후 4시까지 지속되었다.

6. 올림픽개최기간중 올림픽공원의 대기수은농도는 4.4~23.7ng/m³의 범위이며 평균치 8.2ng/m³, 변동계수는 0.34이고, 잠실종합운동장은 4.4~25.5ng/m³ 범위와 평균치 7.7ng/m³, 변동계수 0.38로서 두지점간에 거의 비슷한 농도를 나타내었다.

7. 구로공단의 경우, 하절기인 8월에는 수은과 오존 자외선강도 사이에서만 상관성이 확인된 반면 10월에는 기온을 제외한 가스상대기오염성분 및 기상인자 모두와 고도로 유의한 상관성이 인정되었고 상관계수 또한 매우 크며 수은농도도 2배이상 높았다.

그리고 대기중 수은은 아들 연소계대기오염물질과 매우 유사한 擧動을 나타내었다.

8. 기온이 높은 여름철의 도시대기중 수은농도는 기온의 상승이나 일사량의 강도에 따라 자연발생의 영향으로 농도가 상승하고, 계절변동에 따른 연료의 소비증가와 더불어 연소계 발생원의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. S.J. Long, D.R. Scott, R.J. Thompson; Atomic Absorption Determination of Elemental Mercury Collected from Ambient Air on Silver Wool, Anal Chem., Vol. 45, No. 13, p.2227(1973).
2. F. SLEMR, W. SEILER, C. EBERLING, P. ROGGENDORF; The Determination of Total Gaseous Mercury in Air at Background Levels, Analytica Chimica Acta, 110, pp.35-47 (1979).
3. 坂元隼雄, 鎌田政明：環境試料中の超微量水銀の定量, 日本化學會誌, No. 1, pp.32-39 (1981).
4. 趙冠英：金 amalgam 法에 依한 大氣中 水銀의 捕集과 分析에 對한 硏究(1985).
5. 嚴石源：大氣中 水銀捕集法의 改良과 分析에 關한 硏究, 서울市立大學校都市行政大學院 碩士學位請求論文(1986).
6. 及川紀久雄, 河邊安男, 龍澤行雄, 鎌田政明, 中川良三, 大八木義彦：人間環境における水銀の擧動に關にする硏究, 日本公衆衛生雜誌, Vol. 23, No. 10, p.659 (1976).
7. 小林穗樹：環境大氣中における水銀の擧動, 大氣汚染學會豫稿集, p.329 (1981).
8. 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擧動, 大氣汚染學會誌, Vol. 18, No. 1, p.67(1983).
9. 金旻永, 姜熙坤, 朴聖培：環境大氣中 水銀의 分布와 動態에 關한 硏究, 韓國環境衛生學會誌, Vol. 13, No. 2, pp.9-24 (1987).
10. 孫東憲, 趙冠英, 韓龍文：都市大氣中 수은농도, 藥學會誌, Vol. 30, No. 6, pp.281-287 (1986)
11. 中川良三, 立本英機, 堀內宣利：大氣中の水銀の擧動に關する硏究, 千葉大學環境科學硏究報告, Vol. 9, pp.16-23 (1984)
12. E.E. Lewin, R.G. de Pena, J.P. Shimshock: Atmospheric Gas and Particle Measurements at a Rural North Eastern U.S. Site, Atmos. Environ., Vol. 20, No. 1, pp.59-70 (1986).
13. 藤井正美：氣圈における水銀, 日本公衛誌, Vol. 9, p.505 (1976).
14. 藤井正美, 西原力, 近藤雅臣：濕式捕集法による空氣中水銀分析法に關する硏究, 日公衛誌, Vol. 23, No. 7, pp.421-430 (1976).
15) 藤井正美, 喜田村正次, 近藤雅臣：水銀の分布と大氣中の水銀について, 環境保健レポート, No. 26, pp.5-48.
16. ACGIH: Threshold limit values of airborne contaminants and physical agents with intended changes adopted by the American Conference of Governmental Industrial Hygieniest, Cincin-

nati, Ohio (1971).
17. WHO: Environmental Health Criteria, 1, Mercury. World Health Organization, Geneva(1976).
18. 中川良三：環境に關する水銀分析とその檢討, PPM Vol. 9, pp.18-27 (1978).
19. 松本光弘, 市川博, 市村國俊, 上田榮次, 板野龍光 金アマルガム法による大氣中の水銀測定, 全國公害研會誌, Vol. 7, No. 1, pp.27-31 (1982).
20. 田中克彦, 深谷勝久, 福井昭三, 菅野三郎：石英管燃燒, 金アマルガム法による魚肉および底質中の總水銀の定量條件の設定, 衛生化學, Vol. 20, pp. 344-348 (1974).
21. 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, Vol. 32, pp.352-356 (1983).
22. 鎌田政明. 十河一重, 上野山晴三：第15回自然災害科學總合シンポジウム(福岡), 講演論文集, p.211 (1978).
23. 金旻永, 朴相賢, 朴聖培：서울地域의 光化學汚染物質濃度現況 및 氣象因子의 影響에 關한 硏究, 서울특별시 보건환경연구소보, Vol. 22, pp.223-244 (1986).
24. McCarthy, J.H.: Mercury in the environment, U.S. Geological Survey Professional Paper, 713 (1970).
25. 伊瀨洋昭, 渡邊武春, 小野塚春吉, 朝來野國彦：大氣中水銀の分布と動態に關する調査(Ⅰ), 東京都公害硏究所年報. pp.57-64 (1984).
26. 金旻永：石炭燃燒爐에서의 水銀平衡에 關한 연구, 未刊,
27. S.C. Wroblewski, T.M. Spittler and P.R. Harrison: Mercury concentration in the Chicago, J. Air Poll. Control. Assoc., 24, pp.778-781 (1974).
28. D.L. Johnson and R.S. Braman: Distribution of atmospheric mercury species near ground, Environ. Sci. Technol., 8, pp.1003-1009 (1978).
29. W.F. Fitzgerald and G.A. Gill: Subnanogram determination of mercury by two stage gold amalgamation and gas phase detection applied to atmospheric analysis, Anal. Chem., 51, pp. 1714-1720 (1979).
30. M.C. Bedard, G.J. Pelletier and F. Frantisak: Mercury in ambient air, Proc. Annu. Meet. Air Pollut. Control Assoc. 73th, 80. 38. 4.1~4.16 (1980).
31. S.H. Williston: Mercury in the atmosphere, J. Geoph. Res., Vol. 73, pp.7051-7055 (1978)
32. K.E. Thrane: Back ground levels in air of lead, cadmium, mercury and some chlorinated hydrocarbons measured in south norway, Atmos. Environ., 12, pp.1155-1161 (1978).
33. 小林禧樹, 池澤 正, 渡邊 弘：環境大氣中における水銀の動態, 大氣汚染學會誌, 17, p.353 (1982).
34. R.H. Hammerle and W.R. Pierson: Sources and elemental composition of aerosol in Pasadena, Calif., by energy dispersive X-ray fluorescene, Environ. Sci. Technol., 9, pp.1058-1068(1975).
35. Anderson, A.: Mercury in soil, Grundförbattring, 3-4, pp.95-105 (1967).
36. Rogers, R.D.: A biological methylation of mercury in soil, U.S. Environ. Prot. Agency, EPH-600/3-77-007 (1977).
37. Kozuchowski, J. and D.L. Johnson: Gaseous emissions of mercury from an aquatic vascular plant, Nature(Lond.), 274, pp.468-469 (1978).
38. Hogstrom, U., L. Enger and I. Svedung: A study of the atmospheric mercury dispersion, Atmos. Environ., 13, pp.465-476(1979)
39. Kothny, E.L.: The three-phase equilibrium of mercury in nature, in E.L. Kothny(Editor), Trace Elements in the Environment, Adv. Chem. Ser., 123, pp.48-81 (1973).