

연돌에서 분출되는 매연의 확산(II) Dispersion of the Plume Emitted From a Stack(II)

유정열* · 노승탁** · 이택식**
Jung-Yul Yoo, Sung-Tack Ro, Taik-Sik Lee

5. 자료획득 방법

이론적인 유도과정을 통하여 연돌 방출물질의 확산에 관계되는 각종 방정식 및 해석방법들이 제공된 후, 이론적인 고찰만으로는 연역될 수 없는 연기의 이동 및 확산특성을 설명하기 위해서는 실험적으로 결정된 변수들이 도입된다. 복잡한지 않은 환경이거나 비교적 짧은 거리에 대해서는 (≤ 10 km) 기상관측 기구들을 적절히 배치하는 것으로 충분하지만, 복잡한 지형이거나 먼 거리에 대한 문제에 있어서는, 수많은 관측 기구에 의존한다든지 타당한 입력자료를 얻기위한 모형기술로 대처 시킨다든지 하여야 한다. 후자의 경우에 있어서는 완전한 규모의 현장시험 또는 시뮬레이션(simulation)을 위한 풍동실험을 포함한다. 어느 방법을 채택하던지 경제성, 공해의 심각성 및 지형의 복잡성을 고려하여 결정해야 한다.

연기의 수송 및 확산에 관한 여러가지 현장시험방법들에 대해서는 Slade⁽³⁾, Smith⁽⁴⁾ 및 Stern⁽⁵⁾ 등에 자세히 토의가 되어있으므로 이들을 참조하도록 하고 여기서는 직접 취급하지 않도록 한다.

분산 계산 중 가장 간단한 기술은 대상지역의 올바른 고도에서 바람과 안정성을 측정하는 계기를 설치하여 사용하는 것이다. 대부분의 연구에 있어서 안정 조건과 불안정 조건 간에 중요한 차이가 있게 되는데, 앞으로는 강한 불안정

및 중립조건은 불안정 조건으로 취급한다.

5.1 오염원의 고도에 계기를 설치한 경우

(1) 계기를 완전히 구비한 경우

평균풍속을 측정하기 위한 풍속 계, 안정성을 결정하기 위하여 두 고도에 설치된 온도계 및 3차원 바람의 상승각 및 방위각의 표준편차를 구하기 위한 bivane 등을 구비한 경우를 말한다 이러한 계기들로부터 다음 식들에 의해서 확산 계수들을 추산한다.

$$\text{안정조건} \begin{cases} \sigma_y = 0.15 \sigma_a X^{0.71} & (5.1a) \\ \sigma_z = 0.15 \sigma_e X^{0.71} & (5.1b) \end{cases}$$

$$\text{불안정조건} \begin{cases} \sigma_y = 0.045 \sigma_a X^{0.86} & (5.2a) \\ \sigma_z = 0.045 \sigma_a X^{0.86} & (5.2b) \end{cases}$$

여기서 σ_a =원천의 고도에서 방위각의 표준편차 (도)

σ_e =원천의 고도에서 상승각의 표준편차 (도)

이며 안정조건은 양의 온도구배(고도에 따른 온도증가)를 의미하고 불안정 조건은 음의 온도구배 또는 등온조건을 의미한다.

평균풍속 및 풍향은 기록으로부터 직접 얻을 수 있으며, 표준편차는 한 시간 동안의 채취시간에 걸쳐서 어떤 확실한 통계적인 방법으로도 얻을 수 있다. 예를들면, 주어진 한 시간에 걸친 날개(vane) 움직임의 절대범위를 6으로 나누므로서 비교적 근사한 값이 계산된다.

관심있는 빈도 범위에 걸쳐서 적절한 반응특

* 서울대학교 공과대학 기계공학과

** 정회원, 서울대학교 공과대학 기계공학과

성을 갖는 계기를 사용하도록 주의해야 한다. 예를 들면, 의미있는 σ_e 의 값을 얻기 위해서 최근에 사용되고 있는 전형적인 bivane은 지면으로부터 최소한 45m의 고도에 위치해야 된다. 그렇지 않다면 수직방향 바람의 변동 중 많은 부분이 측정될 수 없다. 일단 평균풍속 및 연기 표준편차가 얻어지면, 4 장에서의 방정식들로부터 지면 농도를 계산하는 것은 간단한 일이다.

(2) 계기를 부분적으로 구비한 경우

한 두 가지의 기상 측정 계기가 사용될 수 없을 때는 나머지 계기들에 의존하여야 한다.

만일 온도 변화율이 생략되었다면, 안정조건과 불안정조건을 구별하기 위해서는 bivane 의 수직 표준편차를 활용할 수 있다. σ_e 의 값이 1.5도 이하이면 안정조건이 존재한다고 볼 수 있는 증거가 된다. 그러나, bivane마저 생략되는 경우에는 10m고도에서 풍속이 2m/sec 보다 낮은 조건을 야간 안정조건으로 정의할 수 있다.

만일 수직 표준차가 부족된다면, 표준 풍향계에 의하여 주어진 σ_a 의 값으로부터 다음의 관계를 사용하여 구한다 :

$$\text{안정조건 } \sigma_e = 0.2 \sigma_a, \quad (5.3)$$

$$\text{불안정조건 } \sigma_e = 0.7 \sigma_a. \quad (5.4)$$

풍향계가 전혀 사용될 수 없을 때는 풍속 계에만 의존 하여야 한다. 이 때는 풍속과 σ_a 사이에 성립되는 간단한 관계식은 없으나, 안정조건에 대해서는 어떤 고도에서든지 $\sigma_a = 2^\circ$ 로 두는 것이 대략적인 근사치는 될 수 있다.

만일 온도 변화율이 불안정하다면 다음 식을 사용하므로써 풍속으로부터 σ_a 를 유도할 수 있다 .

$$(\sigma_a)_{100} = 23 / U + 4.75. \quad (5.5)$$

위 식은 100 m의 오염원 고도에 대하여 유도되었으므로, 다른 고도에 대해서는 직접 사용되는 안되며 다음 절의식(5.7) 및 (5.8)을 곁해서 사용하여야 한다.

5.2 오염원의 고도 이외의 위치에 계기를 설치한 경우

기상 측정장치들이 오염원의 고도에 설치되지

않을 때는, 고도의 차이에 따른 풍속 및 방향변동의 표준편차를 수정할 필요가 있다. 고도에 따른 풍속 및 변화는 보통 다음 식으로 계산된다.

$$\text{안정조건 } U_h = U_1 \left(\frac{h}{Z_1} \right)^{0.50}, \quad (5.6)$$

$$\text{불안정조건 } U_h = U_1 \left(\frac{h}{Z_1} \right)^{0.25} \quad (5.7)$$

여기서 하첨자들은 두 개의 다른 고도를 나타낸다.

바람의 수평 (σ_v) 및 수직 (σ_w) 성분들은 고도에 따라서 대체로 일정하다. 따라서 $\sigma_v \equiv \sigma_a U$ 및 $\sigma_w \equiv \sigma_e U$ 이므로 각 표준편차에 대해서 다음과 같이 간략하게 조정할 수 있다.

$$\sigma_{ah} U_h = \sigma_{al} U_l, \quad (5.8)$$

$$\sigma_{eh} U_h = \sigma_{el} U_l. \quad (5.9)$$

만일 어떤 계기가 사용될 수 없고, 다른 계기들은 오염원의 고도에 위치하지 않는다면, 이 절에서 주어진 관계들을 적절히 결합하여 추산에 사용할 수 있다.

6. 계산 방법 및 예

지금까지 제시되었던 여러 방정식들은 비교적 사용이 용이하며 지루한 계산절차를 요구하지 않으므로 간단한 문제들에 직접 적용할 수 있다. 복잡한 문제들은 전자계산기를 활용하므로써 효과적으로 취급할 수 있는데, 이와 같은 전산프로그램들에 대해서 일반적으로 논하기는 매우 어려우므로 여기서는 전자계산기 사용에 대한 광범위한 설명은 필요로 하지 않는다. 이것은 각 문제의 특수성 및 제한성에 익숙한 사람에게 의해서 다루지는 것이 바람직하다.

다만 여기서는 하나의 가상적인 문제로서, 서울 지역에 대규모 화력 발전소를 건설한다고 했을 때, 그로 인하여 주위에서 오염물질의 강기 지면농도 분포가 어떻게 나타날 것인가 하는 문제를 고찰한다. 지금까지 제시되었던 내용들을

적절히 사용하므로써 주어진 문제에 있어서 일차적인 추산을 얻으며, 동시에 이 문제를 통하여 계산과정에서의 여러 단계를 예시하는데 목적이 있다.

6.1 입력자료

아래와 같은 변수들을 갖는 서울 지역에 위치한 현대식 석탄 사용 화력발전소를 예로서 선택한다 :

- 출력 $P = 600 \text{ MW}$
- 석탄의 유황 함유량 $S = 1 \%$
- 석탄의 저발열량 $H_e = 7500 \text{ kcal / kg}$
- 공기 과잉계수 $m = 1.1$
- 연들의 높이 $h_s = 125 \text{ m}$
- 연들의 직경 $d_s = 8 \text{ m}$

발전소의 총합 열효율 $\eta = 35 \%$
 기상자료로서는 1978년도 기상연보²⁰에 기록된 서울 지방의 월평균 기온(표 6-1)과 매월의 풍향별 평균풍속(표 6-2) 및 관측횟수의 백분율(표 6-3)을 사용한다. 기온은 백엽상안 지상 약 1.5 m 높이에서 관측한 값으로서 매일 03시, 09시, 15시, 21시의 관측치들의 월평균을 각 * 사용되는 석탄이 무연탄이라면 중량%로 표시한 원소분석치는 대략 탄소 80-90, 수소 2-4, 유황 0.5-1, 산소 1-4, 질소 약 1, 회분 2-10, 전수분 1-4 이지만, 표 1-1의 정치원천에서의 연료연소중 아황산가스에 의한 대기오염이 가장 큰 비중을 차지하고 있으므로 유황성분이 1%라고 가정하여 중점적으로 취급한다.

표 6-1 1978년도 서울지방의 기온

기 온 AIR TEMPERATURE (°C)													
월 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNUAL
03h	-3.7	-4.0	1.7	8.4	14.4	19.1	24.1	24.0	18.4	11.5	5.8	0.2	10.0
09h	-4.3	-4.6	2.3	10.7	17.6	21.1	25.9	25.4	20.0	13.4	6.1	-0.1	11.1
15h	0.4	0.7	8.1	15.7	24.3	25.7	29.3	28.6	24.7	18.9	11.7	4.7	16.1
21h	-2.1	-2.1	4.4	11.0	17.8	21.5	26.5	25.2	20.6	14.2	7.9	1.8	12.2
평 균 Average	-2.4	-2.5	4.2	11.5	18.5	21.9	26.4	25.8	20.9	14.5	7.9	1.6	12.4
평균최고 Ave. Max	1.7	2.0	9.2	17.2	25.1	26.9	30.1	29.8	25.8	20.1	12.7	5.6	17.2
평균최저 Ave. Min	-6.0	-6.3	-0.2	6.6	12.9	18.2	23.3	23.1	17.1	10.0	4.1	-1.6	8.4
평균교차 Ave. Range	7.7	8.3	9.4	10.5	12.3	8.7	6.8	6.7	8.7	10.1	8.7	7.2	8.8
최 고 Highest	7.4	11.0	17.4	25.0	29.8	30.7	36.1	34.4	30.6	29.2	18.2	14.6	36.1
나타난날 Date	6	27	7	14	28	24	28	1	6	1	7	8	28 / 7
최 저 Lowest	-13.3	-16.0	-8.2	0.4	7.2	12.5	18.2	19.2	13.4	4.2	-5.0	-10.7	-16.0
나타난날 Date	31	1	1	3	2	1	12	21	20	12	28	30	1 / 2
최대교차 Largest Range	12.6	12.6	15.8	16.4	16.3	14.6	10.4	11.2	14.0	15.8	13.9	11.6	16.4
나타난날 Date	15	28	7	14	12	7	25	6	27	13	24	20	14 / 4

연월에서 분출되는 매연의 확산(II)

표 6.2 1978년도 서울 지방의 풍향별 평균풍속

풍향별 평균풍속(매시) AVERAGE WIND SPEED FOR DIRECTIONS HOURLY (m / s)													
월 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNUAL
북 N	1.5	1.7	1.7	1.1	1.4	1.8	1.1	0.7	1.1	1.2	1.0	1.2	1.2
북북동 NNE	1.1	1.1	1.1	1.5	1.0	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1	1.1	1.5	1.1
북동 NE	1.8	1.9	1.8	1.6	1.6	1.2	1.3	1.5	1.7	2.1	1.5	1.7	1.6
동북동 ENE	1.8	2.2	3.5	2.4	2.4	1.9	1.8	2.4	2.5	1.6	2.5	1.8	2.2
동 E	1.6	2.1	1.6	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1	1.4	1.2	1.4	1.4	1.4
동남동 ESE	1.7	2.3	1.0	1.8	2.0	1.2	1.2	1.0	1.9	1.3	1.5	1.0	1.4
남동 SE	1.5	1.7	1.8	1.1	1.0	1.8	1.4	0.9	1.3	1.1	1.2	1.8	1.3
남남동 SSE	1.4	-	1.0	2.2	3.0	1.9	1.5	1.4	2.9	1.4	1.0	1.5	1.6
남 S	1.8	2.5	1.8	2.5	1.1	1.7	1.4	2.1	3.7	1.5	1.9	1.2	1.9
남남서 SSW	2.0	3.0	2.2	3.3	2.9	2.7	3.0	4.3	2.1	2.1	1.5	4.9	2.8
남서 SW	2.7	3.6	3.7	4.4	2.8	2.8	3.6	3.6	2.5	2.4	1.8	2.9	3.0
서남서 WSW	2.6	3.5	3.3	4.0	2.9	2.5	2.4	2.5	2.6	2.9	2.4	2.6	2.8
서 W	3.2	3.7	3.9	3.7	3.5	2.9	2.4	2.4	2.9	3.2	3.0	3.3	3.1
서북서 WNW	3.8	3.7	3.4	4.2	3.3	2.2	1.6	2.2	1.7	2.1	3.2	2.8	2.8
북서 NW	2.8	2.7	2.8	5.3	2.5	1.3	1.4	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	2.3
북북서 NNW	2.7	2.2	2.3	2.9	1.6	1.4	1.3	1.2	2.2	1.7	1.1	2.0	1.8

표 6-3 1978년도 서울 지방의 풍향별 관측횟수의 백분율

풍향별 관측횟수의 백분율(매시) RATE OF FREQUENCY OF WIND DIRECTIONS : HOURLY(%)													
월 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANNUAL
북 N	1.5	0.1	1.2	0.7	1.3	0.7	1.6	1.3	3.3	3.0	0.8	2.2	1.4
북북동 NNE	2.7	0.7	0.5	1.0	1.5	1.3	0.5	1.6	2.1	5.5	7.6	2.6	2.3
북동 NE	11.7	5.4	6.6	5.7	8.9	4.0	7.1	12.8	11.7	23.3	14.7	20.0	10.9
동북동 ENE	9.5	7.1	9.4	11.3	6.2	11.8	17.3	18.8	36.5	15.3	12.4	12.4	14.0
동 E	1.7	1.2	1.2	3.2	1.1	2.2	3.6	1.1	1.8	1.6	1.7	2.0	1.8
동남동 ESE	0.4	0.4	0.3	1.4	0.8	1.1	4.3	1.2	0.8	1.3	0.6	0.5	1.0
남동 SE	0.4	1.2	0.3	1.3	1.7	1.0	1.3	0.3	0.8	0.4	0.8	0.8	0.8
남남동 SSE	0.3	-	0.4	0.6	0.4	1.9	2.6	1.6	0.4	1.1	0.3	0.3	0.8
남 S	0.3	1.3	0.7	2.1	1.3	2.5	2.7	0.8	0.1	1.2	0.4	0.8	1.1
남남서 SSW	2.0	1.3	1.5	2.9	3.6	3.9	5.2	6.9	2.2	1.2	1.7	1.9	2.8
남서 SW	2.2	3.6	3.9	14.3	13.2	17.6	9.0	11.0	5.8	4.4	3.5	3.2	7.6
서남서 WSW	7.1	8.2	12.5	19.0	16.5	14.2	5.1	9.5	6.1	4.3	7.4	3.9	9.4
서 W	14.8	20.1	24.1	16.5	25.3	22.1	12.5	14.9	13.2	14.1	17.4	15.2	17.5
서북서 WNW	25.9	23.8	21.8	12.5	6.3	3.8	5.0	4.4	4.0	7.3	12.9	20.7	12.3
북서 NW	9.0	12.6	6.6	2.1	3.8	1.9	2.7	1.7	3.9	7.1	7.6	7.8	5.5
북북서 NNW	1.6	3.1	2.2	0.7	0.4	0.6	0.7	0.9	1.5	1.9	2.1	1.3	1.4
정온 Calm	8.8	9.6	6.9	4.8	7.6	9.4	18.6	11.0	5.5	6.9	8.1	4.4	8.4

각 구한 후 다시 이들의 평균을 구한 값이다. 바람은 서울 지방에서는 지상 11.5 m에서 관측한 값을 사용한다. 풍향별 평균풍속은 m/sec 의 단위이고 이는 매시 관측으로부터 얻어진 16 방향중 동일방향에 대한 풍속의 평균이다. 풍향별 관측횟수의 백분율은 매시 관측으로부터 얻어진 것이며 전체에 대하여 동일한 풍향이 나타난 횟수의 백분율이다.

6.2 장기 지면농도분포의 계산

주어진 지점에서의 분산조건, 풍속 및 풍향은 시시때때로 계속해서 변화하므로 장기에 걸친 평균농도분포의 계산에 있어서는 이들의 변화양식을 고려해야만 한다. 바람지하기로는 오염원 주위의 여러 지점에서 매시간 마다의 농도양식을 계산하여 장기에 걸친 평균을 구하는 것이다. 분산조건을 서너개의 범위로 나누어서 각 범위에 관계되는 풍향, 풍속을 결정하고 그 결과를 요약하는 것도 좋은 방법이다.

여기서는 계산과정을 예시하기 위하여 기상조건을 두 범위로만 나누어서 바람이 있는 경우를 불안정 조건, 바람이 없는 경우는 안정조건이라고 가정한다. 안정조건은 지면농도에 아무런 기여를 하지 않으므로 앞으로의 계산에서는 완전히 제거시킬 수 있다.

지면농도 계산에 있어서는 유효연돌고도가 요구되는데, 연돌에서 분출되는 연기의 온도가 연돌출구에서의 대기온도보다 약 120°C 정도 높다고 가정하므로 buoyant plume에 관한 Briggs의 식들을 적용한다. 대기온도는 불안정 조건하에서 초단열 온도변화율을 갖는다고 가정하여 $dT/dZ = -1.1^\circ\text{C}/100\text{m}$ 로 취한다.

장기 지면농도 계산에는 식 (4.15)를 사용한다:

$$X(x, \phi, f) = \frac{360 f Q}{\phi 100 \pi^{3/2} 2^{1/2} \sigma_z U_x} \exp \left[- \left(\frac{h_e^2}{2 \sigma_z^2} \right) \right]$$

따라서 주어진 문제에 대해서는 다음을 이용한

다:

$$\phi = 22.5^\circ,$$

$$f = \text{표 6-3의 값.}$$

유효연돌높이를 계산하기 위해서는 미리 이론 공기량, L_t 및 연소 가스량, V_g 를 계산해두는 것이 편리한데, 다음 식들을 사용하기로 한다⁽²⁾

$$L_t = \frac{1.01}{1000} H \ell + 0.5 \left(\frac{N_m^3}{\text{kg}} \right),$$

$$V_{g(N)} = \frac{0.89}{1000} H \ell + 1.65 + (m-1) L_t \times \left(\frac{N_m^3}{\text{kg}} \right).$$

그러므로 이 문제에 있어서는 다음과 같다:

$$L_t = \frac{1.01}{1000} (7500) + 0.5 = 8.075 \frac{N_m^3}{\text{kg}},$$

$$V_g = \frac{0.89}{1000} (7500) + 1.65 + (1.1-1) (8.075) = 9.1325 \frac{N_m^3}{\text{kg}}.$$

(1) 아황산가스의 질량유량, Q

연료 소비량을 R 이라 하면, 입력자료로부터 다음과 같이 계산된다.

$$R = \frac{P}{H \ell^{\eta}} = \frac{(600 \text{ MW}) (10^3 \text{ KW/MW})}{(7500 \text{ kcal/kg}) (0.35)} \times \frac{(860 \text{ kcal/KW} \cdot \text{hr})}{1} = 196.57 \times 10^3 \text{ kg-coal/hr} = 196.57 \text{ ton-coal/hr}$$

따라서

$$Q = (196.57 \text{ ton-coal/hr}) (1000 \text{ kg/ton}) (0.01 \text{ kg-S/kg-coal}) \times (2 \text{ So}_2/\text{S}) \times (1 \text{ hr}/3600 \text{ sec}) = 1.092 \text{ kg-SO}_2/\text{sec} = 1092 \text{ g-SO}_2/\text{sec}.$$

(2) 연돌 출구에서의 조건

연돌 출구에서의 대기온도, T와 연소 가스의 온도, T_s 는 가정에 의하여 다음과 같은 관계식들로부터 구해진다:

연돌에서 분출되는 매연의 확산(III)

$$T = T_0 + (-1.1^\circ \text{C} / 100 \text{ m}) (h_s - h_t),$$

$$T_s = T + 120^\circ \text{C}.$$

여기서 T_0 는 지면으로부터 높이 h_t 에 설치된 온도계로부터 관측한 온도를 나타낸다. 연기의 비체적을 V_g , 연기의 유량을 Q_s 라고 하면 다음의 식들이 성립된다:

$$\frac{V_g}{T_s} = \frac{V_g (N)}{273.16^\circ \text{K}}, \quad V_s = \frac{Q_s}{A_s} = \frac{RV_g}{A_s} =$$

$$= \frac{RV_g}{\frac{\pi}{4} d_s^2}.$$

따라서, 1 월달의 예를 들자면 다음과 같다:

$$T = -2.4^\circ \text{C} + (-1.1^\circ \text{C} / 100 \text{ m}) (125 \text{ m} - 1.5 \text{ m}) = -3.76^\circ \text{C} = 269.4^\circ \text{K},$$

$$T_s = -3.76^\circ \text{C} + 120^\circ \text{C} = 116.24^\circ \text{C} = 389.4^\circ \text{K},$$

$$V_g = \left(9.1325 \frac{\text{N}_m^3}{\text{kg}} \right) \left(\frac{389.4^\circ \text{K}}{273.16^\circ \text{K}} \right) = 13.02 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}},$$

$$Q_s = (196.57 \text{ ton} / \text{hr}) (10^3 \text{ kg} / \text{ton})$$

$$(1 \text{ hr} / 3600 \text{ sec}) (13.02 \text{ m}^3 / \text{kg})$$

$$= 710.285 \text{ m}^3 / \text{sec},$$

$$V_s = \frac{(710.285 \text{ m}^3 / \text{sec})}{\frac{\pi}{4} (8 \text{ m})^2} = 14.128 \text{ m} / \text{sec}.$$

또한, buoyant plume 에 대한 부력 매개변수, F_b 는 다음과 같다:

$$F_b = \frac{g V_s r_s^2 (T_s - T)}{T}$$

$$= (9.8 \text{ m} / \text{sec}^2) (14.128 \text{ m} / \text{sec}) (4 \text{ m})^2$$

$$(120^\circ \text{K}) / (269.4^\circ \text{K})$$

$$= 986.76 \text{ m}^4 / \text{sec}^3.$$

(3) 실제 연돌높이에서의 풍속, U 및 수직방향 표준편차, σ_z

오염원의 고도 이외의 위치에서 계기를 부분적으로 구비한 경우에 해당하므로, 5.1 의 (2) 와 5.2 에 설명된 방법들을 적절히 선택하여 사용한다. 가정에 의한 불안정 조건하에서는 다음 식들을 사용하여 오염원 고도에서의 자료를 얻는다:

$$U_h = U_1 \left(\frac{h}{Z_1} \right)^{0.25},$$

$$(\sigma_a)_{100} = \frac{23}{U 100} + 4.75,$$

$$\sigma_e = 0.7 \sigma_a$$

오염원고도에서 불안정조건에 대한 σ_z 의 식을 사용한다;

$$\sigma_z = 0.045 \sigma_e^{x^{0.86}}$$

대기조건에 관계없이 성립되는 다음의 식도 이용된다:

$$\sigma_{ah} U_h = \sigma_{a1} U_1$$

지면으로부터 높이 h_a 에 설치된 풍속계로부터 읽은 풍속 자료를 사용할 수 있다. 1월달 북풍에 대한 예를 들자면,

$U_{11.5} = 11.5 \text{ m} / \text{sec}$ 이므로 다음의 계산을 할 수 있다:

$$U = U_{125} = (1.5 \text{ m} / \text{sec}) \left(\frac{125 \text{ m}}{11.5 \text{ m}} \right)^{0.25}$$

$$= 2.724 \text{ m} / \text{sec},$$

$$U_{100} = (1.5 \text{ m} / \text{sec}) \left(\frac{100 \text{ m}}{11.5 \text{ m}} \right)^{0.25}$$

$$= 2.576 \text{ m} / \text{sec},$$

$$(\sigma_a)_{100} = \frac{23}{2.576} + 4.75 = 13.68^\circ,$$

$$(\sigma_a)_{125} = (13.68^\circ) \frac{2.576 \text{ m} / \text{sec}}{2.724 \text{ m} / \text{sec}} = 12.94^\circ$$

$$(\sigma_a)_{125} = 0.7 (12.94^\circ) = 9.06^\circ,$$

$$\sigma_z = (\sigma_z)_{125} = 0.045 (9.06)^{x^{0.86}}$$

$$= 0.4075 x^{0.86}.$$

(4) 유효연돌높이, h_e

* N_m^3 은 0°C , 760 mm Hg 에서의 체적이다.

20 MW 또는 그 이상의 열량을 방출하는 화석연료 발전소에 대한 Briggs의 연기 상승식들을 사용한다:

$$x < 10 h_s \text{에 대해서 } \Delta h(x) = 1.6 F_b^{1/3} U^{-1} x^{2/3}$$

$$x > 10 h_s \text{에 대해서 } \Delta h = 1.6 F_b^{1/3} U^{-1} (10 h_s)^{2/3}$$

1 월달 북풍에 대하여 $x = 1000 \text{ m}$ 및 2000 m 에서의 예를 들면 다음의 계산을 할 수 있다.

$x = 1000 \text{ m}$ 에서는 $x < 10 h_s$ 이므로

$$\Delta h = 1.6 (986.76 \text{ m}^4 / \text{sec}^3)^{1/3} (2.724 \text{ m} / \text{sec})^{-1} (1000 \text{ m})^{2/3} = 584.77 \text{ m},$$

$$h_e = h_s + \Delta h = 709.77 \text{ m},$$

$x > 2000 \text{ m}$ 에서는 $x > 10 h_s$ 이므로

$$\Delta h = 1.6 (986.76 \text{ m}^4 / \text{sec}^3)^{1/3} (2.724 \text{ m} / \text{sec})^{-1} (1250 \text{ m})^{2/3} = 678.56 \text{ m},$$

$$h_e = h_s + \Delta h = 803.56 \text{ m}.$$

(5) 농도, X의 계산

식(4.15)를 사용하여 원천으로부터의 거리에 따른 장기 지면농도를 계산할 수 있다.

1 월달 북풍을 예로 들어서 계산하면,

$$f = 1.5\% \text{ 이므로}$$

$$X = \frac{360 (1.5) (1092 \text{ g } -\text{SO}_2 / \text{sec})}{(22.5) (100) \pi^{2/3} 2^{1/2} (2.724 \text{ m} / \text{sec})} \times \frac{1}{\sigma_z x} \exp -\left(\frac{h_e^2}{2\sigma_z^2}\right) = \left(0.01221763 \times 10^6 \frac{\text{mg } -\text{SO}_2}{\text{m}}\right) \frac{1}{\sigma_z x} \times \exp -\left(\frac{h_e^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

을 얻는다. 몇 개의 위치에서의 지면농도를 다음 표에서와 같이 계산한다. 여기서 주의해야 할 것은 자료가 북풍에 대한 것이므로 농도분포는 오염원으로부터 남쪽으로 나타나게 된다는 것이다. 이와 같은 방법으로 모든 풍향에 대한

$h_e \text{ (m)}$	709.77	803.56	
$x \text{ (m)}$	1000	2000	4000
$\sigma_z \text{ (m)}$	154.927	281.2	510.387
$\sigma_z x \text{ (m}^2\text{)}$	0.154927×10^6	0.56239×10^6	2.0415×10^6
$X \left(\frac{\text{mg } -\text{SO}_2}{\text{m}^3}\right)$	0.2184×10^{-5}	0.36628×10^{-3}	0.1733×10^{-2}

계산을 하면 한 달 평균 지면농도분포가 얻어지는데, 이것을 가장 효과적으로 제시하는 방법은 오염원을 중심으로한 극좌표계를 사용하므로써 오염원 주위의 등농도 곡선을 그리는 것이다. 1978년도 매월의 월평균 농도분포도는 그림 6-1에 표시했고, 전년에 걸친 연평균 농도분포도는 그림 6-2에 표시했다.

(6) 토의

연둘에서 방출되는 오염물질의 오염원 주위에서의 농도분포를 구하는 방법에 대한 이해를 도와고자 하나의 가상적인 예를 고찰하였다.

입력으로 제공되었던 자료들은 대체로 두 종류로서 연둘에 관한 것과 기상조건에 관한 것으로 나눌 수 있다. 연둘자료들은 비교적 타당한 값들로서, 실제경우에 있어서도 현장으로부터 정확한 값들을 용이하게 얻을 수 있다. 그러나 기상자료들은 오염원의 고도 이외의 위치에서 관측한 값들을 사용하였으므로 처리과정에서 채택된 가정들은 다소 비실제적일 수도 있다. 대기조건에 있어서 좀 더 세분화된 안정성 구분을 사용하거나, 오염원 고도에서 직접 측정된 바람 및 기온의 값 및 실제의 대기온에 변화율을 사용하므로써 더욱 개선된 결과를 얻을 수 있다.

연둘로부터 방출되는 오염물질의 농도분포도를 통하여, 일차적인 추산이 가능하고, 설정된 공기질의 기준이 초과되는지의 여부를 비교할 수 있다. 예로서 선택된 문제에 있어서는 장기 평균농도분포만이 고려되었는데, 단기 최대농도 또는 단기 평균농도분포와 함께 종합적으로 검토되는 것이 더욱 바람직하다. 비록 장기 평균치는 허

연돌에서 분출되는 매연의 확산 (III)

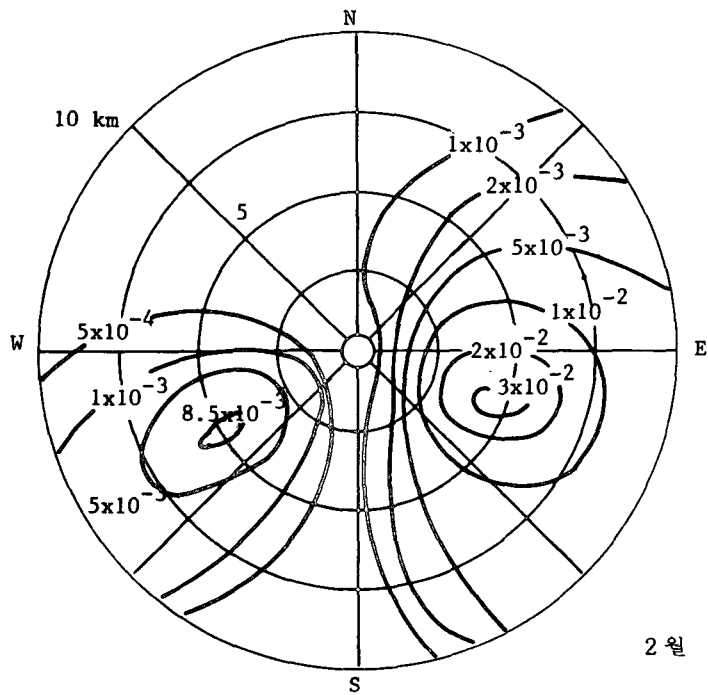
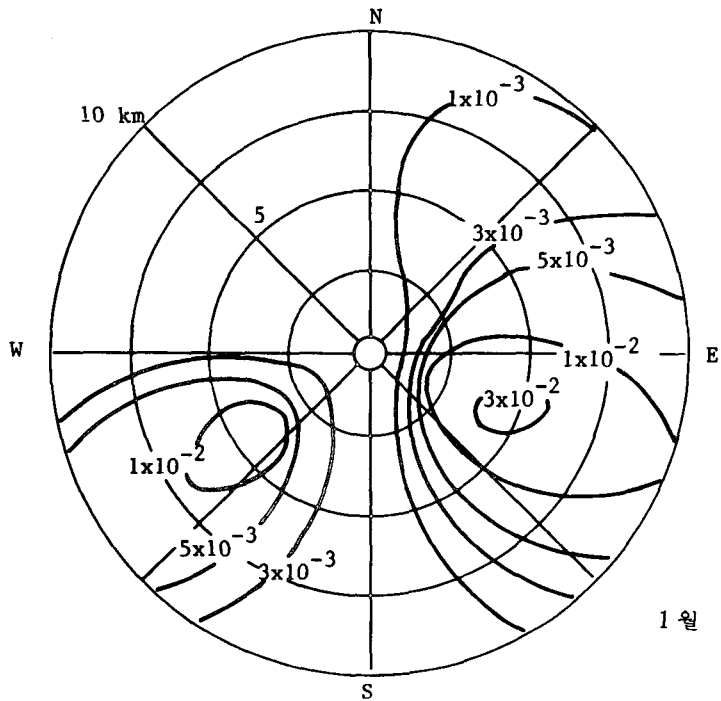


그림 6 - 1 아황산가스의 월평균 지면농도 분포 (단위 mg / m^3)

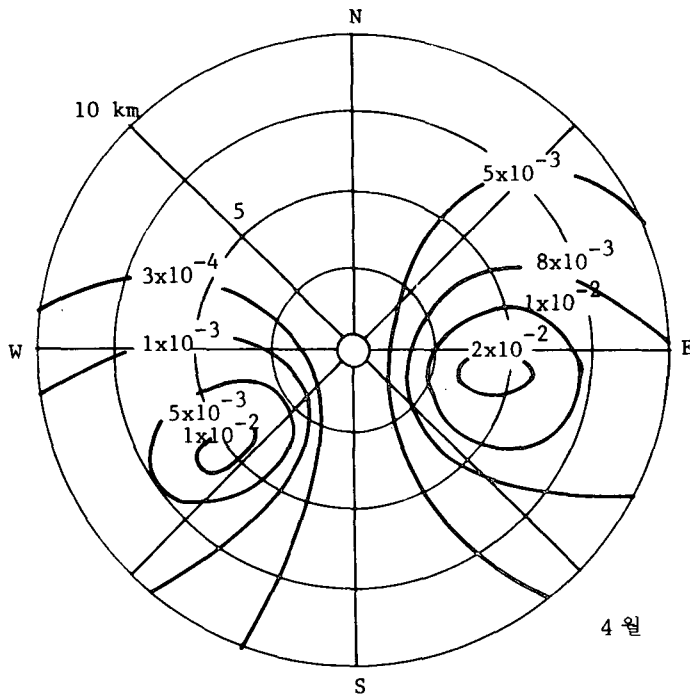
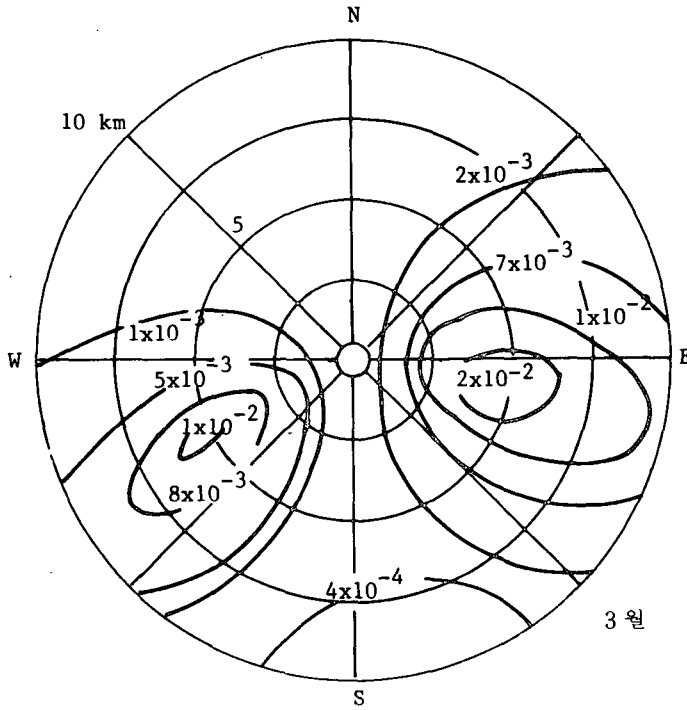
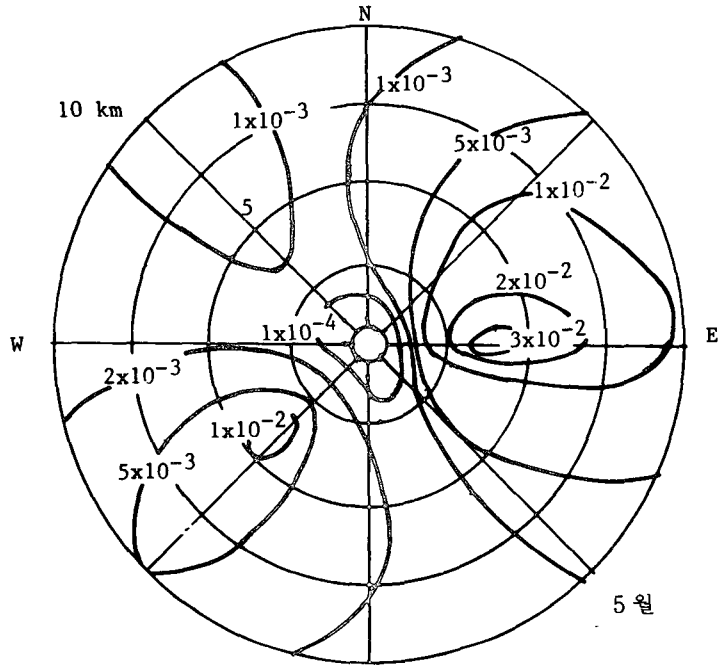


그림 6-1 계속

연돌에서 분출되는 매연의 확산 (II)



§

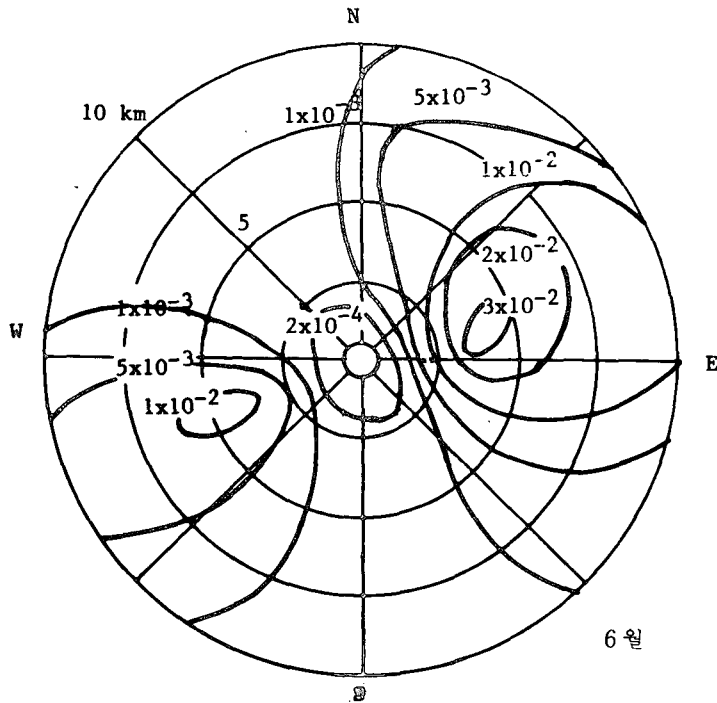


그림 6-1 계속

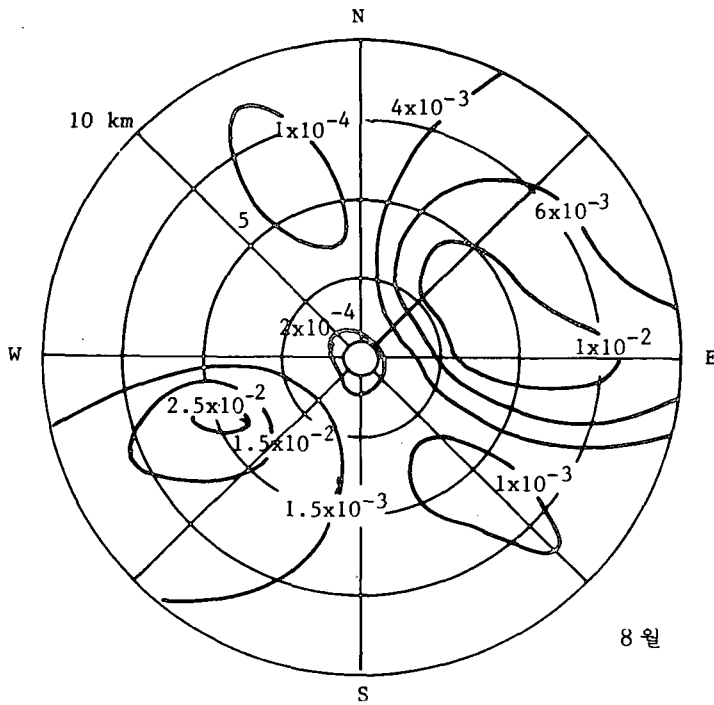
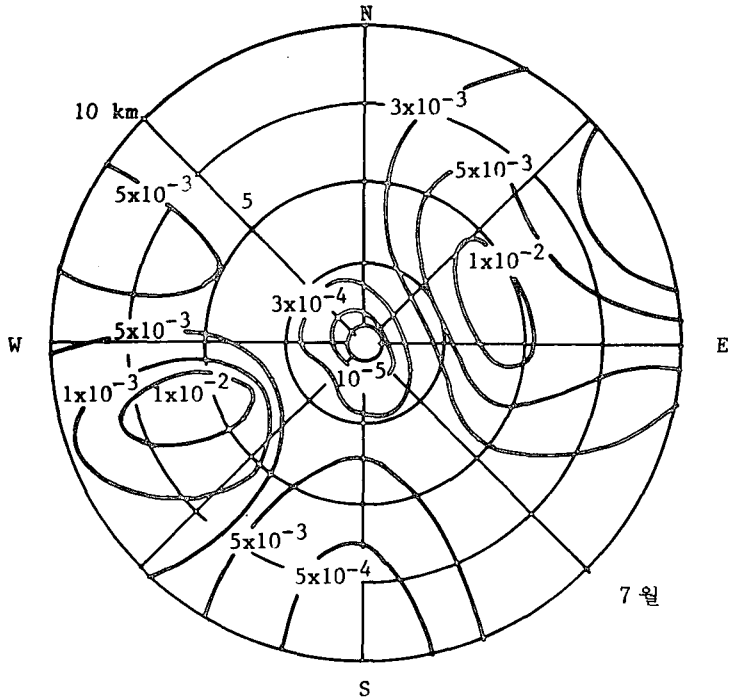


그림 6-1 계속

연돌에서 분출되는 매연의 확산 (II)

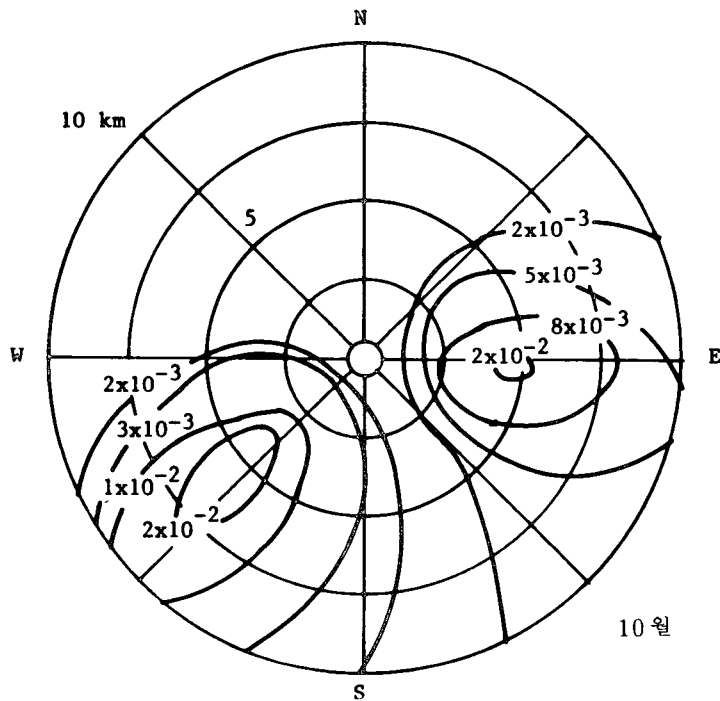
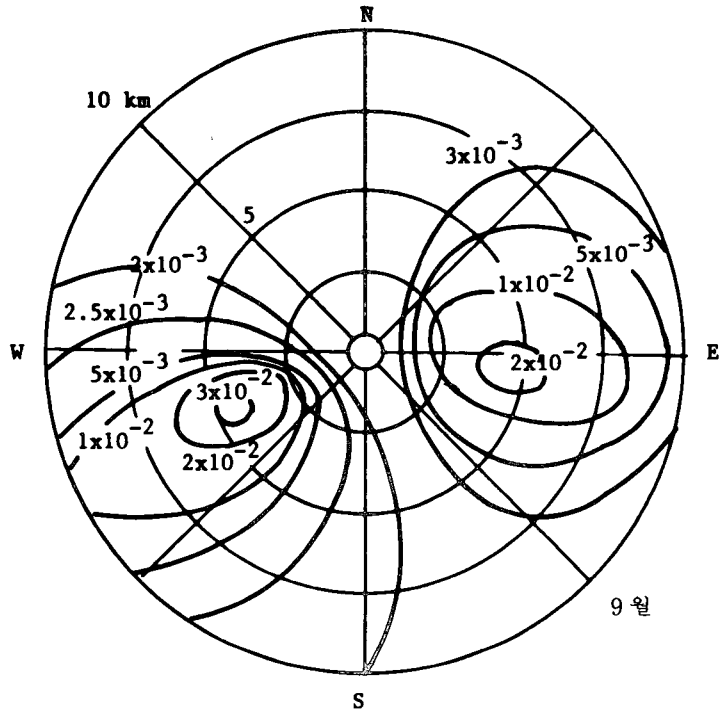


그림 6-1 계속

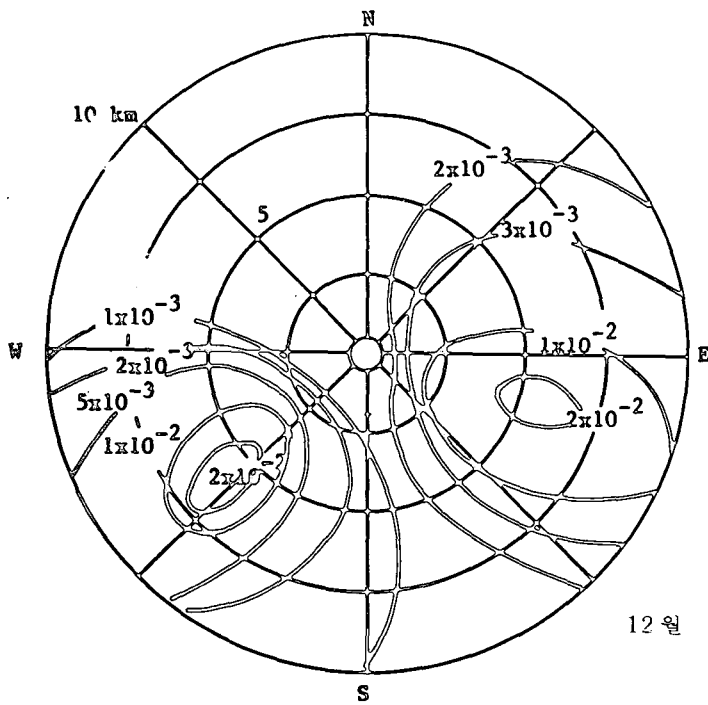
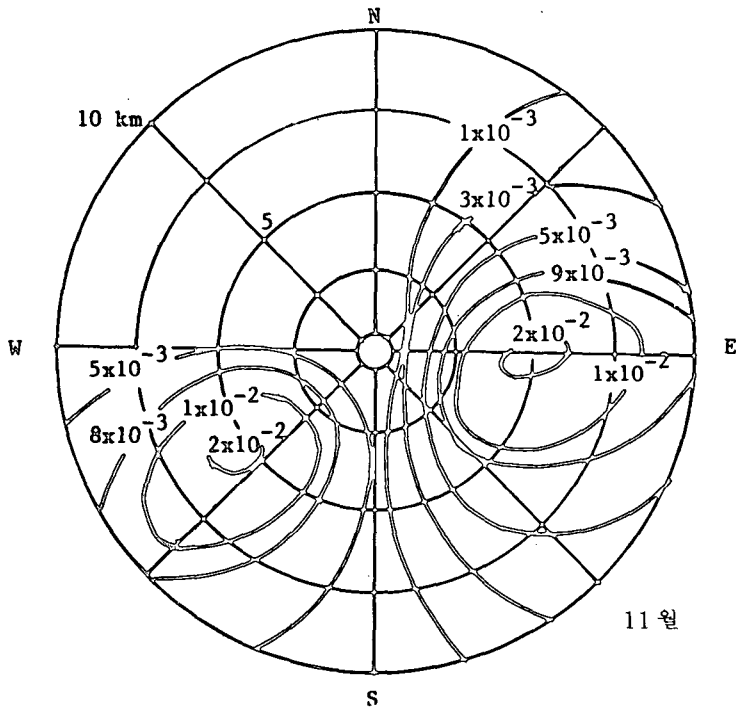


그림 6-1 계속

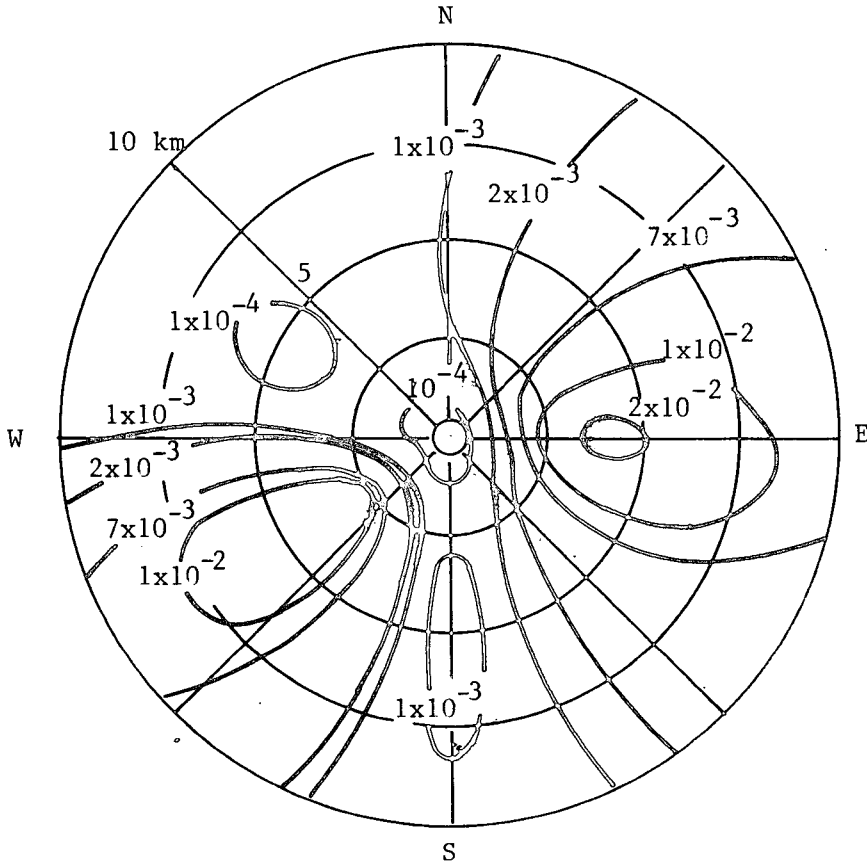


그림 6-2 아황산가스의 연평균 지면농도 (mg / m^3)

용농도범위 내에 있더라도 단기평균치는 해당되는 허용농도 범위를 초과하는 수가 있기 때문에 이를 위한 세밀한 검토를 위해서는 보다 광범위한 자료획득이 요청된다.

7. 결 론

연돌에서 분출되는 연기의 분산에 관하여, 기상조건의 영향, 상승 방정식, 분산방정식, 기상측정과 실험방법 및 예를 통한 계산방법을 고찰하였다.

우선 이런 방정식들에 있어서 반드시 고려되어야 할 대기의 안정성에 대해서 간단히 논하였으며, 특히 연기의 분산에 많은 제한을 가하는 역전층의 형성에 대하여 살펴보았다.

연기상승에 있어서는 부력에 의한 효과가 운동량에 의한 효과보다 더 크고 중요한 비중을 차지한다는 것을 설명하고 여러 사람들에 의해서 유도된 식들을 비교 검토하였다. 부력에 의한 연기상승은 하루 방향으로 어떤 거리까지의 거리 x 의 함수로 표시되며 그 이상에서는 일정한 값을 갖는 최종상승으로 표시되었다.

넓은 범위의 대기 조건에 걸쳐서 오염물질의 농도분포를 수학적으로 표시하는데는 Gauss 분산모형이 가장 효과적임을 예시하고, 지면반사향의 포함 및 확산계수 결정 방법에 대하여 설명하였다. 다수연돌의 경우 및 단기 및 장기추산의 경우에 Gauss 분산방정식이 각각 어떻게 수정되는가를 검토하였으며, Gauss 분산방정식의 모형설정에 따르는 여러가지 한계성들이 지적되었다.

확산계수를 실험적으로 결정하기 위한 기상측정에 있어서, 계기가 완전히 구비되거나 또는 부분적으로 구비되어서 오염원의 고도에 설치된 경우와 그 이외의 위치에 설치된 경우에 각각 어떤 자료처리 방법들이 적용되는가를 논하였다.

마지막으로, 이 보고서에서 제시되었던 여러 방법들이 종합적으로 어떻게 적용될 수 있는가를 보이기 위하여, 하나의 가상적인 문제를 고찰하였다. 적절한 입력자료를 제공하여 오염원 주위의 장기지면 농도분포도를 구하므로써 대기오염의 정도에 대한 일차적인 추산울 얻을 수 있었다. 이와 같은 평균농도 분포도는 신규건설의 대규모 오염원천의 입지선정 및 설계등에 좋은 참고자료가 될 수 있다. 즉 몇 개의 후보지에 대하여 수년에 걸쳐 수집된 기상자료들에다, 건설하고자하는 연들의 특성들(예를 들면, 연돌높이, 연돌직경, 연료중의 유황함유량 등)을 추가하여 종합 검토하므로써 가장 좋은 조합을 찾아낼 수 있다. 또한 기존의 오염원으로부터 방출되는 오염물질의 농도분포를 일차적으로 추산하므로써, 설정된 공기 질의 기준이 초과되지 않도록 통제할 수 있다. 보다 완전하고 자세한 기상자료들을 얻을 수 있다면 이 보고서에서 설명된 방법들을 적용한 결과들은 더욱 개선될 수 있다.

부 기

본 연구는 1979년도 문교부 학술연구조성비의 지원에 의하여 이루어졌다. 연구비를 지원해 준 문교부 당국에 심심한 감사의 뜻을 표한다.

참고문헌

1. Nationwide Inventory of Air pollutants Emissions, National Air Pollution Control Administration, Publication AP-73, 1970.
2. D. E. Painter : Air Pollution Technology, Reston Publishing Company, Inc., 1974.
3. D. H. Slade (ed.): Meteorology and Atomic Energy 1968, TID-24190, United States Atomic Energy

Comission, 1971.

4. M. E. Smith (ed.): Recommended Guide for the Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents, American Society of Mechanical Engineers, 2nd Ed., 1973.

5. A. C. Stern (ed.): Air Pollution, 3rd ed., Vol. 1, Academic Press, Inc., 1976.

6. H. C. Perkins : Air Pollution, McGraw-Hill, Inc., 1974.

7. K. Wark and C. F. Warner : Air Pollution, Harper & Row, Publishers, 1976.

8. J. Z. Holland : A Meteorological Survey of the Oak Ridge Area, Final Report Covering the Period 1948-52, USAEC Report ORO-99, Weather Bureau, Oak Ridge, Tenn., 1953.

9. G. A. Briggs : Plume Rise, Atomic Energy Commission Critical Review Series, TID-25075, U.S. Atomic Energy Commission, Div. Tech. Inform. Ext., Oak Ridge, Tennessee, 1969.

10. G. A. Briggs : Some Recent Analyses of Plume Rise Observations, Proc. 2nd Intern. Clean Air Conf., Washington, D. C., 1970, Academic Press, New York, 1971.

11. B. Bringfelt : Atmospheric Environment, Vol. 2, pp. 575, 1968.

12. J. A. Fay, M. Escudier and D. P. Hoult : A Correlation of Field Observations of Plume Rise, J. Air Pollution Control Association, Vol. 20, pp. 391-397, 1970.

13. G. A. Briggs : Atmospheric Environment, Vol. 6, pp. 507, 1972.

14. S. B. Carpenter, Montgomery, J. M. Leavitt, W. C. Colbaugh and F. W. Thomas : J. Air Pollution Control Association Vol. 21, pp. 491. 1971.

15. T. L. Montgomery, S. B. Carpenter, W. C. Colbaugh and F. W. Thomas : J. Air

연돌에서 분출되는 매연의 확산 (II)

Pollution Control Association, Vol. 22, pp. 779, 1972.

16. H. Moses and J. E. Carson: J. Air Pollution Control Association, Vol. 18, pp. 454, 1968.

17. H. Moses and M. R. Kraimer: Plume Rise Determination - A New Technique Without Equations, J. Air Pollution Control Association, Vol. 22, pp. 621, 1972.

18. A. F. Rupp, S. E. Beall, L. P. Bornwasser and D. F. Johnson: Dilution of Stack

Gases in Cross Winds, USAEC Report, AECD-1811 (CE-1620), Clinton Laboratories, 1948.

19. D. B. Turner: Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, Office of Air Programs Publ. No. AP-26, US EPA, Research Triangle Park, North Carolina, 1970.

20. 기상연보, 중앙관상대, 1978.

21. 김동원, 서재진: 증기관 및 원동기, 동명사, 1961.