

單一 排出源大氣污染 短期모델에 관한 研究*

— Tracer Gas에 의한 擴散實驗 —

On the Short Term Air Pollution Dispersion Model for the Single Souce

—Diffusion Experiment With Tracer Gas—

李 鍾 範* 姜 寅 求**

Chong-Bum Lee, In-Goo Kang

ABSTRACT

To evaluate the short term air pollution dispersion model, the diffusion experiment was conducted on the flat terrain near Chuncheon.

Sulfur hexafluoride (SF_6) gas was used to determine the horizontal spread of plume (σ_y) for calculated by CRSTER model.

Results show that CRSTER model underestimates σ_y because averaging time adjustment is not applied to calculate the σ_y .

The scheme that can estimate the atmospheric stability more accurate than Turner method, was presented.

1. 서 론

대기오염 확산모델은 도시계획, 공업단지조성 등의 경우 장래의 대기질을 예측한다던가, 고농도 대기오염 현상을 예측하고 적절한 배출원 규제 등의 대기질 관리에 이용되는등 이용

범위는 매우 넓다. 그러나 현재까지의 확산모델의 정확도는 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있으며 지속적인 연구개발을 필요로 하고 있다.

확산모델은 복잡한 대기중의 현상을 여러가

* 江原大學校 環境學科(Dept. of Environmental Science, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

** 國立環境研究院(Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research)

지 가정을 하여 단순화시켜서 계산하므로 오차를 유발하는 요인은 매우 다양하지만 그 중에서도 입력자료로서 필요한 오염물질 배출량 산정의 부정확성과 대기의 안정도상태에 따라 달라지는 확산계수 산정의 부정확성이 특히 중요한 오차유발요인이 된다. 대부분의 확산모델에서는 Turner¹⁾ 또는 Pasquill²⁾이 제시한 안정도 산출방법을 채택하고 있으나 이 방법의 의한 안정도를 평가한 결과 오차가 크다.³⁾ 실용적으로 널리 이용되고 있는 Gaussian형태의 확산모델에서는 오염물질의 확산정도를 나타내는데 있어서 확산계수 대신 plume의 확산폭을 사용한다. plume의 확산폭은 대기의 안정도와 풍하거리에 따라 달라지므로 여러가지 풍하거리 및 대기 안정도와 확산폭과의 관계를 정립하기 위하여 과거로부터 많은 야외 실험이 행하여 졌다.

최근에는 인체에 해가 없으면서 저농도까지 검출이 용이한 tracer gas를 이용한 확산실험이 자주 행하여 지고 있다.^{4),5)} Tracer gas를 이용한 확산실험의 장점은 미리 정하여진 배출량을 정확히 배출할 수 있으며 목적에 따라 지형 및 기상조건을 선택하여 실험을 실시하므로서 확산모델의 개선 및 평가가 용이하다는 것이다.⁶⁾

본연구의 목적은 미국 환경보호청 (EPA)에서 배포하고 있는 UNAMAP(Users Network for Applied Modeling of Air Pollution) version6 모델 중에서 단일 배출원에 대한 단기간 대기오염농도를 계산하는 CRSTER모델⁷⁾을 확산실험을 통하여 평가하고 개선하는 것이다.

2. 확산 실험

1) 장소 및 일시

확산 실험 장소는 그림 1에 보인 바와 같이 춘천시 근교의 우두동이며 이지역은 직경 2 Km정도의 평탄한 농경지로서 농지정리가 잘 되어 있어 작업이 용이하다.

확산 실험은 3차에 걸쳐서 실시하였으며 표 1에 보인바와 같이 tracer gas는 총 9회 방출하였다. 기상측정은 24시간 연속하여 실시하였으나 tracer gas는 주간에 한하여 방출하였다.

2) 기상측정

tracer gas확산시의 접지경계층의 기상요소를 측정하기 위하여 기상탑을 설치하였으며 또한 radio sonde와 tethered balloon에 의하여 상층기상을 측정하였다. 기상탑은 높이 8m로서 1m, 2m, 4m, 8m의 4고도에 기온과 풍속센서를 설치하였고 8m 고도에는 풍향센서를 설치하였다. 각 센서의 신호는 30m 거리에 위치한 변환기를 거쳐서 data logger에 자동 수록된다.

각 센서로부터의 입력신호는 3분 내지 10분에 1회씩 수록되며 24시간 연속적으로 측정하였다. 기온센서는 2m 고도는 thermister, 그 외는 thermocouple로서 2m 고도의 기온과의 온도차를 측정하여 기온으로 환산하도록 하였으며 태양의 직사광선을 막도록 radiation shield를 설치하여 진공펌프로 통풍시켰다. 대기의 안정도는 상하층간의 온도차가 중요한 요인이 되므로 가급적 온도차를 정확히 측정하기 위하여 thermocouple을 사용하였다. radio sonde와 tethered balloon의 측정요소는 기압, 고도, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속이다.

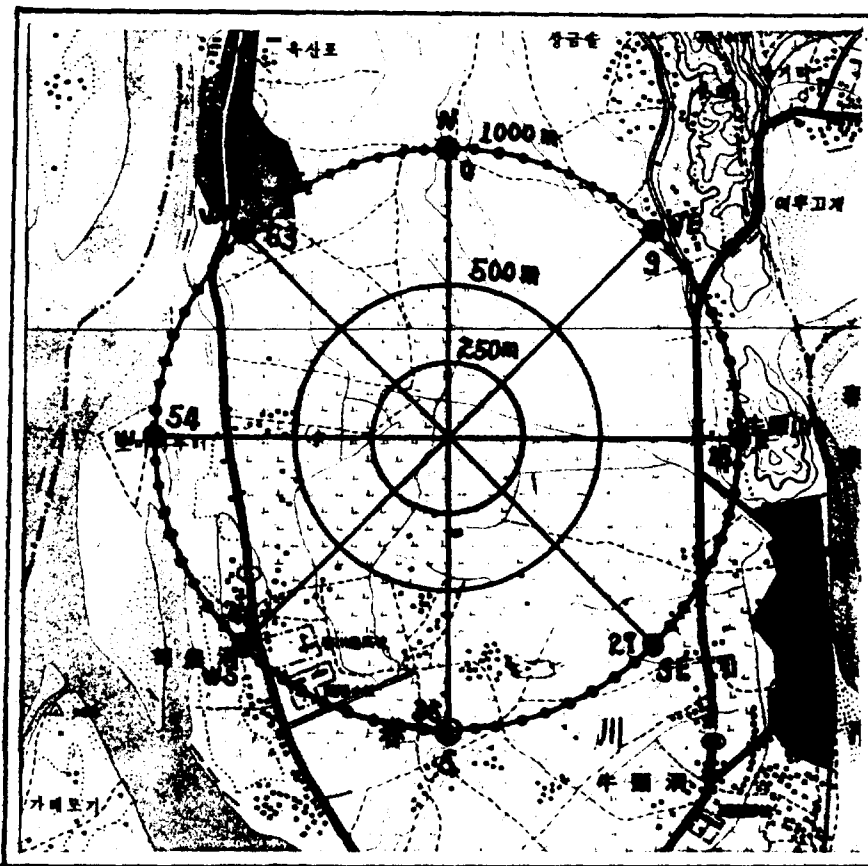


Fig. 1 Map of the diffusion experiment field at Ududong Chuncheon. SF_6 gas was released at the center of circle and the sampling points were placed on the arc of the circles. Radius of the circles are 250 m, 500m, 1000m. The meteorological tower and the radio sonde system were installed at the center of circle.

3) Tracer gas의 방출과 채취

tracer gas는 인체에 해가 없고 저농도 검출이 용이한 SF_6 를 선택하였다.⁸⁾ SF_6 는 환경 대기중의 배경농도가 낮고 1ppt 정도까지의 저농도 검출이 용이하여 확산 실험에 널리 쓰이고 있다. SF_6 의 배출율은 유량계와 저울을 이용하여 표 1 과 같이 10kg/hr내외로 조절하고

매회 1시간씩 방출하였으며 방출고도는 10m이다. 공기시료채취 지점은 그림 1에 보인 바와 같이 방출지점으로부터 반경 250m, 500m, 1,000m의 동심원상에 방위각 5° 간격으로 총 216개 지점을 미리 선정하고 방출시의 풍향에 따라 풍하측 지점을 선택하여 시료채취기를 지상 1m 높이에 설치하였다. 시료채취지점수는

Table 1. Brief description of SF₆ gas release and air sampling.
 Sampling started 30 minute after gas release start.
 N : Number of sampling points.

Period	Experiment no.	Date	Release time	Release rate(kg/hr)	N
1st	1	16 Sep. 1988	18 : 00-19 : 00	8.9	39
	2	17 Sep. 1988	11 : 00-12 : 00	10.2	39
	3	17 Sep. 1988	14 : 00-15 : 00	14.9	26
2nd	4	13 Nov. 1988	12 : 00-13 : 00	12.9	38
	5	13 Nov. 1988	15 : 00-16 : 00	12.1	38
	6	13 Nov. 1988	16 : 00-17 : 00	12.1	38
3rd	7	21 May. 1988	12 : 00-13 : 00	11.1	37
	8	21 May. 1988	13 : 00-14 : 00	9.9	37
	9	21 May. 1988	14 : 00-15 : 00	11.5	37

표 1과 같으며 방위각 60°-180° 를 커버 하였다. 공기시료채취기는 박테리로 구동되며 채취 시작시간과 끝시간을 임의로 설정할 수 있도록 제작하여 사용하였다. 공기시료채취는 SF₆가 퍼져나가 정상상태를 유지한 후 시작하기 위하여 SF₆ 방출개시 30분후에 시작하여 SF₆ 방출이 끝날때까지의 30분간 연속적으로 채취하였다.

3. 분석방법

1) 기상 측정 자료 분석

radio sonde에서 측정되는 자료는 고도, 기압, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속이며 이들 자료로부터 온위와 상대습도의 수직분포를 구하여 혼합층고도를 결정한다. 각 고도에서의 온위는 기압과 기온으로부터 다음식에 의하여 구하여진다.

$$\theta = T \left[\frac{1000}{P} \right]^{0.280} \quad (1)$$

여기에서 θ 는 온위(potential temperature), T는 기온(K), P는 기압(mb)이다. 한편 기상탑에서 측정된 자료는 3분, 4분 또는 10분 간격의 자료이며 이들 자료로부터 1시간 별 평균치를 구하여 시간별 값으로 하였다.

대기안정도를 나타내는 Richardson number (Ri)는 다음식과 같이 구하여진다.

$$R_i = \frac{g}{T} \frac{\partial T / \partial z}{\partial u / \partial z}^2 \quad (2)$$

$$= \frac{g}{(T_1 + T_2) / 2} \frac{(T_2 - T_1) / (z_2 - z_1)}{\{(u_2 - u_1) / (z_2 - z_1)\}^2}$$

여기에서 g는 중력가속도, z₁은 하층고도, z₂는 상층고도, T₁과 u₁은 고도 z₁에서의 기온과 풍속, T₂와 u₂는 고도 z₂에서의 기온과 풍속이며 기온은 Kelvin 단위이다. 본 연구에서는 z₁을 1m, z₂를 4m로 하여 SF₆ 방출 시간

대의 R_1 를 구하였다. R_1 는 식 (2)와 같이 2 고도에서의 풍속차의 2승에 반비례하므로 풍속측정에 약간의 오차가 있을 경우 오차가 크게 나타나는 단점이 있다.⁹⁾

한편 다음식과 같이 정의되는 Monin-Obk-hov length L 과 고도 z 로서 대기의 안정도 상태를 나타내는 안정도 parameter z/L 은 대기의 난류를 파악하기 위한 기본적인 요소이다.

$$L = \frac{\rho C_p T u^{*3}}{kgH} \quad (3)$$

여기에서 ρ 는 공기의 밀도, C_p 는 공기의 정압비열, T 는 기온, u^* 는 마찰속도, k 는 Von Karman constant, H 는 현열 flux이다. 그러나 식 (3)은 일상적인 기상측기로는 직접 측정할 수 없는 u^* 와 H 를 포함하고 있으므로 측정에 의하여 L 을 구하기는 어려움이 있다.

본 연구에서는 다음과 같이 z_1 과 z_2 의 2 고도에서 측정한 T_1 , T_2 와 z_3 의 1 고도에서 측정한 풍속 u_3 로부터 z/L 을 구하였다. 여기에서 풍속 u_3 의 측정고도 z_3 는 z_1 또는 z_2 와 같아도 무방하며 z_1 은 1m, z_2 와 z_3 는 4m로 하였다.

마찰속도 u^* 는

$$u^* = \frac{ku_3}{\ln(z_3/z_0) - \Psi_{m3}} \quad (4)$$

이며 Panofsky and Dutton⁹⁾에 의하면 H 는

$$H = \frac{C_p \rho k^2 (T_2 - T_1) u_3}{[\ln(z_2 - z_0) - \Psi_{m3}] [\ln(z_2/z_1) - \Psi_{h2} + \Psi_{h1}]} \quad (5)$$

여기에서 z_0 는 지표면의 roughness length이다. Ψ_m 는 불안정한 경우

$$\Psi_m = \ln\left[\left[\frac{1+x^2}{2}\right] \left[\frac{1+x}{2}\right]^2\right] - 2 \tan^{-1}x + \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

이며 안정한 경우

$$\Psi_m = -5 \frac{z}{L} \quad (7)$$

이며 여기에서 x 는

$$x = (1 - 16 z/L)^{1/4} \quad (8)$$

이다. 또한 Ψ_h 는 불안정한 경우

$$\Psi_h = 2 \ln\left(\frac{1+x^2}{2}\right) \quad (9)$$

이며 안정한 경우

$$\Psi_h = -5 \frac{z}{L} \quad (10)$$

이다. 식 (4)와 식 (5)의 Ψ_{m3} , Ψ_{h2} , Ψ_{h1} 은 식 (6)-식 (10)의 z 대신 각각 z_3 , z_2 , z_1 을 적용하여 구한다.

식 (4)와 식 (5)에 의하여 u^* 와 H 를 구하여 식 (3)에 대입하여 L 을 구할 수 있으나 이때 u^* 와 H 를 구하기 위하여서는 z/L 을 알아야 하므로 이들 식에서 직접적으로는 u^* 와 H 를 구할 수 없다. 그러므로 다음과 같은 interaction method를 이용하였다.

우선 안정도를 중립($z/L=0$)으로 하여 식 (6)-식 (10)에서 Ψ_{m3} , Ψ_{h2} , Ψ_{h1} 을 구하고 식 (4)와 식 (5)에서 u^* 와 H 를 구한다. 이렇게 구한 u^* 와 H 를 식(3)에 대입하여 L 을 구하고 이 값으로 다시 식(4)-식(10)에서 새로운 u^* 와 H 를 구한다. 이와같은 과정을 L 의 변동이 충분히 작아질때 (보통 1% 이내)까지 계속 반복하여 최종적으로 z/L 을 구한다. 이 방법은 1 고도의 풍속자료만을 필요로 하므로 R_1 에 비하여 풍속측정의 오차에 덜 민감하다. 식 (4)와 식 (5)에서 u^* 와 H 를 구하기 위하여서는 대상지역의 z_0 가 필요하며 다음과 같이 구한다.

중립시의 u^* 는

$$u^* = kz \frac{\partial u}{\partial z} \text{이다.}$$

$$u^* = kz \frac{\partial u}{\partial z} \quad (11)$$

이며 이때 고도 z 에서의 풍속 u 는

$$u = \frac{u^*}{k} \ln(z/z_0) \quad (12)$$

식 (12)를 z_0 에 대하여 풀면

$$z_0 = \frac{zu^*}{e^{ku/u^*}} \quad (13)$$

이다. 한편 식 (11)은 고도 z_1 과 z_2 에서의 풍속 u_1 과 u_2 로 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$u^* = k(z_1 z_2)^{1/2} \frac{(u_2 - u_1)}{(z_2 - z_1)} \quad (14)$$

식 (14)에서 u^* 를 구하여 식 (13)에 대입하여 z_0 를 구할 수 있다.

2) 공기시료중의 SF₆농도 분석

각 공기시료 채취지점에서 채취한 공기시료중의 SF₆ 농도는 Gas-Chromatograph의 Electron Capture Detector (ECD)를 사용하여 분석하였다. carrier gas는 질소를 사용하였으며 공기 시료는 400μl를 주입하였다.

3) 수평 확산폭

실제 확산실험에서 얻어진 각 공기시료 채취지점의 SF₆농도로 다음과 같이하여 plume의 수평확산폭의 실측치 σ_{obs} 를 구한다.

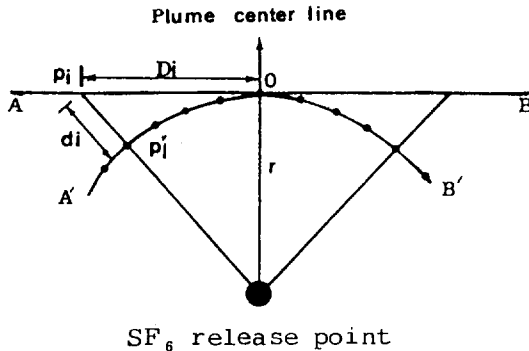


Fig.2 Schematic illustration of the SF₆ concentration adjustment.

본 실험에서는 SF₆ 방출지점으로 부터 동심 원상에 시료채취지점을 배치하였으므로 각 지점은 그림 2에 보인 바와 같이 plume의 중심축상의 시료 채취지점에서 중심축에 직각인 직선 AB상에서 다소 떨어진 지점이 된다. 따라서 원호 A' O B'상의 i번째지점 P'_i에서의 SF₆농도측정치를 C'_i라 하고 원호의 반경을 r, P'_i에서 P_i까지의 거리를 d_i라 할때 P_i에서의 농도 C_i는 다음과 같이 보정하여 구하였다.

$$C_i = C'_i \left[\frac{r}{(r+d_i)} \right]^2 \quad (15)$$

수평확산폭의 실측치 σ_{obs} 는 다음 식에 의하여 구하여진다.

$$\left\{ \sigma_{obs} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i D_i^2}{\sum_{i=1}^N C_i} \right\} \quad (16)$$

여기에서 N은 시료채취 지점수이며 D_i는 그림 2에 보인바와 같이 plume중심축으로부터 P_i까지의 거리이다.

일반적으로 Gaussian형태의 확산식에 사용되는 plume의 수평확산폭은 넓은 평야지역에서 실시한 확산실험에 근거한 Pasquill⁽²⁾과 Gifford⁽¹⁰⁾ 등의 분석 결과를 이용하여 구하던가 또는 Turner⁽¹¹⁾가 제시한 다음식에 의하여 구한다.

$$\sigma_y = ax^p \quad (17)$$

여기에서 x는 풍하거리이며 a와 p는 대기의 안정도에 따른 계수이다.

식 (17)에 의하여 구하여지는 σ_y 는 평균화 시간이 3분⁽¹²⁾ 또는 60분이 타당하다는 보고도 있으나 Turner⁽¹¹⁾는 평균화 시간 10분인 경우에 해당한다고 하였으며 일반적으로 이 값이 널리 채택되고 있다. TEM 8(Texas Episo

dic Model version8)에서도 식 (17)의 σ_s 는 평균화시간 10분인 경우로 간주하고 임의의 평균화시간 t의 경우의 수평확산폭 σ_t 를

$$\sigma_t = \frac{\sigma_s}{(10/t)^k} \quad (18)$$

로부터 구한다. 여기에서 R은 안정도에 따른 계수이며 평균화시간 t의 단위는 분이다. 식 (18)에 의하여 구한 σ_t 는 대체로 잘 맞으나 바람이 지속적으로 일정하게 불 경우와 대기가 안정하면서 변동이 심한 약풍시에는 잘 맞지 않는 경우도 있다.

한편 CRSTER 모델에서는 수평확산폭을 식 (17)과 유사한 방법으로 구하지만 평균화시간에 따른 보정을 하지 않고 평균화시간 1시간에 대한 수평확산폭으로 그대로 사용하도록 되어 있다. CRSTER모델에서 수평확산폭 산출에 이용하는 대기안정도는 Turner의 stability class(TSC)이다. 본 연구에서는 CRSTER모델중의 확산폭을 구하는 subroutine을 이용하여 TSC에 따른 수평확산폭 σ_T 를 구하였으며 또한 σ_T 를 식 (18)에 의하여 평균화 시간을 시료채취시간인 30분으로 하여 수평확산폭 σ_{T30} 을 구하여 σ_T 와 σ_{T30} 을 비교하였다.

4. 결과 및 고찰

1) 기상 상태

radio sonde 측정자료로부터 온위와 상대습도의 수직분포를 구한 예를 그림 3에 보였으며 이와같은 온위와 상대습도의 수직분포로부터 혼합층고도를 결정한 결과는 표 2와 같다.

SF₆ 방출시의 기상조건은 표 3에 요약하였으며 방출시의 혼합층고도는 표 2에 보인 혼합층 고도를 참고로 하여 추정된 것이다.

또한 식 (3)-식 (11)을 이용하여 구한 z/L을 Golder¹³⁾가 제시한 z/L과 TSC와의 관계를 참고로 하여 구한 안정도(TSC*)도 제시하였다.

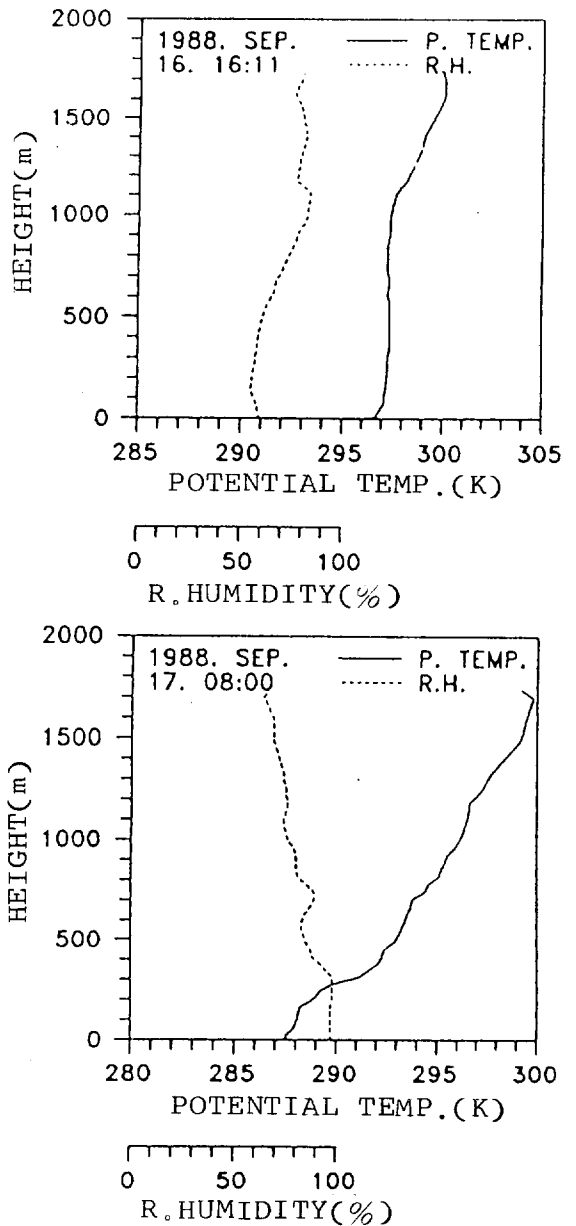


Fig. 3 Two examples of vertical profiles of the potential temperature and the relative humidity observed by the radio sonde.

z_0 를 구하기 위한 식 (13)은 대기상태가 중립인 경우에 성립하므로 1차, 2차, 3차 실험 기간중 중립에 가깝다고 생각할 수 있는 일출, 일몰시의 자료만으로 z_0 를 구한 결과 실험지역

Table 2. The mixed layer heights (MH) determined with the potential temperature profiles. The relative humidity profiles are also referred to determine the mixed layer heights.

Date	Time	MH (m)
16 Sep. 1988	16 : 11	1100
17 Sep. 1988	08 : 07	200
17 Sep. 1988	10 : 00	307
13 Nov. 1988	11 : 52	830
21 May 1988	07 : 13	100
21 May 1988	15 : 16	1300

의 roughness length는 1차 실험시 110mm, 2차 실험시 79mm, 3차 실험시 53mm였다. 1차

실험시 roughness length가 특히 큰 이유는 1차 실험시에는 9월로서 주변에 농작물이 자라고 있었기 때문이라고 생각된다. 한편 SF₆를 방출한 1시간 동안의 풍향의 변동은 그림 4에 보인바와 같으며 표 4에 풍향변동의 표준편차를 나타내었다.

2) SF₆의 농도분포

총 9회의 SF₆ 방출시 풍하거리 250m, 500 및 1000m에서의 SF₆의 농도분포는 그림 5와 같다. 풍향변동이 큰 3회와 4회 실험시의 농도분포는 넓게 퍼지며 또한 정상분포곡선의 형태와는 차이가 크며 풍향의 변화에 의하여 여러 개의 농도 피크가 나타났다. 한편 풍향변동이 극단적으로 작았던 7회, 8회, 9회 실험시는 정상분포 곡선형태와 유사하며 확산폭도 매우 좁게 나타났다.

Table 3. Meteorological conditions and atmospheric stabilities on SF₆ release time. The mixed layer heights(MH) are estimated with the radio sonde observations. The temperatures and the wind speeds are observed at 2m and 8m height respectively.

TSC : Stability class determined by Turner method.
TSC* : TSC determined with z/L.

Experiment no.	Temp. (C)	Wind speed (m/sec)	Ri	z/L	TSC	TSC*	MH (m)
1	22.2	2.40	0.067	0.050	3	5	1100
2	21.7	0.95	-0.838	-0.592	2	1	307
3	26.7	1.10	-0.213	-0.172	1	1	1200
4	12.0	2.02	-0.079	-0.052	2	2	850
5	15.2	5.95	-0.012	-0.004	4	4	1500
6	15.1	3.82	-0.033	-0.014	4	3	1500
7	21.9	3.70	-0.094	-0.036	3	3	1000
8	23.0	3.94	-0.113	-0.020	3	3	1100
9	24.0	4.73	-0.015	-0.010	3	4	1200

Table 4. The standard deviations (SD) of the wind direction fluctuation during 1 hour correspond to SF₆ release time.

Experiment no.	SD (degree)
1	13.9
2	10.6
3	50.8
4	66.1
5	15.1
6	16.7
7	4.6
8	2.0
9	2.1

그림 5에 보인바와 같은 SF₆의 농도분포로부터 식 (16)에 의하여 구한 σ_{obs} 와 CRSTER 모델에 대기안정도로서 TSC를 입력하여 구한 수평확산폭 σ_r 를 표 5에 비교하였다. 표 5에 보인바와 같이 σ_r 는 σ_{obs} 와 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그 이유로서는 σ_r 는 평균화 시간이 10분인 경우의 수평확산폭에 해당되나 확산실험에서 공기시료는 30분간 연속적으로 채취하였으므로 평균화 시간이 30분이며 또한 CRSTER 모델에서 σ_r 를 구하기 위하여 입력하는 TSC와 실제의 대기안정도가 차이가 나는 점 등을 생각할 수 있다.

그러므로 실제의 시료채취시간인 30분을 평균화 시간으로 하여 식 (18)에 σ_r 를 대입하여 구한 수평확산폭 σ_{T30} 을 구하여 σ_{obs} 와 비교하여 보면 표 5와 같이 개선된 것을 알 수 있다.

수평확산폭의 산출에는 대기의 안정도가 매우 중요한 요인이 되는 바 CRSTER 모델에서는 태양고도와 운량 등으로 부터 구하는 일사량 지수와 풍속만으로 안정도를 구하도록 되어

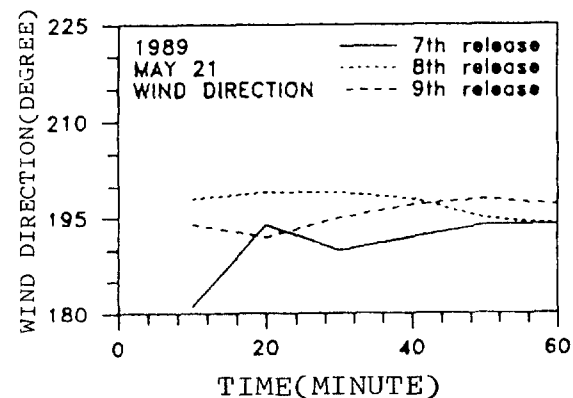
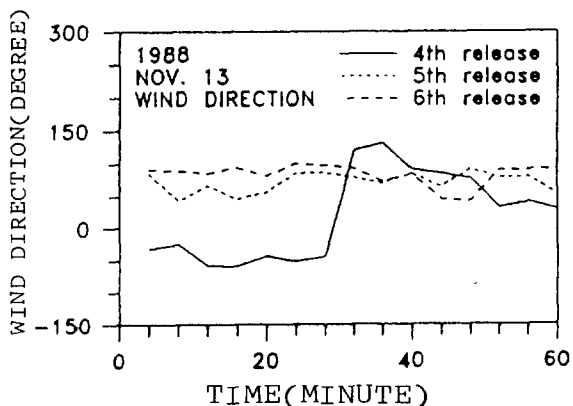
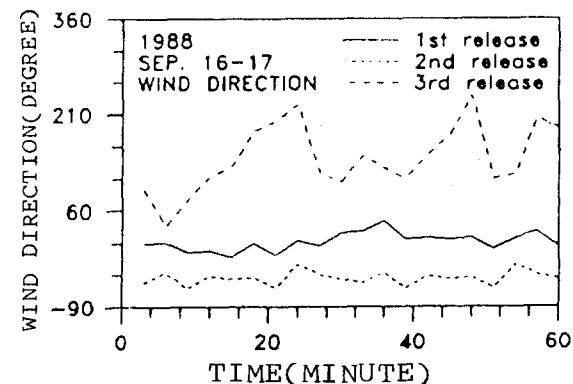


Fig. 4 Fluctuation of the wind direction during SF₆ gas release. Note that the scale of vertical axis for May 21, 1989 differ from other.

3) 수평확산폭

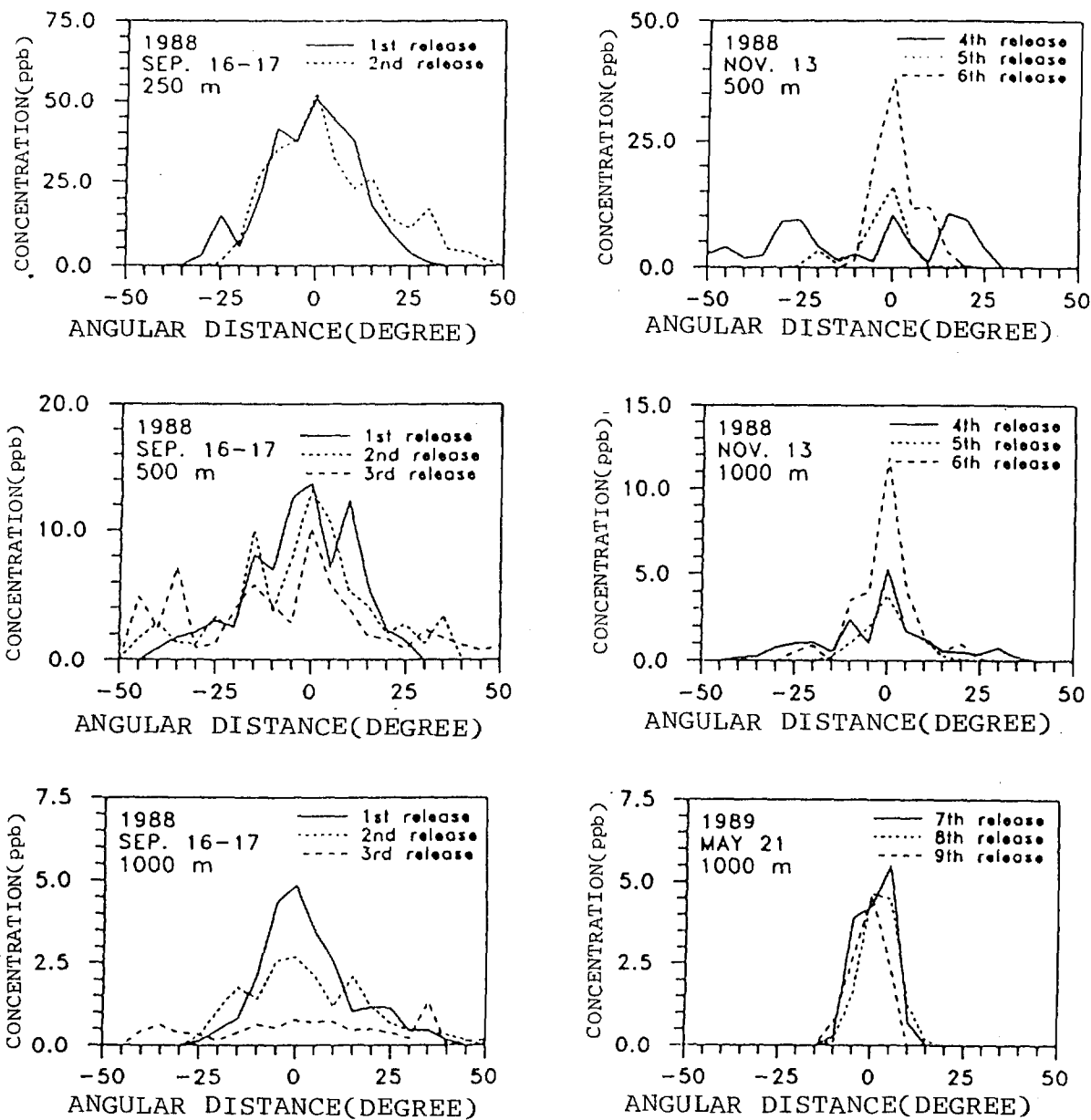


Fig.5 Distributions of SF₆ concentration along the line perpendicular to the plume center line.

있다. 이 방법은 일상 기상관측 자료만을 필요로 하므로 편리하기는 하지만 확산모델에서는 지표면 부근에서의 안정도 보다는 실제의 대기오염물질이 퍼져 나가는 고도에서의 안정도가 요구되므로 일출 직후나 일몰전 등 안정도 변

화가 큰 시간대에는 실제의 대기안정도와 크게 차이가 나게된다. 즉 일출 직후 일사에 의한 지표면 가열로 지표면 부근에 혼합층이 발달하기 시작할 경우, 상부 대기층에는 역전층이 계속 남아 있어서 안정한 상태임에도 불구하고

Table 5. The horizontal spread of plume determined by observations and calculations.

σ_{obs} : Determined with distribution of SF_6 concentration.

σ_T : Calculated using Turner stability class.

σ_{T30} : Adjusted by eq.(18) for 30 minutes averaging time.

σ_{L30} : Calculated using Turner stability class determined with z/L , and adjusted by eq. (18) for 30 minutes averaging time.

*: Distance from release point to sampling point.

Experiment no.	Distance* (m)	Horizontal spread of plume(m)			
		σ_{obs}	σ_T	σ_{T30}	σ_{L30}
1	250	55	29	46	20
1	500	138	55	87	38
1	1000	247	103	165	71
2	250	77	44	81	128
2	500	181	83	151	237
2	1000	325	154	282	438
3	500	268	113	237	237
3	1000	513	209	438	438
4	500	244	83	151	151
4	1000	301	154	282	282
5	500	71	36	50	50
5	1000	137	68	95	95
6	500	52	36	50	87
6	1000	152	68	95	165
7	1000	89	102	163	163
8	1000	80	102	163	163
9	1000	82	104	165	95

TSC는 불안정이 되며, 일몰전에 이미 일사량의 감소로 지표면 부근에 역전층이 형성되기

시작하면 대기의 상태는 약한 안정층으로 전환되지만 아직 일사가 남아 있어서 TSC는 불안정이므로 실제 대기의 안정도와는 차이가 나게 되는 것이다. 특히 일출과 일몰시간대에는 대기가 비교적 안정하면서 출퇴근 시간의 rush hour에 해당하여 대기오염 농도가 높을때이므로 확산모델에 의한 대기오염농도 계산의 정확성이 요구되므로 이 시간대의 대기의 안정도를 가급적 정확히 구하여야 할 필요가 있다.

CRSTER모델에 표 3에 TSC*를 입력하여 구한 수평확산폭을 다시 식 (18)에 의하여 평균화 시간 30분에 대한 수평확산폭 σ_{L30} 을 산출하여 표 5에 나타냈다.

TSC와 TSC*가 차이가 나는 1회, 2회, 6회 및 9회의 경우 1,000m 거리에서의 거리에서의 σ_{T30} 과 σ_{L30} 을 σ_{obs} 로 평가한 결과 6회와 9회의 경우에는 σ_{L30} 이 σ_{obs} 와 유사한 값을 보였다. 한편 σ_{obs} 에 비하여 2회의 경우에는 σ_{T30} 은 작고, σ_{L30} 은 큰 값이 되며 1회의 경우에는 σ_{T30} 과 σ_{L30} 이 모두 작았으나 특히 σ_{L30} 이 작았다.

이상의 결과로 부터 CRSTER모델은 수평확산폭 산출시 평균화 시간에 따른 보정을 하도록 모델을 수정하고 또한 입력자료로 필요한 대기안정도의 산출은 일사량지수를 이용하는 Turner의 방법대신 2 고도의 기온과 1 고도의 풍속자료로 부터 대기의 안정도를 산출하는 방법을 이용함으로써 모델의 정확도를 개선할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 대기의 확산에는 기상조건 이외에도 지형의 영향등 여러가지 요인이 작용하므로 9회의 확산실험에서 얻은 결과만으로 일반적인 결론을 얻기에는 미흡하므로 앞으로 확산실험을 지속적으로 실시할 필요가 있다고 생각된다.

5. 결 론

평탄한 농경지에서 SF_6 를 tracer gas로 한

확산실험을 실시하여 SF₆ 농도분포를 측정하였으며 이 자료로부터 수평확산폭을 산출하였다. 이렇게 구한 수평확산폭 측정치와 단일배출원에 의한 단기간농도를 계산하는 CRSTER 모델의 수평확산폭 계산치를 서로 비교한 결과 대부분의 경우에 있어서 수평확산폭 계산치가 작게 나타났다. 이와같이 계산치가 작게 나타나는 이유로서는 CRSTER 모델에서는 일반적으로 평균화시간이 10분인 경우에 해당하는 확산폭을 평균화시간 1시간까지의 확산폭으로 간주하기 때문으로 생각된다. CRSTER 모델에서 계산되는 수평확산폭을 공기시료 채취시간과 동일한 30분을 평균화시간으로 하여 보정한 결과 수평확산폭 측정치에 근접하는 결과를 얻었다.

또한 CRSTER 모델에서는 Turner의 안정도 계급을 일사강도와 풍속으로 부터 구하도록

되어 있으나 2 고도에서의 기온과 1 고도에서의 풍속으로 부터 구하여지는 Monin-Obukhov length로 부터 Turner의 안정도 계급을 추정하고 이 안정도로 수평확산폭을 계산한 결과 수평확산폭의 계산오차가 개선되었다. 그러므로 CRSTER모델의 확산폭 계산과정에 평균화시간에 대한 보정을 하고 대기안정도 산출방법을 개선하므로서 CRSTER 모델의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 논문에서서는 제한된 회수의 확산실험 자료를 해석한 것이므로 이상의 결과를 확인하기 위하여서는 더욱 많은 확산실험을 실시할 필요가 있다고 생각된다.

(원고접수 '89. 9.19)

이 研究는 1988 年度 文敎部學術研究助成費의 支援에 의하여 수행되었음

참 고 문 헌

- 1) Turner, D.B., (1964), A diffusion stability model for an urban area. J. Appl. Meteorol., 3, 83-91.
- 2) Pasquill, F.A., (1974), Atmospheric Diffusion, 2nd ed., Halstead Press-Wiley, New York.
- 3) 李鍾範, (1986), Monin-Obukhov length에 의한 Pasquill StabilityClass의 평가와 안정도 parameter 추정방법의 작성, 한국대기보전학회 제3회 학술연구발표회 요지집.
- 4) Brown, R.M., R.N. Dietz and E.A. Cote, (1975), The use of sulfur hexafluoride in atmospheric transport and diffusion studies. J. Geophys. Res., 80, 3393-3398.
- 5) Lamb, B.K., V. Vitols and O. Skogvold, (1980), Atmospheric tracer techniques and gas transport in primary aluminium industry. J. Air Pollut. Control Assoc. 30, 558-566.
- 6) Dabberdt, W., and J. Smith, (1975), The use of chemical tracers for studying pollutant behavior in the atmospheric planetary boundary layer. Atmos. Tec., NCAR, 60-65.
- 7) U.S. EPA, (1977), User's manual for single source (CRSTER) model. EPA-450/2-77-013.
- 8) Johnson, W.B., (1983), Meteorological tracer techniques for parameterizing atmospheric dispersion. J. Climate and Appl. Met., 22, 931-944.
- 9) Panofsky, H.A. and J.A. Dutton, (1984), Atmospheric turbulence. John Wiley and Sons, Inc.
- 10) Gifford, F.A., (1961), Use of routine meteorological observation for estimating atmospheric dispersion. Nuclear Safety, 2, 47-51.

- 11) Turner, D.B., (1970), Workbook of atmospheric dispersion estimates. Office of air programs. E.P.A., Publication no. AP-26.
- 12) Hanna, S.R., Briggs, E.A., Deardorff, J., Egan, B.A., Gifford, F.A. and Pasquill, F., (1977), AMS Workshop on stability classification scheme and sigma curves-summary of recommendations. Bulletin of the American Meteorological Society, 58, 1305-1309.
- 13) Golder, D., (1972), Relations among stability parameters in the surface layer, Boundary Layer Meteorol., 3, 47-58.