

# 풍향변동량 측정에 의한 춘천지역의 연기 수평확산폭 산출

## Estimation of Lateral Dispersion Parameter using Observed Wind Direction Fluctuation in Chuncheon

이 종 범 · 김 정 식 · 김 용 국 · 조 창 래  
강원대학교 환경학과

(1995년 8월 5일 접수, 1996년 3월 25일 채택)

Chong Bum Lee, Jeong Sik Kim, Yong Gook Kim, Chang Rae Cho  
*Dept. of Environmental Science, Kangwon National University*  
(Received 5 August 1995; accepted 25 March 1996)

### Abstract

Lateral dispersion parameter ( $\sigma_y$ ) which is an important factor in atmospheric dispersion can be estimated by using wind direction fluctuation ( $\sigma_\theta$ ). In this paper, we studied the characteristics of the  $\sigma_\theta$  in the Chuncheon basin and calculated the  $\sigma_y$  by using the  $\sigma_\theta$ .

We could find some characteristics of the  $\sigma_\theta$  which showed small value, when the atmospheric condition was in weak unstable (C class) and neutral (D class). Moreover, when the atmospheric stability was neutral, there was no difference of  $\sigma_\theta$  with wind speed. On the other hand,  $\sigma_\theta$  showed large values at the strong unstable (A class) and strong stable (F class) condition with low wind speed. In this case, the  $\sigma_\theta$  increased as long as averaging time due to the long-period wind direction fluctuation by the terrain effect.

In the result of calculation of  $\sigma_y$ , it was smaller than that of Pasquill-Gifford curve. Especially, when the atmospheric condition was in a neutral and stable,  $\sigma_y$  showed small increment as the downwind distance increased.

### 1. 서 론

대기오염 농도분포를 산출하기 위하여 가우시안 플룸식 (Gaussian plume equation)을 사용하는 확산모델이 널리 사용되고 있다. 이들 모델은 배출량과 기상조건이 시간에 따라 변하지 않는 정상상태 (steady state)를 가정하며 입력자료도 비교적 단순하므로 사용이 용이한 장점이 있다. 한편, 기상조건과 배출량이 시간에 따라 변화하는 경우에는 굴뚝에서 배출되는 연기덩어리 (puff)를 이동, 확산시켜 농도를 계산하는 퍼프모델 (Gaussian puff model)을 이용할 수 있으며, 이 모

델은 연기덩어리가 위치한 지점과 해당시각의 풍향, 풍속에 의하여 연기덩어리가 중심에서 확산에 의하여 퍼지는 정규분포 (normal distribution)을 이룬다는 가정하에 농도를 계산하는 모델이다.

이러한 모델들의 실행을 위해서는 기상자료와 배출량 자료 등의 입력자료를 필요로 한다. 대기오염물질의 확산은 그 지역의 기상조건과 지형조건에 의존하므로 모델 예측의 정확도를 높이기 위해서는 이들 입력자료의 정확성이 요구된다. 특히, 기상자료가 부정확할 경우 오차가 크게 나타나게 되는데 오차의 중요한 요인 중의 하나는 플룸 (plume) 또는 퍼프 (puff)의 수평확산폭 ( $\sigma_y$ )과 연직확산폭 ( $\sigma_z$ )의 부정확성이다. 여기에서 수평확산폭

또는 연직확산폭이란 최고 농도가 나타나는 연기의 중심 축에서부터의 거리에 따른 농도분포는 정상분포를 한다고 가정할 때 그 정상분포곡선의 표준편차에 해당하는 값이다.

퍼프모델에 사용하는  $\sigma_y$ 는 개개의 퍼프가 대기의 난류에 의하여 확산되어 퍼지는 거리를 나타내므로 대기의 난류와 풍향변동에 따라 플룸이 퍼지는 거리를 나타내는 플룸모델의  $\sigma_y$ 와는 차이가 있다. 따라서,  $\sigma_y$ 를 모델에 이용하기 위해서는 모델 특성에 알맞는  $\sigma_y$ 를 선정하여 모델의 농도를 계산하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 플룸의  $\sigma_y$ 를 구하여 분석했다.  $\sigma_y$ 의 산출방법으로는 Pasquill-Gifford (P-G) scheme이 널리 사용되며, 이는 대기의 안정도와 풍하거리 따른  $\sigma_y$ 를 구하는 방법이다. P-G scheme은 이용하기 편리하다는 장점이 있으나 산출한  $\sigma_y$ 는 넓고 평탄한 지역에서 확산실험에 의하여 구한 값이므로 우리나라와 같이 복잡한 지형에서는 사용이 부적합하다(김과 이, 1992).  $\sigma_y$ 를 구하는 또 다른 방법으로서 풍향변동 성분을 측정하여 구하는 방법이 있다. 이 방법은 확산의 중요한 요인인 풍향변동값을 직접 이용하므로 지역에 따른 확산 특성이 반영되어 그 지형에 적합한  $\sigma_y$ 를 구할 수 있다.

한편, 평탄한 지역을 대상으로 한 연구결과에 의하면 수평풍향의 변동은 불안정한 경우 크고 안정한 경우는 작은 것으로 알려져 있으나, 김과 이(1992)의 결과에 의하면 복잡한 지형에 있어서는 안정한 경우에도 풍향변동폭( $\sigma_\theta$ )이 큰 것으로 나타났다. 특히 강안정(F계급)인 경우 춘천지역은 지형의 특성으로 인한 10분에서 60분정도의 주기를 가진 풍향의 meandering에 의하여 풍향변동이 큰 것으로 나타났다. 풍향변동폭은  $\sigma_y$ 를 산출하는데 중요한 요소이므로 그 지형의 특징이 충분히 반영된  $\sigma_y$ 를 이용하는 것이 중요하다.

그러므로 풍향변동 성분을 직접 측정하여  $\sigma_y$ 를 구할 필요가 있다.

본 연구에서는 춘천추후소노장에 설치되어 있는 12 m 높이의 기상탑에서 장시간 측정한 자료를 분석하여 대기 안정도 및 풍속과 평균화시간(averaging time)에 따른 풍향변동량의 특징을 파악하고 지역의 특성에 알맞는  $\sigma_y$ 를 산출하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 측정방법

본 연구를 위하여 전형적인 분지 형태를 갖춘 평탄한 농경지에 12 m 높이의 기상탑을 설치하였다. 그림 1은

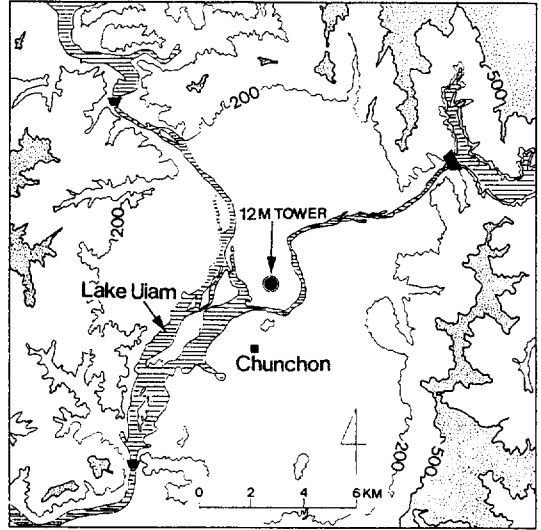


Fig. 1. Map of the observation site and surroundings of Chuncheon basin.

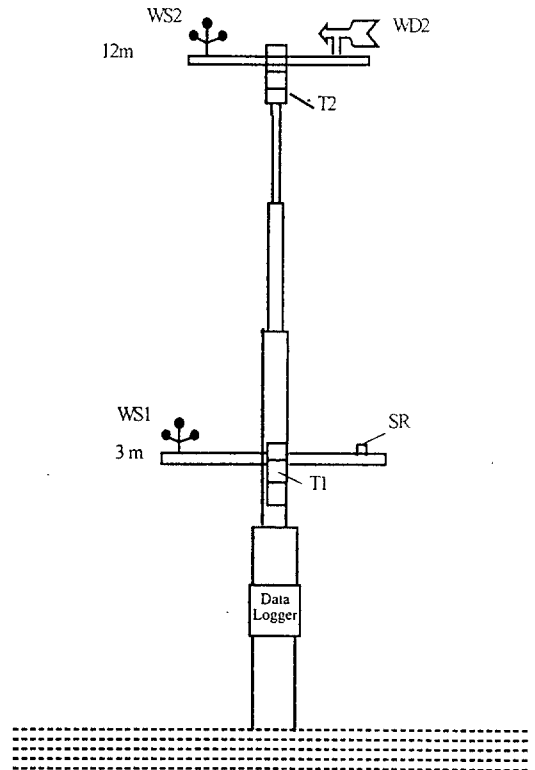


Fig. 2. Schematic diagram of meteorological tower observation system.

춘천분지의 중앙부에 설치한 기상탑의 위치를 나타낸 것으로, 기상탑으로부터 약 2 km 거리에 의압호가 위치하고 있으며 반경 약 5 km 거리에는 고도 300~400 m의 낮은 산들이 둘러싸여 있다.

기상탑의 측정요소로는 그림 2에서 보인 바와 같이 기상탑의 3 m 및 12 m 고도에서의 기온과 풍속 그리고 12 m 고도에서의 풍향 및 풍향의 표준편차 ( $\sigma_y$ )이며 기상측정기기의 센서로부터 측정된 값들은 pulse나 저항, 전압의 신호로 나오게 된다. 이러한 각 센서에서 측정된 신호는 자료수록장치 (CR-10, 미국 Campbell사)에서 디지털 (digital)의 형태로 변환되어 지정된 시간간격마다 각 측정값들의 평균 및 표준편차 등이 계산된다. 각 자료는 sampling time을 5초로 하였으며, 평균화시간은 10분으로 하여, 매 10분이 되면 자동기록장치에 기록되게 하였다.

측정기간은 1992년 5월부터 1994년 12월까지 측정된 자료 중 1992년 12월부터 1994년 11월까지 24개월간 측정된 자료를 이용하여, 풍속이 1m/sec 이상인 경우만을 분석에 이용하였다.

**2.2 거칠기길이 ( $z_0$ ) 산출**

지표부근의 난류를 잘 기술하기 위해서는 그 지역의 대표성 있는 지표면 거칠기길이 ( $z_0$ )를 필요로 하는데, 대상지역이 계절에 따라 농작물의 생육상태가 달라지고 방위에 따라서도 주변 건물과 나무 등의 배치가 다르므로  $z_0$ 를 4계절 및 8방위로 세분하여 구하였다. 대기상태가 중립 또는 중립에 가까운 경우에  $z_0$ 는 하층풍속 ( $u_1$ )과 상층풍속 ( $u_2$ )으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$z_0 = \exp[(u_2/u_1) \ln z_1 - \ln z_2] / [(u_2/u_1) - 1] \quad (1)$$

여기에서,  $z_1$ 는 하층의 고도 3 m이며,  $z_2$ 는 상층의 고도 12 m이다. 계산과정은 기상탑의 두 고도에서 측정된 기상자료를 이용하여 온위의 차이가 0.2°C 이내인

경우를 중립으로 간주하여 중립상태인 경우만 선택한 후 두 고도의 풍속자료로 시간별  $z_0$ 를 식(1)을 이용하여 계산하였다. 대상기간은 1992년 12월부터 1994년 11월까지로 하였으며, 2년간의 값을 평균하여 표 1에 나타냈다. 표 1에서 보인 바와 같이  $z_0$ 는 북동방향 (NE)의  $z_0$ 가 특히 다른 방향보다 큰 것을 볼 수 있는데, 이것은 북동방향에 춘천기상대 건물이 위치하고 있으므로 다른 7개 방위보다  $z_0$ 의 값이 큰 것으로 생각된다.

**2.3 안정도와 마찰속도 산출**

대기의 안정도를 나타내는데 널리 사용되는 Pasquill 안정도계급은 풍속이나 지표면의 가열, 냉각을 좌우하는 일사의 강도와 운량만으로 결정되므로 실제 기상상태를 반영하는 데는 어려움이 있으며, 지표면의 거칠기 길이 ( $z_0$ )의 지역적인 차이를 고려하지 않으므로 실제의 대기의 안정도 상태와는 차이가 크게 날 수 있다 (Signal *et al.*, 1989). 한편, Golder (1972)는 Monin-Obukhov 길이 (L)와 Pasquill 안정도계급과의 관계를 제시하였으며, 본 연구에서는 이 관계로부터 Pasquill 안정도계급을 추정하는 방법 (이와 김, 1990)을 사용하였다. 이때 L을 측정하는 방법은 난류측정장치가 필요하므로 일상적으로 측정하기는 어려우므로 비교적 용이한 방법으로서 기상탑에서 측정된 두 고도의 기온과 한 고도의 풍속을 이용하여 L을 추정하는 방법을 이용하였다.

마찰속도 ( $u_*$ )는 두층의 고도와 풍속으로부터 다음과 같은 식으로 구한다.

$$u_* = ku / (\ln(z/z_0) - \Psi_m) \quad (2)$$

여기에서 k는 karman 상수로서 0.4이며,  $\Psi_m$ 은 안정도의 함수로서 다음과 같다.

$$\Psi_m = 2 \ln((1+x)/2) + ((1+x^2)/2) - 2 \tan^{-1} x + \pi/2 \quad (\text{unstable}) \quad (3)$$

$$\Psi_m = -5z/L \quad (\text{stable})$$

**2.4  $\sigma_y$ 의 산출**

풍향의 표준편차 ( $\sigma_y$ )로부터  $\sigma_y$ 를 산출하기 위하여 Pasquill (1976)이 제안한 다음과 같은 관계식을 이용하였다.

$$\sigma_y = \tan \sigma_y \times F_y (T_{Ly}) \quad (4)$$

여기에서 x는 풍하 거리 (downwind distance)로서 풍속과 60분 평균화시간의 곱으로 계산된다. 원래  $\sigma_y$ 자

Table 1. Seasonal  $z_0$  (m) for each wind direction.

season wind dir.	spring	summer	autumn	winter
N	0.15	0.60	0.28	0.23
NE	1.12	1.35	1.40	0.91
E	0.47	0.54	0.60	0.40
SE	0.68	0.72	0.77	0.74
S	0.30	0.47	0.30	0.27
SW	0.30	0.65	0.35	0.26
W	0.09	0.48	0.13	0.05
NW	0.07	0.34	0.11	0.13

료는 sampling time을 5초, 평균화시간을 10분하여 저장한 자료이므로 매 10분간 측정된 풍향성분 자료로부터 60분 평균화시간에 대한  $\sigma_\theta$ 를 계산하기 위하여 다음과 같은 방법(김과 이, 1992)을 이용하였다.

$$(\sigma_\theta)^2 = [\overline{\sigma_{\theta_0}}]_2 + [\sigma(\overline{\theta})]^2 \quad (5)$$

여기에서  $\overline{\sigma_{\theta_0}}$ 는 매 10분간 수록된 풍향의 표준편차에 대한 평균값이며,  $\sigma(\overline{\theta})$ 는 60분동안의 매 10분간의 평균풍향의 표준편차 값 6개의 표준편차이다.

또한  $F_y$ 는 수평방향의 라그랑지 적분시간 스케일에 의존하는 무차원 함수로 다음의 식(6)으로부터 계산된다.

$$F_y(T_{Ly}) = 1.414(T_{Ly}/t)(t/T_{Ly} - 1 + \exp(-t/T_{Ly}))^{0.5} \quad (6)$$

여기에서,  $T_{Ly}$ 는 수평방향의 라그랑지 적분시간 스케일이며,  $t$ 는 확산시간 스케일이다. 이 식은 플룸이 대기 중에서 이동, 확산될 때 Lagrangian velocity correlation에 의하여 확산시간이 길어질 수록 함수값이 지수적으로 감소하는 것을 가정한 식이다.

한편, Draxler (1976)는  $F_y$ 를 시간에 따른 함수로 하는 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$F_y(T_{Ly}) = 1/(1+0.4(t/T_{Ly})^{0.5}) \quad (7)$$

이 식은 평탄한 지역에서 경험적으로 산출한 식이며 식(6)과 비교해 볼 때 작은 확산시간 스케일에서 함수값이 급격히 감소하는 특징을 보였다. 그러나, 식(7)은 평탄지에서의 경험식이므로 본 연구에서는 식(6)을 사용하여 수평확산폭을 계산하였다.

$T_{Ly}$ 는 안정도에 따라 달라지며, Hanna (1982)가 제안한 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$\begin{aligned} T_{Ly} &= 0.15 h/\sigma_v \text{ (unstable)} \\ T_{Ly} &= 0.11 (h/\sigma_v)(z/h)^{0.5} \text{ (stable)} \\ T_{Ly} &= 0.5 (z/\sigma_v)/(1+fz/u_* \text{ (neutral)} \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서  $\sigma_v$ 는 평균풍향에 직각방향인 수평풍속의 표준편차이며,  $h$ 는 혼합층고도,  $u_*$ 는 마찰속도,  $f$ 는 코리올리파라미터,  $z$ 는 대상고도이다.

### 2.5 혼합층고도 산출

혼합층고도는 일출 이후부터 지표면 가열에 의해 급격히 증가하여 오후 3~4시경에 최고를 나타내며, 일최고 혼합층고도를 나타낸 시각부터 일몰까지는 상층의 혼합층고도는 대체로 유지되는 반면 지표면 부근에는 약한 안정층을 형성하기 시작한다. 야간에는 지표면 냉각에 의한 강한 역전층이 형성되며 그 높이는 바람이 약한 경

우 수백 m에 이른다. 본 논문에서는 주간과 야간의 혼합층고도를 계산하기 위하여 다음과 같은 혼합층고도 모델을 작성하였다.

주간(오전 9시~오후 16시)의 혼합층고도는 Jump Model(이종범, 1991)을 이용하였으며, 이 모델은 지면으로부터의 현열 flux를 추정하여 혼합층고도의 발달을 계산하는 모델이다. 주간 혼합층고도의 발달은 주로 일사 및 풍속에 의해 좌우되며 오염물질의 연직혼합이 활발하다. 반면 야간에는 지표부근에 강한 접지역전층이 형성되어 연직혼합은 활발하지 못한 편이지만 야간역전층 높이까지 난류가 존재할 수 있어 이 높이까지를 야간 혼합층고도로 정하기도 한다(Stull, 1989). 야간의 혼합층고도는 그 높이를 추정하는데 어려움이 있으나 보통 마찰속도와 Monin-Obukhov 길이(L)로서 다음과 같은 Zilitinkevich (1972)의 식을 이용할 수 있다.

$$h = k(u_*L/f)^{0.5} \quad (9)$$

여기에서  $k$ 는 karman상수이다.

위의 방법을 이용하는 경우 일출 또는 일몰경의 전이

Table 2. Example of hourly mixing height (m) calculated by the mixed layer height model in Chunchon for five days(March, 1st-5th, 1993).

Time	Day				
	1	2	3	4	5
1	246	166	30	30	30
2	246	166	30	30	30
3	255	100	30	41	30
4	281	87	30	123	30
5	248	30	30	34	30
6	216	30	30	50	38
7	106	32	31	39	38
8	82	43	41	46	44
9	57	53	51	53	51
10	287	125	81	64	86
11	924	396	151	89	162
12	1351	817	275	252	312
13	1530	1043	672	592	468
14	1661	1133	892	809	568
15	1753	1198	993	899	659
16	1811	1248	1081	974	737
17	905	624	540	487	368
18	453	312	270	244	184
19	226	156	135	122	263
20	211	278	35	75	221
21	197	230	30	39	234
22	182	210	30	31	101
23	167	92	30	32	41
24	215	36	30	30	36

시간에 대한 혼합층고도의 산출과정이 어렵다. 따라서, 일출 직후부터 오전 9시까지의 혼합층고도가 직선적으로 증가하는 것을 가정하였고, 오후 16시부터 일몰 직전까지는 매시간 혼합층고도가 반감 (half decrease) 되는 것을 가정하여 산출하였다.

본 연구에서 혼합층고도를 산출하기 위해서 기상탑에서 측정한 1992년 12월 부터 1994년 11월 까지 2년간의 매시간의 온도, 풍속, 일사량자료와 오산기상대의 상층기상자료를 이용하였다.

표 2는 1993년 3월의 1일부터 5일까지 5일간의 매시간 혼합층고도를 예시한 것으로서 혼합층고도의 최저치는 수십 m 내외이며 야간 또는 새벽에 나타나는 것을 볼 수 있다. 혼합층고도는 일출 후 지면으로부터 가열에 의하여 점차적으로 높아져서 일최고기온의 발생시각인 15~16시 부근에서 최고치를 나타냈다. 여기서 매시간의 혼합층고도 자료는 라그랑지 적분시간 스케일을 계산하는데 이용된다.

3. 결과 및 고찰

3.1  $\sigma_y$ 의 특징

평균화시간과 대기의 안정도에 따른  $\sigma_y$ 의 특징을 고찰하기 위하여 춘천기상탑에서 측정된 2년간의 매 10분간의 풍향성분자료를 이용하여 평균화시간 30, 60, 120분에 대한  $\sigma_y$ 를 산출하여 그림 3에 나타내었다.

그림 3에 보인 바와 같이  $\sigma_y$ 는 대기상태가 불안정한 경우와 안정인 경우에 큰 값을 나타내는 반면 중립 또는 약불안정인 경우 최소를 나타내었다. 표 3은 Nuclear Regulatory Commission (NRC, 1979)에서 제시한 대기안정도별  $\sigma_y$ 와 기상탑에서 측정된  $\sigma_y$ 를 비교한 것으로서 춘천의 경우 강안정인 F계급일때  $\sigma_y$ 가 크게 나타나며 춘천에서 측정된 결과와 NRC의 결과를 비교하면 큰 차이를 나타낸다. 이는 NRC의 결과가 평탄한 지역에서의 결과이고 춘천에서의 결과는 복잡한 지형에서 산출된 결과이므로  $\sigma_y$ 는 지형의 영향을 크게 받는 것으로 사료

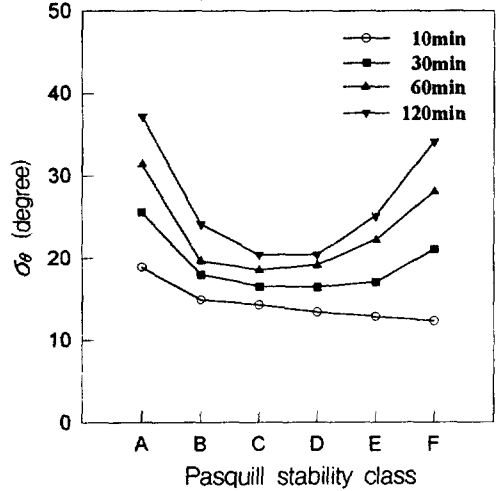


Fig. 3.  $\sigma_y$  for various stability classes at the Chuncheon basin for various averaging time.

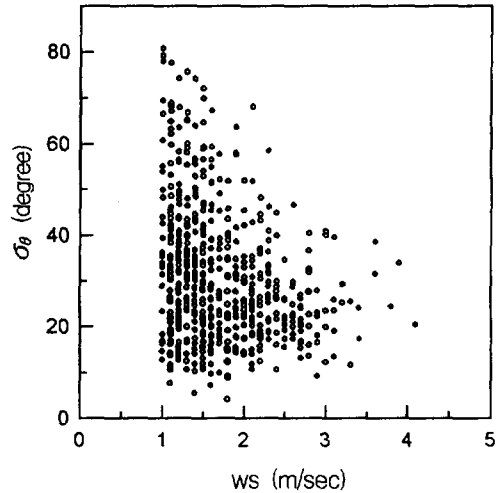


Fig. 4.  $\sigma_y$  vs. wind speed for A stability class at the Chuncheon basin for 1 hour averaging time.

Table 3. Comparison between  $\sigma_y$  by NRC (1979) and  $\sigma_y$  measured in Chuncheon. Averaging time of  $\sigma_y$  measured in Chuncheon is 1 hour, and ( ) denotes number of case.

Pasquill-Gifford stability class	$\sigma_y$ (deg)					
	A	Unstable B	C	Neutral D	E	Stable F
Nuclear Regulatory Commission	>22.5	17.5~22.5	12.5~17.5	7.5~12.5	3.8~7.5	<3.8
Chuncheon basin mean	31.5 (1176)	19.6 (810)	18.4 (609)	18.7 (851)	22.0 (547)	27.6 (911)

된다.

한편, 평균화시간에 따른  $\sigma_y$ 의 특성을 살펴보면 평균화시간이 길어질수록  $\sigma_y$ 는 커지는 경향을 보이며 특히, 강안정인 F계급의 경우 평균화시간을 10분에서 60분으로 증가시키면  $\sigma_y$ 는 2배 이상 증가한 것으로 나타났다. 그러나, 평균화시간이 60분 이상 길어지면  $\sigma_y$ 의 증가는 차츰 둔화되는 특징을 나타냈다. 한편, 중립인 D계급과, 약불안정인 C계급의 경우 평균화시간에 따른  $\sigma_y$ 의 값의 증가 경향은 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

10분간의 자료로부터 평균화시간을 60분으로 하여 산출한 풍속과  $\sigma_y$ 와의 관계를 분석한 결과를 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 A계급의  $\sigma_y$ 와 풍속은 반비례관계를 나타내며, 특히 풍속이 약한 2 m/sec 이하에서  $\sigma_y$ 가 대부분 분포하는 것으로 나타났으며, 풍속이 약할수록  $\sigma_y$ 의 분산이 큰 경향을 나타냈다.

그림 5는 안정도계급별로 풍속과  $\sigma_y$ 와의 관계를 나타낸 것이다. 풍속계급은 매 1 m/sec로 하였으며 각 구간의 중앙값에 해당하는  $\sigma_y$ 를 산출하였다.  $\sigma_y$ 는 그림에서 보인 바와 같이 대기안정도별로 뚜렷한 특징을 보였다. 풍속이 약하고 대기의 상태가 불안정인 경우에  $\sigma_y$ 는 큰 특징을 나타냈으며, 강안정인 경우에도 풍속이 약할수록 큰값의  $\sigma_y$ 를 나타냈다. 한편, 중립인 경우에  $\sigma_y$ 는 20° 이하의 작은 값을 나타내었다.

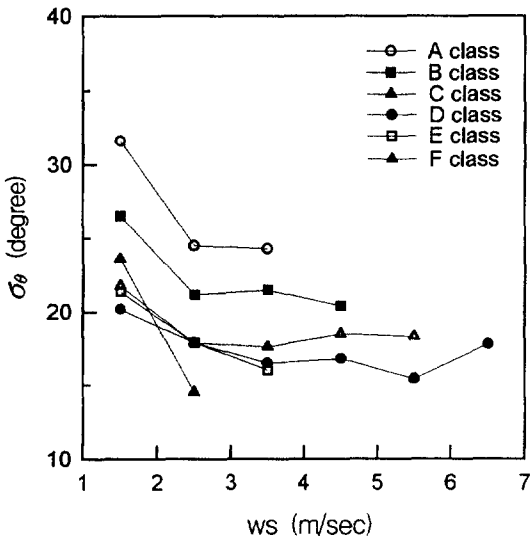


Fig. 5.  $\sigma_y$  vs. wind speed for various stability classes at the Chuncheon basin for 1 hour averaging time.

그림 6은 풍향변동성분 자료를 이용하여 식(5)에 의하여 평균화시간을 30, 60, 120분으로 하였을 때  $\sigma_y$ 의 단주기 ( $\sigma_{\theta}$ ) 및 장주기 ( $\sigma(\bar{\theta})$ )성분을 나타낸 것으로, 강안정한 대기상태하에서는 평균화시간이 길어질수록 장주기 풍향변동의 영향을 크게 받아서  $\sigma_y$ 가 커지는 것으로 나타났다. 이와 같이 평균화시간이 길어질수록 강안정인 경우  $\sigma_y$ 가 큰 폭으로 증가하는 주요인은 역학적 난류에 의한 단주기 풍향변동보다는 지형에 의한 장주기 풍향변동에 의한 것으로 사료된다.

본 연구  $\sigma_{\theta}$ 에서 제시한 풍향변동폭의 특성에 관한 연구결과는 김과 이 (1992)의 결과와 대체로 유사하나 이는 가을철 15일간에 측정된 자료만으로 분석한 결과였으며, 본 연구에서는 2년간의 측정자료에 의한 결과이므로 춘천지역의 장기간의 평균치로서 춘천지역의 대표값을 나타낸다고 생각된다.

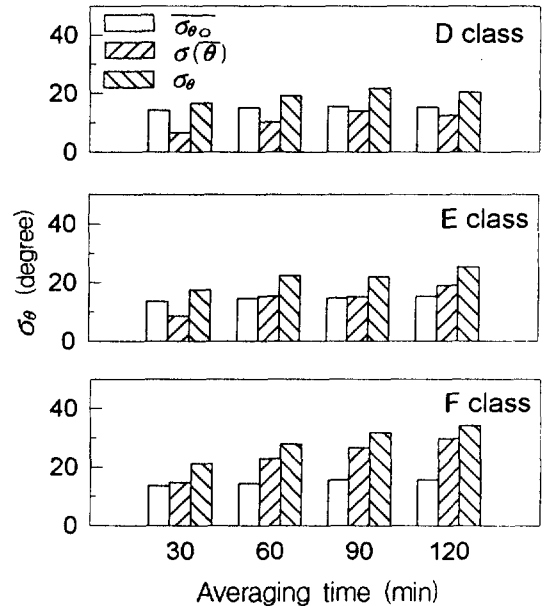


Fig. 6. Comparison between  $\sigma_{\theta}$ ,  $\sigma(\bar{\theta})$  and  $\sigma_y$  for various averaging time and Pasquill stability class.

### 3.2 $\sigma_y$ 의 산출

기상탑에서 측정된  $\sigma_y$ 를 이용하여 식(4)에 의하여 6 종류의 안정도별 풍하거리에 따른  $\sigma_y$ 를 구하였다.

식(4)에서  $\sigma_y$ 를 구하기 위해서는 무차원함수 ( $F_y$ )를 필요로 하므로 식(6)에 의해서 산출한 함수를 그림 7에

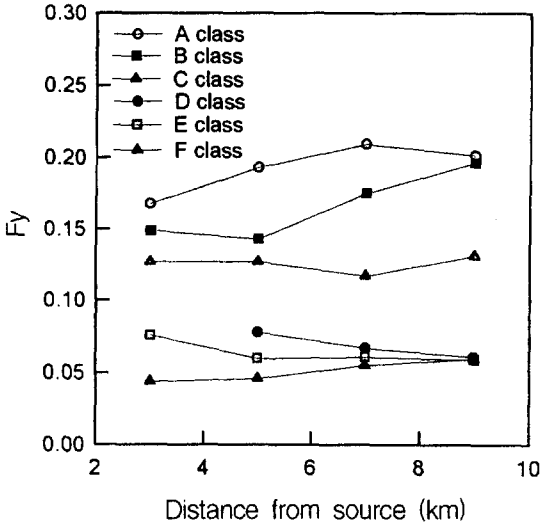


Fig. 7.  $F_y$  for various stability classes at the Chuncheon basin for 1 hour averaging time.

나타냈다. 이것은  $F_y$ 와 풍하거리와의 관계를 나타낸 것으로서  $F_y$ 는 매 2 km마다 각 구간별로 산출한 중앙값을 이용했다. 안정도별 함수의 특징은 대기상태가 불안정(A, B, C)인 경우와 중립 및 안정인 경우의 두부분으로 나누어지는 특징을 나타냈으며 불안정한 경우의  $F_y$ 값이 크다. 대기상태가 불안정 또는 안정한 경우에  $F_y$ 는 대체로 증가하는 경향을 나타냈으나 중립 또는 약안정인 경우에는 감소하는 경향을 나타냈다.

그림 8은 6가지 안정도 중 강불안정(A계급)과 강안정(F계급)인 경우의  $\sigma_y$ 산출 결과를 나타낸 것으로서 F계급보다는 A계급에서의  $\sigma_y$ 가 큰 특징을 나타냈다. 그림 9는  $\sigma_y$ 와 풍하거리의 관계를 안정도별로 나타낸 것으로서 이때  $\sigma_y$ 는 매 2 km 마다 각 구간별로 산출한 중앙값을 나타낸 것이다.

그림 9에서 보면  $\sigma_y$ 는 대기의 안정도가 불안정한 경우와 중립 및 안정인 두 부분으로 구분되는 특징을 볼 수 있으며 이는 그림 7에서 제시한 함수  $F_y$ 의 특징과 유사

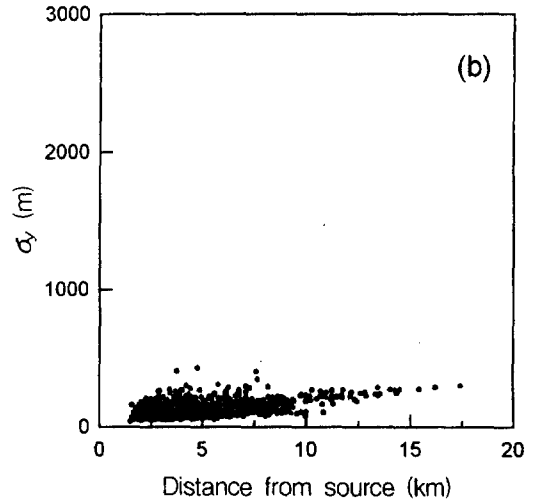
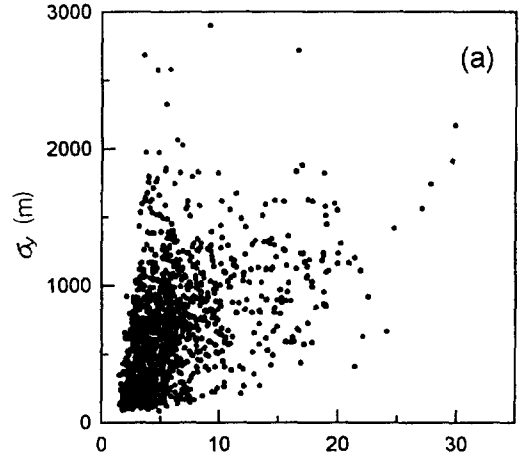


Fig. 8. Plots of  $\sigma_y$  with distance from source at the Chuncheon basin for 1 hour averaging time. ((a) A class, (b) F class)

하다. 이러한 특징은  $F_y$ 의 산출과정에 기인된 것으로 사료된다. 대기의 상태가 불안정에서 안정으로 향할 수록  $\sigma_y$ 는 증가폭이 둔화되는 특징을 나타냈다. 한편, 대기의

Table 4. Comparison between  $\sigma_y$  by Pasquill-Gifford method and  $\sigma_y$  by observed  $\sigma_y$  in chuncheon basin.

Distance	$\sigma_y$ by Pasquill-Gifford curve						$\sigma_y$ obtained using observed $\sigma_y$ in Chuncheon					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
3 km	546	409	279	185	138	92	534	212	231	-	114	103
5 km	850	641	441	292	219	146	659	291	249	138	132	108
7 km	1136	861	597	395	296	197	763	473	298	164	155	121
9 km	1409	1071	746	495	370	247	853	666	363	185	172	139

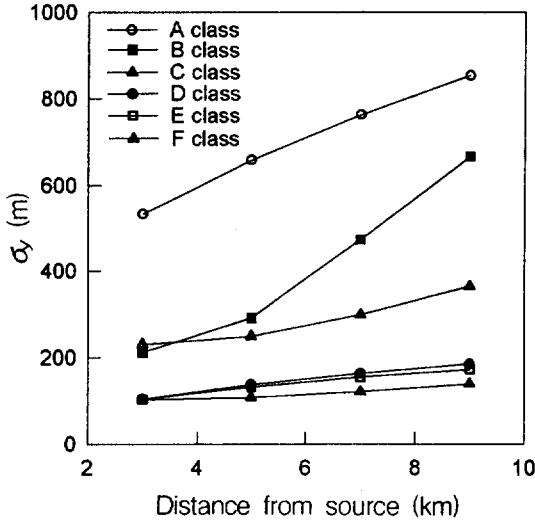


Fig. 9.  $\sigma_y$  for various stability classes at the Chunchon basin for 1 hour averaging time.

상태가 중립 (D계급)일때는 약안정 (E계급) 또는 강안정 (F계급)과 유사한 크기의  $\sigma_y$ 를 나타냈다.

표 4는  $\sigma_z$ 의 측정자료를 이용하여 구한  $\sigma_y$ 와 P-G scheme에 의한  $\sigma_y$ 를 비교하여 제시한 것이다. 여기서 P-G scheme은 Gifford (1961)가 제시한 식으로서 식  $\sigma_y = aX^b$ 에 의하여 구하여지며 a, b는 안정도에 따라 달라지는 값이다.  $\sigma_z$ 에 의하여 구한  $\sigma_y$ 의 산출값은 P-G scheme에 의하여 구한 값에 비하여 대체로 작은 경향을 보인다. 특히 중립상태에서는 두 배 이상 작은 특징을 볼 수 있다.

또한 안정인 경우에  $\sigma_z$ 가 큰 특징을 나타냈음에도 불구하고  $\sigma_y$ 가 다른 안정도계급에 비해 작게 나타난 것은 식(6)에 의하여 구하여지는 F<sub>y</sub>값이 매우 작기 때문이다. 따라서 식(6)은 평탄한 지역에 대하여 적용되는 식이므로 지형의 영향을 많이 받는 지역에 적용하기 위해서는 수정할 필요가 있으리라 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 춘천기상대에 설치한 기상탑에서 장기간 측정된 풍향변동량 자료의 특징을 고찰하였다. 또한 풍향변동량 자료를 이용하여 연기의 수평확산폭을 산출하였다. 춘천지역에서 측정된  $\sigma_z$ 는 평균화시간이 10분인 경우를 제외하고는 약불안정과 중립에서 최소를 나타내었다. 또한 대기의 안정도가 중립인 경우 풍속에 따른

차이는 없었으나 대기의 안정도가 각각 불안정과 안정으로 갈수록, 그리고 풍속이 강한 경우 보다는 약한 경우에 풍향변동폭이 크게 나타남을 보였다. 한편, 대기의 안정도가 불안정과 강안정인 경우 평균화시간이 길어짐에 따라  $\sigma_z$ 가 크게 증가함을 나타냈다. 이것은 단주기 풍향변동 보다는 지형에 의해 나타나는 장주기 풍향변동에 기인한 것으로 사료된다.

지역적 특성에 맞는  $\sigma_y$ 를 산출하기 위해서  $\sigma_z$ 를 이용하여 대기안정도별로  $\sigma_y$ 를 계산한 결과 일반적으로 P-G curve에서 구한  $\sigma_y$ 보다는 작은 특징을 나타냈다. 특히 대기의 상태가 중립 (D계급)과 안정 (E, F 계급)일 때 풍하거리가 증가함에 따라  $\sigma_y$ 값은 큰 변화가 없는 특징을 보였다.

앞으로 더욱 정확한  $\sigma_y$ 의 산출을 위해서는 확산실험의 결과와의 비교가 필요할 것으로 생각된다. 본 논문에서 적용한 함수는 평탄한 지역에서 확산실험을 통하여 산출한 식으로서 우리나라와 같이 산악지대가 많고 평탄지의 규모가 작은 지형에서는 큰 차이를 나타낼 것으로 생각되며 더욱 개선할 필요가 있다.

#### 참 고 문 헌

김용국, 이종범 (1992) 대기안정도와 지형조건에 따른 풍향변동폭의 특성, 한국대기보전학회지, 8(2), 138-145.

이종범, 김용국 (1990) Pasquill 안정도계급의 평가와 안정도 Parameter 추정방법의 개발, 한국대기보전학회지, 6(2), 168-175.

이종범 (1991) 중부지방 각지의 대기오염잠재력에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(1), 41-47.

Draxler, R.R. (1976) Determination of atmospheric diffusion parameter. Atmospheric Environment, 12, 2259-2263.

Gifford, F.A. (1961) Nuclear Safety 2, 47-55.

Golder, D. (1972) Relations among stability parameter in the surface layer. Boundary-Layer Meteorology, 3, 47-58.

Hanna, S.R. (1982) Applications in air pollution modeling, in *Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling* (edited by Nieuwstadt F.T.M. and Van Dop H.), 275-310.

Nuclear Regulatory Commission (1979) *Atmospheric dispersion models for potential accident consequence assessments at nuclear*



- power plants*. Reg. Guide 1.145, U.S., NRC.
- Pasquill, F.(1976) Atmospheric dispersion parameters in Gaussian plume modeling : Part II. Possible requirements for change in the Turner workbook values. Rep. EPA-600/4-760306, U.S. EPA, 44.
- Signal, S.P., E.W.D. Lewthwaite, and D.S. Wratt (1989) Estimating atmospheric stability from monostatic acoustic sounder records. *Atmospheric Environment*, 23, 2079-2084.
- Zilitinkevich, S.S.(1972) On the determination of the height of the Ekman boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 3, 141-145.