

대기 경계층 연직방향 확산의 지면 거칠기에 따른 변화에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Variation of Vertical Dispersion within Boundary Layer with Surface Roughness

박 옥 현 · 윤 창 옥

부산대학교 환경공학과

(1999년 7월 28일 접수, 2000년 5월 22일 채택)

Ok-Hyun Park and Chang-Ok Yoon

Dept. of Env. Eng., Pusan National University, Pusan, Korea, 609-735

(Received 28 July 1999; accepted 22 May 2000)

Abstract

An experimental study has been carried out using a rotating water channel in order to investigate the effect of surface roughness on the vertical dispersion of plume within boundary layer. Dispersion measurements of tracers released from two sources with different height at neutral conditions over various rough terrain ranging from rural to urban have been performed. Various values of roughness length were simulated by combining of 4 stream velocities and 3 roughness element conditions. Dispersion measurements have also been made for rough terrain where high buildings are locally concentrated. Values of σ_z increase with roughness and this tendency appears to apply both cases of with and without locally concentrated high buildings. The comparisons of the Bowne's nomogram on σ_z vs x relationship and the measurements of σ_z with roughness show good accordance in σ_z distribution at stability D class over rural, suburban and urban terrain. For constant roughness length the σ_z values of plumes from lower source height are smaller than those of plumes from higher source at short downwind distance, but this relationship becomes reverse as distance increases. Crossing appears to be made before about 2 Km.

The value of constant I in McMullen's equation $\sigma_z = \exp [I + J(\ln x) + K(\ln x)^2]$ appears to increase with roughness length, however, the relationships between other constants and roughness have not been confirmed.

The values of σ_z for various downwind distances, estimated by using an equation which is employed in ISC (Industrial Source Complex) dispersion model for areas where high buildings are locally assembled, are in accordance with measurements from water channel experiments.

Key words : boundary layer, roughness length, rotating water channel experiment, vertical dispersion coefficient

1. 서 론

지금까지 주로 평탄하고 광활한 시골 지형을 중

심으로 대기확산에 관한 연구가 많이 이루어져 왔는데 이는 대체로 실험의 용이성과 트레이서에 의한 피해 저감 등을 고려했기 때문이다. 그런데 도시 지역에 인구가 밀집하여 아파트, 빌딩 등 새로운 구

조물들이 점점 증가하면서 열방출과 지면의 거칠기가 현저히 달라짐으로써 시골대기와 상이한 확산능(diffusibility)을 갖게 되므로 도시지역에 대한 대기 확산 연구가 강화될 필요가 있다. 우리 나라와 같이 국토의 2/3 이상이 산악지형으로 형성된 나라에서는 도시와 그 주변 지형의 기복과 피복상태가 복잡하므로 대기의 회석능을 최대한 지혜롭게 이용하기 위해서는 지면의 거칠기에 따른 확산능의 변화에 관한 연구가 요구되어 진다. 연직방향 대기 확산의 지표면 거칠기에 기인한 변화 문제를 다룬 기존 문헌들은 전보(박옥현, 1998)에서 재검토되었다.

이 연구에서는 순환수로에서 거칠기 모의 요소 배열과 유속의 연직방향 분포를 변화시켜 대기가 중립조건일 때 시골지역에서 도시지역에 이르는 지형의 거칠기 길이(roughness length, z_0)를 모의하고, z_0 크기에 따라 plume의 연직방향 퍼짐을 조사하여 O_2 값에 미치는 지표면 거칠기의 영향을 체계적으로 고찰하였다. 또한 각 기본 지형(예; 시골, 교외, 도시 등)에서 방출원 부근 풍하측에 국소적으로 밀집한 높은 건물들을 가장하는 요소들을 설치하여 실험적으로 측정된 O_2 값을 대기현장에 적용할 수 있는 값으로 변환한 결과와 ISC (Industrial Source Complex) 확산모델에서 채용하는 수정식을 적용한 계산결과를 비교함으로써 O_2 수정식을 검증하였다. 이 연구는 확산 모델을 이용한 대기오염농도 평가의 정확도 개선에 기여하는데 목표를 두었다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

대기환경에서의 유동현상을 가상하기 위해 본 연구에서 사용된 수로 실험장치는 Odel과 Kovaszny (1971)가 사용한 수로의 기하학적 형상을 그대로 유지하되 보다 큰 규모로 아크릴 판으로 제작하여 수로 내부의 확산현상을 보다 자세하게 관측할 수 있게 했다. 실험에 사용된 장치는 그림 1(a) 및 (b)와 같다. 순환 펌프는 두께 3mm, 직경이 각각 8cm 및 16cm인 아크릴 원판들을 인접한 두 개의 축에 번갈아 끼워 제작하고 두개의 축이 반대방향으로 회전하게 함으로써 전체 수심에 걸쳐 균일한 힘으로 물을 밀어낼 수 있도록 하였다. 펌프의 회전속도는 슬라이드스를 사용하여 모터에 인가되는 전압을

조절함으로써 제어하였다. 또한 그림 1(b)에서 보인 바와 같이 Castro (1979)가 풍동 실험에서 사용한渦 발생장치(vorticity generator)를 관측구간 상류측 5cm 지점에 설치하였다. 이 장치의 단면은 높이 3cm, 폭 2cm인 타원형의 한 부분에 해당하며 수로 폭 10cm에 걸쳐 설치될 수 있도록 아크릴 판을 사용하여 제작되었다. 관측구간에서 수로 횡단방향으로 균일한 흐름이 유지되도록 하기 위하여渦 발생장치 상류지점에 저수공간(reservoir chamber)을 설치하였으며 펌프 하류측에 散水장치(diffuser)를 설치하였으나 이는 자체적으로 散水기능을 갖는 것은 아니다. 실험관측 구간의 길이는 90cm, 수로 단면 폭은 10cm, 높이는 20cm가 되도록 하였다.

2.2 실험방법

수로에서의 열적성층화를 조장하지 않았으며 수로내부의 유속을 조절하여 기계적 난류만을 발생시켰다. 표면 거칠기 길이와 유속의 역수값들의 분포로부터 이 수로가 가상하는 대기안정도 조건이 중립조건에 해당함을 확인하였다. 측정된 거칠기 길이와 유속의 역수값들에 관해서는 3.1에서 설명된다.

펌프에 전달되는 전기를 전압조절장치를 이용하여 제어함으로써 결과적으로 조절되는 유속의 네 가지단계와 거칠기 요소(roughness element)의 세 가지(Case I~III) 배열조건을 조합하여 여러개의 표면 z_0 값을 구현하였다. 그림 1(c)에 나타낸 바와 같이 Case 1에서는 거칠기 요소의 높이를 0.3cm로, Case 2에서는 0.6cm로 취하였고, Case 3에서는 측정구간에 0.3cm와 0.6cm 높이의 거칠기 요소들을 교대로 배열하였다. 물 흐름방향을 기준으로 본 거칠기 요소의 폭과 길이는 각각 10cm와 1cm였고, 거칠기 요소간의 거리는 세 가지 경우에 모두 1cm로 고정하였다.

각 경우에 대해서 트레이서(tracer) 입자(mesitylene oil, diethylphthalate, 노란색 페인트의 혼합물)를 관측구간 상류 지점에 주사기로 주입하고 입자의 이동현상을 일정한 시간간격으로 사진촬영해서 분석하여 풍속 분포도를 작성하고, 유속역수값 p 와 표면 z_0 로부터 경계층의 안정도를 확인하였다. 표면 거칠기 길이 z_0 의 값과 마찰속도 u_* 의 값을 식(1)을 사용해서 결정하였다. 여기에서 6개의 z_0 값을 구하여 표면 거칠기에 따른 연직방향 확산변화에 관

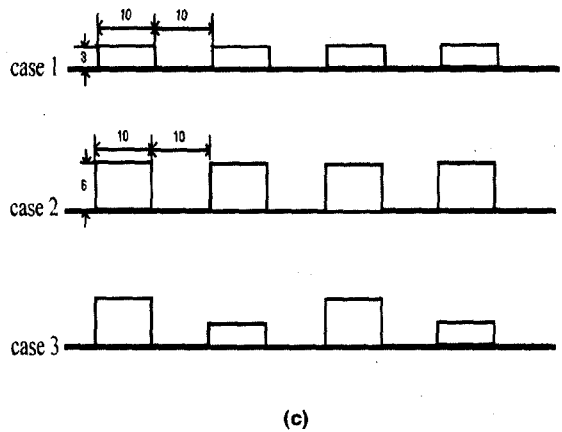
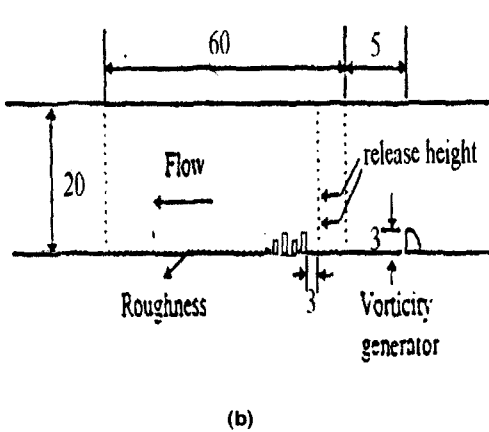
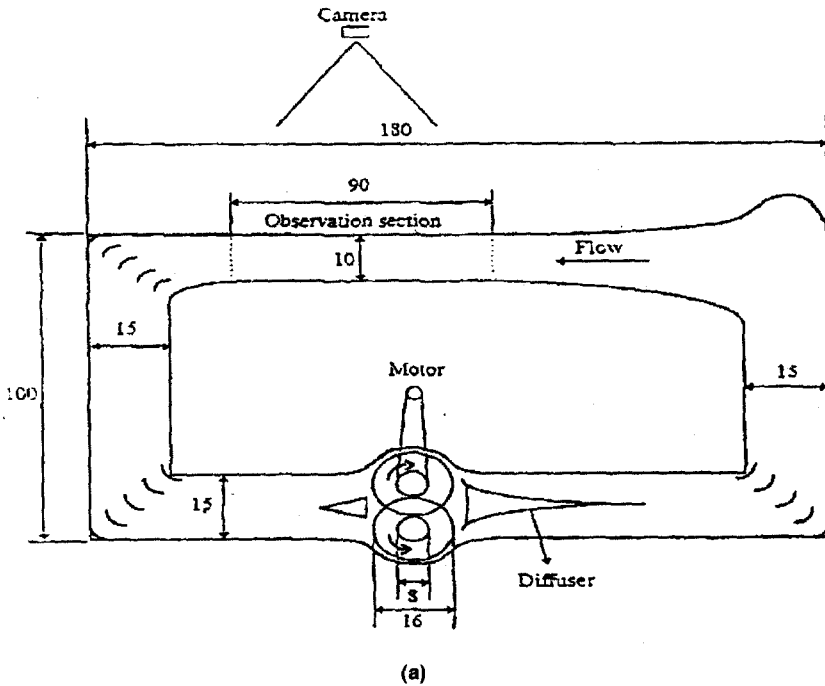


Fig. 1. Experiment apparatus set and roughness simulation.

한 분석에 사용하였다. 측정구간 안에서 트레이서 입자들의 이동현상을 촬영한 사진들은 영상처리 프로그램을 사용하여 컴퓨터로 읽고 분석되었다.

건물 밀집구역에서의 확산을 고찰하기 위해 위의 선택된 z_0 에 상응하는 유속 및 거칠기 요소 배열만이 있는 경우와 2.3cm 및 3.3cm 높이를 가진 두 가

Table 1. A specification and array of buildings.

	High building (A)	Low building (B)	Array of buildings
Height (cm)	3.3	2.3	ABAB
Length (cm)	1	1	ABBA
Width (cm)	10	10	BAAB
			BABA

지 건물모형을 방출원으로부터 하류 쪽으로 3 cm 떨어진 지점부터 3 cm 간격을 유지하여 각각 2개씩 배치한 경우에 대해서 (표 1), 6.25 cm와 3.75 cm의 두 가지 방출높이 조건을 선택하여 실험을 수행하였다(그림 1(b)).

3. 실험결과

3.1 중립대기계층의 모의와 표면 거칠기 길이의 결정

중립 대기계층의 가상을 검토하기 위해 건물모형 배열이 없는 경우에 유속과 표면의 거칠기 요소를 변화시키면서 수로에서의 수심방향 유속분포를 조사하고 $\ln z$ 에 대한 $u(z)$ 데이터를 제도하여 식 (1)과 같은 회귀식을 구하고 z_0 와 마찰속도 u_* 를 구하였다.

$$u = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

여기서 z 는 높이, k 는 von Karman 상수 (≈ 0.41)를 나타낸다. 이 식은 $1.5h_r < z < 0.15\delta$ 의 범위에서만 적용되며 여기서 h_r 은 거칠기 요소의 높이, δ 는 경계층 두께이다. 유속의 멱수 p 는 식 (2)를 사용하여 구하였다.

$$\frac{U}{U_r} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^p \quad (2)$$

Table 2. Results of stream velocity profile analysis for each run conditions.

Roughness element arrangement (Fig. 2)	Steps of applied roughness voltage to motor	z_0 length (cm)	u_* friction velocity (cm/s)	\bar{u} average velocity (cm/s)	p power of stream velocity
case 1	4	0.0158	0.1913	2.3742	0.14
	6	0.0948	0.2795	3.0721	0.24
	8	0.3182	0.4616	3.6776	0.27
	10	0.4774	0.5620	3.7518	0.38
case 2	4	0.0416	0.1422	2.3691	0.23
	6	0.2941	0.2902	2.8814	0.30
	8	0.3947	0.4367	3.4938	0.27
	10	0.5141	0.4468	3.7198	0.24
case 3	4	0.0217	0.1307	2.2825	0.19
	6	0.2418	0.3237	2.7171	0.31
	8	0.2430	0.4474	3.7497	0.25
	10	0.4308	0.5617	3.9038	0.24

여기서 p ; 대기안정도에 따라 달라지는 멱수, z_r ; 참조높이, U, U_r ; 각각 높이 z 및 z_r 에서의 풍속.

이 연구에서는 중립대기조건을 가상하기 때문에 축척률을 적용하여 실제 길이로 환산한 z_0 값이 약 10 cm 및 100 cm일 경우 수로에서 구한 p 값은 각각 0.15 및 0.25까지 되어야 하며 도시지역에서처럼 지형이 매우 거칠 경우(예; $z_0 = 900$ cm) 약 0.35까지 될 수 있다(Counihan, 1975).

본 실험에서 구한 $z_0, u_*, \bar{u}(z)$ 그리고 p 는 표 2에 나타내었다.

표 2에서 나타낸 p 값은 0.14에서 0.38까지의 범위에 걸치고 있으며 가장 큰 값을 제외하면 중립조건 대기계층층에서 조사되는 값들에 해당한다. 수로에서의 역학적 상사를 위해 Reynolds상사를 적용시키면 단면평균유속이 모든 실험시행에 있어 0.022 m/s 보다 크고 수로내부는 $N_{Re} > 4,000$ 이므로 난류조건을 잘 가상한다고 볼 수 있다. 실제원형환경과 물리적 모형에서의 표면 거칠기 비가 곧 원형과 모형간의 길이축척이므로 (Synder, 1981) (i) 실험수로 표면의 z_0 가 0.016~0.514 cm 범위에 있고 (ii) 원형인 도시 주거지역 z_0 가 약 1~5 m 범위에 있으며 (Wieninga, 1993) (iii) 대기확산의 유체모델링을 위해 바람직한 물리적 모형의 길이 축척이 1/400 이상이어야 한다(Synder, 1981)는 점 등을 고려할 때 이 연구에서 도시지역의 기하학적 상사를 위한 길이축척은 10^{-2} 차수(order)를 가진다고 볼 수 있을 것이다.

또, 속도축척을 구하기 위해서 실제 중립조건 대기에서의 마찰속도를 Rossby 상사이론(박옥현, 1994)을 적용하여 구한 결과 약 0.71 m/s이고, 수로실험에

Table 3. Experimental conditions of roughness length.

Roughness element arrangement (Fig. 1)	Steps of applied voltage to motor	Roughness length z_0		Friction velocity u_*		Symbol
		Model (cm)	Env. (cm)	Model (cm/s)	Env. (m/s)	
case 1	4	0.0158	7.9	0.1913	0.287	R1
case2	4	0.0416	20.8	0.1422	0.213	R2
case 1	6	0.0948	47.4	0.2795	0.419	R3
case 3	8	0.2430	121.5	0.4474	0.671	R4
case 2	8	0.3947	197.5	0.4367	0.655	R5
case 2	10	0.5141	257.05	0.4468	0.670	R6

서의 마찰속도는 0.13~0.56 cm/s이므로 이 수로의 속도측치는 10^{-2} 이상으로 보아진다.

표 2에 수록된 제원들을 실제규모로 환산할 경우에 시골지역에서 도시지역까지 모의할 수 있도록 z_0 는 500배 해서, 또한 유속은 150배 해서 표 3에 나타낸 바와 같이 실험조건이 결정되었다.

3.2 유로에 돌출 건물이 없는 경우의 확산

3.2.1 표면거칠기의 영향

풍하층에 건물을 가상하는 블록이 없는 경우에 모형 수로표면의 거칠기 길이별 무차원거리 $X(=(x/\bar{u}) \cdot (\sigma_w/z_i))$ 에 따른 무차원 연직방향 분산계수 σ_z/z_i 의 변화를 전대수지상에 나타낸 그림 2에서 회귀 곡선의 기울기를 구하였다. X 를 정의함에 있어 연직방향 와동속도의 표준편차 σ_w 를 사용한 것은 대류조건에서 대류속도 w_* 를 사용하여 X 를 정의하는 것을 참고한 것이다. 그림 2는 이 기울기 $[\Delta \log(\sigma_z/z_i)/\Delta \log X]$ 를 거칠기 길이에 대해 나타낸 것이다. 거칠기 길이가 증가할수록 기울기 값이 커짐을 볼 수 있는데, z_0 값이 약 30 cm까지는 급격한 증대를 보이다가 그 이후 완만한 증대를 보인다. 이는 수로에서 열적 난류 발생 조건이 갖춰지지 않은 경우에 표면의 거칠기가 증대함에 따라 지면에서 발생하는

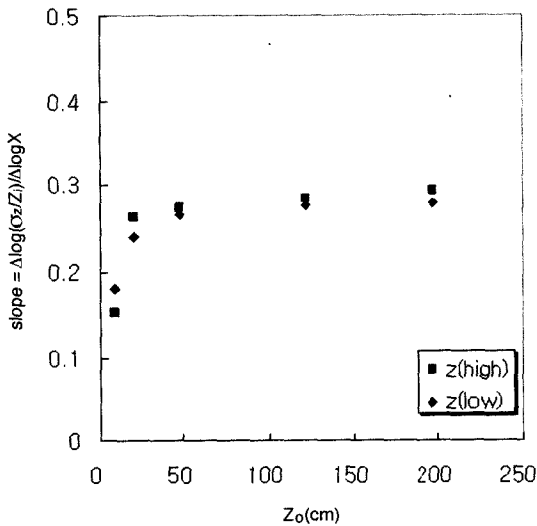


Fig. 2. Variation of $\Delta \log(\sigma_z/z_i)/\Delta \log X$ with roughness length for different release height.

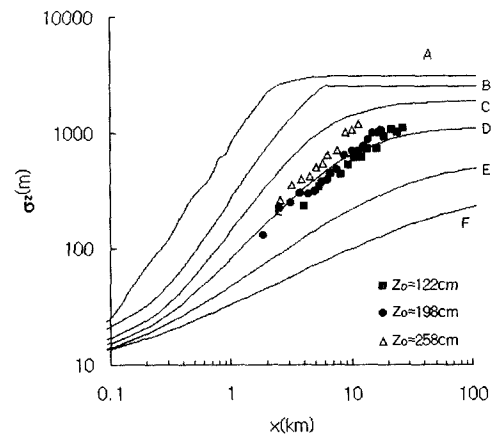
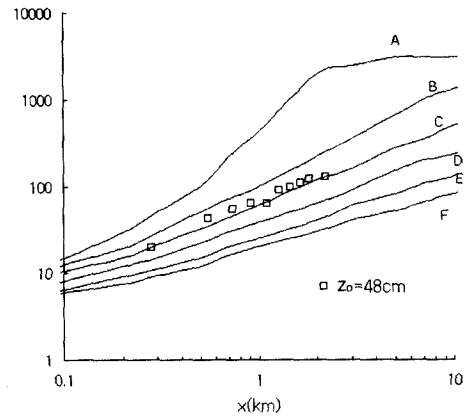
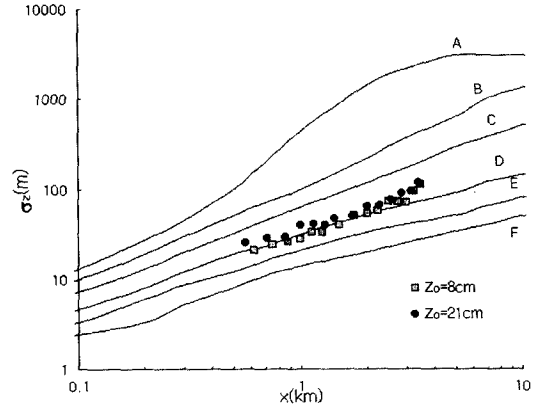


Fig. 3. Comparison of vertical dispersion coefficients from water channel experiments with those from Bowne's nomogram for various roughness length.

기계적 난류의 강도가 증대되어 확산이 더 빨리 진행됨을 의미한다. 거칠기 길이가 약 20 cm 이하로 작은 표면상에서는 plume의 방출고가 낮을수록, 반대로 거칠기 길이가 큰 지표면상에서는 방출고가 높을수록 풍하 단거리에서 σ_z 값이 거리 증대에 따라 더 빨리 커짐을 알 수 있다. 이런 현상은 대기 경계층에서의 z/z_i 에 따른 w^2/w_*^2 분포도 (Stull, 1989) 를 고려할 때 혼합고 z_i 의 약 40% 이하 높이의 공

기층에 국한되는 것으로 보인다.

그림 3은 거칠기 길이에 따라 시골지역, 교외지역 그리고 도시지역으로 구분하고 각각의 경우에 대해서 수로실험에서 구한 풍하거리 x 에 따른 σ_z 자료를 속도 측정과 길이 측정을 이용하여 Bowne의 노모그램상에 나타낸 것이다. 여기서 A, B, C, D, E 그리고 F는 대기안정도 등급이며 A가 강한 불안정 조건을, D가 중립조건을, F가 중정도 안정조건을 의

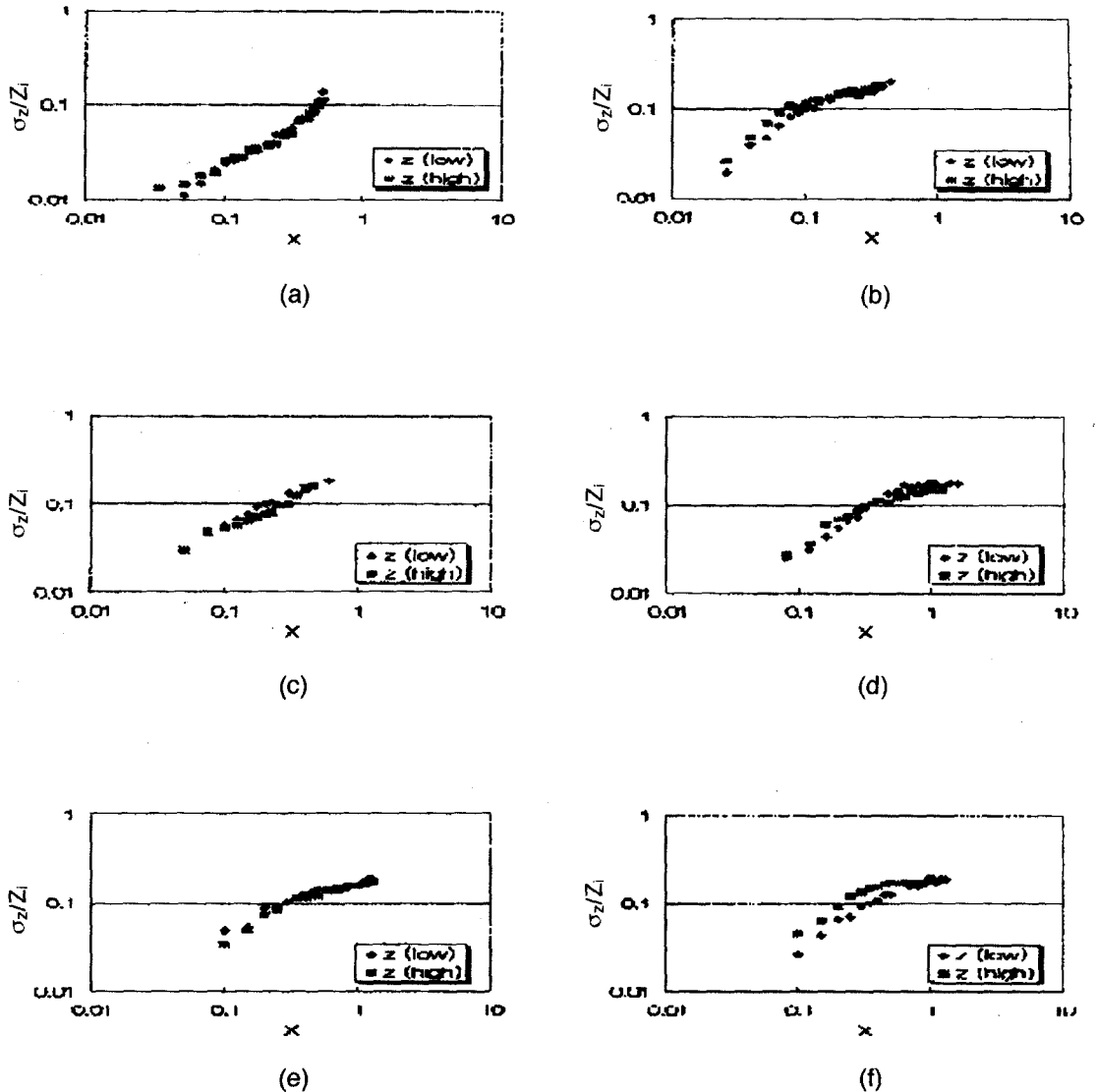


Fig. 4. Effects of release height on vertical dispersion for various roughness length.

미한다.

그림 3(a)는 현장 z_0 값 8 cm 및 21 cm에 해당하는 시골지역의 경우 수로에서 얻은 σ_z 데이터들이 Bowne의 D 곡선을 따라서 분포함으로써 중립조건 모의가 잘 이뤄졌음을 보여주고 있다. 그리고, 비교된 z_0 가 8 cm일 경우보다 21 cm인 경우에 σ_z 값이 약간 증대됨을 볼 수 있다. 또 교외지역(그림 3(b))과 도시지역(그림 3(c))에서도 같은 결과를 얻었다.

3. 2. 2 방출고의 영향

각 거칠기 길이의 표면들에 대해서 방출고도가 σ_z 값에 미치는 영향을 그림 4에 나타내었다. 여기서 $X=0.1$ 은 실제 자연현장에서의 거리 약 1 km에 해당한다. 거친 지표상에서 돌출장애물이 없는 경우 배출원높이가 높을수록 즉 20 m일 때 보다 30 m일 경우에 방출 후 초기 근거리에서 σ_z 값이 더 커진다(그림 4(a) 및 (b)). 지표면에서 역학적으로 발생하는渦(eddy)들 중 큰 것은 지표면에 접촉함으로써 소멸하여 결과적으로 기계적 난류강도가 지표면으로부터 더 높은 공기층일수록 더 커지기(Bourers *et al.*, 1979) 때문인 것 같다. 또한 상하 공기층의 기계적 난류강도 차이는 거칠기 길이가 길수록 더 커지는 것 같다(그림 4(f)). 기계적 난류가 plume의 σ_z 크기 결정에 미치는 영향에 관한 박옥현과 천성남(1996)의 연구결과를 고려하면 이런 현상은 $z_s < 0.4z_0$ 일 때 풍하 근거리에서 한결같이 나타나는 것 같다.

중립조건시 방출높이가 상이한 두 plume의 거리 증대에 따른 σ_z 변화를 나타내는 곡선들이 교차하여 낮은 굴퓏에서 나온 plume의 σ_z 값이 오히려 더 커지게 되는 거리는 $z_0 < \text{약 } 2 \text{ m}$ 일 때 $X(=(x/\bar{u}) \cdot (\sigma_w/z_i)) \leq 0.5$ 인 것 같다(그림 4(d) 및 (e)). 이는 박옥현과 천성남(1996)이 보다 높은 굴퓏에서 나온 plume의 σ_z 값이 보다 낮은 굴퓏에서 나온 plume의 그것보다 초기엔 더 크다가 나중에 더 작아지게 되는 거리가 $X(=(x/\bar{u}) \cdot (w_*/z_i))$, 여기서 w_* 는 대류속도) $\leq \text{약 } 0.4$ 라고 보고한 것과 거의 일치한다. 그런데 그림 4(f)는 z_0 가 2 m 이상 커짐에 따라 이 교차가 이뤄지는 거리가 멀어짐을 나타낸다.

3. 2. 3 연직방향 분산계수의 수정

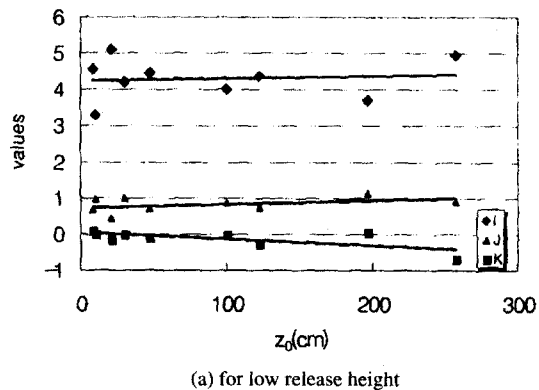
연직방향 분산계수의 지표면 거칠기에 따른 변동 관계를 보다 구체적으로 고찰하기 위해 McMullen

의 식(3)에 수로에서 얻은 거리에 따른 σ_z 자료들을 적용시켜 구한 각 상수값들의 z_0 에 따른 변화를 그림 5에 나타내었다. 그림 5를 그릴 때 박옥현(1998)의 연구에서 구한 z_0 값 10 cm, 30 cm 및 100 cm 경우의 이들 계수값 자료를 함께 사용하였다.

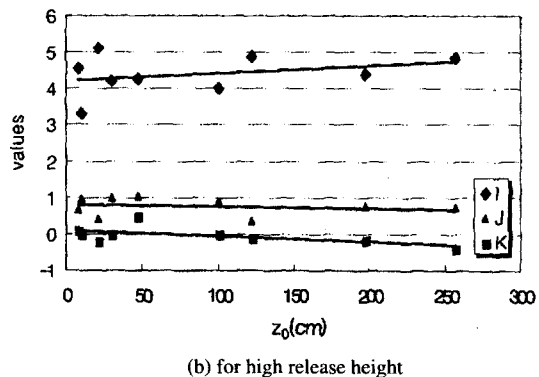
$$\sigma_z = \exp[I + J(\ln x) + K(\ln x)^2] \tag{3}$$

여기서, σ_z ; 연직방향 분산계수(m), I, J, K; 상수, x; 풍하거리(km).

I, J, K 값은 z_0 값이 커짐에 따라 대체로 선형적 변화를 보인다. 그런데 J 및 K 값의 z_0 의존관계는 큰 z_0 값에 대한 J 및 K 값 데이터의 불충분 때문에 일관성있는 변동관계가 있다고 판단하기 곤란하다. 박옥현(1998)에 의하면 J 및 K 값이 대기안정도 즉 열적 난류강도에 무관하다고 하나 이들이 z_0 값과 관련 있는 기계적 난류의 강도에도 무관할 것인지 검



(a) for low release height



(b) for high release height

Fig. 5. Variation of I, J and K values in McMullen's equation of σ_z with roughness length.

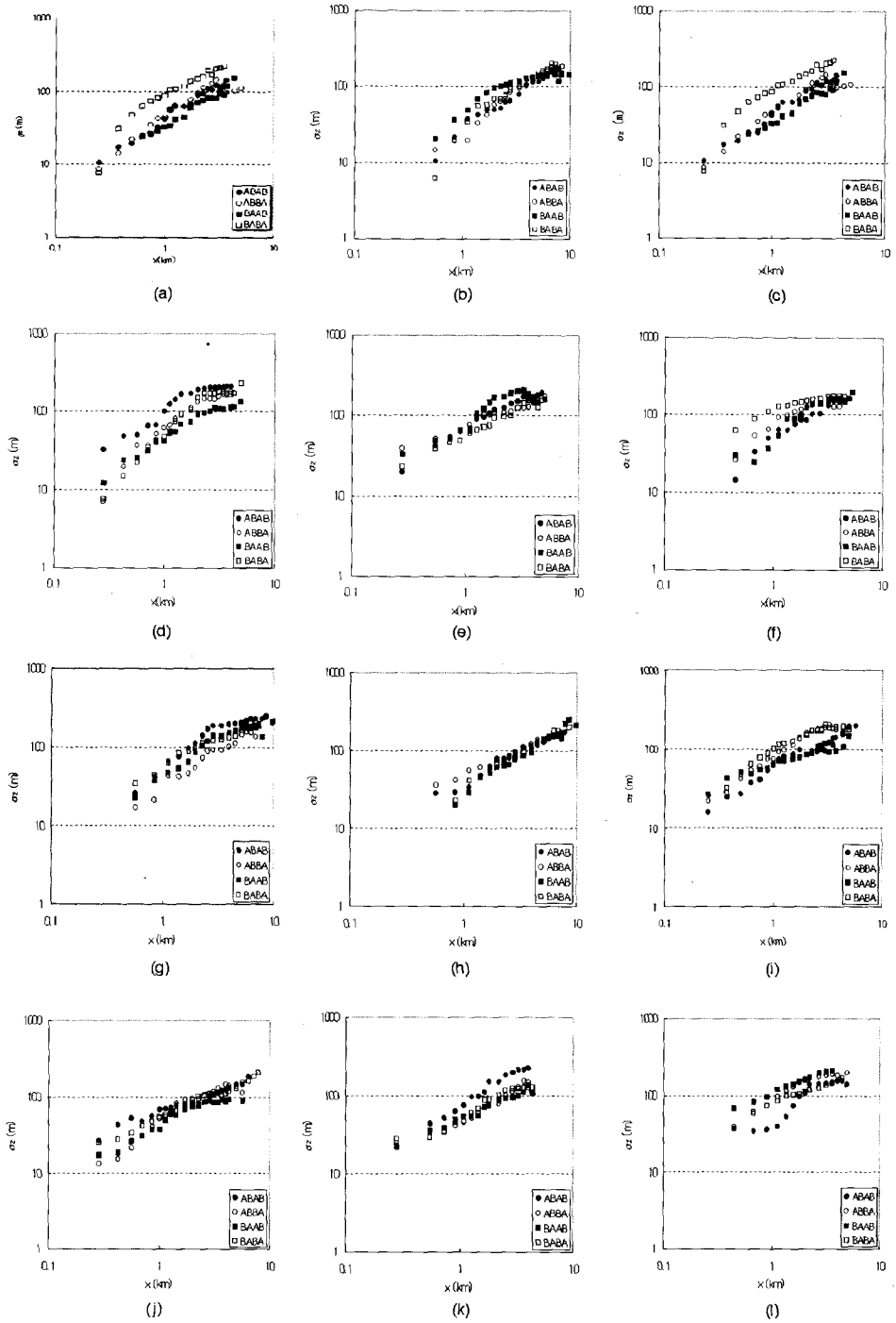


Fig. 6. Variation of vertical dispersion coefficients with downwind distance for various combinations of terrain, building arrangement and release height.

토가 요구된다.

3.3 유로에 돌출건물이 있는 경우의 확산

3.3.1 건물배열의 영향

방출고도가 보다 높거나 낮은 경우, 두 가지 상이한 높이의 여러 건물들의 여러 배열로 모의된 거친 지형에서 σ_z 값의 풍하거리에 따른 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 (a)~(l)을 살펴보면 높이를 달리하는 돌출장애물의 배열 조합에 따른 풍하거리 x 에서의 σ_z 값 크기 결정엔 일정한 법칙이 없는 것 같다. 높이가 다른 건물들의 공간배열, 기본 지형의 거칠기 길이, 그리고 배출원 높이의 조합에 따라 어떤 풍하거리에서의 σ_z 값 크기는 상대적으로 변함을 알 수 있다.

3.3.2 높은 건물 밀집지역 주변에 대한 σ_z 수정식의 적용

이 연구에서 측정된 자료를 ISC (Industrial Source Complex) 확산모델에서 사용되는 높은 건물 밀집지역에서의 σ_z 수정식 (식 4) (Bourers *et al.*, 1979) 적용 결과 및 Bowne의 σ_z 노모그램과 비교하였다. 여기서는 도시지역을 모의하는 z_0 100 cm 이상에 상응하는 세 가지 실험조건에서의 건물 평균 높이를 길이 상사법칙을 써서 추정된 후 계산을 수행하였다. 결과는 그림 7에 나타내었다.

$$\sigma'_z = 0.7h_b(m) + 0.067[x(m) - 3h_b(m)] \text{ for } 3h_b(m) < x(m) < 10h_b(m)$$

$$= \sigma_z \{x(km) + x_z(km)\} \text{ for } x(m) \geq 10h_b(m) \quad (4)$$

여기서, h_b : 건물높이 (m), x_z (높은 건물의 존재에 의해 생긴 σ_z 값 변화량에 상응하는 유효거리) $= (1.2h_b/a)^{1/b} - 0.01h_b$, a, b는 대기안정도에 따라 달라지는 상수.

그림 7은 수정식을 적용한 σ_z 계산결과와 측정 σ_z 자료들을 대조적으로 나타내고 있는 바 z_0 가 가장 작은 경우 ($z_0 = 122$ cm)엔 거리 1 km 이상에서 σ_z 값들이 도시지역에 대한 Bowne 노모그램상 대기안정도 D등급 곡선 약간 아래에 분포하고, z_0 가 보다 큰 경우들엔 D등급과 C등급 곡선들 사이에 분포하였다. 이는 z_0 가 커질수록 난류강도가 더 커진다는 것을 뜻한다.

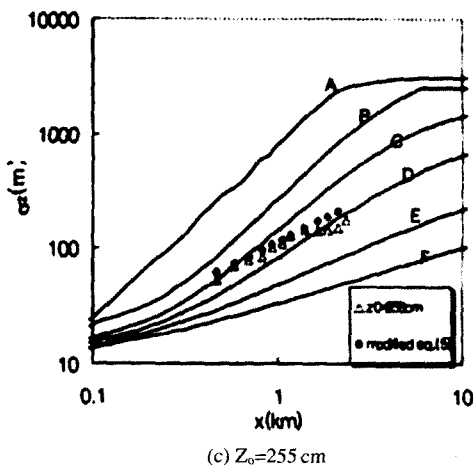
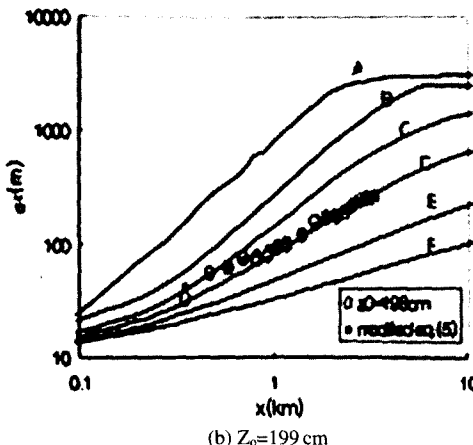
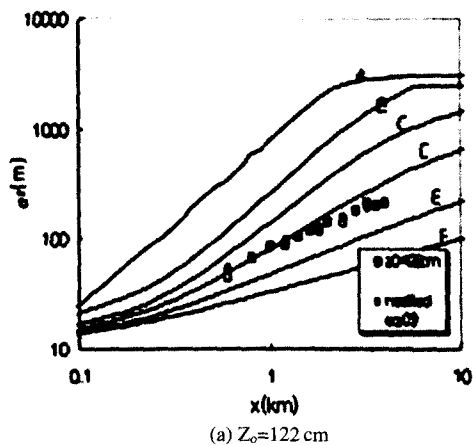


Fig. 7. Comparison of vertical dispersion coefficients measured in this study and those calculated using σ_z modifying equation with Bowne's nomogram.

4. 결 론

상사이론을 잘 적용하면 수로를 이용해서 바람이 부는 중립조건 대기환경에서의 표면 거칠기에 따른 연직방향 분산계수 σ_z 의 변화를 조사할 수 있음을 확인하였다. 이 연구에서 얻은 구체적인 결론들은 다음과 같다.

1. 지표면 거칠기가 증대될수록 연직방향 분산계수 σ_z 값에 미치는 기계적 난류강도의 영향은 증가하는데, 이런 현상은 돌출장애물들이 없는 경우와 국소적으로 돌출장애물 집단이 있는 경우에 다같이 나타난다. 수로실험에서 얻은 거리 x 에 대한 σ_z 값들을 상사법칙을 적용하여 실제 환경에서 바람이 부는 중립조건시 풍하거리 x 에 따른 σ_z 값들로 변환하면 z_0 값 크기에 상응하는 지형별 Bowne의 노모그램상에서 구한 σ_z 값들과 대체로 일치한다.

2. McMullen의 식, $\sigma_z = \exp[I + J(\ln x) + K(\ln x)^2]$ 에 수로실험 결과를 적용하여 구한 각 상수값들과 거칠기 길이 z_0 값과의 관계를 고찰한 결과 상수 I 값이 표면거칠기가 증대될수록 커지는 경향이 있음을 확인하였다.

3. 중립조건시 수로에서 측정된 비부력성 plume의 연직방향 분산계수 σ_z 는 하류측 근거리에서는 방출고가 높을수록, 장거리에서는 방출고가 낮은 경우일수록 더 커진다. 교차는 무차원 풍하거리 $X < 0.4$ 에서 이뤄진다. 이는 부력성 plume의 분산계수 σ_z 값의 방출고도 및 거리에 따른 변화경향에 관한 이전의 연구결과와 거의 같다.

4. ISC 확산모델에서 높은 건물이 밀집한 지역 부근에 적용하는 σ_z 수정식을 이용하여 계산한 σ_z 값들은 돌출장애물 집단이 있는 경우의 수로실험에서 측정된 σ_z 값들을 적용하여 대기중에서의 값들로 환산한 결과와 잘 일치하였다. 장애물지역 하류측 근거리에서는 σ_z 값이 커지고 장애물 위치로부터 거리가 멀어질수록 σ_z 값이 돌출구조물 집단이 없는 평탄

광활한 지형에서 보다 더 작아지는 경향을 보인다.

사 사

이 연구는 한국과학재단 특정기초 연구과제(No. KOSEF 96-0601-03-01-3)의 연구비 지원으로 수행된 연구중의 일부이며, 연구비를 지원하여 준 한국과학재단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 박옥현, 천성남 (1996) 대류경계층에서 부력성 plume의 확산에 관한 실험적 연구, 대한환경공학회지, 18(5), 613-625.
- 박옥현 (1998) 조도에 기인한 연직방향 대기확산의 증대, 한국대기보전학회지, 14(6), 643-650.
- 박옥현 (1994) 대기확산의 이론과 모델링, 도서출판 중원, 부산, 238-239.
- Bourers, J.F., J.R. Bjorklund, and C.S. Cheney (1979) Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model User's Guide, NTIS, Salt Lake City, 1, 2-34~35.
- Castro, I.P. (1979) Relaxing wakes behind surface-mounted obstacles in rough wall boundary layers, J. Fluid Mech., 93(4), 631-669.
- Counihan, J. (1975) An improved method of simulating an atmospheric boundary layer in a wind tunnel, Atmos. Environ., 3, 197-214.
- Odell, G.M. and L.S.G. Kovaszny (1971) A new type water channel with density stratification, J. Fluid Mech. 50(3), 535-543.
- Stull, R.B. (1989) An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer Academic Publisher, London, 125 pp.
- Snyder, W.M. (1981) Guideline for Fluid Modeling of Atmospheric Diffusion, U.S. EPA, Research Triangle Park, NC, EPA Report 600/8-81-009.
- Wieninga, J. (1993) Representative roughness parameters for homogeneous terrain, Boundary Layer Meteor., 63, 323-363.