

## 수로 장치내에서 공동영역 주변의 확산에 관한 실험적 연구

### An experimental investigation of dispersion around cavity region in water channel

정 상 진

경기대학교 환경공학과  
(원고접수 : 1993. 10. 4)

Sang-Jin Jeong

Dept. of Environmental Engineering  
Kyonggi University

(Received 4 October 1993)

#### Abstract

The nature of the cavity region and dispersion around triangular ridge was investigated using model. The artificial neutral boundary layer was simulated in water channel. Two dimensional triangular ridges, having height of 1.2cm and various width were placed normal to the flow. Mean velocity with many dimensionless parameters were measured and compared with wind tunnel results by other studies. Using vorticity generator and roughness, the neutral boundary layer was well represented by the water channel. Concentration patterns resulting from dye source placed 0.2cm height above were examined. Narrower the triangular ridge width resulted in increased amplification factor and the largest amplification factor was observed near downward top of the ridge.

#### 1. 서 론

산업시설이 해변이나 산지등의 불규칙 지형 주변에 설치됨에 따라 불규칙 지형 주변에서의 유동과 대기 오염물의 확산에 관한 관심이 높아지고 있다. 평탄한 지형상에서 대기오염물질의 이동과 확산은 정규연 모델에 대한 파라미터들이 잘 확립되어 있고, 풍하방향에서의 농도 평가가 잘되고 있는 실정이다(Pasquill and Smith, 1983). 그러나 불규칙 지형 주변에 위치한 배출원에 의한 풍하방향에서의 농도를 평가하기 위한 수법은 잘 확립되어 있지 않다. 그 이유는 불규칙 지형 주변에서의 유동장을 정확히 기술하기 어렵고 다양한 형상의 지형에 대한 파라미터화가 용이하지 않기 때문이다(Lawson et al., 1989).

일반적으로 불규칙 지형은 평탄지 보다 그 주변에 위치한 오염원에 의한 오염물의 지표 농도를 증대시키는 효과를 나타낸다. 배출원이 산지의 상류에 위치할 때, 배출원에서 나온 오염물은 산지 주변을 지나면서 유선의 수렴으로 오염물이 산지 가까이 이동하게 되고 산지에 의하여 변화된 난류가 산지 하류에서 지표농도를 증가시키게 된다. 배출원이 산지 하류에 위치할 때, 산지 하류에서 오염물은 지표 근처로 이동하는 유선과, 그곳의 난류의 발생 증대로 인한 이류속도의 감소가 지표농도를 증대시킨다. 또한 산지 하류에 공동영역이 발생할 경우 오염물이 공동영역 내로 순환하면서 지표근처로 이동하여 지표부근의 농도를 증대시키게 된다(Castro and Snyder, 1982).

불규칙 지형에서의 확산에 관한 현장실험은 기상

조건의 제어가 곤란하고 자금이 많이 소요되므로 제한된 연구가 수행되어 있는 실정이다. 실험조건의 제어가 용이하고 자금의 어려움을 극복하기 위해서 실험실에서의 모형 실험이 많이 수행되고 있다 (Gong, 1991).

대기에서의 유동현상을 모의하는 실험실내의 연구는 풍동 실험과 수조실험으로 대별될 수 있다. 대형 풍동 실험은 그 제작에 막대한 자금이 소요되고 강한 안정 성층을 형성시키려면 평균 풍속을 줄여야 하는 어려움이 있다. 그러나 중립 성층의 모의에는 널리 사용되고 있는 실정이다. 반면, 수조(towing tank) 실험은 소금물을 이용하여 안정성층을 형성하여 안정성층의 대기를 모의하는 실험으로 정도(precision)는 좋으나, 단점으로 실험시간이 충분하지 못하고 수조 끝 벽면의 영향이 문제가 되고 있다. Odell과 Kovaszny(1971)는 이러한 수조(towing tank)의 문제점을 해결하고자 순환 수로 장치를 개발하였다. 순환 수로 장치는 안정 성층을 모의하는 소형 실험 장치로 Tampieri 와 Hunt (1985)는 이 장치를 이용하여 계곡 주위의 2차원 안정 성층내의 유동을 조사한 바가 있다.

불규칙 지형 중 가장 단순한 지형은 유동장에 수직으로 설치된 2차원 삼각 봉우리(triangular ridge)이다. 이러한 2차원 삼각 봉우리 주변에서 경계층유동과 이에 관련된 확산현상의 정확한 파악은 불규칙 지형 주변에서의 유동과 확산현상을 이해하는데 필수적이다. 그러나 이러한 봉우리가 유동장과 오염물의 확산에 미치는 영향이 완전히 이해된 단계는 아니다(Mouzakis and Bergeles, 1991).

2차원 봉우리 구조물 주위의 유동과 확산현상에 관한 풍동 연구로는 Arya and Shipman(1981), Castro와 Snyder(1982), Snyder와 Hunt(1984), Snyder와 Hunt(1987), Lawson et al.(1989)등의 연구가 있으며, 이들은 삼각 봉우리와 타원형 봉우리 상하류에서 유동과 확산에 관한 자료를 제시하고 있다. 그러나 이들 연구의 대부분은 풍동내에 설치된 산지 주변에서의 유동과 확산에 관한 연구이고, 지표 부근에서의 농도변화에 관심이 집중되어 있다.

본 연구에서는 비교적 설치가 용이한 순환수로 장치를 개조하여 중립성층내의 유동장과 확산현상의 모의 가능성을 타진하고, 다양한 폭을 가진 삼각 봉우리를 수로내에 설치하여 구조물 하류에서 발생하는 공동영역의 크기와 구조물의 형상과의 관계를 파악하였다. 그리고 이들 구조물 상류에서 방출된 오염물의 공동영역 주변에서의 거동을 검토하기 위하여 확산실험을 수행하였다. 확산 실험에 의해 관측된 자료는 구조물이 없는 경우와 비교하여 삼각

봉우리에 의한 공동영역 주변에서의 하류에서의 오염물 증대인자(amplification factor)로 분석하여, 불규칙 지형 주변 확산연구에 기초자료로 제시하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

실험에 사용한 장치는 그림 1과 같다. 실험 장치는 순환 펌프와 수로 그리고 실험 관측 지점으로 대별된다. 순환 펌프는 두께 3mm이고 직경이 각각 8cm, 16cm인 아크릴 원판을 번갈아가며 끼워 제작하였다. 두 개의 축이 반대 방향으로 회전하면, 물은 큰 원판의 점성 항력에 의하여 작은 원판 바깥쪽의 큰 원판 사이의 공간을 통하여 분사된다(Odell and kovaszny, 1971). 순환 펌프의 동력은 축에 연결된 풀리를 사용하여 모터에서 전달되고, 두 개의 축이 서로 반대 방향으로 회전을 할 수 있도록 벨트로 연결하였다. 펌프의 회전속도는 슬라이 닥스를 사용하여 조정하였다. 금번 실험에서는 순환 펌프의 회전 속도는 분당 30회로 하였다. 이와 같은 회전수는 순환 수로 장치를 개발한 Odell과 Kovaszny (1971)이 제시한 일반적인 회전속도이다.

순환 펌프는 연직 방향으로 균일 유동을 발생 시키므로, 2차원 중립 성층내의 난류 유동장을 형성

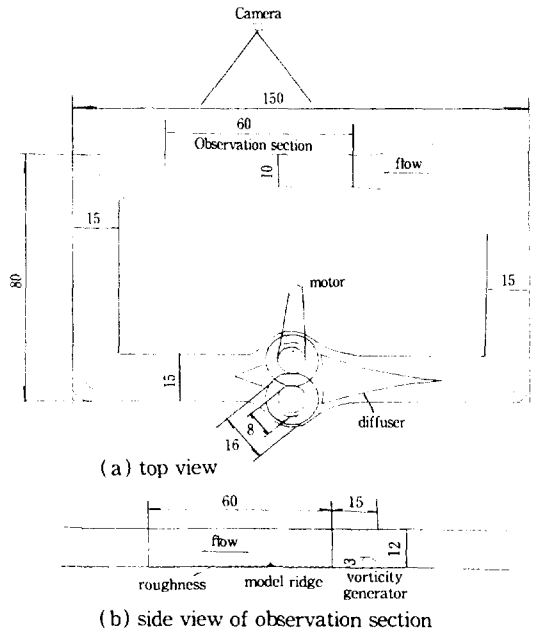


Fig. 1. Schematic view of Experimental channel (unit : cm).

하기 위하여 Castro(1979)가 풍동 실험에서 사용한 와 발생장치(Vorticity generator)를 실험 구간 상류 15cm 지점에 설치하였다. 와 발생장치는 그림 1(b)에서 나타난 바와 같이 높이가 3cm, 폭 2cm인 타원형으로 아크릴 판을 이용하여 제작하였다. 순환 펌프에 의한 유동의 변화를 완화 시키기 위하여 와 발생장치 상류 지점에 settling chamber를 설치하고 펌프 전후에 diffuser를 설치하였다.

유동장을 관측하기 위한 실험관측 지점의 단면 크기는 폭 10cm, 높이 12cm, 길이 60cm인 아크릴로 제작하였다. 실제 대기와 유사한 풍속 프로파일을 얻기 위하여 실험 관측 지점에 3mm 두께의 아크릴을 1cm 폭으로 1cm간격으로 바닥 조도를 부착하였다.

## 2.2 실험 방법

봉우리가 없을 때 유동을 관찰하기 위하여 실험 구간 상류 지점에 염료를 주사기로 주입하여 이들 입자가 실험구간 내에 고르게 퍼진 후 0.5초 간격으로 사진촬영을 하였다. 실험에 사용한 2차원 봉우리는 높이를 1.2cm로 고정하고 바닥의 폭이 각각 1.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0cm인 7가지로 아크릴을 이용하여 제작하였다. 봉우리가 있는 경우의 유동은 봉우리를 와 발생장치 하류 35cm 지점에 설치하고, 동일한 방법으로 염료를 주입하고 사진 촬영을 하였다. 촬영된 입자궤적 사진은 현상하여 실물 크기로 확대하여 좌표를 읽어서 컴퓨터에 입력하였다. 입력된 자료를 분석하여 평균 유속을 구하였다. 공동영역의 크기는 확대된 입자 궤적 사진을 분석하여 구하였다. 그림 2에서는 이렇게 촬영된 입자 궤적 사진을 예시하였다.

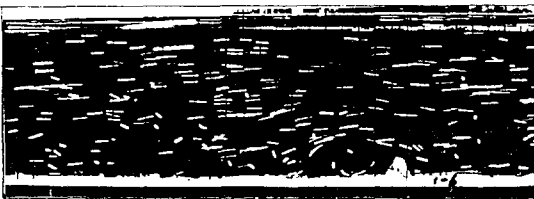


Fig. 2. Typical photograph of dye trajectory.

확산실험은 봉우리 상류 5cm지점에 설치한 주사기에 입자연속 배출장치를 연결하여 봉우리 주변에서의 입자분포의 상황을 관측하였다. 입자 연속 배출 장치는 정량펌프에 컨트롤러를 연결하여 균질하게 배출 시켰다. 입자배출에 사용한 주사기는 내경이 0.5mm인 주사바늘을 사용하였다. 촬영에 사용한 사진기는 Nikon F-301 이고 사진기의 위치는 그림 1(a)에서와 같이 배치하였다. 확산 현상을 관측하

기 위한 실험은 입자의 이동 속도보다 10배 정도의 짧은 노출 시간으로 촬영하였다.

가시화에 사용한 중립 부상 입자는 박옥현과 정상진(1991)에서 사용한 것과 동일한 것으로 diethylpathalate, mesitylene oil 그리고 흰색 페인트를 혼합한 것이다. 중립 부상 입자를 사용하면 센서를 사용하는 경우보다 유체의 특성을 변화시키지 않고 관측할 수 있는 잇점이 있다. Deardorff와 Willis(1974)에 의하면 이들 입자를 사용할 때 입자 직경이 0.6mm인 경우 주변유체에 대한 입자의 밀도 차이로 발생하는 속도 차이는 0.011cm/sec 이다. 본 실험에서는 입자의 평균 직경을 0.2mm 이하로 하여 주변 유체와 입자의 속도 차이를 최소화 하고자 하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 중립 경계층의 모의

본 실험의 중립경계층의 상사성 모의를 검토하기 위해 경계층 두께와 경계층 외부에서의 유속을 이용하여 구한 Reynolds수는 2234이다. 이 값은 Tampieri와 Hunt(1985)가 본 장치와 유사한 순환수로장치를 이용하여 안정 성층을 모의 할때 사용한 Reynolds수인 100~1000 보다 큰 값이며, 개수로에서 난류 발생을 위한 Reynolds 수인 2000보다 큰 값이다(Chow,1981). 이와 같은 값은 실제 대류 경계층을 모의하는 대류수조 실험에서 나타난 Reynolds수인 1730~4200(박, 정, 1991)과 유사한 값이다. 그러나 수조에서의 이들 값은 실제 대기에서  $10^6 \sim 10^9$ (Arya, 1988)과 비교하면 3승 차수가 차이가 나며 Castro(1979)가 풍동시 요구하는  $5 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4$  보다는 다소 적은 값이다.

그림 3에서는 구조물이 없는 경우 입자궤적 사진으로 분석한 평균 풍속 프로파일을 하류방향 거리에 따라 나타내었다. 경계층에서의 평균 풍속 프로파일은 일반적으로 지수법칙에 따르므로, 지수형으로 구한 회귀식인 식(1)을 함께 표시하였다. 이 회귀곡선을 이용하여 구한 경계층 외부에서의 유속  $U_0$ 는 2.33cm/s 이었다. 경계층 두께  $\delta$ 는 본 실험에서 평균 풍속  $U_0$ 의 99.6% 되는 유속을 가지는 지점의 고도로 정하였고, 그 값은 7.5cm였다.

경계층 전체의 평균 풍속 프로파일을 식(1)형의 지수함수로 정리하여 지수 n을 구한결과 0.273 이었다. 여기서  $z$ (cm)는 임의 고도이다. 이 값은 Arya 와 Shipman(1981)의 풍동실험에서 값 0.17과 Castro (1979)의 0.19에서 0.23에 걸치는 값과는 거의 유사한 값이고, 실제 대기에서의 1/7보다

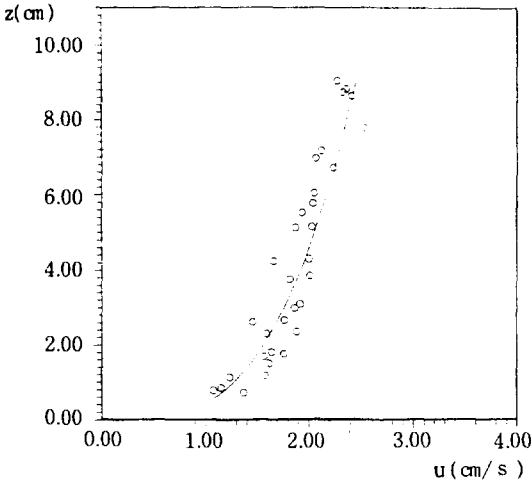


Fig. 3. Mean Velocity profile in the undisturbed boundary layer. Solid line is exponential regression line.

큰 값이다.

$$\frac{U}{U_*} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^n \quad (1)$$

바닥에서의 조도계수( $z_0$ : cm)와 마찰속도( $u_*$ : cm/s)를 구하기 위해  $z < 0.15\delta$ 인 자료들을 모아 식(2)의 형태로 처리하여 구한 결과  $z_0$ 는 0.013cm이었다. 이는 Arya와 Shipman(1981)의 풍동 실험에서의 결과인 0.025cm와 보다 2배 정도 적은 값이고, Snyder와 Britter(1987)의 풍동 실험에서의 0.013cm와는 같은 값이다.

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (2)$$

칼만 상수  $k=0.4$ 를 사용하여 마찰속도를 구한 결과, 그 값은 0.117cm/s였다.

Table 1. Comparison of various parameters in Equations(1)-(3).

Author	Experi-mental method	Hill shape (unit : cm)	parameters				
			$h/\delta$	$h/z_0$	$u_*/U$	$n$	$K$
Castro (1979)	wind tunnel	square	0.068	78	0.048	0.19	0.045
			0.169	327	0.055	0.23	0.068
Arya and Shipman (1981)	wind tunnel	triangular square	0.1	400	0.053	0.167	0.054
This study (1993)	water channel	triangular ridge (height : 1.2)	0.16	92	0.05	0.273	0.071

표 1에서는 식(1)과 (2)에 관련된 값들을 풍동 실험과 비교하기 위하여 나타낸 것이다.

표에서 알 수 있듯이 무차원량으로 표시된 본 실험의 결과들은 풍동 실험의 그것과 거의 유사한 값을 나타냄을 알 수 있다. 표에서 무차원 와동 점성 (dimensionless eddy viscosity),  $K$ ,는 Arya 와 Shipman(1981)에 따라 식(3)으로 구하였다. 여기서  $h$ (cm)는 구조물의 높이이다.

$$K = \frac{2k^2 h}{\ln(h/z_0)} \quad (3)$$

이상의 결과에서 순환수로 장치도 풍동 장치에서와 유사한 조도와 와 발생장치를 사용하면 풍동에서와 유사한 중립조건을 형성할 수고, 유사한 무차원 파라미터들을 구할 수 있었다.

3.2 봉우리 바닥 폭에 따른 공동영역의 형상

봉우리 높이와 폭의 비( $B/h$ )에 따른 공동영역의 변화를 관찰하기 위하여 높이는 1.2cm로 고정하고 바닥의 폭이 각각 1.5, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0 cm인 7가지의 2차원 삼각 봉우리를 와 발생장치 하류 35cm지점에 설치하였다. 공동영역의 크기와 형상은 가시화 수법으로 관측된 입자풍속 제적사진을 분석하여 구하였다. 사용한 봉우리 중 바닥 폭이 10.0과 12.0cm 일 때는 공동영역이 발생되지 않았으며, 이는 풍동 실험에서 Lawson et al.(1989)이 높이 1.18cm이고 현의 길이 11.8cm인 2차원 타원 봉우리를 사용하였을 때 공동영역이 관찰되지 않았던 것과 유사한 결과이며, Khurshuydan et al.(1981)이 봉우리 각도가  $10^\circ$ (높이/바닥 폭 = 1.7/10)인 경우 유동의 분리가 발생하지 않는 경우(Snyder, 1987)와 유사한 결과이다.

그림 4에서는 봉우리의 바닥 폭과 높이 비( $B/h$ ,  $B$ : 봉우리의 바닥 길이,  $h$ : 봉우리의 높이)와 공동영역의 최대 높이와 봉우리의 높이( $H_c/h$ )의 관계를 보기 위하여 그린 것이다. 그림 중의 검은 점으로 표시된 자료점은 Arya와 Shipman(1981)이 풍동 실험에서 구한 자료이다.

그림에서 알 수 있듯이 봉우리의 바닥 폭이 클수록 공동 영역의 최대 높이는 줄어들고 있으며, 이들 관계는 감소 지수형으로 나타나고 있다. 공동영역의 높이는 봉우리 높이의 1.3h에서 2.25h에 걸쳐 나타났으며 이와 같은 결과는 Arya와 Shipman(1981)이 풍동 실험에서 구한 공동영역의 높이 2.5h 보다 작은 값으로 이는 이들의 경우 봉우리의 폭과 높이 비가 1.0으로 본 실험 보다 경사가 급한 구조물을 사용하였기 때문으로 여겨진다.

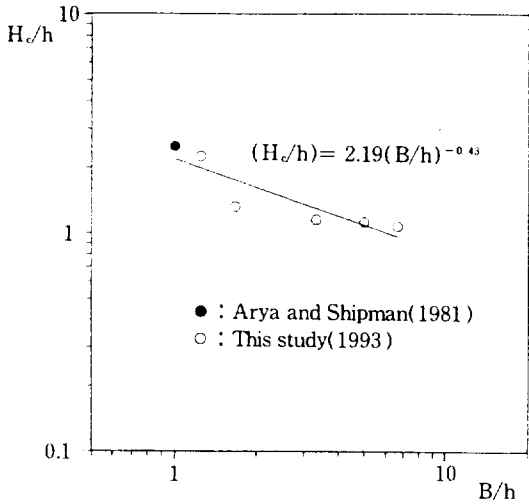


Fig. 4. Dimensionless cavity height vs. dimensionless ridge width.

그림 5에서는 공동영역의 폭과 봉우리의 높이로 무차원화한 양( $W_c/h$ ) 과 봉우리 바닥 폭과 봉우리의 높이 비( $B/h$ )와의 관계를 그린 것이다. 공동영역의 길이는 봉우리 높이의 3.75h에서 7.0h에 걸쳐서 나타났으며, 봉우리의 폭이 증대할수록 공동영역의 길이도 점차줄어듦을 알 수 있고 회귀식은 감소 지수함수형을 나타내고 있다.

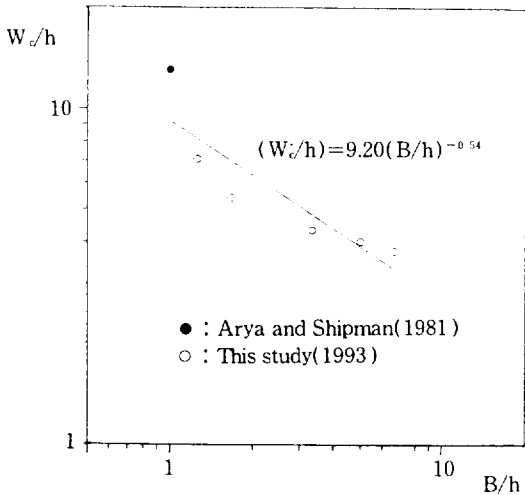


Fig. 5. Dimensionless cavity width vs. dimensionless ridge width.

그림 6에서는 공동영역의 형상을 나타내기 위하여 봉우리 중심점에서 하류거리와 그점에서 수직선과 공동영역의 경계와 만나는 점에서 봉우리의 중

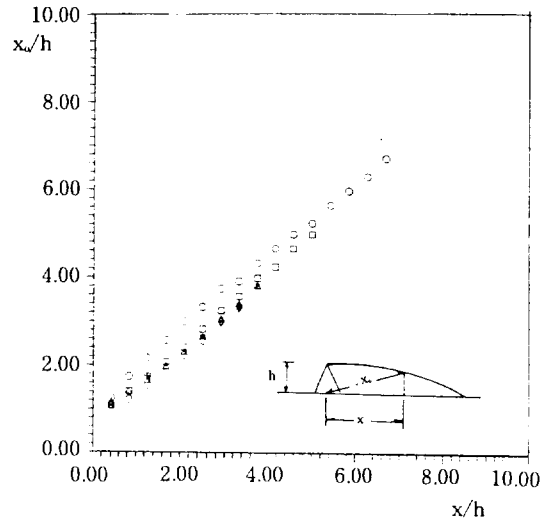


Fig. 6. Shape of cavity region.

심점을 연결한 경사거리를 각각 봉우리의 높이로 무차원화 하여 그린 것이다. 이들의 관계는 거의 직선 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

### 3.3 공동영역 주변에서의 확산 관측

확산 실험에서는 유동 실험에서와 동일한 염료를 사용하여 봉우리 중심에서 동일한 상류 지점에서 방출하였다. 방출점은 고도가 0.2cm이고 봉우리 중심에서 5cm 상류에 위치하였다. 염료의 배출은 초당 약 19개의 입자를 내 보내고, 정상상태가 된 후에 사진촬영을 하였다. 촬영된 사진에서 양쪽 측벽

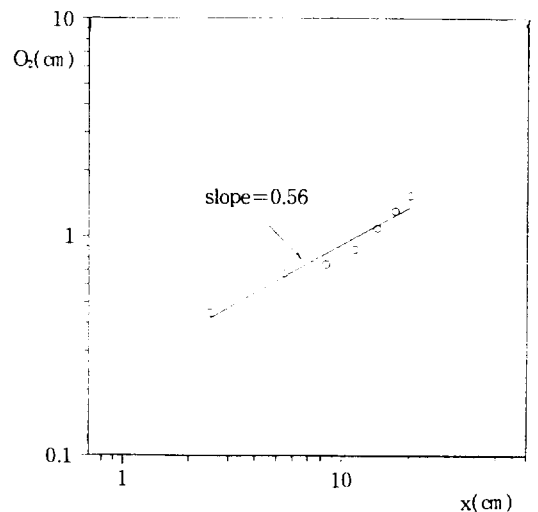


Fig. 7. Vertical dispersion coefficient( $\sigma_z$ ) vs. downward distances( $x$ ).

의 반사효과를 배제하기 위하여 측벽으로 염료가 이동하기 전의 하류거리(붕우리 중심점에서 22cm까지)에 걸치는 자료를 유효한 자료로 보고 이를 분석하였다.

그림 7에서는 구조물이 없는 경우 관측된 자료의 연직방향 분산계수를 나타낸 것이다. 본 실험에서 관측된 자료는 횡방향으로 적산된 농도이므로 정규연 모델에서 지표배출시 연직방향 분산계수와 횡방향적산 지표농도( $\int xdy$ )의 관계식인 식(4)를 이용하여 구한 연직방향 분산계수를 구하였다.

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q}{U \int xdy} \quad (4)$$

$$\sigma_z = x^p \quad (5)$$

식(5)형으로 구한 지수는 0.56이다. 이 값은 현장에서 중립시 평탄지에서 지표 배출시에 대한(Pasquill and Smith, 1983)  $p=0.8$ 보다 적은 값이지만, Arya and Shipman(1981)이 풍동 실험에서 구한 0.67이나, Gong(1991)이 풍동 실험에서 구한 0.6과는 유사한 값을 나타낸다. 이와 같은 결과는 본 실험에서의 Reynolds 수가 현장 대기의 그것보다  $10^2$ 차수가 적고, 풍동실험의 그것보다 적으니까 부분적으로 연유하는 것 같다.

그림 8에서 그림 12에서는 붕우리가 설치된 경우 붕우리에 의한 하류에서의 농도 증가를 보기 위하여 그린 것이다. 그림 중의 수치는 구조물이 있는 경우의 횡방향 적산농도와 없는 경우의 그것과의 비를 나타낸 것으로, 본 연구에서는 이를 증폭인자(amplification factor)로 정의 한다. 증폭인자의 값이 1.5이면 횡방향 적산농도가 50% 증대되었음을 의미한다.

붕우리의 경사가 급할수록 붕우리 하류에서 오염물의 농도가 높아지고, 그 영향 범위도 크다. 붕우리 상류에서는 붕우리의 상단에서 높은 농도를 보이고 있으며, 이 또한 붕우리의 경사가 높을수록 높은 농도를 나타낸다. 전체적으로 1.5배 이상되는 농도 분포는 점선으로 표시된 공동영역 내에서 나타났으며, 붕우리 경사가 완만해지면서 하류에서 공동영역 상부로의 오염물 이동이 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 Snyder와 Britter(1987)가 풍동 실험에서 관측한 높이 23.4cm, 바닥폭 93.6cm인 삼각 붕우리에서 붕우리가 없는 경우와 붕우리가 있는 경우의 최대 지표농도의 비로 표시되는 증폭인자가 1.4로 나타난 것과 유사한 결과이다.

붕우리 상부 꼭대기에서 높은 농도를 나타내는

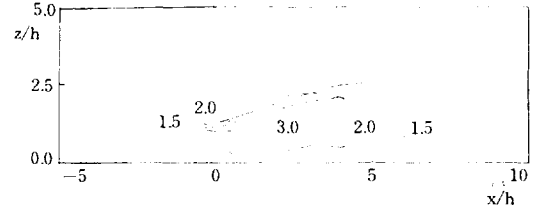


Fig. 8. Contours of amplification factors around 2-dimensional triangular ridge(The ratio of height to width is 1.2 : 1.5).

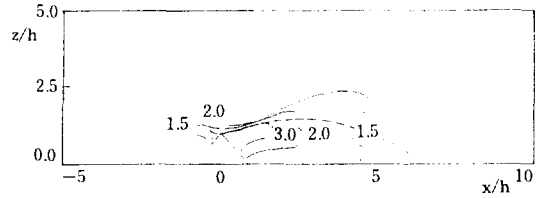


Fig. 9. Contours of amplification factors around 2-dimensional triangular ridge(The ratio of height to width is 1.2 : 2.0).

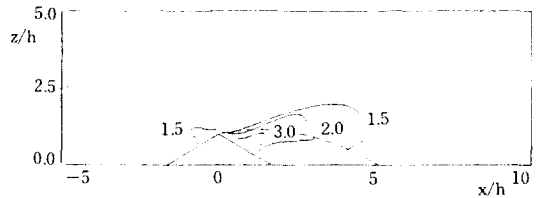


Fig. 10. Contours of amplification factors around 2-dimensional triangular ridge(The ratio of height to width is 1.2 : 4.0).

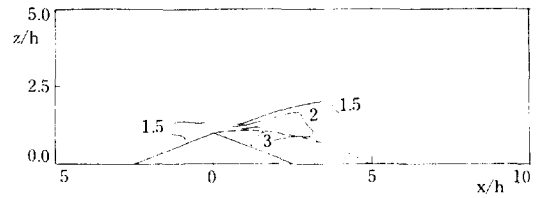


Fig. 11. Contours of amplification factors around 2-dimensional triangular ridge(The ratio of height to width is 1.2 : 6.0).

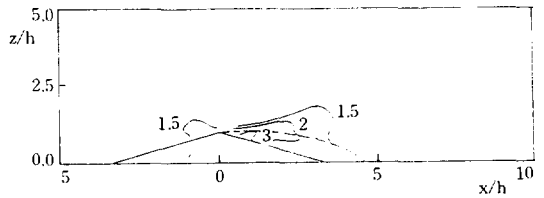


Fig. 12. Contours of amplification factors around 2-dimensional triangular ridge(The ratio of height to width is 1.2 : 8.0).

것은 유선이 봉우리 근처에서 수렴되고, 난류성분이 거의 발생하지 않지(Snyder and Britter, 1987) 때 문인 것 같다. 구조물 전면 바닥 근처에서의 소규모 와에 의한 농도 증대도 있었으나, 그 값은 1.4 정도로 구조물 전면 상부에서 유선의 수렴에 의한 농도 증대보다는 작았다. 이와 같은 결과는 Gong(1991) 이 풍동 실험에서 2차원 코사인 형상의 봉우리 주변 확산에 관한 연구에서 나타난 구조물 꼭대기 근처에서 연직방향 분산계수가 구조물이 없는 경우보다 줄어든 반면, 구조물 전면에서의 연직방향 분산 계수는 구조물이 없는 경우와 비슷한 값을 나타낸 것과 유사한 결과이다. 또한, Snyder와 Britter (1987)의 풍동실험 결과에서 삼각봉우리 주변의 최대지표농도 발생 지점이 봉우리 꼭대기 근처로 나타난 점과 유사한 결과이다.

봉우리 하류에서는 봉우리의 경사가 완만해짐에 따라 1.5배 농도 곡선의 폭과 길이는 점차 작아지고 있으며 이는 공동영역의 크기가 작아 지는 것과 관련한 거동을 보이고 있다. 1.5배 농도 곡선의 폭은 봉우리 높이로 무차원화한 하류거리 4에서 7사이 에 걸쳐고, 그 높이는 2에서 2.5의 크기를 나타 내었다.

봉우리 하류에서 3배의 농도를 나타내는 지점은 봉우리 후면 상부에서 발생하였으며, 이는 공동영역의 상부에 해당한다. 이와 같은 결과는 봉우리 하류 아래쪽에서의 와가 상부로 회전하여 올라오는 것과 봉우리의 상부 유선이 수렴되는 지점이 서로 만나 면서 높은 농도를 유발하는 것 같다.

삼각 봉우리 주변에서의 오염물의 농도 변화는 최대 증대 지점이 봉우리 후면 상부에서 발생하고 그 위치는 봉우리의 경사가 감소하면서 아래쪽으로 이동한다. 이와 같은 결과는 봉우리의 경사가 완만 해 짐에 따라, 봉우리 후면의 공동영역이 아래쪽으로 이동하는 것과 관련한 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

비교적 설치가 용이한 순환수로는 안정성층에서 확산실험에 잘 사용되고 있는 실험장치이다. 본 연구에서는 이러한 순환수로 장치가 중립성층내에서의 유동과 확산을 모의할 수있는 가능성을 타진하고, 이를 이용한 삼각 봉우리 주변에서의 공동영역의 형상과 공동영역 주변에서의 확산현상을 실험 관찰하고자 하였다. 풍동 실험에서 사용한 것과 유사한 방법으로 순환수로 장치에 와 발생장치 와 바닥의 조도를 사용하면 중립성층의 모의가 가능한 것으로 나타났다.

본 실험에서 관측한 봉우리 주변에 발생하는 공동영역은 봉우리의 폭이 커짐에 따라 그 폭과 높이가 줄어드는 것으로 나타 났다. 공동영역의 높이와 폭은 봉우리의 경사가 완만해짐에 따라 점차 줄어 들고, 봉우리 폭의 증대에 따라 지수적으로 감소하는 경향이 있었다. 공동영역의 형상을 나타내기 위하여 구조물 원점에서 하류거리와 그점에서 수직선과 공동영역의 경계와 만나는 점에서 구조물의 원 점을 연결한 거리를 각각 구조물의 높이로 무차원화 하여 그려본 결과 이들의 관계는 거의 직선 분포를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

봉우리 상류에서 농도의 증가는 봉우리 전면하부와 상부에서 주로 발생하였으며, 전면 상부에서가 전면 하부에서보다 조금더 높은 것으로 나타났다. 봉우리 하류에서의 농도 증가는 상류에서의 농도 증가보다 횡방향 적산 도로 표시할때 최대 2배 정도 증가 되는 것이 관찰 되었다. 봉우리 하류 공동영역 내부에서의 횡방향적산 농도는 봉우리가 없을 때보다 1.5배 이상으로 증대됨을 보였으며, 그 최대 발생 지점은 봉우리 후면 상부였다. 이 위치는 공동영역의 회전류와 봉우리 상부 유선이 만나는 지점 주변이었다. 봉우리의 폭이 증대함에 따라 봉우리 후면에서의 최대농도 발생지점은 아래쪽으로 이동 하였다.

#### 참 고 문 헌

박옥현, 정상진(1991) 대류경계층 내에서 Plume의 연직방향 분산계수의 방출고도에 따른 변화, 대한환경공학회지, 13(2), 101-112.

Arya, S.P.S.(1988) Introduction to Micrometeorology, 307.

Arya, S.P.S. and M.S. Shipman(1981) An experimental investigation of flow and diffusion in the disturbed boundary layer over the triangular ridge-I. mean flow and turbulent structure, Atmospheric Environment, 15(7), 1173-1184.

Arya, S.P.S. and M.S. Shipman(1981) An experimental investigation of flow and diffusion in the disturbed boundary layer over the triangular ridge-II. diffusion from a continuous point source, Atmospheric Environment, 15(7), 1185-1194.

Castro, I.P.(1979) Relaxing wakes behind surface-mounted obstacles in rough wall boundaries, J. Fluid Mech., 93(4), 631-669.

- Castro, I.P., W.H. Snyder(1982) A wind tunnel study of dispersion from sources down of three-dimensional hills, *Atmospheric Environment*, 16(8), 1869-1887.
- Chow, V.T.(1981) *Open-Channel Hydraulics*, pp8-9.
- Gong, W.(1991) A wind tunnel study of turbulent dispersion over two-and three-dimensional hills from upwind point sources in neutral flow, *Boundary Layer Meteorology*, 54, 211-230.
- Lawson, R.E. Jr, W.H. Snyder, R.S. Thompson (1989) Estimation of Maximum surface concentrations from sources near complex terrain in neutral flow, *Atmospheric Environment*, 23(2), 321-331.
- Mouzakis, F.N., G. Bergeles(1991) Pollutant dispersion over a triangular ridge: A numerical study, *Atmospheric Environment*, 25A, 371-379.
- Odell, G. M., L. S. G. Kovaszny(1971) A new type of water channel with density stratification, *J. Fluid Mechanics*, 50, 535-543.
- Pasquill, F. and F.B. Smith(1983) *Atmospheric Diffusion*, 437.
- Snyder, W.H. and R.E. Britter(1987), A wind tunnel study of the flow structure and dispersion from sources upwind of three-dimensional hills, *Atmospheric Environment*, 21(4), 735-751.
- Snyder, W.H. and J.C.R. Hunt(1984), Turbulent flow from a point source in stratified and neutral flows around a three dimensional hill-II. Laboratory measurements of surface concentrations, *Atmospheric Environment*, 18(10), 1969-2002.
- Tampieri, F., J.C.R. Hunt(1985) Two-dimensional stratified fluid flow over valleys: Linear theory and laboratory investigation, *Boundary Layer Meteorology*, 32, 257-279.
- Willis, G.E. and J.W. Deardorff(1974) A laboratory model of the unstable boundary layer, *J. of atmospheric science*, 31, 1297-1307.