

# 국내 적용을 위한 Miller-Holzworth 모델의 수정 Modification of Miller-Holzworth model for Korea

장 영 기

수원대학교 공과대학 환경공학과

Young-Kee Jang

Dept. of Environmental Engineering, Suwon University

## Abstract

Many air quality models have been used for Environmental impact assessments. Miller-Holzworth model is frequently used for air quality assessments in Korea. Miller-Holzworth model suggested by Holzworth is a simple air quality model for the ground-level area source. The model estimates the pollutants concentration averaged over the wind centerline. An error involved in the Miller-Holzworth model was first indentified by Calder in 1977. But the model has been used without correction for unsuitable cases in Korea. This paper corrected that error and modified model formulation for application to urban and rural areas.

## 1. 서 론

우리나라에서는 1982년 부터 1994년까지 1200여편의 환경영향평가가 이루어졌다. 환경영향평가는 앞으로 진행될 사업으로 인하여 환경이 받게 될 영향을 사전에 예측평가하여 이를 최소화하기 위한 주요한 제도적 장치이다. 환경영향평가에서 대기질을 예측평가하기 위해서는 많은 대기오염모델들이 이용되어 왔다. 그동안의 환경영향평가에서는 장영기와 송동웅(1995)의 연구에서 살펴본 바와 같이 Miller-Holzworth 모형과 TCM이 널리 이용되어 왔다. 이러한 모형들은 대부분 외국에서 개발된 모형들로 이에 대한 오류와 제한사항을 검토하고 이를 국내에 적용하는데 유용하도록 수정보완하는 작업은 의미가 있다고 본다. 본 연구에서는 Miller-Holzworth 모델에 대하여 그 특성과 제한사항을 살펴보고 국내 적용을 위한 수정작업을 하였다. 이러한 간단한 예측모형은 환경영향평가의 중점평가항목 선정작업과 같이 세밀한 예측평가에 앞서서 간단한 자료에 의한 대략적인 영향정

도를 판단하는 데 편리하게 이용될 수 있을 것이다.

## 2. Miller-Holzworth 모델의 원리

이론적으로 가우스 확산식에서 배출높이를 지면으로 가정하고 횡방향으로의 확산을 고려하지 않으면 오염원으로부터의 농도, C는 다음과 같다.

$$C = (2/\pi)^{0.5}(Q/U\sigma_z) \quad (1)$$

C : 농도(g/m<sup>3</sup>)  
Q : 오염배출량(g/sec)  
 $\sigma_z$  : 수직확산표준편차(m)  
U : 풍속(m/sec)

식 (1)에 의하여 크기가 x인 면오염원의 풍하방향으로 끝지점에서의 농도, C<sub>A</sub>는 다음과 같다.

$$C_A = (2/\pi)^{0.5} \int_0^x (Q/U\sigma_z) dx \quad (2)$$

여기서 수직방향확산계수  $\sigma_z$ 는  $\sigma_z = aX^b$ 로 구하여지고  $(2/\pi)^{0.5} = 0.8$ 이므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C_A = \frac{0.8Q}{Ua} \int_0^x x^{-b} dx = \frac{0.8Q}{Ua(1-b)} x^{1-b} \quad (3)$$

이때 혼합고에 의하여 수직방향 확산이 저지되기 시작하는 지점(X)에서의 농도는 식 (1)에서 다음과 같이 정리된다.

$$C = (2/\pi)^{0.5}(Q/U\sigma_z) = Q/(UH) \quad (4)$$

이 지점에서  $\sigma_z = 0.8H$  이므로  $aX^b = 0.8H$ 이 되고 농도,  $C_A$ 는 다음과 같이 쓸수 있다.

$$C_A = \frac{QX}{UH(1-b)} \quad (5)$$

그리고 면오염원의 크기(x)가 X보다 큰 경우의 농도는 다음과 같다.

$$C_A = \frac{0.8Q}{Ua} \int_0^x x^{-b} dx = \frac{0.8Q}{Ua} \int_0^x x^{-b} dx + \frac{0.8Q}{Ua} \int_x^x x^{-b} dx = \frac{QX}{UH(1-b)} + \frac{Q(x-X)}{UH} \quad (6)$$

면오염원의 크기를 S라 하면 면오염원내의 평균농도,  $C_{AV}$ 는 다음과 같다.

$$C_{AV} = \frac{1}{S} \int_0^S C_A dx$$

즉, 면오염원의 크기가 X보다 작으면 ( $S < X$ )

$$C_{AV} = \frac{0.8Q}{Ua(1-b)(2-b)} S^{1-b} \quad (7)$$

면오염원의 크기가 X보다 크면 ( $S > X$ ) 다음과 같이

된다.

$$C_{AV} = \frac{Q}{UH} \left( \frac{S}{2} + \left( \frac{b}{1-b} \right) X - \left( \frac{b}{2(2-b)} \right) \frac{X^2}{S} \right) \quad (8)$$

여기서  $X = \left( \frac{0.8H}{a} \right)^{1/b}$

식 (7), (8)은 풍속과 혼합고, 수직확산표준편차식의 계수 a, b로 표현되는 면오염원내의 평균농도를 계산하기 위한 일반식이 된다. 이 식에 대하여 기존의 Miller-Holzworth 모델은 Brookhaven Laboratory의 수직확산표준편차식 중에서 매우 불안정일때 ( $\sigma_z = 0.41x^{0.91}$ )와 불안정일때 ( $\sigma_z = 0.33x^{0.86}$ )의 중간값으로 수직확산표준편차식의 계수  $a = 0.37$ ,  $b = 0.885$ 를 적용하였고 풍속  $U = 5.08m/sec$ 을 적용하고 있다. 즉 이 값들을 식 (7), (8)에 대입하면 다음과 같이 현재 사용되고 있는 Miller-Holzworth 모델식이 된다.

$$S < 2.39H^{1.13} (= 0.471UH^{1.13})$$

$$\frac{C_{AV}}{Q} = 4.00 \left( \frac{S}{U} \right)^{0.115} \quad (9)$$

$$S > 2.39H^{1.13} (= 0.471UH^{1.13})$$

$$\frac{C_{AV}}{Q} = \frac{S}{2UH} + 3.61H^{0.13} - \left( \frac{UH^{1.26}}{S} \right) \quad (10)$$

### 3. Miller-Holzworth 모델의 수정

기존의 Miller-Holzworth 모델은 풍속 5.08m/sec를 이미 식에 반영하고 다시 풍속을 고려할 수 있도록 하는 오류를 범하고 있음은 Calder(1977)의 연구에 의하여 이미 지적이 되었다. 즉 기존에 널리 사용되고 있는 Miller-Holzworth 모델은 배출량이 균일한 면오염원의 풍하방향 단면에 대한 평균대기오염을 계산하는 모형으로, 안정도는 불안정상태가 고려되었고 풍속은 5.08m/sec가 입력되어 있다. 따라서 이 모형을 평균기상상태가 안정상태에 가깝고, 대부분 도시지역의 연평균 풍속이 2~3m/sec에 불과한 우리 지역에 그대로 적용하는 것은 적합하지 않다. 더우기 이 모형은 면오염원내의 평균농도를 산출하는 모형인데도 불구하고 국내의 많은 환경영향평가에서는 이를 공사시의 단기 대기질을 예측하는 모형으로 사용하는 것은 잘못된 것이다. 그러나 이 모형의 장점 즉 간단한 입력자료에 의하여 평균농도를 간단하게 예측평가할 수 있는 점은 도시지역의 간

단한 대기질 비교평가나 택지와 같은 면오염원의 간단한 대기영향예측에 편리하게 사용될 수 있을 것이다.

따라서 기존에 사용되고 있는 이 모형의 오류를 정정하고 도시지역과 평탄지역을 구분하고 단기적인 농도와 평균적인 농도를 예측할 수 있도록 기존모형을 수정하였다. 본래의 모형이 갖고 있는 간단한 모형의 특징을 살려 대기안정상태를 D등급으로 가정하고 도시지역과 평탄지역에 적합한 수직확산편차식을 적용하여 두 지역특성을 고려할 수 있도록 하였다. 도시지역에 대해서는 UNAMAP모형 중 도시지역에 많이 사용되고 있는 McElroy와 Pooler의 수직확산계수식  $\sigma_z=0.91x^{0.702}$  (Weber(1982), McElroy(1969))을, 평탄지역에 대해서는 Pasquill의 수직확산편차곡선을 Busse와 Zimmerman(1973)이 표현한 계산식(풍하거리 500~5000 m)  $\sigma_z=0.259x^{0.687}$ 을 적용하였다.

앞의 식 (5), (6)은 풍하방향으로 면오염원 끝 지점에서의 단기적인 농도를 의미하고, 식 (7), (8)은 면오염원내의 연기중심선상 즉 풍하방향길이의 평균농도를 의미한다. 이 식들에 앞의 수직확산계수식을 적용하면 다음과 같은 도시지역과 평탄지역의 단기농도와 평균농도 계산식이 된다.

도시지역

$$X = 0.832H^{1.425}$$

S < X

$$C_A = \frac{2.95Q}{U} S^{0.298} \quad (11)$$

$$\frac{C_{AV}}{Q} = \frac{2.27}{U} S^{0.298} \quad (12)$$

S > X

$$C_A = \frac{Q}{UH} (1.96H^{1.425} + S) \quad (13)$$

$$\frac{C_{AV}}{Q} = \frac{S}{2UH} + \left( \frac{1.96H^{0.425}}{U} \right) - \left( \frac{0.19H^{1.849}}{US} \right) \quad (14)$$

평탄지역

$$X = 5.163H^{1.456}$$

S < X

$$C_A = \frac{9.87Q}{U} S^{0.313} \quad (15)$$

$$\frac{C_{AV}}{Q} = \frac{7.52}{U} S^{0.313} \quad (16)$$

S > X

$$C_A = \frac{Q}{UH} (11.33H^{1.456} + S) \quad (17)$$

$$\frac{C_{AV}}{Q} = \frac{S}{2UH} + \left( \frac{11.33H^{0.456}}{U} \right) - \left( \frac{6.97H^{1.911}}{US} \right) \quad (18)$$

- S : 면오염원의 크기(m)
- H : 평균혼합고(m)
- C<sub>A</sub> : 풍하방향으로 면오염원 끝 지점에서의 단기적인 농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- C<sub>AV</sub> : 면오염원의 풍하방향길이의 평균농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- Q : 오염배출량(g/sec-km<sup>2</sup>)
- U : 평균풍속(m/sec)

#### 4. 결 론

기존의 Miller-Holzworth 모델은 풍속 5.08m/sec를 이미 식에 반영하고 있는 오류를 범하고 있으며 안정도는 불안정상태가 고려되어 있어서, 평균기상조건이 안정상태에 가깝고 대부분 도시지역의 평균풍속이 2~3m/sec에 불과한 우리 지역에 그대로 적용하는 것은 적합하지 않다. 따라서 기존에 사용되고 있는 이 모형의 오류를 정정하고 도시지역과 평탄지역을 구분하고 면오염원으로부터의 단기적인 농도와 평균적인 농도를 예측할 수 있도록 모형을 수정하였다. 수정된 Miller-Holzworth 모델과 같이 간단한 예측모형은 간단한 자료에 의한 대략적인 영향정도를 판단하는데 편리하게 이용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

장영기, 송동용(1995) 국내 대기오염모델링의 현황과 과제, 한국대기보전학회지 제11권 제1호.  
 Busse, A.D. and Zimmerman, J.R. (1973), User's guide for the Climatological Dispersion Model, U.S.EPA.  
 Calder, K.L. (1977) A correction to the Holzworth model of meteorological potential for urban air pollution, Atmospheric Environment, Vol 11, pp 761-764.  
 McElroy, J.L. (1969) A comparative study of

urban and rural dispersion, Journal of Applied Meteorology, Vol 8, 19-31.

Weber, E.ed.(1982) Air Pollution: Assessment methodology and modeling, 329 pp.