

3C2) 도심 거리 협곡에서 자동차 대기오염물질의 확산 특성 및 농도 예측에 관한 연구

Dispersion Characteristics and Concentration Prediction of Vehicle Emission in Urban Street Canyons

박성규 · 김신도 · 이희관¹⁾

서울시립대학교 환경공학과, ¹⁾인천대학교 토목환경시스템공학과

1. 서 론

도심 도로변의 대기질은 주변의 고층 건물로 인한 거리 협곡으로 인하여 도시의 대기질에서 가장 빈번하게 기준을 초과하는 지역이다. 대부분의 대도시에서 고층 빌딩으로 구성된 도심 거리 협곡(urban street canyon)의 자동차에서 배출되는 대기오염물질은 운전자, 보행자, 도로변 작업자, 자동차 승객 등의 건강에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다. 자동차 대기오염물질은 지표면에서 발생되기 때문에 거리 협곡은 배출원 인근의 대기오염물질 확산에 중요한 영향을 준다. 우선적으로, 거리 협곡은 협곡 상공에서 수직적인 혼합을 유도하게 된다. 둘째로, 거리 협곡의 형성은 협곡의 지형적 또는 물리적 경계 내의 오염물질을 정체시키게 되어, 협곡 상공으로 공기가 자유롭게 이동하여 오염물질을 수송하는 것을 지체시키는 경향이 있다. 이 지점에서 도로변의 국부적인 고농도가 발생하여 결과적으로 더 큰 영향과 손실 비용을 초래하게 되고, 거리 협곡이 좁고 깊은 대도시인 경우는 그 영향이 특히 더 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 환경 풍동을 이용하여 도심지역에서 고농도 대기오염농도를 유발 할 수 있는 도심 내의 협곡에 위치한 도로상의 자동차에서 발생된 대기오염물질이 건물 형상비(W/H), 풍향(WD), 풍속 조건에 따른 오염물질의 확산 특성에 대하여 연구하였다. 또한, 도심 내의 협곡에 위치한 도로상의 자동차로부터 발생된 대기오염물질의 확산 농도를 평가하기 위하여 풍동실험 결과를 해석하여 도심 거리 협곡에서 자동차에 의한 대기오염물질 농도 예측 모델(street canyon model)을 제안하고, 기존의 다른 모델과 현장 실측치를 비교하여 모델의 적정성을 평가하였다.

2. 연구 방법

선행 연구¹⁾의 풍동 실험 결과를 통대로 canyon 내의 공기와 자동차 대기오염물질의 확산에 관한 영향인자 중 W/H와 WD에 대하여 이 두 영향인자의 복합적인 작용에 대한 분석을 수행하기 위하여 *Design-Ease*[®](Version 3.08)의 통계 분석 기술을 이용하였다. 먼저 canyon 내의 농도 확산에 영향을 줄 수 있는 W/H와 도로와 바람각(WD)에 대한 canyon 내의 평균농도에 대하여 분석하였다.

반경험적으로 유도된 canyon model 중 Johnson et al.(1973)에 의해 제안된 STREET 모델식 중 경험적으로 고려하고 있는 상수 K를 풍동실험을 통하여 canyon의 형상비 W/H와 WD이 0°에서 90°로 변화할 때의 농도 변화를 분석하여 일률적으로 적용하고 있는 상수 값 K에 대하여 canyon의 형상비 W/H와 WD에 따른 함수식을 도출하였다. 이를 근거로 도심 거리 협곡에서 자동차에 의한 대기오염물질 농도 예측 모델(street canyon model)을 제시하고, 이에 대한 현장 실측치를 비교하여 모델식의 적정성을 비교·평가하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 canyon 내의 평균 농도에 대한 분석으로 ANOVA(analysis of variance)의 결과를 나타낸 것이다. 식 (1)은 이 과정에서 얻은 결과 값으로 canyon 내의 평균농도에 미치는 영향인자 중에서 각각의 영향인자가 서로 독립적이라는 것을 (a)의 직선의 형태에서 알 수 있다.

$$C_{avg} = 6.3914 - 2.4870 \times W/H - 0.4195 \times WD + 0.1664 \times W/H \times WD \quad \text{식 (1)}$$

식 (1)에서 W/H와 WD의 증가는 canyon 내의 평균농도를 감소시킬 수 있음을 의미하고 있다. 즉, 이 두 영향인자의 증가는 canyon 내에서 대기질을 향상시킬 수 있음을 말한다. 이 두 영향인자에 대한 상

수의 비교에서 평균농도 측면에서는 W/H의 영향이 WD의 영향보다 약 6배 이상 더 크다는 것을 나타내고 있다. 또한, 이 두 영향인자의 복합적인 영향은 양(+)의 계수 값으로 나타나고, WD의 계수 값보다 약 1/3정도 작게 나타나고 있다. 이러한 결과를 토대로 (b)는 canyon 내의 평균 농도에 관한 영향인자 사이의 상호 영향을 나타내고 있다. WD의 영향은 wide canyon에서 최소가 된다. 또한, W/H 값이 증가 (deep → wide) 할수록 canyon 내에는 저농도가 나타나 확산 · 회석에 더욱 유리하다고 할 수 있다. 따라서, canyon 내의 공기질 개선을 위한 선택적인 조건은 (c)의 square plot을 이용하여 가시적으로 파악할 수 있다. 즉, 조건이 A+(a wide canyon)이고, B+(90°-directed external wind, perpendicular flow)일 때 canyon 내의 대기오염물질이 주변 지역으로의 확산 · 회석은 유리하다고 할 수 있다.

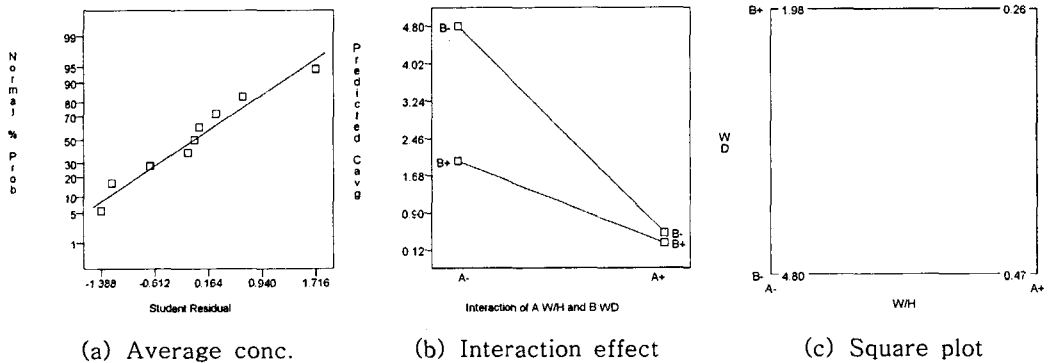


Fig. 1. Analysis of ANOVA result

풍동실험 결과를 해석하여 도심 거리 협곡에서 자동차에 의한 대기오염물질 농도 예측 모델을 제시하고, 이에 대한 현장 실측치를 비교하여 모델식을 적정성을 평가한 결과 기존의 STREET 모델에서 제시한 상수 값 K에 대하여 canyon의 형상비(W/H)와 도로와 바람각(WD)에 따른 함수식을 다음과 같이 포함하여 Seoul Street Canyon model(SSCM)을 제시하였다.

$$K = 7.21464 - 1.08334 \times W/H - 0.55878 \times W/D + 0.49776 \times W/H \times W/D \quad (\text{식 } 2)$$

모델식의 예측농도와 풍동에서 측정된 농도 상관관계에서 모델식의 예측농도는 canyon 형상비 W/H 값이 큰 wide canyon인 경우에는 상관성이 감소하였지만, W/H 값이 큰 regular and deep canyon인 경우는 상관성이 크게 나타나 전체적으로 양호한 상관성이 나타났다. 또한, 기존의 canyon model과 현장 조사 결과를 토대로 한 모델간 예측 농도의 비교에서는 street canyon의 현장조사 실측치와 Seoul Street Canyon model(SSCM)의 예측치가 가장 높은 상관성을 나타내었다. 따라서, SSCM을 이용한다면, 도심의 street canyon에서 국부적인 고농도 오염을 정확하게 예측하는데 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

박성규, 김신도, 이회관 (2002) 도심 협곡 내의 자동차에서 발생된 대기오염물질의 확산 특성, 한국대기환경학회 2002 추계학술대회 논문집, pp.221~222.

Stern R, Yamartino R. J. (2000) Development and first evaluation of micro-calgrid: a 3-D, urban-canopy-scale photochemical model, Atmospheric Environment 35 Supplement No. 1, pp.S149~S165.

Vardoulakis S., Gonzalez-Flesca N., Fisher B.E.A. (2002) Assessment of traffic-related air pollution in two street canyons, Atmospheric Environment 36, pp.1025~1039.

Vardoulakis S., Fisher B.E.A., Pericleous K. (2003) Modeling air quality in street canyon : a review, Atmospheric Environment 37, pp.155~182.