

# 풍동실험을 통한 공동주택 지하주차장의 자연환기 성능 연구

## Experimental Study on Wind-driven Ventilation in Basement Parking Lots of Apartment

이시웅\*                      노지웅\*\*  
Lee, Si-Woong              Roh, Ji-Woong

### Abstract

This paper aims for evaluating the wind-driven ventilation in basement parking lots of apartment. Wind tunnel tests coupled with tracer gas method were conducted, and classified by wind directions and opening types.

The test results showed that, as for wind-driven ventilations, stack type openings were more successful than scuttle vent. Finally, according to Weibull distribution in Seoul, yearly averaged wind-driven ventilation rate was calculated.

Key words : Wind-driven ventilation(풍력환기), wind tunnel test(풍동실험), tracer gas method(추적가스법)

### 기호설명

N : 환기횟수(=Q/V) [1/hr]  
 Nb : 기준 환기횟수[1/hr]  
 Q : 환기량[m<sup>3</sup>/hr]  
 V : 공간의 체적[m<sup>3</sup>]  
 Cav : 층별 평균농도[ppm]  
 Cb : 기준농도[ppm]  
 q : 가스 발생량[m<sup>3</sup>/h]  
 Ub : 기준풍속(m/s)  
 Hb : 건물높이(m)  
 P(V>U) : 풍속U의 초과 확률(-)  
 U : 풍속 (m/s)

† Corresponding author

Tel.:+ 82-42-821-1115; fax: + 82-42-821-1175

E-mail address : swlee@hanbat.ac.kr

C : Weibull 분포의 척도계수

K : Weibull 분포의 형상계수

### 1. 서론

최근에 지어진 아파트단지에서는 일반적으로 주차공간의 대부분이 지하에 설치되어 있으며, 도심지역의 경우에는 3층 이상의 고심도 지하주차장이 설치된 사례를 흔히 볼 수 있다. 지하주차장은 예전부터 열악한 실내환경과 방범시설의 부족 등이 문제점으로 지적되어 왔지만 이에 대한 적절한 지침이 아직 마련되어 있지 않아 사용자의 건강과 안전을 위협할 수 있는 우려를 낳고 있다.

지하공간은 자연환기가 어렵고 실내공기가 정체되기 쉽다는 인식으로 인하여 국내에서는 지하주차장의 환기 계획을 기계설비 위주로 계획하여 왔다. 그러나 최근의 가파른 유가상승으로 인하여 정부는 에너지 절감을 기하고자 공동주택 지하주차장에 대하여 일정 비율 이상의 자연환기(또는 채광)용 개구부를 설치하도록 권장하게 되었다. 이를 계기로 하여 효율적인 자연환기 계획을 위한 방안이 다각적으로 모색되고 있으나, 지하환기에 대한 기초 데이터가 미흡하여 합리적인 대안 도출에 애로를 겪고 있다.

본 연구는 개구유형에 따른 공동주택 지하주차장의 풍력 환기량을 검토하는데 그 목적을 두고 실시되었다. 검토 대상은 서울지역에 위치한 공동주택 지하주차장의 일반적인 유형 가운데 하나로 선정하였다. 자연환기용 개구부가 없는 유형을 포함하여 4가지 개구유형을 갖는 축소 모델을 제작하여 풍향을 달리하면서 트레이서 가스(Trace gas)법을 이용한 풍동실험을 하였다. 실험결과로부터 풍력 환기량을 산정하고, 서울 지역의 풍향별 와이불 분포를 이용하여 해당풍향 및 전풍향 빈도를 고려한 환기량의 확률 분포를 도출한다.

\* 한밭대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\* 홍익대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험개요

2.1 실험모델

실험모델은 서울지역에 위치한 공동주택 지하주차장의 일반적인 유형 가운데 하나로서, 지하주차장의 상부가 3개 동의 아파트에 의하여 ㄷ자형으로 둘러 싸여진 형상으로 되어있다. 주차장은 39.8m X 55.8m, 총 높이 8.0m의 지하2층의 구조로 되어 있으며 주변건물은 42.1m X 9.3m, 높이 22.5m 로서 N, E, S 방향에 배치하였다(Fig. 1). 개구부별 자연환기 성능을 검토하기 위하여 실험모델의 주변건물 및 지하주차장의 형상을 1/100 축적으로 아크릴로 제작하였고, 개구부의 형상 및 위치는 조절 가능하도록 하였다.

개구부는 Fig. 2와 같이 천장형과 Dry Area형, 혼합형의 3가지 유형을 대상으로 하였고, 개구부 면적은 동일하게 배려했다. 실험모델의 내부에는 트레이서 가스 발생 및 실내 농도 측정을 위하여 각 지하공간의 중간 높이에 내경 3mm인 동파이프를 설치하였다. 농도측정점은 20곳이며 지하2층의 두 지점에서 가스를 방출하도록 하였다.

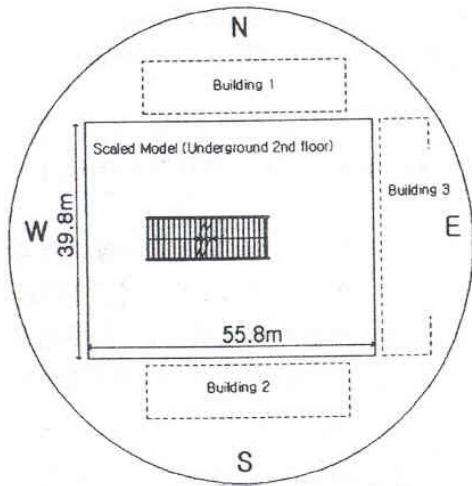
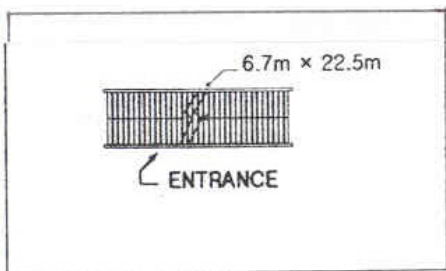
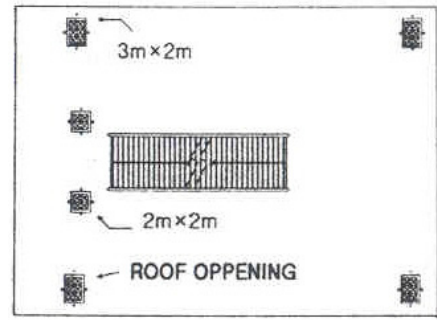


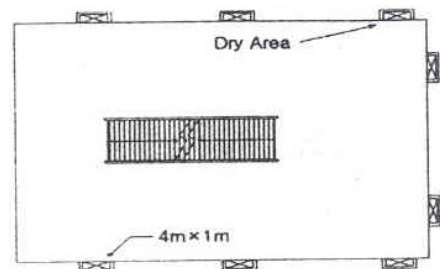
Fig. 1. Building Model



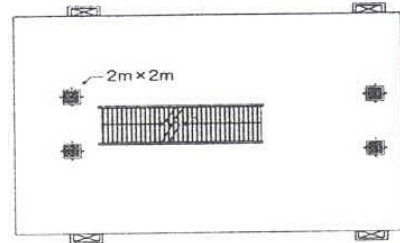
(a) Type I



(b) Type II



(c) Type III



(d) Type IV

Fig. 2. Opening types

2.2 풍동

본 연구에서 사용된 풍동은 현대건설 기술연구소에 있는 소형 경계층형 풍동이며 측정부의 크기는 폭 1.0m, 높이가 1.5m, 길이 6.0m의 개방형(open type)이며 풍속 범위는 0.3m/s - 22.5m/s이다.

접근류는 측정부 상류측에 삼각팬스, 스퀘어, 크고작은 조도블럭을 사용하여  $U \propto Z^{1/4}$ 의 풍속 연직분포를 작성한다. 실험풍속은 건물모형 상당높이(풍동 바닥에서 22.5cm 상부)에서 6.8m/s로 하였다. 측정부 중심의 평균풍속 및 난류강도의 연직분포와 풍속스펙트럼은 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다.

2.3 실험방법 및 Cases

풍동내에 축소모형을 설치하고, 모형내부에서 트레이서 가스를 발생시키며 바람의 방향 변화에 따른 실내 가스 농도를 측정하였다. Tracer Gas로는 이산화탄소를 사용하였으며, 지하 2층에서 정량적으로 발생(1cc/sec)시켰다. 또한 Tracer Gas는 CO<sub>2</sub>를 사용하였기 때문에 공기중에 있는 CO<sub>2</sub>농도를 풍상측에서 연속측정, 이 농도를 측정농도에서 제외시켰다. 실험의 개요는 Fig. 5와 같다. 실험은 전체 개구유형에 대하여 대한민국 서울지역의 탁월풍인 3가지 풍향(W,SW,NE)의 영향이 검토 되어졌고, 유형 1에 한하여 추가적인 두가지 풍향(S/N,E)과 주변건물의 영향 (Type 1\*) 등이 검토되어졌다(Table 1).

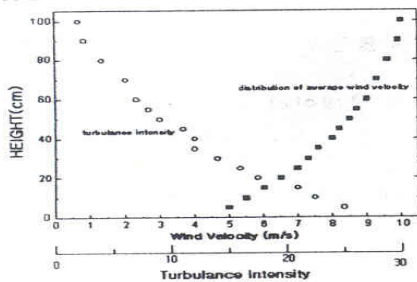


Fig. 3. Approaching wind

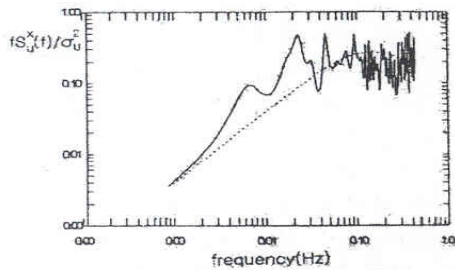


Fig. 4. Power spectra of turbulence

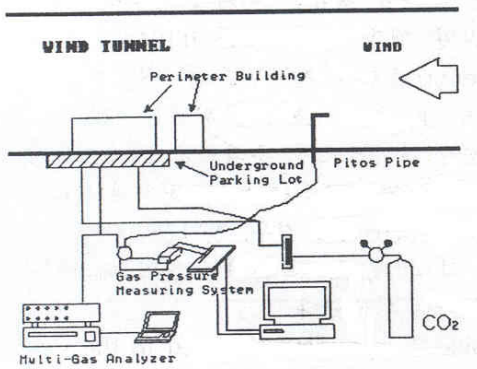


Fig. 5. Diagram of experiment

Table 1. Experimental cases

Experiment Model Type	Cases				
	W	SW/NW	SE/NE	S/N	E
Type I*	#1*-1	-	-	-	-
Type I	#1-1	#1-2	#1-3	#1-4	#1-5
Type II	#2-1	#2-2	#2-3	-	-
Type III	#3-1	#3-2	#3-3	-	-
Type IV	#4-1	#4-2	#4-3	-	-

3. 실험결과

3.1 가스농도 및 환기량

측정된 가스농도는 각 층별 평균치(C)와 기준농도(Cb)를 이용하여 다음과 같이 무차원농도(C/Cb)로 환산되었다.

$$C/C_b = C/[q/(U_b \cdot H_b^2)]$$

.....  
..... (1)

또한, 각 Case별로 측정된 실내농도의 평균치와 가스발생량으로부터 환기량(N)을 산출하고, 주변이 건물들로 둘러싸여진 풍향 W에서의 Type 1의 환기량을 기준환기량(Nb)으로 하여 무차원화하였다.

차량출입구이외의 별도의 환기구가 없는 Type 1에 대하여 주변건물 및 풍향의 영향에 따른 무차원 농도를 Fig. 6에 나타냈다. 서풍에 대하여 주변건물의 영향을 검토한 결과, 실내농도가 증가하는 것으로 나타났으며 그 영향은 지하1층보다는 지하2층에서 각기 다른 경향을 나타냈으며, 지하2층에서 보다 편차가 크게 나타났다. 지하1층에 있어서는 SW/NW의 경우가 가장 낮은 농도를 나타냈고, 나머지 경우는 별다른 차이를 나타내지 않았다. 지하2층에 있어서는 S/N에서 가장 낮았으며, W에서 가장 높은 값을 나타냈다. 이러한 실내농도로부터 환기횟수를 산정하여 주변이 건물들로 둘러싸인 풍향 W에서의 환기횟수를 산정한 결과, 건물높이의 풍속이 1m/s일 때 시간당 0.14회인 것으로 나타났다. 이값을 기준치로 하여 각 풍향별 환기횟수를 무차원화하여 Fig. 7에 나타냈다. W이외의 풍향에서는 모두 기준치보다 높은 값을 나타냈으며, 특히, S/N에서 기준치 대비 2.1배로 가장 높게 나타났다. 개구부 유형에 따른 각 층별 농도변화를 Fig. 8에 나타냈다. 지하1층과 2층 모두에서 Type 1에 비하여 Type 2, 3, 4에서 실내농도가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 특히 Passive Stack형의 Type3은 전체풍향에 대하여 가장 낮은 농도를 나타냈으며, 천장형의 Type 2는 상대적으로

높은 값을 나타냈다. 이러한 실내농도로부터 산정한 무차원 환기 횟수는 Fig. 9와 같다. Type3에서는 기준치의 4~10배의 값을 나타내 가장 환기효과가 큰 것으로 나타났으며 Type2는 3가지 개구유형 가운데 환기효과가 가장 낮은 것으로 나타났다.

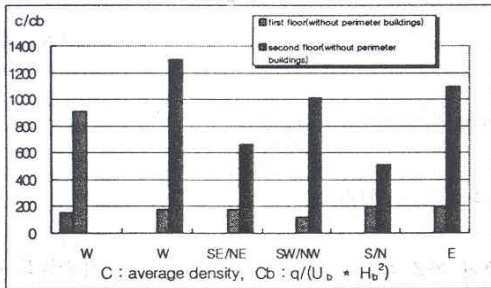


Fig. 6. CO<sub>2</sub> gas concentration

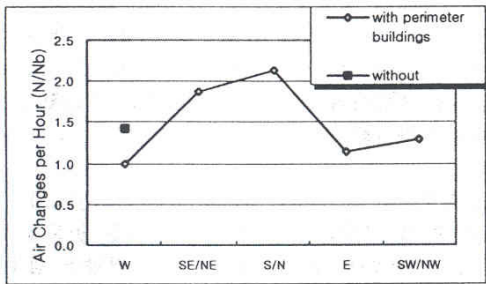


Fig. 7. Air change rate per hour

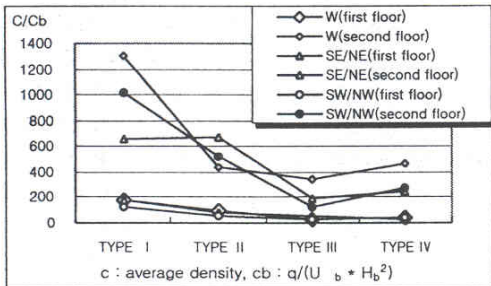


Fig. 8. CO<sub>2</sub> gas concentration

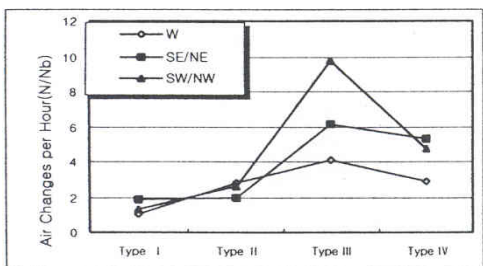


Fig. 9. Air change rate per hour

### 3.2 환기량의 확률분포

서울지역의 기상데이터를 이용하여 풍향 및 풍속의 변화를 고려한 환기량을 계산하였다. 풍속발생의 초과확률 분포는 다음 식으로 나타낼 수 있으며, 유량(Q)는 풍속(U)과 직접비례 관계에 있으므로, 식(2)에서 풍속 U 대신 Q를 대입하여 나타낼 수 있다.

$$P(V > U) = \sum_1^{16} A(an) \text{Exp}[-(\frac{U}{C})^k] \dots \dots \dots (2)$$

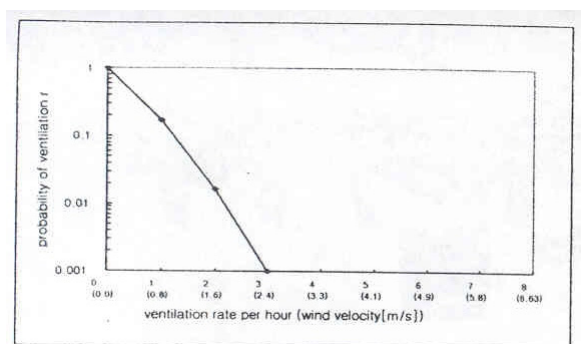
여기서 와블파라미터인 C, K는 1974년~1993년의 서울지역을 대상으로 한 와이블분포의 전 풍향에 대한 C, K값을 사용하였고 그 값은 Table 2와 같다.

풍동실험을 통해 나온 환기횟수를 이용하여 각 Type별, 풍향별 환기회수의 초과확률분포를 식(2)를 활용하여 구하여 Fig. 10에 나타냈다. 여기서 나타난 전풍향에 대한 초과확률분포는 각 풍향별 와이블 분포를 합한 값이다. 램프 이외에 별도의 환기구가 없는 Type 1의 경우, 환기횟수 1회/hr를 초과할 확률은 30%로 증가하였고, 초과확률이 80%일 때의 환기횟수는 0.184회/hr로 나타났다.

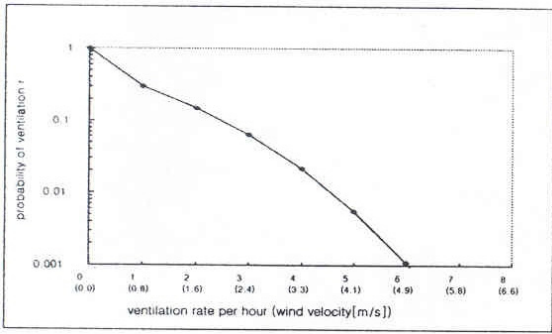
Passive Stack형의 개구부를 설치한 Type 3의 경우, 환기횟수 1회/hr를 초과할 확률은 40%를 초과하여 가장 높게 나타났으며, 초과확률이 80%일 때의 환기 횟수는 0.252회/hr로 나타났다. 천정과 Passive Stack을 병용한 Type 4의 경우, 환기횟수 1회/hr를 초과할 확률이 약 40%, 초과확률이 80%일 때의 환기횟수는 0.236회/hr로 나타났다.

Table 2. Parameters related to the mean wind speed in SEOUL

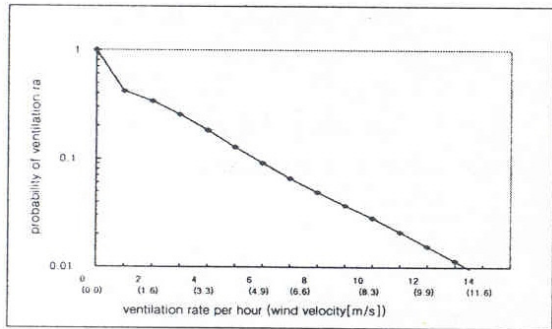
wind direction	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
K	1.52	1.61	1.86	1.64	1.81	1.84	1.51	1.43
C	1.34	2.09	2.54	1.94	1.78	1.79	1.87	2.36
wind direction	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
K	1.75	1.89	1.97	1.97	1.90	1.70	1.42	1.35
C	3.60	3.66	3.56	3.82	3.64	2.77	2.00	1.17



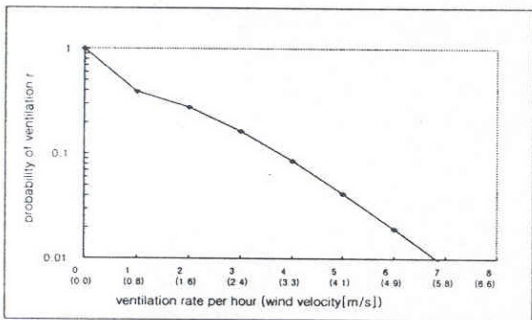
(a) Type I



(b) Type II



(c) Type III



(d) Type IV

Fig. 10. Probability curve of ventilation

#### 4. 결론

공동주택 지하주차장에 대하여 개구부 유형 및 풍향, 주변건물에 다른 환기량을 파악하기 위하여 트레이서 가스법을 이용한 풍동실험을 실시하였다. 그 주요결과는 다음과 같다.

(1) 차량출입구이외에 별도의 개구부가 없는 Type 1의 경우, 개구부방향(W)의 풍향일 때에 가장 환기효과가 저하되었고 개구부와 수직방향(S/N)일 때에 가장 높은 환기효과를 나타냈다.

(2) 차량출입구 이외에 별도의 개구부가 없는 Type 1의

경우, 주변건물에 의해 풍력환기량은 약 50% 감소되며, 풍향에 따른 영향은 지하 1층에 비하여 지하 2층에서 뚜렷하게 나타났다.

(3) 개구부를 설치한 경우(Type 2, 3, 4) Type 1에 비하여 자연환기량이 크게 증가하여 자연환기 효과가 가장 뛰어난 Type 3의 경우에는 Type 1의 4~10배의 값을 나타냈다.

(4) 서울지역의 기상데이터를 이용하여 환기량의 초과 확률 분포를 산출한 결과, 환기횟수 1회/hr를 초과할 확률은 Type 1에서 20% 미만인데 비하여 Type 3은 40%를 초과하는 것으로 나타났다.

현재, 어느 정도의 초과확률을 갖는 자연환기량을 환기설계에 반영하는 것이 적정한지에 대한 뚜렷한 연구결과는 밝혀진 바 없다. 따라서 본 연구에서 환기설계에 반영할 수 있는 환기량을 명기하는 것은 후속연구가 보완된 뒤로 미루고자 한다.

#### 참고문헌

1. 이시용 외2인, 지하다중 이용시설의 실내공기환경에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 16권 11호, 200.11
2. 노지용 외4인, 공동주택 지하공간의 환기설계 기준 및 기법에 관한 연구(1), 대한건축학회 학술논문집 20권 1호, 2000. 4
3. 신현준 외2인, 지하주차장의 환기시스템 개발, 한국 건설 기술 연구원, 1989. 12
4. 이경희 외2인, 사무소건물의 실내공기환경을 고려한 자연환기 기준 설정에 관한 연구, 학술공모과제 최종보고서, 1994. 9
5. 조정식 외3인, 지하생활공간 개발 요소기술 연구, 한국건설기술연구원, 1994. 12
6. 박병윤 외2인, 지하주차장의 실내공기환경 특성에 관한 측정연구, 대한건축학회논문집 13권 11호, 1997. 11
7. 진경일 외5인, 지하공간 개구부의 자연환기 성능평가, 대한건축학회 학술발표논문집 18권 2호, 1998. 10
8. 김현국, 지하주차장에서의 환기설비, 공기청정기술 11권 4호, 1998
9. ASHRAE, Ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE standard 62-1989
10. ASHRAE, ASHRAE fundamentals handbook, 1993
11. Bailey and Vincent, Wind pressure on building including effects of adjacent buildings, Journal of the institute of civil engineering vol. 19-20 no. 1
12. Boutet and Terry s., Controlling air movement, McGraw-hill book co. 1987
13. Martin w. Liddament, A guide to energy efficient ventilation, oscar faber consulting engineers, 1996. 3