

# 케이스먼트 창호 개폐방식에 따른 자연환기 효과에 관한 시뮬레이션 연구

## A Study on the Simulation of Natural Ventilation Effect for Single-sided Casement Window as Opening Types

최 태 환\*                      김 태 연\*\*                      이 승 복\*\*\*  
Choi, Taehwoan              Kim, Taeyeon                      Leigh, Seung-Bok

### Abstract

At the moment, the reduction of building energy consumption is a unavoidable task of mankind for conserving global environment. Decreasing overall U-value of building envelope and air infiltration, especially in Korean climate condition with clear four seasons, are the obvious solutions for the objective. Thus low glazing ratio with small window openings are required for heating and cooling load reduction in buildings. Using larger window openings could provide better natural ventilation but it also increases the direct solar radiation penetration into indoor space, heat gain in summer and heat loss in winter. On the other hand, the ventilation rates decreasing problem with smaller window openings could be occurred. As a solution for it, the use of casement window can cause increasing natural ventilation rates by wing wall effect. This paper focuses on deduce the most efficient opening type of casement window in Korean climate. To estimate ventilation performance of each opening types, CFD simulation was used. The best performance of opening type in every wind direction is opening both windows to the center and the most appropriate opening type for Korean climate is also opening both windows to center.

키워드: 컴퓨터 시뮬레이션, 창문, 환기  
Key words: Computer simulation, Window, Ventilation

### 1. 서 론

최근 인류의 존속과 지구환경의 보호를 위해 전 세계적으로 건물에서 사용되는 에너지를 줄이고 환경오염을 방지하기 위한 노력들이 활발히 진행되고 있으며, 이는 재실자의 쾌적과 건강에 대한 고려를 기반으로 하고 있다. 건물에서 사용되는 에너지 중 가장 많은 부분을 차지하는 것은 건물의 냉난방을 위한 에너지로서 일차적으로 실외환경과 실내환경의 경계인 건물외피의 실내환경 조절 성능에 따라 그 크기가 결정된다. 한국과 같이 사계절이 뚜렷한 기후조건에서는 건물의 냉난방 부하를 감소시키기 위해 건물외피의 열관류율을 낮추고 기밀성을 향상시키는 것이 기본적으로 선행되어야 하며 이에 더하여 열, 빛, 공기에 대해 가변적으로 대응이 가능한 외피를 통해 건물의 냉난방 부하를 효과적으로 감소시킬 수 있다.

최소의 비용으로 외피의 열관류율을 낮추고 기밀성능을 가장 효과적으로 향상시키기 위해서는 전체 외피 면적에서 열관류율이 낮은 구조체부분의 면적 비를 늘이고 침기면적을 감소시킬 수 있도록 건물의 창면적비를 적절한 수준까지 감소시키는 것이 가장 효과적이거나 이러한 창면적비 감소에 의한 개구부면적의 감소는 중간기 환기시 환기율 감소에 따른 냉방부하의 증가로 이어질 수 있다.

이러한 맥락에서 동일한 개구 면적으로 더 높은 수준의 자연환기를 도모할 수 있는 창호시스템에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 케이스먼트 창호의 개폐방식에 따른 윈월효과(Wing wall effect)에 의한 환기율 향상 정도에 대해 알아보고 국내 5개 도시의 기후데이터를 이용한 각 개폐방식별 총 환기량 비교를 통해 국내기후에 가장 알맞은 케이스먼트 창호의 개폐방식을 도출하는 것을 목적으로 한다.

\* 주저자, 연세대학교 대학원 석사과정  
\*\* 연세대학교 건축공학과 교수  
\*\*\* 교신저자, 연세대학교 건축공학과 교수 (sbleigh@yonsei.ac.kr)

2. 이론적 고찰

2.1 윈월효과 (Wing wall effect)

윈월은 건물외벽 바닥에서 처마까지 돌출된 세로 구조체로 개구부 주변에 설치하여 외부 기류를 실내로 유도하고 압력차를 조성하여 창을 통한 자연환기시 환기성능을 높이는 기능을 가지고 있다. 그림1.은 단면 환기를 하는 실의 두 개구부에 설치된 윈월의 개념도를 나타낸 것이다. 윈월은 1962년과 1968년 Givoni의 풍동실험(1, 2)에서 연구된 바 있다. 이 실험에서 단면 환기를 하는 실에 윈월을 설치할 경우 자연환기 성능이 향상되며 이러한 효과는 바람이 전방측면에서 불 때 가장 높게 나타나는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 케이스먼트 창호의 개방시 돌출되는 창을 이용하여 윈월효과를 구현함으로써 창 의 자연환기 성능을 향상시킬 수 있는 방안에 대해 연구 하였다.

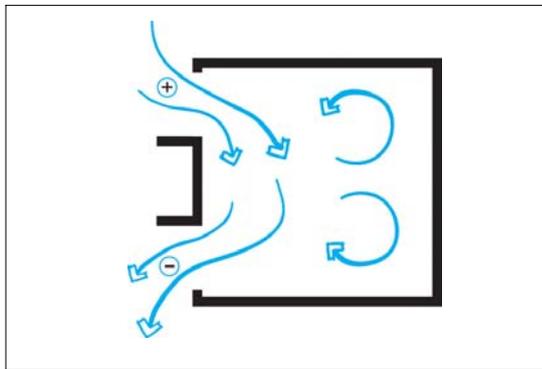


그림 1. 윈월의 개념도

2.2 환기량 해석

본 연구에서는 케이스먼트 창호의 개폐방식에 따른 자연환기시 환기량을 해석하기 위하여 CFD (Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 실시하였다. 최근의 다양한 연구에서 건물 주변 기류해석과 실내 공간의 기류분석을 위해 CFD 시뮬레이션이 사용 되었으며(3-9) 몇몇의 연구에서 단면환기(10, 11)에 대한 연구가 CFD 시뮬레이션을 이용하여 진행되었다. 본 연구에서는 이전의 여러 연구(12-14)에서 실내 · 외 기류해석을 위해 사용되어 그 성능을 입증 받은 CFD Code인 STAR -CD 프로그램을 사용하였다.

2.3 환기량 예측

표면 압력차와 풍속과의 관계는 베르누이 식으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta P_s = C_p \times \frac{\rho U^2}{2} \quad (1)$$

$\Delta P_s$  : 표면풍압차 [pa]

$C_p$  : 풍압계수 [-]

$\rho$  : 공기의 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

$U$  : 풍속 [m/s]

여기서 풍압계수( $C_p$ )는 특정 풍향의 풍압과 그로인해 건물의 특정 면에 발생하는 표면 압력차( $\Delta P_s$ )와의 관계를 나타내는 계수이다.

표면 압력차( $\Delta P_s$ )는 풍속( $U$ )의 제곱에 비례하는 함수이며, 개구부를 통한 환기량은 실험식에서 표면 압력차( $\Delta P_s$ )의 제곱근과 개구부 면적( $A$ ) 및 개구부 형상에 따른 유량계수( $C_d$ )에 비례한다. 따라서 순수 압력차에 의한 환기량은 다음과 같다.

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2\Delta P_s / \rho} \quad (2)$$

$Q$  : 환기량 [m<sup>3</sup>/h]

$C_d$  : 유량계수 [-]

$A$  : 개구부의 면적 [m<sup>2</sup>]

위의 식(1)과 식(2)로부터 1 m/s의 바람이 특정풍향  $i$ 로부터 불 때 특정 면  $j$ 의 개구부를 통한 환기량을  $X_{ij}$ 라 하면 동일 풍향의 속도  $U$ 인 바람에 의한 환기량을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$Q = X_{ij} U \quad (3)$$

$X_{ij}$  : 단위 풍속, 풍향  $i$ 인 바람에 의한  $j$ 면

개구의 환기량 ( $C_d A \sqrt{C_p}$ ) [m<sup>3</sup>/h]

따라서 단면환기시 환기량은 특정 풍향의 단위 풍속에 의한 환기량과 풍속을 통해 예측 할 수 있다.

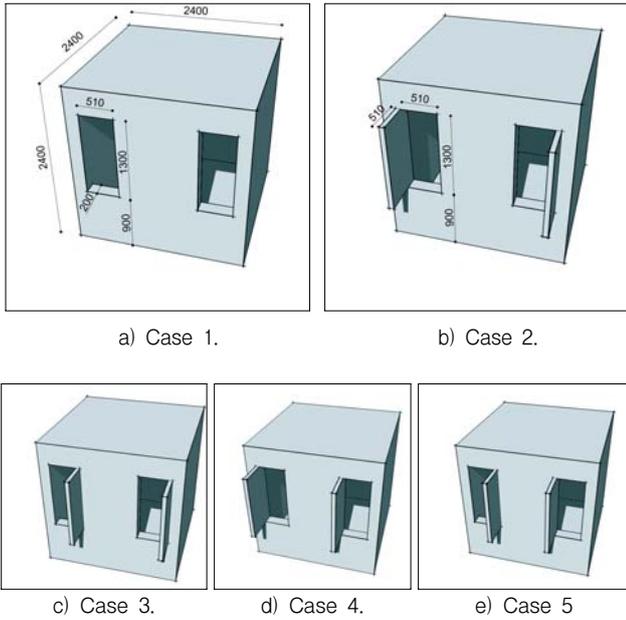
3. 개폐방식별 환기량 해석

3.1 해석대상

케이스먼트 창호의 개폐방식에 따른 환기량을 해석하기 위해 한 면의 양 끝에 2개의 창호가 설치된 실에 대하여 표1.과 같이 다섯 개의 Case를 선정하여 해석하였다. 그림2.는 각 Case를 그림으로 나타낸 것이다.

표 1. 해석대상 선정

Case 1.	슬라이딩 창으로 개방시 실외로 돌출된 창이 없는 경우.
Case 2.	케이스먼트 창으로 양쪽 창이 바깥쪽을 향해 열리는 경우.
Case 3.	케이스먼트 창으로 양쪽 창이 실내에서 좌측으로 열리는 경우.
Case 4.	케이스먼트 창으로 양쪽 창이 실내에서 우측으로 열리는 경우.
Case 5.	케이스먼트 창으로 양쪽 창이 중앙을 향해 열리는 경우.



a) Case 1. b) Case 2. c) Case 3. d) Case 4. e) Case 5

그림 2. 해석대상의 개념도

각각의 Case는 주변 공기층을 포함하여 약 470,000개의 셀로 모델링 하였으며 난류모델로는 k-ε high Reynolds number 모델을 사용하였다. 바람에 대한 경계조건은 그림3과 같이 풍속이 1m/s일 때 풍향이 0°부터 180°까지 22.5° 간격으로 각 Case별 9개의 풍향에 대해 해석을 진행하였다.

본 연구에서는 자연환기시 바람에 의한 환기량에 대한 해석을 진행하였으므로 풍압에 의한 환기만을 고려하였다.

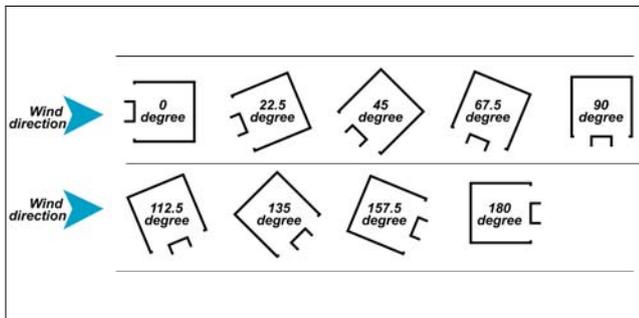


그림 3. 풍향에 대한 경계조건

### 3.2 해석결과

시뮬레이션 결과, Case 1의 환기량에 대한 각 Case의 항별 환기량 비는 그림4와 같이 나타났다. 0°에서 바람이 불 경우에는 Case 3과 4가 Case 1의 2.78배로 가장 높은 환기량을 보였으며 22.5°부터 67.5°에서 바람이 불 때는 Case 5가 가장 높은 환기성능을 보였다. 특히 풍향이 67.5°일 때 Case 5가 Case 1의 8.84배의 높은 환기량을 나타내었으며 22.5°에서는 Case 2와 3은 각각 0.62배와 0.7배의 환기량을 나타내었다. 풍향이 90°일 경우에는 Case 2가 1.18배로 가장 높은 환기량을 보였으나 Case 3

과 4, 5는 각각 0.94배, 0.82배, 0.8배로 Case 1보다 낮은 환기량을 보였다. 112.5°에서 바람이 불 경우 또한 Case 5를 제외한 Case 2, 3, 4가 0.89배, 0.91배, 0.73배로 낮은 환기량을 보였으며 157.5°에서는 Case 5가 0.5배로 가장 낮은 환기량을 보이는 등 후방측면에서 바람이 부는 경우 Case 1보다 낮거나 비슷한 환기성능을 보였다. 풍향이 180° 일 경우에는 Case 5가 2.69배의 가장 높은 환기량을 나타내었다.

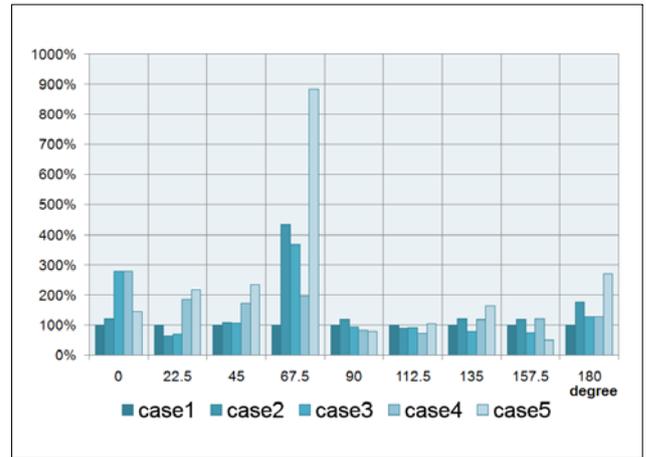
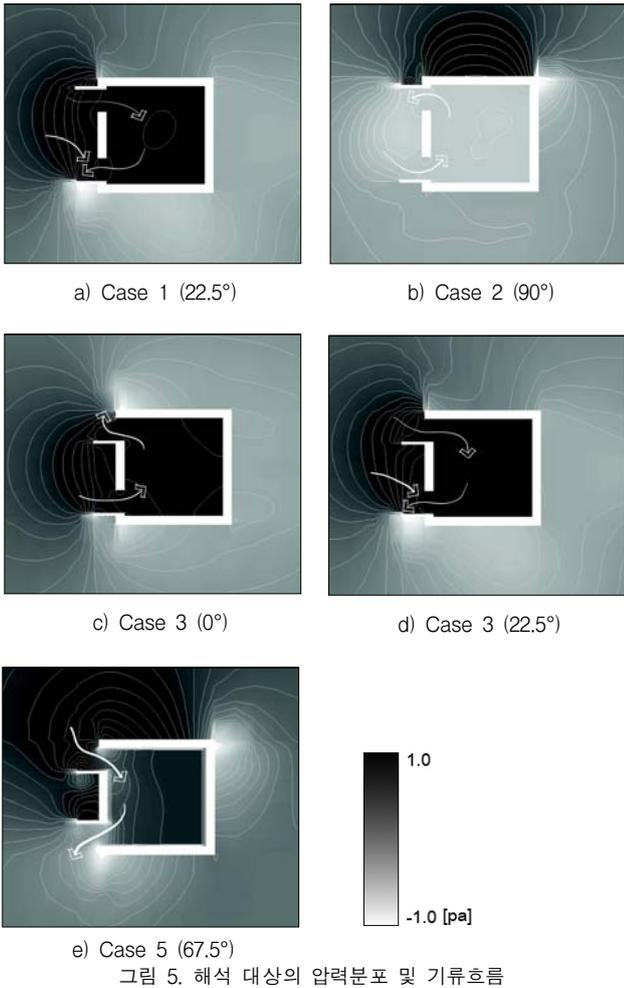


그림 4. 해석대상 별 풍향에 따른 환기율 비교

위와 같은 환기량 분포는 돌출된 창으로 인해 발생하는 건물 주변의 압력분포에 의해 나타난다. 그림5는 이 중 특징적인 Case의 압력분포와 개구 주변의 기류 형상을 나타낸 그림이다. 풍향이 0°일 경우 Case 3과 4에서 높은 환기량을 보이는 것은 그림5의 c)와 같이 바깥쪽으로 열리는 창(실내에서 좌측 창)에 의해 기류의 유출이 방해받으나 안쪽으로 열린 창(실내에서 우측 창)의 개구부에서는 기류의 이동을 방해하는 구조물이 없어 건물 외부에 부압이 발생하는 부분으로의 기류 이동이 이루어져 두 개구부 모두 동일한 조건을 가지는 다른 Case들에 비해 높은 압력차가 조성되기 때문이다. 풍향이 22.5°일 때는 a), d)와 같이 Case 2와 3의 두 개구부가 모두 수평면으로 압력차가 매우 낮게 나타나므로 전반적으로 낮은 환기량을 보인다. Case 5의 경우 풍향이 22.5°, 45° 67.5° 및 135° 180°의 다양한 풍향에 대해 가장 높은 환기량을 보이고 있으며 앞서 살펴본 Givoni의 연구에서와 같이 전방측면(22.5°~67.5°)에서 바람이 불 때 환기성능 향상 효과가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 Case 5에서 전방측면으로부터 바람이 불 경우 그림 e)에서와 같이 돌출된 창에 의해 좌·우 개구에 높은 압력차가 형성되며 모든 창이 기류의 유입과 유출을 방해 하지 않는 위치에 있기 때문이다. 이러한 압력분포는 정도의 차이는 있으나 22.5°와 45°에서 바람이 부는 경우에도 유사한 압력분포를 나타내었다. 풍향이 90°일 경우에는 Case 2가 가장 높은 환기량을 보이며 이는 바람을 등진 우측 창에는 부압이 바람을 맞는 좌측창에는 정압이 형성되기 때문이다.



각 Case별 환기량을 통해 0°부터 337.5°까지 22.5° 간격으로 16방위 풍향에 대한 환기량을 도출하였다. 16방위 풍향에 대한 평균환기량은 그림6.과 같이 나타났다. 가장 높은 평균환기율을 보인 경우는 Case 5로 Case 1의 2.42배로 나타났으며 Case 2가 Case 1의 1.5배, Case 3이 Case 1의 1.4배, Case 4가 Case 1의 1.4배로 Case 3과 비슷한 환기율을 나타내었다

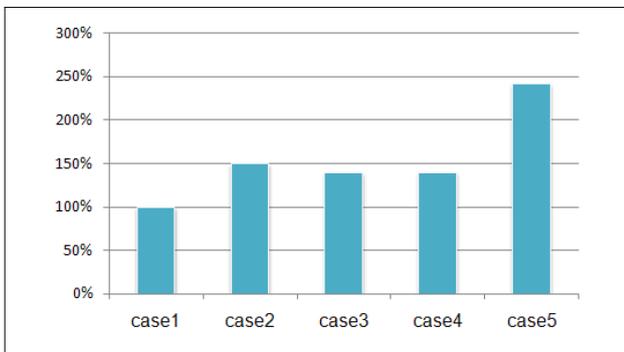


그림 6. 각 해석대상의 16방위 바람에 대한 평균환기율 비교

#### 4. 기후별 환기성능 해석

자연환기의 목적은 크게 실내공기질의 확보, 쾌적한 실내 기류 조성, 배열을 통한 냉방부하 저감의 세 가지로 정의 할 수 있으나 본 연구에서는 환기를 통한 실내발열 및 외부환경 조건에 의한 열획득에 의해 발생된 실내냉방부하의 저감만을 고려하였다. 각 Case에 대한 냉방부하 저감의 가능성을 평가하기 위해 창을 완전히 개방하여 최대환기를 하는 경우의 총 환기량을 비교하였으며 이때의 실내온도는 외기온에 근접하게 변화하므로 최대환기를 하는 조건을 외기온이 일반적으로 체실자가 쾌적하게 느끼는 온도범위인 20°C에서 26°C<sup>(15)</sup>일 경우로 정의하였다. 앞서 환기량 예측에 대한 이론적 고찰에서 살펴본 바와 같이 단면환기시 환기량은 특정 풍향의 단위 풍속에 의한 환기량과 특정 풍향에서의 풍속을 통해 예측 할 수 있다.

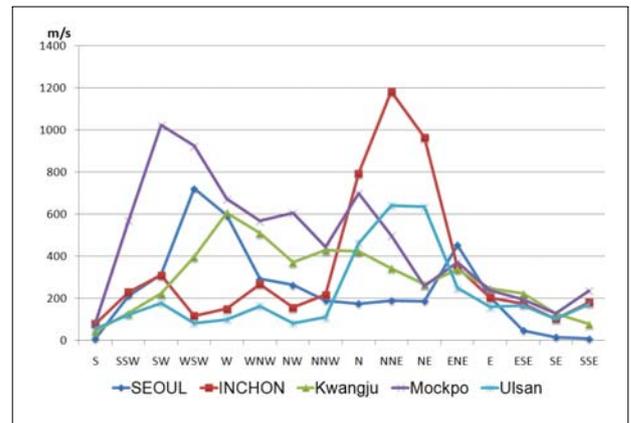


그림 7. 도시별 연중 최대환기 모드시 풍향에 따른 풍속의 합

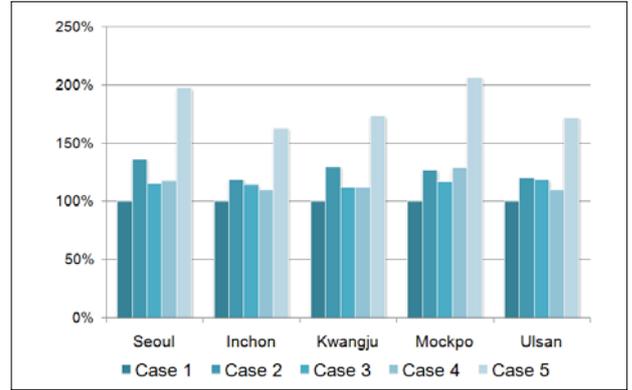
국내 5개 도시에서의 케이스별 16방위 풍향에 대한 최대환기 모드시(창을 열어 환기할 경우) 연중 총 환기량을 계산하기 위해 그림7과 같이 서울, 인천, 광주, 목포, 울산의 5개 도시의 기후데이터를 이용해 도시별 최대환기 모드 조건에서의 풍향별 연중 풍속의 합을 구하고 이에 앞서 살펴본 Case별 16방위 풍향의 단위 풍속에 따른 환기율을 곱하여 연중 총 환기량을 구하였다. 또한 근래의 탑상형 아파트에 대한 수요 증대를 고려하여 각 Case의 개구가 남향, 남동향, 남서향일 경우에 대한 환기율을 함께 고려하였다. 표2는 각 Case별 16방위 풍향의 단위 풍속에 따른 환기량을 나타낸 것이며 이 값을 식(3)에 따라 그림 7에서 표시한 서울, 인천, 광주, 목포, 울산의 5개 도시의 최대환기 모드 조건에서의 풍향별 연중 풍속의 합을 곱하여 최대환기 모드시의 연중 총 환기량을 구하였다.

표 2. Case별 16방위 풍향의 단위 풍속에 따른 환기량

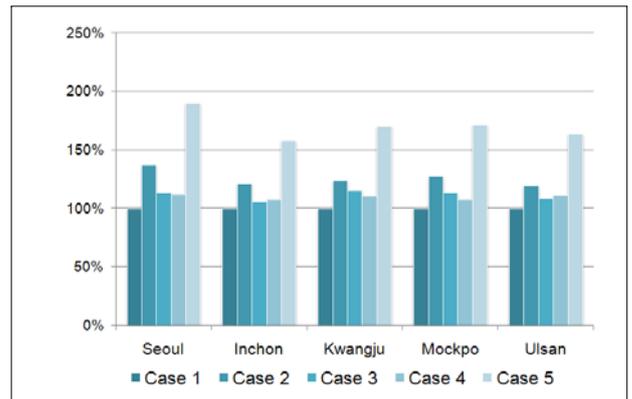
	case1	case2	case3	case4	case5
0°	18.80	22.42	52.34	52.34	27.32
22.5°	54.49	34.05	38.09	101.29	118.65
45°	53.56	58.21	57.49	92.63	125.24
67.5°	16.47	71.29	60.39	32.00	145.58
90°	55.78	66.00	52.34	45.73	44.77
112.5°	37.11	33.11	33.68	27.01	38.54
135°	28.87	34.93	22.85	33.73	46.84
157.5°	28.20	33.09	20.95	33.90	14.14
180°	12.76	22.60	16.30	16.30	34.36
202.5°	28.20	33.09	33.90	20.95	14.14
225°	28.87	34.93	33.73	22.85	46.84
247.5°	37.11	33.11	27.01	33.68	38.54
270°	55.78	66.00	45.73	52.34	44.77
292.5°	16.47	71.29	32.00	60.39	145.58
315°	53.56	58.21	92.63	57.49	125.24
337.5°	54.49	34.05	101.29	38.09	118.65

그림8은 5개 도시에서의 개구부 향에 따른 Case 1에 대한 Case2, 3, 4, 5의 연중 총 환기량의 비를 나타낸 것이다. 각 Case의 개구부가 남향일 경우 서울에서는 Case 2가 136.03%, Case 3이 115.29%, Case 4가 117.80%, Case 5가 196.74%로 나타났으며 정도의 차이는 있으나 인천, 광주, 목포, 울산에서도 Case 5가 가장 높은 환기량을 보였으며, 목포를 제외한 4개 도시에서 Case 2가 두 번째로 높은 환기량을 나타내었다. 남동향일 경우에는 서울에서는 Case 2가 137.44%, Case 3이 113.33%, Case 4가 112.54%, Case 5가 189.77%로 나타났으며 나머지 4개 도시에서도 Case 5가 가장 높은 환기량을 Case 2가 두 번째로 높은 환기량을 보이는 유사한 추이를 나타내었다. 남서향일 경우에는 서울에서 Case 2가 107.03%, Case 3이 115.93%, Case 4가 141.49%, Case 5가 195.90%로 나타났다. 목포는 서울과 가장 유사한 추이를 보였으며 인천과 울산은 Case 5가 가장 높고 Case 2가 두 번째로 높은 환기량을 광주는 Case 5가 가장 높고 Case 4가 두 번째, Case 2가 세 번째로 높은 환기량을 나타내었다.

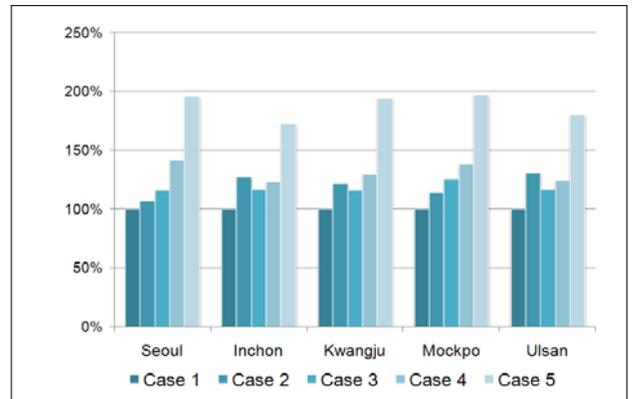
표3은 개구부 방향에 따른 Case 1에 대한 Case2, 3, 4, 5의 5개도시 평균 환기량의 비를 표시한 것이다. Case 2는 개구부의 방향이 남동향일 가장 높은 환기량을 보였으며 Case 3은 남향에서 Case 4와 5는 남서향일 경우 가장 높은 환기량을 나타내었고 Case 5가 각 향에서 가장 높은 환기량을 나타내었다.



a) 남향일 경우



b) 남동향일 경우



c) 남서향일 경우

그림 8. 각 해석대상의 도시별 건물의 향에 따른 연간 평균환기율 비교

표 3. 개구부 향에 따른 Case별 5개도시 평균 환기량 비교

	남향	남동향	남서향
Case 1	100.00%	100.00%	100.00%
Case 2	119.91%	125.80%	120.27%
Case 3	118.36%	111.41%	118.15%
Case 4	109.55%	110.13%	131.39%
Case 5	171.79%	170.54%	187.94%

## 5. 결론

건물 외부로 열리는 케이스먼트 창호를 사용할 경우 슬라이딩 창호를 사용할 때 보다 더 높은 자연환기 성능을 보였으며 이러한 케이스먼트 창호의 자연환기성능 향상은 윈월효과에 의해 나타나게 된다. 특히 Case 5와 같이 양쪽 창이 중앙을 향해 열리는 케이스먼트 창호를 사용할 경우 자연환기성능이 월등히 높게 나타나는 것을 확인하였으며 국내 5개 도시의 기후조건에 따른 최대환기시 연중환기량을 비교한 결과 슬라이딩 창호에 대해 약 1.8배의 자연환기성능 향상효과가 있음을 본 연구를 통해 알 수 있었다.

이러한 윈월효과를 이용한 케이스먼트 창호의 개폐방식을 실제 건물에 적용하여 자연환기성능을 향상시킴으로써 자연환기를 통한 냉방부하를 효과적으로 저감할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 테스트 셀과 연중 총 환기량을 대상으로 냉방부하 저감의 가능성에 대해 살펴보았으나 이 후 연구에서는 이를 실제 건물에 적용할 경우의 냉방부하 저감 효과에 대해 확인할 필요가 있겠다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음.

(R11-2005-056-02001-0)

본 연구는 건설교통부 건설혁신기술연구개발사업의 연구비 지원(06건설핵심B02)에 의해 수행되었음. (06건설핵심B02)

## 참고문헌

1. Givoni B., 1962, Basic study of Ventilation Problems in Housing in Hot Countries, Research Report to the Ford Foundation, Isael: Building Research Station, Israel Institute of Technology.
2. Givoni B., 1962, Ventilation Problems in Hot Contries, Research Report to the Ford Foundation, Israel: Building Research Station, Israel Institute of Technology.
3. P.j. Jones, G.E. Whittle, 1992, Computational Fluid Dynamics for Building Air Flow Prediction-current status and capabilities, Building and Environment, Vol. 27, No. 3, pp. 321-338.
4. J.L. Nju, J.V.D. Kooi, 1992, Two-dimensional Simulation of the Air Flow and Thermal Comfort in a Room with Open-window and cooling systems, Energy and Building, Vol. 18, No. 1, pp. 65-75.
5. W.K. Chow, 1996, Application of Computational Fluid Dynamics in Building Services engineering, Building and Environment, Vol. 31, pp. 425-436.
6. Q. Chen, J. Srebric, 2000, Application of CFD Tools for Indoor and Outdoor Environment Design, International

- Journal on Architectural Science, Vol. 1, pp. 14-29.
7. G. Gan, S.B. Riffat, 1997, Naturally Ventilated Buildings with Heat Recovery: CFD Simulation of Thermal Environment, Building Services Engineering Research Technology, Vol. 18, No. 2, pp. 67-75.
8. H.B. Awbi, 1989, Application of Computational Fluid dynamics in room ventilation, Building and Environment, Vol. 24, No. 1, pp. 73-84.
9. S. Murakami, et al., 1999, CFD Analysis of Wind Climate from Human Scale, Journal of Wind Engineering and Industrial Aero-dynamics, Vol. 81, pp. 57-81.
10. C.T. Kiranoudis, et al., 2000, Numerical Simulation of Air Flow Field in Single-Sided Ventilated Buildings, Energy and Buildings, Vol. 33, No. 1, pp. 41-48.
11. C. Alloca, Q. et al., 2002, Design Analysis of Single-sided Natural Ventilation, Energy and Building, Vol. 1534. pp. 1-11.
12. Kim, T. et al., 2005, Study on Indoor Thermal Environment of Office Space Controlled by Cooling Panel System Using Field Measurement and the Numerical Simulation, Building and Environment, Vol. 40, pp. 301-310.
13. Lee, J.H., et al., 2005, A Study on the Air Flow Characteristics in an Apartment Complex and Ventilation Performance of an Individual Unit for Improving IAQ, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 5, No. 3, pp. 11-16.
14. Kim, T., 2004, Analysis of Contribution Ratio of Pollutant Sources to Indoor Air Quality, Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 2, pp. 209-216.
15. SAREK Handbook(Fundamentals), 2004, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea.