

공동주택 단지의 실내 공기질 향상을 위한 수치 해석적 연구

A numerical Study for Improvement of Indoor Air Quality of Apartment House

신미수 · 김혜숙 · 홍지은 · 장동순 †
 Mi-Soo Shin, Hey-Suk Kim, Ji-Eun Hong, Dong-soon Jang †

충남대학교 환경공학과
 Department of Environmental Engineering, Chungnam National University

(2009년 4월 13일 접수, 2009년 6월 30일 채택)

ABSTRACT : This study has been made to execute a research in order to lead the improvement of indoor air quality, examining the indoor ventilation characteristics by using a numerical analysis method. To this end an extensive parametric investigation are made according to various external flow variables such as main wind direction and wind speed by season, building layout design, and location of ventilators, etc. in Daedeok Techno Valley, one of large-scaled apartment in Daejeon. It is observed there was a significant difference of main wind direction between summer and winter. The main wind direction in summer was a south wind, and on the contrary the direction in winter is northnorthwest, which is similar to the average main wind direction for 10 years. One of the important calculation results is that the change of wind direction causes a significant effect on the apartment ventilation by the change of pressure difference around each complex of apartment. In case of favorable area of ventilation, the indoor ventilation rate can meet 0.7 ACH from the standard value only with natural ventilation. On the contrary, in other area the value was much lower than the standard value. If the calculation result applies to the design of layout apartment or placement of ventilators, it will be greatly helpful to the energy saving because it can be parallel with the natural ventilation to help securing ventilation rate, not much depending on the mechanical ventilation.

Key words : Indoor air quality, Natural ventilation, ACH, Numerical simulation

요약 : 본 연구에서는 대전의 대규모 공동주택단지의 하나인 대덕테크노 벨리의 계절별 주풍향 및 풍속, 건물배치, 환기구 위치 등 다양한 외부 유동 변수에 따른 실내 환기 특성을 수치 해석적 방법을 활용하여 연구함으로써 실내 공기질 향상에 일조하기 위해 연구를 수행하였다. 계절별 주풍향은 여름과 겨울에 큰 차이를 나타냈는데, 여름철의 경우 주풍향은 남풍이며, 겨울철의 경우 주풍향은 10년 평균 주풍향과 동일한 북북서풍으로 나타났다. 풍향이 변화함에 따라 최대 압력차가 나타나는 단지도 변화하였으며 그에 따라 환기에도 차이를 나타냈다. 내부 환기량은 환기 우수지역의 경우는 자연환기만으로 기준치인 시간당 0.7ACH를 만족하였으나 환기 취약지역의 경우는 자연환기만으로는 기준치를 만족시키지 못하여 부수적으로 기계 환기를 병행해야 하는 것으로 나타났다. 이러한 외부유동 변화에 따른 내부 환기량의 연구결과를 바탕으로 향후 아파트의 배치나 환기구 위치 선정에 응용한다면 환기량 확보에 일조하여 기계환기에만 의존하지 않고 자연환기와 병행이 가능하므로 에너지 절감에 도움이 될 것으로 판단된다.

주제어 : 실내 공기질, 자연환기, 환기회수, 수치해석

1. 서론

최근 공동주택은 대도시를 중심으로 고층화가 급속히 진행되고 있으며, 에너지 절약 설계기법 등으로 고단열, 고기밀화가 됨에 따라 자연 환기 성능이 저하되고 있는 실정이다. 또한 근래 국민의 삶의 질 향상과 그에 따른 주거 공간의 질적 수준 향상에 따라 실내 공기오염에 대한 국민들의 인식이 높아지고 사회적, 기술적 이슈가 되고 있다.

신선한 공기의 유입과 내부 열과 습기의 이동을 위해 거주공간에 대한 환기가 필요하며 이러한 자연환기는 건축물의 개구부를 통하여 인위적인 기계장치 없이 외부 공기

가 실내로 유입, 유출되는 순환 현상으로 공조를 필요로 하지 않거나 불가능한 공간에 대하여 효과적이면서도 에너지 절약적인 방법이다. 자연환기는 실내의 온도와 오염물을 효과적으로 제어할 수 있으며, 특히 자연환기에 의한 온도조절은 기계적인 환기를 적용할 수 없는 경우 유일한 냉방의 수단으로써 종종 이용된다.¹⁾

일반적으로 자연환기는 건물의 형태와 풍향, 풍속 등에 영향을 받으며 건물 내 혹은 건물 전체에 대하여 다음과 같은 물리량을 산출하면 환기량 산정이 가능하다.

- 지역별 풍속과 풍향
- 실내·외 온도차

* Corresponding author : E-mail : p_dsjang@cun.ac.kr Tel : 042-821-6677 Fax : 042-823-8362

- 계절별 풍향에 대한 공동주택 전체에 대한 압력 분포
- 모든 개구부의 위치 고려 및 유동 특성

이와 같이 자연환기의 중요성은 이미 과거의 문화유산의 보존의 예에서도 찾아볼 수 있다. 우리 선조들은 우리 민족의 중요한 문화유산 중의 하나인 팔만대장경을 보존하기 위한 판고를 건축할 때, 반영구적인 보존을 위하여, 슬기롭게 주위의 자연환경과 건물의 구조를 적절히 배치하고 설정함으로써 자연환기를 효과적으로 이용하였다. 판고의 위치는 해인사 대웅전 전면 골짜기를 타고 오르내리는 자연 대류의 영향을 가장 받기 좋은 지대에 위치하고 있다. 판고 주위의 담장의 높이를 조사한 기록에 의하면 판고 전면 방향의 담방 높이는 1.25 m이고, 반대쪽인 북동 방향 산에 면한 담장의 높이는 2.5 m이며, 남동 측면의 담장 높이는 2.1 m로 보고되어 있다. 이전의 연구에 의하면 담장 높이를 균일하게 설치한 경우보다 원래의 담장높이 일때 환기가 최적인 것으로 나타났다.^{2, 3)} 이와 같이 우리의 선조들은 기계적인 공조장치 없이도 자연환기를 이용하여 적합한 실내 환경을 조성하여 우리의 문화재를 잘 보존할 수 있었다.

본 연구에서는 대전의 대규모 공동주택단지의 하나인 대덕 테크노밸리의 공동주택을 대상으로 지역별 풍향, 풍속 등 외부 유동여건이 실내 환기에 미치는 영향 및 아파트 배치 및 환기구 위치 등이 실내 환기에 미치는 영향을 수치 해석적 연구방법을 활용하여 체계적인 변수연구를 통하여 수행하고자 한다.

현대에는 예전과는 다른 환경에 놓여 있지만 조상들이 이용했던 자연환기를 응용하여 공조장치와 더불어 사용한 다면 쾌적한 실내 환경을 조성하는 데에 많은 도움이 되리라 사료된다.

2. 연구 방법

CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용한 수치해석 방법은 고려가 가능한 요소들을 반영하여 모형실험보다 경제적으로 결과를 얻을 수 있는 이점이 있어 상대적으로 짧은 시간에 효과적인 결과를 예측할 수 있으며 이를 적용한 평가가 많이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 이러한 CFD를 이용하여 자연 환기량을 분석하였으며 대표적인 물리량 보존법칙인 질량보존의 법칙과 운동량 보존의 법칙으로부터 도출한 다음의 연립편미방정식을 지배 방정식으로 채택하였다.

2.1. 일반 지배방정식

질량, 운동량, 에너지, 난류운동에너지 등에 대한 일반 지배방정식은 다음과 같이 표현되며 단위체적당 시간에 따른 물리량의 변화는 유동 및 확산항 그리고 단위체적당 생성항의 합으로 나타난다.³⁾

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \vec{u} \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi \quad (1)$$

nsteady convection diffusion source

여기서 ϕ 는 단위질량당 일반속속변수로서 x, y, z 방향의 속도, 온도, 농도, 난류운동에너지 등을 나타내며 Γ 는 확산계수, S_ϕ 는 생성항을 나타낸다.⁴⁾

난류 유동장을 해석하기 위하여 속도 성분 u, v, w 에 대해 순간 운동방정식을 시간 평균한 값을 이용하였고, $k-\epsilon$ 모델을 적용하였으며, 난류점성계수 μ_t 는 아래식 (2)와 같은 Prandtl-Kolmogorov 관계식에 의해 단위 질량당의 난류에너지 k 와 난류에너지 소산율 ϵ 을 이용하여 표현하였다.

$$\mu_t = \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (2)$$

위의 식 (1)의 2차 편미분 방정식은 검사체적에 기초한 유한 차분방법을 사용하였으며 운동량 방정식에 나타나는 속도와 압력의 연계는 SIMPLEC(Semi-Implicit Method for Pressure Linked Consistent) 알고리즘을 사용하였다. 벽면 등의 경계조건은 Fig. 4에 나타난 것처럼 주 풍향 방향쪽을 입구조건으로 하여 평균 풍속을 유입 속도로 주었으며 천장면을 포함한 나머지 면은 내부 유동

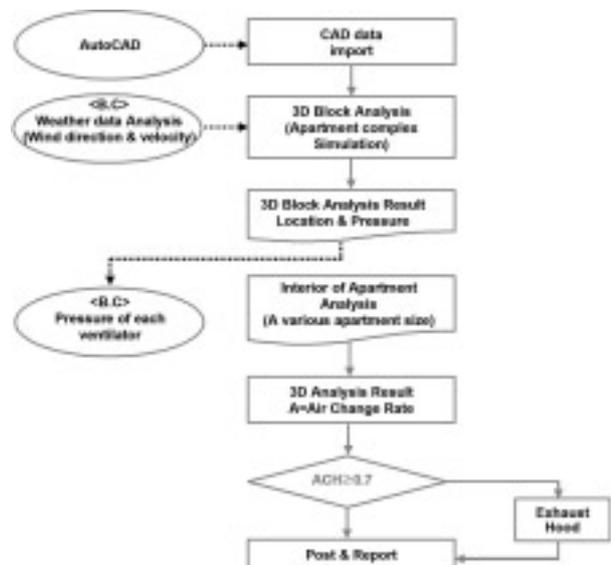


Fig. 1. Numerical simulation process.

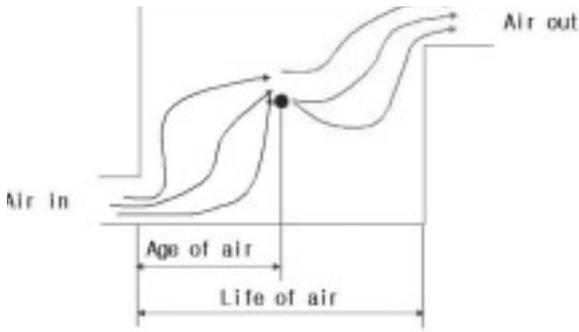


Fig. 2. Mean age of air.

계산 결과에 따라 유출입이 결정되는 pressure B.C. 조건을 주었다.

2.2. 단지 풍압분포 해석 및 세대별 자연환기 성능 해석

특정 지역에 있어서의 자연환기 성능은 그 지역의 기후 조건과 밀접한 관련을 가지며 그 지역의 주풍향 및 평균풍속의 영향을 받는다. 이와 함께 대상단지가 위치하는 지역의 지형적 특성, 단지의 형상은 각 세대의 환기성능을 결정하는 주요 인자가 되므로 이에 대한 분석을 위하여 분석 대상이 되는 주거단지 전체에 대한 풍압분포 해석을 선행한다.

- 기상청 data 분석을 통한 주풍향 및 평균풍속 도출
- CAD 도면을 기준으로 대상 단지에 대한 3D modeling
- 도출된 외부 풍향/풍속을 경계조건으로 CFD simulation 수행
- 각 대상 세대 타입에 따른 풍압성상 분석

단지별 풍압분포 결과로부터 아파트 내부 환기성능 평가를 위한 경계조건을 설정하고 단위세대 타입별로 수치 해석을 수행한다.

위의 수치 해석적 방법을 활용한 일련의 해석과정 도식도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.3. 공기령 산정

실내의 적절한 공기질을 유지하기 위하여 환기가 필요하며 이에 대한 적정 평가를 위해 다수의 지표들이 연구되었다. IEA(International Energy Agency)의 산하기관인 AIVC(Air Infiltration and Ventilation Centre)는 Technical Note 28 “A Guide to Air change Efficiency”에서 공기령을 기준으로 하는 환기 지표를 제안하였으며 이는 유럽을 비롯하여 가까운 일본 등에서도 널리 사용되는 지표이다. 공기령(age of air)은 환기를 위하여 급기구에서 공급된 공기가 임의의 점 P에 도달하는데 걸리는 시간으로 정의되며, 임의의 지점 P로부터 실외로 배

기되기까지의 경과 시간을 잔여수명(residual life time)이라 한다. 체류시간(residence time)은 실내 배기구 지점에서의 공기연령으로 정의하며 임의의 지점 P에서의 전체 도달 공기분자의 평균도달 시간이 P점에서의 국소 평균 공기령(local mean age of air)이다. 실내의 임의 지점에서의 국소 평균 공기령과 국소평균잔여수명의 합은 같으며, 국소 공기령은 특정의 점 P에 대한 값이므로 이것을 공간의 모든 점에 대하여 구하면 그 공간의 평균 공기령(mean age of air)이 된다.

환기되는 실내의 명목시간상수(nominal time constant)는 다음과 같이 결정되며, 물리적으로 주어진 실내의 공기를 명목상 한 번 환기하는데 걸리는 시간을 의미하고 이 역수는 환기횟수(ACH : Air Change per Hour)와 동일하다.

$$\tau_n = \frac{Volume}{Volume\ Flowrate} \quad (3)$$

3. 연구결과 및 토론

3.1. 외부 풍압산정

대전 지역의 10년간 평균 풍배도는 Fig. 3에 나타냈으며, 동지역의 바람 분포 특징은 북북서풍 계열의 바람이 주방향으로 지배적인 분포를 보이고 있다. 주풍향인 북북서풍은 전체 발생빈도의 12.1%를 차지하고 있으며 그 다음으로는 북서풍으로 9.1%의 발생빈도를 갖는 것으로 평가되었다. 또한 대전지역의 10년간의 연평균 풍속은 1.96 m/s로 나타났으며 본 연구에서 공동주택단지 해석시 주풍

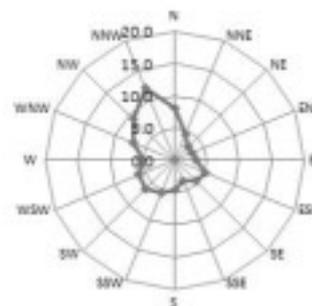


Fig. 3. Wind rose of Daejeon.

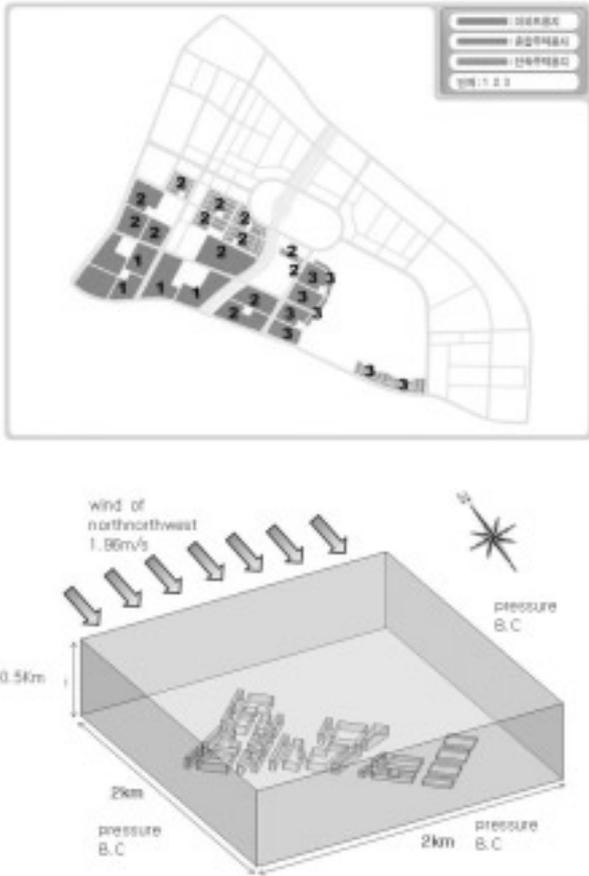


Fig. 4. Calculation domain and Boundary condition of residential land in Daedeok Techno Valley.

향에 대하여 풍속을 1.96 m/s로 정하여 수행하였다. 자세한 방위별 발생빈도는 Table 1에 나타내었다.

기존에 확보한 아파트 단지의 도면을 대상으로 외부유동 해석을 수행하였다. 주 풍향인 북북서풍에 대하여 건물의 wind effect에 대한 수치해석을 수행하였다.

Fig. 4는 대덕테크노밸리의 공동주택 단지과 혼합주택 단지 등을 포함한 주거단지를 나타냈으며, 또한 해석대상 영역과 경계조건을 나타낸 것이다. 대덕 테크노밸리 공동주택단지의 도면을 확보하여 아파트 건물 형태 즉, 탑상형과 판상형 등을 고려하여 계산영역에 포함하였다. 또한 계

Table 1. Wind data of Daejeon(1998~2007)

풍향	N	NNE	NE	ENE	
발생빈도	8.2%	4.2%	2.9%	2.9%	
풍향	E	ESE	SE	SSE	
발생빈도	3.3%	5.1%	4.6%	3.4%	
풍향	S	SSW	SW	WSW	
발생빈도	4.6%	5.5%	6.4%	6.0%	
풍향	W	WNW	NW	NNW	Calm
발생빈도	5.0%	6.9%	9.1%	12.1%	9.9%

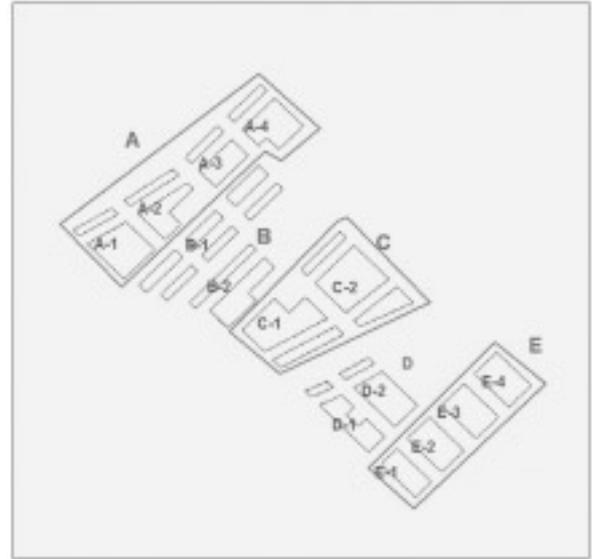


Fig. 5. A section of residential land.

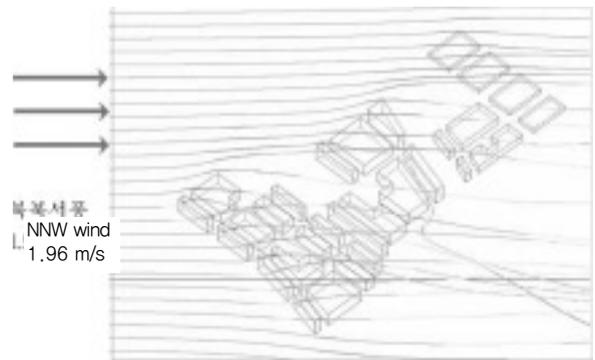


Fig. 6. A streamline of residential land (10 m height).

산영역의 경계조건도 표시하였다. 아파트의 높이는 건축지침서에 나온 층수제한을 바탕으로 한 층당 일반적인 높이인 2.7 m로 하여 탑상형은 25층으로 67 m, 판상형은 20층으로 54 m, 그 외 단지 지구별 층수 제한에 따라 40 m, 32 m, 19 m로 설정하였다. Inlet boundary에는 북북서풍 방향의 면 전체에서 균일하게 공기가 유입된다고 가정하였으며 나머지 면은 Pressure boundary로 설정하여 풍압에 의해 자연스럽게 빠져나가도록 설정하였다. 건축법에 의해 환기성능을 평가할 때에는 평균 외기온도가 20℃ 이상이어야 하는 기준에 맞추어 20℃로 설정하였다. 계산영역의 높이는 지표 마찰의 영향을 거의 받지 않는 높이 500 m로 설정하였다.

Fig. 5는 원활한 결과의 서술을 위하여 공동주택단지를 임의로 몇 개의 지구로 나누어 나타낸 것이다. 대상 단지의 외부풍속은 10년 평균 풍속 1.96 m/sec로 상대적으로 풍속이 낮은 지역에 속하며 세대에서의 환기력 형성에 불

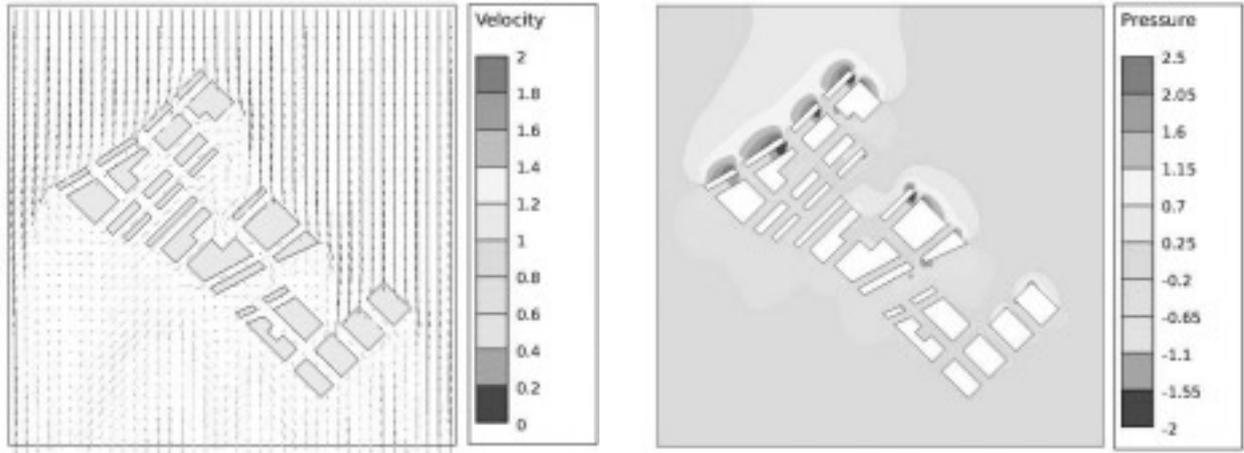


Fig. 7. Calculation of velocity vector and pressure distribution (10m height).



(a) summer

(b) winter

Fig. 8. Wind rose of Daejeon with season.

리하다. 단지의 기류흐름은 Fig. 6과 같이 풍하방향에 위치한 동의 주변을 제외하고는 저속의 완만한 흐름이 원활하게 유지되고 있으며 바람 방향의 전, 후면에 비교적 높은 흐름이 유지되고 있다. 북북서측에서 남남동측으로 바람길이 형성되고 있으며 바람 방향의 전후면에 비교적 높은 흐름이 유지된다. 각 주동의 모서리에서 박리가 형성되며 외곽으로의 흐름의 풍속이 증가한다. 각 주동의 후면에 와류 영역이 형성되어 복잡한 기류 패턴이 형성되나 그 영역이 크지 않아 비교적 원활한 흐름이 형성되었다.

Fig. 7은 단지내부의 10 m 높이에서 유속 및 압력분포를 나타낸 결과인데 단지에서 풍하방향으로는 평균풍속보다 속도가 작은 1~1.3 m/s 정도의 속도를 나타냈으며, 압력분포는 주 풍향과 연직 하는 A지구의 풍상면 부분에서 양압대가 형성되고 있으며 양압대의 후면으로 강한 부압대가 형성된다. 기류가 유입되는 북서측의 전면을 제외하고 주택단지의 외측으로는 비교적 균일한 낮은 압력대

가 형성되는 것을 볼 수 있다. 후류 영역에 위치하는 단지는 전면과 후면의 압력 차이가 크지 않아 자연환기에 불리할 것으로 판단된다. 분석 평면상에서 최대풍압 2.8 Pa, 최소풍압 -2.5 Pa의 분포를 나타냈다.

같은 방법으로 계절별 외부 압력차와 환기우수세대 및 환기 취약세대를 계산하였다. 계절별 기상데이터는 최근 10년 평균보다 3년 평균을 사용한 경우 현저한 차이를 나타내서 3년 평균 데이터를 활용하였다. 3년 평균 계절별 바람장미는 Fig. 8에 나타내었다. 계절별 평균 풍속은 큰 차이가 없었지만 Fig. 9에 나타난 바와 같이 겨울철과 여름철의 경우 주 풍향이 다르기 때문에 양압대와 부압대가 반대로 설정되어 그에 따라 내부유동에도 영향을 줄 것으로 판단된다.

내부 환기량의 산정에 앞서 외부유동을 바탕으로 지역별 환기 우수세대와 환기 열악세대를 선정하였다. 보통 자연 환기량은 외부 유동에 의해 형성되는 압력차에 의해 결

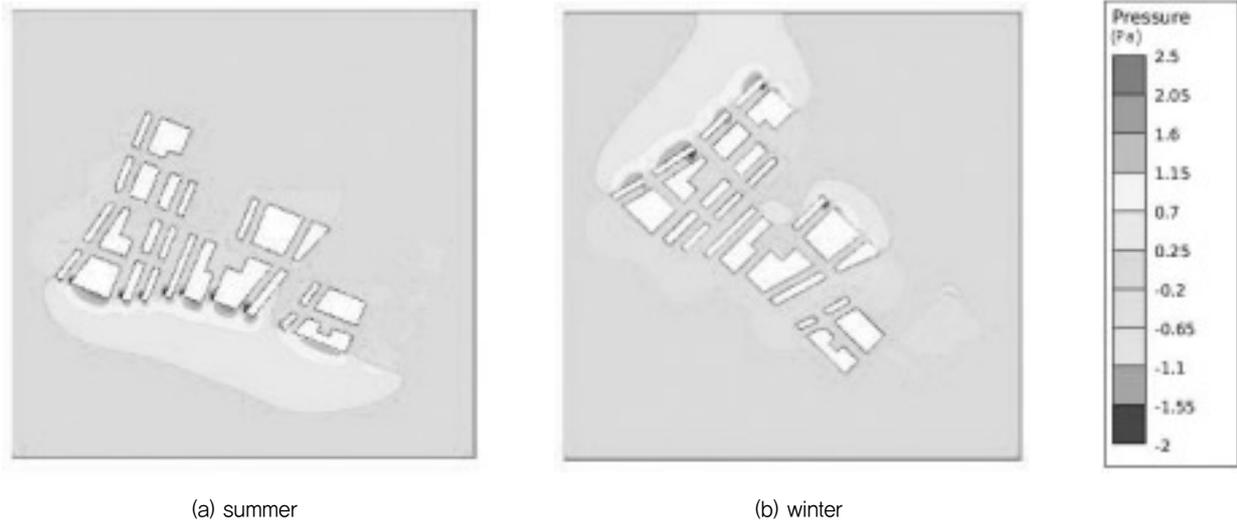


Fig. 9. Pressure distribution for each season with change of main wind.

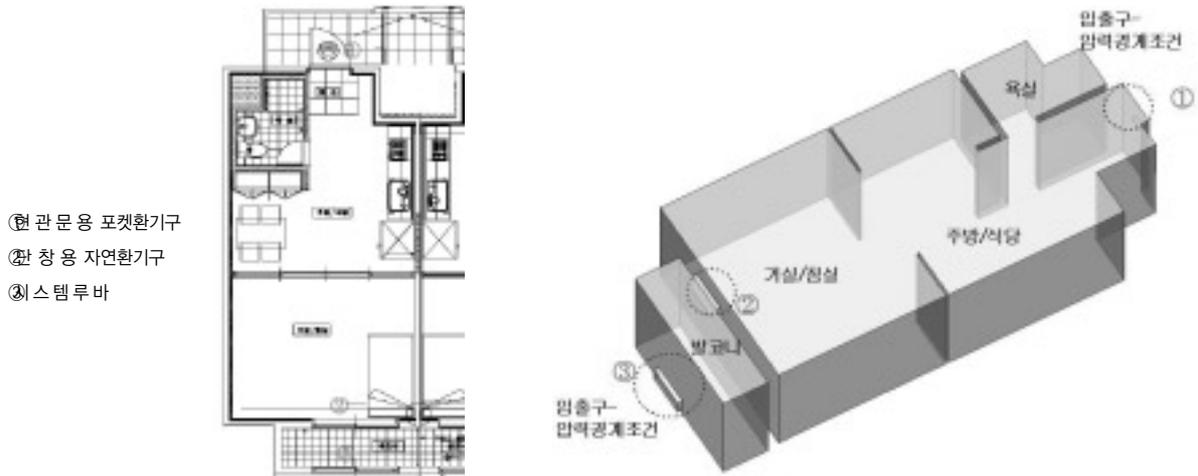


Fig. 10. Calculation model (33 m² type).

정되므로 압력차가 가장 크게 발생하는 환기 우수세대와 압력차가 가장 적게 발생하는 환기 취약세대를 선정하였다. Table 2에 10년 평균 기상데이터를 기준으로 계산한 외부 압력차 및 환기우수세대와 환기 취약세대를 표시하였다. Table 2에 나타난 압력차를 경계조건으로 하여 각 공동주택 평형별로 적용하여 내부 환기량을 산정하였다.

3.2. 내부 환기량 산정

환기량은 그 정의와 같이 일정 체적을 가지고 있는 실내로의 유입유량과 유출유량의 평균으로 산정되며 일반적으로 수치해석을 통하여 계산된 환기량은 개구부에서의 속도 성분을 합산하여 다음의 식과 같이 산정할 수 있다.⁵⁾

$$Q_{mean} = \frac{1}{2} \sum_{j=ja}^{jb} \sum_{k=ka}^{kb} |U_{j,k}| \Delta x_j \Delta x_k \quad (4)$$

- Q_{mean} mean ventilation rate
- $U_{j,k}$ mean velocity normal to x_j, x_k plane
- Δx_j the grid size in the x_j direction
- Δx_k the grid size in the x_k direction

앞에서 산정된 단지 내 풍압분포를 경계조건으로 하여 CFD 시뮬레이션을 수행하여 환기량을 예측하였으며, 상기의 식을 적용하여 각 개구부에서의 유동유량을 구하고

Table 2. A calculation of ΔP of each season

		풍상방향 압력(Pa)	풍하방향 압력(Pa)	압력차 (ΔP)	지구	풍속 (m/s)	주풍향
최근 10년 평균 (1998~2007)		ΔP 최대	1.84	-1.4	3.24	A-2	1.96 북북서
		ΔP 최소	-0.64	-0.74	0.1	B-1	
계절별	여름	ΔP 최대	1.3	-0.38	1.68	C-1	1.77 남
		ΔP 최소	-0.08	-0.12	0.04	A-4	
	겨울	ΔP 최대	1.37	-1.07	2.44	A-2	1.71 북북서
		ΔP 최소	-0.36	-0.39	0.03	B-1	

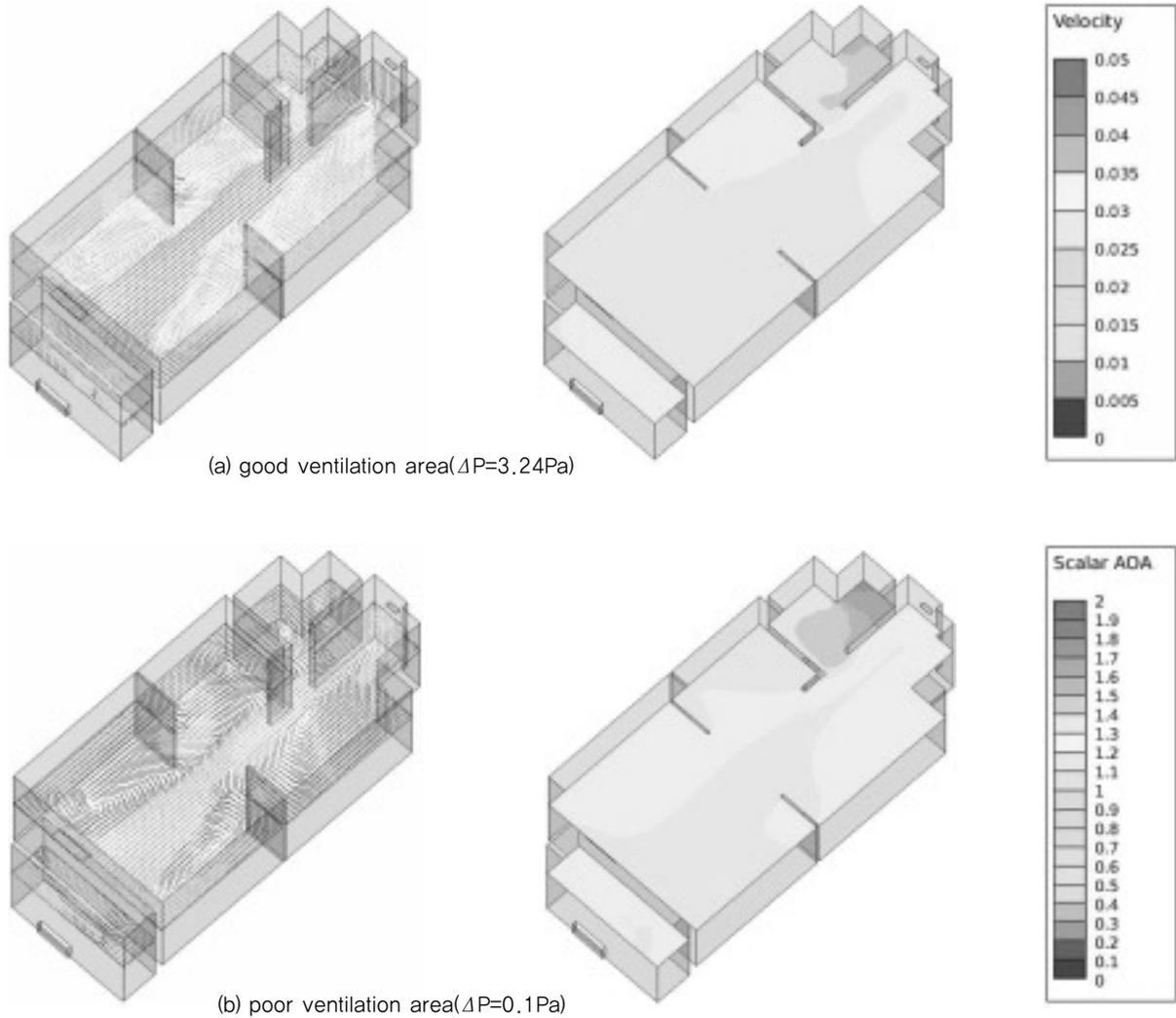


Fig. 11. Calculation of velocity vector and age of air(33 m² type).

환기량을 산정하였다. 각 세대의 시간 당 환기회수는 이 결과값을 모델링된 실의 체적에 대한 비로 환산하여 구하였다.

공동주택의 다양한 평형대 중에 우선 국민 임대 주택형 평형인 33 m²형과 59 m²형에 적용하여 수행하였다. 각각의 면적에 대한 일반적인 아파트의 내부구조 및 환기구 자료를 적용하여 수행하였는데 자세한 도식도는 아래의 Fig. 10에 나타내었으며 경계조건은 Table 3에 나타내었다.

3.2.1. 33 m² 형 (국민 임대 주택형)

대상 세대별로 압력차가 가장 큰 경우와 가장 작은 경우에 대하여 환기량을 계산하였다. 외부로부터 환기는 전면 에 설치된 발코니의 시스템 루바와 단창용 수평환기구 및 후단부의 현관 부분 자연환기구를 통해서 외기의 유동 경로가 형성되며, 전 후면의 압력차는 각각 3.24 Pa와 0.1 Pa로 가정하여 내부 환기량을 계산하였다.

대상 세대에 대하여 착석 시 호흡면 높이에 해당하는 0.9 m, 서 있는 경우에 해당하는 1.5 m 및 수평형 환기창 이 위치한 높이인 2.1 m 단면에서의 실내 속도 분포 및 공기령 분포를 산정하였는데 결과 그림에는 1.5 m 높이에 대한 결과만 나타내었다. 대상공간은 산정된 환기회수를 기준으로 하여 공기령 (age of air) 분석을 하였으며 평균 공기령 (local mean age of air)을 명목시간정 (nominal time constant)로 무차원화 시킨 공기령 분포로 표현하였다. 33 m²의 경우 다른 세대에 비해 면적이 작은 국민 임대 주택이고, 거실에서 주방으로 이어지는 내부가 거의 원 름 형태이므로 유동 경로가 비교적 단순하여 내부 전공간의 공기령의 분포가 다른 세대에 비해 비교적 고르게 나타났다.

환기회수의 기준으로 제시되고 있는 것은 0.7ACH로 시간당 환기회수가 0.7ACH 이상이면 기계적인 환기가 필요치 않고 자연환기만으로도 충분히 환기량을 만족시킬 수

Table 3. A ventilation system of boundary condition (33 m² type)

항 목	위치	free area (m ²)	경계조건(환기취약지역)	경계조건(환기우수지역)	비 고
① 현 관 문 용 포켓환기구	현관	0.015	-0.64 Pa	1.84 Pa	외부경계조건
② 단 창 용 자연환기구(침실1)	거실/침실	0.018	-	-	유동경로
③ 시 스템 루버	발코니	0.32	-0.74 Pa	-1.4 Pa	외부경계조건

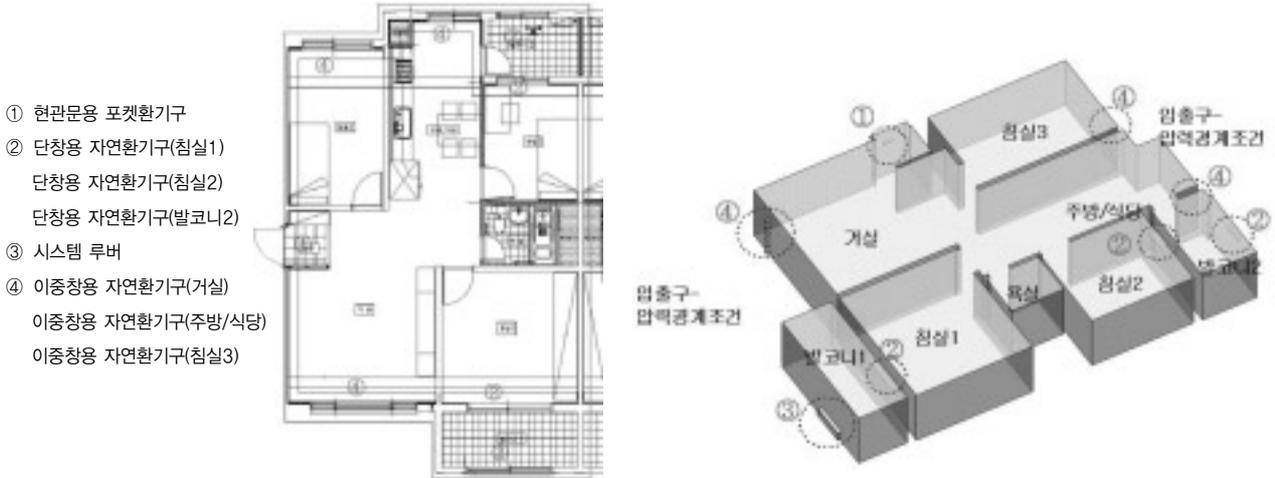


Fig. 12. Calculation model (59 m² type).

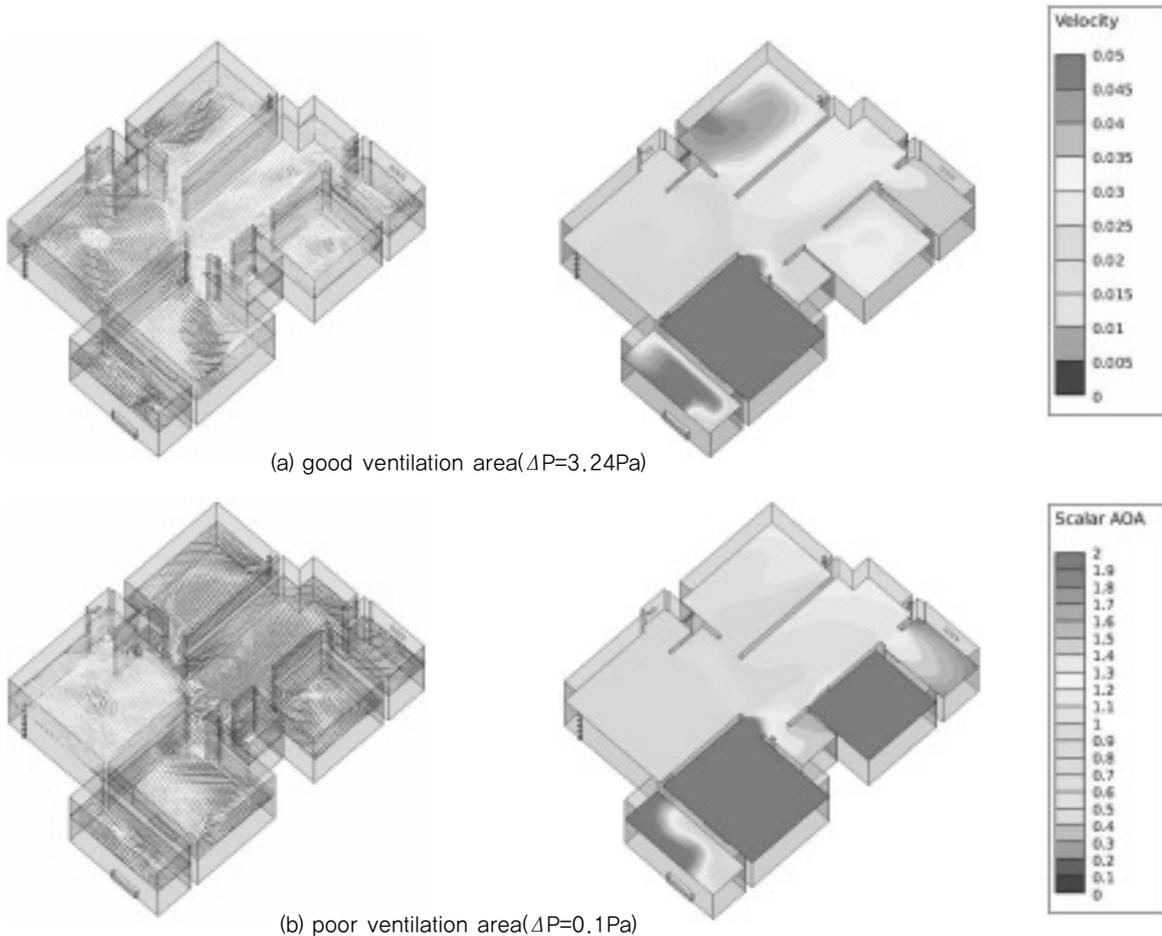


Fig. 13. Calculation of velocity vector and age of air (59 m² type).

Table 4. Natural ventilation capacity of 33 m² type

항 목	Δp = 3.24Pa			Δp = 0.1Pa			
	①현 관	②단 창	③루 버	①현 관	②단 창	③루 버	
free area(m ²)	0.013	0.018	0.31	0.013	0.018	0.31	
유동유량(m ³ /sec)	-0.03	-	0.03	-0.0043	-	0.0043	
평균면풍속(m/sec)	2.31	-	0.097	0.33	-	0.014	
유동유량(m ³ /hr)	-108	-	108	-15.48	-	15.48	
환기량(m ³ /hr)	108	세대체적(m ³)	93.9	환기량(m ³ /hr)	15.48	세대체적(m ³)	93.9
환기회수(ACH)	1.15	환기성능	기준만족	환기회수(ACH)	0.16	환기성능	기준불만족

* 숫자 앞의 부호는 입출구면에서의 방향성을 나타낸다. -부호는 유입되는 양을 의미하고, +부호는 유출되는 양을 의미함

Table 5. A ventilation system of boundary condition (59 m² type)

항 목	위치	free area (m ²)	경계조건 (환기열악지역)	경계조건 (환기우수지역)	비 고
①현 관 용 포켓환기구	현관	0.015	-	-	유동경로
②단 창 용 자연환기구	침실1	0.021	-	-	유동경로
단창용 자연환기구	침실2	0.012	-	-	유동경로
단창용 자연환기구	발코니2	0.012	-0.74 Pa	-1.4 Pa	외부경계조건
③시 스템 루바	발코니1	0.36	-0.64 Pa	1.84 Pa	외부경계조건
④이 중 창 용 자연환기구	거실	0.039	-0.64 Pa	1.84 Pa	외부경계조건
이중창용 자연환기구	침실3	0.02	-0.74 Pa	-1.4 Pa	외부경계조건
이중창용 자연환기구	주방	0.02	-0.74 Pa	-1.4 Pa	외부경계조건

Table 6. Natural ventilation capacity of apartment house with each case

	단위세대	ΔP		세대체적(m ³)	환기량(m ³ /hr)	환기회수(ACH)	환기성능
10년 평균	33 m ²	ΔP최대	3.24 Pa	93.9	108	1.15	기준만족
		ΔP최소	0.1 Pa	93.9	15.5	0.17	기준불만족
	59 m ²	ΔP최대	3.24 Pa	190.2	356.4	1.87	기준만족
		ΔP최소	0.1 Pa	190.2	57.6	0.30	기준불만족
여름철 기준	33 m ²	ΔP최대	1.68 Pa	93.9	54	0.58	기준만족
		ΔP최소	0.04 Pa	93.9	6.5	0.07	기준불만족
	59 m ²	ΔP최대	1.68 Pa	190.2	298.2	1.57	기준만족
		ΔP최소	0.04 Pa	190.2	39.6	0.21	기준불만족
겨울철 기준	33 m ²	ΔP최대	2.44 Pa	93.9	93.6	1.0	기준만족
		ΔP최소	0.03 Pa	93.9	7.2	0.08	기준불만족
	59 m ²	ΔP최대	2.44 Pa	190.2	309.6	1.63	기준만족
		ΔP최소	0.03 Pa	190.2	31	0.16	기준불만족

* 환기회수(ACH) : 0.7 이상시 기준만족

있으며 환기회수가 0.7ACH 이하이면 추가적으로 기계 환기를 병행해야 한다. 보통 공동주택 단지들은 기계환기를 채택하고 있지만 외부 유동에 따라 배치 등을 고려하여 잘 배치한다면 고유가 시대에 기계 환기 없이 자연환기만으로 실내 공기질을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

세대 면적 33 m² 형의 경우 Table 4에 나타나 있듯이 외부 유동 해석에 따라 환기가 우수한 지역의 내부 환기량은 108 m³/hr이며, 세대 체적을 기준으로 1.15 ACH의 환기회수를 갖는다. 이는 기준에서 제시하고 있는 0.7 ACH을 상회하는 수치로 자연환기만으로 충분한 것으로 나타났다. 반면 환기가 취약한 지역의 경우 내부 환기량은 15.48 m³/hr로 세대체적을 기준으로 0.16 ACH의 환기회수를 나타내 기준에서 제시하고 있는 0.7 ACH의 23% 수

준으로 추가 환기량 확보가 필요한 것으로 나타났다.

내부 유속분포와 공기령 분포는 Fig. 11에 나타냈는데 환기량이 큰 경우 내부로의 기류 유입속도가 상대적으로 증가하므로 내부로의 기류순환이 원활히 일어나고, 반면 공기령 분포에서는 정체하는 영역이 상대적으로 적게 나타나는 것을 볼 수 있다.

3.2.2. 59 m² 형

세대 면적 59 m² 형의 경우는 Fig. 12와 같이 방 3개와 거실 및 주방으로 이루어진 널리 주거하는 세대 형태로서 외부 압력차의 변화에 따른 내부 환기량을 계산하였다. Table 5에 59 m²형 세대의 환기구 종류 및 경계조건을 나타냈으며 Table 6은 환기 우수지역과 환기 열악지역에 대

한 내부 환기량을 계산한 결과이다. 결과에 나타나 있듯이 환기 우수지역에 아파트 단지가 위치하는 경우 환기량은 $356.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ 로 매우 우수하게 나타났다. 이는 시간당 환기회수 1.87로써 기준인 0.7을 훨씬 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 환기 열악지역에 위치하는 경우 환기량은 $57.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ 로 시간당 환기회수 0.3에 해당되는 것으로 나타났다. 이는 기준치인 0.7의 43% 정도로 환기기준을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다.

내부 유동분포와 공기령분포 결과는 Fig. 13에 나타내었다. 결과에 나타나 있듯이 주 유동은 거실쪽 이중창 환기구를 통해 유입되어 주방 및 침실3의 이중창 환기구와 발코니2를 통하여 환기의 유동 경로가 형성되고 있다. Fig. 13의 (a)에 나타난 환기 우수 세대의 경우 발코니와 접하고 있는 침실 1을 제외하고는 실내 전공간에 대체적으로 환기가 원활히 일어나는 것을 볼 수 있으며, 환기 열악 세대의 경우는 Fig. 13의 (b)에 나타난 것처럼 거실을 제외한 실내의 모든 공간에서 환기가 원활하지 않은 것을 볼 수 있다.

3.3. 계절별 외부 압력분포에 따른 내부 환기량 산정

10년 기상데이터를 기준으로 한 내부 환기량 산정 방법과 마찬가지로 과정을 수행하여 각각 여름철(3년 평균)과 겨울철(3년 평균)에 대한 아파트 내부 유동 및 환기량에 대한 수치해석 결과를 Table 6에 나타내었다. 여름철의 경우 10년 평균과 겨울철에 비해 주풍향이 반대이므로 내부로 유입되는 경로도 반대로 설정되어 내부유동에 큰 변화를 나타내었다. 결과에 나타나 있듯이 환기가 취약한 세대의 경우 모두 환기량 기준치인 0.7을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이 경우 자연환기와 더불어 기계적인 환기의 병행이 필요할 것으로 판단된다. 이와 같이 집의 구조와 집의 방향이 유입되는 환기량 및 환기성능에 큰 변수가 됨을 보여주고 있다.

4. 결론

계절별 주풍향은 여름과 겨울에 큰 차이를 나타냈는데, 여름철의 경우 주풍향은 남풍이며, 겨울철의 경우 주풍향은 10년 평균 주풍향과 동일한 북북서풍으로 나타났다. 풍향이 변화함에 따라 최대 압력차가 나타나는 아파트 단지도 변화하였으며 그에 따라 환기에도 차이를 나타냈다.

내부 환기량은 환기 우수지역의 경우는 자연환기만으로 기준치의 시간당 0.7ACH를 만족하였으나 환기 취약지역의 경우는 자연환기만으로는 기준치를 만족시키지 못하여 부수적으로 기계 환기를 병행해야 하는 것으로 나타났다.

추후에 정량적 검증을 통한 연구가 지속되어야 할 것으

로 판단되며, 이러한 연구결과를 바탕으로 향후 아파트의 배치나 환기구 위치 선정에 응용한다면 환기량 확보에 일조하여 기계 환기에만 의존하지 않고 자연환기와 병행이 가능하므로 에너지 절감에 도움이 될 것으로 판단된다.

KSEE

사 사

본 연구는 대전 환경기술개발센터에서 시행한 환경기술 연구개발 사업(2008)의 연구비 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Song, D. S., Ko, H. J., Cho, W. H., Lee, M. K., Yun, I. C., and Ju, U. S., "The effect of ventilation system on IQA in an apartment house", Proceeding of the SAREK, pp. 848-854 (2005).
2. 허남건, 정시영, 김태균, "해안사 팔만대장경 관공의 자연공조 유동 해석". 공기조화 냉동공학회 '98동계학술발표회 논문집 pp. 509-510(1998).
3. 허남건, 이명성, 양성진, "해안사장경관전 환기장치 형태에 따른 환기 성능에 대한 수치해석 연구", 대한설비공학회 '07 동계학술발표대회 논문집 pp. 119-123(2007).
4. Patankar, S. V., Numerical heat transfer and fluid flow, McGraw-Hill Company(1980).
5. ASHRAE Standard, Ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE(2001).