

## 주동형태 변화에 따른 아파트 단지내 기류분석 및 단위주호의 환기성능에 관한 연구

### A Study on the Air Flow Characteristics in an Apartment Complex and Ventilation Performance of an Individual Unit for Improving IAQ

이정현\*  
Lee, Jung-Hyun

이승희\*\*  
Lee, Seung-Hee

김태연\*\*\*  
Kim, Taeyeon

#### Abstract

The recent trends of high-density and high-rise in apartment housing have caused the problems of decrease in ventilation rates and increase of indoor pollutant contaminants. SHS(Sick House Syndrome) has now become a major issue and threatens the health of residents. To solve these indoor air problems, increase in ventilation rate is considered as one of the most efficient approach. Thus, the recent housing development is pursuing improvement in the site design and the layout of apartment building blocks to promote natural ventilation is now investigated as one of the fundamental solutions.

This study was focused on the air flow characteristics of outdoor environment in an apartment complex to keep the pollutants out of the site. Age of air and pressure difference have been used as indices of the outdoor air quality. Four different types of apartment building layouts have been analyzed by CFD simulation.

This study again selected a real apartment housing complex as a case study model. By analyzing the pressure differences between the front and rear of an apartment building block, the ventilation performance in each individual unit was evaluated, and its impact on ventilation performance is investigated by analyzing the stagnant air around the apartment building blocks. During this process, existing patterns of apartment housing layout have been evaluated, and the most appropriate site layout has been chosen to analyze the outdoor airflow patterns. Based on the analysis of airflow patterns of site layout, the possibilities of improving ventilation performance of an individual apartment housing is proposed.

Keywords : SHS(Sick House Syndrome), CFD(Computational Fluid Dynamics), Natural Ventilation

#### 1. 서론

1981년을 기점으로 아파트가 전체 주택건설 물량에서 차지하는 비율은 단독주택을 상회하기 시작하여 이후 지속적으로 상승한 결과 현재 국내 주거에서 아파트가 차지하는 비율은 80%에 이른다.<sup>1)</sup> 이러한 아파트의 급속한 양적 성장 속에서 공급자 위주의 획일화된 주거 환경이 형성되었다. 또한, 아파트의 고밀도화 및 고층화는 환기,

통풍성능의 저하, 주택에서 발생하는 오염물질의 확산저해의 문제를 유발하고 있다.<sup>2)</sup> 최근에는 SHS(Sick House Syndrome)이 사회적 문제로 대두되어 실내 공기 오염이 쾌적한 주거환경의 심각한 위요소로 인식되고 있는 상황이다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 주거 내 환기/통풍의 역할이 강조되고 있으며, 현재 여러 가지 환기 시스템의 도입과 근본적인 실내 오염물질 방출의 저감에 대한 연구들이 진행되고 있다.

본 연구에서는 특히 자연환기를 도입하기 위한 아파트 설계요소에 대한 연구의 일부로서 아파트 환기성능 분석의 요소 중 주동형태 변화에 따라 발생하는 외부 기류

\* 연세대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 연세대학교 박사과정, 두원공과대학 건축디자인과 조교수

\*\*\* 연세대학교 건축공학과 조교수

특성에 대하여 고찰하였다. 주동형태의 다양화는 IMF이후 건설업체의 차별화 전략과 거주자들의 다양한 요구로 나타나기 시작했으며, 다양한 평면형태의 개발과 더불어 아파트의 차별화 요소로 더욱 발전할 것으로 보인다.

주동형태				
	I-shape	Y-shape	V-shape	L-shape
발생빈도	97/106	16/106	15/106	12/106
주동형태				
	T-shape	□-shape	C-shape	
발생빈도	7/106	6/106	0/106	

그림 1. 주동형태의 상대적 발생빈도

본 연구에서는 다양한 주동형태 중에서 판상형 다음으로 가장 많은 계획 빈도수를 갖는 Y자 탑상형 배치에 따른 외부 기류의 특성을 분석하여 외부공간의 오염물질 정체도 변화와 그에 따른 주호의 환기성능을 평가하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 해석모델

2004년 주택분양계획량 30위권 내에 포함된 민간주택공급업체 중 전반적 시공능력 1-50위권의 상위업체가 최근 시공 완료하였거나, 현재 시공 또는 분양 중인 단지를 사례조사 대상으로 설정하여 가장 많은 빈도수를 보이는 주동형태를 선정하였다. 위 건설업체의 웹사이트와 문헌자료조사를 통해 세대수의 합이 300세대 이상이거나 동수가 4개동 이상인 단지를 유효 사례로 보고 총 106개

단지의 주동형태를 조사한 결과 Y자형 주동이 총 16/106의 적용빈도로 일자 판상형 주택(97/106)의 다음으로 가장 많이 계획되고 있음을 알 수 있었다.<그림 1>

Y자 탑상형 주동을 대상 유형으로 선정한 후 판상형 배치에 탑상형 주동을 부분적으로 적용함으로써 단지내 기류특성의 변화를 분석하고자 하였다.<그림 2> 판상형 주동은 층별 6개 주호 15개 층으로 계획하고 탑상형 주동은 4개 주호 23개 층을 기본형태로 모델링하였다. 대상 유형의 외부기류 특성을 분석하는 도구로는 CFD (Computational Fluid Dynamics: 전산유체역학) 시뮬레이션 프로그램인 STAR-CD를 사용하였으며, 풍속값은 2.3m/s로 설정하였다.

### 2.2 외부기류 특성 평가방법

#### 2.2.1 공기령(Age of air)

외부공기의 정체도를 평가하기 위한 지표로 공기령을 사용하였다. 공기령은 스웨인의 M. Sandberg에 의해 건축공간내의 환기성상을 나타내는 지표로 도입된 개념으로 신선한 공기가 취출구로부터 유입되어 어떤 점에 도달하기까지의 시간을 말한다. 정체된 공기는 유입된 후 배출되기까지 걸리는 시간이 길고 이에 비례하여 공기령 값이 증가하게 된다. 공기령 값이 일정 한도를 초과하는 영역의 비율을 구하여 단지 외부공간에서의 기류 정체도를 살펴볼 수 있다.

#### 2.2.2 풍압차

바람이 건물에 부딪히면서 형성하는 복잡한 기류에 의해 건물외피에는 압력차가 발생하며, 이는 환기를 일으키는 잠재 능력으로 볼 수 있다. 압력차가 있는 어느 지점에 개구부가 있으면 그곳에서 환기가 발생하며 압력의 차이가 증가할수록 건물의 환기량 또한 커진다. 따라서 외부와 맞닿는 주동외피들 사이의 풍압차를 통해 주호의 환기성능에 대한 비교가 가능하다.

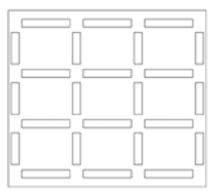
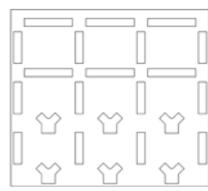
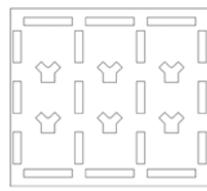
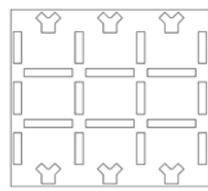
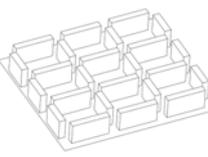
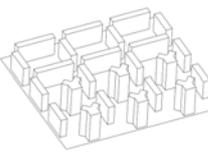
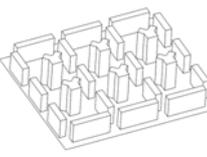
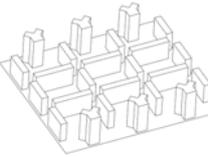
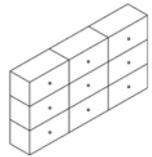
				
				
I-shape (Type 1)	tower-shape : 1st and 2nd line (Type 2)	tower-shape : 2nd and 3rd line (Type 3)	tower-shape : 1st and 4th line (Type 4)	data points for each apartment building

그림 2. CFD 해석을 위한 분석대상 유형의 설정

### 3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

#### 3.1 판상형 배치

판상형 배치의 공기령 값은 4가지 유형 중 가장 높은 수치를 보임으로써 공기 정체도가 가장 큰 배치 형태로 볼 수 있다. <그림 3>에서 짙은 검은색으로 표시되는 영역은 공기령 값이 3을 초과하는 범위로 판상형 배치 외부공간 대부분의 영역이 이에 해당한다. 공기령 최대값 또한 8.88로 두 번째로 높은 값을 갖는다.

각 주동의 저층, 중층, 고층부 주호의 외피 풍압차를 유형별로 비교해 보면, 판상형 주동 배치가 0.5 이하의 풍압차를 갖는 주호수가 가장 적은 경향을 보이고 있다. 따라서, 풍압차에 의한 각 주호의 전반적인 환기 가능성은 높을 것으로 예상되나 정체된 외부 공기가 유입됨으로써 실내공기질 향상에 저해 요소가 될 수 있다.

#### 3.2 탑상형 주동 전면배치

탑상형 주동 전면배치의 평균 공기령 값은 1.73으로 판상형 주동 배치와 비교하여 35% 가량 감소되었고, 공기령 값의 평균과 최대값 모두 전체 유형 중에서 가장 낮다. <그림 3>에서 볼 수 있는 바와 같이 탑상형 주동 제 2열 범위까지의 공기령 증가는 크지 않으나 3열째 판상형 주동 이후로 공기령 값이 급격하게 증가하는 양상을 보인다.

풍압차 0.5 이하인 주호 수가 전체 조사 주호 수의 45% 이상(216호 중 98호)으로 전반적인 주호의 환기성능이 낮을 것으로 판단되며, 풍압차의 최대값에 있어서도 9.92로 11이상의 값을 갖는 주호가 없어 타 유형(판상형 주동 배치: 17.76, 탑상형 주동 전면배치: 18, 탑상형 주동 외곽배치: 16.78)에 비하여 그 값이 작은 것으로 나타났다.

#### 3.3 탑상형 주동 중앙배치

탑상형 주동을 중앙에 배치한 유형의 평균 공기령 값은 2.14로 판상형에 비해 20%가량 감소하였으며, 이는 탑상형 주동 전면배치에 이어 두번째로 작은 값이다. 주동 내

부가 모두 탑상형 주동으로 상대적으로 양호한 기류의 흐름을 갖고 있으나 단지 외곽이 판상형 주동으로 둘러싸여 있어 단지 전체 공기가 전반적으로 정체되어 있는 모습을 볼 수 있다.

각 주호의 풍압차에 있어서도 풍압차가 작은 주호수가 탑상형 주동 전면배치 다음으로 많다.

#### 3.4 탑상형 주동 외곽배치

탑상형 주동 외곽배치의 공기령 값은 탑상형 주동이 배치된 유형 가운데 가장 큰 2.24 이다. 그러나, 이 값은 판상형 주동 배치의 평균 공기령 값과 비교하여 16% 가량 감소한 것이다. 전면 탑상형 주동에서의 기류 흐름은 양호하나 2열의 판상형 주동에서부터 공기령 값이 급격히 증가하며, 최종 4열에 있는 고층의 탑상형 주동이 기류 정체영역을 더욱 확장시키고 있어 공기령 최대값이 4가지 유형 중에서 가장 큰 12.49를 갖는다.

주호 전후면 풍압차에 있어서는 판상형 다음으로 풍압차 0.5 이하인 주호수가 가장 적다.

#### 3.5 결과 고찰

공기령을 기준으로 주호 내 공기 정체도가 가장 낮은 유형을 분리하는 경우, 탑상형 주동 전면배치 → 탑상형 주동 중앙배치 → 탑상형 주동 외곽배치 → 판상형 주동 배치의 순서를 갖는다. 바람이 불어오는 쪽의 첫번째 열에 탑상형 주동을 배치하는 것이 단지 외부의 공기질 향상에 긍정적으로 작용하며 연속적인 배치일 경우 더욱 유효하다.

주호별 풍압차에 있어서는 공기령과는 반대로 풍압차 0.5 이상인 주호의 비율이 판상형 주동배치 → 탑상형 주동 외곽배치 → 탑상형 주동 중앙배치 → 탑상형 주동 전면배치의 순서를 갖는다. 풍압차 최대값의 크기에 있어서도 공기령에서 가장 양호한 값을 갖는 탑상형 전면 배치가 가장 낮은 것을 볼 수 있다.

이상의 결과를 바탕으로 주동형태의 변화만으로 단지 외부공간의 정체도에 큰 차이가 나타날 수 있으며, 최근

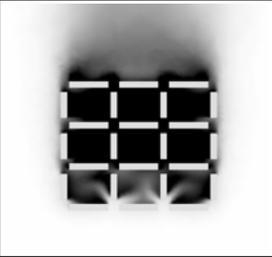
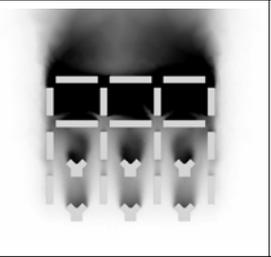
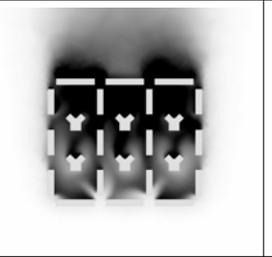
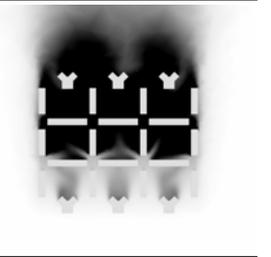
공기령	I-shape (Type 1)	tower-shape : 1st and 2nd line (Type 2)	tower-shape : 2nd and 3rd line (Type 3)	tower-shape : 1st and 4th line (Type 4)
				
평균값	2.66 (100%)	1.73 (65%)	2.14 (80%)	2.24 (84%)
최대값	8.88	6.80	6.91	12.49

그림 3. 공기령 분포

에 계획 빈도가 늘어나고 있는 Y자형 탑상형 주동형태가 외부의 기류 순환에 유리하게 작용함을 알 수 있다. 그러나, 외부 기류의 정체도가 감소할수록 단위주호 환기성능의 지표가 되는 주동 전후면의 풍압차가 감소하게 되므로 외부 기류의 정체도 완화와 동시에 단위주호에 기류를 유입할 수 있는 국부적인 요소계획이 필요하다.

단위: PA

압력차(ΔP)<0.5의 상대적 비율			최대압력차(ΔP)
Type 1	I-shape	15% (33/216)	17.8
Type 2	tower-shape : 1st and 2nd line	37.5% (81/216)	16.8
Type 3	tower-shape : 2nd and 3rd line	40% (87/216)	18
Type 4	tower-shape : 1st and 4th line	45% (98/216)	9.9

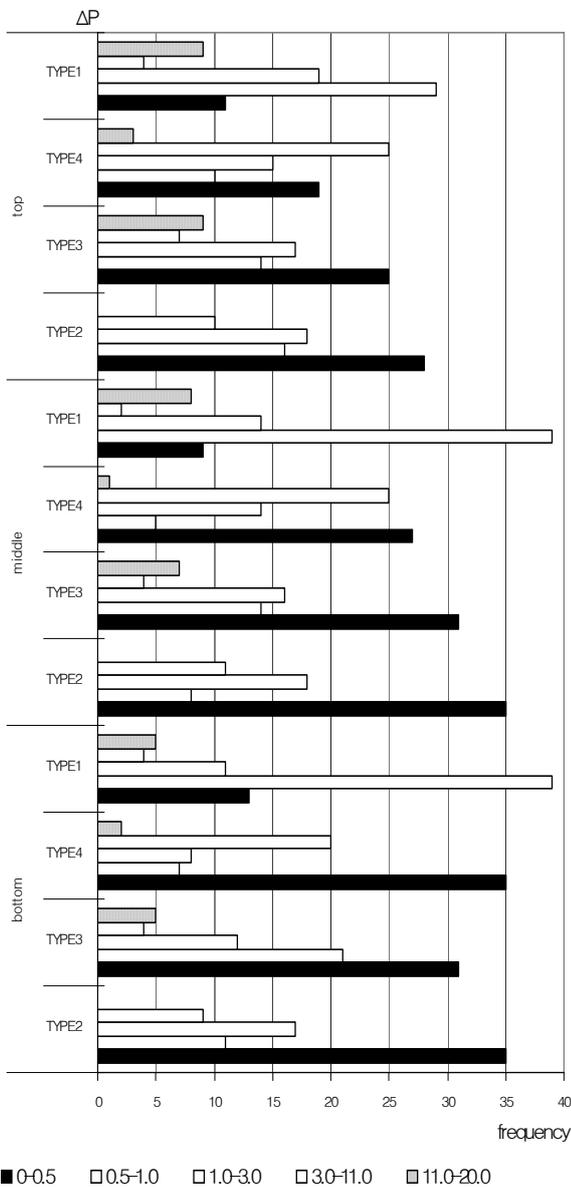


그림 4. 압력차 (ΔP)

#### 4. 사례 분석

본 연구에서는 1) 실제 아파트를 대상으로 주동배치 특성이 옥외공간의 기류 정체도에 미치는 영향 및 문제점을 규명하고, 2) 사례대상 아파트 단지에 적용가능한 프로토타입을 설정하며, 3) 설정된 프로토타입을 실제로 적용하여 문제해결의 가능성을 판단하고자 하였다.

##### 4.1 해석개요 및 경계조건

(1) 해석개요

표 1. 단지해석 개요

대지위치	충청남도 계룡시
용도시설	공동주택, 부대복리시설, 생활편익시설
규모	987세대, 최고층 18층

(2) 경계조건

P건설 S아파트가 위치한 충청남도 계룡시의 연간 평균 풍속과 풍향을 조사하였으며, 조사결과를 바탕으로 표2와 같이 해석조건을 설정하였다.

표 2. 풍속 및 풍향 해석조건

풍속	월평균최대 : 2.0 m/s	월평균최소 : 1.2 m/s
풍향	동(E)풍	서(W)풍

##### 4.2 해석결과

(1) 공기령

공기령 해석결과를 <그림 5>에 나타내었다. 단지내 음영부분은 공기령이 2.0을 초과하는 부분으로 단지내 오염물질이 축적될 가능성이 높을 것으로 예상되는 부분이다. 모든 해석조건에 대해서 단지 중앙부 이후부터의 공기령이 매우 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, 풍속이 약해지는 Case 2와 Case 4의 경우에 더욱 공기령이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

##### 4.3 프로토타입의 선정 및 해석결과

(1) 프로토타입 선정

CFD 해석을 통해 나타난 S아파트 단지의 외부 기류 정체도에 대한 문제점을 해결하기 위하여, 기존논문에서 제시된 프로토타입 중 S아파트 단지에 적용가능한 프로토타입을 선정하였다. 선정된 프로토타입은 <표 3>에 나타내었다.

Case 1. 동(E)풍 2.0 m/s	Case 2. 동(E)풍 1.2 m/s
평균 공기령 : 2.34	평균 공기령 : 2.35
Case 3. 서(W)풍 2.0 m/s	Case 4. 서(W)풍 1.2 m/s
평균 공기령 : 1.99	평균 공기령 : 2.31

그림 5. 공기령 해석결과  
표 3. 프로토타입 (안)

		주동배치위치				주동배치위치		
1자형 평행배치	타상형주동 전면배치	i	□자형 배치	타상형주동 전면배치	i	1자형 평행배치	타상형주동 전면배치	
	타상형주동 중앙배치	ii		타상형주동 중앙배치	ii		타상형주동 중앙배치	
	타상형주동 외곽배치	iii		타상형주동 외곽배치	iii		타상형주동 외곽배치	
1자형 평행배치	i) 타상형 전면배치		□자형 배치	i) 타상형 전면배치		1자형 평행배치	i) 타상형 전면배치	
	평균 공기령 : 0.59			평균 공기령 : 1.01			평균 공기령 : 0.96	
	ii) 타상형 중앙배치			ii) 타상형 중앙배치			ii) 타상형 중앙배치	
	평균 공기령 : 0.96			평균 공기령 : 0.79			평균 공기령 : 1.24	
iii) 타상형 외곽배치		iii) 타상형 외곽배치		iii) 타상형 외곽배치				
평균 공기령 : 1.24		평균 공기령 : 3.61		평균 공기령 : 1.24				

그림 6. 프로토타입 해석결과

(2) 프로토타입 해석결과  
선정된 프로토타입의 해석결과를 <그림 6>에 나타내었다. 프로토타입 해석결과, 단지 중앙부의 높은 공기령 문

제를 해결하기 위해서는 1자형 평행배치와 □자형 배치 모두, 타상형 주동을 풍향 전면에 배치하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 특히, 타상형 주동 외곽 배치는 오히려 단지내 공기령이 매우 높아지는 것으로 나타나 주동 배치시 피해야 할 배치형태임이 판명되었다.

#### 4.4 개선안의 적용 및 개선결과

##### (1) 개선안의 적용

프로토타입의 해석결과 도출된 개선안대로, ① 단지 하부의 타상형 전면배치는 그대로 유지하였으며, ② 단지 중앙부의 기류정체 문제를 해결하기 위하여 단지 좌측부의 1자형 평행배치를 약 15° 회전하였다. 이는 세대의 자연환기 가능성을 최대한 유지하면서 단지 외부의 기류정체도를 개선시키기 위함이다. 개선안에 대한 해석은 동(E)풍과 서(W)풍에 대해서 실시하였으며, 풍속은 가장 열악한 조건인 최소 풍속 1.2 m/s에 대해서만 개선안 해석을 실시하였다. 더불어 단지 중앙부의 4개 주동에 대해서 주동 전후면의 풍압차를 해석하여, 개선안 적용후의 세대내 자연환기 가능성의 변화여부를 분석하였다.

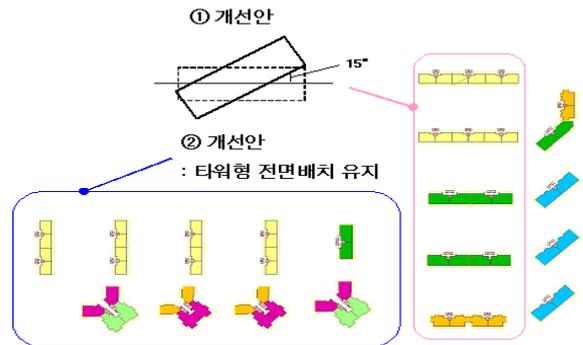


그림 7. S 아파트 단지의 주동배치 개선안

##### (2) 개선결과

S아파트 단지 외부기류에 대한 문제점을 해결하기 위해 프로토타입 해석을 통해 도출된 개선안을 적용한 결과, 동풍과 서풍 모두 단지내 높은 공기령 수준을 낮추면서 세대내의 자연환기 가능성은 그대로 유지시키거나 혹은 다소 증가시키는 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 프로토타입 해석결과를 실제 아파트 단지 배치에 적용함으로써 단지의 기류 정체도 문제와 세대내의 자연환기 가능성 문제를 해결할 수 있었다.

#### 5. 결론

실내 공기질의 개선을 위해서는 기계적인 환기시스템을 이용한 공기질 개선 방안에 앞서 자연환기의 적극적 도입 노력이 우선되어야 할 것이다. 아파트 단지에서의 자연환기 도입 방안의 일차적인 순서로 본 연구에서는 주호에 유입될 단지 외부공간의 오염도에 대해서 다루었다.

첫째, 기존에 광범위하게 사용되어 오던 판상형 주동 형태에 비하여 탑상형 주동이 동일한 주호수를 유지하면서도 외부기류에 정체를 완화시키는 형태임을 알 수 있었다.

둘째, 탑상형 주동을 배치하는 데 있어서 주동향에 대한 첫 번째 열에서부터 연속적으로 배치하는 것이 가장 바람직하다.

셋째, 탑상형 주동 배치를 통해 외부 정체도를 완화시키는 정도에 비례하여 주호 전후면의 풍압차가 감소하는 경향을 보이므로 이를 고려하여 wing wall이나 wind collector 등의 추가적 요소의 계획이 동시에 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 실시한 CFD해석 결과, S아파트 단지의 경우 주동향인 동풍과 서풍 모두 단지 중앙부에 높은 공기령의 수준을 보임으로써 단지외부의 기류 정체도 측면에서 문제점을 가지고 있을 가능성이 발견되었다. 이에 본 연구에서는 주동배치에 따른 아파트 단지외부의 기류에 대한 국내외 논문을 참고하여 S아파트 단지에 적용가능한 프로토타입을 선정하였으며, 선정된 프로토타입에 대한 CFD 해석을 실시하여 S아파트 단지내 외부기류의 문제점을 개선할 수 있는 방안을 도출하였다. 프로토타입 해석을 통하여 도출된 개선안을 S아파트 단지에 적용하여 재해석한 결과, 단지 내 높은 공기령 수준을 낮추면서 세대내의 자연환기 가능성은 그대로 유지시키거나 혹은 다소 증가시키는 결과를 얻을 수 있다.

본 해석 결과를 실제 설계단계에 적용함으로써 외부 기류 측면에서 아파트 단지에 발생할 수 있는 문제점을 미리 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

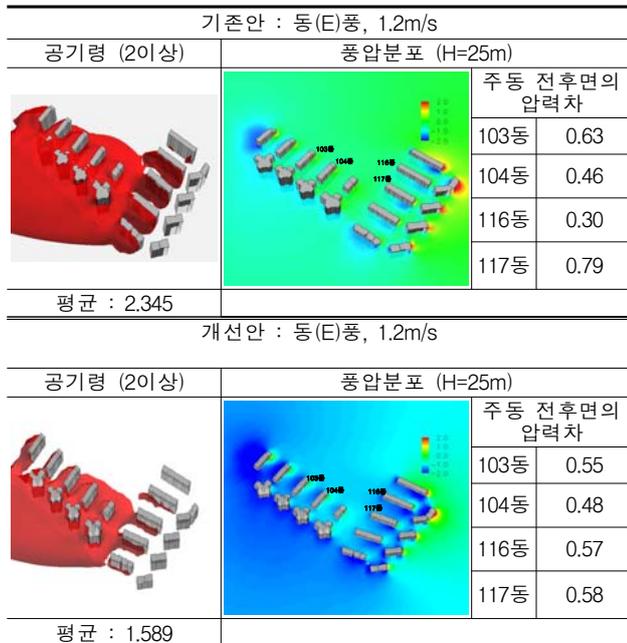


그림 8. 동(E)풍, 풍속 1.2m/s에 대한 개선결과 비교

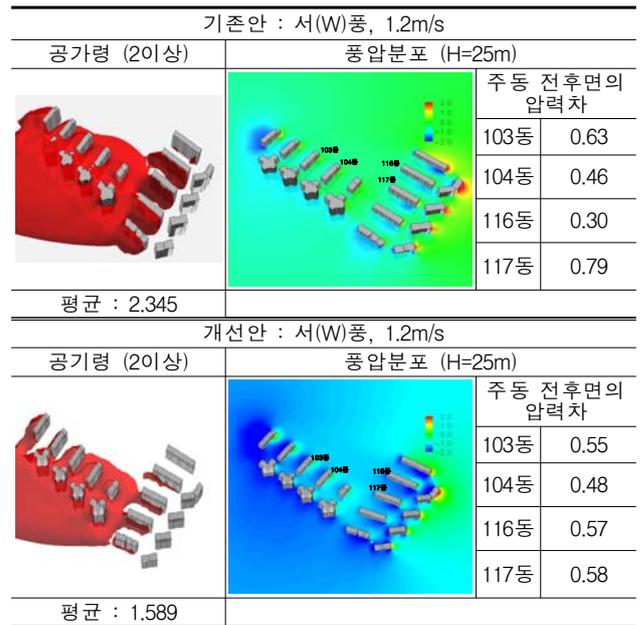


그림 9. 동(W)풍, 풍속 1.2m/s에 대한 개선결과 비교

### 참고문헌

- 통계자료, 통계청, 2000.
- 신지웅, "공동주택 실내외 공기질 향상을 위한 주동배치계획," 연세대학교 박사학위논문, 2004.
- 신중진 외, "최근 초고층 아파트의 단위세대 평면계획특성에 관한 연구," 대한건축학회논문집 vol.18, no.8, 2002.
- 조철희, "아파트 단지의 통풍계획에 관한 연구," 한국도시계획학회지 vol.16, no.1, 2005.
- 나수연, "공동주택의 자연통풍 계획에 관한 연구," 중앙대학교 박사학위논문, 1999.
- 김태연, "오염물질 발생원의 실내공기질에 관한 기여율 해석," 대한건축학회 논문집(계획계) vol.20, no.2, 2004. 02.
- 조철희 외, "아파트단지에서 주거동의 배치유형이 통풍계획에 미치는 영향 분석," 대한국토·도시계획학회지 vol.39, no.6, p.115~p.129, 2004.
- 김태연, 이윤규, 한길원, "실내 중앙 농도에 대한 오염물질 발생원의 기여율 해석," 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계) vol.23, no.2, 2003. 10.
- 이정현 외, "아파트 주동형태 변화에 따른 외부기류 정체도 및 주호환기 성능," 대한실비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, p.133~p.137, 2005.
- 신지웅 외, "아파트의 실내외 공기질 향상을 위한 주동 배치계획 연구," 한국생태환경건축학회 논문집, vol.4, no.3, p.195~p.202, 2004.