

오염농도 분포 해석을 통한 공동주택의 자연환기성능 향상을 위한 평면계획

Planning of Apartment Units for Improving Natural Ventilation Performance based on the Analysis of Indoor Pollutant Concentrations

김 지 영*
Kim, Jiyoeng

이 승 희**
Lee, Seung-Hee

김 태 연***
Kim, Taeyeon

Abstract

Before occupation of an apartment housing, the builders are required to inform the test result of IAQ to the public. However, there is no simplified method to predict IAQ before measurement of pollutant concentration. In this study, a simplified way of predicting IAQ based on the distribution of indoor pollutant concentration is proposed. 7 different cases of air change rate have been simulated through CFD analysis to get the distribution ratio of each pollutant material and then simplified functions were used with CRIAQ1 values derived from CFD simulation to evaluate by comparing the influence of each material in the indoor pollutant concentration.

Again, a lot of efforts which can improve the indoor air quality have been performed. Materials used in indoor space are labeled with their pollutant emission level. Installation of ventilation system in residential buildings will be regulated by a building codes sooner or later. But it is important to understand the fact that layout of walls, location or size of openings will influence the indoor air flow and pollutant concentration. And location of emitting material influences to indoor air pollutants distribution. But until now there is few recognition and consideration of these factors. Therefore, in this paper the effects of these factors is proved and some kind of guideline is made for designers after a comparison of typical apartment floor plan and a new type plan with their average pollutant concentration and its distribution of each room. CFD(Computational Fluid Dynamics) program was used to show the indoor air flow and pollutant concentration distribution. For this purpose, a typical 100m² apartment floor plan was chosen as a case study model and several alternatives were reviewed to improve the IAQ performance. The simulation took place in the condition of natural ventilation through windows.

Keywords : distribution of indoor pollutant concentration, CFD, IAQ, CRIAQ1

1. 서 론

환경부는 지난 2004년 2월 건축자재에서 방출되는 오염물질로 인한 건강피해를 줄이고 친환경 건축자재에 대한 정보 제공을 목적으로 한국공기청정협회 주관으로 친환경 건축자재 품질인증제도를 시행하였다.¹⁾ 1년이 지난 현재 150여개의 자재가 품질인증을 받았으며, 인증심사가 지속적으로 진행 중이다.²⁾ 그러나, 이러한 인증제도에서

친환경 자재로 인증을 받았을 경우에 실제로 실내 오염농도에 미치는 영향에 대해서는 제대로 등급화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한, 이러한 자재들이 시공된 후 오염물질이 실내로 방출되어 나타나는 실내오염을 알아보기 위해서는 번거로운 1:1 모형실험(Mock-up Test)나 현장측정에 의존하여 알아낼 수밖에 없다. 이러한 상황에서는 공동주택 실내 공기질에 큰 영향을 미치는 건축자재가 디자인 단계에서 제대로 선정되지 못함으로써 막연하게 시공 후 요구되는 실내 공기질 측정에 부담감을 가질 수밖에 없다. 따라서, 본 연구에서는 공동주택에서 자재를 선정할 때 미리 실내 공기질을 예측할 수

* 연세대학교 건축공학과 석사과정

** 연세대학교 박사과정, 두원공과대학 건축디자인과 조교수

*** 연세대학교 건축공학과 조교수

있는 방법을 개발함으로써 디자인 단계에서부터 친환경 자재 선정을 위한 가이드를 마련하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구의 주요 개념

(1) 오염농도 분포 해석

오염물질 방출과 환기량을 알고 있을 때 오염농도를 산출하는 것은 간단한 수식으로 가능하다. 그러나, 본 연구가 기존의 수식으로 계산되는 농도 예측방법과 다른 점은 공동주택 평면을 대상으로 기류의 흐름과 오염물질의 방출 위치를 시뮬레이션을 통해 해석함으로써 오염농도의 분포를 고려한 농도 산출이 가능하다는 것이다. 오염물질 방출자재의 분포가 적고 기류의 흐름이 원활한 곳에서는 오염농도가 작게 나타나며, 오염물질 방출자재가 밀집하고 기류의 흐름이 원활하지 못한 곳에서는 오염농도가 훨씬 크게 나타날 것을 예상할 수 있으므로 오염농도의 분포를 고려한 오염농도 예측은 실제의 농도와 보다 유사할 수 있다.

오염농도의 분포를 고려한 해석은 전산유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics)을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 가능하였다.

(2) 오염물질 발생원의 기여율 해석³⁾

오염물질 발생원의 기여율(CRIAQ: Contribution Ratio of Indoor Air Quality)이란 오염물질 발생원이 오염농도에 미치는 영향을 말하는 것으로서 실내에 오염이 발생하였을 때 여러 개의 오염원 가운데 각각의 오염물질 발생원이 오염을 유발하는데 미치는 영향력을 비율로 나타낸 것이다. 따라서, 기여율 해석은 오염물질의 발생량이 정확하지 않을 경우 수치가 바뀌더라도 추가적인 해석 없이 수 계산을 통한 농도의 산출을 가능하게 해준다. 이는 자재의 오염물질 발생량에 따른 오염농도를 쉽게 예측할 수 있도록 하고자 하는 본 연구에 핵심적인 개념이라 할 수 있다.

$$CRIAQ1(x, n) = dC_w(x, n) / |C_{w,n}| \dots\dots\dots (1)$$

여기서, $dC_w(x, n)$ 는 위치 x 에서 오염물질 발생원 n 에 의해서 발생한 기준 농도로부터의 변화[kg/kg], $C_w(x, n)$ 는 오염물질 발생원 n 이 독립적으로 발생하였을 경우의 실내의 완전확산농도[kg/kg]를 나타낸다.

(3) 예측도구의 개발

환기량을 변화시키면서 해석된 실별 각 자재의 실내 오염농도의 기여율을 실제 자재의 방출량에 따라 변환 과정을 거쳐 실제 오염농도의 예측값으로 산출되도록 스프레드 시트(sheet)에 수식과 함께 입력하고, 실제 방출량 입력란에 수치를 입력하면 환기량에 따라 실내 오염농도가 산출되도록 계획하였다.

2.2 해석 방법

(1) 해석모델 및 입력조건

해석모델은 <그림 1>에 나타난 것과 같이 공동주택의 보급형 평면인 30평형대를 대상으로 하였다. 3 베이(bay)로 구성되어 있는 평면 형태로 전면 3개의 유입구(inlet)를 통해 공기가 유입되어 배면 2개의 유출구(outlet)를 통해 유출되는 것으로 가정하고 해석을 진행하였다.

오염물질은 오염물질의 방출량을 달리 입력할 수 있도록 바닥, 천장, 벽, 가구(준공시 제공되는 불박이 가구 기준)를 구분하여 모델링하고, 기여율 해석을 위한 방출량을 입력하였다.

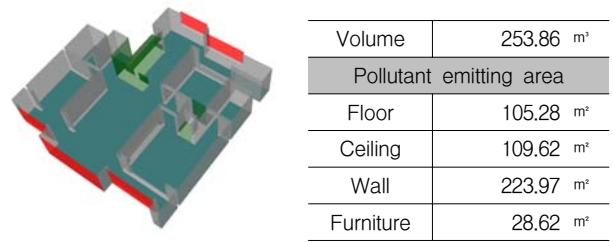


그림 1. 해석모델

환기량은 침기량에 해당하는 0.3회/h 해석과 0.5회/h부터 2회/h까지 0.5회 간격으로 해석하고, 그 이상의 환기량에 대해서는 환기량 증가에 따른 추이를 살펴보기 위한 것으로 5회/h, 10회/h 환기량에 대해서만 해석하였다. 따라서, 총 7단계의 환기량에 대한 해석을 진행하였다.

(2) CFD 해석방법

본 연구에서 활용한 CFD 시뮬레이션 프로그램은 Computational Dynamics Limited사에 의해 개발된 Star-CD 프로그램으로 CAD 3D 모델링을 통한 형태정보(Geometry) 입력 후 메쉬(Mesh) 프로그램 Pro_am, 해석 프로그램 Pro_star를 통해 해석을 진행하였다.

실내 오염농도의 구체적 분포 해석보다는 각 실의 평균 오염 농도값을 구하는 해석이기 때문에 해석의 편의상 온도 해석을 배제한 기류해석만을 고려하였으며, 층류해석으로 해석을 진행하였다.

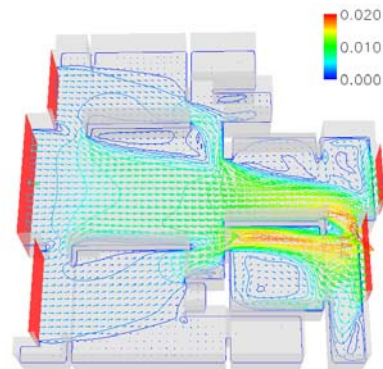


그림 2. 기류해석 (1회/h)

3. 해석 결과

3.1 실내 기류유동 해석

오염농도 분포 해석에 앞서 실내기류의 흐름을 파악하여 이후 농도분포 해석결과에 분석에 사용하였다. <그림 2>는 환기량 1회/h에서의 실내 기류 해석 결과를 나타낸 것으로 전면부 3개의 유입구에서 들어온 바람이 배면 2개의 유출구로 나가는 과정에서 각 실 개구부와 벽체 등의 영향으로 일정한 기류의 흐름을 만들어 내고 있는 것을 볼 수 있다. 거실은 부엌쪽 발코니와의 맞통풍 현상으로 다른 실들보다 기류의 흐름이 원활한 것으로 보이며, 배면에 있는 침실3의 경우에는 문에서부터 창문까지는 빠른 속도의 기류가 형성되나 그 외의 부분에서는 정체 현상이 나타나 동일한 실내에서 기류흐름의 차이가 큰 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 환기량이 달라짐에 따라 기류속도의 변화로 나타나 기류의 유입구과 유출구, 그리고 평면의 형태가 정해져 있으므로 기류형태가 거의 고정되어 있음을 볼 수 있었다.

3.2 환기량에 따른 실내 오염농도 해석

본 해석에서는 기본적으로 발생된 오염물질이 실내공기의 유동과 그 거동 특성을 같이 한다고 가정하고, 각 오염물질 발생원의 기여율을 해석하고 있다. 본 연구에서 대상으로 삼고 있는 오염물질 TVOC와 HCHO 또한 그와 같은 특성을 가지고 있다고 가정하여 분석을 실시하였기 때문에 <그림 4>, <그림 5>에서 나타나는 환기량에 따른 오염물질 농도의 추이는 Y축의 절대값만 다를 뿐 같은 변화율을 나타내고 있다.

환기량에 따른 변화를 알아보기 위해 오염물질의 방출량은 친환경 건축자재 품질인증제도를 참고하여 앞으로 공동주택 건설시 사용되는 자재가 최우수 자재일 것이라는 전제하에 최우수 마감재 기준에 최우수 접착제 방출량의 1/2을 더한 값을 각각의 자재 방출량으로 입력하여 각 실별 평균 오염농도를 산출하였다. 오염물질 방출량 입력 수치는 TVOC와 HCHO 각각 0.225mg/m³h와 0.06mg/m³h이며, 기여율 해석을 위한 방출량 입력값을 이 수치로 변환하고 그 변환수치를 각 자재의 실 평균 오염농도 기여율에 도입하여 실 평균 오염농도를 산출하였다.

실내기류 유동해석 결과에서 예측할 수 있었던 것처럼 거실의 오염농도는 다른 실들보다 초기 침기(infiltration) 해석에서부터 가장 낮은 수치를 나타내고 있으며, 침실1의 경우에는 인접한 공간인 드레스룸과 화장실에 개구부가 없는 관계로 기류의 흐름이 거의 나타나지 않고 있으며, 다른 실들과는 달리 체적에 비해 영향을 미치는 벽면적이 많아 오염물질이 외부로 배기되지 않고 쌓이는 현상으로 인해 초기 수치부터 높게 나타날 뿐 아니라 환기량이 늘어나더라도 가장 높은 수치를 유지하였다. 이러한 특성에 따라 거실은 환기횟수 1회/h가 넘어가면서 기준농도를 만족하는 것으로 나타났으며, 침실1의 경우에는 5회/h 정도가 되어야 기준농도에 근접하는 것으로 나타났다.

완전확산을 전제로 한 수계산에 의하면, 환기량이 증가하면 오염물질의 농도는 그 역수로 저감되어 선형적 관계를 보이는 것으로 알려져 있는데 해석결과가 그러한 결과를 보이지 않는 것은 본 연구가 기류의 흐름에 따른 실내 오염물질의 분포에 따른 오염농도 해석을 전제로 한 해석이기 때문이다. <그림 2> 실내기류 유동해석 결과에서 나타난 것처럼 동일한 실내에서도 기류의 흐름이 원활한 부분과 그렇지 않은 부분이 존재하게 되며, 이는 환기량이 늘어나 기류속도가 증가하여 오염물질이 빨리 배출됨에도 불구하고 기류의 흐름이 원활한 곳에서는 그 속도의 영향을 받지만 그렇지 않은 곳에서는 오염물질 배출이 속도가 증가하는 만큼의 효과를 가지지 못하기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다.

이러한 수치해석을 통해 나타난 오염 농도값은 실제 측정에서 보고하고 있는 결과값의 범위^{4,5)} 내에 있는 것으로 실제 농도를 예측하는 데 신뢰성을 가질 수 있다.

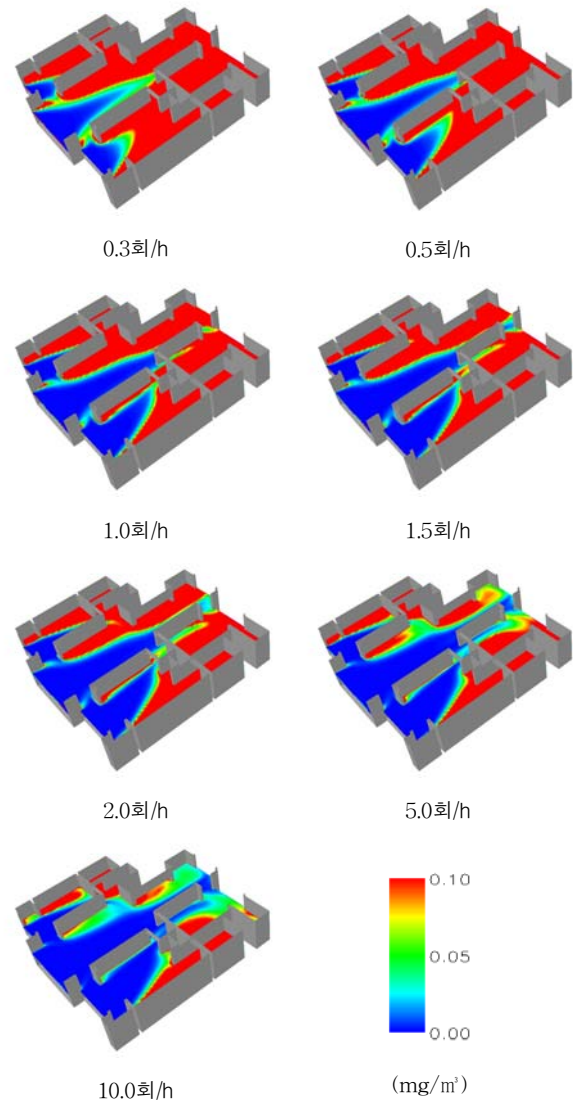


그림 3. 실내 오염물질의 농도분포 (TVOCs)

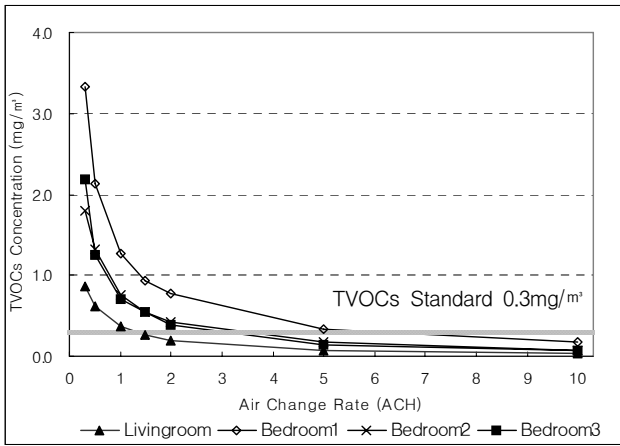


그림 4. 환기율에 따른 오염물질의 농도 (TVOCs)

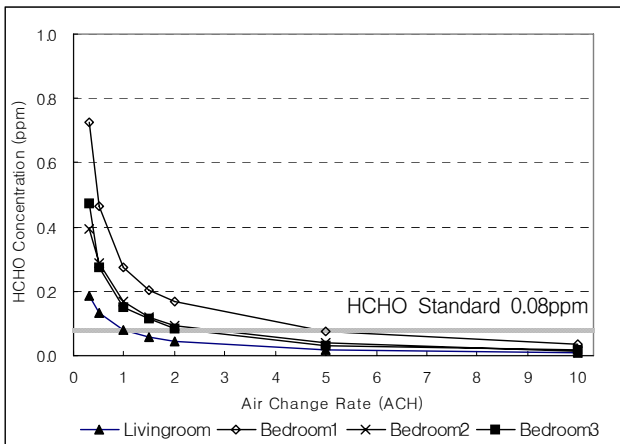


그림 5. 환기율에 따른 오염물질의 농도 (HCHO)

3.3 자재별 방출량 변화에 따른 오염농도 해석

(1) 기여율 (CRIAQ1)의 분석

기여율은 각 실의 마감재가 실내 오염농도에 영향을 미치는 정도를 나타내는 것으로서 각 자재의 방출면적이 같을 때에는 기여율 그 자체만으로 그 영향을 파악할 수 있으나 <그림 6>과 <그림 7>에서 볼 수 있듯이 실제의 농도 변화량은 방출자재의 면적에 큰 영향을 받으므로 거실과 같이 벽의 실 평균농도에 대한 기여율이 바닥이

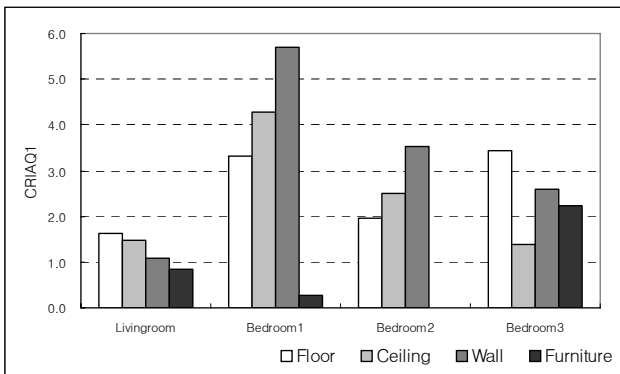


그림 6 각 실의 자재별 CRIAQ1 (1회/h)

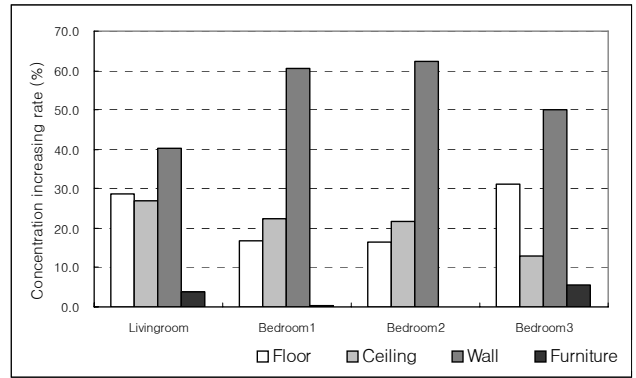


그림 7. 각 자재별 오염물질 방출량을 2배로 가정하였을 경우 실내 오염농도 증가율 (1회/h)

나 천장보다 낮은 곳에서도 실제 농도 변화율에 미치는 영향은 가장 크게 나타날 수도 있다. 반대로 방출 면적이 작은 가구의 경우에는 기여율은 크게 차이가 나지 않지만 실제 농도 변화율에 나타난 기여도는 거의 미미한 수준인 것으로 나타났다. 따라서, 자재의 기여율은 자재 면적을 고려하면 실제의 오염물질 농도의 변화 예측을 직관적으로도 알 수 있게 해주는 지표라 할 수 있다.

표 1. 환기율 변화에 따른 CRIAQ1

실	부위	환기율 (회/h)						
		0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	5.0	10.0
거실	Floor	1.13	1.39	1.64	1.70	1.69	1.51	1.37
	Ceiling	0.98	1.21	1.47	1.53	1.55	1.50	1.36
	Wall	0.76	0.90	1.08	1.17	1.22	1.25	1.13
	Furniture	0.64	0.72	0.84	0.87	0.88	0.88	0.84
침실1	Floor	2.62	2.79	3.32	3.47	3.83	4.08	3.88
	Ceiling	2.92	3.46	4.28	4.76	4.93	5.66	5.64
	Wall	4.46	4.67	5.69	6.29	7.03	7.67	7.65
	Furniture	0.32	0.18	0.27	0.32	0.49	0.63	0.65
침실2	Floor	1.61	1.84	1.96	1.96	1.90	1.85	1.63
	Ceiling	1.62	1.97	2.49	2.73	2.96	3.01	2.42
	Wall	2.33	2.98	3.53	3.78	3.84	4.32	3.18
	Furniture	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
침실3	Floor	3.02	3.17	3.44	3.91	3.81	3.45	3.27
	Ceiling	1.30	1.25	1.38	1.56	1.44	1.32	1.29
	Wall	2.36	2.20	2.60	3.03	2.99	2.78	2.80
	Furniture	2.19	1.89	2.22	2.45	2.45	2.31	2.34

(2) 자재의 방출량 변화에 따른 오염농도 분석

각 자재의 오염물질 방출량 변화에 따른 오염농도의 변화를 알아보기 위해 환기량에 따른 오염농도 해석에서 동일하게 입력된 오염물질 방출량 값을 바닥, 천정, 벽, 가구에 대해 2배의 농도를 입력한 후 오염물질 변화율을 살펴보았다.

각 실의 특성에 따라 자재별 오염물질 변화율의 양상이 다르게 나타났으나 공통적으로 벽체의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급했던 바와 같이 실을 구성하고 있는 벽 면적이 바닥이나 천장 면적보다 크기 때문이라 할 수 있다. 그 중에서도 침실1과 같은 경우는 실을 구성하는 벽면 이외에도 인접하는 드레스룸 벽체의 영향도 함께 받고 있기 때문에 벽체의 오염물질 방출량

에 민감하게 반응할 수밖에 없는 것으로 보인다. 다른 실들에서는 비슷하게 나타난 바닥과 천장의 오염농도에 대한 민감도의 차이는 침실3에서만 큰 차이를 보이고 있는데 이는 실 형태에 기인한 것으로 바람이 빠져나가는 창 위치가 바닥으로부터 1.1m 높이에 존재하기 때문에 기류의 흐름이 위쪽으로 쏠리면서 바닥에서 방출되는 오염물질이 천장에서 방출된 것들보다 원활한 배출이 어렵기 때문이다. 또한, 침실3에서 높게 나타났던 가구의 실내 오염농도 기여율은 방출면적이 작기 때문에 그 영향력이 실제 농도변화에는 다른 자재들보다 큰 영향을 가지지는 못하는 것으로 나타났으나 본 연구에서는 공동주택의 입주 전 상태인 불박이 가구들만을 대상으로 하였으므로 실내에 모든 가구가 배치되었을 경우에는 그 영향력이 커질 것으로 생각된다.

4. 사례분석을 통한 자연환기 성능 향상 방안

최근 실내 공기질에 대한 관심이 증대되면서 실내공기의 오염농도를 낮추기 위한 노력이 여러 분야에서 진행 중이다. 실내에 사용되는 마감재의 오염물질 방출에 대한 등급화가 이루어지고, 0.7회/h 기준의 상시 환기시스템 설치의 법제화도 추진 중이다. 그러나, 이러한 노력에 앞서 계획단계에서부터 실내에 존재하는 벽체나 개구부의 위치/크기에 따라 실내에 형성되는 기류의 흐름을 이해하고 기류의 흐름과 오염물질의 방출 영역에 따라 형성되는 오염농도 분포를 고려하여 공간을 계획하는 것이 보다 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 공동주택 평면구성에 따른 오염농도 분포와 환기성능을 고찰하고 오염농도 저감과 환기 성능 향상을 위한 공동주택 평면 개선 방법을 도출, 검증하여 설계자들이 공동주택 평면계획시 참고할 수 있도록 하였다.

이를 위하여, 실내 기류의 유동해석과 오염농도 해석이 이루어졌으며, 공기령 해석을 통하여 환기 효율도 검증하였다. 이러한 해석 결과를 분석하여 기존의 평면에 대한 개선안을 제시하고 이를 간단한 지침으로 정리하여 공동주택의 자연환기성능을 향상시키는 방법으로 제시하였다.

4.1 사례대상 및 해석계획

(1) 사례대상

사례대상은 맞통풍이 가능한 판상형 공동주택 보급형 30평형대 3 베이(bay) 형태의 아파트 단위세대 평면을 선정하였다. 전면에 거실과 두개의 침실, 후면에 부엌/식당과 침실 하나가 위치해 있는 형태로 전면과 후면 모두 발코니가 위치하고 있어 실 내부의 창은 비교적 크게 열리는 형태로 계획되어 있다.

(2) 해석계획

사례대상<그림 8,9>의 유입구와 유출구는 평면계획시 설정된 창호계획을 기본으로 작성되었다. 개방가능한 창을 모두 열린 상태로 해석하였으며, 4쪽이 모두 움직이는 미서기 문의 경우에 가장 유리한 형태인 양쪽 개방으로 가정하였다. 유입구의 개수는 5개, 유출구의 개수는 3개이다. 창 개방에 의한 환기량은 외기조건에 많은 영향을 받을

것으로 예상되나 본 연구에서는 환기량 1회/h로 설정하여 풍속을 입력하였다. 오염물질의 해석을 위해 TVOC를 대상으로 최우수 자재 기준인 0.10mg/m³h를 사용하여 벽 전체에서 유출된다고 가정하여 해석을 실시하였다.<표 2> 해석은 정상상태를 가정하였으며 실내발열로 인한 요인은 고려하지 않았다.

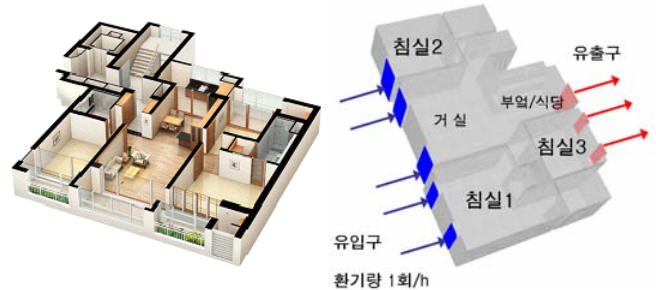


그림 8. 사례대상 단위세대

그림 9. 기류해석 모델링

표 2. 입력조건

유입구 면적	10.1㎡
유출구 면적	4.45㎡
체적	183.3㎡
환기량	1회/h
TVOC총발생량	35.6mg/h

4.2 해석결과

(1) 결과분석

실내기류, 오염농도, 공기령의 분포는 그림3과 같이 나타난다. 기류는 실 전체에서 0.02m/s 이하의 속도를 보이고 있으며 오염농도는 TVOC 오염농도 WHO기준 0.3 이상을 나타내는 곳을 붉은 색으로 표현하고 있다. 공기령은 명목 환기시간으로 무차원한 값으로 2.0 이상의 수치를 보이는 곳을 붉은 색으로 표현하였다.

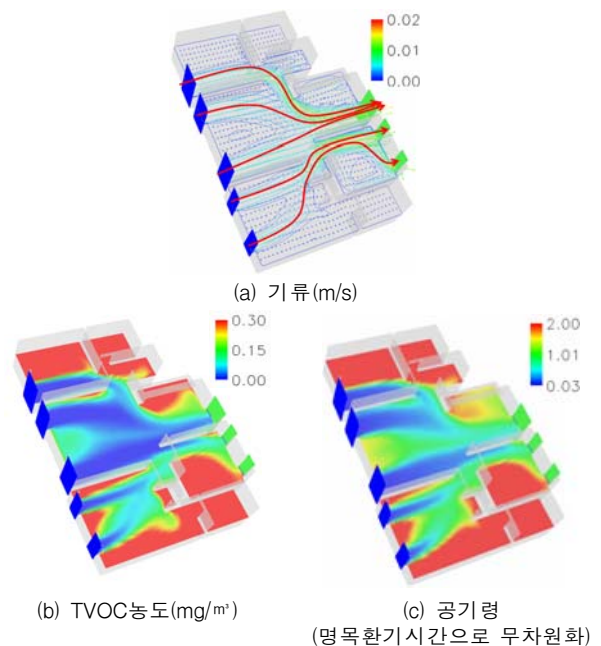


그림 10. 기존 평면의 해석결과

<표 3>은 이들 데이터를 수치로 나타낸 것으로 각각의 평균값들과 함께 분포를 수치로서 표현함으로써 각 실에서 TVOC 농도 0.3mg/m³ 이상과 공기령 2 이상의 값을 갖는 체적의 비율을 산출하여 작성하였다. 평균값은 기준치와 근사한 값을 보이거나 기준치 이상의 농도와 공기령 값을 갖는 공간의 비율이 상대적으로 많은 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 개선안은 평균 농도와 함께 높은 값을 가지는 공간의 비율을 낮추는 것을 목적으로 하였다.

표 3. 기존 평면의 해석결과

구분	침실1	침실2	침실3
실별 TVOC농도 평균(mg/m ³)	0.39	0.39	0.28
농도 0.3 이상을 갖는 체적비(%)	36.9	53.3	47.3
실별 공기령 평균	2.27	2.58	1.69
공기령값 2이상을 갖는 체적비(%)	39.4	58.3	46.5

(2) 문제점 도출

실내로 유입된 바람이 개구부와 개구부 사이에서는 비교적 원활한 흐름을 보여주고 있으나 벽체로 둘러싸인 곳일 수록 기류의 정체현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 곧 오염농도와 공기령의 분포에서 높은 농도와 긴 정체시간으로 이어지는 결과를 초래한다.

특히 문제가 되는 곳은 침실 공간의 오염으로 <그림 11>에서와 같이 ① 침실1에서는 욕실과 연결된 부분에서 유입된 기류가 유출구를 찾지 못하여 빠져나가지 못하고 기류의 정체 현상이 나타난다. ② 침실2에서는 창문의 개방 위치와 문의 위치가 완전히 마주보고 있는 형태로 창문과 문을 통과하는 기류 이외에는 기류가 형성되지 못하고 있다. ③ 침실3에서는 전면에 있는 실과는 달리 비교적 작은 개구부인 문을 통해 한 쪽에서만 기류가 유입되고 있어서 중앙에서조차 농도가 높게 나타난다.

따라서, 개선안은 이러한 침실 오염의 문제를 해결하는 방향으로 해석을 진행하였다.

표 4. 평면 개선안의 해석 케이스

Case	내용
1	전체적인 평면 구성의 변화 (3.5bay)
2	침실2의 창 개방 위치 이동
3	침실3의 문 위치 이동

4.3 개선안에 대한 기류해석

4.3.1 개선 방안의 도출

침실1의 문제는 욕실이 배치되어 있어 대각선으로 형성되는 바람의 흐름이 긴 경로를 가지고 있고 욕실에서 배출되는 오염물질 또한 영향을 주어 형성되는 문제점으로 이에 대한 해결책으로는 평면구성 자체의 변화가 요구된다. 따라서, 3 베이(bay) 형태 보다는 3.5 베이(bay)나 4 베이(bay) 형태의 구성이 유리하다. 본 연구에서는 3.5 베이(bay) 형태의 구성을 개선 방안으로 선정하였다. 3.5 베이(bay)의 평면구성 형태는 침실1의 깊이를 줄여 유입부터

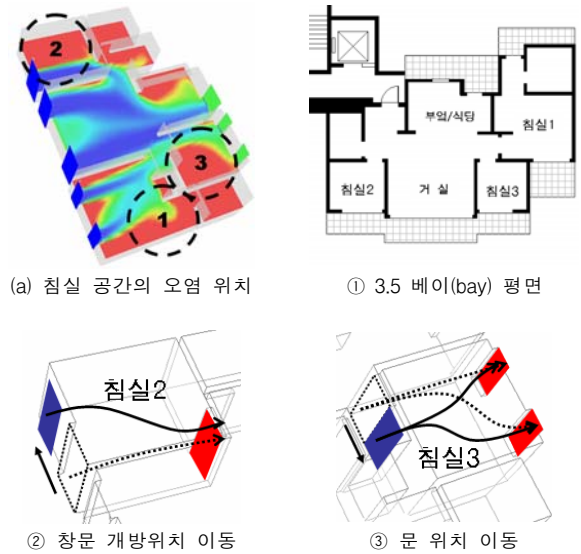


그림 11. 침실 공간의 오염위치 및 개선방안

유출까지의 경로를 짧게 하고 욕실로의 개구부를 유출구 쪽에 위치시켜 오염물질의 확산을 방지하고 바로 외부로 배출시킬 수 있다.

표 5. 개선안의 해석결과

구분	Case 1 (침실1)	Case 2 (침실2)	Case 3 (침실3)
실별 TVOC농도 평균(mg/m ³)	0.13	0.24	0.31
농도 0.3 이상을 갖는 체적비(%)	1.55	19.3	35.9
실별 공기령 평균	2.27	0.89	1.54
공기령값 2이상을 갖는 체적비(%)	0.00	3.55	9.12

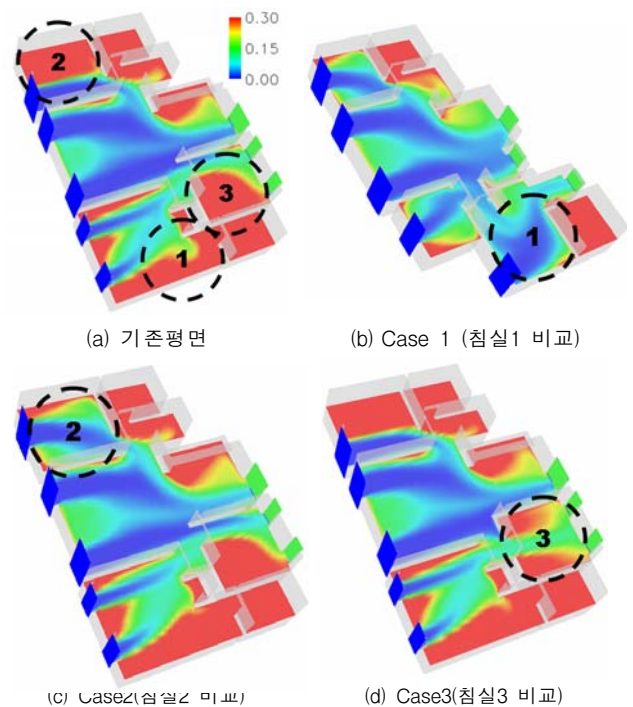
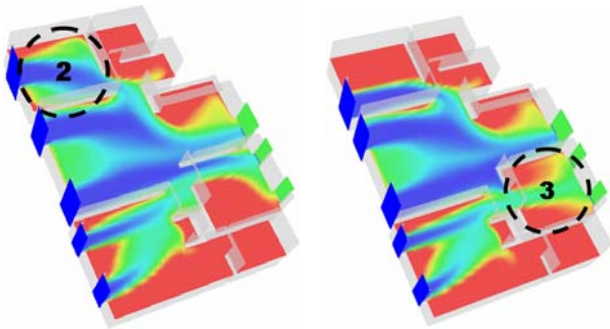


그림 12. 기존평면과 개선안의 TVOC 농도 분포 비교



(c) Case 2 (침실2 비교) (d) Case 3 (침실3 비교)

그림 13. 기존평면과 개선안의 TVOC 농도 분포 비교

침실2는 기류의 유입구인 창문의 위치와 유출구인 문의 위치가 바로 마주보는 형태로 계획되어 있어 기류가 너무 짧게 통과하게 되므로 나타나는 현상으로 창문의 개구부의 위치를 문과 대각선 방향으로 이동시킴으로써 정체구역이 해소될 수 있도록 하였다.

침실3은 침실1과 거실에서 유출된 기류가 불규칙하게 유입되어 유출구로 향하는 과정에서 개구부가 없는 부분에 순환기류를 형성하여 나타나는 정체역으로 기류의 분포를 고르게 해주기 위하여 유출구를 고려하여 유입구의 위치를 중앙쪽으로 이동시키는 방안을 개선안으로 제시하였다. <표 5>, <그림 12>

4.3.2 개선안에 대한 해석결과

먼저 <그림 12>에서는 오염농도의 분포의 변화를 보여주고 있다. 기존 평면과 비교해 보았을 때 각각의 개선 방안으로 인해 붉은 색의 기준치 초과 부분이 많이 줄어든 것을 볼 수가 있다. 또한, <표 5>에서는 기존 평면 해석 결과와 비교할 수 있도록 각 실별 TVOC 농도 평균값과 농도 0.3mg/m³ 이상의 값을 갖는 체적의 비율, 실별 공기량 평균값과 공기량 2 이상을 갖는 체적의 비율을 나타내고 다음의 그래프를 통해 비교가 가능하도록 하였다.

(1) TVOC 농도값의 비교

<그림 13>과 <그림 14>는 각 실별 기존평면과 개선안의 오염농도를 비교하기 위한 것으로 <그림 13>에서는 평균 농도를, <그림 14>에서는 기준치 이상의 수치를 보이는 체적비를 비교하였다.

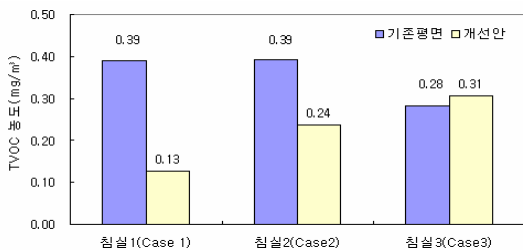


그림 14. 각 실별 기존평면과 개선안의 TVOC 평균농도

Case 1(침실1)의 경우, 기존 평면의 농도는 기준치를 초과하였으나 개선안의 수치는 57% 정도의 감소효과를 보였

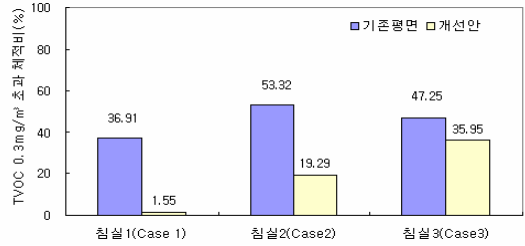


그림 15. 각 실별 기존평면과 개선안의 TVOC 0.3mg/m³ 초과 체적비

으며, 기준치를 초과하는 체적비 또한 1.55%로 아주 낮은 수치를 보인다. Case 2(침실2)의 경우에는 농도 38% 감소와 기준치 초과 체적비 19.29%로 감소효과가 컸다. Case 3(침실3)의 경우에는 실 평균 오염농도가 약간 상승하는 경향을 보이고 있으나 반면에 기준치를 초과하는 체적의 비율은 감소하고 있다. 이는 분포 형상을 보았을 때 실 중심 주변의 공간 대부분이 기준치를 초과하고 있는 기존 평면에 비해 개선안은 그러한 현상을 많이 완화시켜 주고 있기 때문에 평균 농도의 수치보다는 기준치 이상의 영역이 줄어든 것에 더 큰 비중을 두어야 한다.

(2) 공기량의 비교

<그림 15>와 <그림 16>은 각 실별 기존 평면과 개선안의 공기량을 비교하기 위한 것으로 <그림 15>에서는 평균 공기량을, <그림 16>에서는 2 이상의 수치를 보이는 체적비를 비교하였다.

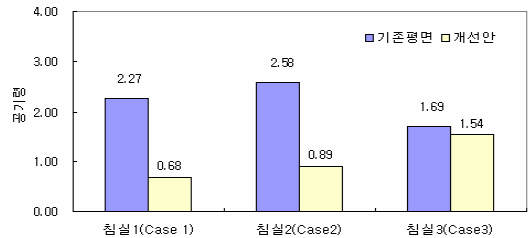


그림 16. 각 실별 기존평면과 개선안의 공기량

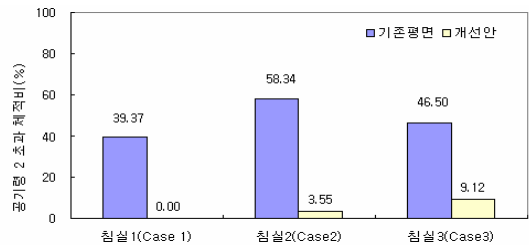


그림 17. 각 실별 기존평면과 개선안의 공기량 2 초과 체적비

공기량의 경우에는 오염농도 보다 감소의 폭이 크게 나타나서 Case 1(침실1)의 경우에는 공기량 평균값 70% 감소와 공기량값 2 이상의 체적비 100%감소 효과를 보였으며, Case 2(침실2)와 Case 3(침실3)의 결과에서도 큰 폭의 감소를 보여주고 있다. 특히, 침실3(Case 3)에서는 공기량 2를 초과하는 오래된 공기가 많이 줄어드는 현상을 볼 수

있어 환기효율이 증대되었음을 알 수 있다.

5. 평면계획 지침

본 연구에서 사용된 개선 방안을 간단한 지침으로 정리하면 다음과 같다.

(1) 평면의 깊이를 줄여 오염된 공기의 배출이 원활하고, 순환기류가 형성되지 않도록 한다. 이를 위해서는 침실을 전면에 배치하는 4 베이(bay)나 3.5 베이(bay)의 형태가 2 베이(bay)나 3 베이(bay)의 전후면 배치 형태보다 유리하다.

(2) 마주보고 있는 양 쪽의 개구부를 같은 쪽에 위치하였을 경우에는 짧은 통과기류를 형성하여 반대쪽의 정체역을 형성하므로 두 개구부의 위치는 대각선 방향으로 배치해야 한다.

(3) 실 중심부의 오염을 막기 위해 바람이 유입되는 개구부는 실의 전면에 고르게 분포하거나 적어도 중앙에 가깝게 분포시키는 것이 좋다.

6. 결론

실내 유동해석으로 실내의 기류흐름 특성을 파악하고, 환기량에 따른 각 실별 오염농도 저감의 양상을 살펴본 후 각 기여율 해석 결과를 바탕으로 추가적인 수치해석 없이 간단한 식을 이용해 자재의 방출량 변화에 따른 실내 오염농도의 변화율을 예측할 수 있었다.

각 실별 오염농도는 개구부와 개구부 사이에서 기류의 흐름에 따라 농도 분포가 생기고, 환기량이 늘어남에 따라 오염농도가 현저히 떨어지지만 기류의 흐름에 따라서는 각 실별로 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 바닥, 천장, 벽, 가구의 오염물질 방출량 변화에 따른 실내 오염농도의 변화 또한 실별 기류와 자재의 분포 특성에 따라 다르게 나타났으나 가장 많은 면적을 차지하고 있는 벽체의 영향이 가장 뚜렷하였다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기여율을 해석함으로써 자재 방출량의 변화에 따른 실내 오염농도의 변화를 예측하는 것이 간단해졌으며, 이는 간단한 스프레드 시트(spread sheet)로 표현이 가능하다. 이러한 예측을 통해 각각 자재의 영향을 파악하고 자재의 기여율과 그 분포 특성을 고려하여 공동주택의 설계 및 자재 선정에 도움이 되고자 하였다.

본 연구에서는 공동주택의 전후면에 있는 창을 통한 자연환기를 전제로 연구를 수행하였기 때문에 오염농도의 분포 차가 심하여 완전확산을 전제로 한 연구와 비교해 보았을 때 환기량의 증가에 따른 오염물질의 저감이 상대적으로 효율적으로 이루어지지 못하는 것을 볼 수 있었는데 오염농도의 분포를 고려하였으므로 현재 공동주택에 환기시스템의 도입이 추진되고 있는 상황에서 시스템의 효율적인 설계를 위한 기본적인 연구로도 그 효용성이 있을 것으로 보인다.

또한, 본 연구에서는 사례연구의 일환으로 실제의 아파트 단위세대 평면을 중심으로 그 개선안을 통해 간단한 지침을 도출해 내는 방법을 추가적으로 수행하였다. 그러나, 이

는 다양한 형태의 평면 구성에서 나타날 수 있는 문제점들을 해결하기 위한 시작에 불과하다고 할 수 있으며, 앞으로 수행될 많은 자료들의 해석과 프로토타입화 등의 연구를 수행함에 있어 적용할 수 있는 방법을 보여주는 데에 의의가 있다고 할 수 있다.

이 후 다양한 연구를 통해 쉽게 이해하고 적용할 수 있는 계획 지침들이 추가로 개발되어야 할 것이며, 또한 설계자들은 이러한 지침들을 활용하기에 앞서 기류의 흐름을 이해하는 것이 우선되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 환경부, "친환경건축자제품질인증제도," 2004. 2.
2. <http://kaca.or.kr>, 한국공기청정협회/연구조합
3. 김태연, "오염물질 발생원의 실내공기질에 관한 기여율 해석," 대한건축학회 논문집(계획계) vol.20, no.2, 2004. 02.
4. 이언구, "신축공동주택에서 실내공기환경 개선방안," 대림기술정보, 2004. 12.
5. 이윤규, "기존 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정 연구," 대한건축학회 논문집(계획계) vol.20, no.11, 2004. 11.
6. 이경희, "사무소건물의 실내공기환경을 고려한 자연환기기준 설정에 관한 연구," 대한건축학회논문집, vol.13, no.6, 1997. 6.
7. 박진철, "주거건축물의 실내공기환경 개선에 관한 연구," 대한건축학회 논문집(계획계) vol.19, no.6, 2003. 6.