CFD와 네트워크 모델 시뮬레이션을 이용한 공동주택 연간 자연환기량 평가

글 | **신지웅** | (주)이에이엔테크놀로지 대표이사 | 전화 02-558-3711 E-mail : sjw@eantec.co.kr
글 | **이용준** | (주)이에이엔테크놀로지 이사 | 전화 02-558-3621 E-mail : leeyj@eantec.co.kr

1 서 론

1-1. 연구의 배경

2006년 시행된 공동주택의 환기설비 설치 의무화에 따라 신축되는 100세대 이상의 공동주택은 환기량이 시간당 0.7회 이상을 만족하도록 규정되었다. 이에 따라 공동주택의 창호에 자연환기구가 적용되기 시작하였으며, 이에 따라 자연환기구를 통한 자연환기량 검증의 필요성이 제기되었다.

자연환기량 검증을 위해서는 실험을 통한 방법과 수치해석을 통한 방법이 제시되고 있으나, 현실적으로 계획 단계에서 검증이 이루어져야 하기 때문에 수치해석에 의한 방법이 필연적으로 부각되고 있으며, 현재 이에 대하여 다양한 방법으로 해석이 진행되고 있다. 그러나 아직까지 일반화된 객관적인 평가 방법이 정립되지 않고 있다.

이에 자연환기구 설치에 따른 환기량을 보다 객관적이고 합리적으로 검증할 수 있는 평가방법을 정립하기 위하여 CFD와 네트워크 모델의 연성해석을 통한 연간 자연환기량 평가방법을 소개하고자 한다.

1-2. 자연환기량 해석

자연환기량에 영향을 주는 주된 요소는 지역의 연간 풍환경으로 시시각각 변화하는 풍환경의 변화에 따라 자연환기량도 다변하게 된다. 이에 따라 공동주택의 환기설비 설치시 자연환기를 적용할 경우 1주일간의 환기량 측정을 통하여 평균 환기량이 0.7회를 상회하도록 환기설비를 설치하는 것으로 규정되어 있다. 그러나 1주일간의 환기량도 연간 어느 시점인가에 따라 매우 다른 환기량을 나타낼 것으로 판단되며, 이러한 관점에서 연간 환기량의 평가가 필요하다고 사료된다.

현재 적용되고 있는 평가 방법은 공동주택이 입지하는 지역의 연간 주풍향 및 평균 풍속에 대하여 CFD 시뮬레이션을 통한 단위세대의 환기량을 해석하는 것으로, 그 결과 세대내 환기량이 0.7회를 상회하는지를 판단하여 자연환기설비 설치의 적정성을 판단하고 있다.

그러나 이러한 해석 방법은 해석의 정확도와 관계없이 연간 자연환기량 평가를 한 가지 경계 조건에 의한 해석결과로 판단하여야 하는 불합리한 점이 있다.

또한 특정기간의 1주일간의 환기량을 평가하는 것도 앞서 언급한 바와 같이 연중 어느 기간의 1주일을 선정하는가에 따라 결과가 매우 다르게 나타나게 되어 평가기간 선정에 어려움이 있다.

이에 따라 공동주택의 자연환기량 평가는 연간 환기량의 평가가 필요할 것으로 판단되며, 연간 환기량 평가는 CFD 시뮬레이션만으로는 평가가 불가능하기 때문에 네트워크 모델의 적용이 불가피하다고 할 수 있다.

1-3. 연구의 목적 및 방법

본 연구는 공동주택의 창호에 설치되는 자연환기구에 의한 단위세대의 연간 자연환기량 평가를 목적으로 하며, 이에 따라 실제 자연환기구가 설치된 세대를 대상으로 실측한 결과 및 동일 세대에 대

한 해석 결과의 비교분석을 통하여 자연환기량 평가방법의 유효성을 검토하고, 설정된 평가방법에 따라 대상 세대의 연간 자연환기량을 평가하는 것으로 목적으로 하였다.

이에 평가방법은 다음과 같이 두 가지 해석 방법을 적용하여 진행하는 것으로 하였다.

1) CFD 해석 : 단지의 주동배치와 풍향(16방위)에 따른 해당 세대 자연환기구 설치 지점의 풍압계수 도출

2) 네트워크 모델 해석 : 연간 시간단위 풍향 및 풍속 데이터를 적용한 해당 세대의 연간 자연환기량 도출

상기의 평가방법의 유효성 검증을 위하여 다음과 같은 과정에 의하여 연구를 진행하였다.

1) 현재 자연환기구가 시공된 평가대상 세대에 대한 자연환기량 실측

2) 실측 대상 세대와 동일한 세대에 대한 실측기간의 시간별 기상데이터를 이용한 환기량 해석

3) 실측 및 해석결과 비교를 통한 평가방법의 유효성 검토

4) 평가대상 세대에 대한 연간 자연환기량 해석

2 이론적 고찰

2-1. 자연환기량 평가를 위한 세대별 풍압계수의 도출

건물의 자연환기는 풍압차에 의한 환기와 온도차에 의한 환기로 나눌 수 있다. 이중 풍압차에 의한 환기는 앞서 언급한 바와 같이 건물이 입지한 지역의 풍환경에 따라 다변하는 특성을 가지고 있다.

이처럼 다변하는 풍향 및 풍속에 의한 환기량을 해석하기 위해서는 건물 외피에 작용하는 풍압을 연간 풍향, 풍속의 변화에 따라 도출할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 건물의 형태와 주변 지형 및 단지 배치 그리고 풍향 등의 영향이 모두 감안된 풍압계수(Cp)의 도출이 필요하다. 일반적으로 건물 외피에 작용하는 풍압은 다음과 같은 수식에 의하여 도출된다.

$$P_w = \frac{\rho V_H^2}{2} C_p$$

여기서

Pw : 건물 외피에 작용하는 풍압

ρ : 외부 공기밀도

V_H : 건물 외벽의 해당 높이에서 부는 풍속

Cp : 풍압계수

본 연구에서는 대상 건물에 대하여 16방위의 풍향에 따른 건물외피에 작용하는 풍압을 CFD 시뮬레이션을 통하여 도출하고 이에 따른 풍압계수를 상기 수식에서 풍압계수(Cp)에 대하여 정리하여 산출하였다.

특정 건물의 풍압계수는 건물의 형태, 주변의 지형 또는 인접 건물에 의하여 영향을 받게 되며, 이러한 영향이 반영된 풍향별 풍압계수를 도출할 경우 연간 풍향 및 풍속 변화에 따라 작용하는 압력을 산출할 수 있다. 또한 이를 통하여 연간 자연환기량을 도출할 수 있다.

2-2. 네트워크 모델에 의한 연간 자연환기량 평가

본 연구에서는 연간 자연환기량 평가를 위하여, NIST에서 개발한 CONTAMW를 이용하였다. 다음은 CONTAMW에서 비정상상태 환기량 해석시 건물 외피에 작용하는 풍압을 산출하는 수식으로 본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 CFD시뮬레이션에 의하여 도출된 풍압계수를 적용하여 연간 매시 풍압을 도출하도록 하였다. 도출된 풍압계수는 특정 지점의 건물의 형상 및 인접 건물 및 지형의 영향이 모두 고려된 값으로 가정하였으며, 이에 따라 C_h는 1.0을 적용하였으며, Vmet은 해당지역의 시간별 풍속을 적용하였다.

$$P_w = \frac{\rho V_{met}^2}{2} C_h f(\theta)$$

여기서

Pw : 건물 외피에 작용하는 풍압

ρ : 외부 공기밀도

V_{met} : 지역의 기상데이터에 따른 풍속

C_h : 고도 및 지형에 의한 풍속수정계수

$f(\theta)$: 풍속에 따른 풍압계수 함수(CONTAM 내 Wind Pressure Profile 참조)

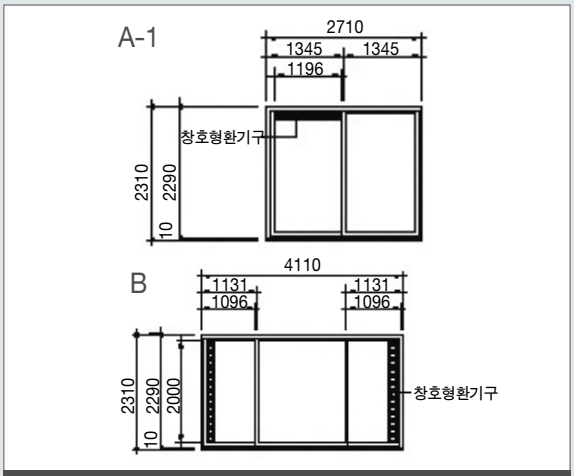
3 분석대상 세대의 자연환기량 실측

3-1. 분석대상 세대 개요

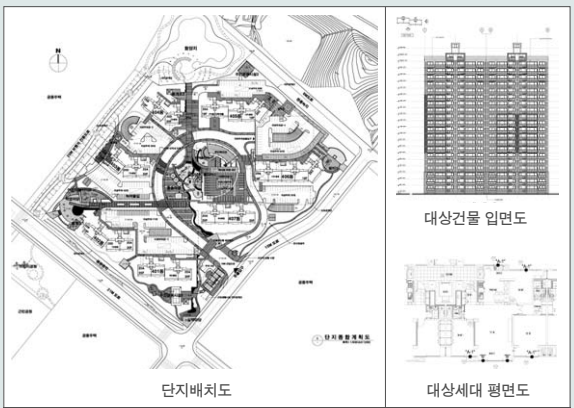
본 연구의 분석대상 세대는 창틀 설치형 자연환기시스템이 설치된 공동주택 1개 세대로서 용인에 위치한 D지구 아파트 14층 1개 세대이다.

분석대상 세대는 단지 외곽 동의 중층부에 위치하고 있으며, 3개의 침실과 거실 및 주방으로 구성된 전형적인 판상형 공동주택의 단위세대로서 설치된 자연환기구는 수평형과 수직형 두 가지 종류의 창틀 설치형 자연환기구가 설치되었다.

분석대상 세대 및 설치된 자연환기구의 개요는 다음과 같다.



〈자연환기구 설치도(좌 : 수평형, 우 : 수직형)〉

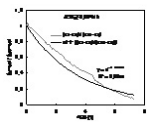
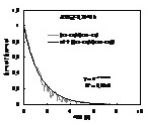
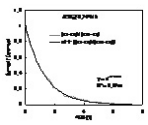


〈분석대상 건물 및 세대〉

3-2. 분석대상 세대 자연환기량 실측 결과[1)]

분석대상 세대에 대한 자연환기량은 CO_2가스를 이용한 가스추적법(Tracer Gas Method)에 의하여 측정되었으며, 실측 일의 측정조건 및 실측 결과는 다음과 같다.

〈실험기간 중 일평균 기상조건 및 자연환기량〉

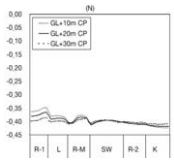
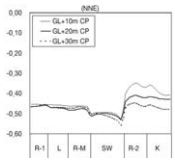
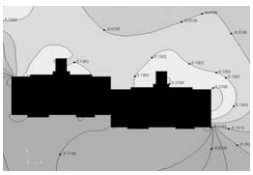
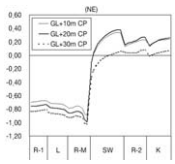
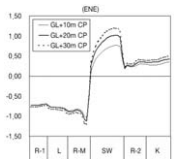
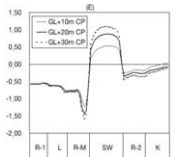
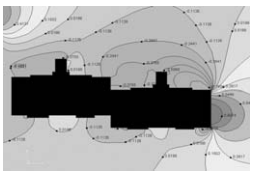
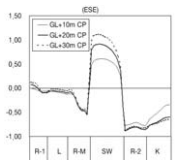
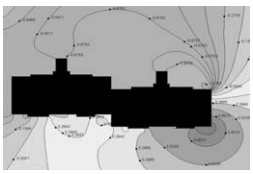
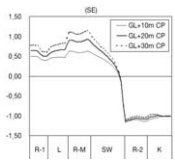
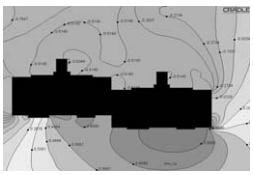
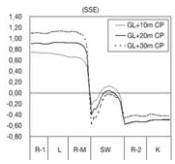
구 분	제1차 실험	제2차 실험	제3차 실험
실험일	2006/10/20	2006/10/23	2006/10/24
외기온도	18.6℃	14.4℃	18.4℃
외기풍속	0.22m/s	0.80m/s	0.72m/s
실내온도	19.5℃	16.5℃	23.3℃
실측결과	 세대평균 0.26회/hr	 세대평균 0.73회/hr	 세대평균 0.74회/hr

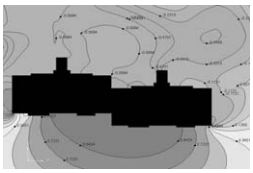
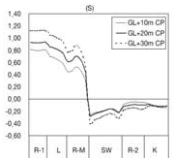
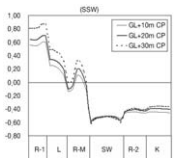
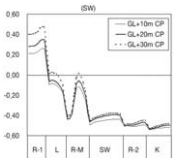
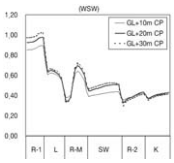
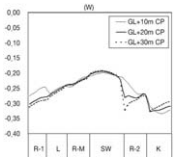
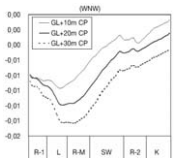
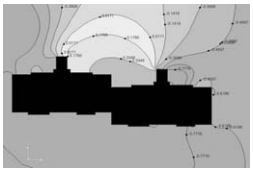
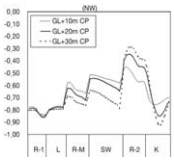
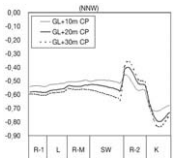
1) 실측결과는 대한주택공사에서 연구비지원을 받아 실시된 '창틀형 자연환기시스템의 환기성능 실측 평가연구' 2006. 12에 의하여 수행된 결과임.

4 분석대상 세대의 CFD 시뮬레이션에 의한 풍압계수의 산출

4-1. 분석대상 세대 외피의 풍향별 풍압계수 분포

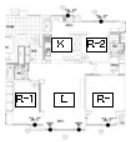
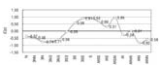
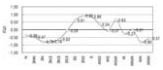
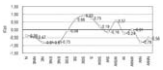
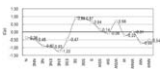
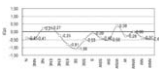
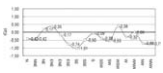
〈분석대상 세대 외피의 풍향별 풍압계수 분포〉

풍향	해석결과(GL+20m)	대상세대 외벽 Cp 분포
N		
NNE		
NE		
ENE		
E		
ESE		
SE		
SSE		

풍향	해석결과(GL+20m)	대상세대 외벽 Cp 분포
S		
SSW		
SW		
WSW		
W		
WNW		
NW		
NNW		

4-2. 자연환기구 위치별 풍향에 따른 풍압계수

〈분석대상 세대 자연환기구별 풍향에 따른 풍압계수 분포〉

개요	대상세대 평면 및 환기구 위치	A-1 vent	B vent
			
풍향	R-1	L-left	L-right
N	-0,37	-0,39	-0,39
NNE	-0,46	-0,47	-0,47
NE-	-0,74	-0,78	-0,81
ENE	-,071	-0,78	-0,81
E	-0,56	-0,62	-0,75
ESE	-0,05	-0,05	-0,08
SE	0,58	0,61	0,66
SSE	0,91	0,92	0,93
S	0,93	0,86	0,75
SSW	0,66	0,34	0,19
SW	0,31	-0,07	-0,16
WSW	0,95	0,63	0,57
W	-0,28	-0,27	-0,24
WNW	-0,01	-0,01	-0,01
NW	-0,82	-0,80	-0,78
NNW	-0,58	-0,57	-0,56
Cp 분포			
	R-main	R-2	K
N	-0,38	-0,41	-0,42
NNE	-0,48	-0,41	-0,42
NE	-0,87	0,21	0,17
ENE	-0,93	0,27	0,35
E	-1,22	-0,25	-0,17
ESE	-0,47	-0,81	-0,74
SE	0,88	-1,06	-1,01
SSE	0,87	-0,53	-0,50
S	0,64	-0,09	-0,09
SSW	0,14	-0,40	-0,39
SW	-0,08	-0,50	-0,53
WSW	0,68	0,39	0,38
W	-0,22	-0,28	-0,32
WNW	-0,01	0,00	0,00
NW	-0,69	-0,37	-0,68
NNW	-0,54	-0,45	-0,71
Cp 분포			

5 네트워크 모델 시뮬레이션에 의한 환기량 해석

5-1. 자연환기구의 유입 풍량 특성 설정

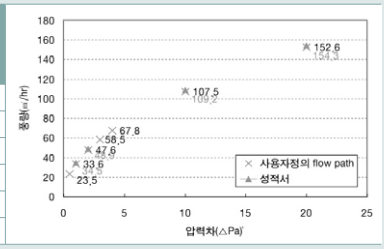
분석대상 세대에 설치된 자연환기구는 실내 · 외 압력차에 따라 유입되는 풍량이 변화하며, 과도한 환기량 유입을 방지하기 위하여

압력차가 일정 수준 이상으로 형성되면, 유입 풍량을 감소시키는 장치가 설치되어 있어, 이에 대한 해석을 위하여 네트워크 프로그램에 사용자 정의 Flow Path 요소를 설정하여 해석 시 적용되는 실내외 압력차에 의하여 발생하는 유입 풍량이 실제 설치된 환기구와 유사하게 작용하도록 설정하였다.

다음은 자연환기구 제조사에서 제공받은 시험성적서 상의 압력차별 환기량과 본 해석에서 적용된 사용자 정의 Flow Path요소에 의해서 유입되는 환기량을 비교한 것으로 적용된 실체적과 압력차를 동일하게 하였을 경우 단위 설치 길이 당 유입 풍량이 거의 유사하게 해석되는 것을 볼 수 있다.

〈자연환기구 유입풍량 특성 적용 Flow Path〉

압력차 (Pa)	사용자 정의 (m3/hr)	성적서 (m3/hr)
20	152.60	154.33
10	107.52	109.15
4	67.76	-
3	58.52	-
2	47.60	48.85
1	33.60	34.52

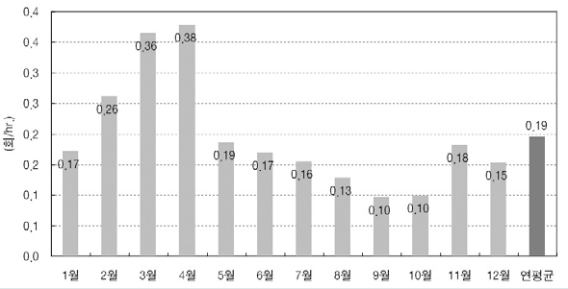


5-2. 창호의 침기 특성 설정

분석대상 세대의 침기량에 대한 별도의 실측을 실시하지 못하였으며, 이에 따라 네트워크 모델에 침기를 모사할 수 있는 Flow Path를 각 창호 및 외기에 면한 개구부에 설치하고 틈새 길이를 조정하여 일반적인 공동주택의 침기량인 0.2회/hr. 정도의 침기량이 발생하도록 설정하였다. 이때 해석 모델링에서는 환기구는 없는 것으로 가정하여 순수한 침기에 의한 환기량만을 고려하였다.

다음은 분석대상 세대의 월평균 침기량 분포 및 연평균 침기량의 해석 결과로서 연평균 약 0.19회.hr의 침기가 발생하는 것으로 설정하였다.

〈분석대상 세대의 연간 침기량 해석 결과〉

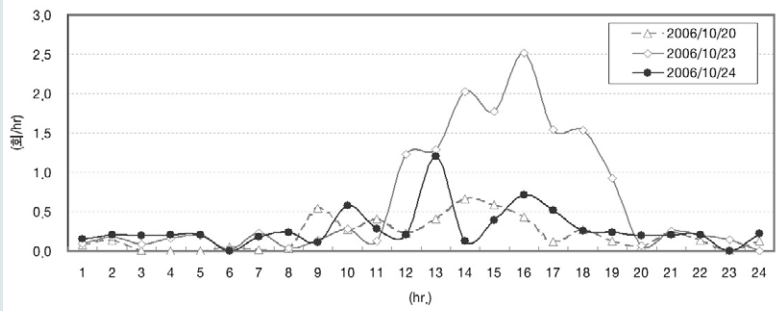


5-3. 분석대상 세대의 실측기간 자연환기량 비교

분석대상 세대의 실측 자연환기량과 해당 기간에 대한 해석 결과를 비교하여 보면 다음과 같다.

〈측정일별 분석대상 세대의 자연환기량 분포 및 환기량 비교〉

	시간별 환기횟수 (회/hr)																							
일/시	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10/20	0.08	0.14	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	0.04	0.54	0.27	0.41	0.23	0.41	0.66	0.58	0.43	0.12	0.27	0.12	0.06	0.23	0.14	0.00	0.13
10/23	0.10	0.18	0.08	0.16	0.19	0.02	0.23	0.03	0.14	0.28	0.13	1.23	1.29	2.03	1.77	2.51	1.54	1.54	0.92	0.07	0.26	0.20	0.14	0.00
10/24	0.15	0.21	0.19	0.20	0.20	0.00	0.18	0.23	0.11	0.57	0.28	0.21	1.20	0.13	0.39	0.71	0.52	0.26	0.24	0.20	0.21	0.21	0.00	0.22



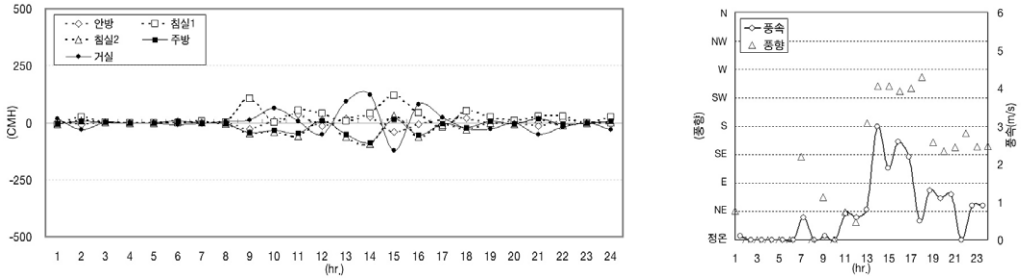
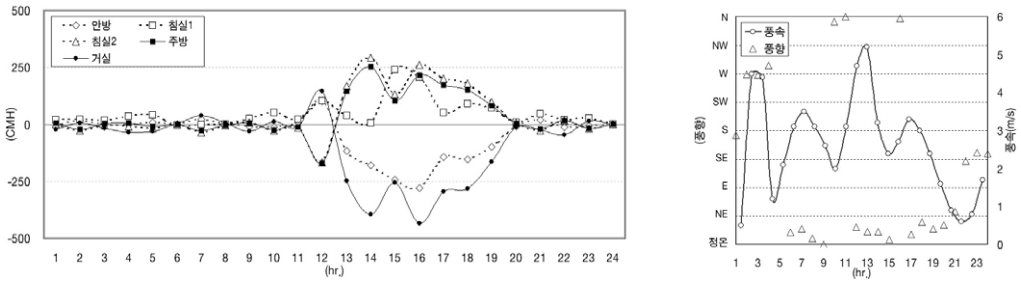
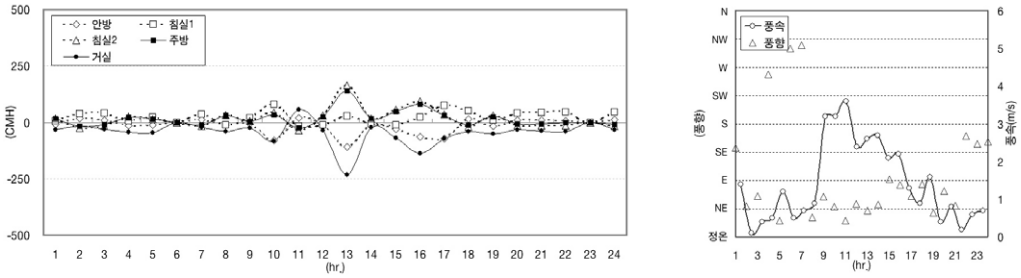
일 시	환기횟수(회/hr.)		오차율(%)
	해석	실측	
10/20	0.20	0.26	-23
10/23	0.63	0.73	-14
10/24	0.28	0.74	-61

분석대상 세대의 실측기간에 대하여 해석된 각 환기구별 유출입 풍향 분포는 다음과 같다.

분석대상 세대에 대한 실측을 실시한 2006년 10월 20일, 23일 24일에 대한 환기량 해석 결과 20일과 23일은 20% 내외의 오차율을 나타내고 있는 것으로 나타났으나 24일의 환기량은 60%이상의 오차율을 나타내었다.

이는 적용된 기상데이터와 분석대상 세대가 위치한 지역의 미기후의 차이에 의한 것으로 판단된다.

〈측정일별 분석대상 세대의 환기구별 유출입 풍량 분포〉

대상일	실측일의 시간별 유출 입풍량 및 외부 풍향/풍속
10/20	
10/23	
10/24	

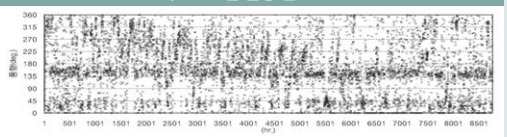
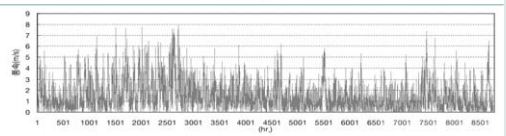
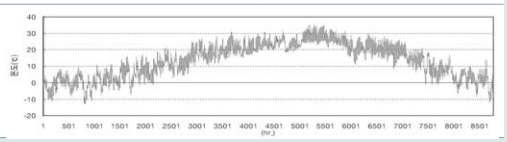
6 네트워크 모델 시뮬레이션에 의한 연간 자연환기량 해석

6-1. 분석대상 세대의 연간 자연환기량 해석을 위한 기상데이터

분석대상 세대에 대한 네트워크 시뮬레이션에 의한 연간 환기량 해석 결과를 위하여 분석대상 건물이 위치하고 있는 지역에서 가장 가까운 거리에 기상 관측 자료를 적용하였다. 분석을 위하여 사용된 자료는 용인시 포곡면 둔전리에 위치한 무인자동기상관측장비(AWS)에 의하여 측정된 자료로서 해당지역의 2006년 매시 풍향 및 풍속, 그리고 기온 자료를 적용하였다.

다음은 분석에 적용된 기후요소별 기상 자료의 분포이다.

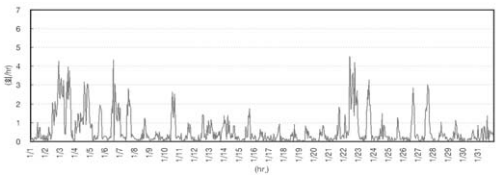
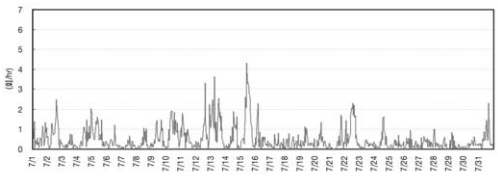
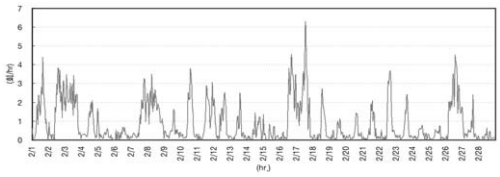
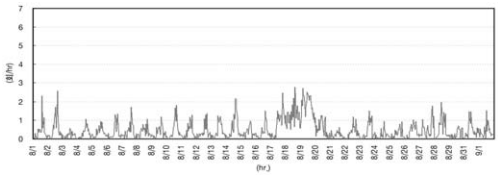
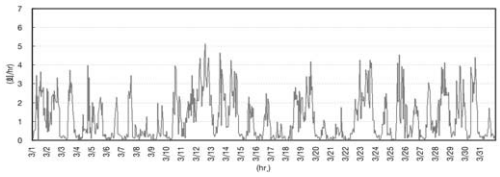
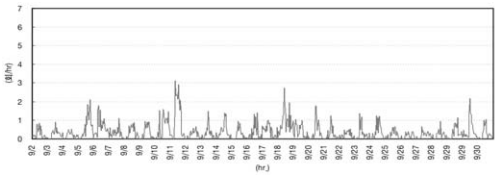
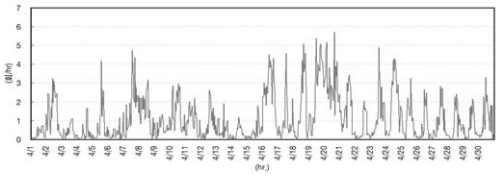
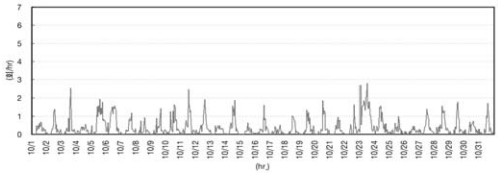
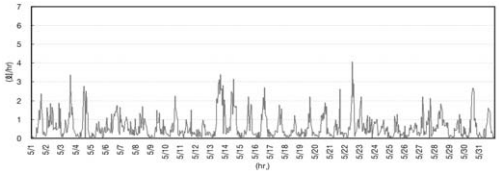
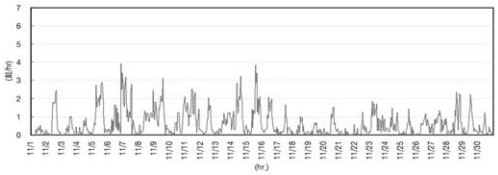
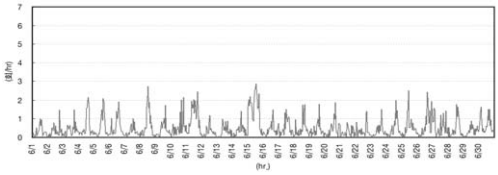
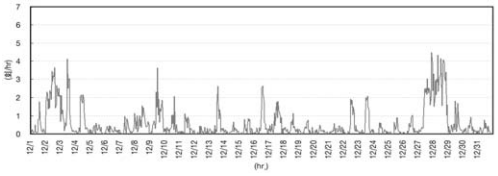
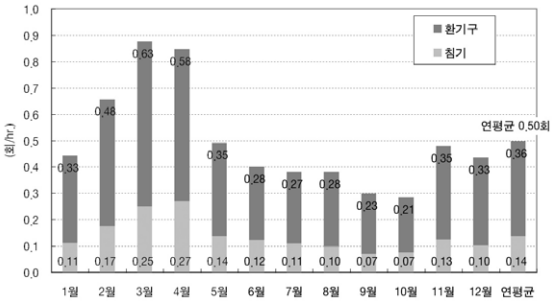
〈측정일별 분석대상 세대의 환기구별 유출입 풍량 분포〉

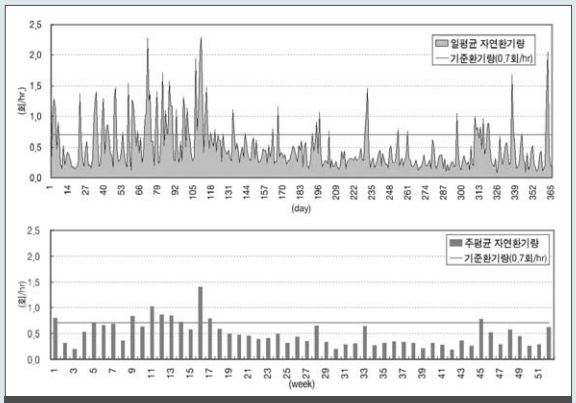
구분	기상요소별 연중 분포
풍향	
풍속	
기온	

6-2. 분석대상 세대의 연간 자연환기량 분포

분석대상 세대에 대한 네트워크 시뮬레이션에 의한 연간 환기량 해석 결과는 다음과 같다.

〈분석대상세대의 연간 자연환기량 〉

월	해석결과(환기구별 풍량 분포)	월	해석결과(환기구별 풍량 분포)
1월		7월	
2월		8월	
3월		9월	
4월		10월	
5월		11월	
6월		12월	
연간 자연 환기량 분포			

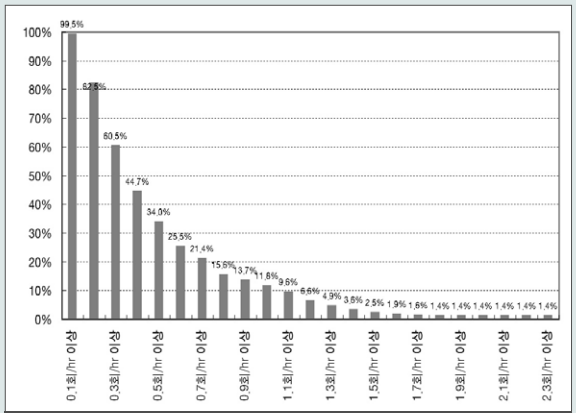


〈연중 일간 평균 및 주간 평균 환기횟수 분포〉

분석대상 세대에 대한 연간 환기량 해석 결과는 연평균 환기회수는 0.50회/hr로 나타났다. 이중 연간 침기에 의한 환기량은 평균 0.14회/hr 로 밀폐상태로 해석한 경우보다 다수 감소되는 것으로 나타났다.

해석 결과 월평균 환기회수는 3월에 최대 월평균 0.63회/hr이며, 10월에 최소 월평균 0.21회/hr로 나타났다. 연간 52주중 개정 규칙에 따라 주간 평균 환기량이 0.7회/hr를 만족하는 주는 10주로서 연중 19.2%의 주만이 환기량 기준을 만족할 수 있는 것으로 나타났다.

해석결과의 일간 평균 환기회수를 살펴보면 연중 78일(365일중 21.4%)만이 일간 평균 환기기량이 환기량 기준을 만족하는 것으로 분석되었다.



〈환기량별 연간 발생일 누적분포〉

7 결론

7-1. 공동주택의 연간 자연환기량 해석 결과

공동주택의 연간 자연환기량을 CFD 시뮬레이션에 의한 세대 환기구 및 창호의 풍압계수 도출 및 연간 시간단위 풍속, 풍향 데이터를 이용한 네트워크 모델 시뮬레이션을 통하여 산출하였으며, 산출된 자연환기량을 실측 결과와 비교 분석하였다.

그 결과 실측일에 측정된 자연환기량과 해석에 의한 결과가 비교적 유사하게 해석되어 분석대상 세대의 자연환기 특성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 실제 건물이 위치한 대지의 미기후와 획득 가능한 가장 근접거리의 기상데이터도 상당부분 차이가 있어 단기간의 측정 결과로는 해석결과에 대한 신뢰도를 충분히 검증하기는 어려움이 있었다.

연간 자연환기량 해석 결과 연 평균 약 0.5회/hr의 자연환기가 발생하는 것으로 나타났으며, 연간 자연환기량 해석 결과를 분석한 결과 기준환기량을 만족한 주는 연간 52주중 10주, 또한 기준을 만족하는 일수는 연간 365일중 78일로서 해당 세대는 개정된 법규에 제시된 환기량 기준을 만족하지 못하는 것으로 판단되었다.

그러나 측정일에 대한 실측결과에서는 측정된 3일 중 2일이 기준환기량을 상회하는 것으로 나타나 측정결과만을 놓고 보면 기준을 만족하는 것으로 판단될 수 있어 자연환기량에 대한 기준 만족여부를 판단할 경우 제시된 방법과 같은 연중 자연환기량 해석이 필요할 것으로 판단된다.

특히 일정한 하나의 조건 즉 지역의 연간 데이터에 의한 주풍향과 평균 풍속에 의한 해석 결과에 따라 환기량 기준의 만족여부를 판단하는 것은 분석하는 세대의 환기량 예측에 오류가 발생될 가능성이 큰 것으로 사료된다.

7-2. 향후 연구과제

본 연구의 결과 제시된 방법을 통하여 공동주택 단위세대의 연간 자연환기량 해석 가능성을 판단할 수 있었다. 그러나 해석결과에 대한 충분한 검증과 보다 정확한 해석 조건 및 방법의 설정을 위해서는 충분한 기간에 대한 자연환기량 실측 결과가 필요하며, 특히 실측하는 단위세대의 침기 성능과 함께 실측 시 외부 풍환경 즉 외부 풍향, 풍속, 외기온도에 대한 실측이 병행된 장기간의 실측 데이터가 요구된다.

또한 특정 한 세대뿐 아니라 단지 전체의 세대에 대한 환기성능을 예측하여야 할 필요가 있기 때문에 전체 단지의 여러 위치에 배치되는 동일 Type의 단위세대 Unit중 어느 위치에 있는 단위세대가 가장 자연환기에 불리할 것인가를 풍압계수의 해석만으로 판단할 수 있는 방법이 정립될 필요가 있다.

유 공간 확보 및 예비배관 설치가 쉽지 않기 때문에 배점을 받기 어렵다.

4) 고려사항

본 항목은 장수명 주택 및 자원의 재활용 차원에서 세대의 통합분리를 고려한 설비 및 전기 설비의 여유 공간 확보에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 현재 일반적인 계획방법으로는 배점을 받기 힘든 상황이며, 본 항목에서 높은 등급을 받기 위해서는 최적설계가 아니라 목표한 등급을 획득하기 위해 현재는 필요하지 않은 과다한 설계가 될 가능성도 있다.

그리고 앞장의 가변성 항목에서는 세대 내부의 가변성 여부만 고려하는데 비해 본 항목은 2호를 1호를 통합하는 경우를 고려하고 있으므로 평가기준이 상이한 부분에 대한 검토가 있어야 하지 않을까?

2-3. 내구성

1) 관련 법령

한국산업규격(KS)에서는 건축물의 부위별 성능분류 방법으로 내구성 항목에 대해서 연 단위로 측정하며, 이를 7개 등급으로 구분하고 있다.

〈표 3〉 KS F 1010 : 2005 건축물의 부위별 성능 분류

급별호수 / 성능항목	(0)	1	2	3	4	5	6	(7)	비 고	
									측정항목	측정단위
내구성	5	8	12	20	32	50	80		내구연한	년

주택건설기준 등에 관한 규칙 제13조(공업화주택의 성능 및 생산기준)에서는 방청 · 방부성능, 방수 · 배수성능, 유지관리 성능 등으로 구분하고 있으며, 이 중 방청 · 방부성능은 철근의 피복두께, 철재 및 접합철물의 방청처리, 목재의 방부 및 살충처리 등을 주요 내용으로 하고 있다.

콘크리트 구조설계기준(2003)에서는 내구성을 별도의 항목으로 고려하고 있으며, 내구성 설계기준과 내구성 허용기준으로 구분하고 있다. 그러나 내구성 설계기준은 정성적인 내용으로 구성되어 있어 계량적인 평가를 위한 기준으로 활용할 수 없으며, 내구성 허용기준은 동결, 융해 및 제빙 화학물에 노출되는 콘크리트가 준수해야 할 공기량, 수밀콘크리트 또는 습한 상태에서 동결, 융해되는 노출조건 하의 콘크리트의 배합기준, 황산염을 포함한 용액에 노출된 콘크리트의 저항성능, 그리고 철근부식방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율 등을 정량적으로 제시하고 있지만 특수 환경에 노출된 콘크리트에 대한 기준으로 일반적인 환경에 노출된 콘크리트에 대해서는 기준이 제시되어 있지 않은 상태이다.

콘크리트 표준시방서 내구성편(2004)은 콘크리트 구조물의 공사 착공단계에서 내구성을 평가하기 위한 것으로서 내구성 평가 원칙, 설계에 따라 시공된 콘크리트 구조물에 대한 내구성 평가방법, 시공계획에 따라 시공된 콘크리트 구조물에 시공 직후에 발생될 수 있는 균열의 평가방법, 시공에 사용되기 위해 배합 설계된 콘크리트의 재료 자체에 대한 내구성 평가방법에 대한 일반적이고 기본적인 표준을 규정하고 있다.

콘크리트 구조물의 목표 내구수명은 구조물이 특별한 유지관리 없이 일상적인 유지관리 하에서 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정하게 되는데, 시공된 콘크리트 구조물의 내구등급의 결정은 구조물의 설계시 설정된 콘크리트 구조물의 목표 내구수명에 따라 다음 표에 의한다.

〈표 4〉 목표 내구수명에 따른 내구성 등급

등급	구조물의 내용	목표 내용년수
1등급	특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물	100년
2등급	높은 내구성이 요구되는 구조물	65년
3등급	비교적 낮은 내구성이 요구되는 구조물	30년

2) 성능등급 기준 및 평가방법

공동주택의 내구성 성능등급은 KS F 1010 : 2005 에서 규정하는 바에 따라 내구성의 측정항목을 연단위의 내용연수로 설정하였고, 여기서 내구연수라 함은 건축물의 물리적 수명을 의미한다.

내구성 등급의 내용연수는 콘크리트 표준시방서 내구성편에서 나타난 바와 같이 100년, 65년, 30년을 기본으로 하였고, 100년은 3대가 거주할 수 있는 정도, 65년은 2대가 거주할 수 있는 정도, 30년은 1대가 거주하는 정도를 기대한 것이다.

〈표 5〉 내구성 등급 평가기준

구분	물리적 수명
1급	100년
2급	65년
3급	30년

일상의 유지관리 조건하에서 대규모 이상의 보수보강을 필요로 하지 않는다.

3) 기술적 대응전략

내구성 평가기준 #1에서 '건물의 형상 · 디테일' 은 내구성 측면에서 약점이 되는 단면 감소부(외부의 난간벽, 파라펫 등)가 생기지 않도록 하거나 유효한 보호대책 및 유지관리계획을 수립하는 것을 기본으로 하였고, 돌출부의 최소 두께는 굵은 골재의 최대 치수로 평가하도록 되어 있다. 그러나 외부의 난간벽, 파라펫 등은 주요 구조부재가 아니므로 설계단계에서 중요하게 고려되고 있지 않았지만 본 항목의 도입으로 보호대책 및 유지관리계획 등이 주요 부재

항 목				내구성 성능등급		
				1급	2급	3급
건물형상·디테일		일반사양		단면감소부 : 단면감소 부분의 콘크리트 및 철근에 대한 보호대책 및 제반 유지관리·보수계획 수립		
				단면의 두께가 작은 돌출부의 최소두께		
				굵은골재 최대치 수의 4배 이상	굵은골재 최대치수의 3배 이상	
		염해위험지역		해수 및 해염입자의 정체 및 부착이 어려운 형태		
		동해위험지역		융설수·우수의 정체, 벽면상의 유수가 어려운 형태		
구조응력상 요구되는 설계상의 허용 균열폭		구조계획		건물 부재의 규모·형상·지반조건 등에 따라 유효한 균열억제대책 수립		특기 없음
		설계상의 허용균열폭 (염해 및 동해위험지역)		0.2mm 이하 (0.1mm 이하)	0.3mm 이하 (0.2mm 이하)	
부재의 최소단면 (지역구분과 무관)		외벽		180mm 이상		150mm 이상
		슬래브		150mm 이상		130mm 이상
철근의 피복두께 (mm)	일반지역 : 동해위험지역 / 흙에 접하지 않는 부분	지붕슬래브 바닥슬래브 비내력벽	실내	40	30	
			실외	50 (마감면 40)	40 (마감면 30)	
		기둥·보 내력벽	실내	50	40	
			실외	60 (마감면 50)	50 (마감면 40)	
		옹 벽		60	50	
	흙에 접하는 부분	기둥 보 바닥슬래브 ·내력벽		50	50	
		기초·옹벽		70	70	
	염해위험지역	구분	S4	90 (방형철근)	90	
			S3	90 (방형철근)	80	
			S2	80 (마감면 70)	70 (마감면 60)	
			S1	60	50	
* 피복두께 완화 조건 : 건설신기술로 지정되거나, 공인된 방식공법(방식피복, 방전제 전기방식, 방청철근 등)을 적용하는 경우 2등급 요건이 만족되어도 1등급을 인정함. ** 최소피복두께는 상기 치수에서 10mm 를 공제한 값 이상으로 함.						

내구성 평가기준 #1

항 목			내구성 성능등급		
			1급	2급	3급
콘크리트 품질	설계기준강도 f_{ck}		표준 27~36N/㎟	24~36N/㎟	21~36N/㎟
			경량 콘크리트		21~27N/㎟
			품질관리기준		
			1회의 시험결과 f_{ck} 이상 3회의 시험결과 f_{ck} 이상	1회의 시험결과 $0.9f_{ck}$ 이상 3회의 시험결과 f_{ck} 이상	1회의 시험결과 $0.85f_{ck}$ 이상 3회의 시험결과 f_{ck} 이상
	슬럼프		표준 12cm 이하	15cm 이하	18cm 이하 fck≥27 N/㎟ 15cm 이하
			유동화콘크리트 18cm 이하	21cm 이하	21cm 이하
			슬럼프의 허용범위 : ±2.5cm		
	단위수량		표준 175kg/㎥ 이하	표준 175kg/㎥ 이하	표준 185kg/㎥ 이하 최대 200kg/㎥
	단위시멘트량		보통콘크리트 330kg/㎥ 이상	300 kg/㎥ 이상	270 kg/㎥ 이상
			경량콘크리트		300 kg/㎥ 이상
	물시멘트비	일반지역	보통콘크리트 50% 이하	55% 이하	65% 이하
			경량콘크리트		60% 이하
		동해위험지역	동해 위험도 P3		
			보통콘크리트 50% 이하	보통콘크리트 55% 이하	보통콘크리트 60% 이하 경량콘크리트 55% 이하
			동해 위험도 P4		
			보통콘크리트 45% 이하	보통콘크리트 50% 이하	보통콘크리트 55% 이하 경량콘크리트 50% 이하
			동해 위험도 P5		
			보통콘크리트 40% 이하	보통콘크리트 45% 이하	보통콘크리트 50% 이하 경량콘크리트 45% 이하
		염해위험지역	염해 염화 외력 S4 40% 이하	40% 이하	45% 이하
			S3 40% 이하	45% 이하	50% 이하
			S2 50% 이하	50% 이하	55% 이하
			S1 55% 이하	55% 이하	60% 이하
	공기량	일반지역			4.0 ~ 6.0%
		동해위험지역	동해위험도 P3 굵은골재최대치수 20, 25mm 40mm		4.5 ~ 6.0% 4.0 ~ 6.0%
			동해위험도 P4 굵은골재최대치수 20, 25mm 40mm		5.0 ~ 6.0% 4.5 ~ 6.0%
			동해위험도 P5 굵은골재최대치수 20, 25mm 40mm		5.0 ~ 6.0% 4.5 ~ 6.0%
			공기량의 허용범위 : ±1.5%		
	염화물량		0.2 kg/㎥		0.3 kg/㎥

내구성 평가기준 #2

뿐만 아니라 기타 부재까지도 포괄적으로 제시되어야 한다.

'구조 응력상 요구되는 설계상의 허용 균열폭' 은 정량적으로 0.3mm 이하, 0.2mm 이하로 제시하고 있지만 현실적으로 0.2mm 이하를 만족하는 것은 쉽지 않기 때문에 1급을 확보하기 위해서는 특별한 대책이 요구된다.

'부재의 최소 단면' 은 외벽과 슬래브만 규정하고 있는데 구조 응력상 필요한 두께 이하를 기준으로 하고 있기 때문에 충분히 1급이 가능한 항목이다.

가장 문제가 되는 '철근의 피복두께' 는 건축공사 표준시방서(1999)를 따르고 있는데, 콘크리트 구조설계기준(2003)에서는 옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트의 경우 슬래브, 벽체, 장선의 경우 D35 이하인 철근은 20mm로 규정하고 있으며, 새롭게 바뀌는 건축공사 표준시방서(2006)에 따르면 최소 피복두께는 1999년 기준값보다 10mm 공제한 대신 설계 피복두께는 최소 피복두께보다 10mm 두껍게 하도록 규정함으로써 신 · 구 기준값에 차이가 없게 되었다. 결국 실무적으로 가장 문제가 되는 부분은 '내력벽' 의 피복두께인데, 현재는 콘크리트 구조설계기준에 따라 구조해석적인 최소 피복두께인 20mm를 고려하고 있지만 설계에서는 40mm를 반영해야 하므로 벽체가 두꺼워지게 되고 그로 인한 영향을 검토해야만 한다.

다음으로 내구성 평가기준 #2에 따른 평가는 배합설계를 기준으로 재료의 물성을 향상시키는 방향으로 등급 기준이 설정되었으며, 건축공사 표준시방서를 따를 경우 등급에 따른 설계는 충분히 가능할 것으로 판단된다.

4) 고려사항

본 평가항목은 구조설계적인 요소를 평가함에 있어서 건축공사 표준시방서를 기준으로 설정되었기 때문에 등급에 부합하는 설계를 함에 있어서 구조설계자의 시각이 구조설계기준에서 시방서 기준으로 바꿔야 한다는 전제가 내포되어 있다. 단순히 구조계산에 필요한 최소값이 아니라 시공 중 발생할 수 있는 오차요인까지 감안한 설계가 진행되어야 하기 때문에 콘크리트 물량 및 철근 물량이 증가하는 경우도 발생할 수 있을 것이다. 특히 구조적으로 해결이 어려운 부분에 대해서는 사전검토를 통하여 항목을 도출하고 대응방안에 대한 연구를 진행하는 등의 등급향상을 위해서는 기초적인 연구가 필요할 수도 있을 것이다.

그리고 본 항목은 현재 대부분의 공동주택이 철근콘크리트조로 시공되고 있다는 이유로 철근콘크리트에 국한된 평가기준을 제시하고 있는데, 장기적인 측면에서 다른 구조요소에 대한 평가기준도 고려해야 하지 않을까?

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 「공동주택 성능등급 표시제도에 관한 연구」, 건설교통부, 2005
2. 건설교통부고시 제2006-14호, "주택성능등급 인정 및 관리기준"
3. 주택성능등급 인정센터 홈페이지, http://www.goodhousing.or.kr
4. 콘크리트 표준시방서, 건설교통부, 2003
5. 콘크리트 표준시방서 내구성편, 건설교통부, 2004
5. 콘크리트 구조설계기준, 건설교통부, 2003
6. 건축공사 표준시방서, 건설교통부, 1999
7. 건축공사 표준시방서, 건설교통부, 2006