

초고층 건축물의 최적화된 설비시스템 설계를 위한 기초연구

The Study on Optimization of HVAC Systems Design in Tall Buildings

유 정 연*
Yu, Jung-Yeon

조 동 우**
Cho, Dong-Woo

유 기 형***
Yu, Ki-Hyung

Abstract

The optimized HVAC system design in tall buildings enable owners to save unnecessary energy consumption and residents to have comfort environments. The purpose of this study is to develop design process for optimized HVAC system design in tall buildings. As basic researches, literature researches and case studies of HVAC system design in tall buildings were performed. Survey was processed among expert in the field and key considerations on HVAC system design were drew as conclusions. With these conclusions, studies were performed on effects of wind velocity, outdoor air temperature, and solar radiation that are main factors of load calculation in tall buildings. Finally, air-tightness and stack effect were analyzed and estimated by literature studies, field measurements and computer simulations.

키워드 : 설비설계프로세스, 초고층 건축물, 설비시스템, 부하계산, 연돌효과
Keywords : design process, tall building, HVAC system, Load calculation, stack effect

1. 서론

1.1 연구의 목적

현재 초고층 건축물의 설계는 그 설계 사례 및 경험이 충분하지 않기 때문에 기존 고층건물의 설계 방식을 적용하여 설계가 이루어지고 있으며 초고층 건축물의 특성에 따른 설계인자가 고려되지 않은 상태에서 과도한 안전율로 냉난방부하를 산정하여 설비 시스템이나 배관 등이 과다 설계 되거나 부적절하게 조닝되어있다. 이것은 초기 장치 비용 상승, 건물의 층고 상승, 시스템의 효율성을 저하 등의 문제점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 초고층 건축물의 설비 시스템의 최적화된 설계를 위한 건축 설계 프로세스를 개발하기 위한 기초연구로서 국내외 초고층 건축물의 설비설계 사례 및 초고층 건축특성에 따른 설계인자에 대하여 조사·분석하였다. 본 연구의 결론으로 도출된 초고층 건축물의 설비 설계 인자 별 냉난방부하에 미치는 영향은 추후 초고층건축물 설계인자 특성을 고려한 냉난방부하 최적설계 기법 개발에 적용될 것이다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 다음과 같이 진행되었다.

- 국내외 설비설계 사례 조사 및 분석과 국내외 초고층건축물의 설비현황 및 열원설비 운영현황 조사를 위하여 문헌조사 및 사례조사를 실시하였다.
- 기존 설비설계프로세스 문제점 및 고려사항 도출을 위하여 전문가를 통한 설문조사 및 분석을 수행하였다.
- 초고층 건축특성에 따른 설계인자분석으로
 - 외기의 풍속 및 온도, 대기 복사 등의 기후인자가 부하에 산정에 미치는 영향을 조사·분석하였다.
 - 건축물의 기밀성에 대한 기준 조사 및 기존 초고층 건축물에 대한 사례 실측이 이루어졌다.
 - 초고층 건축물의 연돌효과에 대한 이론 연구 및 시뮬레이션을 통해 그 영향을 분석하였다.

2. 국내·외 기술개발 현황

초고층 건축물의 효율적인 설비계획을 위한 프로세스 설정을 위해서는 기본적인 설비계획의 방향이 설정되어야 하며 기존의 초고층 건물의 설비관련 연구문헌과 설비계획 사례를 수집하고 분석하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 기존 초고층 건물의 설비계획에 관한 연구문헌과 사례조사를 실시하여 국내·

* 한국건설기술연구원, 연구원
** 한국건설기술연구원, 수석연구원
*** 한국건설기술연구원, 선임연구원

의 기술 현황 및 초고층 구축사례를 수집 분석하여 설비 설계 프로세스 설정을 위한 기초자료로 활용하였다.

2.1 국내·외 기술 현황 및 분석

국내·외 기술 현황을 연구 논문 및 발표자료 등을 통하여 조사한 결과, 국내의 경우 최근 증가하고 있는 주상복합 건물을 포함한 초고층 건축물의 경우, 수직적으로 고밀도화되어 있어, 열원설비, 공조설비 등을 포함한 설비 시스템의 비중이 증가하고 있는 반면, 주상복합 건물 중심의 환기계획 및 외피계획 등에 관한 연구에 치중되어 시스템 설계의 용량 산정에 영향을 미치는 설계인자 및 시스템 조닝에 관한 연구는 매우 부족한 것으로 나타났다. 국외의 경우 다양한 설계 및 시공경험을 바탕으로 한 기초 데이터가 확보되어 있어 보다 활발한 연구가 진행중이며, 설비설계인자 및 시스템 조닝 등에서 확대되어 건물 주변 풍압 분포 및 주변 미기후 변화 분석 등 부하계산시 고려해야하는 인자 등에 관한 연구까지 그 범위가 넓은 것으로 나타났다. 따라서, 국내 적용을 위해 보다 많은 연구활동과 기술개발이 필요할 것으로 사료된다.

2.2 기술구축 현황

국외의 경우 초고층 건축물의 건설이 활발하여 구축 사례가 풍부하며, 실제 적용에 대한 설계경험도 풍부한 편이나, 국내의 경우 초고층 건축물의 건설이 주상복합을 중심으로 붐을 이루고 있어 이에 대한 기술 구축이 필수적인 상황이다. 또한, 국외의 구축 사례를 살펴보면, 설계인자들의 중요도에 따라 다양한 설계안이 도출되어 비교검토를 통해 보다 최적화된 설계 기법을 적용하고 있으며, 이에 대한 자료와 설계경험이 풍부하므로 초고층 건축물의 설계기술이 빈약한 국내에서는 외국 설계 기술의 적절한 도입이 필요한 실정이다.

3. 초고층 건물 특성에 따른 설계 인자 도출

앞서 초고층 건축물 설비기술의 연구동향 및 기술동향을 살펴본 결과 초고층건축물의 특성상 수직적으로 고밀도화 되어 있어 열원설비, 공조설비 등을 포함한 설비 시스템의 비중이 증가하고 있는 반면, 시스템 설계의 용량 산정에 영향을 미치는 설계 인자 및 시스템조닝에 관한 연구는 매우 부족한 것으로 나타났다. 따라서, 초고층 건축물의 에너지절약을 위한 최적화된 건축·설비설계 프로세스를 개발을 위해서는 우선 각 설계인자별 특성 및 중요도를 파악하는 것이 필수적이라고 할 수 있다. 이를 위해 설비 설계 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 초고층 건축물의 설비설계 인자의 도출 및 각 설비설계인자별 중요도를 파악하였다.

1차 설문조사 결과 열원설비, 공조설비, 위생설비, 기타설비로 구분하여 조사한 결과, 열원설비의 경우 안전성 및 신뢰도, 기기 내압 등이 중요요소로 도출되었으며, 공조설비의 경우 층고의 최소화방안, 연돌효과 대책, 외기 도입 문제, 외기부하변동에 따른 부하계산 방법이 중요요소로 나타났다. 또한 위생설비의 경우 건물의 수직 팽창에 따른 변형에 대비한 배관재 및 이음방식 선정, 배관내압을 고려한 조닝 등을 고려해야 하며, 피난 및 소방관련 설비, 유지보수 관련사항이 중요사항으로 조사되었다. 초고층 건축물의 설비설계 인자별 중요도를 1차 설문조사를 바탕으로 설계경력 15년 이상의 전문기술자를 중심으로 설계인자별 중요도를 파악하고자 2차 전문가 설문조사를 실시하였다. 전문기술자 12인의 설문조사결과를 분석하여 표 1에 나타내었다.

전문가를 대상으로 한 2차 설문조사 결과, 초고층 건축물의 설비설계시 각 인자별 중요도가 도출되었다. 우선 초고층 건축물 설계시 주요 고려사항으로는 열원설비 설

표 1. 2차 전문가 설문조사 결과

구분		중요도						
		높다			낮다			
설비 개요	각 설비별 중요도	열원설비		공조설비		위생설비		기타설비
	열원설비 설계시 고려사항	안정성	에너지성능	조닝	유지관리	초기투자비	내구성	환경친화
	공조설비 설계시 고려사항	쾌적성	부하변동 대응	에너지 성능	조닝	초기투자비	개별제어	유지관리
부하계산	위생설비 설계시 고려사항	조닝	유지관리	배관재질	초기 투자비	에너지성능	환경친화	
	부하계산시 고려사항	건물의 방위 주변건물 배치		건물 높이별 일사부하		건물 높이별 외기풍속		건물 높이별 온습도 조건
열원설비	부하계산시 중요항목	유리창 부하	침입외기 부하	실내발열부하	구조체 부하	내부칸막이 부하		
	열원시스템 선정시 고려사항	기기의 안정성 및 신뢰성		경제적요인 (초기투자비, 운전비)		유지관리의 편이성		기기의 내구연한
공조설비	열원기기 배치시 중요항목	기기의 내압		기계실의 수직 배치		유지관리의 편이성		경제적 요인
	공조배관계통 설계시 중요도	배관내 압력유지		경제적 요인		유지관리의 편이성		건물 변형에 대비
	공조설비 계획시 중요도	반송동력		층고 절감		덕트내 연돌효과		덕트내 저항치 고려
위생설비	공조실위치 결정시 중요도	용도별, 사용 시간대별 조닝		공조실 외부 루버의 역풍방지		인접실로의 소음 방지		
	급수급탕설비의 수직 조닝	건물 전체 수압 분포		배관 및 기기의 내압 강도		수격작용		
	배관 방진 및 변형 관련 중요도	수배관 진동 및 소음 저감		배관재 이음방식		건물 풍하중에 따른 수평적 변위		시간에 따른 건물 수축현상

계시에는 시스템 신뢰성 및 안전성, 공조설비 설계시에는 쾌적성과 부하변동 대응 및 에너지성능, 위생설비 설계시에는 수직 조닝과 유지관리 편의성 및 배관 재질이 가장 중요한 것으로 나타났다. 그리고, 각 설비설계 인자별 중요도를 분석한 결과, 부하계산시에는 외피부하(투과 일사, 관류열 부하), 열원기기 배치시에는 기기의 내압, 공조배관계통 설계시에는 배관내 압력유지, 공조설비 계획시에는 층고절감과 반송동력을 고려한 공조방식 선정이 높은 비중을 나타내었다.

위의 1, 2차 설문조사 결과를 바탕으로 초고층 설계에 관련된 기초 실험 연구로서 본 연구에서는 초고층 설비 설계시 영향을 주는 설계인자인 외부 풍속, 외부 온도 및 대기 복사의 영향에 대하여 조사하였으며, 초고층 건축물의 기밀성에 대한 문헌연구와 사례조사를 실시하였다. 또한 초고층 건축물의 큰 문제점으로 대두되고 있는 연돌 효과에 대하여 이론적 연구, 시뮬레이션 및 현장실측을 통하여 그 해결방안을 모색하여 건축 및 설비 설계 지침을 마련하였으며 건축 법규에 대한 제안을 하였다.

3.1 초고층 건축물 설비설계 기후 인자

1) 외기 풍속의 영향(1)

건물의 고층화로 인해 바람에 의한 구조물의 응답이 더 크게 나타나기 때문에 초고층 건물에서는 바람의 영향이 더 크게 나타난다. 또한 재료의 발전은 건물을 경량화 시킴으로서 풍하중에 의한 횡변위나 진도에 대한 민감도가 더 커지게 되었다. 그림 1은 건축물과 높이에 따른 풍속의 증가를 보여주고 있다.

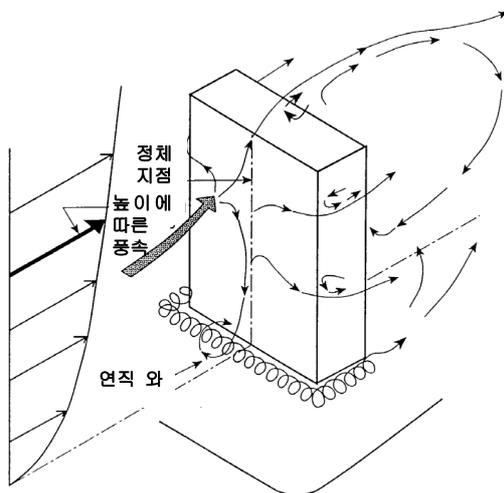


그림 1. 건축물과 높이별 풍속

초고층 건물에서는 풍속의 연직분포의 영향에 의해서 상층에는 평균풍속이 크고 난류의 강도가 적은 기류가 건물에 부딪히고, 하층에는 평균풍속이 적고 난류가 큰 기류가 부딪혀서, 높이 방향 흐름의 모습은 보다 복잡하게 변화한다. 건물이 초고층화 되면서 종횡비(높이/유효폭)가 커질수록 후류의 와발생에 의해 변동풍력이 커지기 때문에, 풍직각방향 성분이나 비틀림 성분의 증가가 현저하게 되므로 이에 대한 고려가 필요하다.

2) 외기 온도의 영향(2)

초고층 건물은 유연한 구조의 채택과 경량화에 따라 축열성능이 작아져서 실내 온도는 시간에 따른 외부의 기온변동에 대하여 민감하게 반응한다. 아울러 초고층 건물은 내부 코어에 있는 온은 외주부보다 외기로부터 영향을 적게 받고, 주로 공간에서 일어나는 재실자의 활동에 의해 영향을 받으므로 코어부근은 상대적으로 안정적인 냉방부하가 걸리지만, 외주부는 냉난방 부하가 동시에 나타날 것이다. 즉, 춥고 맑은 날 남쪽면은 태양일사에 의한 영향으로 상당한 양의 냉방부하가 요구되며, 반면에 북쪽면은 열손실이 커져 방위별 부하의 차이가 커진다. 그러므로 이러한 부하의 방위별, 시간별 변동성과 불균일성을 전체 냉난방 부하의 산정과 이에 따른 열원 및 공조계획에서 반드시 고려해야 할 중요한 사항이다. 또한 창이 밀폐되고 동시에 실내부하가 커지므로 중간기(봄, 가을)에 있어서도 냉방운전이 필요하고, 또한 실내환기를 위해 공조용의 대형팬을 연간 운전할 필요가 있다.

3) 대기 복사의 영향(2)

초고층 건축물의 부하계산에서 대기 복사의 영향에 대해서는 일반적으로 입사일사량(J)은 직달 및 확산일사량으로 입사일사량(J) = 직달일사량(JD) + 확산일사량(JS)과 같다. 야간에는 야간복사에 의한 상당외기온이 실제 외기온보다 낮아지므로, 외표면 온도 저하와 이로 인한 외피에서의 결로발생이 생길 수 있다. 지붕에서는 초고층 건물이나 일반 건물 모두 형태계수가 1이지만, 외벽면의 경우는 초고층 건물 상층부의 경우 형태계수가 커지고, 다른 건물에 의해 가려지는 부분이 적으므로 결국 외벽면의 야간복사량(JE)은 커지고 표면온도(tS)는 낮게 된다. 따라서, 야간은 초고층 건물의 상층부에서는 손실열량이 크게 된다. 이러한 현상은 주간에도 같지만, 주간은 야간복사량(JE)보다도 입사일사량(J)이 커진다. 초고층 건물에서는 일사 및 야간복사를 무시할 수 없으며, 건물 외표면으로의 입사량은 일반적으로 입사일사량(J) = 직달일사량(JD) + 확산일사량(JS) - 야간복사량(JE)으로 나타낼 수 있다. 초고층 건물의 하층부에서는 전면도로의 영향까지 고려하여 일사량은 입사일사량(J) = 직달일사량(JD) + 확산일사량(JS) + 전면도로로 부터의 복사량(JRP) - 야간복사량(JE)으로 나타낼 수 있으며, 상층부에서 주변 건물 지붕의 영향을 고려한 입사량은 입사일사량(J) = 직달일사량(JD) + 확산일사량(JS) + 전면 건물 옥상에서의 복사량(JRR) - 야간복사량(JE)으로 나타낼 수 있다.

3.2 초고층 건축물의 기밀성

초고층 건물은 외부의 풍압의 영향과 실내의 온도차로 인한 연돌효과에 대응하기 위하여 설계조건으로 외피 커튼월의 기밀성이 크게 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 초고층 건물의 기밀성 사례를 조사하기 위하여 초고층 주상복합 건축물인 A 건물을 대상으로 세대별 기밀성을 측정하였다. 전용면적별로 측정이 이루어졌으며 Blower-Door Method에 의한 기밀성 측정으로 그림 2와

같이 각 세대의 현관문에 Blower Door를 설치하여 압력차를 50Pa로 유지한 상태의 누기 풍량을 측정하였다. 세대당 누기풍량인 CFM50은 700~2,150CFM이었으며 참고로 CFM50은 600~1,000정도이면 매우 기밀성능이 우수한 것으로 평가되고 있다. 본 건물의 기밀성은 50Pa에서의 시간당 환기횟수인 식(1)의 ACH50을 통해 ASHRAE의 표준누기면적(A_n)으로 식(2)와 같이 간단히 나타낼 수 있다⁽³⁾.

$$ACH_{50} = \frac{CFM_{50} \times 60}{Building\ Volume\ (ft^3)} \quad \text{식(1)}$$

$$A_n = \frac{ACH_{50}}{20} \quad \text{식(2)}$$

ASHRAE의 표준누기면적과 누기등급과의 관계는 표2와 같다. 평가한 결과 실측 대상인 A 건축물의 기밀성 측정 결과는 ASHRAE 누기 등급으로 C~E의 범위를 나타내어 중상 정도의 기밀성을 나타내었으며 결과는 표3과 같다.

3.3 초고층 건축물 저층부의 연돌효과특성

겨울철 초고층 건축물에서는 실내외의 온도차가 커지게 되는데 이때, 건물 내외부의 밀도차로 인한 압력의 차이로 부력이 발생하여 저층부에서 공기가 유입되며, 유입된 공기는 수직 유동경로를 따라 상승하는 연돌효과가 발생하게 된다⁽⁵⁾. 이러한 연돌효과는 코어부분 즉, 계단실, 엘리베이터 샤프트에서 주로 발생하여 공기의 유·출입에 따른 에너지 손실, 엘리베이터 문의 오동작, 코어 부근에 있는 실에서의 출입문 개폐의 어려움, 침기 및 누기에 따른 소음, 강한 외기의 유입에 의한 불쾌감 유발 등과 같은 많은 문제를 야기한다. 또한 초고층건물에서는 통상적으로 1층 로비부분을 개방된 거대공간으로 설계하며 출입을 위한 개구부를 많이 두는데 이는 외부로부터의 침기량을 증가시키는 주요인이 되며 로비의 외피는 대부분 단열이 잘되지 않는 대형 유리창으로 구성되고 있는데 이는 단열이 잘된 벽체보다 겨울철 로비 내 난방부하를 증가시키게 된다. 통상적으로 전공기방식의 난방방식에서 부하의 증가는 전체 공조량의 증가를 가져오고 로비 공간 내 가압으로 이어져 로비 내 엘리베이터나 계단실 문의 압력차를 더욱 증가시키게 된다. 그러므로 연돌효과에 대한 문제점을 설계 초기 단계에서 고려하기위한 설계지침을 마련하기 위하여 고층건물에서 1층 로비의 형상과 로비 외피의 창 면적비에 따른 연돌효과의 영향을 CONTAMW 공기유동해석 시뮬레이션을 통하여 평가하였다.

표 2. 표준누기면적과 ASHRAE 누기 등급의 관계⁽⁴⁾

표준 누기 면적의 범위		0.01 ≤ A _n	0.14 ≤ A _n	0.20 ≤ A _n	0.28 ≤ A _n	0.40 ≤ A _n	0.57 ≤ A _n	0.80 ≤ A _n	1.13 ≤ A _n	1.6 ≤ A _n
누기 등급	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

표 3. 세대별 기밀성 측정 및 기밀성 평가

전용면적 [m ²]	CFM50 [ft ³ /min]	ACH50 [회/h]	표준누기 면적(A _n)	ASHRAE 누기 등급
101.81	900	6.26	0.31	E
134.97	700	3.67	0.18	C
149.84	975	4.61	0.23	D
161.94	1,350	5.90	0.30	E
165.27	1,420	6.08	0.30	E
177.15	1,175	4.70	0.23	D
200.18	2,080	7.36	0.37	E
205.07	1,030	3.56	0.18	C
207.10	1,370	4.68	0.23	D
220.55	1,050	3.37	0.17	C
242.26	2,150	6.28	0.31	E



그림 2. Blower-door Method에 의한 기밀성 측정 장면

1) 네트워크 모델을 통한 연돌효과 시뮬레이션⁽⁶⁾

다중 존의 네트워크 모델은 개별 실 사이의 공기유동을 해석하기 위한 것으로 고층 공동주택 또는 고층 건물과 같이 다중 존으로 구성된 건물에서 외피와 개구부, 실내 공간을 통한 공기유동 해석에 적합하다. 다중 존 모델을 이용한 네트워크 해석 방법은 각각의 개구부를 통한 공기유동량을 계산하는 목적에 사용되며, 이 해석기법은 공조 급배기와 침기 등에 의한 공기유동량을 가장 근사하게 계산한다.

① 네트워크 모델의 기본 이론 방정식⁽⁶⁾

네트워크 모델에서 기본 방정식은 각 존 간의 압력차에 의한 공기유동량 함수와 전체 존의 공기유동량의 질량보존관계로 표현될 수 있다.

존 j에서 존i로의 공기유동량과 존i에서의 공기질량은 다음의 식(3), 식(4)과 같다.

$$F_{j,i} = f(P_j - P_i) \quad \text{식(3)}$$

$$m_i = \rho_i V_i = \frac{P_i V_i}{RT_i} \quad \text{식(4)}$$

비정상상태의 해석은 질량보존의 법칙에 의하여 다음 식(5)와 같다.

$$\frac{\partial m_i}{\partial t} = \rho_i \frac{\partial V_i}{\partial t} = \sum_j F_{j,i} + F_i \quad \text{식(5)}$$

공기유동을 준정상상태(quasi-steady condition)로 가정하면 전체 존의 공기유동량은 다음 식(6)와 같다.

$$\sum_j F_{j,i} = 0 \quad \text{식(6)}$$

단, $F_{j,i}$: 존 j에서 존 i로의 공기유동량, [kg/s]

V_i : 존 i의 부피, [m³]

m_i : 존 i의 공기질량, [kg]

P : 압력, [Pa], ρ : 공기밀도

T_i : 존 i의 온도, [K], t : 시간, [sec]

R : 287.055 기체상수, [J/kgK]

② 수치해석 방법⁽⁶⁾

네트워크 모델에서는 건물의 각 존이 압력 절점으로 표현되며 이러한 절점들은 크랙이나 창문, 문의 침기면적을 통한 유동 경로로 연결되어 있다. 경로 사이의 압력차에 따른 공기유동량은 비선형 방정식을 따르므로, 본 프로그램에서는 Newton-Rapson 방법에 의한 반복계산으로 수치적 해를 구할 수 있다. N-R 방법에서, 특정 절점의 미래의 압력은 현재압력과 수정압력으로 식(7)과 같이 표현된다.

$$\{P\}^* = \{P\} - \{C\} \quad \text{식(7)}$$

여기서, {P}는 현재압력, {C}는 수정압력이고 {C}는 다음에 식(8)에 의해 구해진다. 여기서 {B}의 각 열의 성분은 식(9)를 통해 구해진다.

$$[J]\{C\} = \{B\} \quad \text{식(8)}$$

$$B_i = \sum_j F_{j,i} \quad \text{식(9)}$$

[J]는 정방(절점수 × 절점수) 자코비안 행렬이며, 이것의 성분은 다음 식(10)과 같이 주어진다.

$$J_{i,j} = \sum_j \frac{\partial F_{j,i}}{\partial P_j} \quad \text{식(10)}$$

식(9)와 식(10)에서 F_{ji} 와 $\partial F_{j,i} / \partial P_i$ 는 현재 계산된 압력(P)에서 그 값을 구할 수 있으며 네트워크 모델에서 어떤 절점들은 외부의 알려진 절점들과 연결되고 외기는 일정한 압력으로 경계조건이 된다.

2) 시뮬레이션 검증

연돌효과를 평가하기 위해 시뮬레이션 된 대상건물은 지상 50층, 지하 5층 규모에 바닥면적은 600m²이며 층고는 로비층 5m, 기준층 3.2m이다. 이때 외기 온도는 겨울

철 설계기준온도인 -11.9℃, 실내 온도는 사무실의 겨울철 설계기준온도인 22℃이며 대기압력은 101.30kPa이다. 본 연구에 적용된 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 신축된 초고층 주상복합 건물인 A 건물을 대상으로 실제 엘리베이터 문에 걸리는 압력차의 실측치와 A건물을 모델링한 시뮬레이션 결과를 비교하였으며 그림 3은 대상 건물의 1층 평면을 나타내고 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 전체적인 경향이 매우 유사하게 나타나는 것을 통해 시뮬레이션의 타당함을 확인 할 수 있었다.

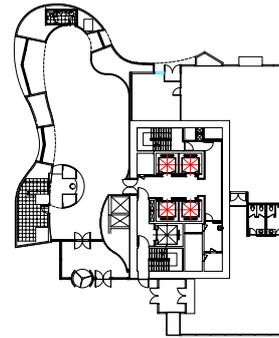


그림 3. 대상 건물 1층 평면

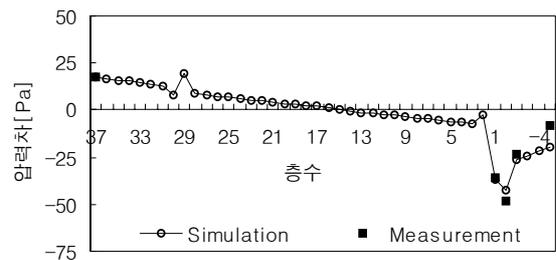


그림 4. 각 층 엘리베이터 문에 걸리는 압력차의 시뮬레이션 값과 실측치와의 비교



그림 5. 현장 실측 모습

- a) 엘리베이터 문의 압력차(오른쪽 위)
- b) 계단실 문의 압력차(왼쪽 위)
- c) 로비층 현관문의 압력차(아래)

3) 로비의 평면형에 따른 연돌효과

일반적으로 고층건물의 1층 로비는 개방되고 층고가 높은 거대 공간으로 설계되어 있다 그러나 이러한 형태는 겨울철 실내외의 온도차가 커질 때 공기의 밀도차로 인해 건물의 외피에 거대한 압력이 걸리게 되는 데 이 압력의 영향이 그대로 엘리베이터나 계단실의 문에 작용하여 샤프트 내외의 압력차를 가중시키는 결과를 낳게 된다. 그러나 로비에 엘리베이터 전실을 설치하거나 코어와 외피 사이를 구획하여 압력차를 분산시키게 되면 코어에 집중되는 압력을 줄일 수 있게 된다.

따라서 본 연구에서는 가장 일반적인 개방된 로비(A안: 그림 5)를 기본 모델로 하여 엘리베이터 전실이 설치된 로비(B안: 그림 6)와 내부 구획이 된 로비(C안: 그림 7) 그리고 엘리베이터 전실과 내부 구획이 모두 적용된 로비(D안: 그림 8)의 각각의 경우에 대하여 모두 동일한 조건을 적용하여 건물 저층부 엘리베이터 문에 걸리는 압력차를 도출하였다.

시뮬레이션 결과 그림 9에서와 같이 본 조건에서는 문제가 발생하는 1층 로비의 엘리베이터 문에 걸리는 압력차가 로비내 엘리베이터 전실과 내부구획이 모두 적용된 D안의 경우에 가장 낮아지는 결과를 보였다. A안과 C안을 비교해 보면 엘리베이터 전실이 없고 내부구획만 되어있을 경우에는 1층 엘리베이터 문에 걸리는 압력차가 조금 감소하였지만 B안과 D안을 비교해 보았을 때, 엘리베이터 전실이 설치된 상태에서 내부 구획이 되었을 경우 압력차가 많이 감소하게 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 로비의 개방된 공간을 구획하기 위한 엘리베이터 전실의 설치가 더 효과가 크나 두 안을 동시에 적용할 경우 그 효과가 각각의 합 보다 더욱 커진다는 것을 알 수 있었다.

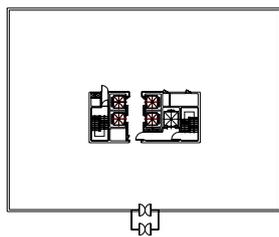


그림 5. 개방된 로비(A 안)

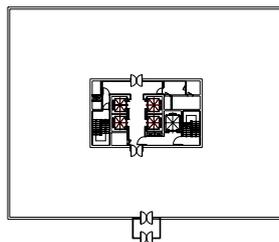


그림 6. 엘리베이터 전실이 설치된 경우(B 안)

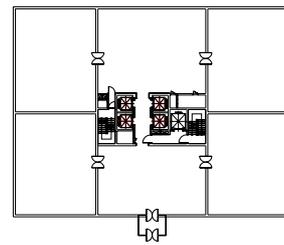


그림 7. 내부 구획이 된 경우(C 안)

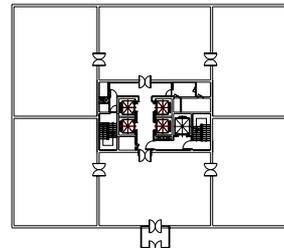


그림 8. 엘리베이터 전실과 내부구획이 있는 경우(D 안)

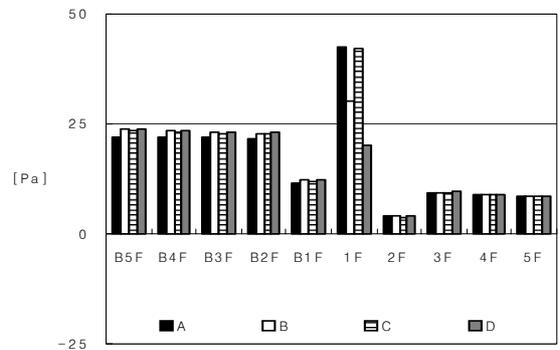


그림 9. 각 방안 별 로비층 엘리베이터 문에 걸리는 압력차

4) 로비 부분의 유리 면적비에 따른 연돌효과

대부분의 고층건물에서 1층 로비에서 외피는 대부분 단열이 잘 되지 않는 창유리로 되어있다. 이는 난방부하 상승에 직접적인 영향을 미치며 그로인해 전공기방식의 난방방식에서 급기의 풍량이 과도하게 증가하게 되며 그로 인해 로비공간이 가압되고 엘리베이터 문에는 과도한 압력차가 발생하게 된다. 외피를 통해 발생하는 난방부하는 식(11)으로 계산하게 된다.

$$q = KA\Delta T \tag{11}$$

단, q : 실의 난방부하 [kcal/h]

K : 열관류율 [kcal/m²h°C]

(외벽: $K=0.4$, 단창: $K=5.25$, 복층유리 $K=2.84$)

A : 면적[m²], ΔT : 실내외 온도차[°C]

여기에서 중요한 점은 단열이 된 일반 벽체의 열관류율 K 값이 0.4 정도인 반면 단일창유리의 경우 5.25 정도로 매우 커진다는 것이다. 그로 인해 외피에서 유리가 차지하는 면적이 커질수록 난방부하는 크게 상승하는 것이다. 표 4는 외피에서 유리의 면적비가 커짐에 따라 실내 난방부하가 증가하는 것을 보여주고 있다. 전공기 방식에

서 공조 풍량은 식(12)에서와 같이 온도차가 일정한 상태에서 난방부하와 비례한다⁽⁷⁾.

$$Q = \frac{q}{0.28 \Delta T} \quad \text{식(12)}$$

$$\frac{Q}{Q_o} = \frac{N}{N_o}, \frac{P}{P_o} = \frac{N^2 \rho}{N_o^2 \rho_o} \quad \text{식(13)}$$

그러므로,
$$\frac{P}{P_o} = \frac{Q^2 \rho}{Q_o^2 \rho_o} \quad \text{식(14)}$$

단, Q : 풍량, [m³/h]

N : 회전 1층 엘리베이터 문 (기밀한 외피) 1층 엘리베이터 문 (기밀한 외피)
 P : 전압 (느슨한 외피) 20F 1층 엘리베이터 문 (A안 : 전실 없음) (B안 : 전실 있음)
 ρ : air de 1층 현관문 (느슨한 외피) 누도조건에 1층 현관문 (기밀한 외피)

풍량과 전압상승의 관계는 식(13), 식(14)을 통하여 알 수 있다⁽⁸⁾. 식(14)와 같이 팬으로 인한 전압력 상승은 풍량의 제공에 비례하므로 풍량이 증가할수록 팬에 인해서 실이 가압되는 것이다. 따라서 본 연구에서는 초고층 건물에서 겨울철 유리로 구성된 외피를 가진 로비에 대하여 전공시 방식으로 난방을 할 경우 난방부하 증가로 로비 내 가압이 이루어질 때 로비의 현관문과 각 층의 엘리베이터 문에 걸리는 압력차를 평가하였다.

그림 10과 그림 11은 각각 외피가 기밀한 경우와 느슨한 경우에 대하여 로비에 가압이 될수록 엘리베이터 문에 걸리는 압력이 변화하는 것을 보여주고 있는 데 두 경우 모두 로비에 가압이 많이 될수록 1층 엘리베이터 문에 걸리는 압력차가 증가하였으며 다른 층의 엘리베이터 문에는 큰 영향이 없다는 것을 알 수 있었다. 그림 12는 로비가 가압되었을 때 1층 엘리베이터 문과 현관문에 걸리는 압력차를 보여주고 있다. 일반적으로 현관문에 걸리는 압력차를 낮추기 위하여 로비를 공조하는 방법을 적용하나 오히려 엘리베이터 문이나 계단실에 걸리는 압력차를 증가시키는 결과를 낳게 된다. 그림 13은 로비가 가압되었을 때 일반적인 개방된 로비와 엘리베이터 전실이 있는 경우에 대하여 1층 엘리베이터 문에 걸리는 압력차를 보여주고 있다. 엘리베이터 전실이 있는 경우는 개방된 로비의 경우보다 1층 엘리베이터 문에 걸리는 압력차의 증가가 작게 나타나는 것으로 압력차를 줄이는 데 효과적인 것으로 나타났다.

표 4. 로비 외피의 유리 면적비에 따른 난방부하

외피 구성비(%)			외피 구성비(%)		
단열된 외벽 (k=0.4)	단일 유리 (k=5.25)	난방부하 [kcal/h]	단열된 외벽 (k=0.4)	복층 유리 (k=2.84)	난방부하 [kcal/h]
100	0	6,800	100	0	6,800
80	20	23,290	80	20	15,096
50	50	48,025	50	50	22,712
20	80	72,760	20	80	39,984
0	100	89,250	0	100	48,280

전체넓이: 500m², 온도차: 34°C

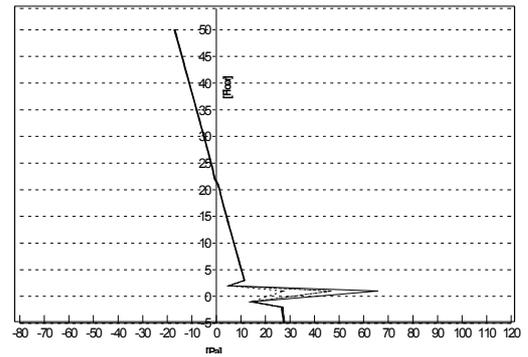


그림 10. 로비의 압력 별 전층의 엘리베이터 문에 걸리는 압력차(기밀한 외피)

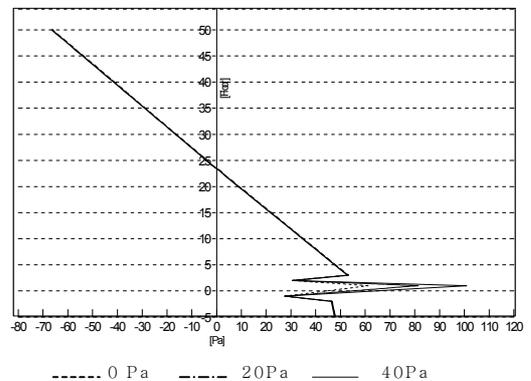


그림 11. 로비의 압력 별 전층의 엘리베이터 문에 걸리는 압력차(느슨한 외피)

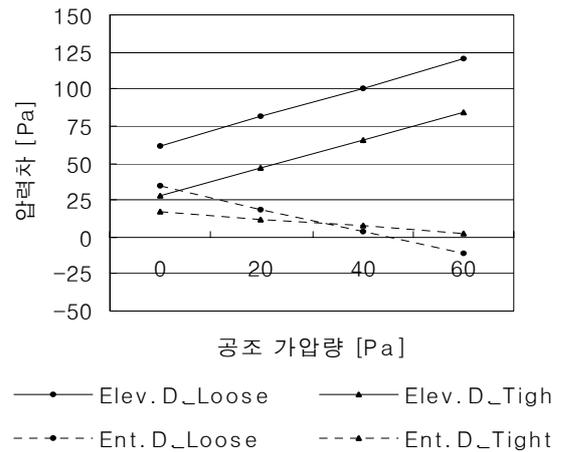


그림 12. 로비 공조가압 시 외피의 기밀도에 따른 1층 엘리베이터 문과 현관문에 걸리는 압력차 (A안)

4. 결론

- 초고층 건물의 설비 설계에 대한 국내·외 문헌자

료를 조사한 결과, 국외의 경우 다양한 설계 및 시공경험을 바탕으로 한 기초 데이터가 확보되어 있어 보다 활발한 연구가 진행 중이나 국내의 경우 주상복합 건물 중심의 환기계획 및 외피계획 등에 관한 연구에 치중되어 시스템 설계의 용량 산정에 영향을 미치는 설계인자 및 시스템 조닝에 관한 연구는 매우 부족한 것으로 나타났다.

○ 건축 설비 설계 전문가를 대상으로 하여 기존 설비 설계프로세스에 대하여 열원설비, 공조설비, 위생설비, 기타설비로 구분하여 조사한 결과, 열원설비의 경우 안전성 및 신뢰도, 기기 내압 등이 중요요소로 도출되었고, 공조설비의 경우 층고의 최소화방안, 연돌효과 방지대책, 외기도입 문제, 외기부하변동에 따른 부하계산 방법이 중요요소로 나타났다. 또한 위생설비의 경우 건물의 수직 팽창에 따른 변형에 대비한 배관재 및 이음방식 선정, 배관 내압을 고려한 조닝 등을 고려해야 하며, 피난 및 소방관련 설비, 유지보수 관련사항이 중요사항으로 조사되었다.

○ 초고층 건물의 설계 인자에 대한 연구 결과, 초고층 건물의 1층을 포함한 저층부는 유리창면적이 적고 단열이 잘 되는 벽체로 이루어져야 하며 로비 공간은 외부 출입문과 코어 사이에 구획이 되고 필요이상으로 넓지 않아야 연돌효과로 발생하는 문제점을 줄일 수 있다. 초고층 건축물의 경우 높이가 높아짐에 따라 외부 풍압이 상승하고 하층부에서는 와류에 의한 문제가 심각하므로 이에 대한 고려가 필요하며, 주변 건물의 영향이 적어 일사에 대한 부하변동이 커지므로 외피의 단열성과 공조방식에 대한 고려가 필요하다. 이와 같은 연구결과를 바탕으로 초고층 건축물에서 발생할 수 있는 연돌효과, 기후설계인자를 고려하여 실무적으로 접근가능한 건축/설비설계프로세스 기초자료를 마련하였다.

계 인자 별 냉난방부하에 미치는 영향을 바탕으로 초고층건축물 설계인자 특성을 고려한 냉난방부하 최적설계 기법 개발이 진행될 것이다.

감사의 글

본 연구(03산 C04-01)는 건설교통부와 한국건설교통기술평가원의 재정적인 지원을 받아 진행되었으며, 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 선우원일 외, 2004, 초고층 건축물에서의 바람의 영향, 건축 v.48 n.07, pp. 75-76.
2. 김광우, 김용식, 1995, 초고층 건물의 설비계획, 대림기술정보, 1995 여름호, pp. 29-30.
3. Alam meier, 1986, 'Infiltration Just ACH50 divided by 2 0?', Energy Auditor & Retrofitter.
4. ASHRAE, 1997, ASHRAE Fundamental Handbook.
5. Tamura, G. T., 1994, Smoke Movement and control in High-rise Buildings, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.
6. Dols, W. S. and Walton, G. N., 2002, CONTAM2.0 User Manual, NISTIR 6921, National Institute of Standards and Technology.
7. Uichi, I., 2004, 공기조화 핸드북, 한미, p.134.
8. ASHRAE 2000. ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment, Atlanta GA.
9. 조동우, 2004, 초고층건축물의 설비시스템 최적화를 위한 건축설계 프로세스 개발, 초고층 건축물 건설기술개발 연구단 연구성과 발표회 논문집, 대한건축학회

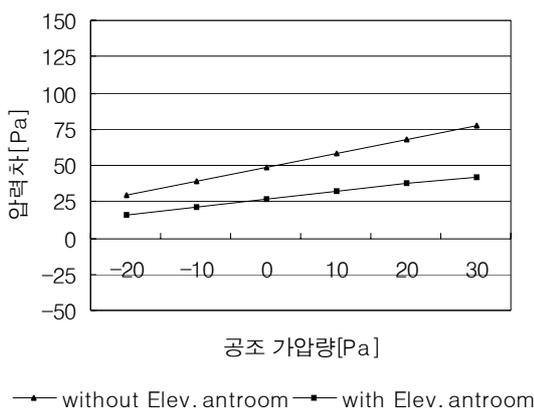


그림 13. 로비 공조가압 시 전실 유무에 따른 1층 엘리베이터 문에 걸리는 압력차 (기밀한 외피 기준)

5. 향후 연구 과제

본 연구의 결론으로 도출된 초고층 건축물의 설비 설