

컴퓨터를 이용한 차압제연시스템의 분석 기법과 응용에 관하여

소방기술사 여용주

1. 서론

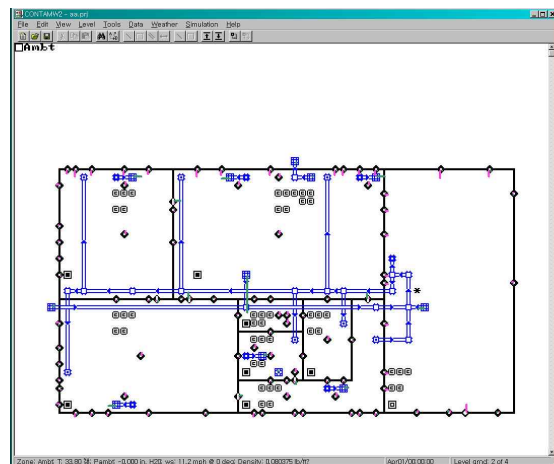
최근의 설계흐름은 컴퓨터를 이용한 분석기법 등이 다양하게 등장하고 있으며, PBD(성능위주설계)와 같은 경우에는 컴퓨터 모델링이 없이는 거의 불가능하다. 소방분야 뿐만 아니라 많은 다양한 분야에서 컴퓨터의 응용은 이제 필수적인 요소가 되어가고 있다.

스프링클러설비 설계시에는 배관망 해석을 위한 수리계산프로그램을 사용하고 있고, FDS와 같은 CFD 프로그램은 실시간으로 화재전과과정을 분석할 수 있다. CFD프로그램은 공간을 수많은 셀로 쪼갠 뒤 각각의 셀을 해석하기 때문에 공간내 열과 연기의 유동뿐만 아니라 연기의 농도, 연소부산물, 열전달 해석 등 매우 복잡하고 다양한 결과값을 얻을 수 있다.

C FAST와 같은 존모델은 화재실을 상부고온층과 하부 저온층으로 단순화시켜 화재현상을 해석하기 때문에 매우 간단하게 화재결과를 예측할 수 있다. 스프링클러와 화재감지기의 작동시간을 예측하거나 배연량에 따른 연기층의 높이를 추정할 수 있고 화재실 상부 배연구를 통하여 빠져나가는 연기의 배출량을 계산할 수 있다. 또한 화원으로부터 주위로 전달되는 복사열전달을 해석할 수 있으며, 이를 통하여 연소전파의 예측이 가능하다. 기타 연소부산물과 공간 내 산소농도의 예측, 연기층의 온도 등 다양한 틀을 제공하고 있다.

그 외에도 피난시간을 계산할 수 있는 피난프로그램, 가스계소화설비의 방출시간 계산프로그램 등 다양한 프로그램들을 실무에 사용하고 있으며, 그러한 활용은 시스템의 적절한 성능을 보장받을 수 있도록 해주기 때문에 설계단계에서 예측 불가능한 부분에 대한 두려움을 해소시키는데 매우 큰 도움이 된다.

그럼에도 불구하고 수많은 공간들이 매우 복잡하게 구성된 건물전체를 해석하기에는 기존의 프로그램들은 한계를 가지고 있다. 특히 압력차를 이용하는 제연방식인 급기압제연설비(이하 차압제연시스템)의 경우 기존의 FDS나 CFAST 등으로는 시스템의 성능을 예측하기가 어렵기 때문에 건물의 화재영향평거나 위험성분석과정에서는 정상적인 성능이

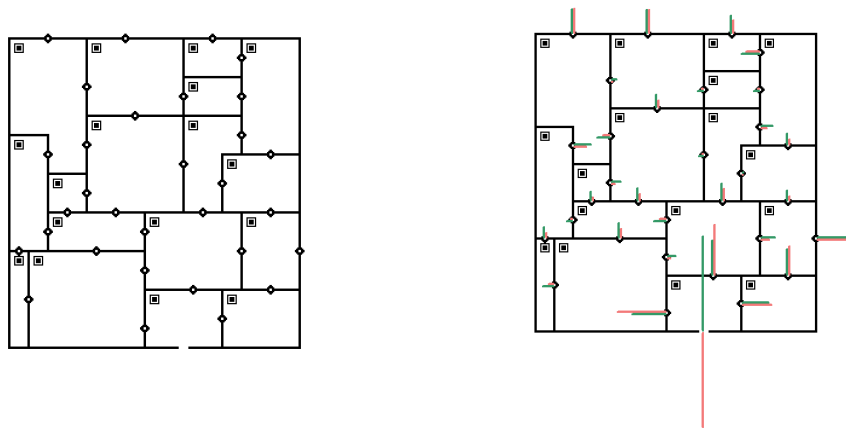


구현되는 것으로 전제한다. 그러나 차압제연시스템이 도입된 이후부터 지금까지 시스템의 성능에 대한 문제점이 끊임없이 지적되어 왔으며, 실제로 설치된 시스템의 성능구현에 많은 문제점을 확인하고 있는 실정이지만 뾰족한 대안을 찾지 못하고 있는 상황이다. 왜냐하면 요구된 기준에 부합하도록 작동되기 위해서는 설계기술이 뒷받침이 되어야 하지만 설계자체에 많은 오류를 가진 채 설치되고 있기 때문이다. 부끄러운 이야기지만 아직 까지도 적당한 송풍기로 바람만 불어넣으면 모든게 다 해결되는 줄 믿고 있는 기술자들이 많다.

차압제연시스템은 건물전체의 기류와 압력분포를 해석하여야 하고 연돌효과나 바람이 시스템의 성능에 미치는 영향을 동시에 고려하여 해석하여야 하기 때문에 매우 복잡한 연산과정을 거쳐야 한다. 이러한 해석을 위하여 NIST에서 개발한 CONTAMW라는 프로그램을 소개하고 이를 실무에 적용하는 방법과 사례를 간단하게 소개하고자 한다.

2. CONTAMW 프로그램

CONTAMW는 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 건물 내 환기와 공기의 상태변화를 해석하기위한 컴퓨터 프로그램이다. 이 프로그램은 외부의 환경적요인인 외기온도와 바람의 영향 등의 변수와 함께 건물 내 각각의 공간에 대한 온도분포에 따른 공기의 유동 및 압력 등을 효과적으로 분석할 수 있도록 만들어져 있다. 프로그램의 목적은 공기조화설비를 위한 분석용이지만 건물 내 공기의 유동분석을 통하여 차압제연설비의 해석에도 응용이 가능하다.



[그림 1] 네트워크로 연결된 공간 구성 예 [그림 2] 그림1의 공간을 분석한 결과

건물 내의 공간은 서로 유기적으로 연결되어 있다. 각각의 공간을 연결하는 벽체사이에는 서로 다른 크기의 개구부가 존재하기도 하고 병렬로 연결되거나 직렬로 연결되어 있다. 이렇게 복잡하게 연결된 건물 내 공간의 기류흐름을 수계산으로 해석하기에는 거의 불가능한 작업이다. CONTAMW는 이러한 복잡하게 연결된 공간의 네트워크 구성망을 해석해주는 컴퓨터 프로그램이다. [그림1]의 예와 같이 복잡하게 구성된 각각의 공간에서 유동하는 공기의 흐름을 [그림2]와 같이 정확하게 분석해 준다. 결과에서 두 개의 막대가 표시되는데 하나는 압력차를 나타내고 나머지 하나는 공기의 유동을 나타낸다. 막대의 크기는

결과값의 물리적인 크기를 의미하고 막대의 방향은 벡터를 의미한다. 이러한 해석결과를 통하여 차압제연설비의 누설량과 압력분포를 해석할 수 있다.

건물 내 누설틈새로부터 풍량 흐름에 관한 프로그램의 해석 함수는 여러 가지를 함께 사용이 가능하도록 구성되어 있다. 차압제연설비의 해석을 위해서는 단일경로 흐름인 오리피스 유량방정식(Orifice Area Data)을 이용할 수 있다. 오리피스 유량방정식은 현재 국내에서 사용하고 있는 누설풍량의 계산 방법과 동일한 계산방법이며 다음과 같다.

$$Q = 1.29CA(\Delta P)^n \quad \dots\dots\dots (식 1)$$

C = 유출계수, A = 등가누설면적, m^2 , ΔP = 누설경로 양단의 압력차, Pa

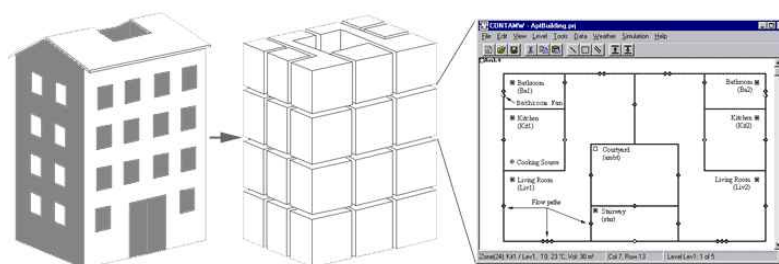


그림 3) CONTAMW 프로그램

차압제연설비의 해석에서는 식1의 유출계수 C (Discharge Coefficient)와 흐름계수 n (Flow Exponent)은 $C = 0.6$, $n = 0.5$ 를 사용하고 있다.

CONTAMW에서 닥트 및 풍도 등에 대한 마찰손실 계산식은 달시-웨버 방정식을 기본으로 한다.

표 1) 관 및 닥트의 종류에 따른 상대조도 ϵ

관 및 닥트의 종류	상대조도 $\epsilon(mm)$
동관·유리관	0.0015
석면 시멘트관(신품)	0.05 ~ 0.1
아연도금 강관 및 닥트	0.15 ~ 0.18
녹슨 강관	0.5 ~ 1.0
매우 녹슨 강관	1.0 ~ 3.0
주철관	0.4 ~ 0.6
주철관(아스팔트 도장)	0.125
후렉시블 닥트	0.6 ~ 0.8(어떤것은 2.0)
벽돌재 닥트	3.0 ~ 5.0
목재 닥트	0.2 ~ 1.0
콘크리트 닥트	1.0 ~ 3.0

$$\Delta P = f \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{or} \quad \Delta P = f \frac{l}{d} \left(\frac{v}{4.04} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (식2)$$

여기서,

ΔP = 압력손실, mmAq f = 마찰계수 l = 닥트길이, m

v = 풍속, m/s d = 닥트 직경, m g = 중력가속도, 9.8 m/s²
 γ = 공기의 비중량, 1.2 kg/m³(20℃)

프로그램에서 마찰계수 f 는 다음의 Colebrook 방정식을 사용하고 있다.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.71d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots (식3)$$

여기서,

ϵ = 상대조도, 0.18 mm(아연도 철판), 상대조도 ϵ 는 [표 1]을 참조한다.

3. 차압제연시스템의 개요

국내에서는 급기가압제연설비로 더 많이 부르고 있다. 해석하자면 압력차를 이용한 방연 기법의 연기제어시스템이라는 의미인데, 압력차를 형성하는 방법에는 급기가압 뿐만 아니라 감압방식도 있기 때문에 차압제연시스템이라고 표현하는 것이 더 적절하다고 판단된다.

배연의 목적이 화재실 또는 화재층에서 직접적으로 연기에 노출된 상황에서 피난시간의 확보를 위하여 연기층의 강하를 저지하는 개념이라면, 차압제연은 안전구획으로 대피한 거주자들의 안전을 위해 안전구획내부로 연기가 유입되지 못하도록 막는 방연기법이다. 대부분의 건물설계에서 안전구획은 피난계단실, 피난계단부속실이 해당되며 초고층건물의 경우에는 별도로 설치된 대피공간이 여기에 포함될 것이다.

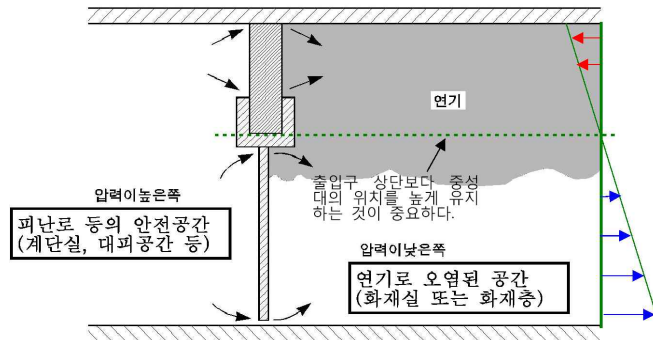


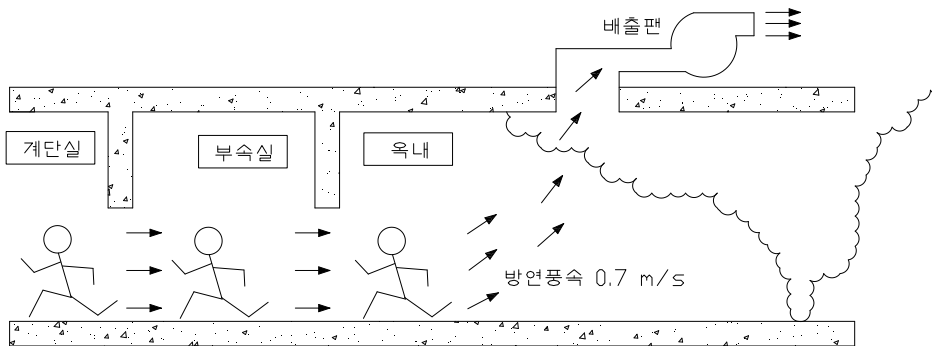
그림 4 압력차를 이용한 방연기법

화재시에는 화재실 또는 화재층에서 안전구획으로의 피난이 완료된 후에도 건물의외부로 나가기까지는 많은 시간이 소요되며, 그동안 안전구획내부에 체류하게 된다. 이 때 안전구획내부로 연기가 유입된다면 엄청난 인명피해가 발생하게 될 것이다. 일반적으로 안전구획은 방화구획으로 분리하여 계획하기 때문에 연소전파의 우려는 매우 적다. 하지만 연기의 경우에는 조그마한 문틈새를 통해서도 유입될 수 있고 피난중에는 방화문이 열리기 때문에 안전구획내부로 연기가 그대로 유입될 수 밖에 없기 때문에 별도의 방연계획이 요구되는 것이다.

방연기법으로 가장 많이 사용하는 방식은 [그림4]와 같이 안전구획내부를 가압하여 연기

가 체류하는 인근공간보다 압력을 높여 연기가 원천적으로 유입되지 못하도록 하는 방식이다. 이 방식은 문이 닫힌상태에서는 충분한 압력차를 유지할 수 있기 때문에 연기의 유입은 확실히 차단된다.

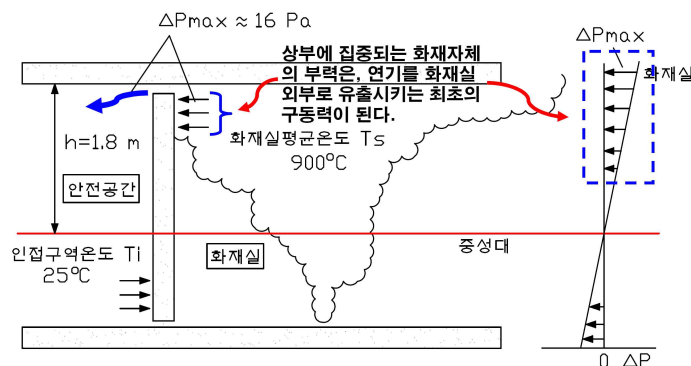
만일 문이 개방될 경우 즉 피난중에 문이 열리게 될 경우에는 형성된 압력이 해제되어 버려 연기가 안전구획으로 유입되기 때문에 이때에는 [그림5]와 같이 일정한 속도를 가진 바람이 지속적으로 연기가 체류하는 공간쪽으로 불어나가도록 함으로서 연기의 유입을 막는 방식을 사용한다. 그러나 완전히 연기를 차단하기 위해서는 2 m/s이상의 풍속이 필요한데 설비 용량이 매우 커지기 때문에 화재진압을 위한 소방대의 거점 확보용이 아닐 경우에는 0.5 ~ 0.7 m/s의 방연풍속을 기준으로 설계한다. 이는 피난이 완료될 경우 피난구는 다시 닫힐 것이고 일부 연기가 유입되었다 하더라도 안전구획의 압력이 높아 일정한 시간 후에는 바깥으로 빠져나가게 되기 때문이다.



[그림 5] 방연풍속을 이용한 방연기법

안전구획에 설정하여야 할 압력차의 기준은 연기가 체류하는 지역에 예상되는 압력의 상승값보다 큰 값이 되어야 연기의 유입을 막을 수 있다. 고려되어야 하는 압력으로는 [그림6]과 같이 화재자체의 부력 약 16 Pa의 압력 그리고 연돌효과와 바람의 영향에 의해 형성될 수 있는 압력상승을 고려하여야 한다. ISO 기준에서는 이러한 것들을 고려하여 평상시 아무런 영향이 없는 상태에서 측정하였을 때 안전구획의 압력이 인접공간보다 약 50 Pa 이상 높을 것을 요구하고 있다.

[그림7]은 차압제연시스템을 적용한 건물의 예를 보여준다.



[그림 6] 화재실에서 연기를 유출시키는 부력의 개념

안전구획인 계단실과 부속실에 연기의 유입을 막기 위하여 계단실에 송풍기를 이용하여 가압하였다. [그림7의 왼쪽은 전층의 문이 닫힌 상태에서 계단실이 가압되는 상황을 보여준다. 기류의 흐름은 계단실로부터 부속실을 거쳐 옥내로 흘러 바깥으로 빠져나간다. 계단실의 압력이 높아 옥내에서 발생한 연기는 계단실내부로 유입될 수 없을 것이다. [그림7의 오른쪽은 화재층과 바로 아래층의 옥내와 계단실사이의 문이 피난으로 인하여 개방된 경우를 나타낸다. 이 경우에는 계단실과 옥내사이의 압력차는 해제되겠지만 일정한 속도로 옥내로 흘러들어가는 기류를 통하여 연기의 유입을 어느 정도 막을 수 있도록 계획한다.

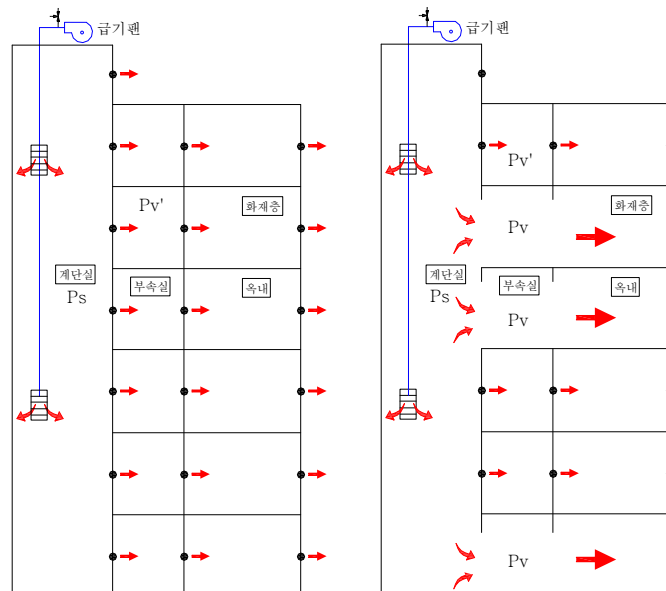


그림7 계단가압 시 건물 내 기류 분포

차압제연시스템은 전층의 문이 닫힌 상태에서 적절한 기준차압을 유지하여야 하며, 문이 개방되었을 경우에도 적절한 기준풍속을 유지하도록 설계하는 것이 가장 중요하다. 이때 전층이 닫힌 상태에서 요구되는 급기량과 문이 열린상태에서 요구되는 급기량이 다르기 때문에 시스템에서 적절하게 조절이 되어야 한다. 그렇지 않을 경우에는 기준차압이 구현되지 않거나 혹은 구현된다 하더라도 방연풍속의 성능이 기준에 못 미치는 경우가 발생할 수 있다. 결국은 화재시 안전구획으로 연기가 유입될 가능성이 커지게 되어 피난계획에 치명적인 문제점이 발생하게 될 것이다.

따라서 차압제연시스템의 성능이 제대로 구현되는지에 대한 면밀한 분석이 설계시에 고려되어야 하며 CONTAMW를 통하여 분석한 사례 몇 가지를 간단히 소개하고자 한다.

4. 분석 사례

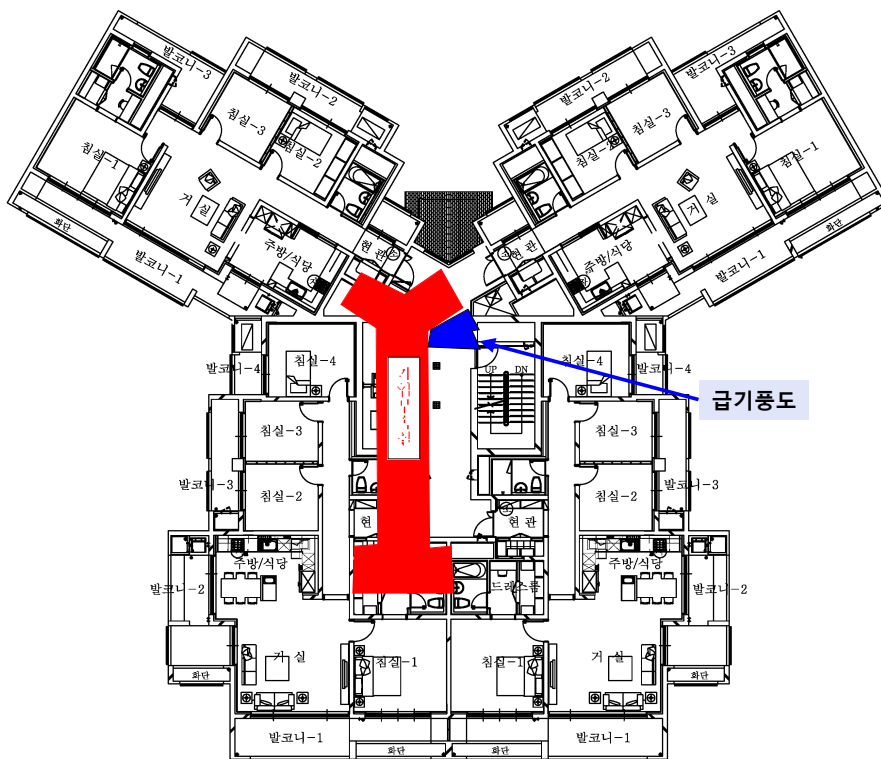
4.1 고층 아파트 설계에 대한 분석 사례

4.1.1 분석자료의 입력

최근에 준공된 인천의 OO아파트로서 당시 설계를 CONTAMW에 의해 분석하여 문제점

을 찾아낸 후 설계를 보완한 사례이다. 총 9개동으로 구성된 아파트이며 여기에서는 1001동에 대한 분석방법과 결과에 대해 소개하고자 한다.

규모는 지하2층, 지상29층으로 부속실 단독가압방식을 적용하였다. [그림8]과 같이 계단식 아파트의 구조지만 하나의 계단실에 4세대가 연결된 구조이다. 부속실은 특별피난계단부속실과 비상용승강기승강장을 겸용하고 있는 형태이며, 부속실에 설치된 급기덤퍼로부터 부속실만 가압하는 방식이다. 급기지점은 지하층과 옥탑층에 각각의 송풍기를 설치하여 위아래에서 급기하는 방식이다. 이는 건물이 높아서 단일 급기방식으로 설치할 경우 마찰손실이 커져 효율이 떨어질 것으로 판단하였기 때문이다.

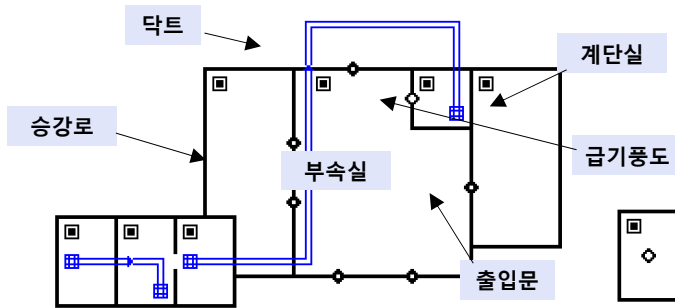


[그림 8] 부속실단독가압방식을 채택한 예제아파트의 평면도

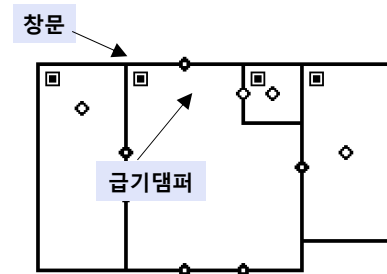
설계시에 반영된 입력자료는 다음과 같다.

- ✓ 가압부속실 : 28개소
- ✓ 부속실-옥내 출입구의 면적 : $2.3 \times 0.9 = 2.07 \text{ m}^2$ (4개소)
- ✓ 부속실-옥내 출입구의 누설면적 : 0.017 m^2 (4개소)
- ✓ 부속실-계단실 출입구의 면적 : $2.2 \times 1.0 = 2.2 \text{ m}^2$
- ✓ 부속실-계단실 출입구의 누설면적 : 0.02 m^2
- ✓ 계단실-옥외 출입구의 누설면적 A_R : 0.022 m^2 (가압공간 외부 쪽으로 열림)
- ✓ 계단실-옥내 출입구의 누설면적 A_F : 0.022 m^2 (가압공간 외부 쪽으로 열림)
- ✓ 승강기 출입구의 누설면적 A_E : 0.06 m^2 (2개소)
- ✓ 승강로 상부 개구부 면적 A_V : 0.09 m^2
- ✓ 급기풍도면적 : 0.488 m^2

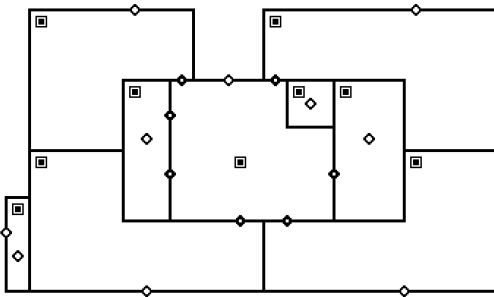
- ✓ 급기댐퍼 면적 : 0.7 m²
- ✓ 급기송풍기 : 9.5 CMS, 70 mmAq x 2 Sets



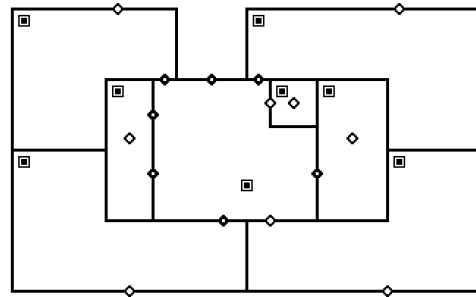
[그림9] 지하층 팬룸 모델



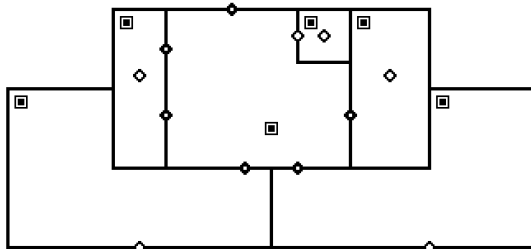
[그림10] B1F~B2F 모델



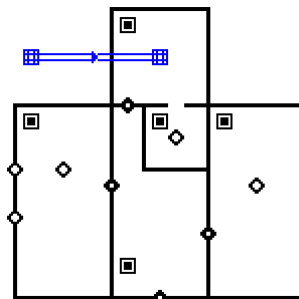
[그림11] 1층 모델



[그림12] 지상층 모델



[그림13] 옥탑 아래층 모델



[그림14] RF 모델

급기송풍기의 용량은 9.5 CMS, 70 mmAq 이나 이는 덕트의 누기율 15%가 반영된 풍량이기 때문에 CONTAMW로 분석할 때의 적용풍량은 누설풍량을 반영하지 않은 $9.5/1.15 = 8.3$ CMS로 한다.

컴퓨터에 의해 설계결과를 분석하게 위해 [그림9 ~14]까지 각각의 평면모델을 만들었다. [그림9]는 지하층으로서 외벽 D.A와 접해있는 팬룸에서 아파트의 부속실 급기풍도까지 덕트로 연결된 모양을 입력한 것이다. 프로그램은 평면도를 단순화시켜 입력하도록 구성 되어 있다.

평면의 형태를 단순화시켜 표현한 다음 공간과 공간을 연결하는 개구부(출입문, 창문, 기타 개구부 등)를 표시하고 입력한다. 개구부는 벽을 통한 수평개구부와 층과 층사이를 연결하는 수직개구부로 구분하여 표시한다. 수직개구부는 엘리베이터승강로, 계단실, 급기풍

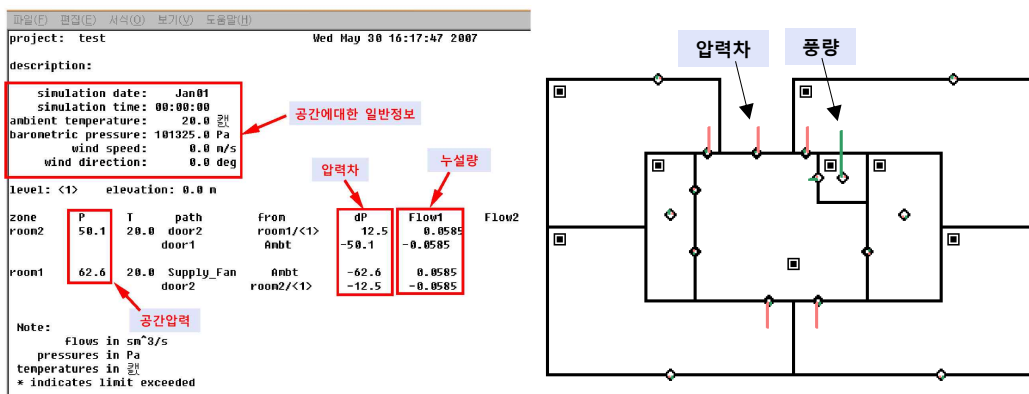
도 등이 해당될 것이다. 건물은 [그림9]의 지하층으로부터 [그림10]에서 [그림14]까지가 수직으로 연결된 구조이며 컴퓨터에서도 같은 구조로 인식하여 해석한다.

[그림14]는 옥탑층 상부에 송풍기가 연결되어 있는 것을 표현한 것이다. 컴퓨터분석 모델은 이처럼 직관적으로 구성하여 입력한다.

4.1.2 분석결과

프로그램의 분석결과는 시각적인 요소와 데이터출력의 두 가지로 나타난다. 데이터출력은 텍스트파일로 출력되며 엑셀에서 불러들여 여러 가지 형태의 그래프로 재가공할 수 있다. [그림15]의 왼쪽 그림은 텍스트출력형태로 결과가 나타난 예를 보여준다. 오른쪽 그림은 시각적인 요소로 실행 결과물을 보여주고 있다. 각각의 경로에 두가지 막대로 압력차와 누설량을 보여주며, 알고자하는 경로에 마우스를 갖다대면 화면하단에 결과값을 알려준다.

아파트의 경우에는 배출구를 설치하지 않도록 규정된 예외조항에 의거 대부분 설치를 하지 않고 있으며, 예제 건물의 경우에도 배출구가 미설치 되어있다. 배출구가 설치되지 않을 경우에는 공학적으로 방연풍속과 차압성능 기준을 만족할 수 없다. 이러한 이유로 세대내 개구부에 해당되는 베란다의 개방상태가 차압과 방연풍속의 성능에 직접적인 영향을 미치게 된다.



[그림 15] 프로그램 실행 결과의 출력

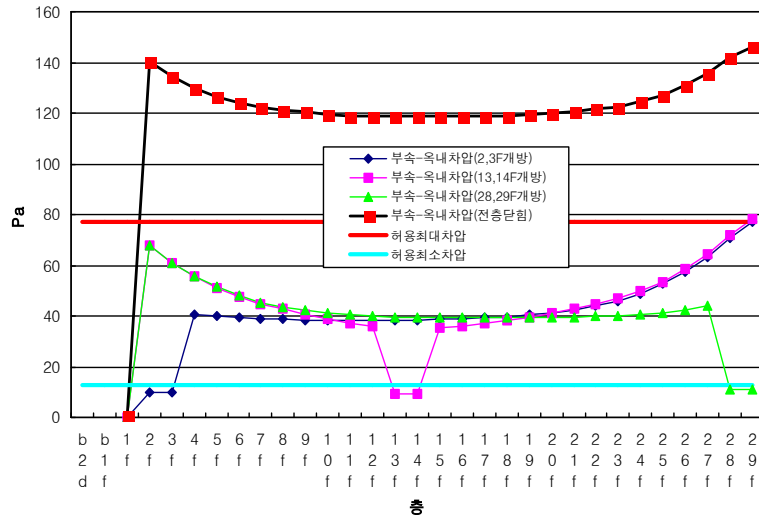
따라서 분석조건은 세대내 베란다가 개방된 상태와 닫힌 상태 2가지 경우를 가정하여 분석하였으며, 화재시에는 화재층을 포함하여 2개층의 부속실과 옥내 그리고 부속실과 계단 실사이의 문이 동시에 개방되는 것으로 가정하였다. 부속실과 옥내사이의 문 즉 세대 현관문은 4세대 중 한세대만 동시에 개방되는 것으로 가정하였다.

[그림16]은 세대내 베란다가 열린경우의 차압성능결과를 보여주고 있는데, 문이 닫힌 상태에서는 급기과잉이 되어 부속실내부의 압력이 최대차압을 초과하고 있으며, 문이 열렸을 경우에는 적절한 차압이 유지되는 것을 알 수 있다.

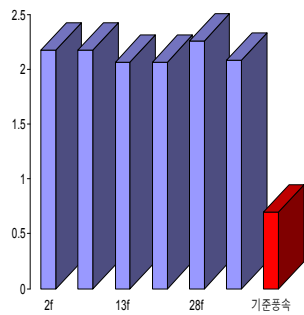
[그림17]은 문이 열렸을 때 방연풍속 결과를 보여주고 있는데, 기준방연풍속인 0.7 m/s를 모두 초과한 2~2.5 m/s사이에 분포하는 것을 알 수 있다. 이는 기준방연풍속보다 높기 때

문에 성능은 적절하다고 판단할 수 있으나 기준값보다 지나치게 큰 것으로 보아 급기송풍기의 풍량이 지나치게 높게 선정되었다고 볼 수 있다.

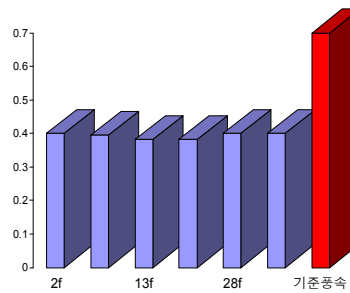
[그림18]은 배란다문이 닫혔을때의 방연풍속결과를 보여주고 있는데, 모든 경우에서 방연풍속이 미달되는 것을 알 수 있다. 이는 옥내측에 급기공기가 충분히 빠져나갈 수 있는 배출구가 없어 옥내의 압력만 상승시켰을 뿐 부속실에서 옥내로의 충분한 기류가 형성되지 않았기 때문으로 예측된다.



[그림 16] 세대내 배란다가 열린 경우의 당초설계의 차압성능 예측 결과



[그림17] 세대내 배란다가 열린 경우의 당초설계 방연풍속성능 예측 결과



[그림18] 세대내 배란다가 닫힌 경우의 당초설계 방연풍속성능 예측 결과

4.1.3 분석결과로부터의 수정설계안의 제시 및 수정후 결과 예측

[표 2] 수정 설계안

항 목	당 초	수정 설계안	비 고
송풍기 용량	34,250 CMH, 70 mmAq, 20 HP x 2기	26,900 CMH, 40 mmAq, 10 HP x 2기	
급기댐퍼 유효개구 면적	0.7 m ²	0.16 m ²	실제댐퍼의 선정은 개구율을 감안할 것.
풍도과압배출구	미반영	600 x 600 차압댐퍼	송풍기 직근설치
계단실 창문	미달이식	불박이 창	
1층 계단실	미구획	구획(방화문설치)	

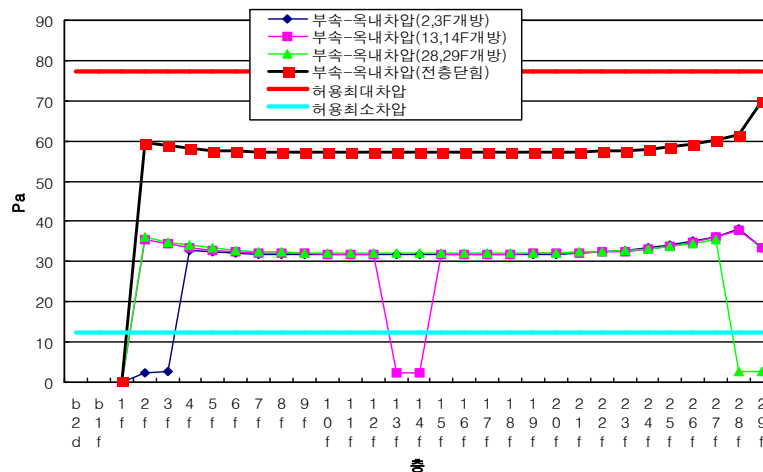
송풍기의 실제 선정은 컴퓨터 프로그램에 의해 분석되지 않은 미확인 누설부위와 닥트의 누기율을 감안하여 실제 적용할 송풍기는 계산 풍량에 15%를 반영하고 정압 계산값에 25%를 반영한 값으로 선정한다.

급기댐퍼의 크기가 크면 개방층에서 급기댐퍼를 통한 누설량이 너무 커져 풍량 손실이 커져 송풍기의 용량은 커지고 반대로 크기가 작을 경우에는 충분한 급기량이 나오지 않아 차압과 방연풍량이 작아지게 된다. 이러한 것을 감안하여 가장 최적의 댐퍼 크기를 선정하였다.

계산 과정에서 계단실의 창문은 열리지 않는 불박이 형태로 전제하였으며, 구획되지 않은 1층 계단실은 방화문으로 구획된 것으로 전제하였다.

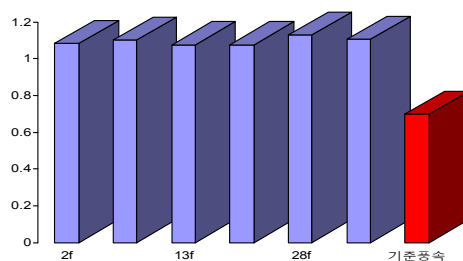
수정설계안의 결과에서 세대베란다가 닫힌 경우에서 있어서의 방연풍속 미달은 현재로서 별도의 유입공기 배출구를 설치하지 않고서는 성능기준을 만족할 수 없다. 따라서 성능기준은 세대베란다가 열린 경우를 기준으로 판단한다.

수정결과를 컴퓨터로 분석한 결과 [그림19]와 같이 차압의 분포가 적정기준 범위 내에 모든 경우 만족하고 있다. 부속실이 모두 닫힌 경우에는 개방된 경우에 비해 약 20 Pa 정도의 압력상승만 발생하는 것을 알 수 있으며, 허용 최대압력을 초과하는 경우는 없다.



[그림19] 세대내 베란다가 열린 경우의 수정설계의 차압성능 예측 결과

[그림20]의 방연풍속 성능결과를 보면 전체적으로 기준을 만족하고 있는 것을 알 수 있는데, 기준방연풍속을 크게 초과한 당초설계에 비하여 크게 격차가 줄은 것을 알 수 있다.



[그림20] 세대내 베란다가 열린 경우의 수정설계 방연풍속성능 예측 결과

결론적으로, 수정설계안으로 당초설계의 문제점을 보완하면서도 시스템의 용량까지 줄임으로서 비용절감의 효과까지 얻을 수 있었다.

4.2 초고층건물에서 연돌효과가 제연설비에 미치는 영향 분석 사례

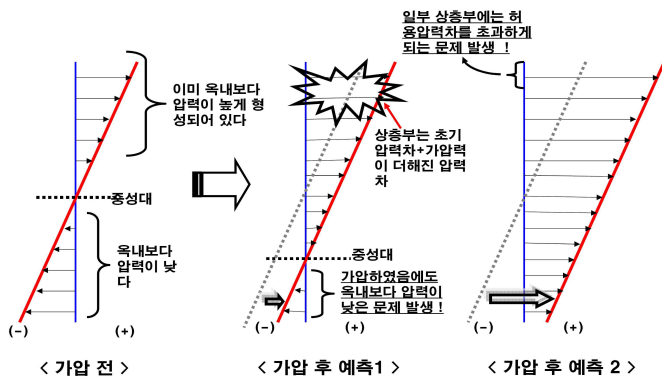
4.2.1 분석자료의 입력

계단가압시 단일 제연구역으로서 계단실 높이가 너무 높을 경우에는 차압제연시스템이 연돌효과의 영향을 극복하기가 어려워진다. 겨울철 연돌효과에 의해 중성대 아래쪽 계단실의 압력은 옥내보다 낮은 상태이고 중성대 상부쪽은 옥내보다 높은 상태를 유지하게 되는데, 계단실의 높이가 높을수록 상부와 하부간의 압력차가 커져 계단실 급기에 의해 급기 할 경우 [그림21]과 같은 문제점이 발생할 가능성이 높아진다. 즉 급기를 하여도 [그림21]의 <가압후 예측1>과 같이 일부 저층부의 경우에는 여전히 옥내보다 압력이 낮은 층이 발생하게 될 수 있으며 이를 극복하고자 더 많이 급기량을 늘리게 되면 <가압후 예측2>와 같이 이미 옥내보다 압력이 높게 형성되어 있는 상층부와 옥내사이의 압력차를 더욱 크게 하여 피난시 계단실문을 열고 들어가지 못하게 만드는 부작용이 발생하게 된다.

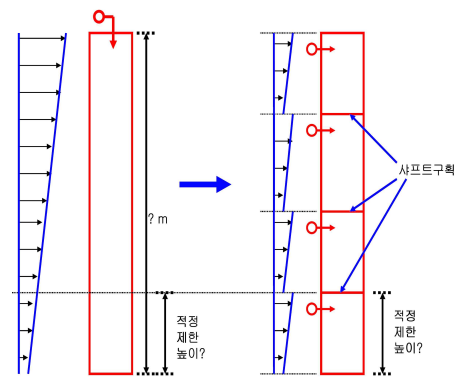
따라서 계단실의 경우 단일제연구역으로 가압이 가능한 계단실의 최대높이에 대해 제한이 필요하다. 특히 초고층건물의 경우 [그림22]와 같이 안정적인 차압제연시스템의 성능을 보장받기 위해서는 일정 높이마다 계단실을 별도로 구획하여 제연구역을 여러개로 분리할 필요가 있는 것이다. 이를 컴퓨터로 분석해보자.

분석하기 위하여 계단실과 옥내만 있는 단순한 구조의 건물을 가정하였으며 다음과 같은 조건을 전제하였다.

- ✓ 층고 3 m 18층 : 계단실높이 54 m
- ✓ 최대압력차 : 85 Pa
- ✓ 최소압력차 : 12.5 Pa
- ✓ 외기온도 : -10 ℃
- ✓ 건물내부온도 : 21 ℃
- ✓ 계단실과 옥내사이의 피난구 누설면적 : 0.01 m²
- ✓ 건물과 외부와의 누설면적 : 0.2 m²



[그림21] 초고층건물에서 예상되는 계단가압의 문제점



[그림22] 문제점해결을 위한 계단실 분할

4.2.2 분석결과

[그림23]의 그래프에서 “가압전”은 순수한 연돌효과에 의해서 형성되어 있는 계단실과 옥내사이의 압력차를 보여준다. 즉 겨울철에는 연돌효과의 영향으로 가압을 하지 않아도 건물내 압력차가 그림과 같이 형성되어 있음을 의미하는 것이다.

이 때 계단을 가압하여 계단실의 모든 부분에서 최소압력차 12.5 Pa 이상이 되어야 하며 동시에 최대 압력 제한값인 85 Pa를 초과하지 않도록 성능이 구현되어야 한다. 그러한 기준을 만족하도록 가압한 결과가 “가압후”의 곡선이다. “가압후”의 결과는 계단실의 전 구간에서 차압기준을 만족하고 있다. 만일 건물의 높이가 54 m보다 높다면 상층부의 경우에는 최대설계차압을 초과하게 될 것이다. 반대로 상층부를 최대설계차압을 초과하지 않도록 가압하면 저층부는 최소차압에 미달될 것이다. 결론적으로 예제와 같이 전제한 조건에서 연돌효과의 영향에서도 안정적인 가압이 가능한 계단실의 최대높이는 54 m로 제한되어야 한다는 것을 분석결과를 통해 알 수 있다.

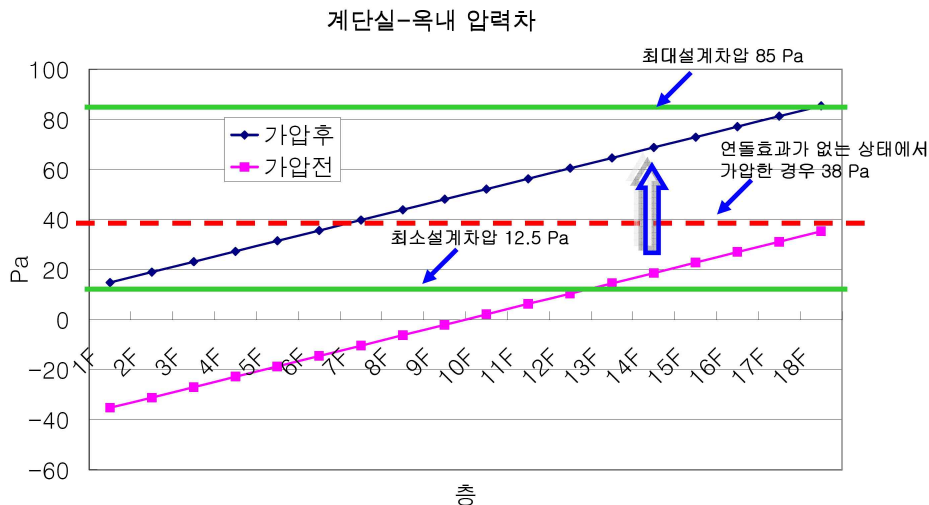


그림23 연돌효과가 있는 상태와 없는 상태에서 가압시 계단실과 옥내사이의 압력차 분석 결과

[그림23]에서 “연돌효과가 없는 상태에서 가압한 경우 38 Pa”은 분석결과와 같이 기준차압 12.5 Pa를 만족하기 위한 설계 압력차는 38 Pa 이상으로 설정해야 한다는 의미가 된다. 이는 연돌효과의 영향을 고려하지 않고 평상시의 설계기준압력으로 실무에서 적용하고 있는 12.5 Pa는 잘못 적용되고 있다는 것을 알 수 있다.

4.3 설치된 시스템에 대한 분석사례

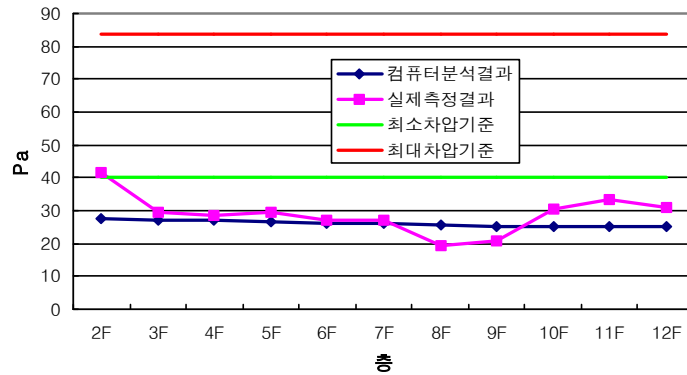
이미 설치된 시스템의 문제점을 분석하여 그 대안의 제시에도 응용이 가능하다. 우선 설치된 시스템의 성능검사를 통하여 그 결과값을 기록한 다음 CONTAMW 프로그램에 설치된 상태를 그대로 입력한 후 분석결과가 실제 성능검사결과와 동일한지를 비교한다. 현장에서 정확한 실측을 통하여 자료를 입력한다면 실제 성능검사결과와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있다. 즉 실제성능검사결과가 문제가 있다면 그 상태를 그대로 입력한 컴퓨터의 분석결과 또한 문제가 있는 결과로 분석될 것이다.

[그림24]는 OO사업의 특정건물에 대해 진단을 실시하고 그것을 컴퓨터로 입력한 결과와

비교한 것이다. 해당 건물의 경우 차압성능이 구현되지 않은 상태였으며 실제성능검사결과값과 컴퓨터분석결과 값이 거의 유사하게 나타난 것을 알 수 있다.

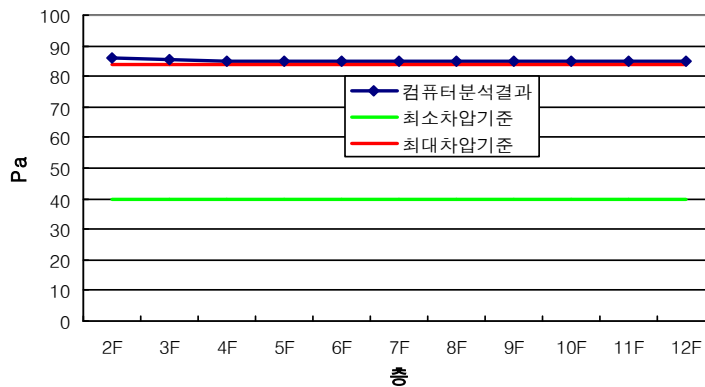
이와 같은 상태에서 적절한 차압성능을 만족하기 위하여 컴퓨터를 통하여 여러 가지 대안을 적용하면서 결과값들이 기준을 만족하는지를 확인하여 최적의 대안을 찾을 수 있다. 차압성능기준을 만족시키기 위해서는 여러 가지 대안으로 접근할 수 있다. 송풍기의 풍량을 늘려나가는 방법도 있으며 누설되는 면적을 줄이는 방법 또 풍도의 면적을 키워 마찰손실을 줄이는 등 그 외 여러 가지의 방법을 찾을 수 있다. 만일 컴퓨터의 분석방법이 없다면 어떠한 방식이 가장 효율적이고 경제적인 방법인지 가늠하기가 어려울 것이다. 컴퓨터를 응용한 분석은 이러한 대안들에 대한 결과예측을 매우 간단하고 쉽게 제시해준다.

차압분포(옥내-부속실)-계단실A



[그림 24] 실측치와 컴퓨터 분석 결과 차압 비교 그래프

차압분포(옥내-부속실)-계단실A



[그림 25] 보완 후 컴퓨터 분석 결과 차압 분포 그래프

예제 건물의 경우에는 송풍기의 교체없이 계단실과 부속실 출입구의 바닥틈새를 조정하는 것만으로도 차압성능이 구현될 것으로 예측되었다. [그림 25]와 같이 바닥틈새 조정 후 예상된 결과는 매우 만족할 것으로 기대되었고 이후 간단한 시공을 거쳐 실제 성능을 측정해본결과 컴퓨터가 예측한 결과와 매우 비슷한 결과를 보여주었다.

5. 결론

피난로의 연기유입을 방지하기 위한 차압제연시스템은 화재시 매우 중요한 설비이다. 최종 안전구역인 계단실이 연기로 오염될 경우에는 건물전체 거주자들의 안전에 치명적인 결과를 초래하기 때문에 차압제연시스템은 매우 정밀하게 분석되어야 하고 정확한 시스템의 성능이 보장받아야 한다.

그럼에도 불구하고 제대로 성능이 구현되고 있지 못하는 것이 현실이다. 그만큼 건물내부 공기의 유동과 압력분포 등의 해석이 어렵고 많은 변수들이 제연시스템 성능 구현에 영향을 주기 때문에 설계자체가 매우 까다로운 면도 없지 않다.

컴퓨터를 응용한 네트워크분석용 프로그램인 CONTAMW는 이러한 문제점을 해결하는데 좋은 대안이 되었다. 연돌효과와 바람의 영향 등 건물내부의 압력과 기류흐름을 쉽게 분석할 수 있었으며, 급기가압시 이러한 여러 가지 환경변수들이 어떻게 영향을 미치는지 분석이 가능하였다.

CONTAMW의 응용은 최적의 설계를 이끌어낼 수 있고 현재 설치된 시스템의 성능을 분석하고 대안을 제시하는 데에도 좋은 활용도구가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. NFPA 92A "Recommended Practice for Smoke-Control Systems", NFPA, 2006
2. Smoke Control Provisions of THE 2000IBC, 2003
3. John, H. Klote., James, A. Milke, "Principle of smoke management", 2002
4. George T. Tamura, "Smoke Movement & Control in High-rise Buildings", NFPA, 1994

* 본 자료는 (주)유탐엔지니어링 여용주 기술사님께서 작성해주셨습니다.