

A-2

건물의 가압방연을 위한 유동해석

김명배, 윤명오*, 김진곤**
한국기계연구원, 서울시립대학교*, 한국항공대학교**

The Network Analysis of Building Pressurization System for Smoke Control

Myung Bae Kim, Myoung O Yoon*, Jin Kon Kim**
Korea Institute of Machinery & Materials
The University of Seoul*
Korea Aviation University**

1. 서론

산업 및 경제규모의 발전과 더불어 고층건물들이 출현하게 됨에 따라 화재 시 각종 탈출 및 구조장비의 유용성이 제한되고, 피난통로 및 피난시간이 길어지게 된다. 따라서 건물화재 시 연기로부터 인명안전 확보를 위하여 건물 내에 연기가 침투되지 않는 안전구획(Smoke-free safety zone)을 설정하여 피난 및 소방대의 각종 진압 구조활동이 원활히 수행될 수 있도록 하고 있다. 이러한 안전구역에서는 공기를 유입시켜 안전구획과 화재구역 사이에 적절한 차압을 유지시키는 가압(Pressurization) 방연 방법이 사용되고 있다.^{1,2}

안전구획으로부터는 비상계단이나 비상용 승강기로 연결되는 문이 있어 피난을 유도하게 된다. 안전구획을 설정하기 위하여 계단실 또는 승강기 이동통로를 가압하는 방법이 외국에서 많이 사용되고 있으며, 국내에서는 전실(前室) 또는 로비(Lobby)와 불려지는 방(Room) 형태의 공간을 직접 가압하도록 되어있다. 각국에서는 화재구역과 전실사이의 압력차를 일정 범위 내로 제한하고 있다. 압력차가 크면 화재구역과 전실사이의 문 틈새를 통한 연기 침투방지 효과가 커지지만 화재구역에서 전실로 문을 밀고 들어오는 피난자들은 더 많은 힘을 필요로 하게 된다. 따라서 일정 범위 내로 압력차를 제한 할 필요가 있으며, 국내의 경우는 40~60Pa을 허용범위로 설정하고 있다.³

가압방식에는 건물 전체 층을 동시에 가압하는 전층 가압방식과 화재층과 그 위 아래층을 가압하는 3개층 가압방식이 있다. 설계편의나 송풍기 용량 면에서 3개층 가압방식이 유리하지만 전층가압 방식에 비하여 연기침투방지 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다.

건물 전체는 계단실, 승강기 이동통로와 같은 수직 Shaft를 통하여 모든 층이 유로로 연결되어 있으며, 각 층내에서도 문틈새, 개구부 등을 통하여 유로가 형성된다. 즉 안전구획 설정을 위하여 해당 공간만을 가압하지만 형성된 유로를 통하여 건물 전체에 영향을 미치게 된다. 이와 같이 건물전체가 하나의 유로 Network로 형성되기 때문에 허용범위내로 압력차를 유지시키기 위하여는 건물 전체에 대하여 유량과 압력손실을 계산하여야한다. 계산방법은 잘 알려진 Hardy-Cross⁴ 방법에 의해 계산할 수 있으나, 본 연구의 목적에 맞는 전문화된 프로그램을 작성할 필요가 있다. 본 연구에서는 Hardy-Cross 방법을 근간으로 하는 전문화된 가압방연 설계 프로그램을 작성하고, 이의 결과를 이용하여 급기 송풍기의 용량을 최적화 할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

2. 가압방연 해석방법

2.1 Network 모델링

해석 대상건물의 개략도를 Fig.1에 표시하였다. 건물 하단의 송풍기로부터 급기 덕트를 통하여 각 층의 전실(Lobby)로 차압유지를 위한 공기가 공급된다. 공급된 공기는 전실로부터 승강기 통로, 특별피난계단, 화재구역 등으로 흘러 갈 수 있으며 승강기 통로와 특별피난계단을 통해서 전층으로 유로를 형성하게 된다. 공기의 흐름과 직결되는 문제는 압력손실이며 이를 바탕으로 하여 전실과 화재구역의 압력차를 계산할 수 있게된다. 따라서 건물전체의 Flow Network을 도식화하여 컴퓨터 계산을 위한 입력자료로 활용하여야 한다.

이를 위하여 Node 와 Link의 개념을 도입한다. Node는 특정공간을 나타내며 Link는 개구면적과 같이 압력손실을 계산하는 부분을 의미한다. 방이 3개가 연결되어 있는 경우 Fig.2처럼 모델링 된다. Node에서 압력이 계산되고 Link에서는 유량이 계산된다.

모델링의 마지막 순서는 각 모델요소들이 폐회로를 구성하도록 해야 하는데 Fig.2와 같이 송풍기 입구의 외부와 Room3의 외부가 동일한 조건이므로, 두 개의 외부 Node 사이에는 압력손실이 전혀 없는 관으로 연결되어 있다고 가정해도 타당하다. 즉 가상 Link(Virtual Link)를 이용하여 폐회로를 구성하게 된다.

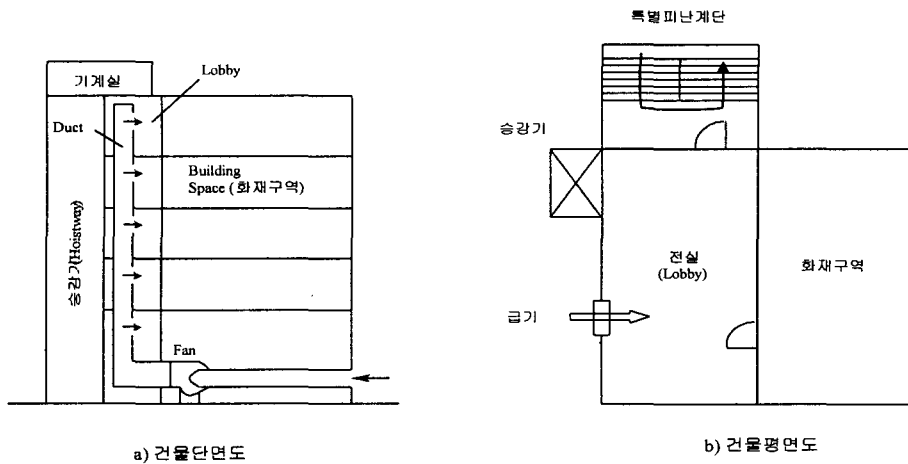


Fig.1 전실가압에 의한 가압방연

2.2 압력 및 유량 계산 절차

폐회로의 총 압력손실은 0이라는 사실을 이용한 Hardy Cross 방법을 사용하기 위하여 각 Link사이의 압력손실 식을 다음과 같이 나타낸다.

$$\Delta p_i = \alpha_i |q_i| q_i \quad (1)$$

Δp_i : Link i 의 압력차, α_i : 압력손실의 계수, q_i : Link i 의 유량

식 (1)은 흐름방향으로 압력이 줄어드는 사실을 반영하기 위한 것이다. 폐회로

전체의 압력손실 ΔP 는

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta p_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i q_i |q_i| \quad (2)$$

정확한 유량이 주어지면 $\Delta P=0$ 을 만족하게 된다. 계산시작 단계에서 초기치를 가정하기 때문에 $\Delta P=0$ 을 만족하지 못하게 된다. 따라서 적절한 유량증분 Δq 를 다음 식에서 구한다.

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \alpha_i (q_i + \Delta q) |q_i + \Delta q| = 0 \quad (3)$$

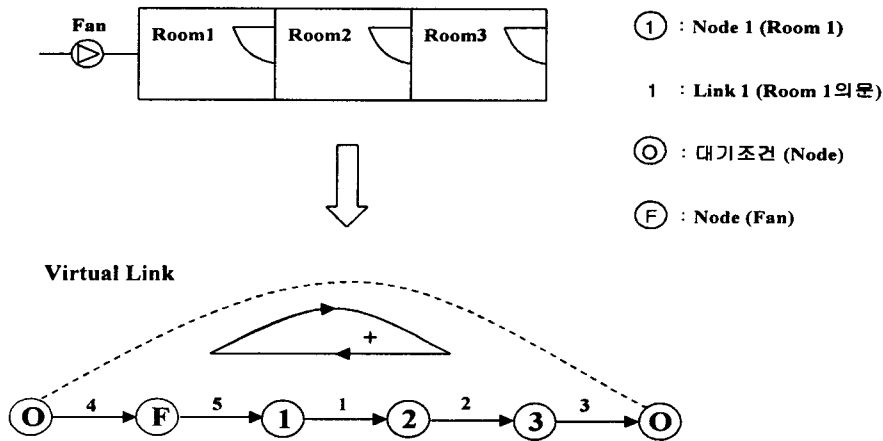


Fig.2 Node 와 Link를 이용한 Flow Network 모델링

따라서,

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i q_i |q_i| + 2\alpha_i |q_i| \Delta q) = 0 \quad (4)$$

식 (4)에서 $|\Delta q|$ 가 작은 경우를 가정하였다. 그러므로

$$\Delta q = - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i q_i |q_i|}{\sum_{i=1}^n 2\alpha_i |q_i|} \quad (5)$$

각 Link에서의 유량의 부호는 그 방향과 미리 정해놓은 방향(여기에서는 폐회로의 시계방향)이 일치하면 양의 값, 반대이면 음의 값을 갖도록 규정한다. 이상의 식을 사용하여 유량과 압력을 계산하는 순서는 다음과 같다.

- 가) 각 Node에서 연속방정식이 만족되도록 각 Link의 유량을 가정한다.
- 나) 폐회로에 대하여 식 (5)를 이용 유량증분을 구한다.

- 다) 각 Link에 유량증분을 더하여 유량을 계산한다.
- 라) Δq 가 0에 가깝도록 나), 다)의 과정을 반복한다. 건물에서는 여러 개의 폐회로가 구성되므로, 각 폐회로에 대하여 상기의 절차를 수행해야 한다.

3. 프로그램 구조

컴퓨터 프로그램은 입력자료를 읽어 Network을 구성하는 Subroutine, 초기유량을 가정하는 Subroutine, 유량증분을 구하는 Subroutine, 압력을 계산하는 Subroutine, 출력부분 등으로 구성되어 있다.

4. 계산예

모 건설회사에서 건축한 공동주택에 대한 가압방연 설계를 위해 본 프로그램을 사용하여 검토하였다. 2세대가 승강기를 공유하는 계단식 구조로 되어있으며 급기 덕트를 이용하여 전층가압되는 구조로 되어있고, 공택주택의 현실을 반영하여 계단실은 외부로 가정하였다. 다음 표 1에 계산조건을 나타낸다.

표 1 공동주택의 제원

항 목		제 원
일 반	층 수	20층
	층 고	2.6m
	급기 Fan	상부10m ³ /s, 하부10m ³ /s
	외부온도	29℃
	실내온도	26℃
유로면적	전실-세대	0.035m ²
	전실-승강기	0.06m ²
	세대-외부	2.0m ²
Shaft	급기	단면적 0.6×0.4m ² , $\alpha=1.0$
	승강기	단면적 1.7×1.7m ² , $\alpha=0.003$

급기 Fan의 유량은 Fan설계를 위한 초기 치이며, 계산결과가 전실과 세대의 압력차가 전층에서 40~60Pa을 만족하는 조건을 충족시켜야 한다. 계산을 위한 건물의 Network 모델링을 Fig.3에 나타내었다. 전실과 세대의 압력차와 급기 Duct로부터 전실로 흘러 들어가는 유량을 표2에 표시한다. 표 2의 계산결과로부터 송풍기가 설치된 위치에서 최근접층인 20층과 2층의 압력차가 가장 큰 것을 알 수 있으며, 가장 먼 곳은 42Pa정도의 압력차를 보이고 있다. 60Pa을 초과하는 곳은 전실에 설치된 과압방지 장치를 통해서 규정 범위 내로 조정할 수 있다.

위와 같이 압력 불균형을 표 2의 유량, 즉 급기 Shaft로부터 각 층의 전실로 공급되는 유량으로부터도 알 수 있다. 급기 Shaft의 송풍 출구에서의 압력이 각각 886Pa, 430Pa이므로, 송풍기의 용량을 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$E = \frac{1}{\eta} Q \cdot \Delta p \quad (6)$$

Q : 유량(m³/s), Δp : 송풍기 정압(Pa), η : 효율(≈ 0.6)

식(6)를 이용하여 계산하면 1층근처에 설치된 송풍기는 20마력, 20층 근처에 설치된 송풍기는 9마력이다.

표 2 계산 결과

층	항목	압력차(Pa)	유량(m ³ /s)
1		1.2	2.7
2		90.3	1.4
3		70.6	1.2
4		58.7	0.97
5		53.5	0.77
6		48.4	0.68
7		45.0	0.62
8		43.2	0.60
9		42.3	0.58
10		42.1	0.58
11		42.1	0.58
12		42.3	0.59
13		43.4	0.38
14		45.6	0.66
15		49.3	0.74
16		53.0	0.91
17		62.2	1.1
18		78.1	1.3
19		103.3	1.5
20		142.0	1.8

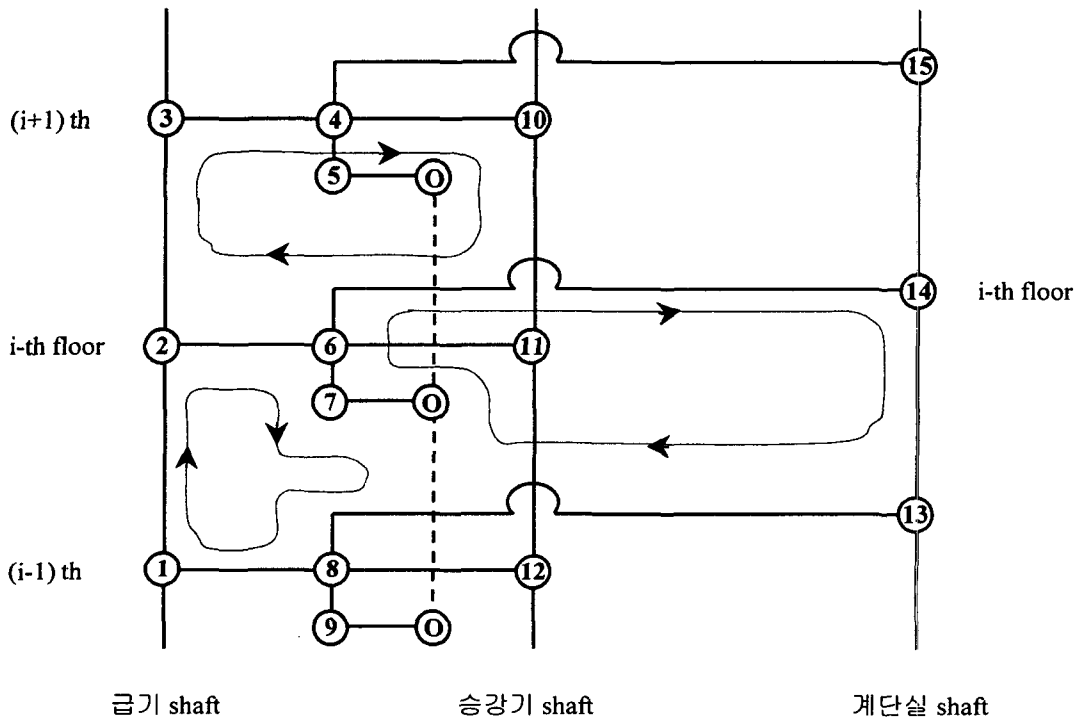
표 3 급기 Duct 면적 변경 결과

층	항목	압력차(Pa)	유량(m ³ /s)
1		0.6	1.8
2		69.3	1.2
3		57.4	0.99
4		51.1	0.84
5		47.2	0.70
6		50.2	0.81
7		47.1	0.71
8		44.8	0.67
9		43.7	0.65
10		43.4	0.65
11		43.3	0.65
12		43.5	0.66
13		44.4	0.68
14		46.3	0.74
15		48.5	0.87
16		45.5	0.74
17		48.7	0.89
18		57.2	1.0
19		70.7	1.2
20		90.7	1.4

주 : 1층은 피난층이므로 전실에서 외부로 통하는 문이 완전히 열려있는 상태를 가정한 것임.

위와 같은 층별 압력 불균형은 급기 Shaft로부터 각 전실로 연결되는 덕트의

단면적을 동일하게 하였기 때문인데, 이것을 조정하기 위하여 각층의 급기 연결 덕트 단면적을 달리하여 계산을 수행하면 표 3과 같다. 급기 연결덕트 단면적은 6~15층을 제외한 부분을 0.15m²로 변경하고, 송풍기 유량을 각각 9m³/s씩 10% 감소시킨 조건이다. 이 경우 급기 Shaft의 송풍기 출구에서의 압력이 각각 904, 406Pa이므로, 식 (6)에 의해 송풍기의 전체용량은 26마력으로 표2의 조건에 비하여 3마력이 감소하였다. 뿐만 아니라 Fig.4에서와 같이 각층의 압력차가 표 2의 경우보다 균일해졌으며 최고 값도 감소 한 것을 알 수 있다.



- ④,⑥,⑧ : 전실 ⑤,⑦,⑨ :화재구역 ⑩ : 외부
 폐회로 : ①-②-⑥-⑪-⑫-⑧-① : (2개층의 급기shaft, 전실, 승강기)
 ⑭-⑬-⑧-⑫-⑪-⑥-⑭ : (계단실, 전실, 승강기)
 ①-②-⑥-⑦-⑩-⑨-⑧-① : (급기shaft, 전실, 화재구역)

Fig.3 건물의 Network 모델링

5. 결론

건물화재시의 피난자의 인명안전 확보를 위한 가압방연 설계 프로그램에 필요한 건물요소의 모델링 방법, 계산방법 등을 제시하였다. 계산예에서도 알 수 있듯이 건물의 각 층에 급기용 송풍기를 설치할 수 없기 때문에 층에 따른 압력차 분포는 필연적이다. 전층가압방연이므로 급기덕트나 각종 유로면적이 동일하다면

송풍기에서 가까운 구획은 압력이 커지며 먼 구획은 압력이 감소할 수밖에 없다. 따라서 건물 전체가 규정범위내의 압력차로 유지되어야하기 때문에 송풍기에서 가장 멀리 떨어진 구획의 압력차를 기준으로 설계하여야 한다. 이러한 경우 과도한 송풍기의 용량으로 인한 문제에 더하여 송풍기로부터 가까운 구획에는 과압이 발생할 수도 있다.

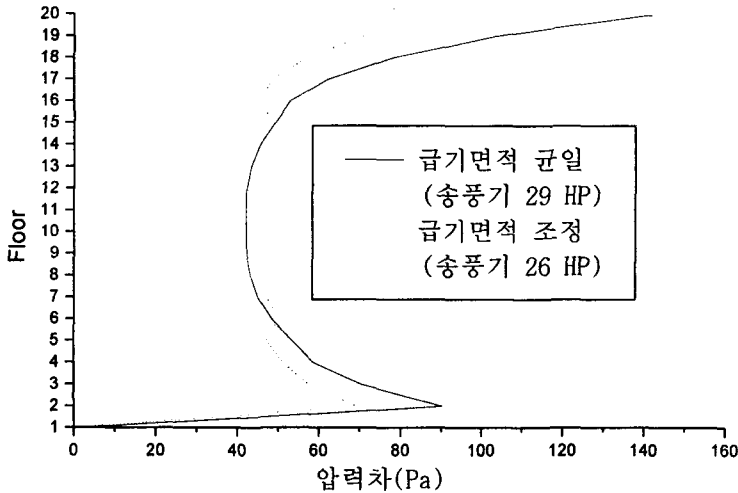


Fig.4 전실과 화재구역의 층별 압력분포

그러므로 본 연구에서 얻어진 프로그램과 같은 설계도구를 활용하면 각 층의 공기공급 덕트의 단면적을 달리한 경우를 계산할 수 있다. 예제에서 언급한 바와 같이 각 층 공기공급 덕트의 단면적을 달리함으로써 송풍기의 용량을 감소시킬 수 있게 된다.

참고문헌

- 1) J.H. Klote, "Stairwell pressurization", ASHRAE Transactions, Vol.86, Part I, 1980, pp.604-623.
- 2) J.H. McGuire and G.T. Tamura. "Simple analysis of smoke-flow problems in high buildings", Fire Technology, Vol.11, No.1, 1975, pp.15-22.
- 3) 이상호, "소방관계 법령집", 도서출판 골드, 서울, 1995.
- 4) A. Betamio de Almedia and E. Koelle, "Fluid Transients in Pipe Networks", Elsevier Applied Science, New York, 1985.