한국화재소방학회 논문지, 제20권 제1호, 2006년
[논 문]

T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 20, No. 1, 2006

통합 제연시스템의 컨트롤러 개발에 관한 연구
A Study on the Controller of Integration Smoke Control System

이 동 명†

Dong-Myung Lee†

경민대학 소방안전관리과
(2006. 1. 20. 접수/2006. 3. 24. 채택)

요 약

본 연구에서는 온도가 보상된 압력을 제연구역의 기준압력으로 설정하기 위한 공학적인 메커니즘과 보상방법을 정립하였고, 통합 제연시스템의 컨트롤러의 개발을 위한 프로세스, 알고리즘 확립과 엔지니어링 데이터의 구축으로 신뢰성이 확보된 통합 제연시스템의 컨트롤러를 개발하였다. 컨트롤러를 개발함으로서 비제연구역의 압력측정을 위해서 별도로 설치되는 압력측정관을 생략할 수 있어 제작단가와 설치비용 및 작업공수를 줄일 수 있고, 층별 제연구역의 차압측정을 위한 비제연구역의 압력측정포트를 시스템에 일체화함으로서 차압의 정밀도를 향상시킬 수 있다. 기존의 개별제어 방식에서 통합 제연시스템의 컨트롤러로부터 중앙집중식 통합관리를 함으로서 보다 정확하고 신뢰성 있는 차압을 얻을 수 있으며, 제연시스템에 유연성을 부과시킬 수 있을 것으로 본다. 또한 통합 제연시스템의 기틀을 마련하고 제연의 유연성을 주며 방재성능을 향상시킬 것으로 본다.

ABSTRACT

This study defined engineering mechanism and compensation method to establish reference pressure of smoke control zone with atmospheric pressure that is compensated for temperature. The reliable controller of integration smoke control was developed by establishing the specifications, algorithms and constructing engineering data. The development of controller for integration smoke control can cut down number of processes, manufacturing and installation cost by removing pressure measurement pipe established separately for non smoke control zone, and improve the accuracy of pressure differential by embedding pressure measurement ports for non smoke control zone. More correct and reliable pressure differentials can be obtained by the central control from controller of integration smoke control rather than the existent individual control. This will provide the basics and the flexibility to the integral smoke control system and accordingly improve the performance of disaster prevention.

Keywords : Integration smoke control system, Pressure differential, Controller, Smoke control damper, Atmosphere, Buoyancy

1. 서 론

건물화재로부터 발생되는 연기가 인명안전에 매우 위험한 요소로 작용하는 근본적인 이유는 화염이나 연소직후의 가스보다 위험도는 낮지만, 화염에 비해 연기가 건물 내에서 확산되는 속도가 매우 빠르기 때문이다. 화재로 인한 인명안전의 영향에는 화재발생장소 부근에서의 화열에 의한 직접적인 영향뿐만 아니라 화재기류에 의해 운반되어 건축물 내에 확산되는 연기의 영향을 무시할 수 없다. 고층 또는 대규모 건축물의 화재에서 수많은 희생자가 나올 때, 반드시 연기가 주요 원인으로 대두되고 있다.

우리나라도 선진국들과 같이 인구의 도시집중화로 인해 인구밀도가 높아감에 따라 건축물은 복잡·대형화·고층화되어가고 있다. 이에 따른 건축물의 화재 시 연기에 대한 대책이 그 무엇보다 시급하며, 인명안전을 도모하기 위해 연기의 제어수단과 기술적인 대책의 강구가 무엇보다 절실하다고 하겠다. 현재 고층건물에서는 화재 시 인명의 안전과 연기의 침입·확산을 막기 위해 제연구역에 제연댐퍼를 설치하고 있고,

† E-mail: 1dong@kyungmin.ac.kr

소방시스템에서 아주 중요한 설비이다.[1,2] 기존의 차압 측정방식은 비제연구역의 압력을 측정하기 위하여 건물의 각층마다 압력측정을 위해 압력측정관(6 mm 동관)을 매설·설치하고 있어 설치의 불편함과 시공비의 과대지출, 그리고 풍도의 길이나 위치수두에 대한 기준값(압력)의 보정 및 설정이 어렵다. 또한 출입문의 개폐에 따른 방연풍속이 일정하지 않기 때문에 차압으로서 측정치에 대한 신뢰성을 가질 수가 없다. 압력측정 시 건물내부의 온도변화에 따른 보정이 이루어지지 않고 있으며, 중앙제어반으로부터 건물의 층별 제연구역에 대한 차압과 보충량 조절이 개별적으로 이루어짐으로서 최적의 제연기능을 얻기가 어려우며 제연시스템에 대한 신뢰성이 부족하다.

이와 같은 문제점을 감안하여 차압 및 방연풍속, 보충량 조절, 연기 감지기와 송풍기, 댐퍼, 방화문(출입문)의 자가진단과 통합제어를 위한 일체형 자동 통합 제연시스템을 개발하는 것이 본 연구의 최종목표이다. 이에 앞서 본 연구에서는 기존의 차압측정방식에서 비제연구역의 압력측정을 위한 압력측정관을 제거할 수 있도록 비제연구역의 압력은 대기온도가 보정되고 건물의 층고에 따른 대기압을 측정하여 기준압력으로 설정하였다. 또 화재실의 화재부터 발생되는 고온의 연기에 의한 부력을 고려함으로서 제연구역의 신뢰성 있는 차압(pressure differential)을 얻을 수 있도록 하였다. 또한 향후 개발하고자 하는 통합 제연시스템으로부터 제어의 유연성을 주고 방재성능을 향상시킬 수 있는 제연 컨트롤러를 개발하였다. 통합 제연시스템의 컨트롤러의 개발을 위한 제어시스템의 이론, 메커니즘 및 프로세스를 정립하고, 이를 바탕으로 통합 제연시스템의 컨트롤러를 설계·개발하였으며, 이들 결과로부터 통합 제연시스템을 개발할 수 있는 기틀마련으로 방재성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 본다.

2. 통합 제연 컨트롤러의 설계

2.1 개발 알고리즘

통합 제연시스템의 알고리즘은 Fig. 1에 나타내었다. 통합 제연시스템의 컨트롤러는 건물의 각 제연구역의 차압과 보충량, 방화문의 개폐여부 등을 통합 제어하도록 하여 제연효과를 극대화할 수 있도록 하였다.

통합 제연시스템의 컨트롤러(1)는 통합 제연시스템을 제어하는 장치로서 화재가 발생하여 연기감지기로부터 신호입력부(5)에 신호가 전달되면 컨트롤러로부터 송풍기 구동부(13)에 신호를 송출하여 송풍기를 구동하게 된다. 이때 제연댐퍼 구동부(9)로도 신호가 송출되어 제연댐퍼가 개방된다. 제연구역(16)으로 공기가 유입되면 비 제연구역(17)의 압력센서(8a)에서 측정된 압력이 비 제연구역 압력검출부(7b)로 보내져 통합 제연제어장치의 중앙기억장치(2)에 기억시키게 된다. 다시 제연구역의 압력센서(8b)로부터 측정된 압력은 제연구역 압력검출부(7b)로 보내져 차압을 조절하게 된다.

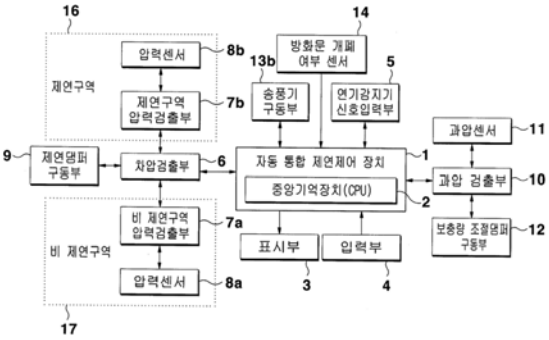


Fig. 1. Algorithm of integration smoke control system.

닥트를 통해 제연구역(16)으로 공기가 유입될 때 닥트 내의 압력은 과압센서(11)에 의해 측정되어 과압검출부(10)로 측정값이 송출된다. 송출된 압력이 통합 제연시스템의 중앙기억장치에 입력된 차압을 넘어 과압으로 판정되면 통합 제연시스템은 보충량 조절댐퍼 구동부(12)를 작동시켜 닥트 내부의 공기를 바깥으로 유출하게 함으로서 과압을 방지할 수 있다. 또한 출입문이 일시적으로 개방될 때 출입문의 개폐여부 센서(14)로부터 출입문의 개방상태를 확인하고 제연구역에는 차압유지를 위하여 기존 풍속 이상의 방연풍속(0.5~0.7 m/s)으로 공기가 유입될 수 있도록 중앙기억장치로부터 송풍기 구동부에 신호를 송출하여 송풍기를 작동시켜 제연댐퍼로부터 공기를 제연구역으로 유입시킨다. 또 방화문 개폐감지 센서(14)로부터 출입문의 해정상태를 확인할 수 있게 된다.

2.2 기준 압력의 설정

차압을 얻기 위한 기준 압력은 건물의 높이 및 각 층의 높이에 따른 기압과 차압과의 관계와 화재 시 고온의 연기에 의한 부력 등이 고려되어야 한다.

2.2.1 건물높이에 따른 압력의 변화[9]

N층의 건축물에서 건물높이에 따른 수직방향의 기압변화와 동일 건물 층에서의 수평방향의 기압과 차압과의 관계와 제연구역에 작용하는 압력(차압)에 대하여 공학적으로 정의가 요구된다.

첫째, 건물의 높이(수직방향)에 따른 압력은 건물 높이에 따라 통상 건물의 층수가 1층에서 n층으로 높아질 수 록 기압은 줄어들고, 또 같은 층의(수평방향) 제연구역과 비 제연구역의 기압은 같은 위치에 있으므로 동일한 기압상태에 있고 볼 수 있다. 따라서 각층의 차압 ΔP는 각층의 제연구역의 압력(P)과 비제연구역의 압력(P')의 차이로 나타낼 수 있다.

둘째, 건물의 공조설비 닥트를 하나의 밀폐된 공간으로 본다면 제연구역 역시 밀폐된 공간으로 볼 수 있다.[5] 이때 외부의 풍속에 의한 풍압이 없다고 가정하면 제연구역에 작용하는 공기가 미치는 압력은 유체역학적으로 볼 때 정압(P_s)에 해당한다. 아울러 화재가 발생되면 제연구역에 40 Pa의 차압을 유지하기 위하여 공기가 공급됨으로 제연구역에는 정압만이 작용한다. 따라서 건물 각층의 제연구역에 공기가 미치는 압력은 대기압 하에 측정됨으로 정압(P_s)으로 볼 수 있다.

물론 각층별 차압 ΔP는 엄격히 말해 동일한 기압상태에서의 제연구역과 비 제연구역의 압력차이가 되지만, 식 (1)에서 나타낸 바와 같이 기압은 온도(대기온도와 실내온도)와 상관관계가 있으므로 각층별로 정확한 온도가 보정되어야 한다.

따라서 비제연구역의 압력으로 설정되는 대기압은 높이에 따라 변하고, 높이에 대한 대기압의 변화율은 기체의 밀도에 비례하므로 dP/dz = −ρg가 된다. dP/dz = −ρg에 기체상태방정식 ρ = P/RT를 대입하면 dP/dz = −gP/RT로 되고, 이들 관계식에 변수분리법을 이용한 결과에 등온대기의 가정을 이용하여 적분하면 식 (1)이 된다. 대기압은 고도의 높이에 따라 지수함수적으로 감소한다. 식 (1)은 대기압 보정변환기 센서에서 압력측정 및 보상식으로 사용된다.[3,9]

$$P_2 = P_1 \exp\left\{-\frac{g(z_2 - z_1)}{RT_0}\right\} \quad (1)$$

2.2.2 고온의 연기에 의한 부력

일반적으로 겨울철 연돌효과에서 발생하는 것과 같은 유해한 압력을 없앨 수 있도록 모든 층에서 건물의 압력은 옥외보다 높게 해야 한다. 이렇게 하면 화재층의 유리창문이 파괴되어도 세로샤프트의 압력이 옥외 압력보다 높아져 연기가 샤프트 안으로 들어가지 않는다. 건물 내부를 가압시켜 연기를 제어할 때 연돌효과를 고려한 기준압력으 설정되어야 한다. 화재로부터 고온의 연기는 화재의 감소된 밀도에 의해 부력을 가진다. 방화구획과 방화구획의 주변 환경사이의 압력차이 ΔP는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.[4,5]

$$\Delta P = K_s\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_F}\right)h \quad (2)$$

식 (2)에서 ΔP는 압력차이(Pa), T_0는 주변의 절대온도(K), T_F는 방화구획의 절대온도(K), h는 중립면 위에서의 거리(m)이고, K_s는 상수(3640)이다.

예를 들면, 방화구획의 온도가 800°C인 화재의 경우 중립면에서 1.52 m 상부의 압력차이가 13 Pa 정도이며, 중립면으로부터 거리 h가 더 커질수록 방화구획의 압력차이는 더 커질 가능성이 있다.[4] 또한 영국 FRS에서는 많은 화재실험을 통하여 실내의 기압이 20 Pa~30 Pa로 되는 빈도가 가장 많고 경우에 따라서는 50 Pa이 되는 경우도 있다고 보고하고 있다. 물론 차압은 화재실과의 비화재실과의 압력차이지만, 이상의 결과로부터 제연구역의 차압을 얻기 위한 기준압력의 설정은 건물높이에 따른 기압의 변화를 적용하지 않고 건물을 밀폐된 공간으로 보고, 또한 고온의 연기에 의한 부력이 작용한다고 해도 NFSC 501A[2]에서 규정하고 있는 제연구역의 차압 40 Pa이 대기압보다 높게만 유지된다면 부력에 의한 압력변화의 영향도 흡수할 수 있으므로 임의 한곳에서 기압을 측정하여 이를 기준압력으로 설정하여도 큰 문제가 되지 않으며 제연구역에는 정압만이 작용한다고 볼 수 있다.

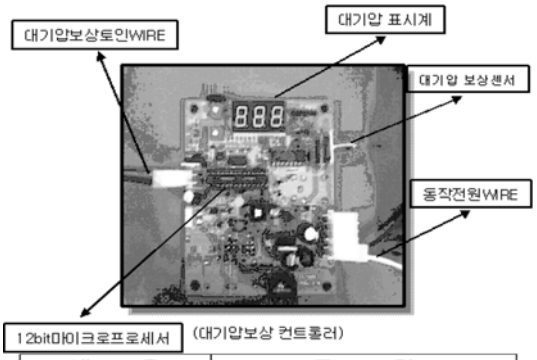
2.3 반도체 압력센서

차압과 대기압 측정을 위한 압력센서로는 반도체 결정격자의 변형에 의해 전기저항의 변화(실리콘 피에조 저항효과)를 이용한 반도체 센서를 이용하였다. 일반적으로 변형과 저항변화와의 관계는 식 (3)과 같이 표기된다.[7,8]

$$\frac{\Delta R}{R} = G_f * \varepsilon = (1 + 2\nu) + \frac{\Delta\rho/\rho}{\varepsilon} * \varepsilon \quad (3)$$

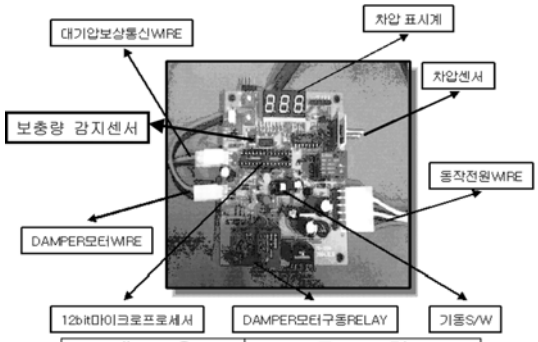
여기서 ΔR/R는 저항변화율, G_f는 소자에 의해 정해지는 상수로 게이지 상수 d다. ε는 변형, ν는 포와송비, Δρ/ρ는 결정의 비저항 변화율이다. 식 (1)의 우측 제1항은 저항체의 기하학적 변형에 의한 영향이고, 제2항은 피에조 저항효과에 의한 비저항 변화에 의한 영향을 나타내고 있다. 소재가 금속인 경우 제2항은 거의 0이기 때문에 게이지 상수는 2정도이지만, 반도체의 경우 제2항이 제1하에 비해 매우 크기 때문에 식 (4)와 같이 표기된다. 식 (4)에서 Π는 피에조 저항계수이고 ρ는 응력이다.

$$\frac{\Delta R}{R} \fallingdotseq \frac{\Delta\rho}{\rho} = \Pi * \sigma \quad (4)$$



내 용	규 격	
전 원	DC 24V (±10%)	
소비전류	무부하시	15mA
	기동시	30mA
기압보상범위	-1000 ~ 1000Pa	
출 력	RS485통신TX	
온도특성	-40 ~ 75℃	

Fig. 2. Atmosphere pressure compensator.



내 용	규 격	
전 원	DC 24V (±10%)	
소비전류	무부하시	17mA
	기동시	35mA
기압보상범위	-1,000 ~ 1,000Pa	
차압측정범위	0~60Pa	
입 력	RS485통신RX	
온도특성	-40 ~ 75℃	

Fig. 3. Controller of smoke control system.

3. 통합 제연 컨트롤러의 개발

3.1 대기압보상 변환기

대기압보상 변환기의 형상과 제원은 Fig. 2와 같다. 대기압보상 변환기는 12 bit 마이크로프로세서를 내장하고 있으며, 대기압의 변화를 센서로 감지하여 표시계로 지시한다. 또한 통신선을 이용하여 층마다 설치되어 있는 제연제어시스템으로 변화된 대기압을 보상하여 전송하는 기능을 가진 변환기이다. Fig. 2에서 대기압 보정센서는 마이크로프로세서로부터 대기압의 변화를 센서로 감지하여 표시계에 나타나게 되고, 통신선을 이용하여 층마다 설치되어 있는 차압 및 보충량 컨트롤러로부터 변화된 대기압을 보정하여 전송하는 기능을 가진다.

3.2 제연 컨트롤러

제연 컨트롤러의 형상과 제원은 Fig. 3에 나타내었다. 컨트롤러에는 대기압 보상 변환기와의 통신, 차압센서, 보충량 감지센서, 댐퍼구동 릴레이 등이 포함되어있다. 각 센서와 릴레이 등은 12 bit 마이크로프로세서에 의해 작동되며, 마이크로프로세서에는 이들을 동작시키기 위해 어셈블리어로 작성된 프로그램이 내장되어있다.[8,9]

Fig. 3의 컨트롤러는 통합 제연시스템에서 측정한 비제연구역의 압력과 제연구역 댐퍼의 센서에서 측정한 압력과의 차이를 계산하여 다시 센서로 보내면 차압에 따라 댐퍼가 작동된다. 이 신호가 통합 제연시스템에 피드백 되면 그 신호로부터 송풍기가 작동하게 함으로서 통합 제연 시스템은 건물의 각 제연구역의 차압과 보충량을 통합제어하게 되고, 제연효과를 극대화 할 수 있도록 하였다.

4. 통합 제연 컨트롤러의 시험

4.1 온도보상 측정

제연시스템의 출력전압은 측정하고자 하는 시료를 항온조에 넣은 후 온도가 규정온도(T)에 도달하고 30분 후에 규정압력(P)을 인가했을 때 측정하게 된다. 시험조건은 전압(V) = 5 V, 습도(RH) = 35~85%RH, 온

Fig. 4. Measurement of temperature compensation.

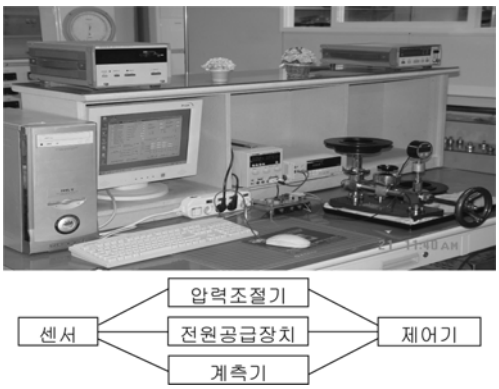


Fig. 5. Pressure test of smoke controller.

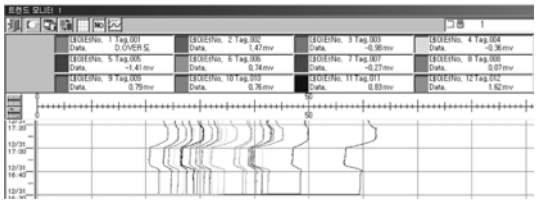


Fig. 6. Pressure differential output graph.

도(T) = –40~130°C로 하였고, 측정 장치는 Fig. 4와 같다.

4.2 제연 컨트롤러의 압력시험

차압센서의 신호출력 정확도를 검증 및 확인은 Fig. 5의 압력측정 장치를 이용하여 인가압력에 따른 출력특성을 확인하였다. 압력의 인가는 Fig. 5의 압력측정 장치에 압력분동을 니플(nipple)에 넣으면 압력에 따른 차압출력을 확인할 수 있다.[9)]

Fig. 6은 인가압력에 따라 차압센서로부터 출력되는 차압이 전압(V)으로 출력되기 때문에 출력전압을 압력(Pa)으로 변환시켜 데이터를 얻는 그래프의 예를 나타낸다.

Table 1에서 기준값은 상온(20°C)일 때 같은 위치, 같은 장소의 대기압과 압력분동으로부터 얻어진 압력차이를 의미하고, Table 1의 데이터들은 기준 값으로부터 측정 장소의 온도를 0°C, 20°C와 50°C로 변화시킬 때 온도의 변화에 따라 기준값과 차압센서의 출력압력(차압)을 약 50회 비교·시험한 값이다.

Fig. 7은 제연 컨트롤러의 출력압력(차압)의 정확도를 확인하기 위하여 상온(20°C), 같은 위치에서 기준값과 비교한 결과를 나타낸다. Table 1과 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 개발된 차압센서의 오차범위는 –0.03~0.5 Pa 정도이고, ±0.07% 편차를 나타낸다. 또한 Fig. 7에 나타낸 것처럼 기준 온도(20°C)보다 낮아(0°C)지거나 높아(50°C)지면 식 (1)과 같이 지수적으로 커지거나 작아짐을 알 수 있다. Fig. 7에서 대기의 온도가 50°C

Table 1. Pressure differential output data(Pa)

기준값	46.0	49.0	51.0	66.5	56.0	41.0	46.5	45.0	71.5	55.5
0°C	46.36	49.00	51.42	66.9	56.49	41.05	46.72	44.75	72.29	55.63
20°C	46.19	48.97	50.85	66.71	56.28	40.84	46.48	45.05	71.43	55.63
50°C	46.2	48.85	50.79	66.62	56.17	40.6	46.38	44.98	71.04	55.57

기준값	61.5	52.5	5.0	57.5	47.5	51.5	55.0	51.0	5.0	64.0
0°C	62.05	52.69	4.99	57.91	47.71	51.54	55.17	50.88	4.99	64.45
20°C	61.5	52.45	4.98	57.49	47.29	51.23	54.93	50.97	4.99	63.56
50°C	61.25	52.21	4.98	57.34	47.11	51.05	54.84	50.88	4.99	63.15

기준값	47.5	59.0	52.0	58.0	65.0	70.5	80.5	63.0	64.0	57.5
0°C	47.8	59.29	52.34	58.08	66.06	70.89	81.26	63.31	64.05	57.89
20°C	47.46	58.96	52.03	57.79	65.4	70.47	80.41	63.03	63.69	57.6
50°C	47.37	58.89	51.89	57.62	65.08	70.32	80.03	62.95	63.58	57.54

기준값	57.5	62.5	68.5	75.5	51.0	67.5
0°C	57.74	63.03	67.59	76.34	51.18	67.61
20°C	57.28	62.41	68.27	75.8	50.97	67.27
50°C	57.15	62.32	68.36	75.54	50.79	67.05

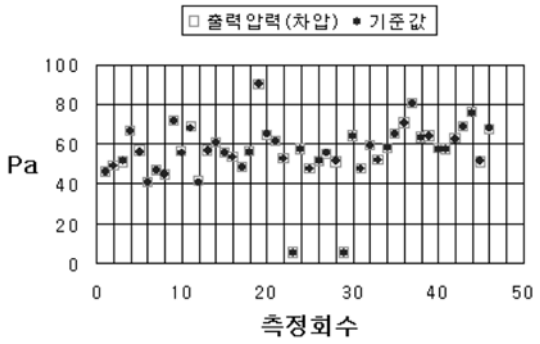


Fig. 7. Compare standard value to pressure differential.

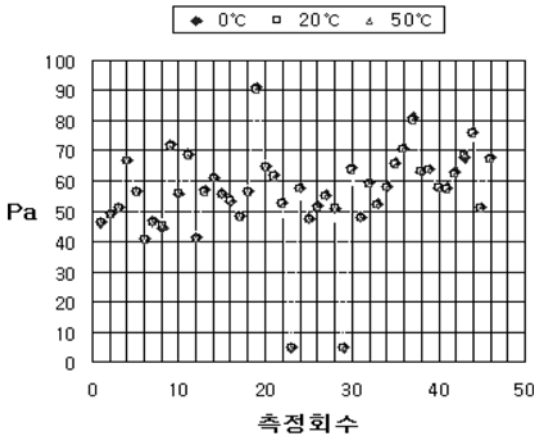


Fig. 8. Pressure differential due to temperature.

까지 올라가더라도 상온 20°C를 기준으로 할 때 최고 0.08Pa 정도 밖에 차이가 나지 않기 때문에 실제적으로 온도보정만 정확히 이루어진다면 임의 한 곳의 대기압을 기준압력으로 설정하여도 큰 문제가 되지 않는다고 볼 수 있다.

Fig. 8은 Table 1의 출력압력을 온도의 변화에 따라 나타낸 것이며, Table 1과 Fig. 8에 나타낸 것처럼 기준 온도(20°C)보다 낮아(0°C)지거나 높아(50°C)지면 식(1)과 같이 지수적으로 커지거나 작아짐을 알 수 있다. 또한 Table 1과 Fig. 8에서 대기의 온도가 50°C까지 올라가더라도 상온 20°C를 기준으로 할 때 최고 0.08 Pa 정도 밖에 차이가 나지 않기 때문에 실제적으로 온도보정만 정확히 이루어진다면 임의 한 곳의 대기압을 기준압력으로 설정하여도 큰 문제가 되지 않는다고 볼 수 있다.

5. 결 론

통합 제연시스템의 컨트롤러의 개발을 위한 컨트롤러의 설계이론, 메커니즘 및 프로세스를 정립하고, 이를 바탕으로 통합 제연시스템의 컨트롤러를 개발·제작함으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 건물의 임의 한곳의 대기압을 기준압력으로 설정하여도 큰 문제가 없는 것으로 확인되었다.

둘째, 비 제연구역에서 압력측정을 위해서 별도로 설치되는 압력감지관을 생략함으로서 제작 단가와 설치 비용을 줄일 수 있다.

셋째, 각 제연구역을 통합관리 함으로 보다 정확하고 신뢰성 있는 비교차압을 얻음으로서 제연구역의 차압을 보다 정밀하게 유지할 수 있다.

넷째, 정확한 방연풍속으로 제연구역의 압력을 보다 정밀하게 유지할 수 있다.

기존의 개별 제어방식에서 중앙집중식 통합 관리를 함으로서 제연효과의 극대화와 제연시스템의 유연성 확보는 물론 방재성능을 극대화할 수 있을 것으로 본다.

따라서 건물화재 시 화기나 연기가 다른 구역으로 침입·확산하는 것을 방지함으로서 인명과 재산피해의 최소화는 물론 소화활동을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. NFPA 92A, “Recommended Practice for Smoke-control System”(1993).
2. 행자부 고시 제2004-30호, “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비설치의 화재안전기준(NFSC 501A)” (2004).
3. Frank M. White, Fluid Mechanics, McGraw-Hill, 3rd edition, pp.59-105(1995).
4. SFPE, Handbook of Fire Protection Engineering 2, 3rd ed., NFPA, pp.4-274~291(2002).
5. George T. Tamura, Smoke Movement and Control in Hgiht-rise Building, The National Fire Protection Association, Inc. Quincy, Massachusetts USA(1994).
6. 대한설비공학회, 설비공학 편람, 대한설비공학회, pp.3.4 -16~3.4-52(1998).
7. 강철구 외 3인, 현대제어공학, 희중당, pp.all(1993).
8. 김동승, 오상균, 공학도를 위한 센서공학, 기전연구사, pp.315-345(2000).
9. 이동명, “제연구역의 자동 차압센서 개발에 관한 연구”, 한국방재학회논문집, Vol. 5, No. 3, pp.315-345(2005).