A-09

통합 제연시스템의 개발에 관한 연구

이동명*, 김엽래*
*경민대학 소방안전관리과

A Study on the Development of Integration Smoke Control Systems

D. M. Lee*, Y. R. Kim*
*Dep. of Fire Protection Safety Management, Kyungmin College.

1. 서 론

건물화재에서 인명안전에 심각한 피해를 주는 요소는 화재발생장소의 화열에 의한 직접적인 영향뿐만 아니라 화재기류와 함께 운반되어 건축물 내에 확산되는 연기의 영향을 무시할 수 없다. 지하 공간, 고층 또는 대규모 건축물의 화재에서 수많은 희생자가 나올 때, 반드시 연기가 주요원인으로 대두되고 있다. 이들 건축물의 화재로부터 발생되는 연기가 인명안전에 매우 위험한 요소로 작용하는 근본적인 이유는 화염이나 연소직후의 가스보다 위험도는 낮지만, 화염에 비해 연기가 건물 내에서 확산되는 속도가 매우 빠르기 때문이다.

경기도 화성 씨랜드나 인천 노래방, 대구지하철, 울산, 청주의 아파트 등과 같은 대형화재에서도 연기가 사망·사고를 더욱 더 가중시켰음을 잘 알고 있다. 이와 같이 최근 우리나라도 화재 시 연기에 의한 사망률이 45% 이상을 차지하고 있음을 매스컴을 통해 보도된 바 있다. 우리나라도 선진국들과 같이 인구의 도시집중화로 인해 인구밀도가 높아 감에 따라 건축물은 복잡화·대형화·고층화되어가고 있고, 이에 따른 화재 시 연기에 대한 대책이 그 무엇보다 시급하다.

따라서 인명안전을 도모하기 위한 연기의 제어수단과 기술적인 대책의 강구가 무엇보다 절실하다고 하겠다. 현재 고층건물에서는 화재 시 인명안전과 연기의 침입·확산을 막기 위해 제연구역에 제연댐퍼를 설치하고 있고, 제연댐퍼는 비제연구역과의 차압(40Pa)을 형성하여 화재 시 연기의 침입·확산을 막는 역할을 하는 아주 중요한 연기제어시스템 중의 하나이다[1,2]. 이때 차압은 일반적으로 fig. 1에 나타낸바와 같이 부속실과 비 제연구역과의 압력의 차이로 나타나게 된다. 기존의 차압 측정센서는 비 제연구역의 압력을 측정하기 위하여 fig. 1과 같이 건물의 각층마다 비 제연구역의 압력측정을 위한 압력측정관(6㎜ 동관)을 매설·설치하여야 하는 불편함과 제작비의 과대지출, 그리고 풍도의 길이나 위치수두에 대한 기준치(압력)의 보정이나 설정이 어렵고 또한 출입문의 개폐에 따른 방연풍속이 일정하지 않기 때문에 차압으로서 측정치에 대한 신뢰성을 가질 수가 없으며, 중앙제어반으로부터 건물의 층별 제연구역에 대한 차압과 보충량 조절이 개별적으로 이루어짐으로서 최적의 제연기능을 얻기가 어렵고 제연시스템에 대한 신뢰성이 부족하다.

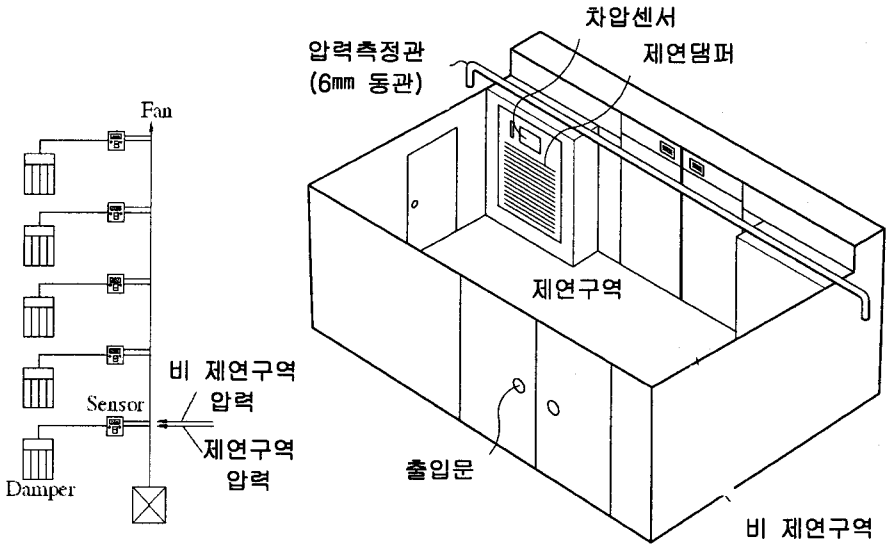


Fig. 1 The existing smoke control system

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 비 제연구역의 압력측정 동관제거 및 차압과 방연풍속·보충량 조절, 연기 감지기, 송풍기, 댐퍼, 출입문의 해정상태 등 자가진단기능과 제연기능의 통합제어를 위한 고 정밀(高精密) 일체형 자동 통합 제연시스템을 개발하였다.

2. 통합 제연시스템 설계

2.1 알고리즘

통합 제연시스템의 알고리즘은 Fig.2에 나타낸바와 같다. 개발된 통합 제연시스템은 건물의 각 제연구역의 차압 및 방연풍속, 보충량 조절과 방화문의 개폐여부 등을 통합 제어하도록 하였으며, 제연효과를 극대화 할 수 있도록 하였다.

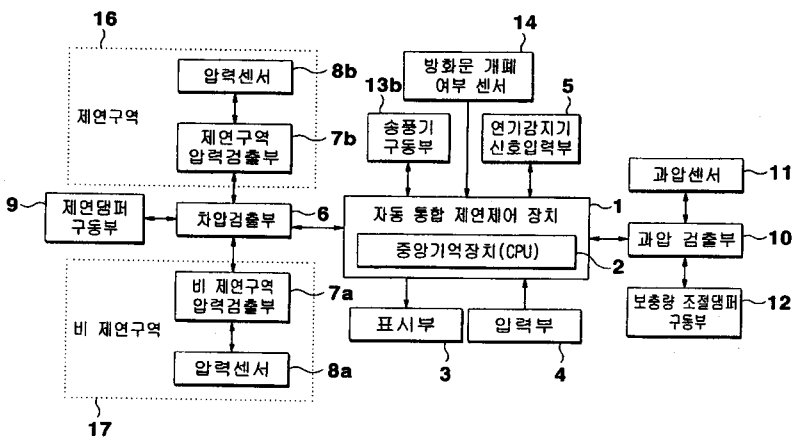


Fig. 2 Algorithm of integration smoke control system

2.2 대기압 보상과 차압

방화구획의 온도가 800℃인 화재의 경우 중립면에서 1.52m 상부의 압력차이가 13Pa정도이며[3], 또한 영국 FRS에 의하면 많은 화재실험의 결과 실내의 압력이 20Pa~30Pa로 되는 빈도가 가장 많고 경우에 따라서는 50Pa이 되는 경우도 있다고 보고하고 있다. 차압은 엄격히 화재실과의 비화재실과의 압력차이이다. 하지만 건물을 하나의 밀폐된 공간으로 본다면, 기준압력은 건물높이에 따른 기압의 변화를 적용하지 않아도 된다[4]. 앞서 설명한바와 같이 NFSC 501A[2]에서 규정하고 있는 제연구역의 차압 40Pa을 대기압보다 높게 유지한다면 부력에 의한 압력변화의 영향을 흡수할 수 있으므로, 임의 한곳에서 기압을 측정하여 이를 기준압력으로 설정하여도 큰 문제가 되지 않는다고 볼 수 있다.

따라서 개발된 시스템은 기존 차압측정방식에서 비 제연구역의 압력측정을 위해 사용하고 있는 압력측정관을 제거하기 위해 건물의 임의 한곳의 압력을 기준압력으로 설정하였다. 자세한 내용은 참고문헌 4와 5를 참고하기 바란다.

다만, 기준압력은 건물 각 층의 높이에 따른 압력의 변화가 고려되어야 한다. 즉, 대기압 보상이 이루어져야 한다. 또 차압은 화재 시 고온의 연기에 의한 부력이 고려되어야 한다. 대기압과 차압 측정을 위한 센서는 실리콘 피에조 저항효과를 응용한 반도체 압력센서를 이용하였다.

1) 대기압 보상

건물의 각 층별 기압 P_2은 온도(대기온도와 실내온도)와 상관관계가 있고, 각 층별 위치에 따라 정확하게 보정되어야 한다[4,5,6].

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

2) 차압

① 고온의 연기에 의한 부력

건물 내부를 가압시켜 연기를 제어할 때 연돌효과를 고려한 기준압력이 설정되어야 한다. 화재로부터 고온의 연기는 화재의 감소된 밀도에 의해 부력 ΔP를 가진다.[4,5,6]

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

② 압력센서

차압과 대기압 측정을 위한 압력센서로는 반도체 결정격자의 변형에 의해 전기저항의 변화 $\Delta R/R$을 이용한 반도체 센서를 이용하였다[4,5,6]. $\Delta\rho/\rho$는 결정의 비저항 변화율이고, Π는 피에조 저항계수, σ는 응력이다.

$$\frac{\Delta R}{R} \fallingdotseq \frac{\Delta\rho}{\rho} = \Pi * \sigma \qquad (3)$$

2.3 제연 컨트롤러

Fig. 3은 통합 제연시스템 컨트롤러의 프로세스를 나타낸 것이다. 임의 위치의 대기압이 측정되면 건물의 위치에 따라 압력이 보정되고, 이때 제연구역의 압력을 측정하여 보정된 대기압으로부터 차압을 얻게 된다. 또 방연풍속에 의한 보충량 조절과 과압을 조절할 수 있도록 하였다[5].

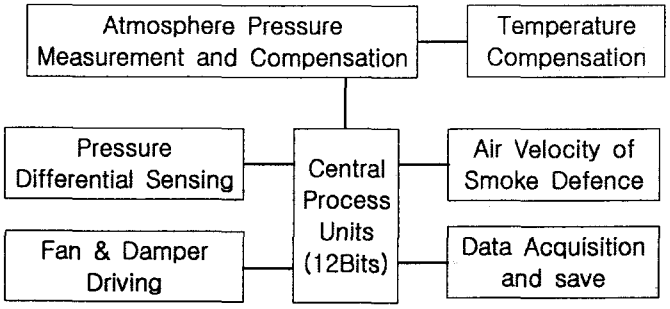
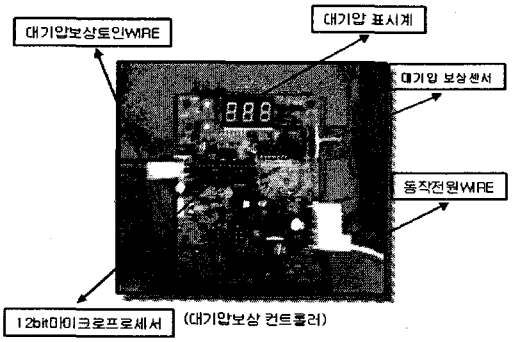


Fig. 3 Process of controller for integration smoke control system

3. 통합 제연시스템 제작

3.1 대기압보상 변환기

대기압보상 변환기는 fig. 4와 같다. 대기압보상 변환기는 12bit 마이크로프로세서를 내장하고 있으며, 대기압의 변화를 센서로 감지하여 표시계로 지시한다. 또한 통신선을 이용하여 층마다 설치되어 있는 제연제어시스템으로 변화된 대기압을 보상하여 전송하는 기능을 가진 변환기이다[4,5,6].

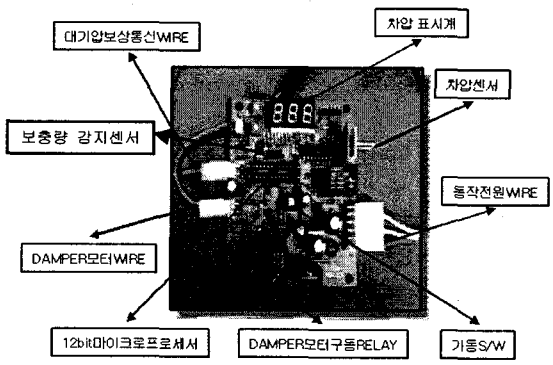


내 용	규 격	
전 원	DC 24V (±10%)	
소비전류	무부하시	15mA
	기동시	30mA
기압보상범위	-1000 ~ 1000Pa	
출 력	RS485통신TX	
온도특성	-40 ~ 75℃	

Fig. 4 Atmosphere pressure compensator

3.2 제연 컨트롤러

제연 컨트롤러의 형상과 제원은 fig. 5에 나타내었다. 컨트롤러에는 대기압 보상 변환기와의 통신, 차압센서, 보충량 감지센서, 댐퍼구동 릴레이 등이 포함되어있다[6].

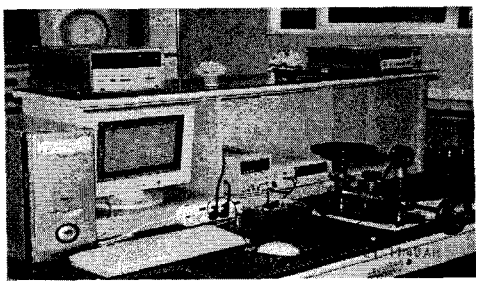


내 용	규 격	
전 원	DC 24V (±10%)	
소비전류	무부하시	17mA
	기동시	35mA
기압보상범위	-1,000 ~ 1,000Pa	
차압측정범위	0~60Pa	
입 력	RS485통신RX	
온도특성	-40 ~ 75℃	

Fig. 5 Controller of smoke control system

3.3 제연 컨트롤러의 테스트

차압센서의 신호출력 정확도를 검증 및 확인하기 위하여 fig. 6의 압력측정 장치를 이용하여 인가압력에 따른 출력특성을 확인하였다. 압력의 인가는 압력분동을 nipple에 넣으면 압력에 따른 차압출력을 확인할 수 있다[6].



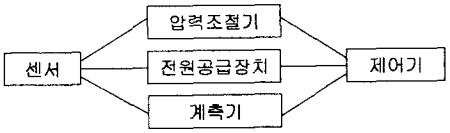


Fig. 5 Pressure test of smoke controller

Table 1에서 기준값은 상온(20℃)일 때 같은 위치, 같은 장소의 대기압과 압력분동으로부터 얻어진 압력차이를 의미하고, table 1의 데이터들은 기준값으로부터 측정장소의 온도를 0℃, 20℃와 50℃로 변화시킬 때 온도의 변화에 따라 기준값과 차압센서의 출력압력(차압)을 약 40회 비교·시험한 값이다.

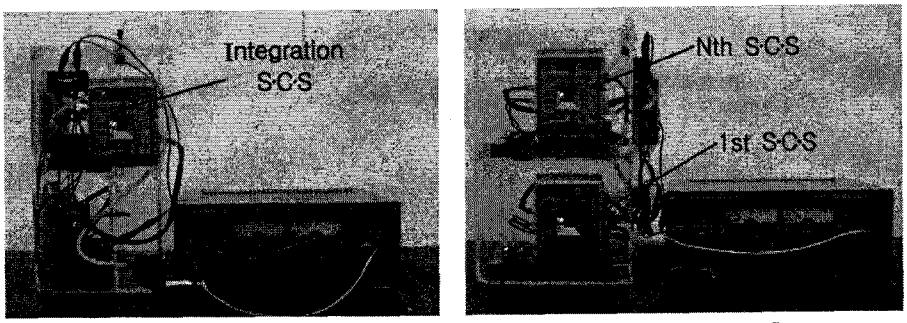
Table 1. Pressure differential output data(Pa)

기준값	46.0	49.0	51.0	66.5	56.0	41.0	46.5	45.0	71.5	55.5
0℃	46.36	49.00	51.42	66.9	56.49	41.05	46.72	44.75	72.29	55.63
20℃	46.19	48.97	50.85	66.71	56.28	40.84	46.48	45.05	71.43	55.63
50℃	46.2	48.85	50.79	66.62	56.17	40.6	46.38	44.98	71.04	55.57
기준값	47.5	59.0	52.0	58.0	65.0	70.5	80.5	63.0	64.0	57.5
0℃	47.8	59.29	52.34	58.08	66.06	70.89	81.26	63.31	64.05	57.89
20℃	47.46	58.96	52.03	57.79	65.4	70.47	80.41	63.03	63.69	57.6
50℃	47.37	58.89	51.89	57.62	65.08	70.32	80.03	62.95	63.58	57.54
기준값	61.5	52.5	5.0	57.5	47.5	51.5	55.0	51.0	5.0	64.0
0℃	62.05	52.69	4.99	57.91	47.71	51.54	55.17	50.88	4.99	64.45
20℃	61.5	52.45	4.98	57.49	47.29	51.23	54.93	50.97	4.99	63.56
50℃	61.25	52.21	4.98	57.34	47.11	51.05	54.84	50.88	4.99	63.15
기준치	68.0	41.0	56.5	60.5	55.5	53.0	48.0	56.0	90.0	65.0
0℃	68.81	41.31	56.77	60.93	55.84	53.18	48.37	56.5	90.94	64.95
20℃	68.28	41.18	56.47	60.6	55.53	53.1	47.97	56.15	90.41	64.63
50℃	68.09	41.14	56.32	60.49	55.43	52.97	47.76	56.05	89.99	64.4

Table 1에 나타낸 바와 같이 개발된 차압센서의 오차범위는 -0.03~0.5Pa 정도이고, ±0.07% 편차를 나타낸다. 또한 table 1에 나타낸 값들을 보면 기준 온도(20℃)보다 낮아(0℃)지거나 높아(50℃)지면 식(1)과 같이 지수적으로 커지거나 작아짐을 알 수 있다. 또한 대기의 온도가 50℃까지 올라가더라도 상온 20℃를 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.

3.4 통합 제연시스템 제작

통합 제연시스템은 fig. 2의 알고리즘을 바탕으로 반도체 차압 및 대기압 센서와 대기압보상 변환기, 제연 컨트롤러를 개발하였고, 시스템의 교정과 시험을 거쳐 fig. 7과 같이 시작품을 제작하였다.



[Integration] [N-Floor]

Fig. 7 Proto-type of the integration smoke control systems

4. 결 론

통합 제연시스템의 개발을 위한 설계이론, 메커니즘 및 프로세스를 정립하고, 이를 바탕으로 통합 제연시스템을 개발함으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 별도로 비 제연구역의 압력측정관을 설치하지 않아도 됨으로서 제작단가와 설치비용을 줄일 수 있다.
2) 제어 시스템으로부터 일정한 기준치(압력)를 얻어 신뢰성 있는 비교차압을 얻음으로서 제연구역에 40Pa(스프링클러 설치 시 12.5Pa)의 차압과 방연풍속으로 제연구역의 압력을 보다 정밀하게 유지할 수 있다.
3) 연기 감지기, 송풍기, 댐퍼 및 방화문 등의 자가진단에 의한 에러체크와 통합제어 방식으로 제연장치에 유연성을 줄 수 있다.
4) 각 제연구역마다 안정성을 확보함으로서 최적의 제연기능을 얻을 수 있다.
5) 제연시스템의 통합제어와 자가진단기능의 부가로 방재성능을 더욱 향상시켰다.

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. SFPE, Handbook of Fire Protection Engineering 2, 3rd ed., NFPA, pp.4-274~291(2002)
4. 이동명 외2인, "제연시스템의 자동 차압센서 알고리즘 개발에 관한 연구", 한국화재소방학회, 춘계학술논문발표, 논문집, B.07, pp.138~144(2005)
5. 이동명, "제연구역의 자동 차압센서 개발에 관한 연구", 한국방재학회논문집, 제5권, 제3호, pp.315~345(2005)
6. 이동명, "통합 제연시스템의 컨트롤러 개발에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문집, 제20권, 제1호, pp.77~82(2005)