

연기제어를 위한 통합제어시스템 개발에 관한 연구

A Study on the Integration Control System Development for Smoke Control

이 동 명*
Lee, Dong Myung

Abstract

This study developed integration control system that improve efficiency and give flexibility of smoke control system and can improve prevention of disasters performance. The reliable each kind sensor and of integration control system was developed by establishing the specifications, algorithms and constructing engineering data. More correct and reliable control function of optimization can be obtained by the central control from integration control system rather than the existent individual control. This sees to do to impose flexibility to smoke control system. Also, this will provide the basics of integration control system and ability security of smoke control system and can construct smoke control system of performance based.

key words : smoke, integration control system, smoke control, pressure differential, smoke control damper, buoyancy

요 지

본 연구에서는 제연시스템의 효율성을 높이고 유연성을 주며 방재성능을 향상시킬 수 있는 통합 제어시스템을 개발하였다. 통합제어시스템의 개발을 위한 프로세스, 알고리즘 확립과 엔지니어링 데이터의 바탕으로 신뢰성이 확보된 각종 센서와 통합제어시스템을 개발하였다. 기존의 개별제어 방식에서 통합제어시스템으로부터 중앙집중식 통합관리를 함으로서 제연시스템을 보다 정확하고 신뢰성 있는 최적의 제어기능을 얻을 수 있으며, 제연시스템에 유연성을 부과시킬 수 있을 것으로 본다. 또한 통합제연시스템의 기틀을 마련하고 제연시스템의 기능성 확보와 성능위주의 제연시스템을 구축할 수 있을 것으로 본다.

핵심용어 : 연기, 통합제어, 제연, 차압, 제연댐퍼, 부력

1. 서 론

건물화재에서 건물 내 거주자의 인명안전에 심각한 피해를 주는 요소는 화재발생장소의 열에 의한 직접적인 영향뿐만 아니라 화재기류와 함께 운반되어 건축물 내에 확산되는 연기의 영향을 무시할 수 없다.

지하 공간이나 고층 건물 또는 대규모 건축물의 화

재에서 수많은 희생자가 나올 때마다, 반드시 연기가 주요원인으로 그리고 주범으로 대두되고 있다. 이들 건축물의 화재로부터 발생하는 연기가 인명안전에 매우 위험한 요소로 작용하는 근본적인 이유는 화염이나 연소직후의 가스보다 위험도는 낮지만, 화염에 비해 연기가 건물 내에서 확산되는 속도가 매우 빠르기 때문이다. 또한 화재의 화기는 그 실에 가둘 수 있지만, 연기는 인접공간이나 화재로부터 멀리 떨어진 곳

* 정희원 · 경민대학 소방안전관리과 소방안전시스템전공 교수 (e-mail: ldong@kyunngmin.ac.kr)

까지 틈새나 통로(계단, 엘리베이터 샤프트 등) 등을 통해 쉽게 그리고 빠르게 확산되기 때문이다.

경기도 화성 씨랜드나 인천 노래방, 대구지하철, 울산, 청주의 아파트 등과 같은 대형화재에서도 연기가 사망사고를 더욱 더 가중시켰음을 잘 알고 있다. 이와 같이 최근 우리나라도 화재 시 연기에 의한 사망률이 45% 이상을 차지하고 있음을 마스크를 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 제연구역을 설치하고 있다. 최근 외국에서는 우리나라의 대구지하철 사고 이후 각 층 터널에서도 연기로부터 인명을 보호하기 위해 제연구역의 설치가 늘어나고 있는 실정이다.

이들 제연구역에는 인명안전과 연기의 침입·확산을 막기 위해 제연댐퍼를 설치하고 있다. 제연댐퍼는 비제연구역과의 차압(40Pa)을 형성하여 화재 시 연기의 침입·확산을 막는 역할을 하는 아주 중요한 연기제어시스템 중의 하나이다(NFPA 2001; NFSC 501A 2004). 이때 차압형성은 일반적으로 fig. 1에 나타난 바와 같이 제연구역과 비제연구역과의 압력의 차이로 나타나게 된다.

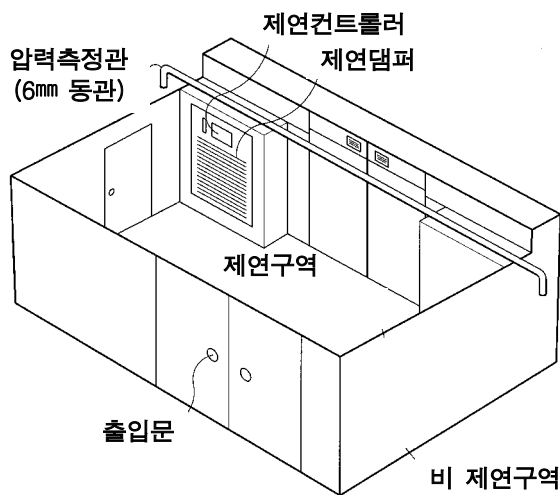


Fig. 1. The existing smoke control system

기존의 제연시스템은 fig. 1과 같이 건물의 각층마다 비제연구역에 매설·설치한 압력측정관(6mm 동관)으로부터 측정된 압력과 제연구역의 측정된 압력으로부터 차압이 형성되면 각층의 제연컨트롤러가 제연시스템을 제어하는 개별(층별) 제어방법으로 이루어지고 있다.

또한 기존 시스템은 건물의 위치에 따른 기압의 보상이나 출입문의 개폐에 따른 방연풍속이 일정하지 않기 때문에 차압에 대한 신뢰성을 가질 수가 없고, 개별 제어로 최적의 제연기능을 얻기가 어렵고 제연시스템에 대한 신뢰성이 부족하다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 건물의 위치와 온도에 따른 기압의 보정, 차압, 방연풍속·보충량 조절 및 부가적으로 연기감지기, 송풍기, 댐퍼, 출입문의 해정상태 등 자가진단기능의 지원과 제연기능을 통합적으로 제어할 수 있는 고정밀 일체형 통합제어시스템(I.C.S)을 개발하였다.

2. 통합제어 이론

2.1 통합제어 프로세스

통합제어시스템의 프로세스는 fig. 2에 나타난 것과 같다. 화재발생시 통합제어시스템으로 입력된 비제연구역의 압력과 각 층의 제연컨트롤러에서 입력된 압력과의 차이를 계산하여 다시 각 층의 제연컨트롤러로 보내면 차압에 따라 제연댐퍼가 작동된다. 이 신호가 다시 통합제어시스템에 피드백 되면 그 신호로부터 송풍기가 작동하게 되고, 통합제어시스템은 건물의 각 제연구역의 차압과 보충량 및 방화문의 개폐상태를 동시에 통합 제어할 수 있도록 제연효과를 극대화 하였다.

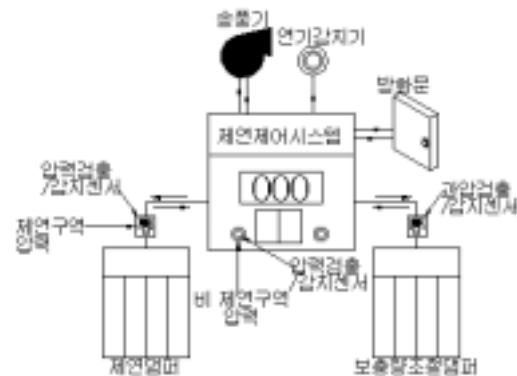


Fig. 2. Process of integration control system

2.2 기압보상

제연구역의 차압은 비제연구역의 압력과의 차이로부터 설정되며, 비제연구역의 압력은 대기압으로부터 설정된다. 차압측정을 위한 기준압력은 건물 위치에 따라 압력의 변화가 고려되어야 한다. 즉, 대기압에 대한 보상이 이루어져야 한다. 건물의 위치에 따른 기압 P_n 는 온도와 상관관계가 있고, 각 층별 위치에 따라 정확하게 보정되어야 한다(이동명 등 2005; 이동명

2005; 이동명, 김엽래 2006).

대기압은 높이(고도)에 따라 변하고, 높이에 대한 대기압의 변화율은 기체의 밀도에 비례하므로 $dP/dz = -\rho g$ 가 된다. $dP/dz = -\rho g$ 에 기체 상태방정식 $\rho = P/RT$ 를 대입하면 $dP/dz = -gP/RT$ 로 되고, 이들 관계식에 변수분리법을 이용한 결과에 등온대기의 가정을 이용하여 적분하면 식(1)이 된다. 식(1)은 기압 보상변환기 센서에서 압력측정 및 보상식으로 사용된다(이동명 등 2005; 이동명 2005). P_1 은 대기압이다.

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

제연구역의 차압은 엄격히 화재실과의 비화재실과의 압력차이다. 하지만 건물을 하나의 밀폐된 공간으로 본다면, 기준압력은 건물높이에 따른 기압의 변화를 적용하지 않아도 된다.

2.3 연기의 부력

화재로부터 발생된 고온의 연기는 밀도의 감소로 부력을 가지게 된다. 부력으로부터 유발된 압력은 화재실의 상층부로 연기를 이동시키고, 방화구획의 벽 또는 문 주변의 틈새 등의 누설경로를 통하여 연기를 이동하도록 하는 구동력의 원인이 된다.

화재로부터 고온의 연기는 화재의 감소된 밀도에 의해 식 (2)와 같이 부력 ΔP 를 가진다(이동명 등 2005; 이동명 2005).

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

식(2)에서 ΔP 는 압력차이(Pa), T_0 는 주변의 절대온도(K), T_F 는 방화구획의 절대온도(K), h 는 중립면 위에서의 거리(m)이고, K_s 는 상수(3640)이다.

NFPA SFPE 핸드북에 의하면 방화구획의 온도가 800°C인 화재의 경우 중립면에서 1.52m 위의 압력차이가 13Pa정도이며, 중립면으로부터 높이가 더 높아질수록 방화구획의 압력차이는 더 커질 가능성은 있다. 또한 영국 FRS에서는 많은 화재실험을 통하여 실내의 기압이 20Pa~30Pa로 되는 빈도가 가장 많고 때로는 50Pa이 되는 경우도 다소 있다고 보고하고 있다. 따라서 NFSC 501A에서 규정하고 있는 제연구역의 차압(40Pa 이상)을 비제연구역보다 높게 유지한다면 부력에 의한 압력변화의 영향을 흡수할 수 있을

것으로 본다.

2.4 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(이동명 등 2005; 이동명 2005).

$$\frac{\Delta R}{R} = G_{\pi} \epsilon (1 + 2\nu) + \frac{\Delta \rho / \rho}{\epsilon} \epsilon \quad (3)$$

여기서 $\Delta R/R$ 는 저항변화율, G_{π} 는 소자에 의해 정해지는 상수로 게이지 상수다. ϵ 는 변형, ν 는 포와송비, $\Delta \rho / \rho$ 는 결정의 비저항 변화율이다. 식(3)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 제1항에 비해 매우크기 때문에 식(4)와 같이 표기된다. 식(4)에서 \mathcal{L} 는 피에조 저항계수이고 σ 는 응력이다.

$$\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{\Delta \rho}{\rho} = \mathcal{L} \sigma \quad (4)$$

2.5 기압보상, 차압 및 제연 알고리즘

통합 제어시스템에서 기압보상, 차압 및 제연의 알고리즘은 fig. 3에 나타난 것과 같다. 임의 위치의 기압이 측정되면 건물의 위치에 따라 압력이 보정되고, 이때 비제연구역의 압력을 측정하여 보정된 기압으로부터 제연구역의 차압을 얻게 된다. 또 방연풍속에 의한 보충량 조절과 과압을 조절할 수 있도록 하였다(이동명, 김엽래 2006).

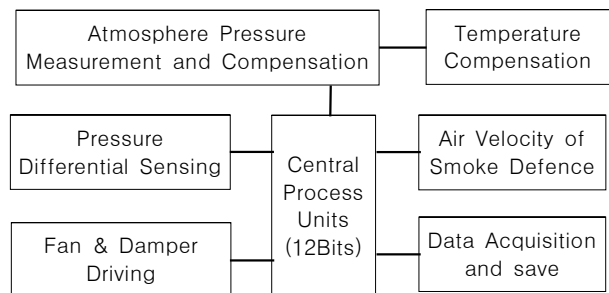


Fig. 3. Process of controller for integration smoke control system

3. 제어시스템 개발

3.1 기압보상 컨트롤러

기압보상 컨트롤러는 fig. 4와 같다. 기압보상 컨트롤러는 12bit 마이크로프로세서를 내장하고 있으며, 기압의 변화를 센서로 감지하여 표시계로 지시한다. 지역의 특성을 고려하여 기압보상 범위와 보상온도 범위는 각각 $-1,000 \sim 1,000\text{Pa}$, $-40 \sim 75^\circ\text{C}$ 이다. 또한 건물의 층마다 설치되어 있는 제연컨트롤러에서 보상된 기압은 통신선을 이용하여 통합 제어시스템으로 전송하는 기능을 가진다(이동명 등 2005; 이동명 2005; 이동명, 김엽래 2006).

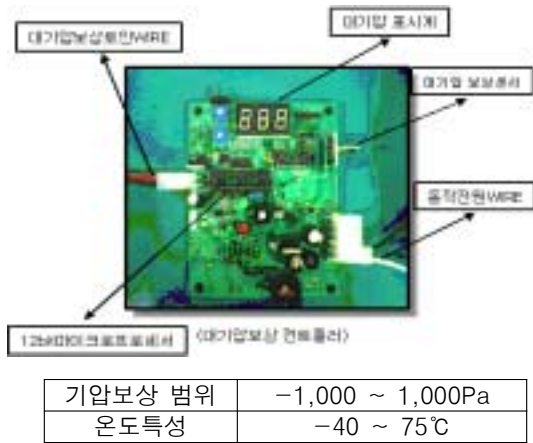


Fig. 4. Atmosphere pressure compensator

3.2 차압 및 제연 컨트롤러

차압 및 제연 컨트롤러는 fig. 5와 같다. 기압보상 범위는 $-1,000 \sim 1,000\text{Pa}$ 이고, 차압측정 범위는 도어 클로저의 개폐력을 고려하여 $0 \sim 100\text{Pa}$ 로 설정하였으며, 보상온도 범위는 $-40 \sim 75^\circ\text{C}$ 로 하였다. 컨트롤러에는 기압보상 변환기와의 통신, 차압센서, 보충량 감지센서, 댐퍼구동 릴레이 등이 포함되어 있다(이동명, 김엽래 2006).

3.3 온도보상 및 압력시험

제어시스템의 신호출력 정확도를 검증 및 확인하기 위해 압력측정장치를 이용하여 인가압력에 따른 출력 특성을 확인하였다. 압력의 인가는 압력분동을 nipple에 넣으면 압력에 따른 차압출력을 확인하는 방법으로 하였다.

온도의 변화에 따른 압력시험은 측정하고자 하는 제어시스템을 항온조에 넣은 후 온도가 규정온도(T)

에 도달하고, 30분 후에 규정압력(P)을 인가했을 때 규정압력과 편차를 측정하였다. 시험 장치는 이동명, 김엽래(2006) 문헌에 제시하였다.

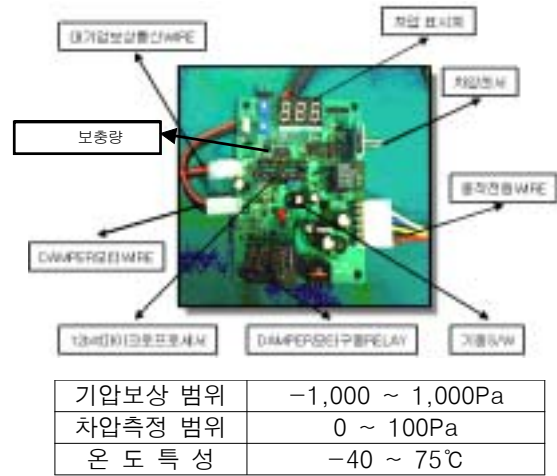


Fig. 5 Controller of smoke control system

Fig. 6은 기준 값으로부터 측정 장소의 온도를 0°C , 20°C 와 50°C 로 변화시킬 때 온도의 변화에 따라 기준 값과 제어시스템의 출력압력(차압)을 약 50회 비교 시험한 값이다. Fig. 6에서 대기의 온도가 50°C 까지 올라가더라도 상온 20°C 를 기준으로 할 때 최고 0.08Pa 정도 밖에 차이가 나지 않기 때문에 실제적으로 온도 보정만 정확히 이루어진다면 정확한 차압을 측정할 수 있음을 보여준다.

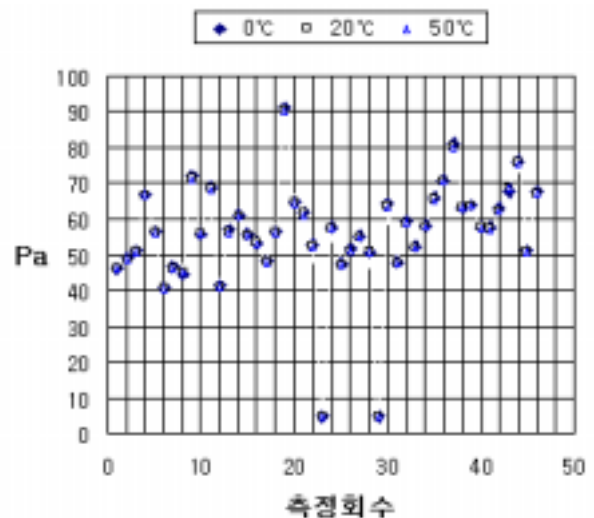


Fig. 6. Pressure differential due to temperature

Fig. 7은 제어시스템의 출력압력(차압)의 정확도를 확인하기 위하여 상온(20°C), 같은 위치에서 기준 값과 비교한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 7에 나타낸 바

와 같이 개발된 차압센서의 오차범위는 $-0.03 \sim 0.5\text{Pa}$ 정도이고, $\pm 0.07\%$ 정도로 아주 작은 편차를 나타냈다.

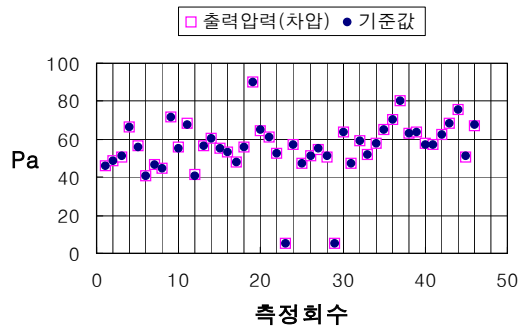


Fig. 7. Compare standard value to pressure differential

3.4 통합 제어시스템

통합제어시스템의 알고리즘은 fig. 8과 같고, 제어시스템은 건물의 각 제연구역의 차압과 보충량, 방화문의 개폐여부 등을 통합 제어하도록 하여 제연효과를 극대화 할 수 있도록 하였다.

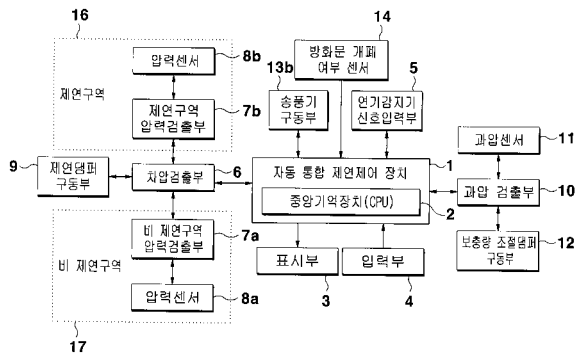
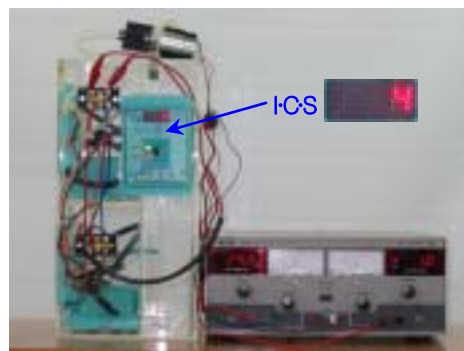


Fig. 8. Algorithm of integration smoke control system

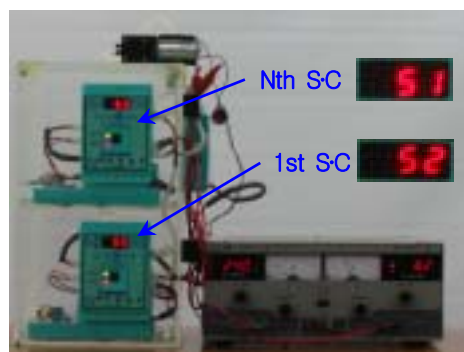
통합제어시스템(1)은 건물의 각 층에 부설된 제어시스템을 통합적으로 제어하는 장치로서 화재가 발생하여 연기감지기로부터 신호입력부(5)에 신호가 전달되면 컨트롤러로부터 송풍기 구동부(13)에 신호를 송출하여 송풍기를 구동하게 된다. 이때 제연댐퍼 구동부(9)로도 신호가 송출되어 제연댐퍼가 개방된다. 제연구역(16)으로 공기가 유입되면 비 제연구역(17)의 압력센서(8a)에서 측정된 압력이 비 제연구역 압력검출부(7b)로 보내져 통합 제연제어장치의 중앙기억장치(2)에 기억시키게 된다. 다시 제연구역의 압력센서(8b)로부터 측정된 압력은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

다트를 통해 제연구역(16)으로 공기가 유입될 때 다트 내의 압력은 과압센서(11)에 의해 측정되어 과압검출부(10)로 측정값이 송출된다. 송출된 압력이 통합제어시스템의 중앙기억장치에 입력된 차압을 넘어 과압으로 판정되면 통합 제어시스템은 보충량 조절댐퍼 구동부(12)를 작동시켜 다트 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 풍속이상의 방연풍속(0.5~0.7m/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.

통합제어시스템은 fig. 8의 알고리즘을 바탕으로 개발된 반도체 차압 및 대기압 센서와 기압보상 변환기, 제연 컨트롤러를 이용하여 개발하였고, 시스템의 교정과 시험을 거쳐 fig. 9와 같이 시작품을 제작하였다.



[Integration control system]



[Smoke controller of N-floor]

Fig. 9. Integration control system

Fig. 9에서 위 그림은 통합제어시스템을 나타낸 것이고, 아래그림은 건물 각층의 제연댐퍼와 함께 설치되는 제연컨트롤러를 나타낸 것이다. 위 그림에서 숫자(4)는 화재 시 화재 층의 제연구역과 비제연구역의

압력 차이를 의미하며, 아래 그림에서 숫자(51, 52)는 제연구역에 가압된 공기의 압력을 의미한다.

Fig. 10은 각층의 제연구역에 40~60Pa을 가압시켰을 때, 각층의 부설된 제연컨트롤러에 표시되는 압력과 기준압력(40~60Pa)과의 압력편차를 나타낸 것이다. 각층별 제연구역의 압력편차는 기준압력 40Pa, 50Pa, 60Pa을 각기 제연구역에 가압시켜 20회 측정 한 결과이다. 기준압력별로 편차의 크기는 모두 fig. 10과 같고, 오차범위는 1~2Pa 정도이며, 1.04% 정도의 작은 편차를 나타냈다.

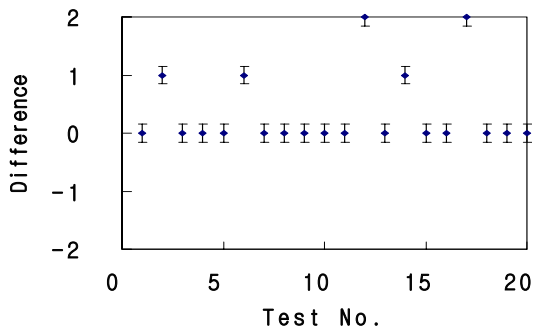


Fig. 10. Difference of each floor pressure

4. 결 론

통합제어시스템의 개발을 위한 설계이론, 프로세스 및 알고리즘정립하고, 이를 바탕으로 각종 센서의 개발과 통합제어시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제어시스템으로부터 일정한 기준압력을 얻어 신뢰성 있는 비교차압을 얻음으로서 제연구역에 40Pa(스프링클러 설치 시 12.5Pa)의 차압과 방연풍속으로 제연구역의 압력을 보다 정밀하게

유지할 수 있다.

2. 연기감지기, 송풍기, 댐퍼 및 방화문 등의 자가 진단에 의한 에러체크와 통합제어방식으로 제연시스템에 유연성을 줄 수 있다.
3. 각 제연구역마다 안정성을 확보함으로써 최적의 제연기능을 얻을 수 있다.
4. 통합제어에 의한 각층별 제연컨트롤러의 기능성 확보와 자가진단 기능으로 방재성능을 더욱 향상시켰다.

참 고 문 헌

NFPA (2001). Recommended practice for smoke control system(92A)
 NFSC 501A (2004). 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비설치의 화재안전기준, 소방방재청
 NFPA (2002). SFPE, Handbook of Fire Protection Engineering, NFPA, 3rd ed., pp. 4-274~291 (2002)
 이동명 등 (2005). 제연시스템의 자동 차압센서 알고리즘 개발에 관한 연구, 한국화재소방학회 춘계학술 논문발표 논문집, 한국화재소방학회, pp. 138~144
 이동명 (2005). 제연구역의 자동 차압센서 개발에 관한 연구, 한국방재학회 논문집, 한국방재학회, 제5권, 제3호, pp.315~345
 이동명, 김엽래 (2006). 고 정밀 제연제어시스템의 개발에 관한 연구, 한국방재학회 춘계발표회 논문집, 한국방재학회, pp. 696~702

- ◎ 논문접수일 : 2006년 10월 30일
- ◎ 심사의뢰일 : 2006년 10월 31일
- ◎ 심사완료일 : 2006년 11월 28일