

제연시스템의 자동 차압센서 알고리즘 개발에 관한 연구

이동명*, 원희섭**, 김엽래*

*경민대학 소방안전관리과, **(주)새한공조

A Study on the Automatic Pressure Differential Sensor Algorithm Development of Smoke Control System

Lee D. M.*, Won H. S., Kim Y. R.*

*Kyungmin College, **Saehan Co. Ltd.

1. 서론

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 때는 반드시라고 해도 좋을 만큼 연기가 주요원인이다. 건물의 화재로부터 발생하는 연기가 인명안전에 매우 위험한 요소로 작용하는 근본적인 이유는 연기는 연소가스가 유통과정에서 혼합되는 공기에 의해 희석된 것으로 화염이나 연소직후의 가스보다 위험도는 낮지만, 연기가 인명위협 가장 중대한 원인이 되는 것은 화염에 비해 연기가 건물 내에서 확산되는 속도가 매우 빠르기 때문이다.

최근 우리나라도 연기에 의한 사망 비율이 45% 이상을 차지하고 있음을 매스컴으로부터 보도된 바 있다. 특히, 1999년 6월 경기도 화성 씨랜드나 10월 인천 노래방, 2003년 대구지하철, 울산, 청주의 아파트와 같은 대형화재의 경우에서도 연기로 인해 사망·사고를 더욱 더 가중시켰다. 우리나라도 선진국들과 같이 인구 도시집중화로 인해 인구밀도가 높아 감에 따라 건축물은 복잡·대형화·고층화되어가고 있고, 이에 따른 건축물의 화재 시 연기에 대한 대책이 그 무엇보다 시급하며, 인명안전을 도모하기 위해 연기의 제어수단과 기술적 대책장구가 보다 절실하다고 하겠다.

현재 고층건물에서는 화재 시 인명의 안전과 연기의 침입·확산을 막기 위해 제연구역에 제연댐퍼를 설치하고 있고, 제연댐퍼는 비제연구역과의 차압(40Pa)을 형성하여 화재 시 연기의 침입·확산을 막는 역할을 하는 연기제어시스템에서 아주 중요한 설비이다. 기존의 차압측정방식은 비제연구역의 압력을 측정하기 위하여 건물의 각층마다 압력측정을 위해 압력측정관(6mm 동관)을 매설·설치하고 있어 설치의 불편함과 시공비의 과대지출, 그리고 풍도의 길이나 위치수두에 대한 기준치(압력)의 보정이나 설정이 어렵고 또한 출입문의 개폐에 따른 방연풍속이 일정하지 않기 때문에 차압으로서 측정치에 대한 신뢰성

을 가질 수가 없고, 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. 이러한 문제점을 감안하여 차압 및 방연풍속, 보충량 조절, 연기 감지기와 송풍기, 댐퍼, 출입문의 자가진단과 통합제어를 위한 고정밀(高精度) 일체형 자동 통합 제연시스템을 개발하는 것이 본 연구의 최종목표이다.

본 연구에서는 이에 앞서 기존의 차압측정방식에서 비제연구역의 압력측정을 위한 압력측정관을 제거하고, 비제연구역의 압력은 온도가 보정된 대기압을 측정하여 기준압력으로 설정함으로써 제연구역의 신뢰성 있는 차압을 얻을 수 있도록 차압센서의 알고리즘을 개발하고자 함이며, 또한 향후 개발하고자 하는 통합 제연시스템으로부터 제어의 유연성을 주고 방재성능을 향상시키고자 함이다.

2. 기준압력 설정을 위한 메커니즘

본 연구의 첫 번째 목표가 건물의 각 층별로 기존 비제연구역에서 차압측정관을 제거하고, 통합 제연시스템으로부터 임의 한곳의 압력(대기압)만을 측정하여 기준압력으로 설정하여 각 층의 제연구역과의 차압을 얻는 것이므로, 이에 따라 건물의 각 층의 높이에 따른 기압과 차압과의 관계와 화재 시 고온의 연기에 의한 부력을 생각해볼 필요가 있다.

2.1 건물높이에 따른 압력

그림 1에서와 같은 건물의 경우 건물높이에 따른 수직방향의 기압변화와 건물의 각층별 같은 층의 수평방향에서의 기압과 차압과의 관계를 살펴보고, 또한 제연구역에 작용하는 공기의 압력(차압)을 공학적으로 정의해볼 필요가 있다.

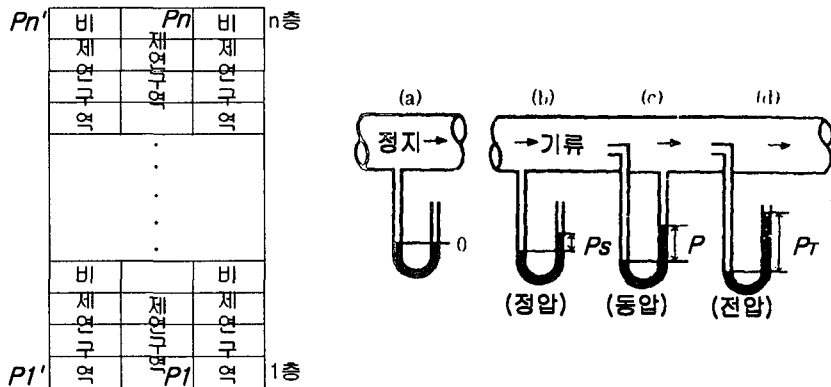


그림 1. 건물높이에 따른 압력

첫째, 그림 1의 우측그림과 같이 n층의 건물인 경우 건물의 높이 즉, 수직방향에 따른

압력은 건물 높이에 따른 기압은 건물의 층수가 1층에서 n층으로 높아질 수록 기압은 줄어들고, 또 각층별 같은 층의 수평방향에서의 기압은 같은 층에서 제연구역과 비 제연구역의 실내압은 낮아진 기압과 동일한 기압상태에 있다.

둘째, 그림 1의 우측그림에서 1층 제연구역의 압력을 P_1 , 비제연구역의 압력을 P_1' 라고 하고, n층 제연구역의 압력을 P_n , 비 제연구역의 압력을 P_n' 라 하면, 이때 화재가 발생했을 때 제연구역에 형성하는 차압 ΔP 는 각층별로 제연구역과 비제연구역의 압력차이에 의해 형성되는 것으로 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 물론 각층별 차압(식(1))은 엄격히 말해 동일한 기압상태에서의 제연구역과 비 제연구역의 압력차이가 되지만 식(4)에서 나타낸바와 같이 기압은 온도(대기온도와 실내온도)와 상관관계가 있으므로 각층별로 정확한 온도를 측정하기 전에는 기준압력을 설정하기는 사실상 어려움이 있다.

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_1 - P_1' \\ &\vdots \\ \Delta P &= P_n - P_n' \end{aligned} \quad (1)$$

셋째, 건물의 공조설비 닥트와 같이 하나의 밀폐된 공간으로 본다면 제연구역 역시 밀폐된 공간으로 볼 수 있고, 이때 외부의 풍속에 의한 풍압이 없다고 가정하면 제연구역에 작용하는 공기가 미치는 압력은 유체역학적으로 볼 때 정압(P_s)에 해당한다. 아울러 화재가 발생되면 제연구역에 40Pa을 유지하기위하여 공기가 공급됨으로 제연구역에는 정압만이 작용한다. 따라서 건물 각층의 제연구역에 공기가 미치는 압력(제연구역은 대기압 하에 취급하므로, 이때의 압력은 대기압과의 차이인 계기압력이며 절대압력을 뜻하지는 않는다.)을 정압(P_s)이라 한다. 또한 공기의 흐름이 없고 제연구역이 대기에 개방되고 있을 때 그림 1의 좌측그림에서와 같이 정압은 0(영)이다. 건물의 창문이나 문을 열어 공기의 흐름(풍속)이 있을 때는 흐름방향의 속도에 의해 생기는 압력 즉, 동압 또는 속도압(P_v)이 된다. 전압(P_T)는 정압과 동압의 합이 된다.

$$\begin{aligned} P_v &= \frac{v^2}{2} \rho \\ P_T &= P_s + P_v \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, v : 풍속(m/s)

ρ : 공기의 밀도(=1.20kgf/m³)

넷째, 건물 내부를 가압시켜 연기를 제어할 때 일반적으로 겨울의 연돌효과에서 발생하는 유해한 압력을 없앨 수 있도록 모든 층에서 건물의 압력을 옥외보다 높게 한다. 이렇게 하면 화재층의 유리창문이 파괴되어도 세로샤프트의 압력이 옥외압력보다 높아져 연기가 샤프트 안으로 들어가지 않기 때문이다. 연돌효과를 고려한 기준압력이 설정되도록 한다.

2.2 고온의 연기에 의한 부력

화재로부터 고온의 연기는 화재의 감소된 밀도에 의해 부력을 가진다. 방화구획과 방화

구획의 주변 환경사이의 압력차이 ΔP 는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P = K_s \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_F} \right) h \quad (3)$$

여기서, ΔP : 압력차이(Pa)

T_0 : 주변의 절대온도(K)

T_1 : 방화구획의 절대온도(K)

h : 중립면 위에서의 거리(m)

K_s : 상수(3640)

SFPE 핸드북에 의하면 방화구획의 온도가 800℃인 화재의 경우 중립면에서 1.52m 위의 압력차이가 13Pa정도이며, 중립면으로부터 거리 h 가 더 커질수록 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. 물론 차압은 화재 실험과의 비화재실험과의 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 501A에서 규정하고 있는 제연구역의 차압 40Pa이 대기압보다 높게만 유지된다면 부력에 의한 압력변화의 영향도 흡수할 수 있으므로 지상의 임의 한곳에서 기압을 측정하여 이를 기준압력으로 설정하여도 큰 문제가 되지 않으며 제연구역에는 정압만이 작용한다.

3. 차압측정 프로세스

3.1 프로세스

차압센서를 포함한 제연시스템 및 차압측정 프로세스는 그림 2와 같고, 그림 2에 나타난 바와 같이 제연컨트롤러에서 측정된 비제연구역의 압력과 제연댐퍼의 센서에서 측정된 압력과의 차이를 계산하여 다시 센서로 보내면 차압에 따라 댐퍼가 작동되고, 이 신호가 제연컨트롤러에 피드백 되면 그 신호로부터 송풍기가 작동하게 함으로서 제연시스템은 건물의 각 제연구역의 차압과 보충량을 통합제어하게 되고 제연효과를 극대화 할 수 있도록 구성하였다.

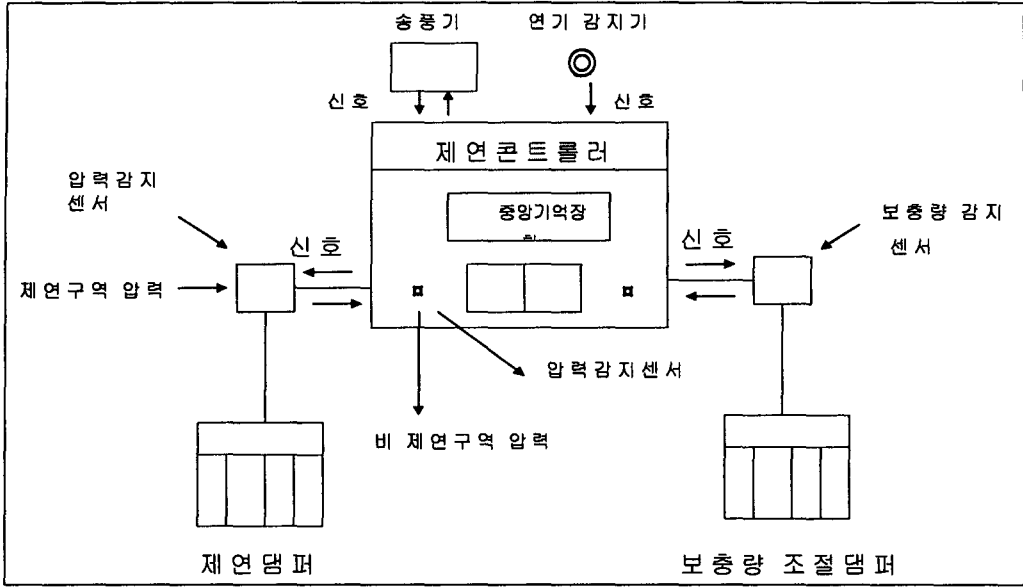


그림 2. 제연시스템의 프로세스

3.2 대기압 측정 및 보상

비제연구역의 압력으로 설정되는 대기압은 높이에 따라 변하고, 높이에 대한 대기압의 변화율은 기체의 밀도에 비례하므로 $dP/dz = -\rho g$ 가 된다. 기체상태방정식과 공기밀도와 대기압, 압력과 밀도와의 관계를 정리하여 변수분리법을 이용하면 대기압은 고도의 높이에 따라 식(4)와 같이 지수함수적으로 감소한다. 식(4)는 대기압 보정변환기 센서에서 압력측정 및 보상식으로 사용된다.

$$P_2 = P_1 \exp\left\{-\frac{g(z_2 - z_1)}{RT_0}\right\} \quad (4)$$

대기압 보정센서는 12bit 마이크로프로세서를 내장시켜 대기압의 변화를 센서로 감지하여 표시계로 나타내주고, 통신선을 이용하여 층마다 설치되어 있는 제연컨트롤러로 변화된 대기압을 보정하여 전송하는 기능을 가진다.

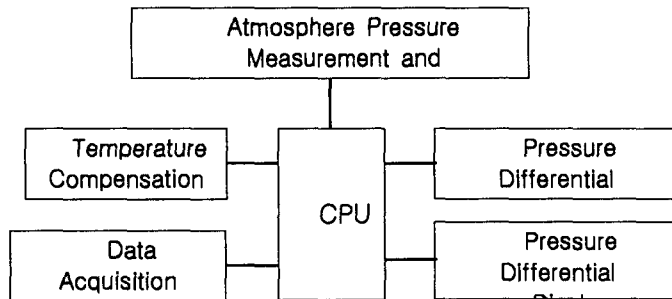


그림 3. 대기압 측정 및 보정 블록도

```

ROUND_1
CALL DELAY ;채터링용 딜레이
BSF PORTB,2 ;정회전 ON

BCF PORTB,1 ;Q3 OFF, Q4 ON
BSF PORTB,0 ;Q1 ON , Q2 OFF

BTSS PORTA,0 ;스위치가 계속 ON 상태 이니?
GOTO ROUND_1 ;계속 회전
GOTO S_1 ;스위치 검사 부분으로

ROUND_2
CALL DELAY ;채터링용 딜레이
BCF PORTB,0 ;Q3 ON , Q4 OFF
BSF PORTB,1 ;Q1 OFF, Q2 ON

BTSS PORTA,1 ;스위치가 계속 ON 상태 이니?
GOTO ROUND_2 ;계속 회전
GOTO S_1 ;스위치 검사 부분으로

;
; SUB RCOUNTIN
;

DELAY MOVLW ,30 ;채터링용 시간
MOVWF COUNT
D_1 DECf COUNT
BTSS STATUS,ZF
GOTO D_1
RETURN
    
```

그림 4. 대기압 측정 및 보정 프로그램

그림3은 대기압 보정센서에서 대기압을 측정하고 보정하는 블록도를 나타낸 것이고, 그림 4는 센서에 입력될 어셈블리어 작성된 프로그램을 나타낸 것이다.

4. 결론

자동 차압센서의 알고리즘 개발을 위한 이론, 메커니즘 및 프로세스를 정립하고, 이를 바탕으로 연기제어에 필요한 차압센서를 설계·개발할 수 있는 엔지니어링 데이터를 구축함으로써

첫째, 비제연구역과 제연구역의 압력측정 시 기존의 비제연구역에서 압력측정을 위해서 별도로 설치되는 압력측정관을 생략함으로써 제작단가와 설치비용 및 작업공수를 줄일 수 있고,

둘째, 층별 제연구역의 차압측정을 위한 비제연구역의 압력측정포트를 시스템에 일체화함으로써 항상 일정한 차압을 얻을 수 있도록 정밀도를 향상시킬 수 있으며,

셋째, 기존의 개별제어 방식에서 제연시스템으로부터 중앙집중식 통합관리를 함으로써 보다 정확하고 신뢰성 있는 차압을 얻을 수 있고, 시스템에 유연성을 부과시킬 수 있다.

따라서 건물화재 시 연기의 유입을 방지하여 인명과 재산피해의 최소화하고 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)
8. NFPA, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 2, 3rd ed., NFPA, pp.4-274~291(2002)
3. Frank M. White, Fluid mechanics, McGraw-Hill, 3rd ed., pp.59~105(1995)
4. George T. Tamura, Smoke movement and control in high-rise building, The national fire protection association, Inc. Quincy, Massachusetts USA(1994)
5. 대한설비공학회, 설비공학 편람, 대한설비공학회, pp.3.4-16~3.4-52(1998)
6. 강철구 외 3인, 현대제어공학, 희중당, pp.all(1998)
7. 김동승, 오상균, 공학도를 위한 센서공학, 기전연구소, pp.315~345(2000)