

제연댐퍼 누설량 시험에 관한 연구 - 제연시스템의 성능위주설계를 위하여 -

A Study on Leaking amount Test of Control Damper - For a Performance Based Designed of Smoke Control System -

최규출[†] · 송윤석* · 차종호**

Kyu-Chool Choi[†] · Yun-Suk Song* · Jong-Ho Cha**

동원대학 소방안전관리과, *경민대학 소방행정과, **호원대학교 소방행정학과
(2009. 6. 12. 접수/2009. 6. 19. 채택)

요약

본 연구에서는 AMCA Standard 500-D-98과 관련하여 여러 시험의 조건 중 제연댐퍼의 누설량을 측정하고자 한다. 이에 본 연구의 결과로서 설계, 도면검토, 성능검사에 공학적 시험자료를 이용한 제연댐퍼의 누설량 성능곡선도 등을 적용하여 제연시스템의 올바른 설계법과 검사법을 정립하여 기술에 대한 이해와 성능이 확보되도록 한다. 또한 성능곡선도의 성능판단에 의한 댐퍼의 선정으로 댐퍼의 품질 개선을 유도하여 제연시스템의 성능을 향상시켜 신뢰성 있는 성능위주설계의 제연시스템을 구축하고자 한다. 제연댐퍼 누설량 시험을 한 결과 시험장치의 크기는 시험하는 제품의 규격, 성능에 따라 결정되므로 먼저 제품의 성능 등급을 설정하여 크기를 결정하여야 하며, 모든 시스템의 성능은 계측에 의하여 판단되므로 측정 값의 신뢰도 확보는 최우선 되어야 하며, 제연댐퍼의 시험방법에 따라 신뢰도를 부여할 수 있는 시험횟수와 시험해야 할 수량에 대하여 충분한 검토 결과에 따른 설정이 필요하다.

ABSTRACT

This study measured smoke control damper leaking amount of condition of various kinds examination regarding AMCA Standard 500-D-98. As result of study establish because smoke control damper leaking amount performance curve that use tester data of engineering applies right design method of smoke control system and test method design, drawing examination, performance test and do so that right comprehension and performance about skill may be defined. Also user wishes to prove performance of smoke control system and construct smoke control system of reliable performance-based design derive smoke control damper quality improvement continuously selection of smoke control damper by performance judgment of performance curve.

Keywords : Smoke control damper, Leaking amount, Performance curve, Smoke control system, Performance-based design

1. 서론

기술과 문명의 발전은 인구증가와 주거 및 활동영역의 고밀도화로 건물의 대형화, 고층화 및 심층화되어 거대한 도시화를 유도하고 있다. 또한 건축물은 특수기능을 갖춘 복합용도 등 시대적 요구와 더불어 복잡화, 다양화되고 있어 화재가 발생하면 피난하는 피난통로의 수평부분과 수직부분이 길어지고 있다. 고층건

물일수록 수직방향의 피난은 연기의 진행방향에 대하여 피난하는 어려움이 가중되고 있다. 건축물의 화재 취약조건은 증가하고 있으며, 이에 수반하여 인명 안전인식도 높아져 대응책으로 안전한 피난에 대한 연구가 활성화되고 지속적으로 진행되고 있다.

제연시스템의 설치목적은 화재 시 초기단계에서 화재가 진행되는 동안 연기의 위험으로부터 거주자가 거실 내에서 출발하여 피난통로를 경유하여 안전하게 피난 중에 도착할 수 있도록 하는 것이다. 국내의 현행 제연시스템은 부속실, 계단실 또는 부속실과 계단실을

[†]E-mail: kcchoi@tongwon.ac.kr

동시에 급기 가압하는 방법을 채택하고 있으며, 이는 BS 5588 Part 4, NFPA 92A¹⁾ 등에서 제시하고 있는 방법이다. 그런데 우리나라의 경우 제연시스템 중에서 차압을 이용하는 제연시스템은 기술적, 현상학적으로 변수가 많고, 도입되어야 할 성능시험 기술과 기술축적의 기간이 짧아 제연시스템이 신뢰성 있게 적용되기 위하여 아직도 많은 연구가 필요한 실정이다. 덕트설계의 기준설정에 대한 연구는 주로 HVAC SYSTEMS DUCT DESIGN²⁾에 집대성되어 있으며, 미국의 NFPA 92A나 영국의 BS 5588에서도 덕트설계 및 시공에 관한 사항의 설비표준도 이를 따르도록 하고 있다. 본 연구에서는 소방관계법규나 방화관련 국제코드보다는 주로 건축설비 관련코드인 HVAC SYSTEMS DUCT DESIGN이나 ASHRAE HANDBOOK을 기초로 연구에 접근하였다.

댐퍼는 공기의 흐름을 제어하는 장치로서 유로의 단면을 부분적으로 축소시켜 저항을 제어하여 공기의 흐름을 축소하거나 차단하는 것이 주된 기능이며, 특히 미세한 부속실의 압력을 제어하는 제연댐퍼는 그 기능 및 구조가 매우 정밀하게 작동될 수 있도록 제작되어야 한다. 급기ガ압제연시스템에서 제연구역의 연기침입 방지를 위해 설정한 차압의 유지와 방연풍속분포를 위하여 덕트시스템의 구성 및 덕트설계, 부속실의 과압배출장치, 원활한 피난문의 개폐를 위한 시스템 또는 주변장치 등 많은 새로운 기술이 개발되어야 할 분야이다.

급기ガ압제연시스템의 주된 기술은 덕트설계라고 할 수 있다. 덕트 내의 압력으로 인한 제연댐퍼의 누설량은 부속실에 대한 과압발생의 요소이다. 본 연구에서는 AMCA Standard 500-D-98³⁾과 관련하여 여러 가지 시험조건 중 제연댐퍼의 누설량을 측정하고자 한다. 이에 본 연구의 결과로서 설계, 도면검토, 성능검사에 공학적 시험자료를 이용한 제연댐퍼의 누설량 성능곡선도 등을 적용하여 제연시스템의 올바른 설계법과 검사법을 정립, 기술에 대한 올바른 이해와 성능이 확보되도록 한다. 또한 사용자가 성능곡선도의 성능판단에 의한 댐퍼의 선정으로 댐퍼의 품질 개선을 유도하여 제연시스템의 성능을 향상시킴으로써 신뢰성있는 성능위주설계의 제연시스템을 구축하고자 한다.

2. 제연댐퍼 누설량 시험

2.1 시험방법

1차시험은 제연댐퍼에 24V 직류변환기의 전원을 연결하여 스위치를 On시킨 후, Off상태에서 블로워 회전수를 1,000RPM에서 100RPM씩 증가시켜 가면서 최대

측정값을 인버터 정격전류의 150% 이내로 하였으나, 데미퍼 날개의 움직임 현상을 파악할 수 없어, 다시 회전수를 1,000~3,400RPM 범위에서 100RPM씩 변화시켜 가면서 피토관과 오리피스의 챔버압력을 측정하였다. 블로워의 회전수를 기준으로 피토관과 오리피스를 이용하여 시험한 결과 오리피스의 측정치가 정밀한 것을 확인되어 오리피스로 시험하기로 결정하였다. 인버터로 블로워 회전수를 조정하여 100RPM씩 1,000~2,400RPM까지 운전하여 피토관 동압을 동일면적 분할법으로 수직 6점, 수평 6점으로 측정하고, 오리피스는 P1, P2, ΔP로 측정하였으며, 시험장치 챔버정압을 측정하였다. 시험 제연댐퍼는 D, J, K모델 순서로 각 2개씩 수행하였다.

2차시험은 챔버압력(50~1,000Pa) 범위 내에서 50Pa 단위로 가압하여 오리피스 측정장치에서 P1, P2, ΔP를 측정하였고 시험장치의 챔버정압을 측정하였다. 시험 제연댐퍼는 D, J, K, H, S형 모델 순서로 각각 2개씩 수행하였다.

3차시험은 챔버와 오리피스 측정장치에 피에조미터 링을 설치하여 평균압력으로 시험하였다. 측정자의 계측 불확실성을 점검하였고, 계측기의 검교정 성적서를 참고하여 해당 표준 측정값의 보정치 보정으로 계산한 공기량을 시험 값으로 하였다. 챔버와 오리피스 측정장치에 AMCA 규격의 피에조미터 링을 설치하여 평균압력을 측정하였다. 챔버압력 및 누설량의 영향으로 날개흔들림의 발생과 기타 제반현상을 확인하였으며, 챔버압력에 댐퍼 누설량이 시스템 허용누설량과의 비교와 전면적 유속으로 환산하여 단위면적당 누설효율 비교하여 제연댐퍼의 구조 등 누설요인에 대하여 검토하였다. 3차 시험 후 제연댐퍼는 제조사 또는 크기에 따라 누설량의 차이가 크므로 오리피스 측정값의 신뢰도를 위하여 오리피스의 β 단위를 0.5씩 하여 0.2~0.75 범위로 제작하여 신속교환이 가능한 구조로 개선을 하였다. 시험결과 누설량 성능곡선, 전면적 누설유속 검토, 날개 및 루버의 구조에 따른 누설량 변화를 비교하였다.

마지막 4차시험으로 제연댐퍼 표시판 스위치를 다시 켜면 자동으로 0점 조정이 되도록 기능을 개선하였고, 덕트 내 압력에 따라 제연댐퍼의 크기를 선정할 수 있도록 날개 2매, 4매, 6매를 고정한 후 누설면적을 밀폐한 누설량 성능곡선도에 대하여 시험하였다.

2.2 시험측정장치의 제작

KS A 0612, KS B 6311, AMCA 500-D 표준 규격과 TAB 기술기준을 참조하여 피토관, 열선유속계, D·D/2형 오리피스 측정장치를 설치하고, 동일한 시험상

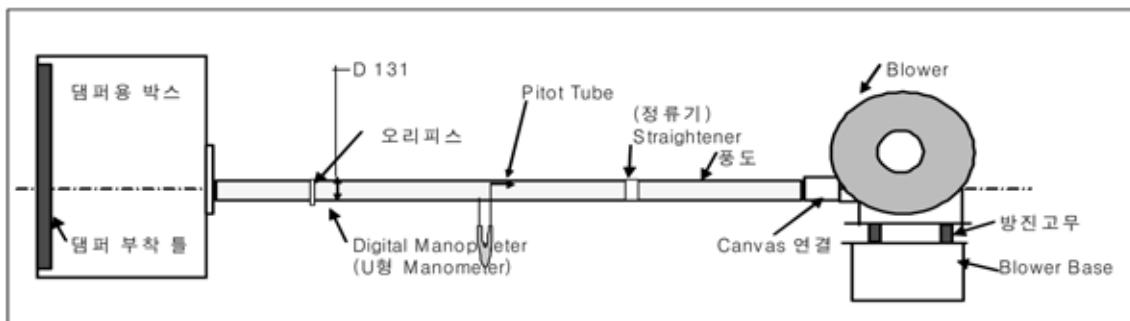


Figure 1. Summary of leaking amount measurement equipment.

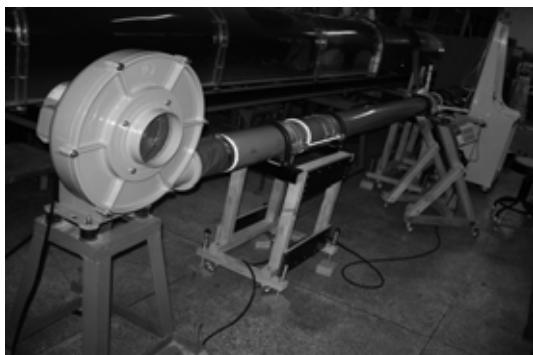


Figure 2. Leaking amount measurement equipment.

태에서 측정하여 각 측정장치별 정밀도를 비교하기 위하여 동시설치를 계획하였으며, KS F 3109 문 세트의 차연량을 적용한 부속실 최소누설량과 덕트 내의 압력에 따른 댐퍼 누설량을 비교할 목적으로 설계하여 제작하였다. Figure 1, 2는 누설시험기 개략도와 측정장치이다.

2.3 시험측정장치 및 주요부품 구성

대기를 이용한 누설량 시험으로 제연댐퍼를 완전 폐쇄하였고, 가압압력(~3,000Pa 범위)하에서 제연댐퍼의 누설량 등의 성능곡선도 작성, 단위시간당 발생하는 거품의 크기로 판정하는 거품 시험장치를 부착하였다. 1kW 풍동 시험장치, TSI 8386, TSI 8702, 댐퍼작동용 24V 직류변환기 등으로 구성하였다. 공기공급원으로 1kW 300mmAq Blower, 측정장치의 구성요소는 접속 캔버스, 정류기(Straightener), 피토관 또는 열선유속계, Table 1의 $\beta = 0.25\sim0.75$ 인 오리피스, D·D/2 압력탭, 시험장치용으로 챔버, 댐퍼작동용 24V 정류기, 공기량의 제어용으로 인버터 1kW 등으로 구성되었다.

Table 1. The Minimum Air Volume by Orifice β

Pipe Diameter 131

β	Mean Hole Diameter (d)	Minimum (Re)	Discharge (m^3/s)
0.75	98.25	92,878	0.144
0.70	91.70	80,922	0.126
0.65	85.15	69,745	0.108
0.60	78.60	59,435	0.092
0.55	72.05	49,991	0.078
0.50	65.50	41,327	0.064
0.45	58.95	33,443	0.052
0.40	52.40	26,425	0.041
0.35	45.85	20,274	0.032
0.30	39.30	14,902	0.023
0.25	32.75	10,397	0.016
0.20	26.20	6,671	0.010

3. 시험결과

3.1 1차 시험결과

3.1.1 개요

블로워 모터의 회전수를 기준으로 D, J, K 제연댐퍼를 시험한 결과 제연댐퍼의 성능을 비교할 수 없었고, 피토관과 오리피스의 측정결과 공기량에 대한 신뢰성이 터보형 블로워에는 오리피스가 높은 것으로 판단되었다. 측정방법은 압력의 변화가 작은 압력탭을 우선 순서로 피토관의 전압, 정압과 오리피스 상류 및 하류 압력 측정 후 챔버 내부압력을 측정하며, 회전수 변경 때마다 0점 조정을 실시하였고, 피토관 측정은 측정개 소마다 속도계산을 하여 평균값으로 검토하였다.

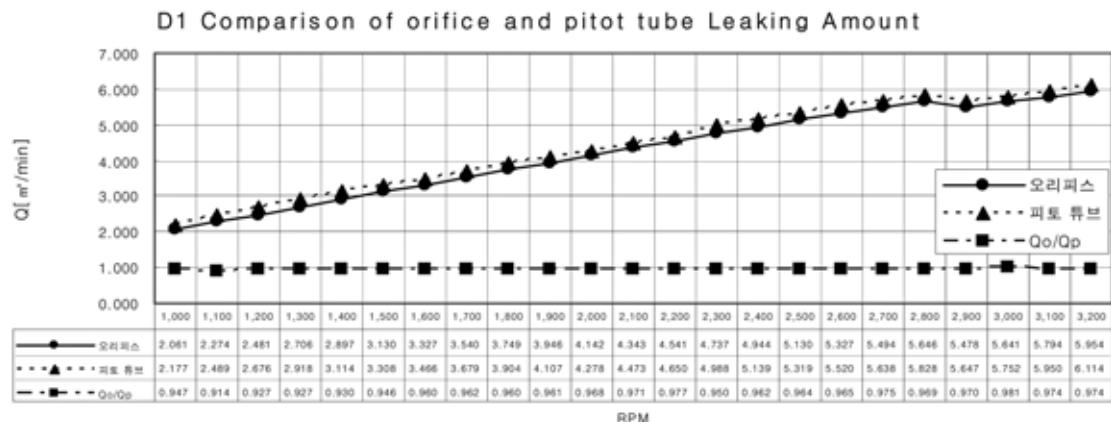


Figure 3. D1 Comparison of orifice and pitot tube leaking amount.

3.1.2 D1, D2 제연댐퍼의 시험결과

D형 제연댐퍼는 하향 레지스터를 부착하였고, 다익 제연댐퍼의 날개모양은 표준형이며, 오리피스, 피토관 측정결과의 양식 및 성능곡선도는 D, J, K 제연댐퍼 중 D형만 사례로 나타내었다.

오리피스의 β 에 따라 레이놀즈수가 주어지며, 측정된 공기량이 설정된 레이놀즈수 이상이어야 신뢰성이 있다.

3.2 2차 시험결과

제연댐퍼 시험의 순서는 D, J, K, H, S형으로 하였다. D형 제연댐퍼는 하향 레지스터를 부착하고 다익, 평행익에 표준형 제연댐퍼의 날개모양을 갖추고 있고, J형 제연댐퍼는 레지스터가 없고, 개방되었을 때 하향

으로 기류가 형성되며, 다익, 평행익에 날개 단면은 반유선형이며, K형 제연댐퍼는 레지스터가 없고 개방되었을 때 하향으로 기류가 형성된다. 다익, 평행익에 날개단면은 반 유선형이다. 또한 H형 제연댐퍼는 레지스터가 없고 개방되었을 때 기류분포가 평행이 되며, 다익, 평행익에 날개 단면은 유선형이고, S형 제연댐퍼는 레지스터로 타공판을 사용하였고 다익, 대향의 표준형 제연댐퍼의 날개모양이다.

제조사별 누설량 비교가 Figure 4와 같다. 제조사별 제연댐퍼의 누설량 및 전면적 누설유속의 비교는 제연댐퍼를 챔버에 설치한 후 전원 24V를 작동시켜 제연댐퍼를 전폐한 후 챔버 내의 압력에 따라 누설량을 측정한 결과이다. 시험결과 제조사에 따라 제연댐퍼의 누설량과 날개의 움직임이 차이가 크며, 제품의 품질이

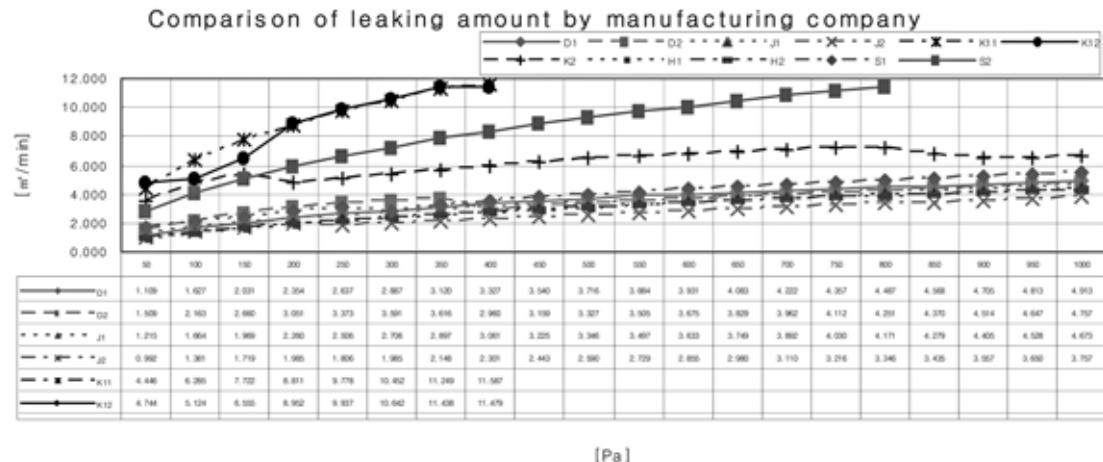


Figure 4. Comparison of leaking amount by manufacturing company.

불균일함을 알 수 있다. 표준 제연댐퍼의 구동 구조인 경우 날개의 움직임이 적으나 동력전달의 구조가 표준 형이 아닌 경우 움직임이 많았다. 누설량 원인은 셋트 스크류를 이용하여 날개축을 고정한 날개 가이드와 가이드 편의 공간이 넓어 회전되거나 움직이는 등의 경우이고, 또한 다른 누설량의 원인은 날개의 상하 부위에 공간이 있거나 기타 불필요한 개구부가 있었다. 일부 제품은 동력 전달 연결부위가 고정되지 않아서 떨림 현상이 발생하는 경우도 있었다.

3.3 3차 시험결과

3.3.1 시험장치

AMCA 누설량 시험장치를 압력강하 챔버와 호환성이 있는 크기로 설계하여 제작하였으며, 정압은 IBC 코드에 제연댐퍼의 누설량 시험압력 이 정격압력의 150%에 2,000Pa이 적정한 블로워로 교체하였다. 챔버의 압력탭은 AMCA 규격으로 피에조미터 링을 구성하였다. 측정장치는 표준 오리피스에 D·D/2형식의 도암관에 상류측은 압력탭을 4개 하류측은 6개의 압력탭

으로 피에조미터 링을 구성하여 평균압력을 측정하였다.

3.3.2 시험결과

MK형 제연댐퍼는 개방되었을 때 상향으로 기류가 형성되며, 다익, 평행익에 날개 단면은 반 유선형이다. MK-S4060 모델의 시험편 2개를 상온에서 시험하였으며, 검교정 성적서를 참고하여 보정값을 적용하였다. 150Pa 부근에서 미세한 제연댐퍼 날개 움직임 상태를 보이고 있다.

두 개의 제품 누설량 편차는 1,000Pa에서 S1은 $0.7m^3/s$ 와 S2는 $0.55m^3/s$ 이며, 제연댐퍼의 날개 구동구조가 개선되어야 한다. 시스템이 작동되면 다음과 같은 가정으로 먼저 부속실의 설정 압력에서 방화문 및 기타 장소에서 누설량을 최소 및 최대범위로 각각 환산하여 거실 방화문의 개방이 있는 경우와 없는 경우를 구분하여 각각 최악의 조건을 설정하고, 최소공기량과 최대공기량을 설정하여 송풍기의 성능선도에 대입하면 덕트 내 압력의 변화를 가정할 수 있다. 여기서 최대 압력이 해당 부속실 제연댐퍼의 누설량으로 산정하여 부속실의 과압 여부를 판정하여 점진적으로 제품이 개

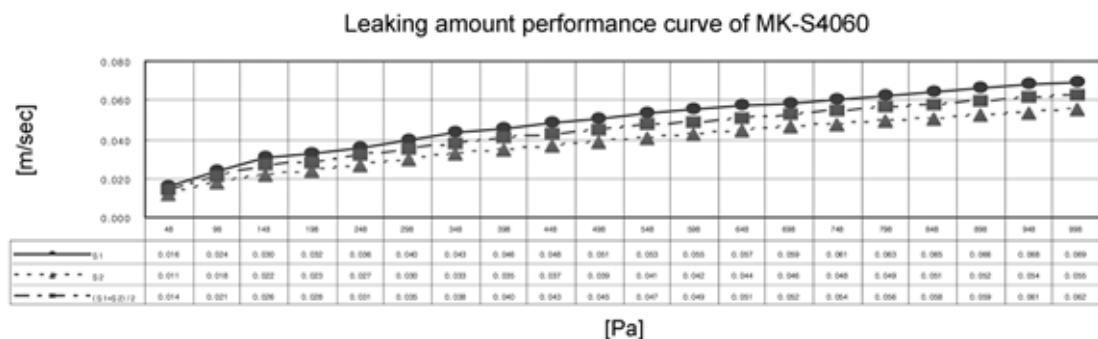


Figure 5. Leaking amount performance curve of MK-S4060.

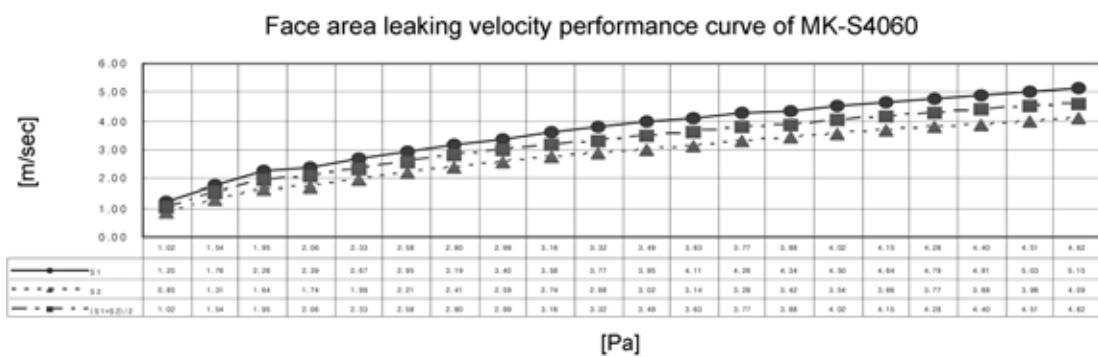


Figure 6. Face area leaking velocity performance curve of MK-S4060.

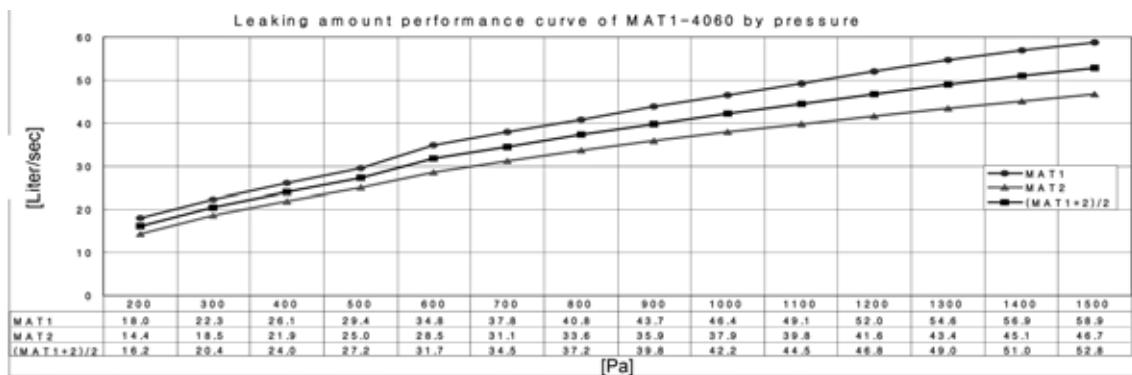


Figure 7. Leaking amount performance curve of MAT1-4060 by pressure.

3.4 4차 시험결과

제연댐퍼(MAT1-4060) 모델별 2개씩을 각 2회 검사 하였는데 제품의 편차가 있어 평균값을 기록하였다. 모든 날개를 닫은 시험결과가 Figure 7과 같다. 제연댐퍼는 기존 제품보다 덕트 압력에 따른 누설량이 약 1/2 수준으로 개선되었고, 누설량을 현재의 1/2 이하로 줄이는 데 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

4. 개선방안

4.1 피토관과 오리피스의 측정에서 정밀도판단

제연댐퍼 누설시험장치의 오리피스와 피토관의 측정 결과 공기량의 편차는 약 10% 정도 피토관이 많았다. 피토관의 성능시험 결과를 보면 블로워의 후곡형 임펠러가 시계방향으로 회전하므로 토출기류가 하부에서 상부로 솟아오르며, 측정장치로 흐르게 되어 측정단면의 위치가 블로워에서 충분한 거리임에도 속도의 분포의 중심이 측정단면의 중심에 형성되지 않고 상단 좌측 편으로 편중되었다. 이상에서 원심형 중 터보형 블로워를 이용한 시험장치에서 피토관으로 측정한 공기량보다는 오리피스로 측정한 공기량이 신뢰성이 높은 것으로 판단한 이유이다.

4.2 누설량 기준에 따른 시험결과의 적용

AMCA에서는 제연댐퍼 누설량을 C_{L3} , C_{L6} , C_{L12} , C_{L24} , C_{L48} 로 등급을 구분하여 나누며, 시험장치의 압력에 따라 누설량을 측정한 누설량 성능곡선도의 누설량계수를 이용하여 계산할 수 있도록 되어있다. AMCA 제연댐퍼의 누설량 선도는 AMCA 규격의 댐퍼에만 해당된다는 사실이다. 현재 국내 제연관련 댐퍼의 날개 또는 레지스터의 형상, 가로·세로비 등 규격에 관한 규

정이 없어 제조사별로 모든 규격이 다르다. 제연댐퍼의 누설량 등급을 도입하여 제품규격을 설계에 적용하기 위하여 누설량 성능곡선도를 보고 비교하여 결정하여야 한다.

4.3 누설량 시험 결과 댐퍼의 개선

다익 제연댐퍼 구조에서 날개의 구동장치, 본체와 상부, 하부 날개와의 틈새, 본체와 날개 추면의 틈새, 날개의 진직도와 날개 사이의 밀착 또는 제연댐퍼 자체의 필요성에 의한 덕트와 관통되는 개구부의 크기 등이 누설량에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 제조사에서 꾸준히 성능시험결과를 비교하여 복합적으로 개선되어야 한다. 제연시스템 설계자는 덕트 내 압력과 제연댐퍼의 누설량 선도에서 댐퍼의 누설량을 검토하여, 부속실의 차압에서 부속실의 누설량보다 큰 경우 부속실에 과압배출장치를 설치하거나 타 제조사의 제품 성능곡선도를 비교 검토하여 결정하여야 한다.

5. 결 롬

제연댐퍼 누설량 시험을 한 결과 제연댐퍼 시험장치의 제작 및 성능에 대한 결론이 다음과 같다.

(1) 시험장치의 크기는 시험하는 제품의 규격, 성능에 따라 결정되므로 먼저 제품의 성능 등급을 설정하여 크기를 결정하여야 한다.

(2) 모든 시스템의 성능은 계측에 의하여 판단되므로 측정값의 신뢰도 확보는 최우선 되어야 한다. 측정값 및 측정환경에 따른 계측기의 측정범위, 최소눈금, 정밀도에 대한 설정을 확립하여야 하며, 검교정에 대한 올바른 인식으로 검교정 시 측정값을 요구하여야 하며, 검교정 성적서를 이용하여 보정된 결과가 측정

값으로 기록되고 보고되어야 한다.

(3) 제연댐퍼의 시험방법에 따라 신뢰도를 부여할 수 있는 시험횟수와 시험해야 할 수량에 대하여 충분한 검토 결과에 따른 설정이 필요하다.

(4) 제연댐퍼는 규격이 표준화되어 있지는 않으나, 제연댐퍼의 누설량은 시스템에 따라 덱트 내의 압력 분포별로 단위면적당 압력에 대한 누설량의 등급을 정하여 설계에서 누설량의 검토를 위하여 적용하는 것이 바람직하다.

(5) 제연댐퍼의 구조 및 날개 또는 레지스터의 형상 등이 누설량의 조건을 만족하기 위하여 제연댐퍼의 방연풍속의 분포와 저항의 크기와 직접 상관관계가 있음으로 효율이 높은 형상 및 각도로 개선되어야 한다. 앞으로도 제연댐퍼의 품질 개선을 지속적으로 유도하여 그 성능을 개선시킬 것이다. 이에 제조사간 상호 제품 성능 및 품질향상을 바탕으로 하는 선의의 경쟁이 가속화 될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. NFPA 92A “Recommended Practice for Smoke- Control Systems”(2006).
2. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, Inc. (SMACNA), “HVAC SYSTEMS DUCT DESIGN”(1993).
3. Air Movement and Control Association International Inc. (AMCA), “Laboratory Methods of Testing Dampers for Rating”.
4. 김정업, “연돌효과가 급기기압 제연시스템에 미치는 영향에 대한 현장실험”, 한국화재소방학회논문지, Vol.22, No.3, pp.194-200(2008).
5. 박용환, “환급기기압 댐퍼의 설정 기준압에 따른 부속설 차압 특성 연구”, 한국화재소방학회논문지, Vol.21, No.4, pp.12-17(2007)
6. 곽지현, “제연설비 성능시험방법의 표준화”, 한국화재소방학회논문지, Vol.20, No.3, pp.21-28(2006)