

원형 CAV 댐퍼의 개발에 관한 연구

A Study on the Development of a Circular CAV Damper

권영필 (Youngpil Kwon)[†]

승실대학교 기계공학과

Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Republic of Korea

(Received May 22, 2013; revision received October 4, 2013)

Abstract A circular CAV damper has been developed, based on the investigation of the pressure loss, and the flow-resisting moment by the damper blade. When a torsional spring is attached to the damper axle, and the setting angle is adjusted to around 82°, the volume rate across the damper is almost independent of the static pressure. Such a CAV characteristic appears at an opening angle between 40° and 60°, where the normalized moment decreases linearly with the angle. In addition, by adjusting the setting angle, the volume rate can be controlled to within 10% error, regardless of the pressure loss.

Key words CAV(정풍량), Damper(댐퍼), Pressure loss(압력손실), Rotating moment(회전 모멘트), Torsional spring(비틀림 스프링)

[†] Corresponding author, E-mail: ypkwon@ssu.ac.kr

기호설명

- A : 덕트의 단면적, $A = \frac{\pi}{4} d^2$
- K_m : 모멘트 계수 : $K_m = \frac{M_v}{\frac{\rho}{2} V^2 A d}$
- K_p : 손실계수 : $K_p = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} V^2}$
- M_v : 기류에 의한 댐퍼의 회전 모멘트
- M_t : 스프링에 의한 댐퍼의 회전 모멘트
- Q : 송풍량, 체적속도
- Q^* : 무차원 송풍량 ($= Q / \sqrt{\frac{2Ak_t}{\rho d}}$)
- V : 기체의 단면평균유속
- d : 덕트의 지름
- k_t : 비틀림 스프링의 스프링상수
- Δp : 댐퍼를 통한 압력손실

그리스 문자

- ρ : 기체의 밀도
- ϕ : 댐퍼 블레이드의 개도각
- ϕ_0 : 블레이드 설정각

1. 서 론

댐퍼는 덕트에서 개도를 조절하여 풍량을 조절 또는 차단하는 장치이다. 댐퍼를 통과하는 풍량은 정압과 개도에 따라서 다르기 때문에 원하는 풍량 조절이 쉽지 않으므로 댐퍼와 제어장치를 결합하여 자동제어 방식을 취하는 것이 일반적이다. 또한 단일 댐퍼는 동일한 정압에서 개도에 따른 풍량이 비선형적이므로 제어가 더욱 어렵게 된다.

최근 오리피스 목에 블레이드(blade)를 장착함으로써 탁월한 선형성을 갖는 오리피스-블레이드형 댐퍼가 개발되었으며 저자는 그 특성을 단순한 블레이드형 및 벤츄리와 콘(cone)을 결합한 벤츄리형 댐퍼와 비교 연구한 바 있다.⁽¹⁾ 그러나 오리피스-블레이드형 댐퍼도 개도를 조절하면 압력이 변하기 때문에 풍량제어가 그렇게 용이하지 않다. 원래 벤츄리형 댐퍼는 압력 변화에 무관하게 풍량이 자동조절되는 정풍량 댐퍼로 개발되었으며 널리 사용되어 왔다. 그러나 베츄리형 댐퍼는 장치가 복잡하고 유동저항이 큰 단점이 있다.

본 연구는 원형덕트에서 블레이드 하나로 구동되는 단일형 댐퍼에 스프링을 장착하여 압력변화에 관계없이 일정한 풍량을 공급할 수 있는 정풍량(CAV : constant air volume) 댐퍼를 개발하기 위한 것이다.

개도에 따른 댐퍼의 압력손실과 회전모멘트의 측정

에 바탕을 두고 댐퍼회전에 저항하는 비틀림 스프링에 의하여 개도가 조절되는 댐퍼를 개발하였다. 이 댐퍼는 압력변화에도 거의 완벽한 정풍량 기능을 발휘할 수 있으며 조절장치에 의하여 풍량을 제어할 수 있는 특성을 갖는다.

2. 관련 이론

Fig. 1과 같이 원형덕트 내에 설치된 원형댐퍼에서 평균유속과 압력 손실 Δp 의 관계는 다음 식과 같이 손실계수 K_p 를 이용하여 나타낼 수 있다.⁽²⁾

$$K_p = \frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} V^2} \quad (1)$$

식에서 V 는 평균 유속이고, ρ 는 밀도를 나타낸다.

덕트를 통과하는 송풍량 Q 와 평균유속은 덕트의 단면적을 A 라고 할 때 $Q = AV$ 이므로 식(1)에서 V 를 치환하면 송풍량은 다음 식(2)로 표현할 수 있다.

$$Q = A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho K_p}} \quad (2)$$

기류에 의하여 댐퍼에 가해지는 시계방향 회전 모멘트(moment) M_v 는 식(3)으로 정의한 모멘트계수 K_m 에 의하여 무차원량으로 표시할 수 있다.

$$K_m = \frac{M_v}{\frac{\rho}{2} V^2 Ad} \quad (3)$$

댐퍼의 회전축에 Fig. 2와 같이 비틀림스프링을 장착하여 회전각에 비례하는 반시계방향의 회전력을 가한다면 유속에 따라서 개도가 조절된다. 그림에서 스프링의 양 끝점은 날개의 축과 스프링조절손잡이에 고정되며 조절손잡이는 베어링에 고정되어 회전을 방해

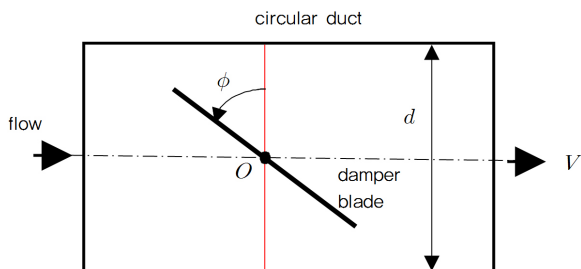


Fig. 1 The circular blade damper in a circular duct.

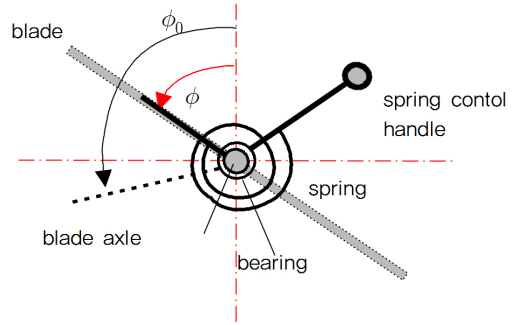


Fig. 2 The spring system for the blade control.

하지 않게 한다. 이 장치는 덕트의 외부로 연장된 블레이드의 회전축에 설치한다.

스프링에 의한 모멘트가 가해지지 않을 때인 평형점에서 블레이드의 개도를 설정각(setting angle) ϕ_0 라고 하자. 그러면 블레이드가 시계방향으로 회전하여 개도가 ϕ 일 때 스프링의 복원력에 의하여 축에 가해지는 반시계방향 모멘트 M_t 는 다음 식과 같다.

$$M_t = k_t(\phi_0 - \phi) \quad (4)$$

식에서 k_t 는 비틀림 스프링의 스프링상수를 뜻하며 각변위는 후크의 법칙을 만족하는 탄성범위 내에 있는 것으로 가정한다.

기류에 의한 시계방향의 회전력 M_v 와 스프링에 의한 반시계방향 회전력 M_t 가 같아지는 $M_v = M_t$ 인 위치에서 댐퍼의 개도는 결정되므로 식(4)를 식(3)에 대입하면 다음과 같은 모멘트평형식을 얻을 수 있다.

$$K_m = \frac{k_t(\phi_0 - \phi)}{\frac{\rho}{2} V^2 Ad} \quad (5)$$

이를 평균유속에 대하여 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$V = \sqrt{\frac{2k_t}{\rho Ad}} \sqrt{\frac{\phi_0 - \phi}{K_m}} \quad (6)$$

무차원 유량을 $Q^* \equiv Q / \sqrt{\frac{2Ak_t}{\rho d}}$ 로 정의하고 식 (6)에 A 를 곱한 값으로 Q 를 치환하면 Q^* 는 다음과 같이 설정각 ϕ_0 와 개도 ϕ 및 모멘트계수의 함수가 된다.

$$Q^* = \sqrt{\frac{\phi_0 - \phi}{K_m}} \quad (7)$$

또한 댐퍼에 의한 정압력 손실을 $\Delta p^* \equiv \frac{\Delta p}{k_i/Ad}$ 로 무차원화하고, 식(1), 식(6) 및 식(7)을 이용하면 다음 식과 같이 압력계수와 무차원 유량의 함수가 된다.

$$\Delta p^* = K_p Q^{*2} \quad (8)$$

3. 손실 계수와 모멘트 계수의 측정

댐퍼의 손실계수 및 모멘트계수를 측정하기 위하여 Fig. 3과 같은 안지름 $d = 250$ mm인 PVC 원관을 사용한 풍동 장치를 구성하였다. 송풍기는 최대정압 60 mmAq, 최대풍량 $70\text{m}^3/\text{min}$ 인 다익송풍기로서 흡입측에 부착된 댐퍼로 풍량제어를 한다. 송풍기 토출구에서 12 d인 거리에 1자형 6점 피토크관으로 풍량을 측정하고 거기서 다시 2 d 거리에 피토크관을 장착하여 정압을 측정한다. 정압 측정 점에서 2 d 거리에 시험하고자 하는 댐퍼를 장착하며 그 후방에 길이 840 mm의 관을 연결한다. 원형댐퍼 날개의 지름은 248 mm, 두께는 2 mm로 하였으며 회전축은 지름이 13 mm이다. 풍량 및 정압 측정은 측정범위 0~1000 Pa, 정확도 ± 3 Pa인 차압센서를 장착한 testo 454를 사용했다.

먼저 손실계수를 구하기 위하여 댐퍼의 개도를 조절하면서 풍량과 정압을 측정하였다. 6점 피토크관에 의한 차압으로부터 평균유속의 산정은 주어진 유량계수 0.8162를 사용하여 다음 식으로 구하였다.

$$V = 0.8162 \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho/2}} \quad (9)$$

여기에 단면적을 곱하면 송풍량을 구할 수 있다.

실험 범위는 송풍기의 능력과 계측기의 정확도에 따라서 평균유속 2~16 m/s, 정압 60~550 Pa 범위에서 수행되었다.

댐퍼와 후단을 포함한 전체를 댐퍼장치로 보면 정압은 압력손실과 같으므로 식(1)에 의하여 손실 계수 K_p 를 구할 수 있다. 손실계수는 개도에 따라서 다를 뿐, 유속에 따른 영향은 무시할 만하였으며 실험 결과

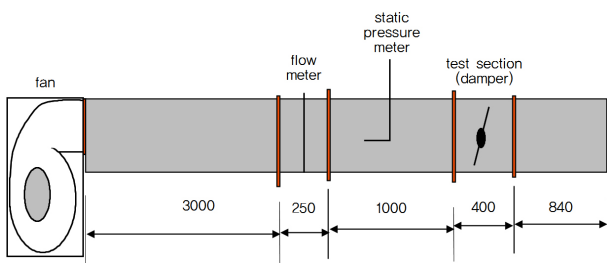


Fig. 3 Schematic of the test system.

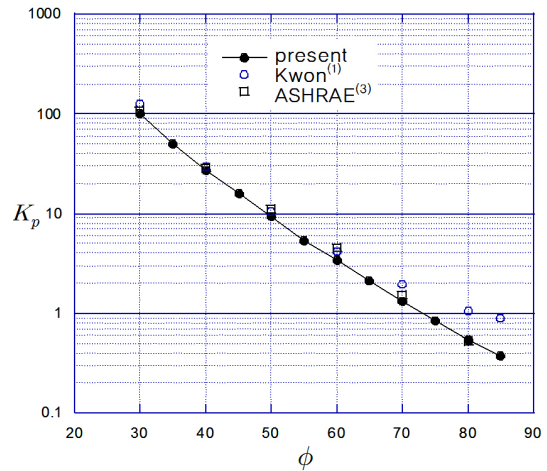


Fig. 4 The pressure loss factor of the blade damper vs. the opening angle.

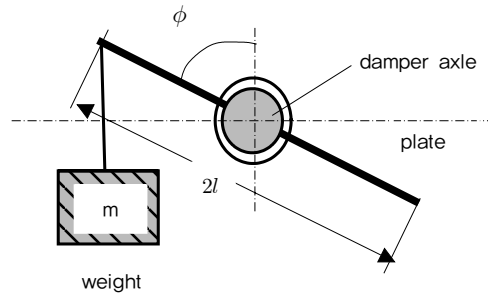


Fig. 5 Measuring system of the moment exerted on the blade by the flow.

를 도시하면 Fig. 4와 같다.

본 실험 결과를 기존 자료들^(1,2)과 비교도시 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 개도가 70° 이상인 경우에는 각 자료가 다른 값을 보이는데 그 이유는 개도가 큰 경우에는 손실계수가 매우 작으므로 댐퍼 후단의 길이, 회전축의 지름, 날개의 두께 등이 영향을 미치기 때문이다. 그러나 개도가 60° 이하인 경우에는 댐퍼의 개도가 압력손실을 지배하게 되므로 댐퍼에 따른 변화가 거의 없이 모든 지료가 일치하는 것을 알 수 있다.

모멘트계수는 개도를 변화시키면서 평균풍속을 측정하고 그 개도를 유지하는데 필요한 모멘트를 측정하여 식(3)에 의하여 구할 수 있다.

모멘트의 측정을 위해 Fig. 5와 같이 날개의 회전축을 덕트의 외부로 연장하여 그 축에 일정한 길이의 철판을 날개와 같은 평면을 이루도록 고정시켰다. 회전축이 지면에 평행이 되도록 한 후 그 철판의 끝단에 추를 매달아 평형을 유지할 때의 각도와 추의 무게를 측정하면 모멘트를 다음 식으로 계산할 수 있다.

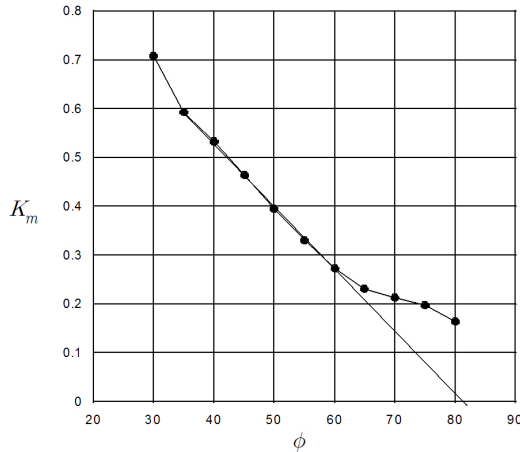


Fig. 6 The moment coefficient.

$$M = lmg \sin(\phi) \quad (10)$$

철편 길이는 $l = 85 \text{ mm}$ 로 하였으며 모멘트와 그때의 평균 유속을 측정하여 모멘트계수를 구한 결과는 Fig. 6과 같다.

그림에서 알 수 있듯이 개도가 40° 와 60° 사이에서는 개도의 증가에 따라서 모멘트는 선형적인 감소를 한다.

4. CAV 성능

손실계수와 모멘트계수가 구해졌으므로 식(7)에서 무차원 풍량 Q^* , 식(8)에서 무차원 정압 Δp^* 을 구할 수 있다. 무차원 풍량을 설정각 ϕ_0 및 개도 ϕ 의 함수로 도시하면 Fig. 7과 같다. 그림에서 개도에 따른 송풍량의 변화는 설정각 ϕ_0 에 따라서 특성이 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 설정각이 낮은 경우에 유량이 작으며 압력이 증가하여 개도가 감소하면 유량은 계속 증가하는 특성을 보인다.

그러나 설정각이 80° 인 경우 개도 60° 에서부터 유량은 거의 일정하게 되는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 모멘트계수가 개도에 따라서 직선적으로 변화하는 개도 구간이 60° 와 80° 사이이며, 연장선이 개도 82° 일 때 모멘트가 0인 점을 지나는데서 예측할 수 있는 결과다. 따라서 설정각을 82° 근처로 하면 개도가 변해도 일정한 송풍량을 나타내는 정풍량 댐퍼의 기능을 할 수 있음을 예상할 수 있다.

한편 설정각이 82° 를 넘어가면 개도의 감소와 더불어 유량이 증가했다가 계속 감소하는 특성을 보인다.

Fig. 8은 무차원 압력에 따른 무차원 풍량을 설정각을 매개변수로 도시한 것이다. 위에서 언급한 바와 같이 설정각이 80° 일 때는 압력이 어느 정도 이상이

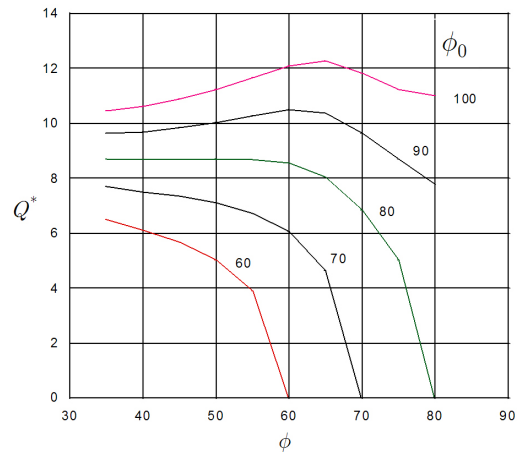


Fig. 7 Normalized volume velocity Q^* vs. the opening angle ϕ for various setting angle ϕ_0 's.

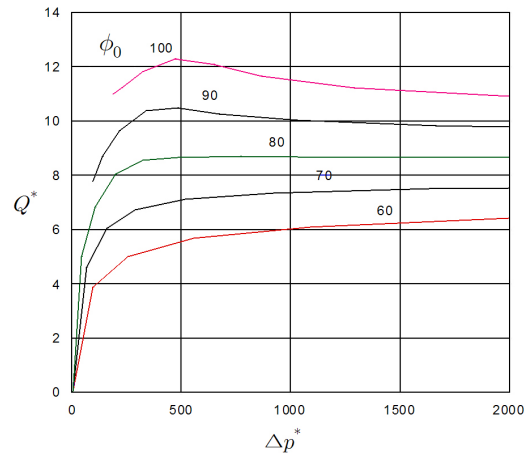


Fig. 8 Normalized volume velocity Q^* vs. the normalized static pressure Δp^* for various equilibrium angle ϕ_0 's.

되면 압력이 변화해도 송풍량이 변하지 않는 거의 완벽한 정풍량 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 설정각이 80° 보다 작으면 압력에 따라서 증가함수, 더 크면 감소함수 특성을 보인다. 개도가 일정할 때 송풍량이 압력의 제곱근에 비례하여 증가하나 압력이 증가할 때 개도가 감소함으로써 이와 같은 특성을 나타내는 것이다.

설정각이 80° 에서 멀어질수록 정풍량 특성은 약해지지만 설정각이 70° 이상 100° 미만이면 압력이 $\Delta p^* = 500$ 에서 2000 까지 변할 때 10% 내의 풍량변화가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 설정각을 이 범위에서 조절하면 압력변화와 관계없이 풍량을 2배 내에서 원하는 양으로 제어할 수 있다.

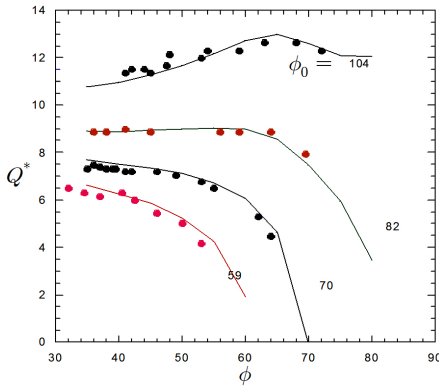


Fig. 9 Experimental results for the normalized volume velocity Q^* vs. the opening angle ϕ in comparison with the prediction.

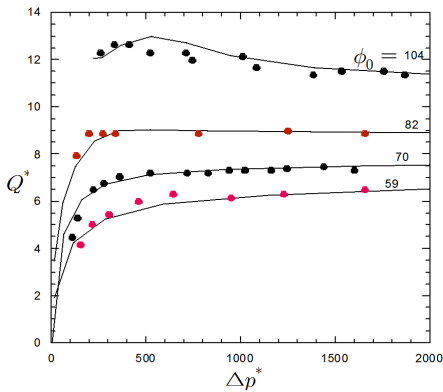


Fig. 10 Experimental results for the normalized volume velocity Q^* vs. the normalized static pressure Δp^* in comparison with the prediction.

이상과 같은 스프링에 의한 정풍량 제어의 특성을 입증하기 위하여 실험한 결과는 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다.

그림에서 보듯이 개도 변화 및 압력 변화에 따른 풍량의 변화에 대한 실험 결과는 이론 예측과 잘 부합하는 것을 알 수 있다. 본 장치의 설정각을 82° 근처로 하면 정압의 상당한 변화에도 유량변화가 거의 없는 정풍량 댐퍼가 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

원형 댐퍼의 압력 손실과 모멘트 특성을 바탕으로 CAV 댐퍼 장치를 고안했다. 비틀림 스프링을 원형 댐퍼의 축에 장착하고 설정각을 82° 근처로 하면 상당한 압력 변화에도 거의 완벽한 정풍량 조절 기능을 할 수 있다. 또한 설정각을 조절하면 10% 오차 내에서 압력에 관계없는 2배 이상의 풍량 제어가 가능하다. 이러한 특성은 기류에 의하여 댐퍼에 가해지는 모멘트가 개도 40°와 60°사이에서 개도에 따라 거의 선형적인 변화를 나타내기 때문이다.

Reference

1. Kwon, Y. P., 2012, Comparison of the performance of the VAV dampers for the circular duct, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 9, pp. 699-703.
2. Douglas, J. F., Gasiorek, J. M., and Swaffield, J. A., 1995, Fluid Mechanics, 3rd ed., Longman Scientific and Technical.
3. ASHRAE Handbook, 1985, Fundamentals, Vol. 33, p. 48.