

포장용 링타입 고무막 One-way 밸브의 가스배출압력 예측을 위한 수학적 분석 모델

오재영^{1*} · 이진용¹ · 유하경²

¹한국건설생활환경시험연구원

²소프트팩(주)

Analytical Model for Predicting Degassing Pressure of the One Way Valve with Ring Type Rubber Disk for Packaging

Jae Young Oh^{1*}, Jin Yong Lee¹, and Ha Kyoung Yu²

¹Korea Conformity Laboratories

²Soft Pack Co.,

Abstract One-way degassing valves usually designed for coffee packaging are recently applied to the various food packaging such as fermented health functional food or home meal replacement (HMR) packaging. The optimized degassing pressure by food product is important factor for keeping effective freshness and improving preservation of the food, therefore the development of degassing valves specified with various open pressure is needed. In this study, the mechanical characteristics of the degassing valve with ring type rubber disk were analyzed and a mathematical model was developed to predict the open pressure of the valve. The model was verified with test results derived from several available valves, and it may be useful in designing and developing a new valve.

Keywords Degassing packaging, Degassing valve, Aroma valve, Coffee packaging

서 론

포장용 가스배출 밸브(One-way Degassing Valve)는 포장재 내부의 압력상승시 가스와 함께 내부 잔존산소를 배출하여 포장재의 파열을 막고, 외부의 산소 유입을 차단함으로써 내용물의 신선도 유지와 보존성을 향상시키고자 개발된 장치이다. 일반적으로 이 장치는 로스팅된 커피의 포장 밀봉시 커피콩에서 발생하는 가스로 인해 포장재 내부 압력의 증가 및 파열로 커피의 신선도 및 품질 저하를 막는데 효과적으로 사용되고 있으며, 포장용 가스배출 밸브로부터 방출되는 커피향 덕분에 아로마 밸브(Aroma Valve)라는 애칭으로 통용되고 있다^{1,4)}. 최근에 발효식품과 같은 건강기능식품이나 전자렌지 조리용 즉석식품 포장 등 다양한 영역으로 그 적

용이 확대되고 있는 추세이다.

포장 식품의 효과적인 신선도 유지와 보존성 향상을 위해서는 대상 식품에 따른 최적의 가스배출 압력을 유지하는 것이 중요하며, 이를 위해 다양한 개방압력(Open Pressure)에서 가스배출이 가능한 밸브의 개발이 요구되고 있는 추세이다. 예를 들어 커피포장의 경우, 원두에서 방출된 가스에 의한 패키징 내부 압력이 200~600 Pa 이상이면 밸브막이 열려 자동으로 가스를 방출하고, 내부압력이 10~50 Pa이 되면 밸브막이 닫혀 외부 공기의 유입을 차단하는 방식의 밸브가 개발되어 있다^{2,4)}. Table 1에 나타낸 바와 같이 Goglio사(이탈리아) 및 Wipac사(스위스) 등 주요 아로마 밸브 제조사에서 이에 대응하여 다양한 개방압력(Open Pressure) 및 유동량(Flow Rate)의 밸브가 출시되고 있다^{2,3)}. 국내에서는 Fig. 1에서와 같이 링타입의 고무막을 사용하여 중앙 개폐형 가스배출 구조와 작동 메커니즘을 적용한 커피 포장용 가스배출 밸브(Degassing Valve)가 상용화되어 있으나 개방압력 및 유동량 제어에 대한 연구가 부족하여 다양한 용도의 가스배

*Corresponding Author : Jae Young Oh
Korea Conformity Laboratories, Seoul 08503, Korea
Tel : +82-2-2102-2631, Fax : +82-2-856-5636
E-mail : jyouno@kcl.re.kr

Table 1. Degassing valves of various open pressure level according to the application

Manufacturer	Typical application	Pressure level (Pa)	Shape	
			Front side	Back side
Goglio	Roasted coffee	300-900		
	For a light swelling effect on packages for dry product	200-500		
	For high pressure rigid packages	2,000-6,000		
Wipf	Bean coffee, Ground coffee, Dough, Soy etc	100-500		
	Microwaveable food	500-1,400		

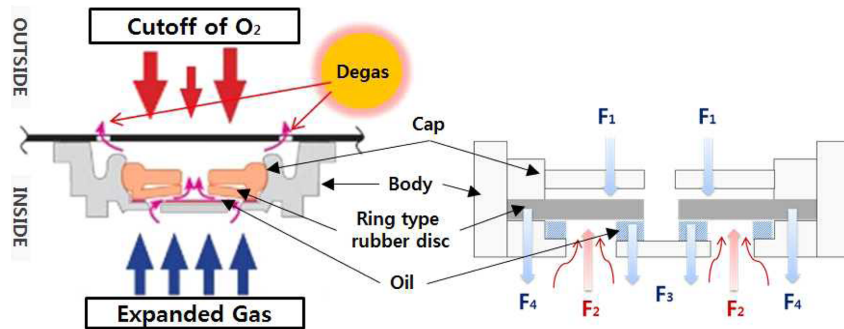


Fig. 1. Structure and degassing mechanism of the one way valve with ring type rubber disk⁴⁾: (F₁) the outer atmospheric pressure; (F₂) the inner pressure; (F₃) the oil capillary adhesion; (F₄) the rubber elastic strength.

출밸브 제조가 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 개발된 링타입 고무막을 이용한 식품 포장용 가스배출 밸브(Degassing Valve)⁴⁾에 대하여 오일의 표면장력, 고무막의 재질특성 및 구조 역학적 특성을 분석하여 개방압력 예측이 가능하도록 수학적 분석 모델을 개발하고자 하며, 이를 통해 밸브압력 설계 및 품질 신뢰성 확보를 위한 유용한 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 수학적 모델링

링 타입의 고무막을 사용한 중앙 개폐형 가스배출 밸브의 수학적 모델링을 위하여 가스배출시 밸브의 각 요소에 작용하는 힘을 도시화하였다(Fig. 2).

포장재의 내부압력에 의한 가스배출시 밸브의 고무 디스크에 작용하는 힘의 역학적 관계를 살펴보면(Fig. 2B), 밸브가 열리기 직전까지 캡에 의한 디스크 고정단(디스크 외주)에서의 모멘트와 디스크에 작용하는 각 힘은 평형상태를 유지한다($\Sigma M=0$). 이때, 내부압력에 의한 힘은 디스크의 무게

중심에 작용하고, 표면장력(T_s)은 고무디스크의 양쪽 가장자리 지점에서 발생되며($H \rightarrow D, h \rightarrow d$), 고무디스크가 선형 탄성영역에서 거동한다고 가정하면, 이러한 역학적 관계를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_D = F_{pressure} \cdot \frac{1}{3} \left(\frac{D-d}{2} \right) - F_{tension_inner} \cdot \frac{D-d}{2} \quad (1)$$

여기서, 포장재 내부 압력을 p , 압력이 작용하는 면적을 S 라고 하면,

$$F_{pressure} = pS \quad (2)$$

$$S = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right\} d\theta \quad (3)$$

이고 이 식을 (1)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$M_D = \frac{1}{48} p (H^2 - d^2) (D-d) d\theta - \frac{1}{2} T_s (D-d) d\theta \quad (4)$$

반면, 고무 디스크의 하중초기 선형 탄성영역에서의 응력

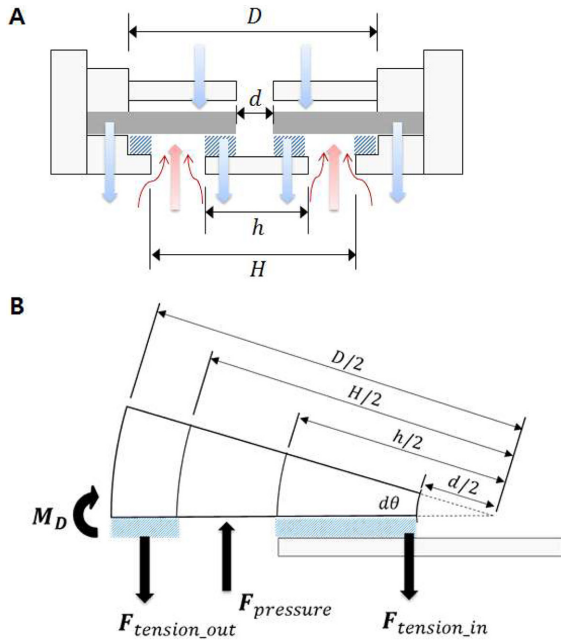


Fig. 2. Free body diagrams for the mechanical analysis of the degassing valve by the inner pressure, the oil capillary adhesion and the rubber elastic strength: overview (A); partial view (B).

이 σ_i 이고, 고정단에서의 디스크의 단면계수(modulus of section)를 Z 라고 하면, 디스크 고정단에서 작용하는 굽힘모멘트 M_D 는⁵⁾

$$M_D = \sigma_i Z \tag{5}$$

이고,

$$Z = \frac{t^2 D d \theta}{12} \tag{6}$$

이다. 따라서 식 (4), (5) 및 (6)으로부터 포장재 내부 압력 p 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$p = \frac{4D t^2 \sigma_i + 24 T_s d (D - d)}{(D^2 - d^2)(D - d)} \tag{7}$$

2. 재료

링타입 고무막을 이용한 식품 포장용 가스배출 밸브는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 폴리에틸렌(Polyethylene, PE) 재질의 하우징과 폴리프로필렌(Polypropylene, PP) 재질의 캡, 그리고 차폐막으로 EPDM 고무(ethylene propylene diene monomer(M-class) rubber) 재질의 디스크와 실리콘오일로 구성되어 있다.

밸브에 대한 수학적 분석 모델의 유효성을 확인하기 위해 Table 2에서와 같이 밸브 몸체와 캡의 치수는 일정하게 고정하고, 변수로서 다양한 치수의 고무 디스크 및 점도가 다른 실리콘 오일을 준비하였다.

3. 실험방법

1) 실리콘 오일의 점도와 밸브 개방압력의 영향

실리콘 오일의 점도가 밸브의 개방압력(Open pressure)에 미치는 영향을 확인하기 위하여 점도가 각각 10, 100, 200, 500 및 1,000 cS인 실리콘 오일을 두께 0.8 mm의 고무 디스크에 적용하여 가스배출밸브의 개방 압력을 측정하였다. 또한 실리콘 오일의 점도와 밸브 개방압력의 주요파라미터인 표면장력과의 관계를 확인하기 위해 표면장력측정기(제

Table 2. Values of main parameters used in experimental and theoretical analysis

Components	Parameter	Unit	Values
Body	Outer diameter of base degassing hole (H)	mm	6.8
	Inner diameter of base degassing hole (h)	mm	4.5
Cap	Outer diameter	mm	10.0
	Inner diameter	mm	7.5
EPDM rubber disc	Thickness (t)	mm	0.5, 0.6, 0.8, 1.0
	Inner diameter (d)	mm	2.0
	Initial tensile stress (σ_i)	kPa	8
Silicon oil	Viscosity	cS	10, 100, 200, 500, 100
	Surface tension (T_s)	mN/m	20.6
Assembled valve			

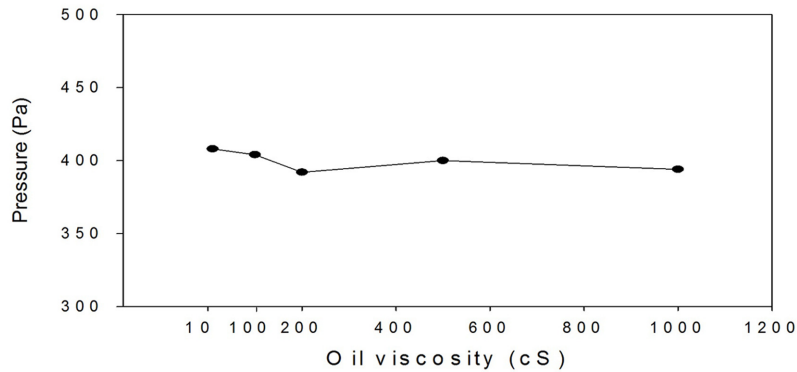


Fig. 3. Open pressures of the degassing valve having applied the silicon oil with 10, 100, 200, 500, 1000 cS of viscosity to 0.8 mm thick rubber disk.

조사: KRUSS, 모델: K11)를 이용하여 준비된 각 점도의 오일에 대하여 표면장력을 측정하였다.

2) 밸브 개방압력 측정

Table 2에서 언급된 바와 같이 정해진 치수의 몸체와 캡에 대하여 두께가 고무 디스크를 삽입하고 점도 10 cS의 실리콘오일을 적용하여 가스배출밸브의 개방압력을 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 실리콘 오일의 점도와 밸브 개방압력의 영향

실리콘 오일의 점도가 밸브의 개방압력(Open pressure)에 미치는 영향을 확인하기 위하여 점도가 각각 10, 100, 200, 500 및 1,000 cS인 실리콘 오일을 두께 0.8 mm의 고무 디스크에 적용하여 가스배출밸브의 개방 압력을 측정한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 이를 통해 오일의 점도는 밸브의 개방압력에 미치는 영향이 거의 없음을 확인할 수 있었다. 또한, 실리콘 오일의 점도와 밸브 개방압력의 주요파라미터인 표면장력과의 관계를 확인하기 위해 상기의 준비된 오일

점도별로 표면장력을 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이상의 두 가지 실험결과로부터 가스배출 밸브에 적용되는 실리콘 오일의 점도는 표면장력과 무관하며 이에 따라 밸브의 개방압력에도 무관함을 확인할 수 있었다.

2) 포장용 가스배출밸브 개방압력의 수학적 모델에 대한 실험결과

링타입 고무막을 이용한 포장용 가스배출 밸브의 개방압력 예측을 위한 수학적 모델에 의한 이론값과 실험을 통한 측정값의 비교분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 두께가 두꺼운 디스크에 대해서는 다소 차이가 있었으나 1.0 mm 이하의 두께에 대해서는 거의 근사값을 가진다는 것을 확인할 수 있으며, 실험 결과값이 이론값이 거의 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 Fig. 5에서 나타난 약간의 편차는 샘플 제작시 각 부품의 가공 치수 및 디스크 두께의 균일성의 오차에서 기인된 것으로 판단되며, 특히 수학적 모델을 유도할 때 고무디스크를 선형 탄성체로 가정하여 적용하였으나 실제 고무는 비선형 탄성체임을 감안해야 하므로 이론값과 실험값의 차이가 다소 발생할 수 있을 것이다. 그

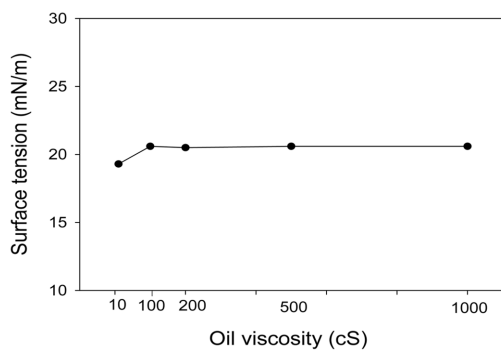


Fig. 4. Surface tensions of the silicon oil with 10, 100, 200, 500, 1000 cS of viscosity.

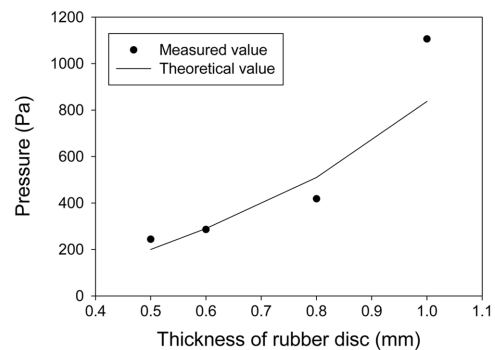


Fig. 5. Theoretical degassing pressure-disc thickness curve and experimental results for the degassing valves.

러나 Table 1에 나타낸 바와 같이 포장용 가스배출밸브는 일반 산업용 체크밸브에 비해 개방압력이 아주 극미한 수준이고 사용 목적상 허용 개방압력 범위가 넓은 것을 감안하면, 본 실험 결과의 편차가 그렇게 크지 않음을 짐작할 수 있다.

따라서, 실험결과를 통해 본 연구에서 제안한 링타입 고무막을 이용한 포장용 가스배출 밸브의 개방압력 예측을 위한 수학적 모델의 유효성을 확인할 수 있었으며, 향후 발효 건강기능식품 포장이나 전자렌지 조리용 즉석식품 포장 등 다양한 배출압력의 밸브를 제작할 때 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

요 약

주로 커피포장에 사용되던 포장용 One-way 가스배출밸브(아로마 밸브)가 최근 발효건강기능식품이나 전자렌지 조리용 즉석식품 포장 등 다양한 영역으로 적용이 확대되고 있다. 포장 식품의 효과적인 신선도 유지와 보존성 향상을 위해서는 대상 식품에 따른 최적의 가스배출 압력을 유지하는 것이 중요하며, 이를 위해 다양한 개방압력(Open Pressure)을 가진 밸브를 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내에서 개발된 링타입 고무막을 이용한 식품 포장용 가스배출 밸브(Degassing Valve)에 대하여 오일의 표면장력, 고무막의 재질특성 및 구조 역학적 특성을 분석하여 개방압력 예측이 가능하도록 수학적 분석 모델을 개발하였다. 직관적으로 보면 오일의 점도가 밸브의 개방압력에 영향을 미칠 것으로 예상되지만, 이론상으로 점도는 유체 내부의 요인에 의한 특성

이고, 표면장력은 서로 다른 상태의 계면에서 발생하는 특성이므로 점도와 표면장력은 서로 무관하다. 이에 대해 본 연구의 실험을 통해 오일의 점도가 표면장력과는 무관하고 결과적으로 밸브의 개방압력과는 무관함을 확인할 수 있었으며, 수학적 모델에 의한 이론값이 재료의 실험값과 유사한 경향의 결과를 확인함으로써 제안한 수학적 모델의 유효성을 확인할 수 있었다. 따라서, 이 모델을 통해 포장용 가스배출 밸브의 압력 설계 및 품질 신뢰성 확보를 위한 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 디자인전문기술개발사업(과제번호: 10053977)에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. 김청. 2008. 기능성 포장, 도서출판(주)포장산업, pp. 36.
2. Goglio degassing valve brochure, Degassing control, Integrated degassing system for flexible packaing, Goglio SpA.
3. WICOVALVE brochure, Long-term freshness protection, Wipf AG.
4. Yu, H. K., Lee, K. H., and Oh, J. Y. 2014. Development of degassing valves for food packaging using ring type rubber disk, Korean J. Packag. Sci. Tech. 20(2): 35-39.
5. 오세욱. 1996. 재료역학, 동명사, pp. 191.