

소결금속을 통한 LPG용기용 안전밸브의 유량 최적화

임 종 국

충주대학교 안전공학과 / 충주대학교 방재기술 연구소

1. 서 론

가정 연료로 가스사용이 증가하게 됨에 따라 사고의 발생 횟수도 많이 증가되고 있다. 가스사용으로 인한 편리함과 필요성은 과히 절대적이라 할 수 있다. 그러나 이러한 혜택이 있는 반면 매년 각종 원인으로 인한 가스사고가 끊이지 않고 발생하고 있어 수 많은 인명과 재산피해가 따르고 있다. 이를 근본적으로 방지 할 수 있도록 완벽한 차단 안전기기의 보급이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 정부에서는 고압가스 안전관리법 시행규칙을 개정하여 LPG용기용 밸브를 과류차단형으로 사용할 것을 의무화하고 있다. 또한 일본에서도 LPG용 가스방출방지형 용기밸브에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 어떠한 이유에서든지 가스가 누출되면 즉시 차단할 수 있는 완벽한 차단기기의 개발 및 보급이 절대적으로 요구되고 있어, 사고를 미연에 방지하기 위한 LPG용기용 안전밸브의 개발 과정 중 부품의 하나인 수직봉(SUS 304 Tube, Steel Use Stainless)속에 미세가스를 흘려 보내는 방법의 하나로 소결금속을 접목시켜 유량 최적화에 관한 여러 가지 실험을 하였다.

본 연구에서 실험한 결과를 바탕으로 LPG용기용 안전밸브의 개발에 접목시켜 안전밸브를 개발한다면 각종 유형의 가스누출에 의한 화재 및 폭발사고를 사전에 방지할 수 있다고 판단된다.

2. 연구 목적 및 내용

과류차단형 LPG용기용 안전밸브란 일반 가정 및 영업소에서 사용하는 LPG용기에 부착된 기존의 용기밸브를 대체하는 과류차단형 밸브로서, 조정기 및 측도관 부착시에는 정상적인 가스의 사용이 가능하나, 탈착시에는 밸브를 여는 순간, 즉각 차단됨으로, 가스 용기를 불순한 목적(시위, 자살, 테러) 등에 사용함을 원천적으로 방지하며, 가스의 과류발생시 또는 천재지변 및 부주위로 인한 호스이탈 및 용기전도, 마감 미처리 시에 가스가 자동차단 되는 밸브다.

본 연구에서는 LPG용기용 안전밸브의 개발 과정에서 그중 부품의 하나인 수직봉 속에 금속분말(SUS 316 + Li-ST0.8%)을 넣어 소결하여 수직봉의 유량 측정을 통해 유량 최적화에 맞는 조건을 찾아서 제품화 한다면 가스누출로 인한 각종 대형사고를 방

지 할 수 있다는데 착안하여, 실험을 통하여 최적 조건을 구하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 첫째, 분말 주입량과 밀핀길이 변화에 따른 유량을 측정하고, 둘째, 프레스 압력 변화에 밀도에 변화에 따른 유량을 측정하고자 한다.

2-1. 안전밸브의 원리

과류차단형 LPG용기용 안전밸브의 기본작동 원리는 베르누이방정식과 뉴턴의 운동방정식으로부터 가스통로의 체적을 변화시켜 이로부터 얻은 에너지로 삽입시킨 모듈을 움직이게 하고 이 모듈에 의해 가스통로가 폐쇄되는 원리이다. 그러나 안전밸브에 조정기나 고압고무호스가 체결되지 않은 상태에서는 모듈이 상부에 밀착되어 가스통로가 확보되지 않으므로 가스의 흐름이 전혀 일어나지 않는다. Fig.1에서와 같이 (1)은 밸브 핸들이 닫혀 있어 가스통로가 완전히 폐쇄되어 가스의 흐름이 전혀 이루어지지 않고 있으나 (2)의 경우에는 핸들을 개방하여 가스 통로가 개방되어도 기존 밸브 패킹의 하단에 설치된 과류감지 패킹에 의하여 가스 통로가 다시 차단되므로 가스의 흐름은 정지하게 된다. (3)의 경우는 조정기가 정상 연결된 상태로 밸브 핸들을 개방하면 모듈의 중간 통로에 설치된 소결금속을 통해 미세가스가 흐르게 되어, 미세가스량이 관을 동압 조건으로 채워 주게되면 과류감지 모듈이 자석의 힘을 이기지 못하고 밑으로 내려가게 된다. 이때 통로가 확보되고 과류 발생이 생기지 않으면 과류감지 패킹도 역시 제자리에서 움직이지 않는다. 그러나 정상 사용중이라도 호스의 절단 등 인위적 사고가 발생하면 과류 모듈은 위로 상승하게 되고 모듈에 끼워진 패킹에 의해 가스 통로가 폐쇄되어 가스흐름은 정지하게 된다. 그러나 사고의 발생을 제거한 후 밸브 핸들을 다시 닫았다가 열면 밸브는 정상적으로 가스의 통로를 확보하여 가스의 흐름이 일어나게 된다.

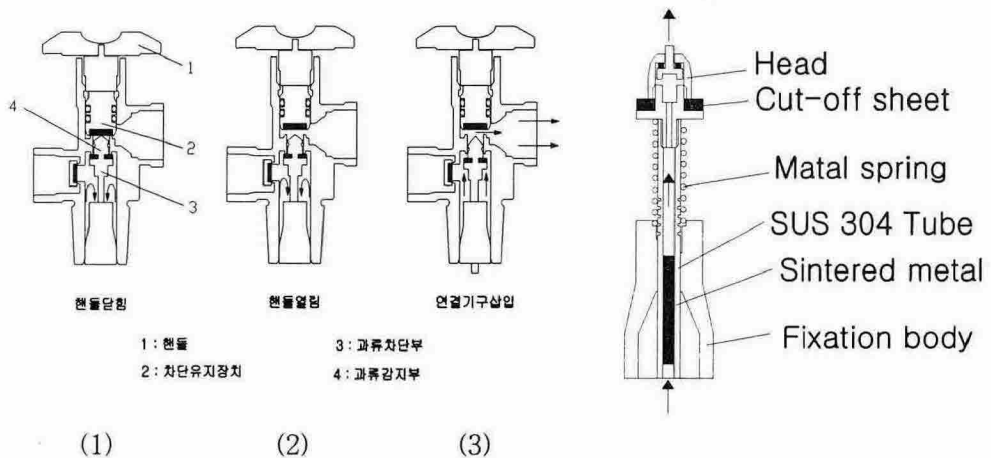


Fig 1. Safety operating state of safety valve

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 수직봉(SUS 316) 성형

Fig.2는 수직봉으로 사용되는 Stainless steel tube를 보여주고 있다. 재질은 SUS316를 이용하였으며, 내부에 분말 성형을 하기 위하여 simless tube로 인발하였다. 내부홀은 $\Phi 2\text{mm}\pm 0.02$ 로 가공하였다.

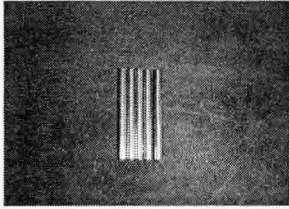


Fig 2. Stainless steel tube (SUS 316)

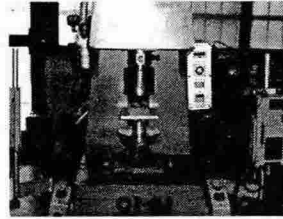


Fig 3. DP air press.

이 수직봉을 45mm로 절단하여 SUS 316 분말을 이용하여 성형하였다. 성형은 Fig.3에 보인바와 같이 에어 프레스를 사용하였으며 성형후 소결 하였다.

성형시 분말의 양을 0.2g부터 0.3g으로 변화를 주었으며, 성형압의 변화는 밀핀 길이와 프레스의 압력조절 2가지 방법으로 성형 분말의 밀도를 변화 시켰다. 소결은 산화 방지를 위하여 질소와 수소를 혼합시켜 환원분위기 하에서 이루어 졌으며 1150℃에서 1시간 동안 소결 하였다.

3.2 수직봉 공기(Air) 유량 실험

Fig.4는 유량 측정을 위한 실험 장치를 보여주고 있다. 유량은 공기를 이용하여 측정하였으며 환산계수를 사용하여 LP가스의 양으로 환산하였다. 이때 시험결과값의 확인을 위하여 실제 가스를 사용한 보정 실험을 병행 하였다. 유량계는 미국 Sierra사의 Top-Trak mass flow meter를 사용하였다.

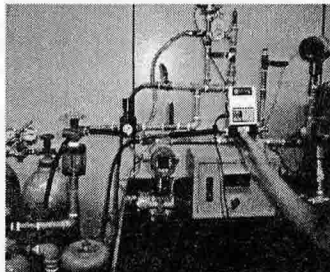


Fig 4. Fluid measurement equipment

4. 결과 및 고찰

4.1 분말 주입량과 밀핀 길이 변화에 따른 실험

분말 주입량과 밀핀 길이 변화에 따른 결과를 알아보기 위한 실험이다. 예상한 바와 같이 분말량과 밀핀 길이 변화에 따른 성형전·후의 무게, 성형형상길이, 밀도의 변화를 알 수 있다. 분말량과 밀핀 길이가 증가 할수록 성형 길이와 밀도 역시 증가함을 알 수 있다. 성형 길이는 최저 13.1mm에서 최고16.8mm까지 형상이 이루어졌으며, 밀도는 최저 4.04g/cm³에서 최고 6.22g/cm³까지 나타났다.

아래 Fig.5는 분말량 변화에 따른 성형형상길이를 나타낸 것이며, 밀핀길이가 길어질수록 성형형상길이는 감소하지만, Fig.6과 같이 밀도는 증가하는 것을 알 수 있다. 그림에서와 같이 거의 직선적인 변화를 보이고 있으며, 밀도가 너무 큰 경우 약간의 편차가 발생되었다.

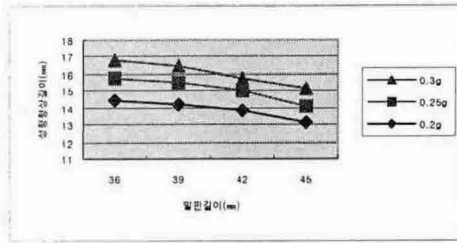


Fig 5. The relation to the powder quantity and ejector pin length

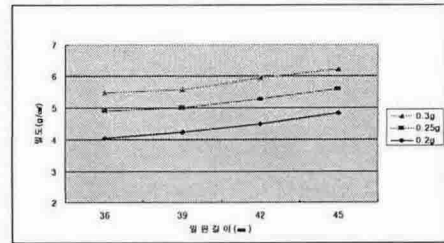


Fig 6. Density variation for the powder quantity and ejector pin length

4.2 프레스 압력 변화에 따른 실험결과

프레스 압력 변화에 따른 실험에서는 밀핀 길이를 39mm로 고정하고 분말량을 0.2g부터 0.3g까지, 압력을 1.2ton/cm² ~ 2ton/cm² 까지 변화시켰다. 이때 평균밀도가 낮게는 3.67g/cm³부터 높게는 5.56g/cm³까지 분포를 보이고, 압력과 밀도와의 관계를 확인 할 수 있다.

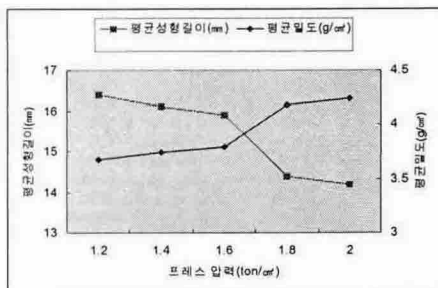


Fig 7. The change of pressure in air press

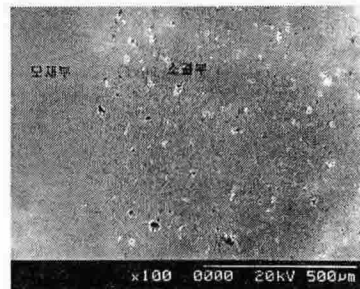


Fig.8 SEM photograph for crosssection of sintering area

Fig.8은 소결 후 단면을 절단하여 전자현미경의 사진을 보였다. 사진에서 알 수 있듯이 분말소결부와 원 튜브사이의 경계부가 보여지질 않았으며, 단지 기공을 통해 분말소결부 임을 집작할 수 있다. 소결봉의 외관은 환원분위기에서 소결 하였음에도 불구하고 약간의 검은색이 관찰 되었으며, 수소의 양을 증가 시키면 약간의 광택과 함께 특유의 색을 나타내었다.

소결 실험결과 소결후가 소결전 보다 평균 무게가 약 2~4.5% 정도 감소된 것으로 나타났다. 이것은 고온(1150℃) 소결 과정에서 바인더로 첨가한 첨가물(Li-ST0.8%)의 증발로 인한 손실로 판단된다.

4.3 공기(Air) 유량 실험

4.3.1 분말 주입량과 밀핀 길이 변화에 따른 유량 측정

분말 주입량과 밀핀 길이 변화에 따른 유량의 변화를 관찰하였다. 예상된바와 같이 분말량이 증가할 수록, 또한 밀핀 길이가 길어질수록 유량은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 분말량이 0.2g일 경우에는 밀핀 길이가 길수록 최적화 유량에 근접하였고, 분말량이 0.3g같은 경우에는 유량이 밀핀 길이에 영향이 작게 나타났고, 유량도 0에 가까이 측정되었다. Fig.9에 분말 주입량과 밀핀 길이 변화에 따른 유량 변화를 보였다. 그림에서 볼 수 있듯이 0.2g의 분말을 사용한 경우 급격한 감소를 보이지만 분말의 양이 증가 될 수록 유량의 차이가 점차 작아짐을 알 수 있다.

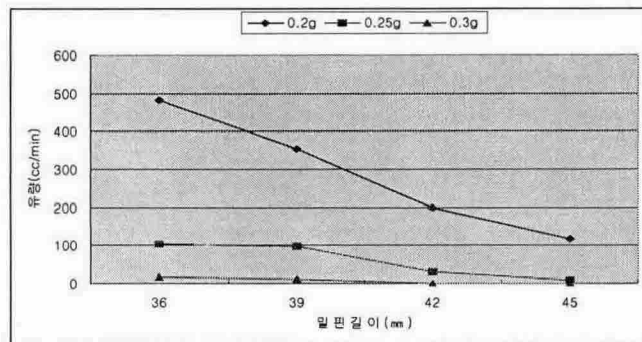


Fig 9. The fluid change which it follows in the powder quantity and ejector pin length change

4.3.2 프레스 압력 변화에 따른 유량 측정

프레스 성형 압력 변화에 따른 유량 변화는 Fig.10에 나타냈으며, 예상한 바와 같이 성형압이 증가 할수록 유량은 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 분말량의 변화때와 같이 급격한 변화는 관찰할 수 없었다. 이것은 유량의 조절 팩트로서는 분말의 양 조절이 훨씬 큰 효과를 나타냄을 보여주고 있다. Fig.10에서와 같이 분말량이 0.25g일 때 97(cc/min)에서 195(cc/min)까지 모두 최적화 유량 범위 안에 들었다.

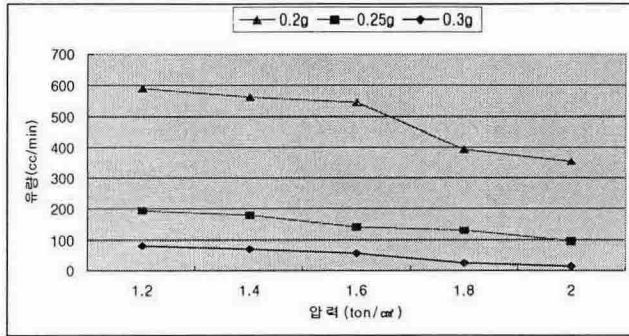


Fig 10. Compacting pressure change and length change

4.3.3 밀도 변화에 따른 유량 측정 결과

밀도 변화에 따른 유량 변화는 Fig.11에 나타났으며, 밀도가 4.52g/cm³일 경우 유량이 195cc/min, 5.01g/cm³일 경우에 97cc/min로 나타났다. 즉 밀도가 약 4.5g/cm³에서 5.0g/cm³일 경우 유량 최적화가 되는 것으로 나타났다. 이 도표에서 알 수 있듯이 밀도가 유량의 변화에 기여 하지만 앞에서 살펴 보았듯이 전체 분말의 양이 유량의 변화에 더 크게 작용함을 알 수 있다.

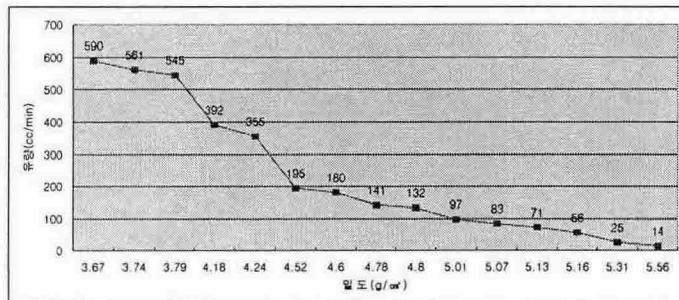


Fig 11. Relationship of sintering density and fluid

5. 결론

본 연구에서 안전밸브의 수직봉 유량 최적화에 관해서 분말량, 밀핀 길이, 프레스 압력, 밀도 등의 변화에 따른 유량 최적화에 접근 할 수 있도록 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 분말량이 0.2g일 경우 밀핀 길이가 42mm에서 45mm일 때, 분말량 0.25g일 경우 밀핀 길이가 36mm에서 42mm일 때 유량 최적화를 나타냈다.
2. 밀핀 길이 39mm, 분말량 0.25g 일 때 프레스 압력이 1.2ton/cm²에서 2ton/cm²까지 모든 압력에서 유량 최적화를 나타냈다.

3. 밀도는 약 4.5g/cm³에서 5.0g/cm³일 때 유량 최적화가 되는 것으로 나타났다.

유량 최적화에 접근하기 위해서는 분말량 또는 밀핀 길이의 프레스 압력 등의 변화로 가능하다는 것으로 나타났다. 또한 유량 최적화에 직접적인 영향은 밀도라는 것으로 나타났다.

본 연구에서 실험한 안전밸브의 유량 최적화에 관한 연구내용은 수직봉의 밀도가 약 4.5(g/cm³)에서 5.0(g/cm³)일 경우에 유량 최적화가 되는 것으로 나타났다. 즉, 원하는 유량을 흘려 보내기 위해서는 분말량과 밀핀 길이를 조절하여 유량 최적화 일때의 밀도 값으로 성형 및 소결한다면, 소결금속을 사용하여 최적화 유량을 얻을 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 고압가스안전관리법시행규칙 별표10. 거목 산업자원부령 제 73호, 1999
2. 赤塚廣隆, 액화석유가스용 가스방출방지형 용기용 밸브의 개발과 그 성능에 관한 검토, 일본 고압가스보안협회, Vol.26 No.11 42-49, 1989
3. 박선만, 가정용 가스안전 밸브, 대한민국 특허청 등록특허공보 등록번호 10-0191874, 1988
4. 박선만의, 액화 석유가스 용기용 밸브, 대한민국 특허청 등록실용신안 공보등록 제 0290742호, 2002
5. 박선만의, 액화 석유가스 용기용 밸브, 대한민국 특허청 등록실용신안 공보등록 제 0300560호, 2002
6. 이진, 과류 차단형 액화 석유가스 용기용 밸브의 차단 성능 시험에 관한 실험적 연구, 공기조화 냉동공학회지 4권, 1992
7. 임종국의, LP가스용기 과류차단밸브 개발, 한국산업안전학회 추계학술발표대회, 2002
8. 임종국의, LP가스 용기용 안전밸브개발에 관한 연구, 한국가스학회 춘계학술발표회 논문집, 2003