

폭발방지 부탄캔에 대한 안전성평가 연구

강승규* · 오정석* · 최경석* · 김지윤* · 장준혁**
한국가스안전공사 가스안전연구원*(주)화산**

A Study of Safety Evaluation of Gas Cylinder Equipped for Portable Gas Range with Relief Valve for Prevention of Explosion

Seung-Kyu Kang[†], Jeong-Seok Oh, Kyung-Suhk Choi^{*}, Ji-Yoon Kim^{*}, Joon-Hyuk Jang^{**}
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation^{*}, Hwasan Corporation, Ltd.^{**}

1. 서론

이동식 부탄연소기는 생활수준의 향상으로 소비패턴이 바뀌면서 식생활과 레저산업의 발달과 더불어 1985년 이후 국내생산이 본격화되어, 가정 또는 음식점에서 필수 조리기구로 자리 잡고 있다. 그러나 사용이 편리하고 용이한 반면, 사용하던 중 용기가 과열하여 가스가 폭발하는 가스 사고가 빈번히 발생하고 있다¹⁾. 사고원인은 이동식 부탄연소기의 화기가 용기에 접촉되어 용기의 압력이 상승되면서 압력을 견디지 못한 용기가 과열된 것으로 사용자의 취급부주의와 제품의 안전성 미흡이 사고원인으로 볼 수 있다. 이러한 부탄캔의 폭발을 방지하기 위하여 (주)화산에서는 1회용 부탄캔에 스프링식 안전장치를 장착한 폭발방지 부탄캔을 개발하여, 용기 내압 상승 시 가스를 분출함으로써 용기 내압을 감압시킬 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 개발된 폭발방지 장치를 부착한 1회용 부탄캔의 안전성평가시험을 통하여 제품의 안전성 여부를 평가하며, 또한 본 연구결과를 바탕으로 폭발방지용 1회용 부탄캔의 기술기준제정에 필요한 데이터를 구축하고, 제품성능을 평가하기 위한 기술력을 확보하고자 한다.

2. 안전장치개요

개발제품은 이동식부탄연소기용 용기에 장착하여 용기내부에 과압이 발생할 경우 밸브가 열리면서 용기 내압의 상승을 방지하도록 설계되었다. 개발제품에 대한 부품 구성도를 Fig.1에 도시하였다. 기존의 밸브 하우징에 안전변을 추가하였으며, T-가스켓(T-GASKET), 안전스프링(SAFETY SPRING), 스프링 지지대(SPRING STOPPER) 그리고 S-가스켓(S-GASKET)으로 안전밸브는 구성되어 있다. 기존의 스템 밸브와 동일한 유로상에 안전변이 설치되어 용기내부에 과압이 발생할 경우, 용기 변형압력(1.3MPa) 이전인 1.1 ± 0.1 MPa에서 안전스프링이 작동하여 T-가스켓이 열리고 S-가스켓을 통과하여 안전밸브의 오리피스(SAFETY HOLE)로 가스가 분출되도록 설계되었다.

3. 안전성평가 시험

3.1 분출가스의 안전성평가

3.1.1 성능기준

- 연소기 이격거리 시험: 실내에서 하나의 연소기는 계속 연소 중이고, 100/80cm 이격된 다른 한 연소기의 용기 안전밸브가 작동하여 10분 동안 가스가 분출될 때 분출가스에 의한 화재 및 폭발이 없을 것.
- 점화원 이격거리 시험: 실내에서 연소기 작동 중

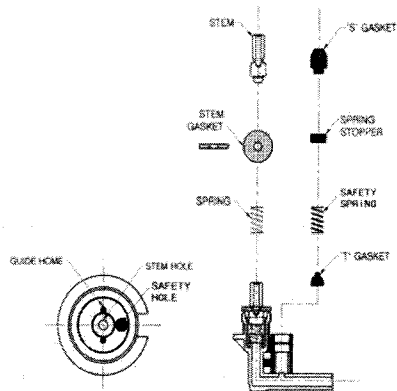


Fig. 1 Configuration of relief valve for prevention of explosion

용기 안전밸브가 작동하여 10분 동안 가스가 분출될 때, 30/20cm 이격된 거리의 점화원(촛불)에 의한 화재 및 폭발이 없을 것.

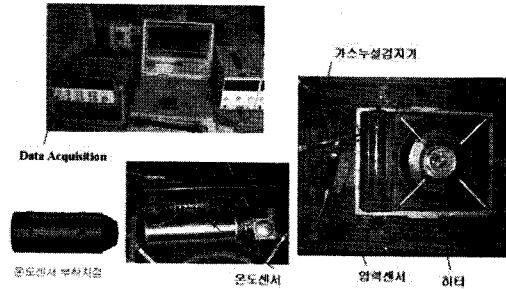


Fig. 2 Experimental apparatus for safety on released gas from relief valve

산하여 사용한다. 캔의 상단은 기상부에 해당하고 측면은 액상부에 해당한다. 압력 및 온도센서가 부착된 이동식부탄연소기를 히터 위에 올려놓고, 연소기와 히터를 약 20mm 이격 시킨 상태에서 히터를 가열하여 캔의 내압을 상승시킨다. 국내 이동식부탄연소기의 삼발이 높이가 약 30mm 이상인 것을 감안하여, 이보다 극한 조건인 20mm 이격거리에서 실험을 수행하였다. 히터 온도가 상승하면서 복사열에 의해 캔의 온도 및 내압이 상승하게 되고, 온도 및 압력센서로부터의 신호를 데이터 분석 장치에서 받아 PC에 저장하고 측정값을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다. 그리고 부탄가스가 누출되는 시점을 확인하기 위하여 가스누출검지기를 용기밸브 근처에 설치하였다.

3.1.3 시험결과 및 검토

폭발방지 부탄캔에 장착된 안전밸브가 실제와 같은 사용조건에서 이상 없이 작동하는 지, 그리고 사용 중 안전밸브에서 분출된 가스에 의해서 화재 및 폭발에 대한 안전성을 평가하기 위하여, 20개의 시료를 시험하였다. Fig.3은 유로차단식 연소기에 부탄캔을 장착하고, 히터 온도상승에 따른 캔의 온도 및 압력변화 곡선을 도시하였다. 유로차단식의 가버너 안전장치는 캔 온도 56~60℃, 용기 내압 5.7~5.9kg/cm²에서 작동하였고, 용기 안전밸브는 캔 온도 77~81℃, 내압 10.4~11.4kg/cm²에서 작동하였다. REF의 첫 번째 시그널은 가버너 안전장치의 작동시점을 의미하고, 두 번째 시그널은 용기 안전밸브 작동 시점을 표시한다. 온도 및 압력 상승곡선을 보면, 가버너 안전장치가 작동한 이후에 온도 및 압력이 급격히 상승하는 것을 확인 할 수 있다.

유로가 차단되면 더 이상 버너가 연소되지 않는 상황이므로, 본 시험에서도 유로차단 시점에서 히터를 OFF시켰으며, 히터가 꺼진 상황에서도 350~400℃까지 뜨거워진 히터의 복사열에 의하여 캔의 온도 및 압력은 계속 상승하게 된다. 유로 차단식에 연소기에서 안전밸브는 캔 온도 77~8

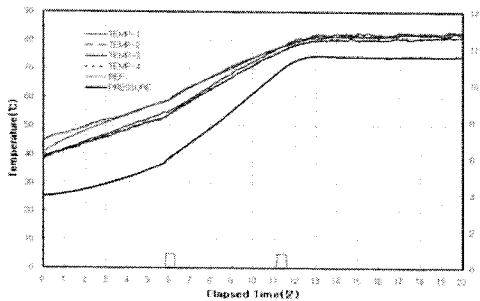


Fig. 3 Temperature and pressure rising curve for flow passage cutoff system

3.1.2 시험방법 및 절차

현재 사용되고 있는 이동식부탄연소기는 이동식부탄연소기의 제조기준에 의해 용기 내압이 5~7kg/cm²에 이르면 가버너의 안전장치가 작동하여 가스가 공급되지 않도록 하고 있다²⁾. 이때 사용되는 가버너 안전장치는 가스의 통로를 자동으로 닫히게 하는 유로차단식과 용기가 가버너에서 이탈되도록 하는 용기이탈식이 있다. 본 시험은 두 가지 형식의 연소기에 부탄캔을 장착하여 실험을 수행한다. 부탄캔 표면에 온도센서는 Fig.2에서 보듯이 4군데 부착하여 4지점의 평균온도를 계

측면은 액상부에 해당한다. 압력 및 온도센서가 부착된 이동식부탄연소기를 히터 위에 올려놓고, 연소기와 히터를 약 20mm 이격 시킨 상태에서 히터를 가열하여 캔의 내압을 상승시킨다. 국내 이동식부탄연소기의 삼발이 높이가 약 30mm 이상인 것을 감안하여, 이보다 극한 조건인 20mm 이격거리에서 실험을 수행하였다. 히터 온도가 상승하면서 복사열에 의해 캔의 온도 및 내압이 상승하게 되고, 온도 및 압력센서로부터의 신호를 데이터 분석 장치에서 받아 PC에 저장하고 측정값을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 하였다. 그리고 부탄가스가 누출되는 시점을 확인하기 위하여 가스누출검지기를 용기밸브 근처에 설치하였다.

폭발방지 부탄캔에 장착된 안전밸브가 실제와 같은 사용조건에서 이상 없이 작동하는 지, 그리고 사용 중 안전밸브에서 분출된 가스에 의해서 화재 및 폭발에 대한 안전성을 평가하기 위하여, 20개의 시료를 시험하였다. Fig.3은 유로차단식 연소기에 부탄캔을 장착하고, 히터 온도상승에 따른 캔의 온도 및 압력변화 곡선을 도시하였다. 유로차단식의 가버너 안전장치는 캔 온도 56~60℃, 용기 내압 5.7~5.9kg/cm²에서 작동하였고, 용기 안전밸브는 캔 온도 77~81℃, 내압 10.4~11.4kg/cm²에서 작동하였다. REF의 첫 번째 시그널은 가버너 안전장치의 작동시점을 의미하고, 두 번째 시그널은 용기 안전밸브 작동 시점을 표시한다. 온도 및 압력 상승곡선을 보면, 가버너 안전장치가 작동한 이후에 온도 및 압력이 급격히 상승하는 것을 확인 할 수 있다.

유로가 차단되면 더 이상 버너가 연소되지 않는 상황이므로, 본 시험에서도 유로차단 시점에서 히터를 OFF시켰으며, 히터가 꺼진 상황에서도 350~400℃까지 뜨거워진 히터의 복사열에 의하여 캔의 온도 및 압력은 계속 상승하게 된다. 유로 차단식에 연소기에서 안전밸브는 캔 온도 77~8

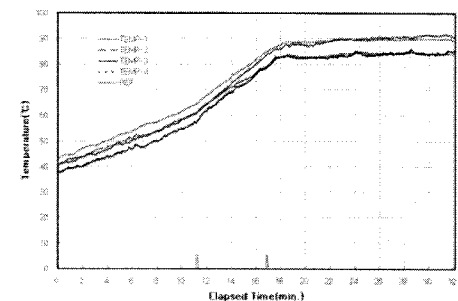


Fig. 4 Temperature rising curve for cylinder separation system

1℃, 내압 10.4~11.4kg/cm²에서 정상작동 하였다. 용기 안전밸브가 작동하여 가스가 분출된 상태로 5~10분을 방치하고, 100/80cm 이격된 거리에 다른 연소기를 점화시켜놓은 상태로 방치하였다. 그리고 연소기의 방향을 회전하여 가스 누출구의 방향을 연소되고 있는 연소기 쪽으로 향하도록 하였다. 이격거리 및 연소기 방향의 변화에도 화재 및 폭발은 발생하지 않았다. Fig.4는 용기 이탈식 연소기에 대한 시험 결과를 그래프로 도시하였다. 용기 이탈식의 경우 압력측정이 곤란하여 온도상승 곡선만을 표시하였다. 가버너 안전장치는 켄 온도 53~61℃에서 작동하였고, 용기 안전밸브는 77~83℃에서 정상 작동하였다. 그리고 연소기 이격 거리 및 가스누출 방향에 의한 화재 및 폭발은 발생하지 않았다.

3.1.4 점화원 이격거리 시험결과

실내에서 사용 중 안전밸브가 작동한 상태를 사용자가 인지하지 못한 상황에서 주변의 점화원에 의한 화재 및 폭발가능성을 시험하였다. 가스가 5~10분 동안 지속적으로 누출이 되고, 주변에 30/20cm 이격된 거리에 약 20cm 높이의 양초를 점화원으로 설치하여 실험을 수행하였다. 시험결과는 이격거리 30cm 2회, 20cm 2회를 수행한 결과 화재 및 폭발의 위험한 상황은 발생하지 않았다.

3.2 안전장치의 신뢰성평가 시험

3.2.1 성능기준

- 안전장치의 분출개시 압력

- 상한: 파열압력(1.5MPa)의 80%

- 하한: 변형압력(1.3MPa)의 80%

- 안전장치의 분출정지 압력

- 파열압력(1.5MPa)의 60% 이상

- 안전밸브가 작동하기 까지 용기를 가열하여 용기의 변형 및 파열이 없을 것.

3.2.2 시험방법 및 절차

Fig.5에 신뢰성평가 시험장치를 나타내었다. 온수조를 이용해 물을 가열하고, 온수안에 부탄캔을 침수시켜 켄 내부의 압력을 안전밸브 작동압력까지 상승시킨다. 부탄캔 내부의 압력을 측정하고, 릴리프밸브를 통해 방출되는 가스를 확인하기 위해 Fig.5의 (B)와 같은 지그를 제작하였다. 안전밸브로부터 누출된 가스는 (C)를 통해 육안으로 확인한다. 온도센서를 온수조 안의 부탄캔 표면에 밀착하여 온도를 측정한다. (C)를 통해 가스누설이 확인되면, 압력 및 온도 게이지를 읽어 안전밸브의 작동 압력 및 온도를 기록한다.

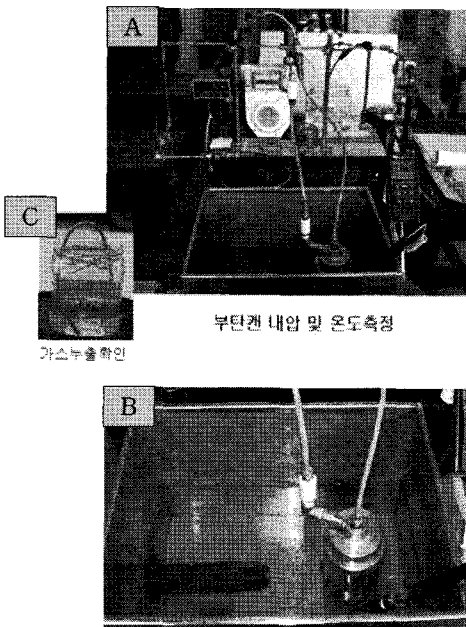
안전밸브의 분출유량을 측정하기위해 실험에 사용할 용기를 시험 전, 후 중량을 측정하고, 밸브 작동개시부터 밸브 닫힘까지의 경과시간을 기록한다.

Fig. 5 Experimental apparatus

용기의 실험 전/후 중량차이를 경과시간으로 나누어, 밸브의 분출유량을 산정한다. 분출유량의 적정성은 3.1절의 분출가스 안전성평가 시험 장비를 이용하여 안전밸브가 적동하기까지 히터를 ON상태로 유지하여 용기를 가열하고 용기내압 및 온도를 측정한다. 그리고 용기의 변형 여부를 확인한다.

3.2.3 시험결과 및 검토

시료 20개에 대하여 신뢰성평가를 실시하였다. 안전밸브는 작동온도 78~83℃, 작동압력 10.5~11.6kg/cm²에서 작동하였고, 이때 안전밸브의 분출유량은 1.71~3.71g/min이다. Fig.6은 실험을 수



행한 20개의 샘플 시료에 대한 안전장치의 작동온도와 작동압력을 도시한 것이다. 안전장치는 약 80℃에서 작동하는 것이 확인되고 있으며, 작동압력은 11.0±1.0kg/cm²범위 안에서 작동하는 것이 확인된다. 개발제품의 설계압력인 11.0±1.0kg/cm²에서 정상 작동하는 것을 확인하였다.

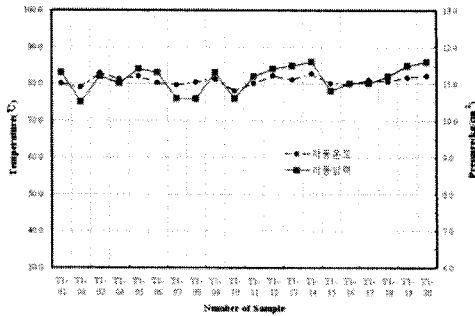


Fig. 6 Operating pressure and temperature

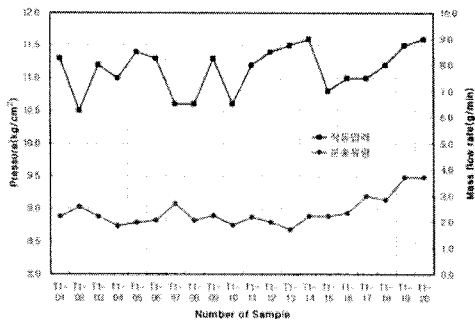


Fig. 7 Operating pressure and mass flow rate

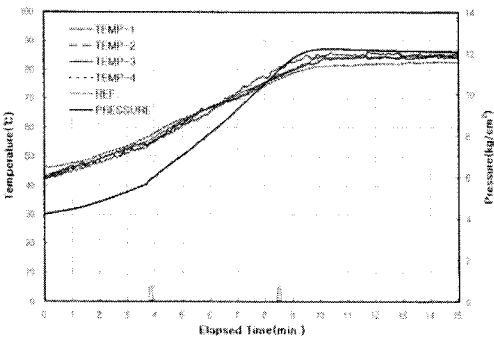


Fig. 8 Temperature and pressure curve at the extreme using condition

20개의 안전밸브가 장착된 캔밸브에 대하여 밸브내구성 시험을 수행한다. 캔밸브를 밸브시험용 지그에 장착하여 공기압을 가하여 안전장치가 작동하도록 한다. 밸브를 통해 누출된 공기를 호스를 이용해 수조에 연결하고 밸브작동 여부를 확인한다. 지그에 장착된 압력계지를 통하여 밸브 작동압력을 체크하고, 지그로 유입되는 공기압을 차단밸브를 이용하여 차단하고, 수조에 공기방울이 더 이상 확인되지 않을 때 까지 기다린 후 밸브 정지압력을 체크한다. 한 개의 밸브에 대하여 이러한 시험을 5회 반복하고 작동압력과 정지압력을 기록한다.

3.3.3 시험결과 및 검토

· KS B 6212 『액화 석유 가스 용기용 밸브』³⁾의 성능기준을 참조한 안전밸브의 작동압력에 대한 상한 및 하한 기준을 적용하면, 작동압력은 1.04MPa(10.4kg/cm²)이상 1.2MPa(12.0kg/cm²)이하에서 작동하여야 한다. 본 개발제품의 시료 20개의 테스트 결과 작동압력은 10.5~11.6kg/cm²로서 성능기준의 상한 및 하한 기준을 만족하는 것으로 확인된다. 정지압력에 대한 평가는 밸브의 내구성 시험에서 수행한다.

Fig.7은 작동압력과 분출유량의 관계를 도시하였다. 분출유량은 작동압력이 높을수록 상승하는 경향을 보이고 있다. 최대분출유량이 확인된 것은 작동압력 11.6kg/cm²에서 3.71g/min이다. 그러나 작동압력과 분출유량이 일관된 경향을 보이지 못하는 것은 온수조를 이용해 물을 가열하는데 있어 밸브 작동개시 이후 물의 온도가 일정하게 유지되지 못하고, 3~5℃의 편차를 보이기 때문으로 생각된다. 향후 분출유량에 대한 정확한 측정을 위해서는 측정시스템의 보완이 필요하다.

Fig.8은 폭발방지 부탄캔에 대한 극한조건 시험결과이다. 극한시험 조건은 가버너 안전장치가 작동한 이후에도 히터를 계속 ON상태로 유지하여 이전 시험에 비해 열원에 의한 복사열을 극대화한 상황이다. 본 실험에서 개발제품은 11.0kg/cm²에서 안전밸브가 작동하였으며, 과도한 복사열에 의해 안전밸브 개방후에도 압력이 상승하였으나, 변형압력(13.0kg/cm²)까지는 도달하지 않았으며, 12.2kg/cm²에서 다시 하강하기 시작하여 캔의 변형 및 파열을 방지하는 것을 확인하였다.

3.3 안전밸브의 내구성 시험

3.3.1 성능기준

- 5회 반복작동 시험을 하여 밸브작동 성능에 이상이 없을 것.

3.3.2 시험방법 및 절차

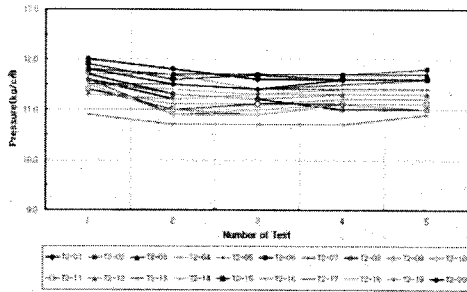


Fig. 9 Valve repeat operating test (operating pressure)

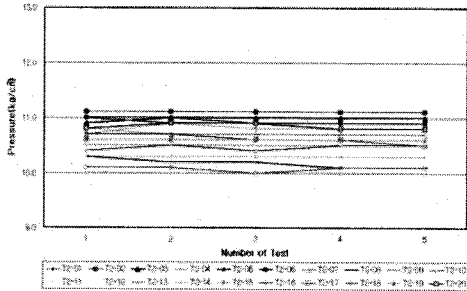


Fig. 10 Valve repeat operating test (closing pressure)

20개의 샘플시료에 대한 반복 작동 시험결과 밸브의 작동압력은 10.7~12.0kg/cm²에서 작동하였다. Fig.9의 작동압력에 대한 그래프를 보면, 모든 시료에서 첫 번째 작동압력이 가장 높게 측정되었고, 이후(2~5회)에서는 안정된 값을 유지하였다. 성능기준에 의하면 작동압력은 1.04MPa(10.4kg/cm²)이상 1.2MPa(12.0kg/cm²)이하에서 작동하여야 한다. 본 시험에 사용된 시료 20개에 대하여는 모두 성능기준을 만족하였다.

작동압력에서 개방된 밸브는 10.0~11.1kg/cm²에서 닫히는 것으로 확인되었다. 정지압력은 작동압력에서 약 1.0kg/cm²가 내려가면, 스프링이 작동하여 밸브가 완전히 닫히는 것으로 확인된다.<Fig.10> 정지압력 성능기준은 0.9MPa(9.0kg/cm²) 이상으로서, 본 개발제품은 성능기준을 충족하는 것으로 확인되었다.

4.4 내열 및 내열충격시험

4.4.1 성능기준

- 내열성시험: 온도 80℃ 상태에서 24시간 방치한 후 상온상습 중에서 3시간 방치한 후 기밀 시험 및 안전장치 작동에 이상이 없을 것.

- 내열충격시험: 80℃에서 1시간, -20℃에서 1시간 방치하는 조작을 10회 반복한 후 상온상습 중에서 3시간 방치한 후 기밀시험 및 안전장치 작동에 이상이 없을 것.

- 내열충격시험: 80℃에서 1시간, -20℃에서 1시간 방치하는 조작을 10회 반복한 후 상온상습 중에서 3시간 방치하여 기밀시험 및 안전장치 작동시험을 실시한다.

4.4.2 시험방법 및 절차

안전장치가 부착된 캔밸브를 환경시험기에 넣고, 내열성 시험을 위한 10개의 밸브는 온도 80℃ 상태에서 24시간 방치한 후 다시 상온에서 3시간 방치하여 밸브 기밀 및 작동시험을 수행한다. 내열 충격시험을 위해서 다른 10개의 밸브를 80℃에서 1시간, -20℃에서 1시간 방치하는 조작을 10회 반복한 후 상온상습 중에서 3시간 방치하여 기밀시험 및 안전장치 작동시험을 실시한다.

4.4.3 시험결과 및 검토

내열성 시험을 거친 후 밸브 작동시험에서 밸브의 작동압력은 10.4~11.8kg/cm²이고, 정지압력은 9.5~10.9kg/cm²이다. 그리고 밸브작동 시험에서 패킹부 누설은 발생하지 않았다. 내열 충격시험 후 밸브작동시험에서는 10.7~11.6kg/cm²에서 안전장치가 작동하였고, 9.7~10.7kg/cm²에서 밸브가 잠기는 것이 확인되었다. <Fig.11~12>에 내열성 및 내열충격성 시험결과를 도시하였다. 개발 제품에 대한 내열 및 내열 충격시험 결과는 밸브 작동 성능기준을 만족하였고, 누설이 발생하지 않는 것이 확인되었다.

4.5 고온환경시험

4.5.1 성능기준

- 고온환경시험: 70℃의 고온상태에서 수평 및 수직으로 5시간 보관 시 가스 누출 및 변형이 발생하지 않을 것.

4.5.2 시험방법 및 절차

가스가 충전된 개발제품을 70℃로 가열된 온수조에 수직으로 세워서 10개를 보관하고, 10개는 눕혀서 보관을 한다. 보관시간을 1/2/3/4/5시간으로 하여 각각의 시간마다 캔을 꺼내어 중량 및 변형 여부를 체크한다. 눕혀서 보관하는 용기에 대하여는 각각의 시간대별로 한개는 밸브유입구가 위쪽으로, 다른 한개는 아래쪽으로 향하도록 고정하여, 밸브유입구가 기상부 및 액상부에 위치하도록 고정한다.

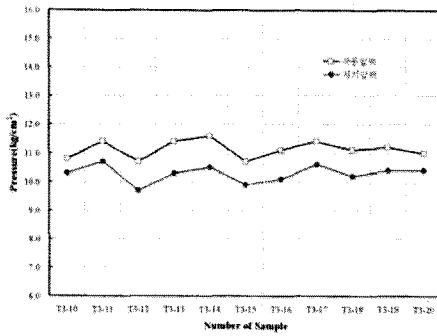


Fig. 11 Resistance to heat impact test

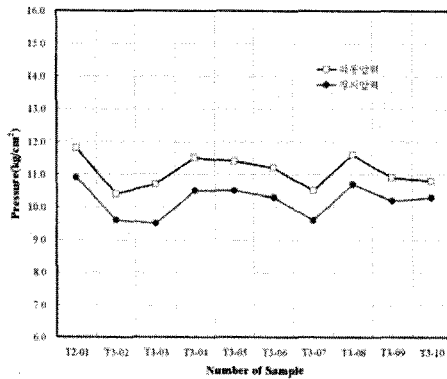


Fig. 12 Resistance to heat test

4.5.3 시험결과 및 검토

안전성평가에 사용된 100개의 시료 중 10개를 샘플취하여 가스성분검사를 실시하였다. 샘플시료에 대한 가스성분검사 결과 프로판 약 5mol%, 부탄 약 95mol%(이소부탄 77%, 노말부탄 18%)의 조성비를 보였다. 가스성분검사 결과는 LPG품질기준 3호(부탄 85mol% 이상)를 만족하고 있다⁴⁾. 20개의 시료를 수직보관과 수평보관으로 10개씩 나누었고, 1/2/3/4/5시간 대별로 각각 2개씩 그리고 안전밸브의 위치를 각각 상, 하로 위치하여 실험을 수행하였다. 시험결과 20개의 부탄캔에서 가스누출 및 용기변형은 발생하지 않았다. 본 개발제품은 70℃의 고온환경에서 안전밸브의 작동에 의한 가스누출 및 내압상승에 의한 용기변형이 일어나지 않는 것이 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는 (주)화산에서 개발한 안전장치가 부착된 1회용 부탄캔에 대한 안전성확인 시험과 개발제품에 대한 검사기준(안)을 제시하였다. 본 안전성평가 연구를 통하여 얻은 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

Table 1 폭발방지 부탄캔 안전성평가 시험결과 요약

시험명		평가내용	시험결과
완제품 시료	안전장치의 신뢰성	안전장치 작동 시 설정압력에 대한 균일성 및 대표성	작동압력: 10.5~11.6kg/cm ² (설정압력 11±1.0kg/cm ² 이내에서 정상 작동)
	분출가스에 대한 안전성	제한된 공간(실내)에서 분출된 가스의 확산에 의한 가스폭발에 대한 안전성	- 연소기 100/80cm 이격거리에서 이상 없음. - 점화원 30/20cm 이격거리에서 이상 없음.
	고온환경 시험	고온상태에서 장시간 노출되었을 때 가스누출 및 폭발 안전성	70℃에서 1/2/3/4/5시간 수직/수평보관: 이상 없음.
부품 시료	안전밸브의 내구성	릴리프 밸브의 반복작동에 따른 내구성시험	밸브 5회 반복작동시험: 이상 없음.
	내열성 및 내열충격 시험	과대불관 등의 사용으로 부탄캔이 고온에 노출될 경우 안전장치 및 패킹류의 화염으로부터 안전성	내열 및 내열충격시험 후 밸브작동 이상 없음.

6. 참고문헌

- 1) 2006가스사고연감, 한국가스안전공사, 2007.
- 2) KGS A406-2003 “이동식부탄연소기용 가버너 성능인증 기준”, 한국가스안전공사, 2003.
- 3) 한국산업규격 KS B 6212 “액화석유가스 용기용 밸브“, 2006.
- 4) 산업자원부고시 제2005-28호 별표1 “액화석유가스 품질기준”