

LPG 자동차 충전기 세이프티커플링의 신뢰성향상 연구

류근준, 김현기, 권정락, 조지환, 박희수*

한국가스안전공사 가스안전시험연구원

국민대학교 신소재 공학부*

Reliability enhancement of safety coupling for LPG car filler in LPG station

Geun-Jun Lyu · Hyun-Gi Kim · Jung-Rock Kwon · Ji-Hwan Cho

Hwa-soo Park*

Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation

*School of Advanced Materials Engineering, Kookmin University

요약

LPG차량이 연료충전중에 운전자 부주의로 오발진하는 경우 설비파손 방지를 위해 자동차와 디스펜서의 설치한 세이프티커플링의 주요 사고원인은 안전장치인 커플링이 분리되지 않아 발생하고 있으며, 사고로 설비파손으로 인한 부수적인 위험도가 크다. 따라서 본 고에서는 세이프티커플링이 분리되지 않는 원인을 파악하기 위하여 노후시료의 분리하중, 열화물질의 분석 및 기구적 원인을 분석하였으며, 특히 커플링이 각도에 의해 분리가 되지 않는 조건을 각 부정합 손상으로 정의하고 안전장치로서 제 기능을 수행할 수 있는 방법에 대하여 고찰하였다.

1. 서론

최근 LPG를 연료로 사용하는 자동차가 전체 등록차량의 11%를 상회하는 등 높은 증가율에 따라 자동차 및 용기충전을 하는 LPG충전소도 증가추세에 있으며 잠재적인 위험요소도 증가하게 된다. 또한 LPG 충전소내에는 사고예방을 위해 여러 안전장치들이 있으며, 충전 중 운전자에 의한 차량의 돌발적인 출발로 인한 사고를 예방하기 위하여 세이프티커플링(Safety Coupling)이 설치되어 있다. LPG 충전소에서 차량의 오발진으로 인한 사고사례는 충전소 자체적으로 해결하는 경우가 많아 사고로 인지되지 않는 경우가 많으며, 1998년도 익산 LPG충전소사고에서 경험했듯이 세이프티커플링과 관련된 사고는 세이프티커플링에 의한 직접적 피해보다는 방치 시 더 큰 재해로 발전할 가능성이 높은 것을 알 수 있다.

따라서 LPG충전소에서 차량오발진시에 세이프티커플링이 작동하지 않는 원인을 분석하고, 고장없이 높은 신뢰성을 갖는 안전장치로 유지할 수 있는 방안을 강구하기 위해 현장 사례조사와 고장을 일으킬 수 있는 여러 모드 등을 분석하고자 하였다.

2. 세이프티커플링(Safety Coupling)의 사고분석

세이프티커플링 관련 사고는 <그림 1>과 같이 최근 12년간(1990년~2001년) LPG 충전소 사고 총41건 중7건으로 나타났으며, 주요 사고유형은 충전호스의 충전커플링(가스자동주입기)가 분리되었는지 확인하지 않고 출발하고, 오발진으로 인해 안전장치인 세이프티커플링이 분리되지 않아, 다른 시설물에 영향을 미쳐 가스누출 및 화재로 연결되는 사고가 발생한 것으로 나타났다.

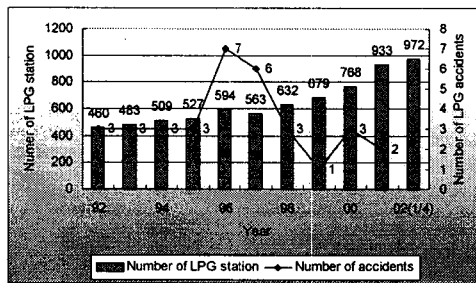
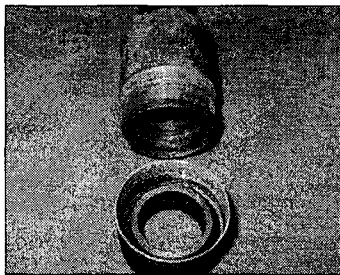


Fig. 1 Comparison of number of accidents with domestic LPG Station

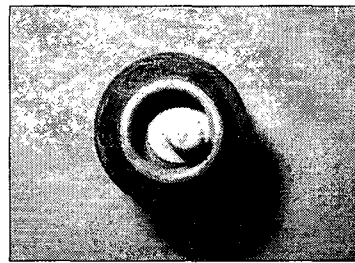
3. 실태조사 및 분석 실험

3.1 열화 세이프티커플링의 실태조사

세이프티커플링과 같은 안전장치는 설치가 오래되고 환경이 열악할수록 열화 현상이 가속되므로, 장기간 충전소에 설치되어 사용된 노후커플링을 임의채취 하였으며, 두드러진 현상으로 세이프티커플링의 내·외부의 부식 및 기구부품 손상 등이 나타났다.<그림 2> 특히 내부의 부식은 방청윤활 작용제인 그리스(grease)가 오랜기간 교체없이 사용되어 열화를 진행시킨 것으로 판단된다. 따라서 노후 커플링 내부 잔류물질(그리스)을 SEM(Scanning Emission Micorscopy)을 이용하여 표면의 열화상태를 관찰한 결과 기유의 이유현상 및 불순물이 증가함을 알 수 있었다.<그림 3>

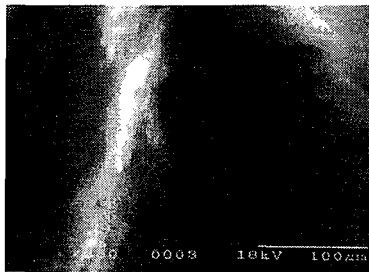


a) Corrosive damage

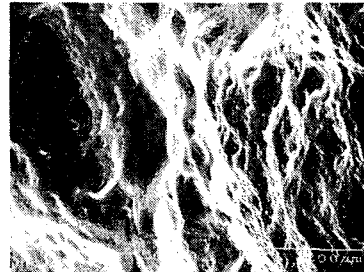


b) Eccentric damage

Fig. 2 Schematic of deteriorated safety coupling



a) 0.5 year ($\times 350$)



a) 2 year ($\times 200$)

Fig. 3 Comparison of deteriorated Lubricants in Safety Coupling

3.2 분리특성 실험 및 기구적 원인분석

3.2.1. 분리 및 내압특성실험

세이프티커플링은 인장하중 490N(50kgf) 혹은 내압력 2647.8kPa(27kg/cm²) 이상에서 분리가 되도록 규정되어 있으며, 제조사별로 분리 및 내압시험의 특성을 제조사별로 60회 분리결합을 반복 실험한 결과, 분리하중의 감소 현상이 나타나지 않았으며, 분리하중은 실제 기준값보다 높은 최고 69kgf, 내압력은 최고 34kgf/cm²에서 분리가 이루어졌다. 또한 세이프티커플링의 분리하중과 내압력과의 관계를 가지고 열화수명을 판단할 수 있는 고유 특성곡선(characteristic curve)을 추출하였다.

3.2.2 분리속도에 따른 분리특성 실험

세이프티커플링은 분리기구는 <그림 4>에 나타내고 있으며, 암커플러의 볼베어링과 수커플러의 목(neck)부분이 교차하는 순간 분리하중이 결정된다. 이때 분리하중의 증가 및 감소를 나타내는 독특한 곡선을 나타내고 있으며, 분리속도의 변화에 따라 분리특성이 변함을 알 수 있었다. 분리속도를 증가시켜 70mm/min의 속도에서는 분리특성 피크가 사라짐을 알 수 있었으며, 시험속도에 따른 분리특성을 잘 나타내고 있다.

3.2.3 분리각도에 의한 간섭현상 분석

세이프티커플링은 충전호스의 사이에 바닥에 닿지 않도록 연결되어 있으며, 차량의 이동방향에 따라서 놓이는 위치가 바뀌게 된다. 이때 충전호스는 유연하지만(flexible) 그 사이에 설치된 세이프티커플링은 구부러지지 않는(non-flexible) 특성을 나타내고 있다.

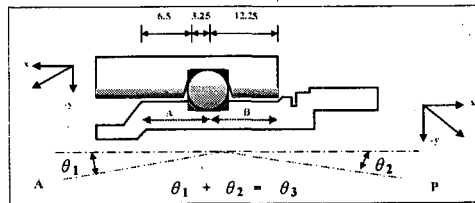


Fig. 4 Schematic diagram of Combination of Plug and Adaptor

이때 세이프티커플링은 <그림 4>와 같이 어댑터와 플러그의 양측의 기구사이에 공차역을 가지고 수평상태로 분리되도록 설계되어있으나, Cr도금이나 열처리 등으로 틈새가 0.1mm 이하로 되는 경우도 있다 따라서 커플링은 주변의 구속조건에 의해 일정한 각이 형성되면 수평의 조건을 이루지 못하게 되는데, 이때 플러그의 목(neck)부위를 중심으로 각이 형성되면 이 안전장치에 간섭현상(interference)이 생겨 분리에 저항이 생기게 된다. 이러한 간섭의 영향을 받아 세이프티커플링이 분리상태가 저하하는 현상을 각 부정합 손상(Angular Misalignment Failure, AMF)라고 정의하였다. 따라서 분리조건에서 간섭이 생기지 않도록 수평을 유지하는 것이 중요하다고 사료된다.

3.2.4 분리각도에 따른 분리특성실험

세이프티커플링이 수평의 조건이 되지 않는 조건에서 일정각도에 의한 간섭현상으로 분리강도에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 각도지그를 이용한 분리각도별 시험결과를 <Table. 1>에 나타내었다. 일정한 분리각을 가정하였을 때 각도가 커질수록 분리속도가 빠를수록 분리하중이 증가하는 현상을 나타내었다.

Table 1 Maximum separation load according to angle-velocity

Angle(deg)		15	30	45
분리여부		S	S	N.S
분리하중 (kgf)	V ₁	413	444	917
	V ₂	511	550	-

* S: separated N.S: not separated

* V₁: 5(mm/min) V₂: 70(mm/min)

3.2.5 분리각도에 따른 분리특성 수치해석

세이프티커플링의 간섭(interference)현상으로 분리각도에 따라 크기가 결정되며 플러그 및 어댑터에 인가된 응력이 해소되기 위해서는 부품양측의 상당한 변형에너지가 필요하게 되며 이 변형에너지는 충전호스와 설비의 취약한 부위에 파손을 가져오게 된다. 각도에 따라 세이프티커플링에 인가되는 응력 및 변형양상을 파악하기 위하여 유한요소해석(Finite Element Metho) 상용코드인 ANSYS ver 6.1을 이용하여 수치해석을 수행하였다.

4. 결 론

LPG 충전소에서 자동차의 오발진에 의한 사고를 방지하기 위한 안전장치인 세이프티커플링은 내부 잔류물질의 열화로 분리하중의 큰 변화는 없었으나 윤활물질의 이유현상이 두드러지게 나타났다. 또한 커플링의 미분리 조건을 분석하고 기구의 구속조건에 의해 생기는 각도의 영향으로 분리되지 않는 현상을 각부정합 손상(Angular Misalignment Failure)으로 정의하였다. 또한 각도 뿐만아니라 속도도 주요한 변수로 작용함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한국가스안전공사, “가스사고 연감”, 2002
2. 한국가스안전공사, “고압가스 통계”, 2001
3. 한국가스안전공사, “세이프티 커플링 기준(KGS A007-2001)”, 2001
4. 한국가스안전공사, “가스안전지”, 1999. 5/6, pp 10~31
5. www.shell.co.kr