

LP가스 용기의 부식 및 가스누출 원인 분석

최송천, 조영도, 김지윤
한국가스안전공사 연구개발실

Analysis for Cause of Corrosion and Gas Leakage on LPG Cylinder

S. C. Choi, Y. D. Jo, J. Y. Kim
Korea Gas Safety Corporation R&D Division

1. 서론

경제성장과 더불어 환경규제로 인한 청정에너지 사용이 급속히 증가되고, LP가스 자동차 수요의 증가로 LP가스의 사용량이 급속히 증가할 것으로 예상된다.

LP가스 용기의 제품불량에 의한 가스 사고를 형태별로 구분하여 보면 누출이 가장 많이 발생하였는데 그 주요원인은 용기 하부경판 및 넥크링 용접부 부식에 따른 핀홀에 의한 누출이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 LP가스 사고현황의 통계적 분석과 LP가스 용기의 부식 및 용접부의 경도측정을 통하여 2부구조에서의 열처리 조건의 문제점을 제시하였으며, 용접부 누출원인을 분석하여 3부구조 용기의 T부위 터짐 현상에 의한 대책안을 제시하여, 품질검사 방법에 근거를 제시하였다. 또한, 현재 사용되고 있는 LP가스 용기 제조 공정중 용접부에서의 분체도장시 도장막의 부착성을 주사전자 현미경으로 살펴보고 그 문제점 및 대책안을 제시하여 LP가스 용기의 안전성 확보와 관련사고예방에도 기여하고자 한다.

2. LP가스 용기의 누출 원인별 통계분석

최근 3년간('97 ~ '99) LP가스 사고는 797건이다. 이중에서 프로판에서 656건으로 82.3%를 점유하고 있고 부탄은 141건으로 17.7%를 차지하고 있다. 특히, 프로판 가스는 LPG 용기(20kg, 50kg)에 의해 요식업소, 공사현장, 소규모 사업장 및 일반 가정에서 사용되고 있으며, 주택 및 요식업소에서의 사고가 각각 58.6%, 16.6%로 가장 높게 나타났다.

다.[1]

그림1은 1995년부터 1999년 9월까지 발생한 LPG용기의 가스누출과 관련된 사고의 원인별 분석통계를 조사한 것으로서, 총 사고 건수는 69건으로 이 중에서 동판 및 경판 용접부에서 핀홀부식에 의한 누출이 54건(78.3%)으로 제일 많이 나타났다. 또한 용기에서의 가스누출로 인해 폭발로 이어진 3급사고는 이 중에서 4건으로 나타났으며, 나머지는 4급으로 분류되었다.[2]

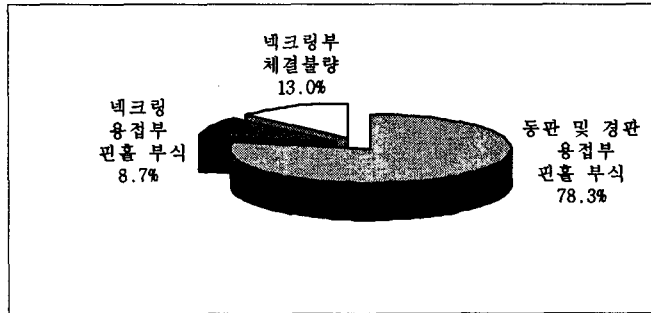


Fig. 1. Classification of gas leakage on LPG cylinder

3. LP가스 용기 부식 사례 분석

LPG 용기는 옥외의 노출지역에 설치되므로 항상 부식문제가 대두된다. 특히 용기 하부는 수분에 접촉하거나 습한 분위기에 놓여 있는 경우가 많기 때문에 부식 문제가 심각하다.



Fig. 2. Severe corrosion on bottom view of LPG cylinder

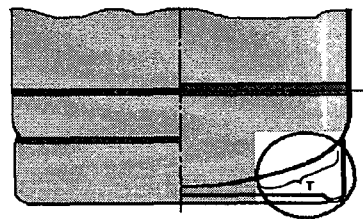


Fig. 3. Corrosion Area on bottom of LPG cylinder

그림 2 ~ 5는 LPG용기 저면부 및 스킵트부의 부식현황을 보여준다. 그림 2와 3에서 나타낸 바와 같이 T부위는 통기성이 극히 나쁘고 틈부식(crevice corrosion)이 가장 잘 발생하는 지역임을 알 수 있다. 특히 그림 4와 5의 경우 제조 후 10년이 경과한 용기에 대하여 재검사에서 1차 연마후에도 남아있던 스케일을 도장 건조로에서 표면에 열을 가하고 2차 쇼트 연마후 도장 한 것으로서 용기 두께가 부식에 의한 감육으로 최초 약 3mm의 두께가 약 1.3mm까지 감소된 것을 알 수 있었다.

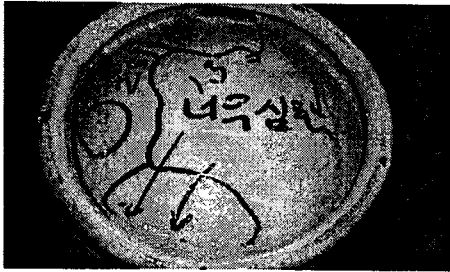


Fig. 4. Bottom view of LPG cylinder after 2nd shot blast cleaning and painting.

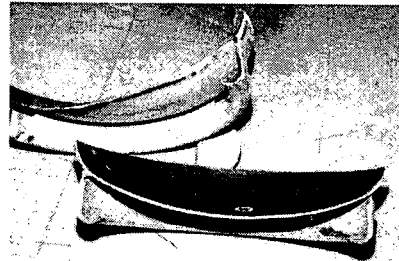


Fig. 5. Cross-sectional thickness of T zone of LPG cylinder showing metal loss due to corrosion.



Fig. 6. The interior corrosion of bottom of LPG cylinder.

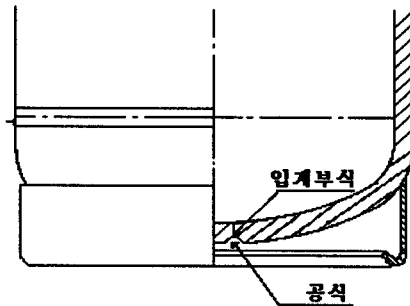


Fig. 7. Localized corrosion on bottom of LPG cylinder.

이러한 용기 저면부의 극심한 부식은 장시간 가스가 소비될 경우, LPG 액온의 저하로 인하여 용기하부에 물방울(응축수)이 발생하기 때문이다.[3] 또한, 항상 습기가 많은 장소에 설치하여 놓은 경우에 T부위가 스커트 안쪽보다 습기가 공기중으로 발산하기 어렵기 때문에 심각한 부식이 초래된다.

그림 6과 7은 재검사시 용기 내부의 건조불량으로 인한 부식 및 균열이 발생한 것을 보여주는 것으로서, 용기 하부의 중앙부에서 집중적으로 부식이 발생하였다. 따라서, 용기 재검사시 내부세정 후 건조에 특히 주의하여야 한다.

용기 세정 후 내부건조시에는 용기내의 물과 이물질을 완전히 제거해야 한다. 이 경우, 배수를 위한 수조 또는 경로에는, 탈취장치 및 기름분리를 위한 조치를 할 필요가 있다. 또한 용기내의 물을 뽑는 장치는, 압축공기등의 주입에 의해 용기내의 물을 완전히 제거하는 것이 바람직하다.

4. 실험방법

LP가스 용기 용접부의 경도측정을 통하여 2부구조에서의 열처리조건의 문제점을 제시하고자 현장에서 사용되고 있는 용접법으로 시편을 제작하였다. 실험시편은 LPG 용기재료로 사용되고 있는 KS D3533 SG295를 사용하였다.[4]

LP가스 용기는 20kg의 3부구조와 2부구조 각각을 제조하였으며, 경판부는 CO₂+Ar를 Shield Gas로 사용한 CO₂ Arc 용접을, 동판부는 SAW(Submerged Arc Welding)을 행하여 용접부의 경도값을 각각 10회 측정하여 평균값을 구하였다.

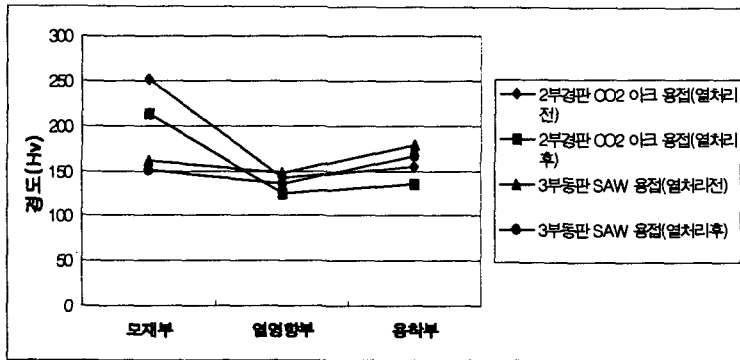


Fig. 8. Hardness test of weldment.

4. 결과 및 고찰

4.1. 용접부 기계적 특성

그림 8에는 LP가스 용기 2부구조의 CO₂ Arc 용접부와 3부구조 동판 SAW 용접부 열처리 전·후의 경도측정 평균값을 나타내었다.

2부 경판의 경우 Deep Drawing에 의한 가공경화(Work Hardening)로 인하여 모재부와 용착부의 경도 차이가 두드러지게 나타났으며, 열처리후에도 모재부에서의 경도는 크게 떨어지지 않았다.

3부구조 동판 용접부의 경우 용접부 및 모재부의 경도차이는 거의 나타나지 않았다. 또한 용접부에서의 경도값은 CO₂ 용접부에서보다 다소 높게 나타났다. 특히 2부구조의 경우, 딥드로잉(Deep Drawing)에 의한 가공경화가 크게 나타남으로서 용접후 열처리에서도 연신율이 검사기준(14.5%)에 못미치는 경우가 대단히 많이 나타나고 있는 현실이다.

현재, LPG 용기의 용접부 열처리 기준은 KS B0883에 따라 다음과 같다.[5]

- 가열 및 냉각속도 $R = 200 \times \frac{25}{t} (\text{°C}/h)$ $t = \text{용착부 두께 (mm)}$

- 가열온도 및 유지시간 (625°C ± 25°C에서) $H = \frac{t}{25} \times 60 (\text{분})$

그러나, 몇차례의 실험결과 이 기준에서 제조된 2부구조의 딥드로잉된 LPG 용기의 경우 특히 SG325 및 SG295재료에서는 연신율이 검사기준인 14.5%의 연신율을 유지하기가 어려웠다. 따라서, 2부 구조의 LP가스 용기는 KS 기준에서 제시되는 열처리 온도(625±25°C)에서의 유지시간을 기준보다 약 30 ~ 40분 정도 연장해서 행한 경우에는 인장강도 및 연신율을 모두 만족시켰다. 예를 들면, 모재두께가 3.2t인 2부구조 용기에서 기준의 열처리 유지시간 식(式)을 적용하면 용착부 두께(t) = 5.2일 때, 유지시간(H) = 12.48분이 된다. 이렇게 열처리 된 용기는 횡방향에서의 연신율이 크게 저하되므로 열처리 온도(625±25°C)에서의 유지시간(H)을 연장할 경우 기준에서 요구하는 연신율을 만족시킬 수 있다. 그러므로 딥드로잉된 2부구조의 LP가스 용기는 열처리 유지시간을 상향 조정할 필요가 있다. 이때, 열처리 유지시간은 기준보다 약 40분 이상을 초과하지 않도록 하는 것이 좋다. 그렇지 않으면 재료의 연화로 인하여 인장강도 값이 기준에 미치지 못하는 경우가 가끔 발생하기 때문이다.

4.2 용접부 가스 누출 원인

용접부에서의 누출에 대한 최근사례를 조사한 결과 그림 9와 같이 3부구조의 T부위에서의 용접부 터짐현상에 의해서 용접부 핀홀 및 누출이 발생하였으며, 현장용접에서의 그 대책안으로 3부구조의 동판 끝단부위의 가용접에 의해 T부위 터짐현상은 개선할 수 있었다.

4.3 용접부 분체 도장막 부착성

그림 10에서 보여지는 바와 같이 현재의 일반적인 공정에서 도장된 용기의 용접부에서의 도장막은 쇼트 처리후의 잔존하는 용접부에서의 기름과 분진에 의해 분체도료가 용기

표면에 완전히 부착되지 않는 경우가 많다. 따라서, 쇼트후에 용접부에 대하여 면(형집)으로 세척하고 간단한 숓프라이머(shop primer)를 처리를 한 다음 도장한 경우에는 도장막의 부착력이 크게 개선된 것을 알 수 있었다.

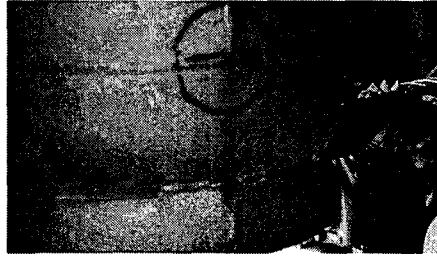


Fig 9. Tearing on weldment of 3-piece LPG cylinder.

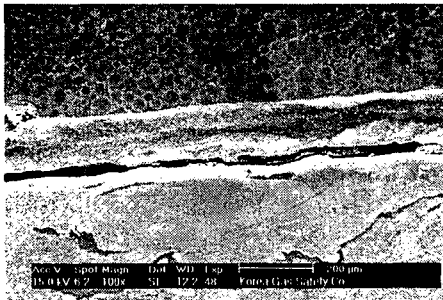


Fig. 10. SEM photograph of a cross section of coating layer by electrostatic powder spray painting showing poor adhesion.

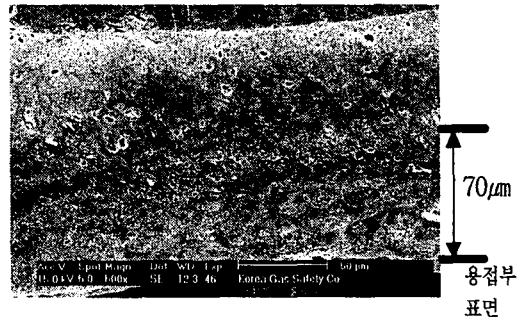


Fig. 11. SEM photograph of a cross section of an electrostatic powder spray painting showing voids in film.

또한, 그림 11에서는 분체도장을 행한 도장막의 단면을 주사전자현미경으로 관찰한 것으로서, 도막두께가 약 $70\mu\text{m}$ 이상의 부위에서 집중적으로 기공(voids)이 발견되는 것을 알 수 있다. 이것은 도막이 일정두께(약 $70\mu\text{m}$) 이상으로 두꺼워지면 정전도착성이 떨어짐으로 인해서 분체도료의 부착효율이 저하된 결과로 사료된다. 이것은 만약 도막이 어떠한 충격에 의해 박리되는 경우, 하지의 안정된 도막까지 함께 박리되는 악영향을 미칠 수도 있다는 점에서 특히 주의해야 한다.

따라서, 현장에서 행하는 분체도장의 경우 70 μm 이상의 두꺼운 도장을 행하게 되면 도료의 손실뿐만 아니라 도막의 안정성에도 나쁜 영향을 미칠 수가 있다는 것을 보여주는 한 예이다. 그러므로 분체도장은 약 70 μm 의 두께로 행하는 것이 도막의 평활화(Lavelling)와 부착력 측면에서 바람직하리라 사료된다.

5. 결론

LP가스 용기에서의 가스 누출 사고 사례를 통하여 용기의 부식 및 누출원인을 분석하고 용기의 제품불량에 의한 가스누출을 방지하기 위한 대책안을 제시하면 다음과 같다.

- (1) 1995년부터 1999년 9월까지 발생한 LP가스 용기의 가스누출과 관련된 사고의 원인 별 분석통계를 조사한 결과, 총 사고 건수는 69건으로 이 중에서 동판 및 경판 용접부에서 핀홀부식에 의한 누출이 54건(78.3%)으로 제일 많이 나타났다.
- (2) LP가스 용기 저면부의 극심한 부식은 장시간 가스가 소비될 경우, LP가스 액은의 저하로 인하여 용기하부에 물방울(응축수)이 발생하기 때문이다. 또한, 항상 습기가 많은 장소에 설치되어 있으므로 인해 저면부에서 극심한 국부부식이 발생함을 알 수 있었으며, 부식에 의한 두께감육이 현저히 나타났다.
- (3) 용기 내부의 건조불량으로 인한 부식 및 균열이 발생하는 것도 알 수 있었으며, 용기 하부의 중앙부에서 집중적으로 부식이 발생하였다. 따라서, 용기 재검사시 내부 세정 후 건조에 특히 주의하여야 한다. 특히, 용기 세정 후 내부건조시에는 용기내의 물과 이물질을 완전히 제거해야 한다.
- (4) 2부 경판의 경우 Deep Drawing에 의한 가공경화(Work Hardening)로 인하여 모재부와 용착부의 경도 차이가 두드러지게 나타났으며, 열처리후에도 모재부에서의 경도는 크게 떨어지지 않았다. 또한, 용접후 열처리에서도 연신율이 검사기준(14.5%)에 못미치는 경우가 대단히 많이 나타났다. 따라서, 열처리 온도(625 \pm 25 $^{\circ}\text{C}$)에서의 유지시간을 기준보다 약 30 ~ 40분 정도 연장해서 행한 경우에는 인장강도 및 연신율을 모두 만족시켰다.
- (5) 용접부에서의 누출에 대한 최근사례를 조사한 결과 3부구조의 T부위에서의 용접부 터짐현상에 의해서 용접부 핀홀 및 누출이 발생하였으며, 현장용접에서의 그 대책으로 3부구조의 동판 끝단부위의 가용접에 의해 T부위 터짐현상은 개선할 수 있었다.
- (6) 용기의 용접부에서의 도장막은 쇼트 처리후의 잔존하는 용접부에서의 기름과 분진에 의해 도장막의 부착성이 크게 떨어졌다. 따라서, 쇼트 연마 후에 용접부에 대하여 면(형집)으로 세척하고 간단한 숏프라이머(shop primer)를 처리를 한 다음 도장한 경우에는 도장막의 부착력이 크게 개선된 것을 알 수 있었다.
- (7) 분체도장의 경우 70 μm 이상의 두꺼운 도장을 행하게 되면 정전도착성이 떨어짐으로

인해서 분체도료의 부착효율이 현저히 저하되어 약 70 μ m이상의 부위에서 집중적으로 기공(voids)이 발견되는 것을 알 수 있었다. 따라서, LPG 용기의 분체도장은 약 70 ~ 80 μ m의 두께 이하로 행하는 것이 도막의 평활화(Levelling)와 부착력 측면에서 바람직하리라 사료된다.

5. 참고문헌

- (1) 한국가스안전공사, 가스사고연감(1999).
- (2) 한국가스안전공사, LPG 용기의 용접부 부식특성 및 내식성 향상에 관한 연구, KGS 99-119 (1999).
- (3) 高壓가스保安協會, “液化石油가스容器·容器檢査所 檢査主任者講習會用 テキスト”, 1988.
- (4) 한국산업규격, “고압가스 용기용 강판 및 강대”, KS D3533, 1992.
- (5) 한국산업규격, “맞대기용접이음의 인장시험방법”, KS B0833, 1995.