

황산저장탱크 바닥판재의 균열 손상 해석에 관한 연구

A study on the failure analysis of bottom plate in sulfuric acid storage tank

조윤진*, 조종춘*, 이보영**, 이종훈***, 김승언***, 조경식***

*미텍엔지니어링, **한국항공대학교, ***한국기계연구원

1. 서론

화학 및 석유화학 Plant의 설비에서 용접부위는 초기 제작시 뿐만 아니라 정기 보수 기간 중에도 비파괴 검사는 필수적으로 수행된다. 또한 용접시공 관리의 중요성에 대한 인식도 점차 개선되어 가고 있으며, 그에 따라 용접기술자의 기량도 매우 향상되고 있다. 그러나 아직도 많은 유화업계에서는 용접부위의 손상사례가 지속적으로 발생되고 있으며, 그중 일부는 용접 시공상의 사소한 실수에 의한 것이다. 국내 B사의 황산저장탱크 바닥판재에서 발생한 손상도 이중의 하나이다. 따라서 본고에서는 국내 B사의 황산저장탱크 바닥판재에서 발생한 균열 손상 해석을 통해 용접시공 관리의 중요성에 대해 기술하고자 하였다.

2. 손상배경 및 운전조건

국내 B사의 화학공장에서 정기보수 기간중 황산저장탱크 바닥판재를 전량 교체 한 후 제반규정에 의한 용접부 비파괴 검사 및 충수시험을 행하여 이상이 없음을 확인후 황산을 저장하던 중 leak가 발생하였다. Leak가 발생된 부위는 각 plate 간의 주 용접선에서 떨어진 모재부였고, 육안검사결과 용접 흔적이 관찰되었다. Plate 재질은 ASTM A131 Gr.C low carbon steel이며 저장온도는 28~32℃, 압력은 대기압, 설계 Code는 API 650에 준한 것이다.

3. 실험방법

Leak 부위를 Fig.1과 같이 Sampling하여 육안검사후 Macro 조직시험을 실시하였고, 광학현미경을 이용하여 표면 및 단면의 미세조직을 관찰하였다. 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 균열 파면 관찰 및 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)를 이용하여 미소성분 분석을 수행하였다.

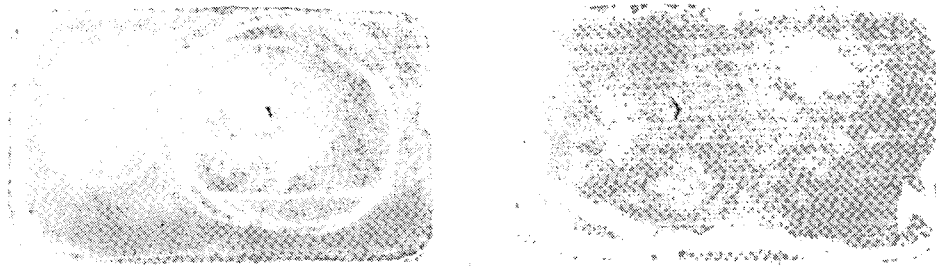


Fig.1 Bottom plate sample taken from leak part of sulfuric acid storage tank

4. 결과 및 고찰

4.1 Macro 조직

Leak 부위 표면 및 단면 Macro 미세조직을 Fig.2에 나타내었다. Macro 조직시험 결과 Leak 부위는 용접보수 부위임을 알 수 있으며, 변색된 색깔을 통해서 비정상적인 용접봉이 사용 되었음을 인지 할 수 있다.

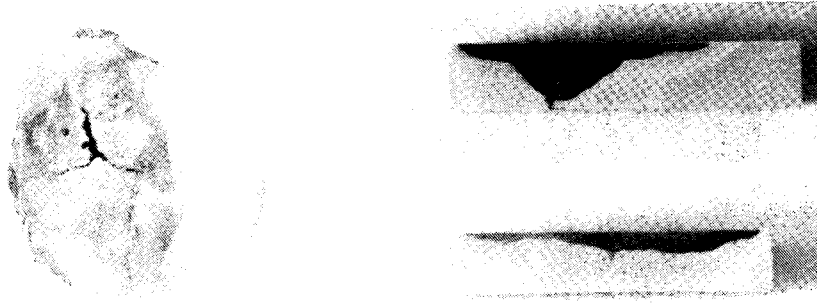


Fig.2 Macro structures of leak part

4.2 OM 조직시험

Leak된 용접보수 부위 표면 미세조직 관찰결과를 Fig.3 a), b), c)에 나타내었고, d), e), f)에는 단면 미세조직 관찰 결과를 나타내었다.

미세한 균열에서 부터 조대한 균열까지 관찰되고 있으며, 이들 균열들은 계면에 형성된 흰색의 줄무늬 모양을 따라 전개되는 특징을 보여주고 있다. 미세조직은 각 부위별로 여러가지의 형상을 나타내고 있는데, 이는 Fe에 Cu 함량의 고용정도 및 냉각속도에 의존되는 것으로서, 각 부위에 대한 정확한 미세조직 해석은 난해하지만, 조대한 martensite, ferrite, pearlite 및 dendrite 조직 등이 부분적으로 관찰되고 있다.

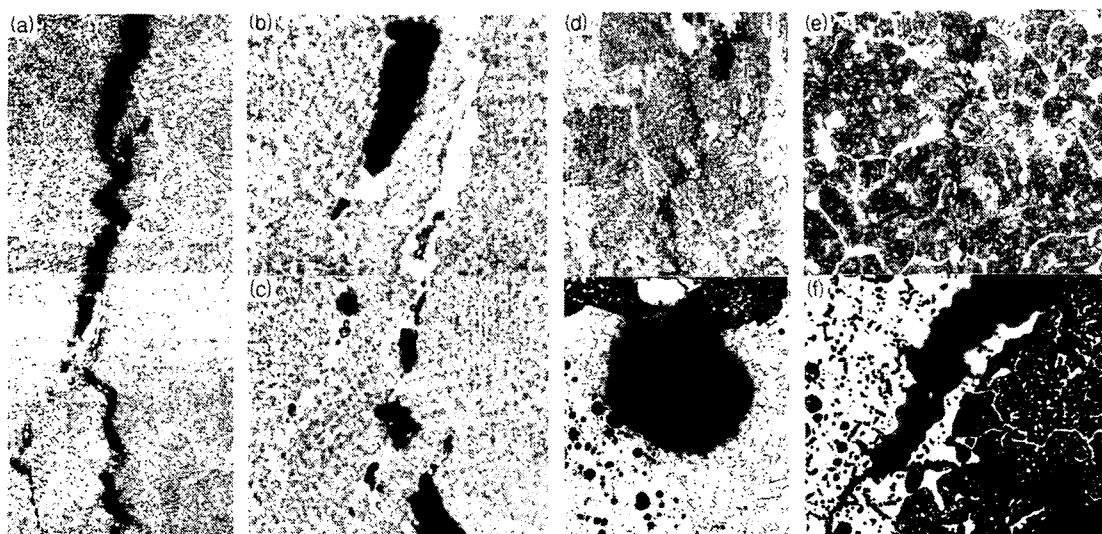


Fig.3 Microstructures of leak part

4.3 SEM 미세조직 및 EDS 분석

Fig.4 a), b)는 leak부 단면 SEM 미세조직으로 OM 미세조직에서 계면을 따라 형성된 흰색 줄무늬 모양 부위이다. c)는 화살표 부위에 대한 EDS 분석결과로 Cu 원소가 37.08wt.%, S원소가 4.33wt.% 검출되었다.

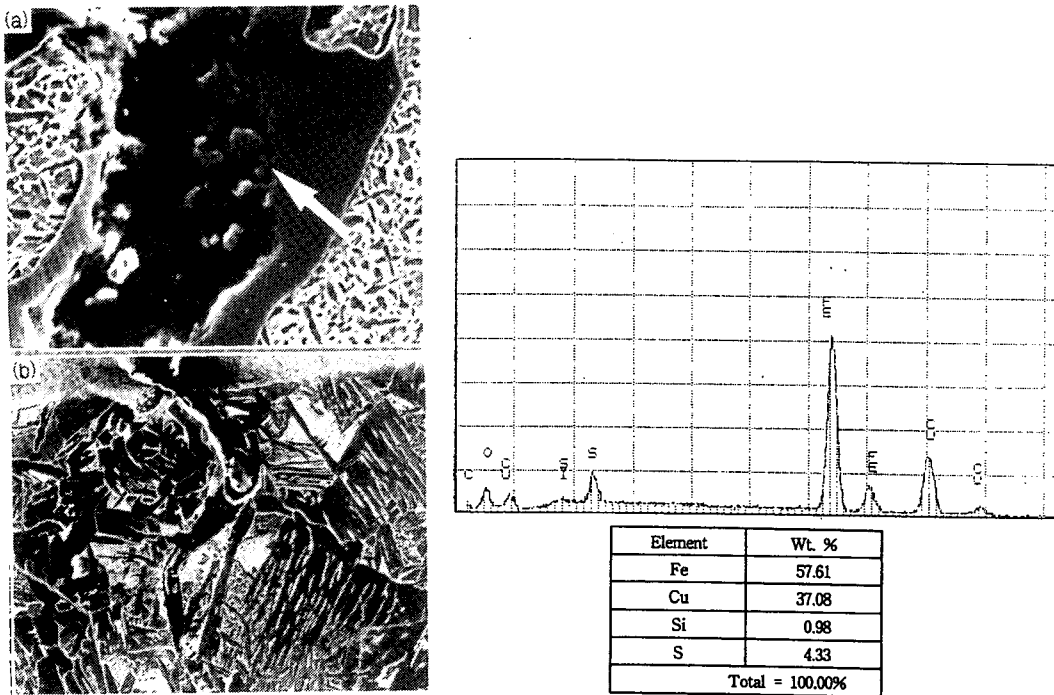


Fig.4 SEM Microstructures of leak part and EDS result

4.4 SEM 파면조직

균열 파단면의 SEM 파면조직을 Fig.5에 나타내었다. a)에서는 계면을 따라 생성된 흰색 줄무늬(Cu 원소)가 관찰되며, b)에서는 Cu 원소의 입계 편석에 의해 나타난 고온균열(Hot cracking)의 파면 양상을 나타내고 있다.

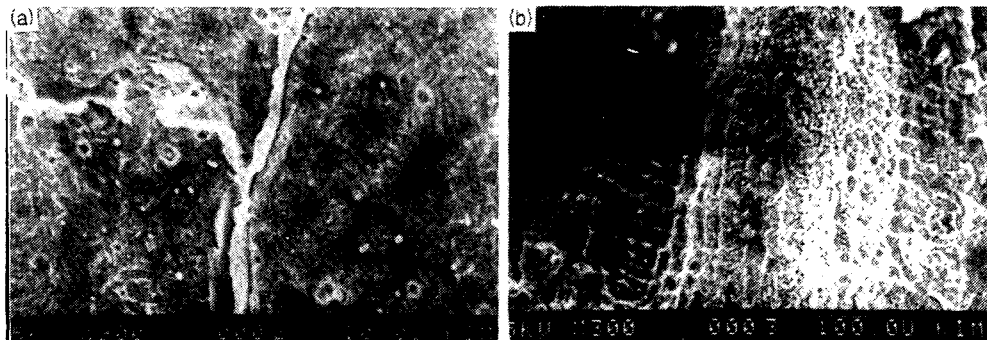


Fig.5 SEM fractographs of fracture surface

5. 결론

5.1 균열발생원인

Jig. 또는 fixture 등의 가접물 제거시 모재부 손상으로 인해 보수 용접을 하게 되었고, 이때 Cu 합금 용접봉을 사용하여 용접한 것으로 판단된다. Fe에 Cu가 합금 원소로 함유되어 있으면, 용접시 용착금속이 응고 과정 중에서 Cu-Infiltration 현상으로 인하여 균열이 초래된다. 다시말하면, Cu가 Fe 결정립계를 따라 침투하여 균열을 유발시켰다. 이러한 Cu-Infiltration 현상이 균열의 주된 요인으로 작용하였고, 부차적으로 dendrite 입계에 Cu 원소 편석에 의한 고온 균열(Hot Cracking) 현상도 일부 균열의 발생원인이었던 것으로 판단된다.

5.2 용접시공 관리

용접시공 관리자는 주 용접부에 대한 시공관리뿐 아니라, 가접물 부착, 제거, 보수 용접의 과정도 용접 절차에서 포함하여 관리해야 하며, 용접봉 사용의 작은 실수가 큰 재난을 초래할 수 있다는 사실을 작업자 들에게 사전 교육을 통해 인지 시켜야 할 것이다.