

탄소강관의 ERW 용접부 홈부식 손상에 관한 연구

A Study on Grooving Corrosion at the weld of a Low Carbon Steel Pipe made by Electrical Resistance Welding

김 용*, 이보영**

*한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 대학원

**한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

1. 서 론

전기저항용접(이후 ERW: Electric Resistance Welding)은 고주파 전류로 피용접재를 가열시킨 후 압축력을 가하여 제작하는 용접방법이다. ERW 강관은 전깃저항용접 방법 중 고주파유도 용접(High Frequency Induction Welding) 공정으로 만든 강관을 말한다¹⁾. ERW 탄소강관을 해수, 공업용수, 음용수 등의 배관으로 사용할 때 용접선을 따라 깊은 "V"형의 홈 형상으로 부식되는 현상을 홈부식 또는 구상부식(Grooving Corrosion)이라 하는데 이러한 형태의 부식은 ERW 방법으로 제조된 강관에서 빈번히 발생하는 부식이다²⁾. 현재까지 홈부식의 발생원인을 수질³⁾, 황함유량⁴⁾, 전기화학적 연구⁵⁾ 및 원재료 또는 강관 제작시의 결함⁴⁾ 등으로 분석을 하였지만, 아직까지 홈부식 발생기구에 대해서는 명확히 규명되어 있지 않은 상태이다. 일반적인 사용환경에서 ERW 탄소강관이 홈부식에 의해 누수가 일어나기까지는 14년에서 16년 정도의 기간이 소요된다고 알려져 있는데⁶⁾, 일본 및 국내의 경우 수도배관으로 사용되는 ERW 강관이 5년 내에 부식으로 인해 누수가 발생한 사례가 나타났으며 그 중, 동일한 아파트 단지에 강관 공급업체에 따라 누수현상이 일부만 발생한 경우가 있었다.

따라서, 본 연구에서는 조기 누수에 의해 손상된 시편과 ERW 공정에 대한 분석을 통하여, 홈부식 발생의 직접적인 원인을 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 시험 재료

ERW 방법으로 제작된 탄소강관의 홈부식 원

인을 분석하기 위하여 첫째로 실제 배관으로 사용되었던 시편을 채취하였다. 채취된 배관은 홈부식이 발생하여 부분적으로 관통된 상태였으며, 배관 두께의 1/3 이상 홈부식이 진행된 부분을 마크로 및 마이크로 분석을 실시하였다. 에칭은 2% Nital 용액 및 Picral 용액으로 관찰하였으며, 특히 부위는 SEM을 통하여 재차 확인하였다.

또한 홈부식에 미칠 수 있는 ERW 제작 공정상의 문제점에 관한 분석을 위하여 Table 1과 같이 용접속도와 전류값을 고정하고 전압값만 변화시켜 입열량을 달리하여 외경 50A, 두께 3mm의 강관 6종을 모의 제조하였다. 그 후 이들의 접합 건전성을 확인하기 위하여 KSD3507에 따라 편평시험, 와전류탐상검사(ECT) X-선검사(RT) 및 침투탐상검사(PT)를 실시하였다.

끝으로 입열량에 따른 홈부식 감수성을 확인하기 위하여 Table 1의 1번, 3번 및 5번 강관의 용접부를 5×5mm 크기로 채취한 후, 부식시험을 실시하였다. 시편의 용접부만 부식시키기 위해 강관 내면 용접부를 제외한 나머지 부위는 에나멜 코팅하였으며 염수부식액(NaCl 3.5% 수용액)에 넣고 상온에서 336시간동안 유지하였다. 그 후 표면조도 측정기를 통해 표면에서의 부식 진행깊이를 각각 확인하였다.

Table 1 Simulation welding condition

Specimen No.	Voltage (KV)	Ampere (A)	Speed (m/min)
1	10.2	16	48
2	9.8		
3	9.5		
4	9.2		
5	9.0		
6	8.8		

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 실제 배관으로 사용된 시편의 용접부가 홈부식으로 인해 부분적으로 관통된 모습을 보여주고 있다(Picral 에칭). Fig. 1은 용접선과 열영향부를 잘 구분할 수 있으며, 내면으로부터 약 30% 깊이까지 부식이 진행되어 있음을 알 수 있다. 또한 용접부 좌측으로는 전면부식에 의해 두께방향으로 두께가 줄어있는 모습도 확인할 수 있다.

Fig. 2는 동일위치에서 에칭없이 관찰한 모습이며 용접선상에 홈부식 진행방향으로 공극(void)으로 추정되는 결함들이 발견되었다. 이들 형상을 구체화 하기 위하여 'B' 위치를 SEM으로 관찰하였으며 그 형상은 Fig. 4와 같다. 이러한 공극 형태의 결함은 용접시 입열량이 충분치 못해 용접 비드(metal flow)쪽으로 빠져나오지 못한 개재물로서, MnS 형태로 존재한다고 알려져 있으며⁷⁾, 정확한 분석을 위하여 SEM 촬영(Fig. 3참조) 및

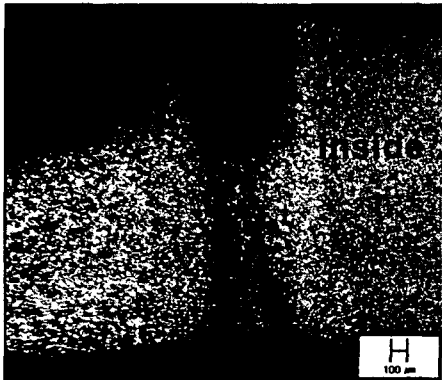


Fig. 1 Partially corroded pipe by grooving corrosion, Picral etched.

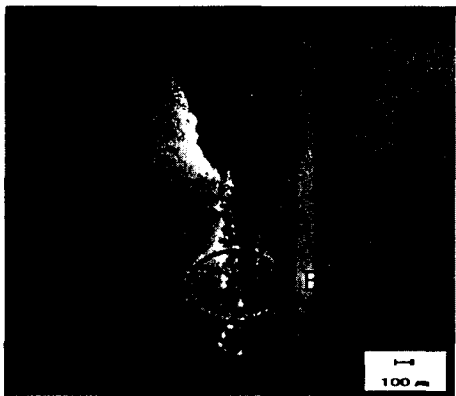


Fig. 2 Partially corroded pipe by grooving corrosion, un-etched.

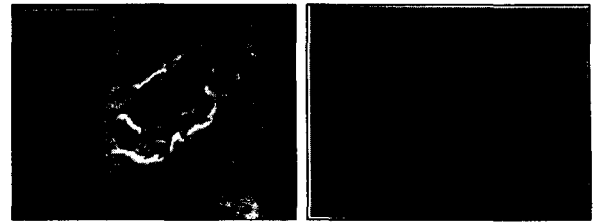


Fig. 3 SEM micrograph at position 'B'

EDS 성분분석을 실시한 결과, Fig. 2의 'B' 부위에 나타난 검은 점들은 황화물(MnS) 개재물로 나타났다.

이러한 관찰을 바탕으로 실제 사용된 배관의 용접선상에 개재물이 다량 존재하였고, 이것이 홈부식에 영향을 준다고 판단하였다. 따라서 Table 1과 같이 6종의 강관을 모의제조한 후 편평시험, 와전류검사, X-선검사 및 액체침투탐상 검사를 실시한 결과, 이 중 입열량이 가장 적은 6번 시편에서 편평시험, ECT 및 PT 시험에서 불합격되었으며 나머지 시편에서는 특이점을 발견할 수 없었다.

이 후 이러한 개재물이 용접과정에서 발생하는 것인지를 확인하기 위하여 모의제조 시편 1, 3 및 5번 시편을 에칭없이 관찰한 결과는 Fig. 4와 같다. 여기서는 입열량이 적은 시편일수록 검은점이 많이 나타나는 것을 확인할 수 있으며 이들 개재물이 홈부식 진행속도에 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 부식시험을 실시하고 표면조도 측정기로 부식 정도를 확인하였다. 그 결과는 Fig. 5와 같으며 동일한 시간동안 부식된 깊이를 보면 5번 시편이 1번 시편에 비해 3배이상 빨리 진행되었음을 알 수 있다.

따라서 단면관찰 결과와 종합하여 볼 때, 개재물은 입열량이 적을수록 많이 발생하며, 이러한 개재물은 부식속도를 증가시킨다고 판단할 수 있다.

Specimen No. 1	Specimen No. 3	Specimen No. 5

Fig. 4 Cross-section micrograph of simulated pipes without corrosion, un-etched.

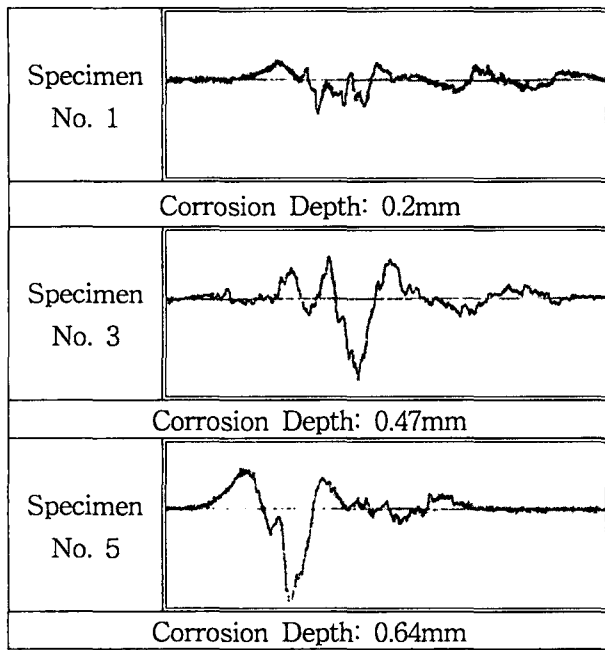


Fig. 5 Corrosion depth of simulated specimens

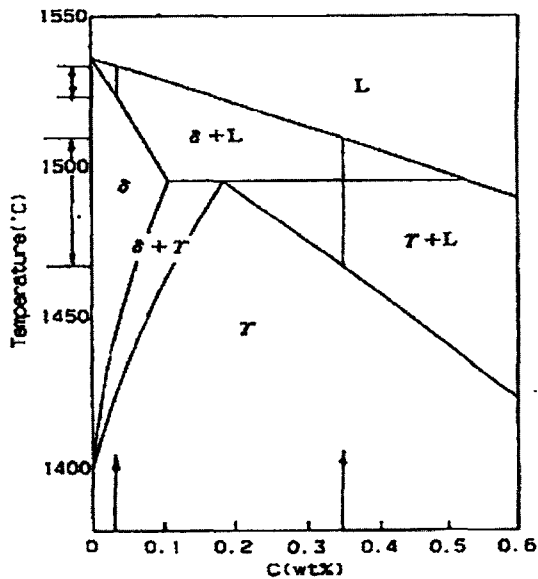


Fig. 6 A part of Fe-C phase diagram

ERW 공정시 입열 조건의 중요성은 Fe-C 선도에서도 확인할 수 있는데, 재질에 따른 탄소량이 주어지면 적정 용접온도를 찾을 수 있으며 통상 $\delta + L$ 및 $\gamma + L$ 영역이 적정 용접온도가 된다⁷⁾. 여기서 본 연구에 사용된 시편의 탄소 함량은 0.027%였으며 Fig. 11의 'A' 부분에 해당한다. A 영역에서의 용접 허용범위는 약 10°C밖에 되지 않으며 B영역의 경우는 50°C 가량의 허용 온도범위가 주워진다. 따라서 본 연구에서 흠부식이 일어난 강관의 직접적인 원인은 저탄소강을 원재료

로 사용해 적정 입열 조건을 맞추지 못하여 발생한 다수의 개재물과 그에 따른 흠부식 가속화 때문이라 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 ERW 제조 공정으로 제작된 탄소강관에서 실제 흠부식이 발생된 사례를 바탕으로 흠부식 발생원인 및 촉진 인자에 대한 연구를 실시하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 실제 흠부식이 발생된 탄소강관 용접부의 주원인은 적절한 입열 조건으로 제조하지 못해 발생한 다량의 개재물 때문이었다.
- 2) 입열량을 달리하여 모의시편을 제조하고 그에 따른 부식특성 및 금속학적 분석을 실시한 결과, 입열량이 적을수록 개재물이 많이 발생하였다.
- 3) 개재물의 양의 차이가 부식 진행속도에 영향을 미치며 부식시험을 통해 이를 확인할 수 있었다.
- 4) 동일한 사용시간 및 환경에서 실제 누수가 발생된 탄소강관의 황 함량이 건전한 배관의 황 함량보다 낮았으며 최적 용접조건에서는 용접부에 존재하는 MnS를 거의 발견할 수 없었다.

참고 문헌

1. Howard B. Cary: Modern Welding Technology (5th Edition), Prentice Hall, 1998, 249-250, 622-631.
2. Denny A. Jones, Principles and prevention of corrosion, Prentice Hall, 1992, 320-321.
3. Hyun Dong Lee, Won Sik Jeong, Jung Hun Park, Chul Ho Bea, Pil Jea Kwak, Korea Society of Water Quality. Vol.17 No.5, (2001), 627-635.(in Korean)
4. C. Kato, Y. Otaguro, S. Kado, Proceedings. 6th International Congr. Metallic Corrosion, Sydney, Austral, 1976, December 8, 1104.
5. Hee Jun Sung, Heong Sik Kim, Byung Woo Lee, Young Bok Jeong, Kwang Hak Lee, Do Soo Seo, Corrosion Science Soc. of Korea Vol 27 No 2, April, (1998), 122-136(in Korean)
6. Hyun Dong Lee, Won Sik Jeong, Jung Hun Park, Chul Ho Bea, Pil Jea Kwak, Korea Society of Water Quality. Vol.17 No.5, (2001), 627-635.(in Korean)
7. Jun Lee, Bul. Kor. Inst. Met. & Mater Vol. 12. No. 4, (1999), 463-471(in Korean).