

# 용접 강관의 고주파 전기 저항 용접 기술

김 용 석

## High-Frequency Electrical Resistance Welding of Pipes

Yong-Seog Kim



김용석/홍익대학교/  
1957년생/GMAW 및  
HF ERW 공정해석

### 1. 서 론

강관은 물, 유류, 천연 가스등을 운송하는 배관 용으로 사용되기도 하고, 건물의 골조, 유압 및 공압 실린더, 가이드 레일등의 기계적 부품으로 널리 사용되고 있다. 국내의 강관 산업은 약 3조원 정도의 매출 규모를 가진 중요 산업인데, 이들 강관의 대부분은 고주파 전기 저항 용접법으로 제조되고 있어, 고주파 전기 저항 용접 속도와 용접부의 품질은 강관 제조의 생산성과 품질에 직접적인 영향을 미친다. 한편 고주파 전기 저항 용접법은 생산성과 품질이 다른 용접 방법에 비하여 매우 우수한 특성을 가지고 있음에도 불구하고, 용접 강관의 제조에 국한되어 사용되는 현실 때문에, 이 방법에 대한 연구가 극히 제한적으로 이루어져왔다. 그러나 최근 강관 제조 회사에서 고주파 전기 저항 용접부의 품질 수준을 향상시키려는 연구가 이루어지고 있고, 고주파 전기 저항 용접 공정을 모사할 수 있는 장치도 설치되어 이 용접법을 체계적으로 연구할 수 있는 여건이 조성되고 있는 상황이다. 따라서 본 논문에서는 고주파 전기 저항 용접법의 기초 현상에 대하여 소개하여, 이에 대한 용접 관련 연구자들의 관심을 촉구하고자 한다.

### 2. 고주파 전기 저항 용접 현상

용접 강관은 열연 강대를 다단계의 성형롤을 이용하여 파이프 형상으로 연속적으로 성형한 후, 고주파 전기 저항 용접법으로 양 단면을 접합시켜 제조되는데, 고주파 전기 저항용접 스탠드를 Fig. 1에 모식적으로 나타내었다. 즉 접촉자(contact tip)를 통하여 고주파 전류를 대강에 인가하고, 이때 발생하는 저항열에 의하여 대강의 단면을 가열, 용융시킨 후 스퀴즈 롤스탠드에 의하여 가압, 접합시키는 방법이다. 대강이 가열, 용융되는 현상은 photo 1.

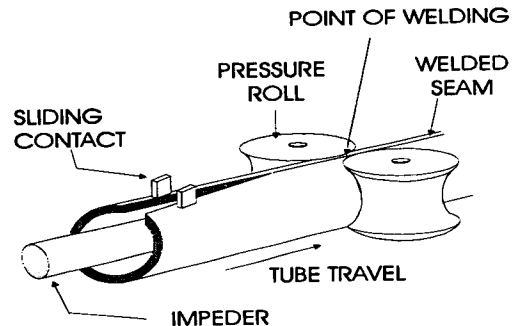


Fig. 1 고주파 전기 저항 용접법의 모식도

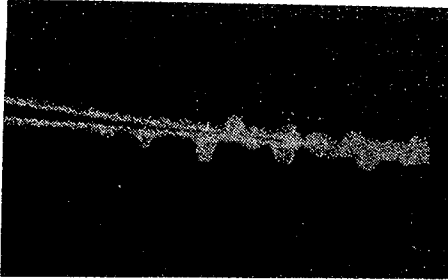


photo 1. 고주파 전류에 의하여 가열된 대강의 용융 현상 (촬영 속도 : 10,000 pictures per second (pps)).

과 같이 매우 특징적인 현상을 나타낸다. 여기서 대강 예지의 표면 부위가 선택적으로 가열, 용융되는 것을 볼 수 있는데, 이러한 현상은 고주파 전류의 표피효과에 기인하는 현상이다. 다음으로 용융된 금속은 양 대강이 좁은 간격으로 떨어져 있는 부분인 narrow gap 구간에서 대강의 단면 밖으로 배출되는데, 이러한 현상은 전류에 의하여 발생한 전자기적 척력에 의한 것으로 알려져 있다. 이와 같이 용융된 금속이 단면 밖으로 배출됨에 따라서 대강 단면의 산화물들이 제거되고, 단면의 요철들도 제거되는 효과를 갖게되어, 고주파 전기 저항 용접법이 다른 용접법에 비하여 높은 신뢰성을 가지는 원인이 된다.

고주파 전기 저항 용접에서 흥미로운 현상중의 하나는 photo 2. 에 나타낸 것과 같은 양 대강 단면간에 가교(bridge)가 형성되는 것과 이 가교가 100~400 m/sec의 속도로 용접점쪽으로 이동(sweeping)한다는 점이다. 이와같은 가교가 형성되면, narrow gap 구역으로 배출되었던 용융 금속이 재 유입 된다는 점이다. 이와같은 가교가 형성되는 정확한 기구에 대해서는 현재 발표된 연구 결과가 없으나, 대강 단면에 용융된 금속이 접촉할 가능성과 근접한 대강 단면간의 고주파 전류에 의한 플라스마 방전에 의한 가교 형성 가능성이 논의되고 있는 상황이다. 이와 같은 가교의 형성 및 이동 현상은 용접 결함과 밀접한 관계가 있기 때문에, 그의 발생기구에 대한 정확한 이해 및 제어가 요구된다 하겠다.

이와 같이 고주파 전류에 의하여 가열된 두 대강의 단면이 스위즈틀에서 압착되어 용접 강관이 제조되는데, 제조된 용접부 단면의 마크로 조직은

photo 3. 과 같다. 용접부는 중앙의 흰색선, 고주파 전류에 의하여 오스테나이트 변태점이상으로 가열된 부분(hour glass 형상), 압축력에 의하여 형성된 금속 유동선(metal flow line) 및 상하로 배출된 flash등이 특징적으로 나타나고 있다. 실제

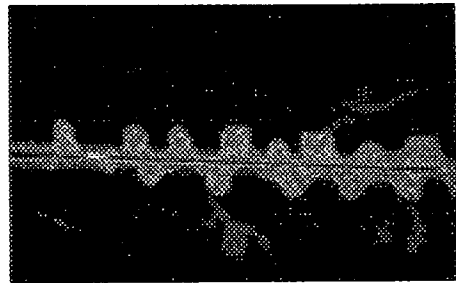
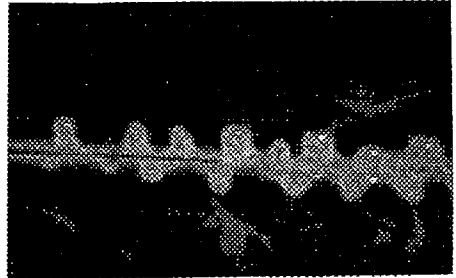


photo 2. 고주파 전류에 의하여 가열된 대강 단면간에 형성된 가교와 재 유입된 용융 금속 (촬영 속도 : 1,000pps, 4msec interval).

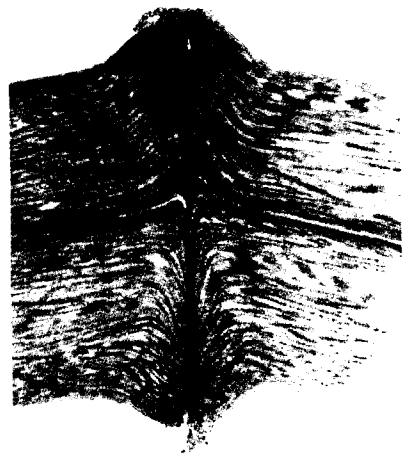


photo 3. 고주파 전기 저항 용접법으로 제조된 강관 용접부의 마크로 조직 (×20).

강관 제조시 상하에 형성된 flash는 비드 절단 장치를 이용하여 제거한다. 이러한 용접부는 용융 금속을 포함하고 있지 않기 때문에, 용접부 금속이 응고시에 발생하는 결함인 기공, 수축공, 고온 및 저온 균열등이 거의 관찰되지 않아 우수한 용접 특성을 갖게 된다.

### 3. 고주파 전기 저항 용접부의 용접 결함

고주파 전기 저항 용접부에서 발생하는 용접 결함은 침입 결함(penetrator), 냉접(cold weld)과 재질의 결함에서 발생하는 hook crack이 주종을 이루고 있다. 침입 결함은 photo 2. 에서 나타난 것과 같이 용융된 금속이 narrow gap부분으로 산화물과 재유입되어 형성되는 것으로 알려져 있는데, photo 4. 와 같이 용접부에 산화물층을 형성하게 된다. 이 결함은 용접 입열량이 과다한 경우에 주로 발생하여, 용접부의 강도 저하 및 누수의 원인이된다. 냉접은 용접 입열이 너무 낮은 조건에서 주로 발생하는데, 용융된 금속이 표면산화물과 같이 대강 단면 밖으로 배출되지 못하여 미세한 산화물이 용접부에 잔존하여 용접부의 인성 및 연성을 저하시키는 역할을 하게된다. photo 5. 는 전형적인 hook crack을 보여주고 있는데, 금속 유동선을 따라서 비드 절단



photo 4. 고주파 전기 저항 용접시 용접부에 형성된 침입 결함.

면에 노출된 MnS와 같은 비금속 개재물을 따라서 균열이 진전되는 현상이다.

이러한 용접 결함의 발생을 억제하기 위하여 고주파 전기 저항 용접 공정을 자동화하기 위한 연구가 최근 진행되고 있다. 즉 용접부의 온도를 측정



photo 5. 고주파 전기 저항 용접부의 전형적인 hook crack 형상.

하거나, 용접 발전 주파수의 변화(대강 단면간에 형성된 가교의 발생 빈도 및 narrow gap의 길이에 의하여 좌우됨)를 측정하여 용접 입열을 자동적으로 조절하는 장치가 강관의 제조 현장에 부분적으로 적용되고 있는 상황이다.

### 4. 요약

고주파 전기 저항 용접법에 대한 연구는 매우 초보적인 단계에 머무르고 있어, 국내 강관 제조 업체의 국제 경쟁력을 확보하는데 장애가되고 있는 상황이다. 그러나 최근 국내 강관제조 업체들이 많은 연구 노력을 경주하고 있고, 고주파 전기 저항 용접 공정의 모사 장치를 설치하여 연구 환경이 개선되고 있는 상황이다. 고주파 전기 저항 용접 공정의 신뢰성을 증가시키기 위해서는 고주파 전기 저항 용접 현상에 대한 기초적인 연구가 진행되고, 이에 근거한 공정의 자동화가 필수적으로 요구된다 하겠다.