

Al 합금 대전류 MIG 용접부에서의 균열 발생 특성에 관한 연구  
(A study on the cracking at the Al alloy weld deposited by  
a high current MIG process)

황주환, 윤중근  
현대중공업(주), 산업기술연구소

## 1. 서 론

LNG 저장 및 수송용 tank 제작에 있어 다량의 후판 Al 합금 판재가 사용되고 있으며, 이들은 성형후 대전류 MIG 기법에 의하여 1차 접합되게 된다. 대전류 MIG 용접에 의하여 접합된 각 부재들은 주로 상향의 일반 반자동 MIG 기법에 의하여 상호 용접된다. 이에 따라 LNG tank 에는 대전류 MIG 용접부와 반자동 MIG 용접부가 상호 수직하게 교차되는 부위가 많이 존재하게 되는데, 반자동 MIG 용접부와 교차되는 대전류 MIG 용접부 특히 용착금속내에서 종종 균열들이 발생되고 있다. 이들은 반자동 용접시 야기되는 연속적인 열 cycle 에 의하여 발생된 것이다. 또한 발생된 균열을 보수하고자 용접을 실시하면 인접된 용착금속에서 재차 균열들이 발생되어 이에 대한 반복 작업이 수반되어 생산성 향상에 큰 저해 요인으로 작용되고 있다. 대전류 MIG 용착금속에서 발생된 균열은 후속된 용접 pass 에 의하여 형성된 용융금속의 응고시 야기되는 응력하에서 주상정 계면에 존재하는 저융점 개재물들이 기지로 부터 분리되거나 혹은 후속 용접 열 cycle 에 의하여 저융점 개재물들이 재용해되어 분리되어 발생된다고 할 수 있다.

본 연구에서는 후속 용접열 cycle 를 받게 되는 대전류 MIG 용접부에서의 균열 발생을 방지할 수 있는 대책을 수립하고자, 대전류 MIG 용착금속의 내균열성에 미치는 용접 보호가스의 영향과 후속되는 다층의 용접 pass 에 의하여 용착금속에 야기되는 열응력을 평가하였다. 보호가스에 따른 대전류 MIG 용착금속의 내균열성은 후속 용접열 cycle 과 보수 용접횟수에 따른 단면 균열 발생정도로서 평가하였으며, 열응력 계산은 용접순수와 용접 bead 크기를 변수로 하여 구속응력의 개념으로 유한요소법으로 수행하였다.

## 2. 실험 및 계산 방법

대전류 MIG 용접부는 LNG tank 용 61 mm 두께 AA5083-0 합금을 이용하여 전류 850A, 전압 34-38V 의 용접 조건으로 제작하였다. 용접재료는 A 사의 AA5183 (4.8 $\phi$ ) wire 를 주로 사용하였으며, 동급의 S사 제품도 비교 목적으로 사용하였다. 용착금속의 내균열성에 미치는 보호가스의 영향을 평가하기 위하여 Ar : He의 비율을 1:1, 2:1 및 3:1로 변화시켰다 (이하 본 보에서는 각 혼합가스 비율을 A1, A2 및 A3 라 기술함). 대전류 MIG 용착금속을 길이 방향으로 이분하여 반자동 MIG 용접이 가능하도록 개선을 형성하여 후속 용접열 cycle 과 보수 용접 cycle의 영향을 평가하였다. 용접은 1~6 pass 까지 전류 280A, 전압 32V 의 조건으로 실시하였다. 보수 용접의 영향을 평가하기 위하여 1~5회에 걸쳐서 용접부를 밀링 가공과 용접을 반복하였다. 용접이 끝난 후 각 횟수별로 macro 시편

을 채취해서 조직, 균열 발생정도 및 경도조사를 하였다. 후속 용접에 의하여 발생하는 대전류 MIG 용접부에 작용되는 응력을 평가하고자 8-node iso-parametric brick element를 사용한 유한요소법을 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

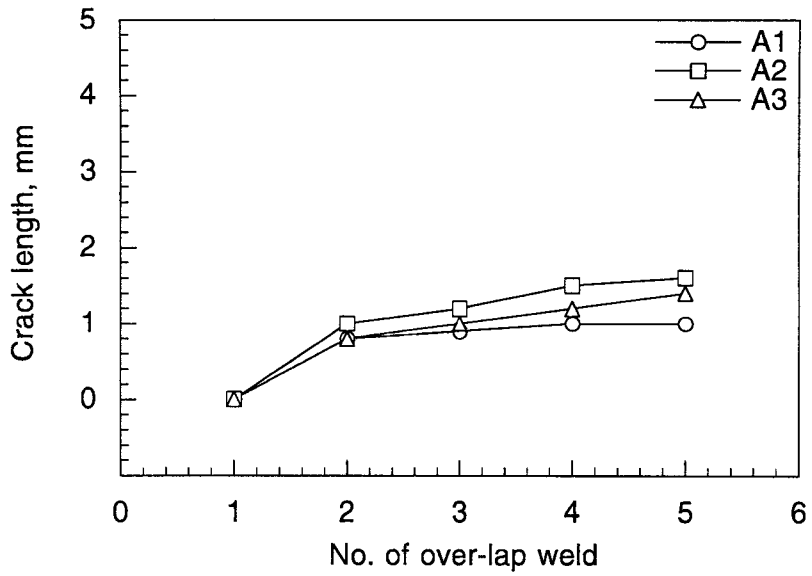
#### 3.1 대전류 MIG 용착금속의 균열 발생 특성

각 보호가스에 의하여 형성된 대전류 MIG 용착금속의 균열 발생 특성에 미치는 후속 용접 열 cycle 의 효과를 Fig.1 에 나타내었다. 후속되는 용접 pass 수의 영향을 보여주고 있는 Fig.1 (a) 에서 Ar:He=1:1 인 조건에서 형성된 A1 용착 금속의 내균열성이 가장 우수함을 알 수 있으며, 보호가스 비율 변화와 용착금속의 내균열성 간의 상관성은 보이지 않고 있다. 용착금속에서의 균열은 보호가스의 종류에 관계없이 3번째 반자동 MIG 용접 열 cycle 에 의하여 공히 2번째 반자동 MIG 용착 금속의 상단 부근에서 대부분 발생되었다. 그러나 연속된 후속용접에 따른 균열의 성장 거동은 보호가스에 따라 상이하다. Fig.1 (b)는 보수 용접 열 cycle 이 각 보호가스하에서 형성된 대전류 MIG 용착 금속의 내균열성에 미치는 영향을 도시한 것이다. 보수용접에 의한 열영향으로 발생한 균열은 보호가스의 종류에 관계없이 모두 첫 번째 보수 용접 후 대전류 MIG 용착금속에서 관찰되었다. 그러나 보수 용접 열 cycle 에 따른 용착금속의 내균열성은 보호가스에 영향을 받고 있어 Ar:He=1:1 하에서 형성된 A1 용착금속 (A1) 이 가장 우수하다.

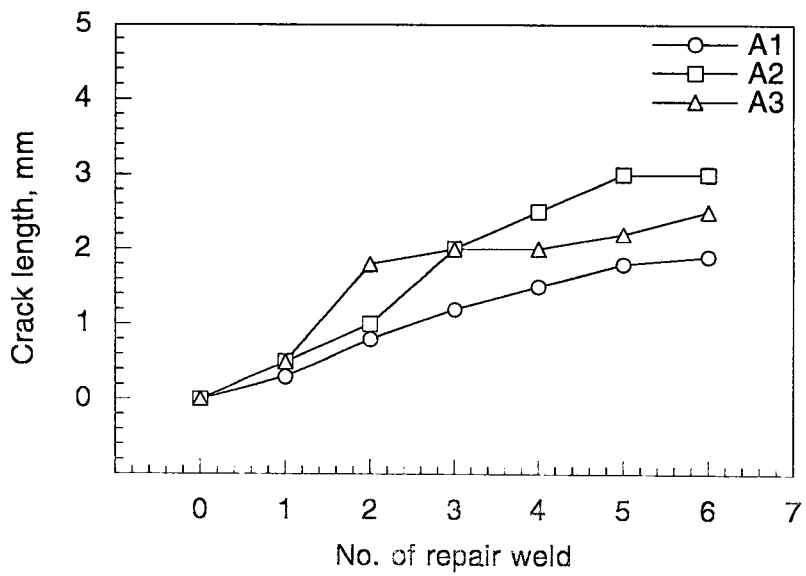
균열현상을 재현하고자 용접부를 강하게 구속한 후 상향으로 반자동 MIG 용접을 실시하였다. 보호가스별 각 용접부에서의 구속 및 용접조건을 동일하게 유지하기 위하여 한 곳에 겹쳐서 용접하였다. 용접이 완료된 후 용접부에 대한 비파괴 검사(UT)를 실시하였는데, A1에서는 균열이 감지되지 않았고, 나머지 3가지(A2, A3, S1)은 반자동 MIG 용접에 의해서 열 영향을 받은 대전류 MIG 용착금속에서 균열발생되었음이 확인되었다. 이를 세밀히 관찰하기 위하여 macro 시편을 채취하여 균열발생 양상을 평가한 결과, 사진 1과 같이 표면 직하 7~8mm 되는 지점 즉, 마지막 용착 pass 의 열영향부에서 균열이 발생되었으며, 비파괴 검사(UT)에서는 감지되지 않았던 A1에서도 균열이 발생되어 있음을 알 수 있다. 그러나 발생한 균열의 길이를 살펴보면, A1 용착금속의 길이가 가장 적으며 그외 용착금속들에서 발생한 균열길이는 상호 유사하므로 A1 용착금속의 내균열성이 가장 우수함을 보여 주고 있다.

#### 3.2 대전류 MIG 용착금속에 작용되는 응력

동일한 구속 및 용접조건하에서 대전류 MIG 용착금속에서 용접균열의 발생확율은 반자동 MIG 용접 pass 에 관계없이 동일하여야 하는데, 사진 1에서 보여 주듯이 균열들은 대개 용착금속의 종류에 관계없이 모두 마지막 용착금속의 열영향부에서만 발생되었다. 이는 균열이 용접에 의한 자체 구속력이 가장 큰 위치에서 발생되었다는 것을 의미하고 있다. 이를 정량적으로 평가하고자 후속 용접으로 인하여 대전류 MIG 용착금속에 작용되는 응력 해석을 실시하였다. 가열 및 냉각시 용접부는 3차원 응력상태에 놓이므로, 어떤 특정한 응력성분으로써 용접부의 내 균열성을 평가하기보다는 각 성분들이 적절하게 고려된 응력성분을 도입



(a)



(b)

Fig. 1 대전류 MIG 용착금속의 균열 발생특성에 미치는 후속 용접 열 cycle 의 영향 :

(a) 후속 반자동 용접, (b) 보수용접

하는 것이 타당하므로 본 연구에서는 등가응력(equivalent stress,  $\sigma_{eq}$ )을 평가하였다. 해석 결과, 대전류 MIG 용착금속에 작용되는 응력은 후속 용접 pass 가 증가할수록 증가되어 bead 표면에서 최대가 된다. 응력은 bead 표면에서 멀어지거나 모재로 갈수록 급격하게 감소하게 된다. 실제 A1 용접부에서 균열은 마지막 용접 pass 에 의한 열영향부의 중앙이므로, A1 용접부의 내균열 응력은 균열이 발생되지 않은 마지막 층 아래의 HAZ부의 응력수준으로 정의할 수 있다. 해석 결과, 이 부위에 작용되는 응력은  $8.4 \text{ kg/mm}^2$  이었다. 따라서 A1 용접부의 내균열성을 더욱 증가시키기 위해서는 마지막 반자동 MIG 용접 pass 에 의하여 야기되는 응력을 완화시키면 된다. 이를 위해서는 용접조건 변경을 통하여 용착 금속의 크기를 작게 하거나 용접수순의 변경, 용접부 개선 혹은 구속 조건 등을 변경시키야 한다.

#### 4. 결론

후속 용접 열 cycle 를 받게 되는 대전류 MIG 용착금속에서의 균열 발생 특성을 평가하였다. 대전류 MIG 용착금속의 내균열성은 후속 용접 열 cycle 에 의하여 현저하게 감소되며, “Ar 1 : He 1”의 혼합가스하에서 형성된 용착금속의 내균열성이 가장 우수하였다. 내균열성을 보다 증가시키기 위해서는 대전류 MIG 용착금속에 작용되는 응력을 완화시킬 수 있는 용접 조건 및 수순의 적정화 및 용접부에 대한 적정 설계가 필요하다.

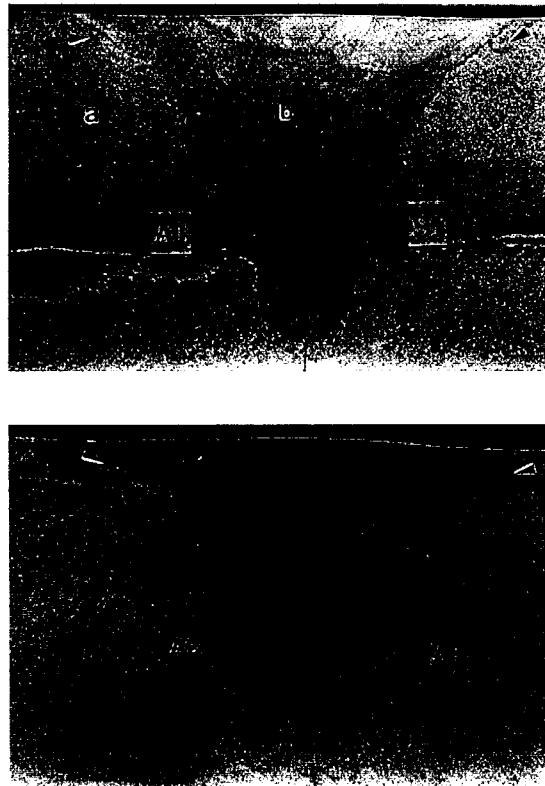


Photo 1 대전류 MIG 용착금속별 균열 발생 양상