

잠호용접의 용접재료 및 입열량에 따른 저온 충격성능의 실험적 고찰

Experimental study for Charpy impact property according to change of welding consumable & heat input at submerged arc welding

남 성길, 장 태원, 윤 동렬, 권 창길, 박 창국

* 삼성중공업 생산기술연구소 용접연구

ABSTRACT In case of applying offshore standard of some class societies, the required impact test temperature is lower than that of class rule to be applied for general commercial ship. This study is performed to consider whether the impact value to be required at offshore standard of BV can be obtained or not under SAW method, 1 run both side welding, to be mainly used for butt joint of plates at domestic ship builder.

1. 서 론

최근 원유값 상승에 따라 해양 유전개발 공사가 활발히 이루어지고 있다. 이를 목적으로 Drill-Ship, F.P.S.O 등과 같이 선박형상을 가진, 유전개발 및 원유생산을 목적으로 하는, 구조물의 발주 및 건조가 늘어나고 있는 실정이다. 이들 선박형상의 구조물 제작 시에 적용되는 선급 Offshore Standard의 충격시험 요구치는 기존 상선 제작 시 적용되던 것보다 20℃ 낮은 온도에서의 충격치를 요구하고 있다. 예를 들면, BV 선급의 경우, DH grade 강재의 용접부는 일반 상선의 경우에는 0℃에서의 충격시험이 요구되었으나, Offshore Standard가 적용되면 -20℃에서의 충격시험이 요구되어진다. 더구나 선박형상의 구조물에는 일반 상선보다는 선체 외판에 DH, EH grade 강재가 더 많이 적용되어지고 이 경우 -40℃에서의 충격성능이 보증되어야 한다.

본고에서는 주판 판계작업 시의 일반적인 용접 공법인, SAW 1 run both side(2 run technique) 용접에서의 용접금속에 대한 충격성능을 실험적으로 고찰하고자 한다.

2. 시험 방법

DH36, EH36급 조선용 강재를 시험용 강재로 사용하였으며, 시판되거나 개발 의뢰한 SAW용 용접재료를 사용하여 실험을 실시하였다. 용접

후, 선급에서 규정하는 시험 항목에 따라 다양한 시험을 실시하였고 특히 용접부의 충격성능을 파악하기 위해 0℃, -20℃, -40℃에서 충격시험을 실시하였다.

2.1 시험용 강재

10~30mm 두께의 TMCP 강재를 개선형상과 적용 전극수에 따라 사용하였으며, 강재의 제조 방법에 따른 열영향부의 충격성능을 고찰하기 위해 일부 Normalizing 강재를 사용하였다. 사용된 강재의 대표적인 화학 성분치는 아래 <표1>와 같다.

<표1> 시험용 강재의 화학 성분치(%)

| | C | Si | Mn | S | P | Ceq |
|--------------|------|------|------|-------|-------|------|
| TMCP강 | 0.11 | 0.32 | 1.36 | 0.011 | 0.004 | 0.34 |
| Normalizing강 | 0.16 | 0.42 | 1.48 | 0.012 | 0.002 | 0.41 |

2.2 시험용 용접재료

4 가지의 용접재료(플럭스와 와이어의 조합)가 시험에 사용되었으며, 각각의 조합은 용접재료업체에서 추천하는 조합에 따랐다. 사용된 용접재료는 아래 <표2>와 같다.

<표2> 시험용 강재의 화학 성분치(%)

| 시험번호 | 플럭스 | AWS spec. | 산지 | 플럭스 염기도 |
|------|-----|--------------|-----|------------|
| 1 | F1 | F7A(P)4-EL8 | 국산 | 1.8 ~ 4.0 |
| 2 | F2 | F7A(P)8-EH14 | 국산 | |
| 3 | F3 | F7A8-EM12K | 외국산 | 3) 2) 1) 4 |
| 4 | F4 | F7A4-EH14 | 외국산 | |

2.3 용접부 개선형상

Square, Single Vee(Y), Double Vee(X) 개선형상을 대상으로 시험을 진행하였고, 적용되는 전극수에 따라 시험용 강재의 두께를 달리하여 용입을 확보하였다. 예를 들면, Single Vee(Y) 개선의 경우 1전극에서는 20mm 강재를, 2전극에서는 25mm 강재를 적용하여 시험하였다.

2.4 용접조건

수차례의 예비 용접을 통해 각각의 개선형상에서 용입이 충분히 확보되는 용접조건 확인 후, 본 시험용 시편에 대한 용접을 수행하였다. 시편의 길이는 1000mm로 하였으며, 각각의 시편 용접시 전류/전압/용접속도를 측정하여 입열량을 계산하였다. 같은 용입 깊이를 확보하기 위해 적용해야 하는 입열량 및 비드의 퍼짐성은 용접재료별로 차이가 있었으며, 이는 플럭스의 역할에 기인된 것으로 판단된다.

2.4 시험 항목

선급 규정에서 요구하는 비파괴 및 파괴시험을 실시하였고, 충격시험의 경우에는 용접부의 충격 성능을 파악하기 위해 선급 규정 이외의 온도에서도 충격시험을 실시하였다. 시험 항목은 아래와 같다.

2.4.1 비파괴시험

- 방사선 투과시험 (RT)
- 자분 탐상시험 (MT)

2.4.2 파괴시험

- 용착금속 화학 분석시험
- 인장시험: Transverse tensile test
- 벤딩시험: Transverse face& root bend
- 용접단면 마크로에칭 시험
- 경도시험

2.4.3 충격시험

3. 시험 결과

비파괴시험 및 충격시험을 제외한 파괴시험의 경우에는 결과만을 간략히 소개하고, 충격시험은 용접재료에 따라, 각 용접재료의 입열량 및 개선형상에 따라 그 결과를 정리하였다. 또한 TMCP 강과 일반 노말라이징 강재의 열영향부의 충격 특성을 간략히 정리하였다.

3.1 비파괴시험 결과

시험되어진 4가지 용접재료 모두, 모든 개선형

상에서, 양호한 비파괴시험 성능을 나타내었다.

3.2 파괴시험 결과

3.2.1 용착금속 화학 분석시험

개선형상에 따른 용착금속의 화학 성분치를 파악하기 위해, Single Vee(Y) 개선 용접부를 대상으로 용착금속에 대한 화학 분석시험을 진행하였고, 특징적인 결과는 아래 <표3>과 같다.

<표3> 용착금속 화학 성분치(%) 분석 결과

| 시험번호 | 구분 | C | Si | Mn | P | S | Ti | Cu |
|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 개선부 | 0.098 | 0.322 | 1.662 | 0.0150 | 0.0123 | 0.0046 | 0.194 |
| | 비개선부 | 0.096 | 0.319 | 1.609 | 0.0152 | 0.0122 | 0.0043 | 0.193 |
| 2 | 개선부 | 0.103 | 0.311 | 1.600 | 0.0179 | 0.0093 | 0.0184 | 0.205 |
| | 비개선부 | 0.105 | 0.319 | 1.588 | 0.0166 | 0.0094 | 0.0174 | 0.218 |
| 3 | 개선부 | 0.092 | 0.350 | 1.396 | 0.0136 | 0.0077 | 0.0070 | 0.229 |
| | 비개선부 | 0.100 | 0.351 | 1.405 | 0.0140 | 0.0086 | 0.0067 | 0.227 |
| 4 | 개선부 | 0.131 | 0.288 | 1.320 | 0.0181 | 0.0091 | 0.0146 | 0.095 |
| | 비개선부 | 0.139 | 0.170 | 1.111 | 0.0179 | 0.0093 | 0.0097 | 0.060 |

3.2.2 인장시험

각각 2개씩의 인장시험을 실시하였으며, 인장 시험 결과 모든 시험편이 모재부에서 파단 되었고 인장강도는 선급 최소 요구치인 490N/mm² 이상으로 양호한 결과를 나타내었다.


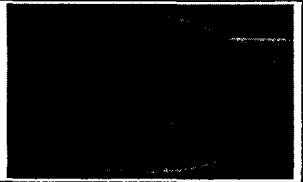
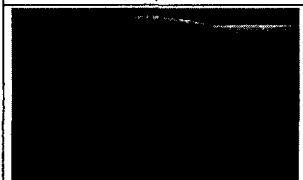
3.2.3 벤딩시험

각각 2개씩의 face/root 벤딩시험을 실시하였으며, 벤딩 후 벤딩 표면에서 결함이 전혀 검출되지 않는 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

3.2.4 용접단면 마크로에칭 시험

마크로에칭 시험 역시 결함이 전혀 없는 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 아래 <사진1>은 개선형상별 마크로 사진의 일례이다.

<사진1> 개선형상별 마크로 사진 일례

| | |
|--|---|
|  |  |
| 22mm 강재, Square Groove | 25mm 강재, Single Vee |
|  | 1. 용접재료별 용입성 : 1>3> 2> 4 (동일 용접조건일 경우) 2. 사진 일례는 용접재료 시험번호 2번에 해당 |
| 30mm 강재, Double Vee | 3. 2전극 용접 시의 사진 |

3.2.5 경도시험

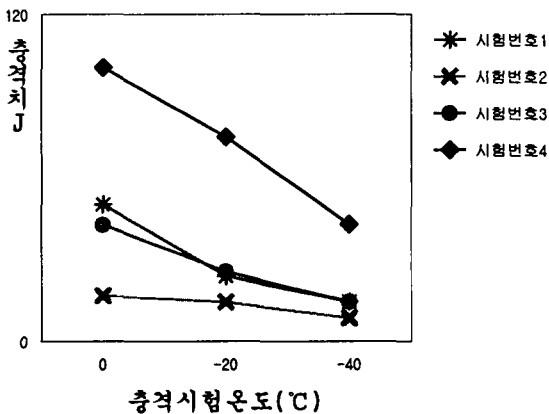
용접부와 열영향부에 대한 경도시험 결과, 모든 값이 선급 요구치인 350 Hv10 이하인 값을 얻을 수 있었다.

3.3 충격시험 결과

3.3.1 용접재료별 용착금속의 충격성능

용착금속의 충격성능은 입열량 뿐 아니라, 개선행상과 전극수에 따라 좌우되었으며, 이는 모재와의 회석률, 용접열의 부하 속도와 관련 있는 것으로 판단된다. 아래 <그림1>은 용착금속 충격성능의 일례이다.

<그림1> 시험용 용접재료의 용착금속 충격성능 일례 (Square groove, EH36/22mm/TMCP강재, 2전극 적용 시)



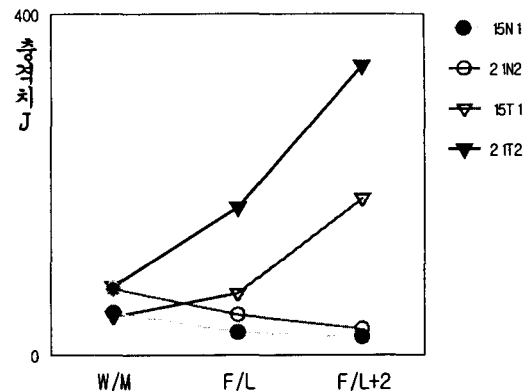
3.3.2 열영향부 충격성능

TMCP 강재의 열영향부 충격성능은 양호한 값을 나타내었으나, 노말라이징 강재의 열영향부 충격성능은 선급의 요구치를 만족하지 못했다. 또한 TMCP 강재라 하더라도 10mm 두께 이하인 경우에는 열영향부의 충격성능이 모재 대비 급격히 저하됨을 확인할 수 있었다. 아래 <그림2>는 열영향부 충격성능의 일례이다.

3.3.3 입열량에 따른 용착금속의 충격성능

동일 입열량 조건에서는 1전극보다는 2전극 용접의 경우에 더 양호한 용착금속 충격성능을 나타내었다. 용착금속 내에 Ti, B을 함유하지 않은 용접재료의 경우에 입열량 증가에 따라 저온 충격성능이 현저히 저하되었다. 용착금속 내에 Ti, B을 함유하더라도 플럭스의 역할에 따라 저온 충격성능은 현저한 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 10 kJ/mm 입열량으로 용접 시에도 -40°C에서 50J 이상의 용착금속 충격성능이 확보되는 용접재료를 실험적으로 확보할 수 있었고, 용접재료 종류에 따라 상대적으로 저입열 용접을 실시해도 저온 충격성능 확보가 곤란함을 확인할 수 있었다.

<그림2> 용접 열영향부의 충격성능 일례 (Square groove, EH36/노말라이징 및 TMCP강재 적용 시)



4. 결 론

SAW 1 run both side 용접에서 용착금속 및 열영향부의 저온 충격성능에 미치는 용접재료 및 입열량의 영향을 실험적으로 고찰하였으며, 선급의 Offshore Standard가 적용되는 선박형상 구조물에 적용되는 E(H)급 강재의 용접작업 시에 요구되는 -40°C에서의 충격성능을 확보하여 현업 적용할 수 있었다.

- 1) 본 시험과 같은 대입열 SAW 용접 시, 저온 충격치를 확보하기 위해서는 용착금속 내에 Ti, B 와 같은 결정립 미세화 원소가 첨가되어야 하고, 이는 플럭스로부터 공급되어야 한다.
- 2) 주판 판계작업 시, 선급 Offshore Standard에서 요구되는 저온 충격성능을 만족시킬 수 있는 국산 용접재료가 개발되어야 한다.
- 3) 대입열 SAW 용접 시, 노말라이징 강재의 열영향부 충격치 확보가 곤란하다.

참고문헌

1. Takeo Horigome 외 5명 : Study on Ti-B type welding material for high heat input submerged arc welding of 50kg/mm² class steel, 용접학회지(일본)
2. 대한용접학회 : 용접접합편람, 1998, 564-572
3. AWS : WELDING METALLURGY, VOLUME 1, FOURTH EDITION, 352-355