

해양 구조물용 고장력강의 부식피로특성

최성대*(금오공대 기계공학부), 久保 武男(동경도립대 공학부),
三澤 啓志, 정선환, 이종형(금오공대 기계공학부)

Characteristic of Corrosion Fatigue of High Strength Steel for Marine Structures

S. D. Choi(Mech. Eng. Dept., KIT), T. Kubo(Mech. Eng. Dept., TMU),
H. Misawa, S. H. Cheong and J. H. Lee(Mech. Eng. Dept., KIT)

ABSTRACT

Fatigue strength, especially crack initiation behavior of high strength steel under marine water environment was investigated. Marine structures were usually constructed by lot of weld joints and were designed by basis of the fatigue strength of weld joints. This study was carried out to mini.

The fatigue initiation behavior is more important rather than crack propagation behavior under the design of marine structures, because it is very difficult to find out the crack propagation phenomena and repair the damaged part of welded joints in sea water

Then, the new configuration specimen for fatigue crack initiation tests was proposed. Using this new specimen, it is easy to carry out the crack initiation tests with relatively low cycling loading and clearly find out a crack initiation fatigue life.

Key Words : TMCP Steel(열처리처리된 압연강), Corrosion fatigue(부식피로), Initiation crack(초기균열)

1. 서 론

대형의 기계 구조물인 해양구조물은 해수에 의한 부식과 해류나 파도, 강풍등에 의하여 과혹한 하중을 받는다. 1980년 3월에 북해에 설치되었던 석유 굴삭시설 Alexander Keeland호의 숙박시설을 지지하고 있는 다리구조물에서 파단이 일어났다. 급기야 구조물 전체의 도파사고로 발전되어 123명의 인명을 잃었다.⁽¹⁾ 파괴는 구조물의 밑부분의 관구조 부재로부터 피로파괴에 의해서 진행되었다. 이 때의 피로 균열은 용접부재의 2중이음부부터 발생하였다. 이 사고에서 보는 것과 같이 해양구조물의 구조는 안전성의 설계개념을 적용하는 것이 곤란한 부위이다. 그것으로 해양구조물의 주요한 구성요소인 다리구조의 설계에 있어서는 강도기준으로서 피로균열의 발생한도를 적용하는 것이 필요하다. 해양구조물의 파괴는 다른 용접구조물과의 같이 용접부 부근에서 피로균열의 발생과 진전으로 파괴된다. 그러나 다른 대형 구조물과 달리 균열의 발생부가 바다 속에 있기 때문에 보다 높은 안전성을 확보하기 위해서 피

로 균열의 발생을 규제하는 설계가 필요하게 된다. 해양구조물의 크기는 예를 들어 Alexander Keeland호의 경우 상부갑판에서 바다 속의 제일 아래 부분까지 35.6m인 대형 구조물이기 때문에 작업중에 균열의 발생과 진전 거동의 관찰은 물론이고, 보수작업은 무척이나 곤란한 것으로 생각된다.

본 연구에서는 해양구조물용으로 개발되었던 500MPa급의 고장력강(TMCP강⁽²⁾⁽³⁾: Thermo-Mechanical Control Process Steel)의 시험편을 가지고 실용적으로 매우 중요한 해수 환경하의 피로균열발생 현상에 주목하고 있다. 일반적으로 용접이음을 포함하는 판재 시험편에 의한 피로시험의 실시 예는 많지는 않다. 이것은 시험편의 형상으로 인하여 제약이 있고 시험편에 대하중이 필요로 하고, 또한 시험기의 부식방지를 위한 장치가 필요로 하기 때문이다. 본 연구에서는 이런 것들을 해결하기 위해 새로운 방법을 사용하여 용접부 및 용접 경계부로 부터 피로균열의 발생현상에 대하여 얻은 결과를 보고한다.

2. 실험방법

해양구조물은 중공의 두꺼운 판 부재를 연결시켜 용접하는 것으로 구성되어 있다. 따라서 해양구조물에는 용접 비드가 길게 형성되기 때문에 피로균열의 발생점이나 피로균열 진전 거동의 관찰을 실시하는 것은 용이하지 않다. 그리고 파괴의 원인이 되는 부식피로현상은 소재표면에서의 피로균열의 발생이 원인이 되는 것이 많다. 그것 때문에 피로균열의 기점은 용접 끝단부의 응력 집중부나 부식피트가 되지만 어느 것 모두다 부재표면으로 부터의 피로균열의 발생현상의 관찰이 필요로 한다. 따라서 용접이음부를 포함한 표면균열의 관찰이 가능하게 되는 형상의 새로운 시험편을 제작하여 실험을 실시하였다. 용접이음 모의 시험편은 시험편중앙에 용접부가 있으며 용접방향은 시험편의 판 두께방향이며, 두꺼운 판에 글로우브를 가공한 후 용접을 실시하였다. 두꺼운 모재에서 12mm의 판재 시험편을 취출하도록 했다. 따라서 실험에 사용한 시험편의 중앙부에만 용접되어 있으며, 돌기용접이음시험편이다. 이 새로운 시험편의 중앙부의 응력해석을 위한 요소법에 의하여 실시하여 시험편 중앙의 응력치와 시험하중의 관계를 나타내었다.

2.1 시험편

시험편의 형상은 Fig. 1에 나타내었고, 시험편 소재는 500MPa급 고장력강이고 화학적 성분 및 기계적 성질은 각각 Table 1, 2에 나타내었다. 시험편의 두께는 12mm이고, 시험편의 좌우에 핀으로 하중을 부하한다. 시험편 중앙부에 V형 글로우브로 용접하여 이음하였다. 시험편은 용접끝단부가 시험편 중앙에 위치하는 경우와 용접부 중앙과 시험편중앙부가 일치하는 경우의 2종류를 사용하였다. 그리고 시험편 중앙부에 용접끝단부의 형상에 의한 응력집중을 가정하여 직경0.2mm, 깊이 0.2mm의 드릴구멍을 가공하였다. 시험편 표면은 습식연마를 하였다.

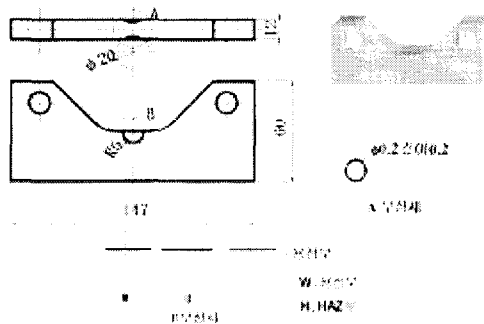


Fig. 1 Specimen of Corrosion fatigue test

Table 1 Chemical natural disposition (%wt)

C	Si	Mn	P	S
0.1	0.18	1.5	0.007	0.001

Table 2 Mechanical property

Yield stress MPa	Tensile stress MPa	Elongation %	α_1 (°)
407	544	30	432 (0.1)

2.2 응력검정실험

본 실험에 사용된 시험편은 고유의 형상으로서 시험편 중앙부의 응력과 부하하중과의 관계를 구하기 위해 응력검정을 실시하였다. Fig.2는 시험편의 부하하중과 응력의 관계를 나타내고 있다. 식(1)은 시험편에 걸리는 응력과 부하하중의 관계식을 나타내었다.

$$P = 4.64 \times 10^{-5} \sigma \quad \text{-----(1)}$$

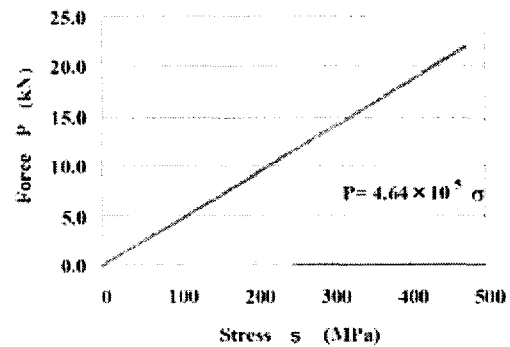


Fig. 2 Relationship between stress and force

2.3 시험기

인장시험과 해수중 피로시험은 전용으로 제작된 횡형 부식피로시험기(용량 58.8kN)을 이용하였다. 또한 대기중의 피로시험은 전기유압서보식 피로시험기(용량98kN)을 이용하였다. 경도시험은 마이크로 비이커스 경도기로 부하하중은 200gf이고 유지시간은 10초로하였다.

2.4 부식환경

해수환경은 금속부식시험용 인공해수를 사용하여 횡형으로 설치된 시험편의 시험부에 부식액의 수조를 설치하고 부식액이 시험편의 중앙부에 흘러내리도록 하였다. 이때의 유량은 0.2 l/min으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 조직관찰과 경도분포

중앙에 용접부를 갖는 시험편의 윗면(시험부)의

조직사진을 Fig.3에 나타내었으며, 용접부 및 용접경계부, HAZ경계부의 조직사진을 나타내었다. Fig.3에 의하면 용접부분의 조직은 용접금속부는 덴드라이트 조직, 본드부부는 가열에 의하여 조임화한 것으로 격자상인 위도만상 조직도 보인다. 혼림역은 본드부와 세립역의 중간의 조직이다. 또한 세립역은 재결정으로 미립화되고 있다. 페라이트와 마이크로 상으로 되어 있다. 모재는 압연방향에 대하여 평행한 페라이트와 퍼얼라이트의 고상조직이다.

Fig. 4에는 시험편의 평활부의 경도분포를 나타내었다. 용접부의 중심에 0.5mm의 간격으로 길이방향20mm와 시험편의 두께방향에 6mm에 걸쳐서 구한 결과이다. 이 면의 경도가 최대인 것은 HAZ부인 본드부이었다.

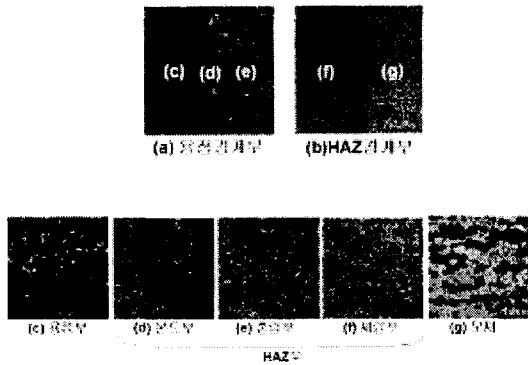


Fig. 3 Photography of material structure

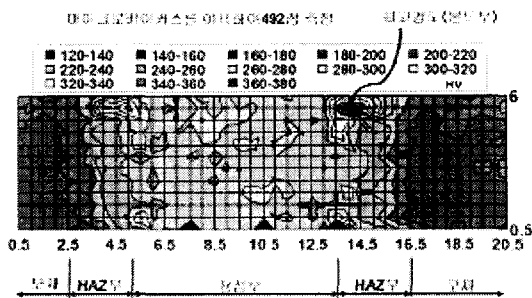


Fig. 4 Distribution of hardness

3.2 피로시험의 결과

피로시험편을 이용하여 부식피로시험을 실시하는 중 피로시험의 초기에 부식피트가 형성되었다. 더욱이 응력반복수를 증가하면 먼저 인공결함부로부터 균열이 발생하고 반복수를 증가하면 할수록 부식피트에서도 균열이 발생하는 것이 관찰되었다.⁽⁵⁾ 인공결함부부터 먼저 균열이 발생한 이유는 부식피트와 인공결함부의 응력집중계수의 차이에 있다고 생각한다. 드릴구멍에 의한 응력집중계수는 2.0이상이고, 부식피트는 응력집중계수를 구하지는 않았지만,

부식구멍이 상대적으로 깊지 않으면 2이하라고 추정하고 있다. 그리고 인공결함부에서는 응력반복에 의한 피로손상이 누적되어 있는 반면에, 부식피트부에서는 피트발생후의 응력반복에 의한 피로손상이 누적되어 균열이 발생하는 것으로 생각된다.

3.3 인공 결함부로부터의 균열발생

Fig. 5에 용접금속의 중앙에 인공결함을 넣은 시험편(이하 W 시험편)의 균열발생부의 사진을 나타내었다. 사진 중에 나타낸 표시는 균열선단을 나타내고 있다. Fig.5(b)를 보면 피로균열은 인공결함의 밑부분에서 발생하지 않은 것이 알 수 있다. 이 경우의 균열은 인공결함의 표면에서 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

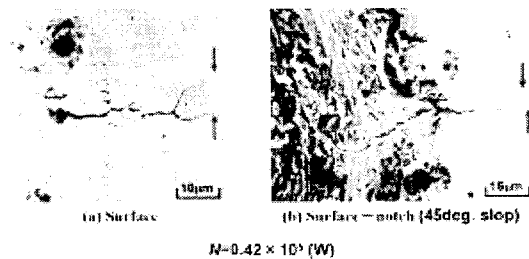


Fig. 5 Photography of corrosion fatigue initial crack

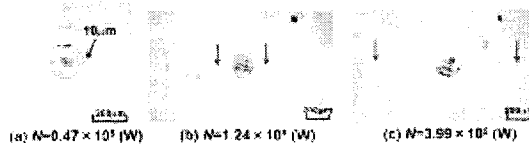


Fig. 6 Crack growth from notch (W specimen)

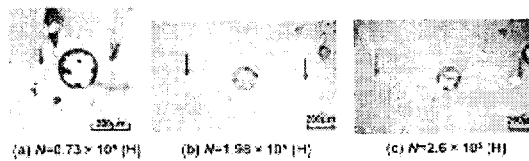


Fig. 7 Crack growth from notch (H specimen)

Fig.6에는 W 시험편, Fig.7에는 용접 경계부에 인공결함을 넣은 시험편(이하 H 시험편)의 인공결함에 발생한 부식피로균열발생과 그 후의 반복수에 대하여 진전상황을 나타내었다. Fig.6(a) 및 Fig.7(a)에서 확인된 피로균열길이는 각각 10µm이다. Fig.6, 7에서 피로균열의 발생은 결함의 한쪽 면에서 발생하고 반복수를 증가하면 다른 쪽에서도 발생한다. 또한 검은 점은 부식피트이고 부식피로시험 개시직후에 형성되었다.

3.4 부식피트에서의 균열발생

Fig.8에 부식피트에서의 피로균열발생과정을 나타내었다. Fig.8(a)의 등골게 표시한 것에서 반복하중의 크기와 반복수의 증가, 그것에 부식환경에 의해서 피트의 하중축에 수직한 부분이 침체화한다. 그리고 반복수가 증가하면 피트가 침체화한 것으로부터 피로균열이 발생하는 것이라고 생각한다. Fig.9에 W 시험편의 부식 피트에서의 피로균열발생진전거동을 나타내었다. 또한 본 논문에는 나타내지 않았지만 근접하는 두 개의 피트에서 발생한 균열이 결합하는 현상이 확인되었다. 이상과 같이 본 실험에서 부식피로시험의 초기에 부식피트가 발생하고 그 후 인공결합에서 균열이 발생한 후에 부식피트에서 균열이 발생하고 있는 것을 알았다.

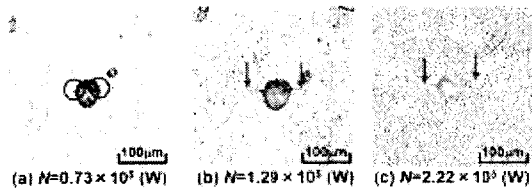


Fig.8 Crack growth from corrosion pit(W specimen)

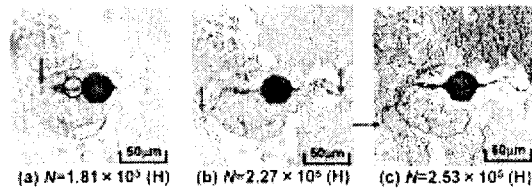


Fig.9 Crack growth from corrosion pit(H specimen)

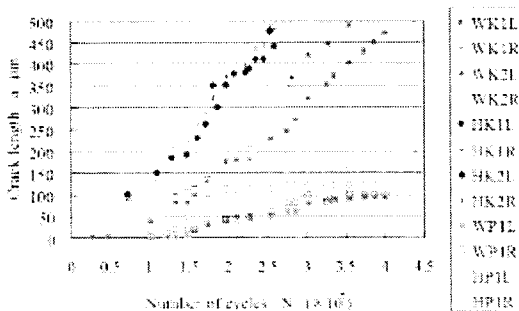


Fig. 10 Relation between crack length and Number of cycles

3.5 부식피로균열의 발생 수명

Fig.10에 W 시험편의 부식피로시험 결과를 나타내었다. 그림에서 표시한 K는 인공결합부에서 발생한 균열에 대한 것이고 P는 피트부에서 발생한 균열에 관한 것이다. 더욱이 계속적인 숫자는 시험편의

번호를 나타내고, L과 R은 균열발생 위치가 시험편이 좌우에 있는 것을 나타내고 있다. 여기에서 균열 발생 현상을 나타내기 위하여 균열길이를 좌우 맞추어 나타내는 것은 하지 않았다. 인공결합과 부식피트에서의 균열발생진전현상에서 균열발생수명을 외접하여보면 H 시험편의 것이 W 시험편 보다도 균열 발생수명이 짧고, 인공결합에서의 균열발생수명이 부식피트에서의 발생수명보다 짧은 것을 나타내고 있다. 또한 균열진전의 미소영역에서 인공결합의 균열 진전량이 부식피트에서의 균열 진전량보다 크다고 하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 부식피트 형성과정에 있어서 부식생성물에 의한 췌기효과가 나타나고 있는 것과 부식피트에서의 균열진전이 부식에 따라 표면만이 아니라 깊이 방향에도 진전하고 있는 것으로 생각된다. 또한 H 시험편의 균열 진전량이 W 시험편보다도 많은 것은 Fig.4의 정도 분포에서 H 시험편의 인공결합 위치인 HAZ부의 경도가 W 시험편의 인공결합위치인 용접부보다도 높기 때문에 균열발생수명이 짧고 미소영역에서의 균열진전량이 많게 되는 것이라 생각된다.

4. 결론

500MPa 급의 해양구조물용 강인 TMCP강을 가지고 용접이음을 해서 서로 다른 시험편으로부터 용접부, HAZ부의 부식피로균열발생현상을 검토하기 위해 인공해수환경에서 피로시험을 실시한 결론은 다음과 같다.

1) W 시험편과 H 시험편의 양쪽 모두다 반복하중의 초기에 피트가 형성되었다. 그 후 인공결합에서 균열이 발생하고 따라서 피트에서도 균열이 발생하는 것을 알았다.

2) 부식피트에서의 균열발생은 반복하중과 부식작용에 의해 피트의 응력치가 최대의 장소에, 하중축에 수직한 위치에서 날카롭게되고 그 후 날카로운 장소에서 균열이 발생하는 것을 나타내었다.

3) 인공결합과 부식피트에서의 균열발생진전 현상에서 균열발생 수명을 외접하여 보면 H 시험편의 것이 W 시험편의 것보다 균열발생 수명은 짧고, 인공결합이 부식피트보다 균열발생 수명이 짧은 것을 나타내고 있다.

4) 균열진전의 미소영역에서 인공결합이 부식피트보다 균열진전량이 크다는 경향을 나타내었다.

5) 미소영역에서의 균열진전현상을 보면 H 시험편의 균열진전량이 W 시험편보다도 많은 것도 알았다.

참고문헌

생략함.