

조선용 극후물재의 취성균열 정지 특성 평가 Crack arrestability of thick plates for shipbuilding

안규백*, 박준식*, 정보영*, 이종봉*

* POSCO 기술연구소 접합연구그룹

ABSTRACT In recent time there are vigorous requirement for the use of thick steel plate in various industrial fields including shipbuilding industry. Especially, with the continual increases in marine transportation volumes on a global scale, the steel of container ships have become thicker and thicker with the increased size of ships. In addition to, the brittle crack arrestability of heavy thick plates were big issue, in recently. In this study, crack arrest test were conducted in order to investigate the crack arrestability of thick plates for shipbuilding steels, where test plate thickness were 50mm and 80mm. This paper introduce the brittle crack arrestability of heavy thick plates for shipbuilding.

1. 서 론

조선업을 포함한 다양한 산업 분야에서 후판 강재의 수요량 증가와 함께 사용 범위 또한 폭넓게 되고 있다. 특히, 선박의 수송효율의 극대화를 위하여 컨테이너선의 대형화가 급속하게 진행되고 있으며, 2007년 이후에는 10,000 TEU 이상의 초대형 컨테이너선이 건조될 예정이다¹⁾. 초대형 컨테이너선의 건조와 함께 강재의 강도 및 두께의 증가는 자연스럽게 이루어 지고 있다. 또한 8000 TEU급 이상의 컨테이너선에서는 355MPa급 70mm이상의 두께를 갖는 극후판이 선체의 Hatch coaming부에 적용되고 있다¹⁾. 선박의 고강도화 및 극후판화가 진행됨에 따라서 선체구조물의 파괴 특성에 대한 관심이 증가되고 있으며, 일본선급협회(NK)²⁾에서는 지난 2006년 7월 관련 규정을 새롭게 첨가 하여 극후판의 파괴안전성 확보에 더욱 높은 관심을 보이고 있다. 종래에는 판두께 30~40mm에 관한 연구들이 주로 수행되었으나, 최근 몇 년 사이에 일본에서는 균열정지의 관점에서 극후판에 대한 취성균열 정지 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^{1,3,4)}. 이와 관련 최근 조선산업의 초대형컨테이너선의 건조에 있어서 주요관심 대상인 극후판 용접부 이음부의 취성균열 정지특성에 관

한 기존의 연구동향 및 결과에 대하여 박준식등⁵⁾이 대한 접합용접 학회지에 상세하게 소개하고 있다.

본 연구에서는 선급 극후판 강재에 대한 취성균열 정지 특성을 검토하기 위하여 종래와 동일한 온도구배에 의한 ESSO시험을 통하여, 모재의 두께별 취성 균열정지 특성을 검토하였다.

2. 극후판 균열 정지 특성 실험 결과

본 연구에 사용한 강재는 EH36 grade의 TMCP-대입열용강의 판두께가 50mm, 80mm의 2 종류 이다. Table 1, Table 2에는 강재의 화학조성 및 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of EH36 steel used

Steels	C	Si	Mn	P	S	S-Al	C _{eq}
EH36-BM-50t	0.057	0.14	1.50	0.14	0.0017	0.0186	0.35
EH36-BM-80t	0.057	0.14	1.55	0.14	0.0018	0.0186	0.35

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$$

Table 2 Mechanical properties of base metal

Steels	Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
EH36-BM-80t	375	500	33

취성균열 정지 특성의 평가에는 대형시험과 소형 시험의 방법이 있는데, 최근에는 취성균열 정지 특성에 관한 실험이 온도구배 조건하에서 대형 ESSO 시험이 폭 넓게 수행 되고 있다. 본 연구에서도 3000 ton 대형 인장시험기를 사용하여 판두께 50mm, 80mm에 대하여 온도구배 조건하에서 ESSO시험을 실시하였다. 온도구배와 하중 조건은, 선급용 극후판 강재의 취성균열 정지 성능에 관한 현 수준을 파악 하고자, 균열이 정지 가능한 조건으로 설정 하였다. Fig. 1에는 시험편의 크기를 나타내었다. 시험편은 판두께 50mm, 80mm에 대하여 각각의 온도구배와 하중 조건하에서 3번의 실험을 수행하였다. 노치선단에서의 온도는 $-110^{\circ}\text{C} \sim -60^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 조절 하였으며, 고온측은 실온 $\sim +40^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 각각의 조건에 맞게 온도구배를 설정하여 ESSO 시험을 수행하였다.

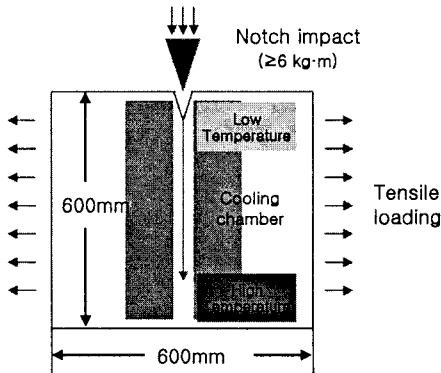


Fig. 1 Shape of large size crack propagation-arrest (ESSO) test specimen.

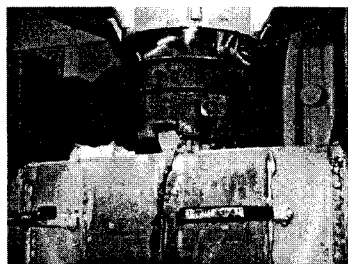
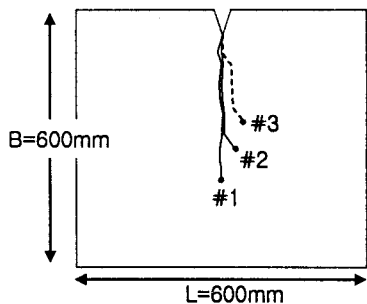


Fig. 2 Crack path of specimen (Plate thickness:80mm)

Fig. 2에는 판두께 80mm에 대한 실험후의 균열 진전 및 정지 경로에 대한 모식도를 나타내었다. 인장하중이 가하여진 상태에서 충격장치에 의하여 균열이 발생되어서 일정 거리 만큼 진전 후 온도구배에 의하여 균열이 정지하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3에는 판두께 80mm에 대한 각각의 시험편의 균열전파에 의한 파면을 나타내었다. 균열정지온도는 7.5°C , -8.0°C , -31°C 였으며, 각각의 균열이 정진된 온도에서의 균열길이는 390mm, 340mm, 281mm였다.

	Sp. #1	Sp. #2	Sp. #3
Fracture surface			
Crack length	390mm	340mm	281mm

Fig. 3 Fracture surface of large crack propagation-arrest test (Plate thickness: 80mm)

취성균열 정지 특성을 파악 하기 위하여 식 (1)을 이용하여 K_{ca} 값을 도출 하였다.

$$K_{ca} = \sigma_g \cdot \sqrt{\pi C_a} \cdot \sqrt{\frac{2B}{\pi C_a} \tan \frac{\pi C_a}{2B}} \quad (1)$$

여기서, K_{ca} : Brittle crack arrest fracture toughness ($N/mm^{1.5}$)

σ_g : Gross stress (N/mm^2)

C_a : Arrest crack length(mm)

P : Test load(N)

B : Withe of specimen(mm)

t : Thickness of specimen(mm)

식(1)에 의해서 구해진 K_{ca} 값과 균열정지온도와의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 실험에서 구한 K_{ca} 값은 각각의 두께에 대하여 약 +2

0°C~-40°C에서 얻을 수 있었다. 판두께 50mm, 80mm에 대해서 실험값을 기준으로 하여 추세선을 그리면, 기울기가 거의 동일하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

종래의 연구결과^{6,7)}에 의하면 취성균열 전파의 정지성능은, 최저 사용온도에 있어서, 통상의 작용응력 조건하에서 취성균열을 거의 정지 시키기 위해서는, $K_{ca} \geq 400 \text{ kgf/mm}^{1.5}$ 을, 또한 취성균열을 안전하게 완전히 정지 시키기 위해서는, $K_{ca} \geq 600 \text{ kgf/mm}^{1.5}$ 의 값을 가져야 한다고 알려져 있다. 그러나 이러한 결과들은 판두께 30~35mm정도의, 일반 선체용 연강판 및 선체용 50kg급 고장력 강판에 대해서 확인된 실험 결과이므로, 본 연구에서 사용한 판두께 50mm, 80mm의 극후판에 대해서도 적용 가능한가에 대해서는 불명확하다고 할 수 있다.

한편, 그림에서 ★이 표시하고 있는 K_{ca} 값은 일본선급협회(NK)가 제안한 통상운항 조건하에서의 -10°C에서 값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 본 연구에 사용된 선급용 극후판 50mm, 80mm, 모두 조건을 만족하고 있음을 알 수 있다.

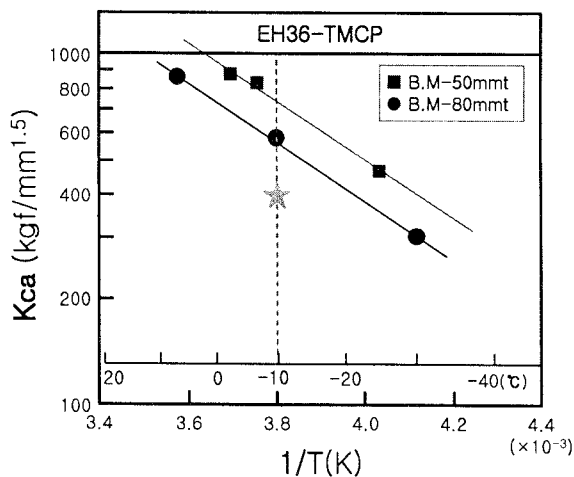


Fig. 4 Relation between K_{ca} and temperature

4. 결 론

본 연구에서는 선급용 극후판 강재의 취성균열 정지 특성에 대하여, 온도구배하의 ESSO시험을 통하여 검토하였다. 종래의 연구 결과를 바탕으로 제안된 일본 선급협회(NK)의 통상운항 조건하에서의 K_{ca} 값을 50mm, 80mm 모두 만족하고 있음을 확인 하였다. 본 연구에서 사용한 선급용 극후판 강재에 대하여 건전한 파괴안전성을 확보하였다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 일본조선해양공학회지 3 (2005), 70-76
2. 일본선급협회(NK)규정집 (2006)
3. Takehiro Inoue, Tadashi Ishikawa, Shiro Imai, Tadashi Koseki, Kazuhiro Hirota, Masuo Tada, Hiroshige Kitada, Yoshiya Yamaguchi and Hiroshi Yajima: Long crack arrestability of heavy-thick shipbuilding steels, Proceedings of International Offshore and Polar Engineering Conference (2006), 132
4. Takehiro Inoue, Tadashi Ishikawa, Shiro Imai, Tadashi Koseki, Kazuhiro Hirota, Masuo Tada, Yoshiya Yamaguchi Toshiyuki Matsumoto and Hiroshi Yajima: Long crack arrest concept in heavy-thick shipbuilding steels, Proceedings of International Offshore and Polar Engineering Conference (2007), 3322
5. 박준식, 정보영, 안규백, 이종봉: 선급 극후물 강재 용접부 취성균열 정지 특성, 대한용접접합학회지 25, 4 (2007), 9-14
6. The 147th Research Committee: Evaluation of brittle fracture toughness of welded joints of ship under high welding heat input, Report No. 87, The Shipbuilding Research Association of Japan, (1978)
7. The 193th Research Committee: Application of 50kgf/mm² class high strength steel plates made of new steel manufacturing process, Report No. 100, The Shipbuilding Research Association of Japan, (1985)