

## 논-스칼롭 블록 조인트 용접법 개발

김호경<sup>1</sup>, 고대은<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>STX조선해양 기술연구소, <sup>2</sup>동의대학교 조선해양공학과

## Development of Non-Scallop Block Joint Welding Method

Ho-Kyeong Kim<sup>1</sup>, Dae-Eun Ko<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Technology, STX Offshore & Shipbuilding

<sup>2</sup>Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University

**요약** 용접 스칼롭은 작은 사분원 또는 반원 형상의 구멍으로서 용접의 작업성 향상을 위한 목적으로 용접선이 교차하는 위치에 시공된다. 선체 블록의 탑재 단계에서는 수많은 T-bar 조인트 용접이 수행되어야 하며, 플랜지-웹의 교차용접이 완료된 후에 육성용접을 통해 모든 스칼롭을 메공하는데 많은 생산시수가 소요된다. 본 연구에서는 특별한 타입의 CBM(ceramic backing material)을 고안하여 T-bar 조인트 용접 시 플랜지-웹의 교차용접 지점에 시공되던 스칼롭을 삭제함으로써 논-스칼롭 블록 조인트 용접 공법을 개발하였다. 플랜지간 용접 시 플랜지 이면에 접촉한 웹의 V 용접개선에 삽입이 용이하도록 CBM을 웨지 형상으로 제작하였고 웹간 용접 개선의 루트갭에 맞추어 불필요한 부분의 절단이 용이하도록 예비 절단면들을 톱니 형상으로 배치하였다. 조선소의 실제 용접조건에 기초한 일련의 실험을 통하여 개발된 논-스칼롭 용접 공법의 유용성을 확인하였다.

**Abstract** A weld scallop is a small quadrant or half circle type hole installed in the weld line cross area for easy welding operation. Many types of T-bars with a scallop can be welded in a block assembly stage in shipbuilding. The difficulties arise from the fact that scallops are to be filled by build-up welding after welding of the cross line is complete. In this study, a non-scallop block joint welding method was developed using special type CBM (ceramic backing material). The wedge shaped CBM was devised to insert a CBM into just the V groove of weld line cross area without weld scallop. A saw-toothed shape was adopted for easy cutting of the unnecessary part in the CBM fitting process. The applicability of the developed method was verified through welding experiments based on the yard welding conditions.

**Key Words** : Weld scallop, Build-up welding, Block assembly stage, CBM(ceramic backing material)

### 1. 서론

용접 스칼롭은 작은 사분원 또는 반원 형상의 구멍으로서 용접선이 서로 교차하는 경우 발생하는 용접선 간의 간섭 방지를 통해 용접의 작업성을 향상시키기 위한 목적으로 시공된다. 용접 스칼롭은 선박의 건조 과정에 있어서 많은 부분에 시공되는데, 교차 용접의 완료 후에 메공이 필요한 경우에는 육성용접에 대한 추가적인 생산

시수가 소요되고 여러 가지 용접 결함의 위험을 내포하게 된다.

최근 선박 생산 분야에 있어서는 생산성 향상을 위해 선체 블록이 대형화되는 추세에 있으며, 블록의 탑재 단계에서는 주판의 버트용접 뿐 만 아니라 수많은 T-bar 조인트의 용접이 수행되어야 한다. 이 때, T-bar 조인트의 플랜지-웹 교차용접을 위해 시공된 용접 스칼롭은 선체 중강도 확보를 위해 육성용접을 통해 모두 메공하

이 논문은 2014학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2014AA007).

\*Corresponding Author : Dae-Eun Ko(Dong-Eui Univ.)

Tel: +82-51-890-2594 email: deko@deu.ac.kr

Received May 8, 2014

Revised June 17, 2014

Accepted September 11, 2014

여야 한다. Fig. 1은 블록 탑재 단계에서 발생하는 T-bar 조인트의 용접 스킨을 보여주고 있다.



[Fig. 1] T-bar joint with weld scallop in block assembly stage

블록 탑재 단계의 T-bar 조인트는 서로 수직인 플랜지와 웨브가 놓이는 방향에 따라 여러 가지 경우가 존재한다. 본 연구에서는 수평 플랜지가 위쪽, 수직 웨브가 아래쪽에 놓이는 경우를 다루었다. 이 경우, 용접 스킨이 시공된 T-bar 조인트의 용접 순서는 다음의 두 가지를 생각할 수 있다. 하나는 플랜지 및 웨브의 CBM 설치, 웨브 수직용접, 플랜지 상면 아래보기용접, 용접 스킨의 CBM 설치 및 육성용접의 순서이고, 다른 하나는 플랜지 및 웨브의 CBM 설치, 플랜지 상면 아래보기용접, 웨브 수직용접, 용접 스킨의 CBM 설치 및 육성용접의 순서이다. 두 용접 순서 모두 웨브 용접선에 용접 스킨으로 인한 불연속부를 만들게 되고 이는 응력 집중의 원인이 된다. 또한, 용접 스킨의 육성용접 시 용접 자세가 오버헤드 자세와 유사하게 되는 경우가 많아 용접작업이 어렵고 이는 슬래그 혼입, 기공, 융합부족 등 용접결함의 발생 빈도를 높이는 원인이 되고 있다.

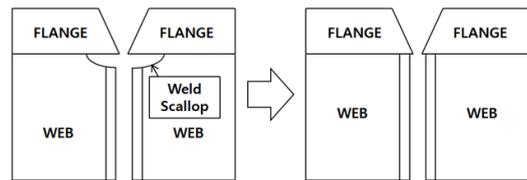
이와 관련한 연구동향을 살펴보면 용접 스킨이 존재한다는 것을 전제로 스킨의 형상 변화에 따른 피로 특성을 검토한 연구가 주를 이룬다. Kim 등[1]은 고강도 고성능 강 of 적용을 위한 강재 접합부의 인성평가가 연구에서 스킨 단부의 응력집중으로 인해 보의 변형분담율이 저하되는 양상을 실험을 통해 확인하였다. Harada 등[2]은 스킨이 구조물의 피로특성에 미치는 영향을 검토하였으며, Wei[3]는 실구조물 크기의 beam-column 용접부에 대한 피로 실험을 실시하여 스킨 구조가 주요 파괴 인자임을 확인하였다. Mori 등[4]은 beam-column 연결부에 발생하는 균열의 원인과 방지대책에 관한 연구에서 스킨 형상에 따른 특성 변화를 검토하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 용접 스킨은 블록 탑재

단계에서 T-bar 조인트 용접의 작업 편의성을 위해 시공되지만 메공에 따르는 생산성 저하 및 여러 가지 용접 결함의 발생 가능성을 내포하므로, 본 연구에서는 이러한 용접 스킨을 원천적으로 삭제하기 위한 연구를 수행하였다. T-bar 조인트에 대한 논-스캘럽 용접 설계 방안을 제시하고 해당 용접기법을 정립하였으며 조선소의 실제 용접조건에 기초한 일련의 실험을 통하여 그 유용성을 확인하였다.

## 2. 논-스캘럽 용접 설계

수평 플랜지가 위쪽, 수직 웨브가 아래쪽에 놓이는 경우의 T-bar 조인트 용접에 대하여 용접 스킨의 유무에 따른 형상 변화를 Fig. 2에 보였다. 용접 스킨을 삭제하기 위해 웨브의 V 용접개선을 플랜지 하면에 접촉하도록 연장하였다. 이로써 용접 스킨은 웨브의 모재로 대체되고 용접 스킨에 기인했던 웨브 용접선의 불연속부가 제거되며 메공을 위한 추가적인 육성용접도 필요 없게 되었다. 다만, 플랜지 용접을 위한 CBM 부착 시 웨브와 간섭이 일어나게 되므로 이에 대한 해결방안이 필요하게 된다. 용접 스킨의 부재에도 불구하고 플랜지 용접을 위한 CBM 설치가 가능하다면 논-스캘럽 T-bar 조인트 용접은 플랜지의 CBM 설치, 플랜지 상면 아래보기용접, 웨브의 CBM 설치, 웨브 수직용접의 순서로 단순화 할 수 있다.



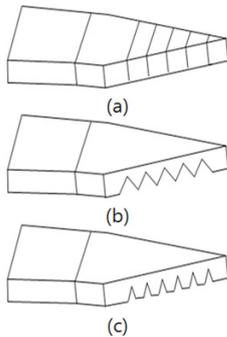
[Fig. 2] Design concept of non-scallop T-bar joint welding

## 3. V 용접개선 삽입용 CBM 개발

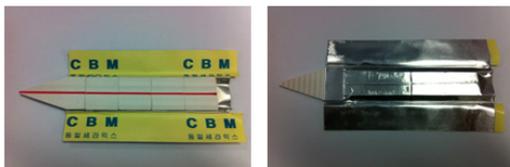
플랜지 상면 아래보기용접을 위한 CBM 설치 시 웨브의 V 용접개선에 CBM을 삽입하기 위해서는 그 형태가 V 용접개선에 맞도록 쐐기형이어야 하며, 루트갭을 지나

반대면으로 돌출되는 부위는 깔끔한 제거가 용이하도록 제작되어야 한다.

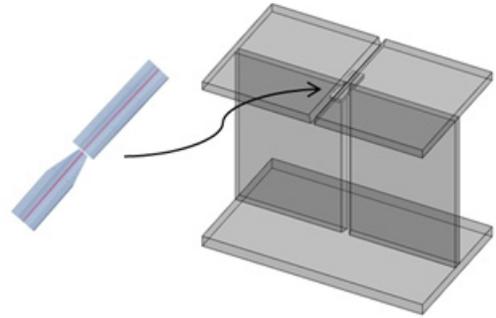
V 용접개선의 루트갭은 용접 설계 시 여러 가지 이유로 변화할 수 있고 이에 따라 쉐기형 CBM 삽입 시 반대면에 돌출되는 끝단부 길이도 달라지므로 돌출부 절단을 위한 적절한 홈 간격을 둘 필요가 있다. 본 연구에서는 Fig. 3에 보인 바와 같이 여러 가지 형태의 CBM을 시도하였다. 제작 및 테스트 결과, Fig. 3(a)에 보인 사선 절단형 CBM은 낮은 강도로 인해 설치 시 직진도를 유지하는데 어려움이 있었으며, Fig. 3(b)에 보인 톱니형 CBM은 제작 시 성형성이 좋지 않아 삼각형 이빨 부분이 부서지는 경우가 많이 발생하였다. Fig. 3(c)에 보인 평평한 면을 갖는 톱니형 CBM은 전술한 두 가지 경우의 단점을 보완하여 최종적으로 개발한 것이다. 여러 차례의 테스트 결과 돌출부 절단을 위한 홈 간격은 4mm가 적절하였으며, CBM의 길이는 플랜지의 폭을 고려하여 전체 용접 길이를 커버할 수 있도록 150mm로 하였다. Fig. 4에 최종적으로 개발된 쉐기형 CBM을 보였으며, T-bar 조인트 용접에 적용하는 방법을 Fig. 5에 보였다.



[Fig. 3] Types of wedge shaped CBM



[Fig. 4] Developed wedge shaped CBM



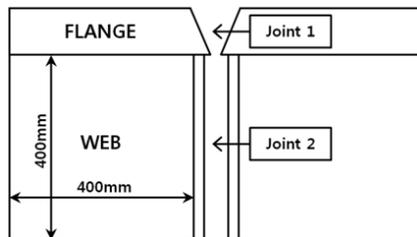
[Fig. 5] Schematic view of CBM fit-up for non-scallop T-bar joint welding

#### 4. 용접 실험 및 결과

앞 절에서 제시한 T-bar 조인트의 논-스캘럽 용접 설계 방안에 대하여 개발된 쉐기형 CBM의 적용성을 확인하고 용접기법을 정립하기 위해 조선소의 실제 용접조건에 기초한 일련의 실험을 수행하였다.

##### 4.1 정규 조건 용접 실험

Fig. 6에 정규 조건 용접 시험편의 기본 형태와 치수를 보였다. 일반적으로 웨브 조인트의 루트갭이 플랜지 조인트의 루트갭보다 약간 크게 형성되는 것을 고려하고, 플랜지와 웨브의 두께에 따라 각 조인트의 루트갭을 적정 범위 내에서 변화시켜 총 6개의 용접 시험편을 제작하였다. 모든 용접 시험편의 재질은 AH36 고장력강이며, 플랜지 조인트와 웨브 조인트에 적용된 V 용접개선의 각도는 35°~40°가 되도록 관리하였다. 그 외 시험편 각각의 세부 정보는 Table 1에 정리하여 보였으며 용접은 조선소의 WPS(Welding Procedure Specification)에 기초하여 FCAW(Flux Cored Arc Welding)로 진행하였다.

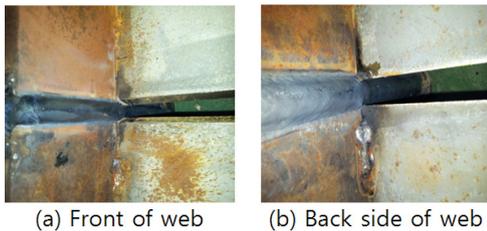


[Fig. 6] Specimen size for normal condition welding test

[Table 1] Specimen data (Normal condition)

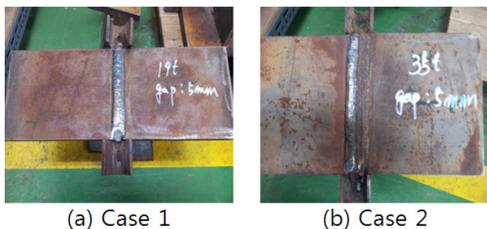
Case	Flange Size (mm)	Web Thickness (mm)	Joint 1 Root Gap (mm)	Joint 2 Root Gap (mm)
1	150 × 19	11	5	7
2	200 × 35	11	5	7
3	200 × 34	11	10	12
4	125 × 14	11	5	7
5	175 × 20	11	5	7
6	200 × 35	11	15	17

개발된 쉐기형 CBM을 적용하여 플랜지 조인트의 용접을 완료한 후 이면 비드에 대한 시각 검사를 실시하였다. Fig. 7은 Case 1에 대한 결과로서 용락(Burn Through) 및 슬래그 혼입(Slag Inclusion) 등의 결함이 발생하지 않음을 확인하였으며 나머지 경우들에서도 마찬가지로 결과를 보였다.



[Fig. 7] Back bead after flange joint welding

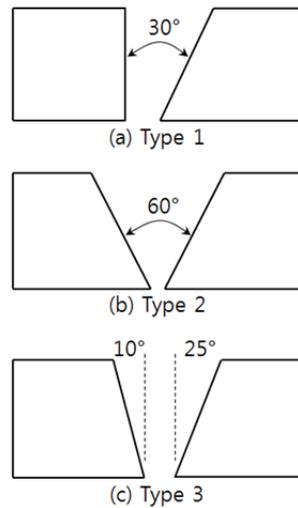
논-스캘럽 T-bar 조인트 용접이 완료된 시험편을 대표적으로 플랜지 두께가 19mm인 Case 1과 플랜지 두께가 35mm인 Case 2에 대해 Fig. 8에 보였다. 보다 정밀한 검사를 위해서 용접 완료된 전체 시험편에 대해 UT(Ultrasonic Test)를 실시하였으며 플랜지와 웨브의 용접선이 교차하는 영역 즉, 용접 스캘럽이 존재하였던 위치를 중심으로 세심하게 진행하였다. 검사 결과 모든 시험편에서 아무런 용접 결함의 징후도 발견되지 않았다.



[Fig. 8] Specimen after welding completed

#### 4.2 비정규 조건 용접 실험

실제 조선소에서는 블록 탑재 시 비정규 상태에서 조인트 용접을 수행해야 하는 경우가 종종 발생한다. 대표적인 비정규 상태를 선별하기 위해 조선소 생산관리팀, 선주 및 선급 감독관을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 그 결과 Fig. 9에 보인 바와 같은 세 가지 형태의 비정규 용접 조건을 도출하였다. 비정규 용접 조건은 용접개선의 각도가 정규 상태가 아닌 것에 기인하며 정규 조건의 경우에 비하여 루트갭이 커지는 경우가 많다. Fig. 9(a)의 Type 1은 한쪽 면은 개선각이 없고 다른 쪽 면은 30°의 개선각을 갖는 경우이며, Fig. 9(b)의 Type 2는 양쪽 면에 개선각이 있으나 일반적인 개선각보다 큰 60°의 개선각을 갖는 경우이고, 마지막 Fig. 9(c)의 Type 3은 양쪽 면에 10°, 25°로 서로 다른 크기의 개선각을 갖는 경우이다.

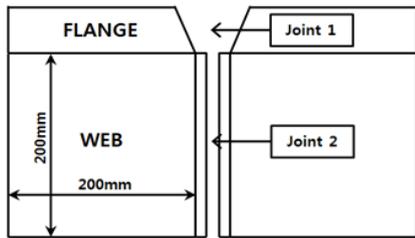


[Fig. 9] Abnormal joint welding conditions

Fig. 10에 비정규 조건 용접 시험편의 기본 형태와 치수를 보였다. 모든 용접 시험편의 재질은 AH36 고장력강이며, 조인트의 용접개선 각도는 Fig. 9에 보인 세 가지 경우를 적용하였다. 모든 시험편 각각의 세부 정보는 Table 2에 정리하여 보였다.

개발된 쉐기형 CBM을 설치한 상태를 Case 1과 Case 4에 대하여 Fig. 11에 보였으며, 플랜지 조인트 용접 완료 후 이면 비드 상태를 같은 경우에 대하여 Fig. 12에 보였다. 이면 비드에 대한 시각 검사 결과 모든 시험편에서

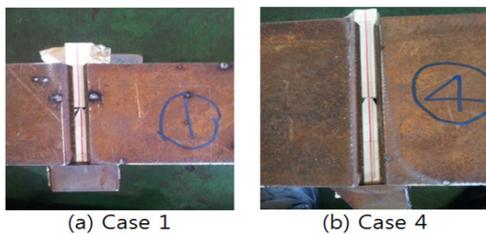
용락 및 슬래그 혼입 등의 결함이 발생하지 않았으며 정규 조건의 용접 품질과 동등한 수준인 것으로 판단되었다. 이로써 본 연구에서 제시한 논-스칼롭 T-bar 조인트 용접 설계 방안의 현장 적용 가능성이 충분함을 확인하였다.



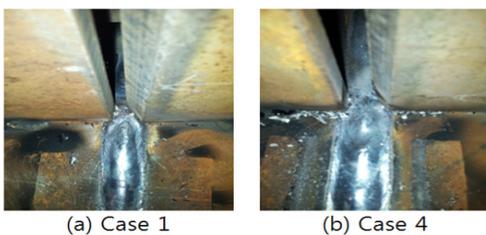
[Fig. 10] Specimen size for abnormal condition welding test

[Table 2] Specimen data (Abnormal condition)

Case	Flange Size (mm)	Web Thickness (mm)	Joint 1 Root Gap (mm)	Joint 2 Root Gap (mm)	Groove Shape
1	150 × 19	11	5	10	Type 1
2	150 × 19	11	5	10	Type 2
3	150 × 19	11	5	10	Type 3
4	150 × 19	11	10	15	Type 1
5	150 × 19	11	10	15	Type 2
6	150 × 19	11	10	15	Type 3



[Fig. 11] Specimen after CBM fit-up



[Fig. 12] Back bead after flange joint welding

## 5. 결론

본 연구에서는 논-스칼롭 블록 조인트 용접법 개발을 위한 새로운 용접 설계 방안을 제시하고 해당 용접기법을 개발하였으며 주요 사항을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 블록 탑재 시 T-bar 조인트의 용접 스칼롭은 추후 배공 되어야 하므로 생산성 저하 및 여러 가지 용접 결함의 원인이 된다. 이러한 용접 스칼롭을 원천적으로 삭제하기 위한 용접 설계 방안을 제시하였다.
- 2) 용접 스칼롭의 삭제에 따라 T-bar 조인트의 플랜지 상면 아래보기용접을 위한 썸기형 CBM을 개발하였다. 썸기형 CBM 설치 시 웨브 조인트의 루트 갭을 지나 반대면으로 돌출되는 부위를 깔끔하게 제거 용이하도록 예비 절단면을 톱니형으로 배치하였다.
- 3) 조선소의 실제 용접조건에 기초한 일련의 실험을 통하여 본 연구에서 제시한 논-스칼롭 T-bar 조인트 용접 설계 방안의 현장 적용 가능성을 확인하였다.

## References

- [1] J. R. Kim, S. B. Kim and J. Y. Kwon, "Study on Elasto-Plastic Behavior of Column to Beam Connection with 600MPa High Performance Steel(SM 570 TMC)", Journal of Korean Society of steel construction, 20(6), pp.691-700, 2008.
- [2] H. Harada, T. Mori, D. Uchida and Y. Kawasaki, "Initiation and Propagation Behavior of Crack Penetrating into Steel Deck Plate at Connection with Transverse Rib and Trough Rib and Influence of Deck Plate Thickness and Scallop", Proceedings of International Symposium on Steel Structures, pp.315-322, November, 2011.
- [3] Wei Zhuobin, "Study on the Influence of Scallop Structure on Aseismic Behavior of Beam -Column Welding Connections in Steel Frames", Industrial Construction, 37(7), pp.78-81, 2007.
- [4] M. Mori, T. Nakagomi, I. Suzuki and C. S. Kim, "Source and Prevention of Cracking of Hot-Dip Galvanization Coating for Steel Beam-Column Joints", Quarterly Journal of the Japan Welding Society, 27(1), pp.41-47, 2010.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2207/qjws.27.41>

**김 호 경(Ho-Kyeong Kim)**

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 (공학박사)
- 2002년 8월 ~ 2003년 7월 : 서울대학교 조선해양공학과 박사후연구원
- 2003년 8월 ~ 현재 : STX조선해양 기술연구소

<관심분야>

선박 생산 자동화, 선박 건조 기술

---

**고 대 은(Dae-Eun Ko)**

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 (공학박사)
- 2002년 10월 ~ 2008년 2월 : 삼성중공업(주) 구조설계팀
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동의대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

선박 및 해양구조물 구조설계, 용접변형 및 용접설계