

Block상태에서의 선미부 Final Boring에 관한 고찰

김 경 일* · 김 중 호*

기 호

- B*: 도식으로 부터 용접해야 할 부위까지의 도심축상의 거리
C: centroid of a butt section
C₁, C₀: 용접봉의 종류, 지름, 용접조건에 의해 정해지는 상수
CG: center of gravity of the sternblock
H: main engine 전면에서의 shaft center의 상하방향 위상편차
S: shaft center
St: butt 용접으로 인한 횡수축량
 θ : block butt 단면의 회전각
X: block butt상의 shaft center로부터 main engine 전면까지의 거리
t: 외판의 두께
W: 단위 용접길이당 전 용착급속량
w: 용접도중의 단위 용접길이당 용착급속량
w₀: 단위 용접길이당 1 pass마다의 용착급속량

1. 서 론

많은 조선소들이 신조선 건조의 생산성 향상을 위하여 효율적인 생산공법을 부단히 개발 적용해 오고 있으나, erection network상에 상존하는 critical path의 제거에 대해서는 관습적인 고정관념을 견지하므로써 사전경고에 의하여 critical path를 follow-up하는 방법으로부터 탈피하지 못하였으며, dock cycle의 부분적인 단축여지를 간과하는데 기인하는 시설의 효용성, 과잉투자부담 및 생산성 저하를 감내할 수 밖에 없었다.

본보에 기술할 공법은 erection network상의 critical path를 능동적으로 제거함으로써 진수일자에 임박하여

stern block 탑재와 연관 후속작업(인레로 축계 작업)의 조기완료, 외장작업의 집중진행 등에 의한 dock cycle 단축및 생산성을 향상시키는 일환으로 덴마크의 B&W 조선소에서 개발 적용해오고 있는 방법을 당조선소에서 신조선건조(1007번선 19990 DWT·PC)에 직접 적용한 실례를 소개하는 바 국내관련산업단체 및 조선업계의 발전에 미약하나마 참고가 되기를 바란다.

2. 적응조건 및 방법

2.1 적응조건

(1) Single propeller type에 국한하여 적용해야 하고, stern boss block을 최대한 소형화(약 30~50톤)하여 butt joint부의 welding length를 최대한 적게하며 rigid body type로 제작한다.

(2) Stern boss block을 workshop에서 final boring 하고 stern tube를 압입한다.

(3) Engine room bottom block을 탑재할때 의도적으로 cocking down을 시키지않고 even keel상태로 setting 하며, stern boss block을 탑재하기전에 engine room block의 탑재용접은 완료된 상태이다.

(4) Telescope를 stern boss후면에 부착하여 stern boss block과 같이 움직일 수 있도록 한다.

2.2 적용방법

(1) Engine room의 이론적인 tank top level 확정 관련설계도면을 참조하여 engine room의 이론적인 tank top높이 및 engine fly wheel center 높이를 구하여 그 높이만큼 설비의 base line으로부터 수직으로 측정후 engine room block의 끝단에 가상평면을 설정, engine room block의 center line상에 한개의 point를 표시해둔다.

다시 이 point를 main engine이 놓일 위치로 평행이동하여 main engine전면과 후면에 target를 설치함과 동시에 aft peak EHD ring으로 평행이동시켜서 표시

接受日字: 1981年 2月 24日

* 正會員, 三星造船株式會社

Block 상태에서의 선미부 Final Boring에 관한 고찰

하면 aft peak BHD ring의 자체 중심과 engine fly wheel중심 사이에 편차가 있음을 알 수 있다.

(2) Stern boss block의 shaft center결정

우선 aft peak BHD ring의 자체중심에 대한 상하방향의 위상편차를 사용하여 boss후면에 설정되어있던 자체중심을 수정한 후 그 위치에 piano wire를 수평상태로 부착해 둔다.

Aft peak BHD ring에 표시해둔 최종 shaft center에 telescope center를 일치시켜 BHD면과 수직되게 고정한 후 boss후면에 부착되어 있는 piano wire를 무시하면 좌우현 방향의 수평편차가 결정되므로 boss후면에서의 최종 shaft center가 결정된다.

(3) Stern boss block의 boring작업

Boss와 aft peak BHD ring의 final boring작업 및 boss 후면과 aft peak BHD ring의 machining작업들은 workshop에서 동일한 boring center에 의해 동시에 작업으로 수행하고, boss내부표면이 stern tube 압입방향에 대하여 반대방향의 taper가 되지않도록 boring작업은 선미에서 선수방향으로 수행한다. 표면조도에 관해서는 stern tube와 boss사이의 반경편차가 0.01mm정도, 표면조도는 N6(0.8 μ)가 되도록 한다.

(4) Stern tube압입

Stern tube는 flange type으로서 bearing bush가 삽입된 완체볼 상태로 구입하고 boss 내부표면은 stern tube를 압입하기전에 molykote를 잘 발라둔다. Stern tube압입시의 압력은 300~500kg/cm², stern tube 사이의 gap은 h7/H7정도이며 loose fit condition이 되도록 한다.

(5) Stern boss block의 butt부위 확정

Engine fly wheel경면에서 aft peak BHD ring사이의 이론적인 거리는 block butt를 확정하는데 결정적인 역할을 하므로 이 거리는 이미 실측된 후 control report에 기입되어서 work shop에 있는 stern boss block에 전달된다. 이제 aft peak BHD ring과 boss block butt까지의 거리를 실측하여 block butt line를 확정하고 single vee 형상으로 shell inside를 개선 절단한다.

(6) Stern boss block의 탑재

Boss후면과 aft peak BHD ring 전면에 shaft center를 나타내는 target를 설정하고 telescope를 이 target들에 정확하게 맞추어 고정시켜 둔다. 이런 경우는 Taylor-Hobson telescope가 효율적으로 이용된다.

Main engine이 놓일 위치의 전후면에는 이미 target들이 설치되어 있으므로 boss block setting시 boss후면에 부착된 target가 main engine전후면의 target에

정확하게 일치되도록 하고 이때 boss block butt부위에 발생할 용접수축량도 고려해야 하며 butt 용접중에는 연속적으로 target를 무시하여 welding sequence를 control한다.

Main engine전면에 있는 target에서 수직 및 수평편차가 ±8mm를 초과할 경우는 main engine 선치시에 문제점이 발생할 것을 고려하여 용접부위중 일부를 gouging한 후 재용접해야 하고 태양열로 인한 비틀림을 방지하기 위하여 butt 용접은 가능한한 일몰 후에 수행한다.

3. 실제적용한 용접순서와 Shaft Center의 변화 결과

3.1 용접조건

(1) 그림 1에 표시된 바와 같이 원후가 다르고 block 상태에서 개선이 곤란하여 single V 형상으로 shell inside를 50°개신하였다.

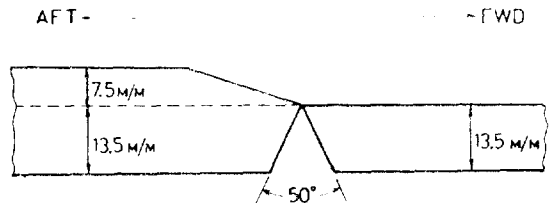


Fig. 1. Shell section diagram

(2) Tack welding대신에 strong back을 사용하여 약 500mm 간격으로 butt부위를 구축하였다.

(3) 수직상향용접으로 좌우현 동시에 수행하였고 용접봉 재질은 ilmenite 4mm ϕ (1st pass)와 5mm ϕ (2~3rd pass) 전류는 160A~200A, back gouging rod는 6mm ϕ 를 사용하였다.

3.2 적용된 용접순서와 Shaft Center의 실측변화량

(1) 그림 2에는 boss block butt단면을 표시하였고 welding sequence를 control하기위해 약 500mm간격마다 paint를 사용하여 좌표를 표시하였다.

(2) 그림 3에는 실제 적용하였던 welding sequence, shaft center의 변화경향이 나타나 있고 좌우현 동시에 용접이므로 좌우현방향의 편차는 거의 발생하지 않았다.

(3) 그림 3의 1번 곡선은 shell inside용접시에 shaft center의 상하방향편차를, 2번 곡선은 좌우현방향의 편차를 나타내고 있으며 shell inside용접이 완료되었을 때의 shaft center편차는 1.0이 되었다.

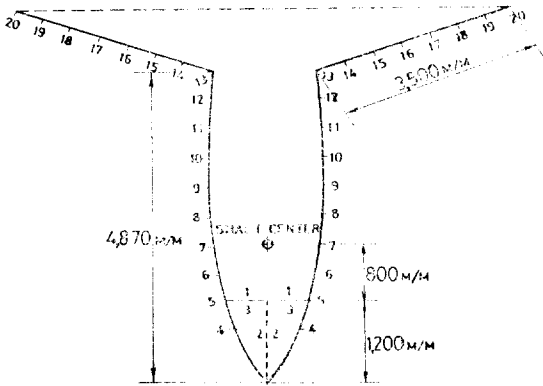


Fig. 2. Boss block butt section

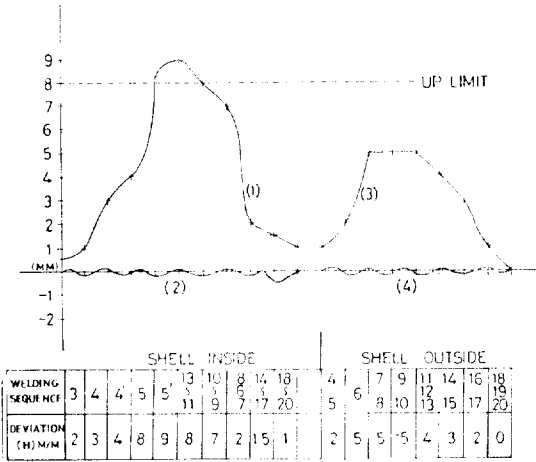


Fig. 3. Welding sequence and deviation

(4) 그림 3의 3번곡선은 shell outside 용접시에 shaft center의 상하방향편차를, 4번 곡선은 좌우현 방향의 편차를 나타내고 있으며 용접이 최종완료되었을 때 shaft center의 편차는 0.0이 되었고 용접작업은 야간을 이용하여 4일이 소요되었다.

4. 이론적 계산에 의한 용접순서와 Shaft Center의 변화경향

4.1. 용접조건

(1) Stern boss block의 중첩은 support butt에 의해 잘 지탱되어있고 용접해야 할 부위는 아무런 구속도 하지않은 상태이다.

(2) 좌우현 동시용접에 의한 횡각변형은 고려하지 않고 횡수축량만 고려한다.

(3) 이상에서 언급안된 용접조건은 전술한 3.1과 동일하다.

(4) Block butt 부위의 dimension과 용접부위를 나타내는 위치좌표는 그림 2와 동일하다.

4.2 이론적인 용접순서

그림 4에 나타나 있는 block butt를 용접할 경우 stern boss block은 부분적인 용접수축량에 의해 단면의 도심 C를 고정점으로 하여 ZZ 축방향으로 θ° 만큼 회전할 것이다.

즉, 그림 5의 도심 C로부터 도심축을 따라 B만큼 벌어져 있는 곳에서 St만큼의 횡수축이 발생한다면 ZZ 방향으로 θ° 만큼의 회전운동이 발생한다.

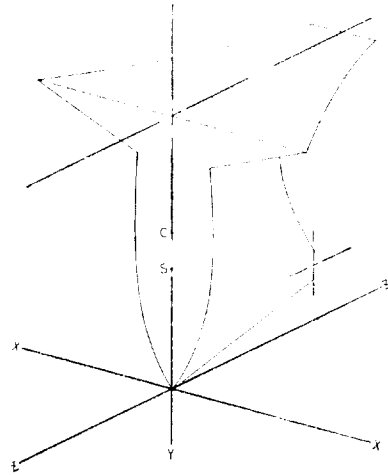


Fig. 4. Coordinate system

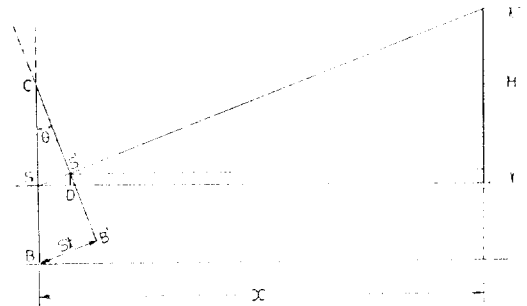


Fig. 5. Diagram of shaft center deviation

이제 $\theta \rightarrow 0$ 이면 $\tan \theta \rightarrow \frac{St}{BC}$, $\sin \theta \rightarrow \frac{St}{BC}$ 이고 $SS' = St \frac{SC}{BC}$ 이므로 $S'D = St \frac{SC}{BC} \sin \theta$ 가 된다.

그리므로

$$\begin{aligned}
 II &= St \frac{SC}{BC} \sin \theta + (X - SS' \cos \theta) \tan \theta \\
 &= St \frac{SC}{BC} \frac{St}{BC} + (X - St \frac{SC}{BC}) \frac{St}{BC}
 \end{aligned}$$

$$= SC \left(\frac{St}{BC} \right)^2 + X \frac{St}{BC} = SC \left(\frac{St}{BC} \right)^2 + X \frac{St}{BC} \quad (1)$$

지금 도심 C가 도실축상에 있는 shaft center에 가까이 위치한다고 가정하면, 용접순서에 관한 식(1)로부터 다음과 같이 규정할수 있다.

용접은 shaft center에서 가장 멀리 떨어져 있는 곳에서부터 시작하여야 하고 수직하방(+)과 수직상방(-) 으로부터 shaft center를 향하여 번갈아 수행해야 한다

4.3 이론적인 용접순서에 의한 Shaft Center의 변화경향

4.1에 있는 용접조건과 가정에 의해

$$BC \approx BS = 200\text{cm}, X = 1800\text{cm}, t = 1.35\text{cm}, C_1 = 0.023, C_0 = 0.020, W = 6.671\text{g/cm}$$

일때

$$St = C_1 \frac{W}{t^2} \ln \left(\frac{w}{w_0} \right) + St_0 \quad (2)$$

$$St_0 = C_0 \left(\frac{W}{t^2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

을 적용하면

1st pass에서의 횡축축량

$$St_0 = 0.020 \left(\frac{W}{t^2} \right)^{1/2} = 0.0383\text{cm}$$

2nd pass

$$St_1 = 0.023 \left(\frac{W}{t^2} \right) \ln \left(\frac{w}{w_0} \right) = 0.1366\text{cm}$$

3rd pass

$$St_2 = 0.023 \left(\frac{W}{t^2} \right) \ln \left(\frac{w}{w_0} \right) = 0.0791\text{cm}$$

$$\text{횡축축량 } St = St_0 + St_1 + St_2 = 0.254\text{cm}$$

(1)식에 X와 St값을 대입하여 계산식에 의한 shaft center의 변화경향(H)을 graph로 나타낼 수 있다.

그림 3의 1번 그래프와 그림 6의 1번 그래프를 비교해보면,

(1) 동일한 용접순서를 채택할 경우(I), 계산치에 의한 shaft center의 편차경향과 실측에 의한 편차경향이 유사함을 알 수 있고, 실제 작업에서는 strong back으로 butt부위를 구속하였으므로 shaft center의 편차(H)가 이론적인 계산치처럼 극심하게 발생하지 않는다.

(2) 그림 6의 2번 그래프를 참조하면 용접부위가 shaft center로 향할수록 편차의 진폭이 커지지만 실제 작업에서는 용접순서에 따라 이전용접은 이미 완료되어 차기용접에 의한 회전운동을 부분적으로 구속하고 있다고 간주해야 하므로 실제결과는 2번 그래프처럼 심각하지는 않겠지만 실제작업에 적용하기에는 번거로

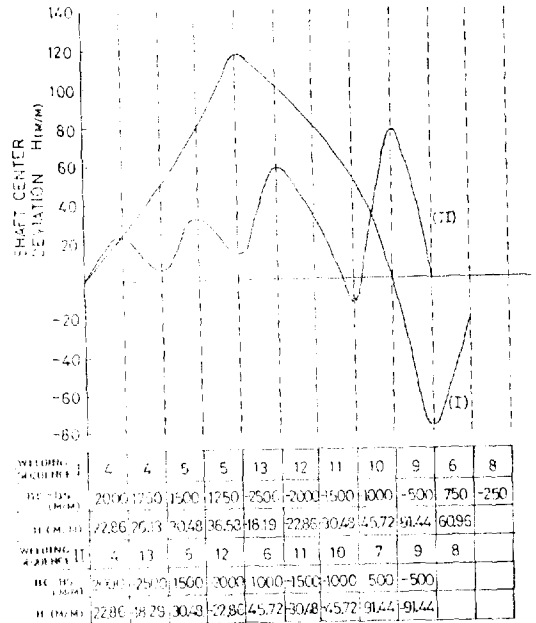


FIG. 6

Fig. 6. Shaft center deviation

우 점이 있다(예 ; 작업의 어려움 및 시수증가).

(3) 그림 3의 1번 graph를 참조하면 shaft center부근에 위치하는 5, 6, 7, 8번 용접부위에서는 편차가 극심하게 변화하는 것을 알 수 있으므로 용접은 shaft center에서 멀리 떨어진 부위부터 우선적으로 수행해야 하며, 동형선을 series로 건조할 경우에 동일한 용접순서가 연속적으로 적용된다고는 보장할 수 없겠지만 유사한 용접순서가 적용될 것임에는 틀림없다.

(4) 식(1)은 다만 개략적인 용접순서의 결정을 위해 도출하였고, 실제 적용할 수 있는 변화량에 관한 이론식은 향후 검토해야 할 과제이다.

5. 생산성에 미치는 영향

5.1 Critical Path제거 및 건조공기단축

본 공법을 1007호선에 적용하므로써 dock period

Table 1. 實積船工期對照表 (진수일자기준)

항 목	1001번선	1007번선	공기단축과 표
stern block탑재	55일전	60일전	5일
stern boss block boring	28일전	76일전	48일
stern tube fitting	10일전	64일전	54일
main engine탑재	11일전	38일전	27일
rudder탑재	4일전	21일전	17일

중 stern block 탑재와 언관후속작업을 조기완료할 수 있었고 dock 1기로서 6척/년을 건조할 경우 dock cycle 을 45 working days로 단축할 수 있다.

1007번선에 적용한 실적을 동형선인 1001번선의 그것과 비교한 Table 1을 참조하면 erection network상의 마지막 공정인 rudder탑재를 17일간 단축하므로써 dock cycle을 최소한 2.5주는 단축할 수 있는 것이다.

5.2 작업조건개선에 의한 시수절감

Stern boss block을 육내에서 boring함으로써 진천후

Table 2. 實積船工數對照表

항	부	1001번선	1007번선	시수절감 효과
stern boss block	탑재	846	576	270
stern boss	boring	316	236	80
축 장 빔	boring bar 거치대설치	100	67	33
stern tube	fitting	321	174	147
계		1,583MH	1,053MH	530MH

작업이 가능하고 제반작업조건의 향상에 의해 시수절감의 효과가 있었다. Table 2에는 1001번선과 1007번선에 각각 투입된 항목별 실적시수를 비교하였다.

6. 결 론

전술한 바와같이 본 공법은 실선건조에 적용하기가 어렵지 않고 특히 1-2기의 dock를 운영하는 중소형조선소에서는 아래와 같은 성과를 얻을 수 있다.

- (1) Dock cycle단축으로 인한 시선효용성 증가.
- (2) 생산성 향상

후 기

본 보고서를 작성하는데 있어서, “피복 arc용접으로 butt이음된 사각평판의 용접변형”에 관한 논문이 많은 도움이 되었던 바 박종은 교수님, 임상전 교수님 그리고 윤봉섭 학형께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 박종은 · 임상전 · 윤봉섭, “피복 arc용접으로 butt이음된 사각평판의 용접변형”, 대한조선학회지 제17권 제2호, pp. 21-32, 1980.
- [2] Danish welding book (VUPS)
- [3] B&W production technical system (chapter 11)
- [4] B&W quality control system (chapter 12)
- [5] Timoshenko, S., Young, D.H., Elements of Strength of Materials, 4th ed., Van Nostrand Co., 1962.