

Economic Feasibility Analysis According to Seam Location of Ship Pieces

Hyun-Seong Do¹ and Tak-Kee Lee²

¹Graduate student, Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Graduate School,
Gyeongsang National University, Tong-Yeong, Korea

²Professor, Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Gyeongsang National University, Tong-Yeong, Korea

선박 내부재의 Seam 위치에 따른 경제성 분석

도현승¹, 이탁기²

¹경상국립대학교 대학원 조선해양공학과 교수

²경상국립대학교 조선해양공학과 대학원생

KEYWORDS: Steel price 강재가격, Pieces 내부재, Scrap 스크랩, Welding cost 용접비용, Cost reduction 비용감소, Main plate 주판

ABSTRACT: The structure of a ship is completed by processing various steel plates and welding these plates. This butt welding of plates is defined as a seam in shipyards, and this study seeks to find a way to decrease costs by reducing the utilization of steel through effective seam arrangement. Seams were defined and classified according to purpose, and examples of "pieces" and "main plates" where seam creation had an economical saving effect were selected. For "pieces," the change in the weight of steel utilized depending on the presence or absence of a seam was calculated, and the resulting change in cost increase was presented. In the case of the "main plate," the quantity of seams does not change, but an example of cost variation due to the appropriate placement of seams is presented. Hence, a large difference was found in the costs of "pieces" depending on seam location. Thus, it was advantageous to create additional seams. For the "main plate," it was found that narrow-width and wide-width materials incur more costs. This study demonstrates that creating seams is economically advantageous but may not be preferred owing to the increased workload from a production perspective.

1. 서론

1.1 개요

선박의 구조는 여러 다양한 재질의 강판(Steel plate)으로 구성된다. 즉, 선박의 구조를 건조하기 위한 구조 물성은 여러 개의 판을 형상에 맞게 절단 및 가공하고 가공된 자재를 T 또는 맞대기(Butt) 형상으로 용접하여 선박의 구조를 만드는 공정을 거치게 된다. 본 연구에서는 맞대기 형상과 밀접한 관련이 있는 Seam의 경제성 측면의 최적 배치에 대한 연구를 진행하였다.

선박의 구성품 중 강판이 차지하는 비율은 높고 이는 원가와 밀접한 관련이 있다. 선박에 사용되는 강재 사용량을 감소시킬 수 있다면 이는 조선소에 큰 이익을 가져올 수 있다. 따라서 조선소에서는 강재 사용량을 줄이기 위한 다양한 방법을 적용하고 있는데, 그 중 한 가지 방법이 효과적인 Seam을 생성하는 것이다.

일반적으로 강판은 제조 철강사에 따라서 하위 제한조건이 발생한다. 여기서, 하위 제한 조건이란, 주로 강재의 두께 및 재질(Grade)에 따라 폭 및 길이, 중량 등 여러 가지 제약조건을 적용받게 됨을 말한다. 이러한 제약 조건하에서 생산된 강재를 이용하여 대형 선박을 건조할 경우 필연적으로 맞대기 용접부가 발생하며, 그 맞대기 용접 부를 조선소에서는 Seam이라 정의한다.

이 Seam의 배치에 따라 같은 면적의 절단된 부재라도 강재 스크랩(Scrap)율의 차이가 발생한다. 강재 스크랩율은 철강사에서 제조하

Received 10 August 2023, revised 27 September 2023, accepted 18 October 2023

Corresponding author Tak-Kee Lee: +82-55-772-9193, tklee@gnu.ac.kr

It is noted that this paper is revised edition based on proceedings of KSOE 2022 in Daejeon (Do and Lee, 2022) and KAOSTS 2023 in Busan (Do and Lee, 2023).

© 2023, The Korean Society of Ocean Engineers

This is an open access article distributed under the terms of the creative commons attribution non-commercial license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

여 입고된 원 철판에서 부재용으로 사용하고 남은 부분 즉, 사용하지 못하는 고철자재의 비율을 의미한다. 예를 들어 5 t의 강재가 각각 한매씩 있다면 “A” 업체는 4t을 사용한 후 1t을 고철로 처리하고, “B” 업체는 4.5t을 사용하고 0.5t을 고철로 처리하였다면 “A”업체의 강재 스크랩율은 20%, “B” 업체의 강재 스크랩율은 10%가 된다. 이 경우, “B” 업체가 원가 경쟁력이 더 높다고 할 수 있다. 선박 건조 비용에서 강재 원가 비율은 약 30% 정도를 차지하는 만큼 강재 스크랩율은 조선소의 원가 경쟁력에 직접적으로 영향을 주게 된다.

1.2 관련 연구

고가격의 강재 시장에서 조선소가 생존하기 위해서는 철강 제조사에 따른 제약과 조선소의 원가 측면을 고려한 효율적인 Seam 배치가 반드시 필요하다. 이에 따라 조선소 및 관련 프로그램 개발회사, 조선/해양 관련 학과에서도 스크랩에 대한 관심이 증가하고 있으며, 여러 연구 결과가 발표되고 있다.

Lee and Ryu (2013)의 연구에서는 네스팅 알고리즘을 형상 표현 기법에 따라 크게 No-fit-polygon (NFP)와 격자 표현법으로 분류하였으며 두 접근 방법 모두 적합도 함수를 어떻게 설정하느냐에 따라 배치되는 과정 및 배치 결과, 소요 시간이 민감하게 영향을 받는다고 기술되었다. 이중 격자 표현법에 대해 집중하여 여러 가지의 적합도 함수를 적용하여 각 경우에 따라 배치 및 그 결과를 비교하고 조선 산업용 부재의 특성에 맞추어 가장 효율적인 배치 결과를 나타내고 좋은 결과를 갖는 적합도 함수를 제안하였다. Kim et al. (2013)은 Simulated annealing (SA) 알고리즘에 대한 소개 및 최적 해를 구하는 방법에 대해 기술되었다. 또한 주판 Seam 배치 방법에 있어 고려될 사항을 5가지 항목으로 정의하고 이를 연구를 위해 개발한 프로그램에 반영하여 최적 해를 출력하고 이를 원가와 밀접한 관련이 있음을 검증하였다.

Lee et al. (2004)의 연구에서는 선박의 보강재 중 플랫바(Flat bar)에 부재 배치에 관한 알고리즘을 정리하여 효율적인 배치 및 Numerical control (NC) 절단을 위한 공용 절단, 연속절단 등을 사용하여 효율적인 가공 경로 생성 방법을 제시하였다. Sheen (2012)의 연구에서는 지식 기반 추론 시스템인 전문가 시스템을 이용하여 배치 할 형상이나 배치 될 소재 경계 형상 등에 대한 제약 없이 네스팅 문제를 해결하고자 하였으며 제안된 방법을 이용하여 각각 다른 특성을 갖는 블록퍼즐, 일반 네스팅, 조선 강재류 네스팅, 이형 경계 형상을 갖는 소재에 네스팅의 네 가지 적용 예시를 들어 해를 제시하였다. Elkeran (2013)은 기존 네스팅 알고리즘과 다른 알고리즘 Guided cuckoo search (GCS)를 제시하였다. 중첩되는 문제에 대한 새로운 해결 방법을 제시하고 검색기능을 결합한 하이브리드 알고리즘을 기반으로 검색 최적화 및 좋은 레이아웃을 생성하고 또한 효율적으로 그룹화 하여 네스팅의 효율성을 높일 수 있는 방법에 대해 연구되었다.

Lee et al. (2011)의 연구에서는 강재 영역 속성을 정의하고 스크랩을 최소화 할 수 있는 부재 배치에 대하여 연구하였다. 비트맵 기반의 슬라이딩 부재 배치와 강재형상 기반의 재배치 방안 및 부재 배치의 방법을 제시하고 이에 따른 알고리즘을 실제 선각 부재 네스팅에 적용하여, 스크랩 비율의 변화량을 보여주었다. Shim et al. (2009)의 연구에서는 스크랩율을 줄이기 위한 배경 설명 및 방법에 대해 설명하였는데, 부재 특징 형상의 종류에 대해 설명하고 절단 효율을 고려한 특징 형상 추출하며 이를 유사 패턴을 수집 및 유사 패턴의 그룹핑을 거쳐 이를 그룹화 하여 그룹 배치에 대해 연구를 수행한 바 있다. Ryu and Kim (2004)의 연구에서는 여러 가지 유전 알고리즘에 대하여 설명하고 이중 NFP 방법에 따라 네스팅 배치하였다. 교배, 돌연 변이, 재 생산 등의 배치 순서를 적용하여 최적해를 찾아내고 이를 기존 결과의 비교하고 문제점을 찾아 결과 값을 비교하였다.

Na et al. (2021)의 연구에서는 조선 네스팅의 부재 페어링 단계에 딥 러닝 기술을 적용하는 다른 방식의 접근방법을 시도하기도 하였는데, 부재의 기하 정보로 딥러닝 네트워크의 학습을 위한 데이터 셋을 구축하고 부재의 기하 정보를 좌표로 입력하여 부재를 분류하고 유사한 부재를 NFP 기반 배치 방법으로 페어링 하여 조선 네스팅 알고리즘의 성능 개선을 연구하였다.

그 외 Park et al. (1997), Park and Lee (1997), Park and Kim (1999), Ryu et al. (2006) 등이 수행한 여러 연구들에서 이러한 노력이 활발히 진행되고 있다. 이와 같이 강재의 스크랩율을 줄이는 방법에 대해 다양한 연구 등이 진행되고 있으며, 관련하여 네스팅 프로그램 개발사와 조선소가 같이 연구하여 절단 부재들의 최적 배치를 위한 프로그램 개발을 진행하기도 한다. 관련 프로그램으로는 CADMATIC (n.d.) plate nesting 모듈과 강재 절단용 자동 네스팅 프로그램인 E-NEST (CACAM, n.d.), Dr.Nesting (n.d.) 등이 있다.

반면에 네스팅 알고리즘에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나 선박의 효율적인 Seam 생성에 대한 연구는 많지 않다. 따라서 효율적인 Seam 생성에 대한 연구를 하고, 이 연구 결과를 수평 전개한다면 선박 원가에 유리할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 형상이 불규칙한 부분이 많아 강재 스크랩율 증가에 큰 영향을 주는 내부재에 Seam을 배치하는 것이 경제적인 경우에 대한 연구 및 스크랩은 변화가 없으나 원가는 감소하는 한 가지 Case를 살펴보고 어느 경우가 경제성 측면에서 유리한지 비교해 보았다.

2. Seam의 종류 및 내부재와의 연관성

여기서는 본 연구의 대상인 Seam의 목적에 따른 구분과 선체 내부재 Seam 생성에 영향을 주는 인자 등을 정리하였다.

2.1 Seam의 종류

Seam은 목적에 따라 다음과 같이 분류된다.

(1) 철강 제조사 설비 및 생산 효율 등에 의한 제약, 폭 Extra를 고려하여 생성하는 주판 Seam 유형

- The main plate refers to the steel sheet that forms the foundation of the blocks comprising the ship (e.g., deck or bulkhead).

- 주판은 선박을 구성하는 블록의 기초가 되는 판재를 의미 한다(예를 들어 갑판, 격벽 등이 해당됨).
- 폭 Extra는 철강 제조사에서 주로 생산하는 강재 폭보다 크거나 작은 강재를 주문할 때 지불해야 하는 추가비용을 의미한다.
- 조선소의 생산 설비에 따라(절단, 전처리등) Seam을 추가적으로 생성할 수 있다.
- (2) 강재의 스크랩율을 고려하여 생성하는 내부재 Seam유형
 - 본 연구에서 집중적으로 연구하게 될 유형으로 주로 내부재가 해당된다.
- (3) 조립 순서 및 탑재 순서상 부재나 블록 간 간섭을 방지하기 위하여 생성하는 공법 Seam
 - 조립순서에 따라 간섭부에 적절히 Seam을 생성하고 후행 설치하기도 한다.
 - 간섭은 되지 않으나 정도적인 문제 등으로 Seam 생성하여 후행 설치하기도 한다.
- (4) 전선 해석, 국부 해석 등 해석 결과에 따른 보강이 필요하여, 삽입판(Insert plate) 또는 국부적으로 판의 두께를 증가시키는 Seam 유형
 - 코너 쪽이나 상부 쪽에 중구조물이 올라오는 경우 등
 - 요 하중부에 의장 Hole 시공되는 경우 등

(1), (3), (4) 항목은 필수 불가결적인 항목(설계자가 고려할 수는 있으나 기준 자체를 변경하지는 못하는 항목)으로 볼 수 있으며, (2) 항목은 조선소 내에서 설계자의 판단(효율성)에 따라 변경될 수 있다. 본 연구에서는 (2)번 항목인 내부재 Seam에 경제성을 고려하여 최적의 내부재 Seam 위치에 대해 연구하였다.

2.2 내부재 Seam 생성에 영향을 주는 인자 및 장단점

내부재는 보통 선각 구조(Hull) 내부의 구조물을 통칭하며 선박에서는 갑판, 거더(Girder), 플로어(Floor) 등의 중대형 구조물뿐만 아니라 브라켓, Collar plate, Flat bar 등 소형 자재들을 포함한다. 따라서 내부재는 네모반듯한 Shell 형상에 비하여 형상이 불규칙하고 강재 두께도 다양하게 형성되어 강재 스크랩율을 증가시키는데 큰 영향을 끼치게 된다. 이는 조선소의 경제성과 직접적으로 연결되어 원가를 증가시키는 요인이므로 강재 스크랩율을 감소시키기 위해서는 효율적인 Seam 생성이 필수적이다.

내부재의 Seam 생성여부 및 수량에 영향을 주는 인자로는 다음과 같은 것들이 있을 수 있다.

- (1) 강재의 원가(가장 큰 영향 인자)
 - 예를 들어 형상이 불규칙한 자재들은 Seam 생성 수량이 많아짐에 따라 직사각형에 가까운 형상으로 만들어지므로 버리는 강재량이 적어진다. 이에 따라 강재 사용 효율은 증가되게 된다.
- (2) 맞대기 부분의 용접량
 - Seam이 증가될수록 용접해야 하는 용접 길이가 증가되며, 이는 현업 작업량의 증가로 연결된다.
- (3) 절단되는 부재 수량
 - Seam 생성으로 인한 부재 수량 증가는 관리해야 할 자재 수 증가를 의미하므로 자재 관리 업무가 늘어난다.
- (4) 절단에 의한 변형량
 - 폭에 비해 길이가 긴 내부재를 절단할 경우, 절단 변형이 발생 될 가능성이 크다. 이때, 적절한 간격으로 폭 방향 Seam을 생성시키면 변형을 최소화할 수 있다. 이 경우 Seam 수량은 늘어나지만 변형에 의한 현장 재벌작업의 감소 효과가 더 크다.

Seam 수량 증가에 대한 장단점을 위의 4가지 경우를 인용하여 종합적으로 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of increasing seam quantity

Seam quantity	Few seams	Many seams
Advantage	Increase in production efficiency (reduced weld length and inspection point)	Decrease in steel cost; Reduced deformation by cutting
Disadvantage	Increase in scrap >> Increase in steel cost	Decrease in production efficiency

3. Seam 생성의 경제적 측면

3.1 비교 대상의 선정 및 전제 조건

본 연구에서는 Seam 생성이 경제적인 절감 효과를 가지는 예가 될 수 있는 두 가지 사례를 다룰 것이다. 여기에는 주판과 소형 내부재가 포함되며, 3.2절에서 보다 자세하게 설명한다. 또한, 선종은 시리즈로 5척을 건조하는 컨테이너선으로 지정하였다. 컨테이너선은 선형의 특성상 곡선량이 많고 구조 중량이 상대적으로 무거워 강재 절감에 따른 영향이 크게 나타나므로 이 선종을 선택하였다.

경제성 고찰을 위해 강제 가격과 용접 관련 비용을 다음과 같이 가정하였다 (Table 2). 우선 강제 가격은 톤당 110만 원을 기준으로 삼았다(Kwon, 2022). 또한, 용접 관련 비용은 조선업과 유사한 건설업의 용접공 기준으로 일당 24만 원, 시급 4만 원으로 가정하였다(시급 3만 원 + 설비 사용 등의 금액 1만 원, 시급의 설비 사용금액에는 생산시간, 관리 부재 수량 증가 등의 복합적인 비용이 포함된 비용, 건설시중노임 2023년 상반기). 이때, 용접 효율은 실무 기준을 보수적으로 적용하여 자동용접인 경우, 1시간당 10 m, 수동용접인 경우 1시간당 2 m로 가정하였다.

Table 2 Target selection and prerequisites

Item	Precondition
Ship type	Container (5 ship series)
Steel cost	1,100,000 KRW/t
Welding & ETC cost	240,000 KRW/d 40,000 KRW / (man/h)
welding efficiency	SAW Welding 10 m/h CO ₂ Welding 2 m/h

3.2 Seam 생성이 경제적으로 유리한 Case

3.2.1 Case 1 : 소형 내부재의 경제적인 Seam 생성

컨테이너선에는 Fig. 1과 같은 형상의 자재가 많다. 거의 모든 블록마다 “ㄱ”, “ㄴ”, “ㄷ” 형상의 구조들이 배치되며 특히, T-Block(횡격벽 블록)에 이러한 형상의 자재가 많은데, 대략적인 평균 수량은 블록당 40개의 자재로 구성된다고 가정한다.

Fig. 2는 대상 부재 40개를 하나의 원 철판에 배치한 것으로, 내부재의 형상적 특징을 고려하여 반복적인 배치를 수행한 것이다. 이 경우, 버려지는 강재를 고려한 총 강제 중량을 추정한 결과 6.94 t이었으며, 이를 금액으로 환산하고 시리즈 건조선 5척을 고려하면 총 소요 강제 금액은 약 3,800만원 수준이 된다. 이를 Case 1-1 로 정의한다.

본 연구에서는 Fig. 1의 형상을 갖는 내부재 내에 하나의 Seam을 생성시켜 버려지는 강제량의 최소화를 시도하면서 생성시키는 Seam에 대하여 그 최적 위치를 찾아보았다.

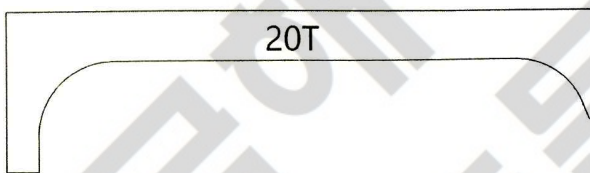


Fig. 1 Typical bracket shape in T-block of container ship



Fig. 2 General arrangement of 40 pieces in Case 1

Fig. 3은 대상 내부재의 세부 형상 및 치수이며 두께는 20 mm, 수량은 40개로 정의한다. 효율적인 Seam 배치를 위한 위치 결정은 다양한 Seam 위치를 선정하고 이에 따른 스크랩율의 비교를 통하여 수행하였다. 이때, 선주/선급 코멘트가 많이 나오는 구간인 Round end (R.END)로부터 100mm 이내는 제외함에 따라 Seam 위치는 R.END + 100 mm를 최소값으로 정의하며, 각 Seam의 위치는 그림 내의 Point 1-5 (Case 2-6)으로 선정하였다.

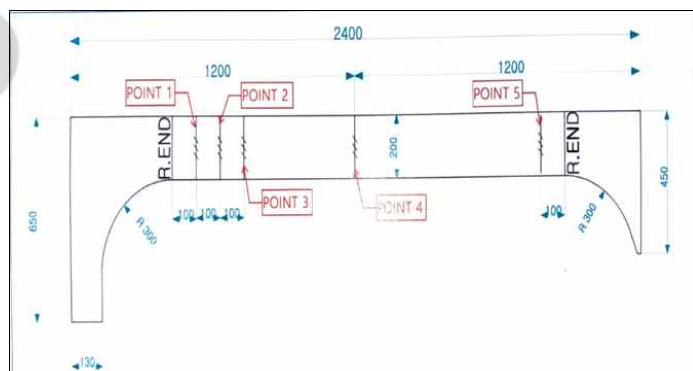


Fig. 3 Dimension of target piece and location of each point

한편, 강재의 스크랩율은 아래와 같은 식 (1)로 계산된다.

$$\frac{\text{Used steel weight} - \text{pieces weight}}{\text{Used steel weight}} \times 100 \tag{1}$$

Point 1-4의 결과 값을 기준으로 Seam의 위치가 R.END에 근접하면 스크랩율 감소가, 멀어지면 스크랩율 증가로 이어짐을 확인할 수 있었다. 이는 R.END에서 Seam 위치가 멀어질수록 배치할 수 있는 방법의 선택지가 줄어들어 버려지는 강재 면적이 증가하는 것으로 분석된다. 그리고 Point 5의 경우, 좌우 양단의 형상적 특징 때문에 가장 높은 스크랩율을 가지는 것으로 보인다(Fig. 4 및 Table 3 참조). 따라서 R.END에서 가장 인접한 Point 1에 Seam을 생성하는 것이 경제성 측면에서 최적임을 알 수 있고 다른 유사한 구조에서도 이러한 경향은 유지될 것으로 유추할 수 있다.

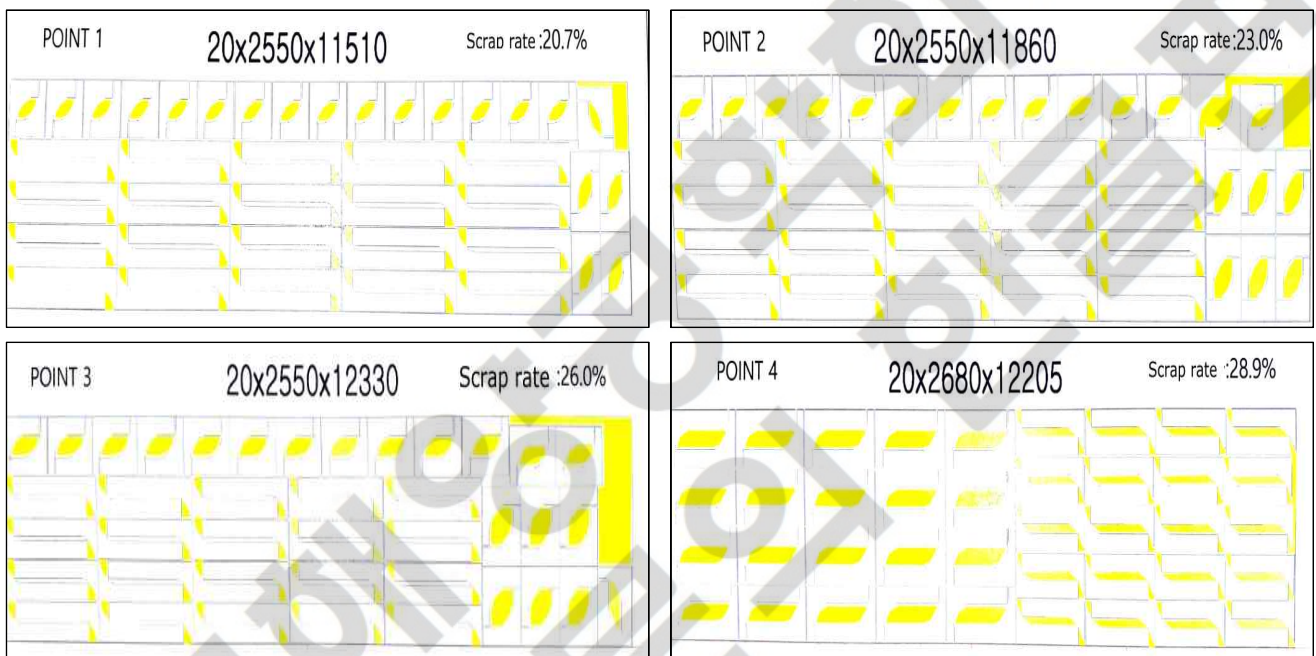


Fig. 4 Scrap rate of steel plates by Points 1-4

Table 3 Weight and scrap rate of steel utilized at each point

Case	Seam	Piece weight (t)	Steel weight (t)	Scrap rate (%)	Cost (KRW)	Reduced cost (Case 1-1 base)	ETC.
Case 1-1	None	3.65	6.94	-	38,150,000	-	
Case 1-2	Point 1	3.65	4.61	20.7	25,340,000	12,810,000	2
Case 1-3	Point 2	3.65	4.75	23.1	26,130,000	12,020,000	3
Case 1-4	Point 3	3.65	4.94	26.0	27,170,000	10,980,000	4
Case 1-5	Point 4 (Center)	3.65	5.14	29.0	28,270,000	9,880,000	5
Case 1-6	Point 5	3.65	5.53	33.9	30,420,000	7,730,000	6
Case 1-7	Point1+5	3.65	4.49	18.6	24,700,000	13,450,000	1

만약 2개의 Seam을 고려할 경우, Point 1과 5를 동시에 적용하는 방안이 매우 낮은 스크랩율을 보일 것으로 기대되며, Fig. 5에는 이 경우에 대한 부재 배치와 계산된 스크랩율을 보여주고 있다. 하지만, 이는 Seam의 추가 생성에 따라 용접 개소가 증가되므로 수량이 많은 부재에서는 생산 측면에서 좋은 선택은 될 수 없다고 사료된다.

Fig. 6의 위쪽 그림은 내부재에 앞서 최적의 Seam위치로 예상된 Point 1의 Seam을 생성시킨 위치를 보여주고 있다. 이것은 좌측 단부의 형상에 내재된 대칭성을 고려하여 아래 그림과 같이 Seam을 생성하면 작은 좌측 부재는 반복적인 회전 대칭적 절단 배치가 가능해진다.

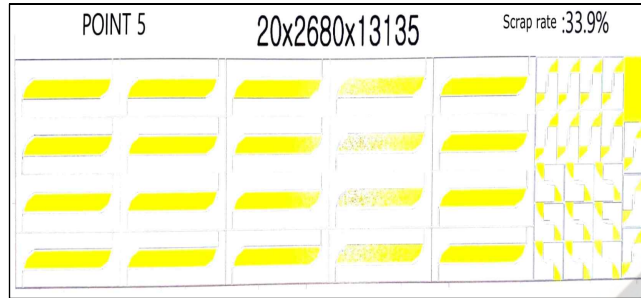


Fig. 5 Scrap rate of case with two seams at Points 1 and 5

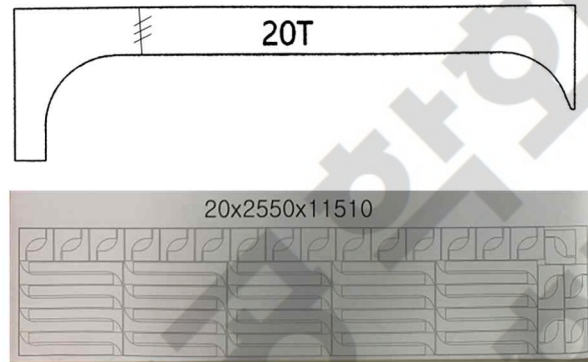


Fig. 6 Arrangement of 40 pieces with one seam in Case 1

원가분석을 위해 대상 선박을 5척의 시리즈 선인 컨테이너선으로, 강재 가격을 톤당 110만 원(Kwon, 2022)으로 가정하였고, Fig. 6의 절단 배치에 대한 적당 강재 중량이 4.61 t이므로 총 강재 금액은 약 2,536만 원이 된다. 그리고 이 Seam 때문에 적당 약 8m의 용접 길이가 추가되므로 5척 기준 약 40 m의 용접이 필요해진다. 또한 이 용접은 설치 위치를 고려할 때 수동용접이 불가피하므로 약 80만원 용접비용이 추가 발생된다. 이때, 수동 또는 자동용접 가능 여부는 현장 실무 가이드를 참조하였고, 용접비용은 조선업과 유사한 건설업의 용접공 기준으로 일당 24만 원, 시급 4만 원으로 가정하였다(시급 3만원 + 설비 사용 등의 금액 1만원, 건설 시중 노임 2023년 상반기).

이러한 “ㄷ” 형상의 자재를 Seam 없이 원 철판에 배치하였을 때의 비용인 약 3,800만원과 하나의 Seam을 Point 1의 위치에 생성시킨 경우의 비용인 2,536만 원을 비교하면, 강재에서 절감되는 금액은 1,264만 원이 된다. 그리고 추가 용접으로 인한 손실 금액 80만 원을 같이 고려하면, 결과적으로는 Seam을 생성한 쪽의 투입 비용이 1,184만 원 적게 계산되므로 경제적으로 Seam을 생성시켜 강판을 적게 사용할 수 있다면 이 옵션이 원가 측면에서 유리하다는 것을 보여주고 있다.

3.2.2 직사각형의 주판 Plate 유형의 경제적인 Seam 생성

네모반듯한 직사각형의 판재는 Seam 위치에 따른 스크랩율의 절감 효과를 기대하기는 어렵다. 오히려 Seam을 생성하면 절단 시 필요한 부재 사이의 간격 유지와 강재 외곽라인의 여유 치 때문에 미세한 스크랩이 증가하게 되고, 생산성이 나빠지는 결과를 초래할 수 있다.

하지만 Seam 추가가 아닌 기존 Seam에 대한 배치 조정만으로도 최종적인 스크랩 감소치는 없지만 소요 강재가격을 낮추는 효과를 만들 수 있으며, 이는 선박 제조 원가를 감소시킬 수 있다. 효과적인 Seam 위치에 대한 결정은 앞서 2.1절에서 언급한 폭 Extra와 밀접한 연관이 있다. 폭 Extra는 제철소에서 주로 생산하는 폭의 범위가 존재하며 이 범위를 벗어난 강재를 주문할 때 추가적으로 지불하는 비용을 말한다. 주로 소폭 재 또는 광폭 재에서 MAX. 값을 가지고 두께가 두꺼운 판재일수록 Extra 가격이 높아진다.



Fig. 7 Dimension of main plate

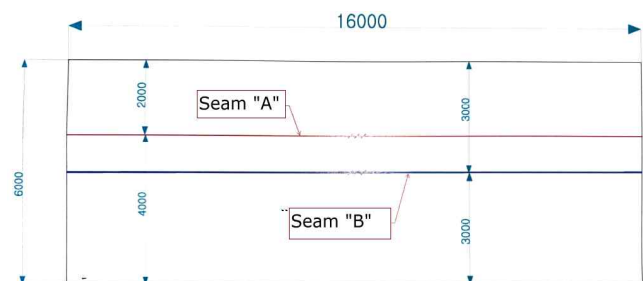


Fig. 8 Two cases of seam positions related with extra width

현재 국내 제철소에서 주로 생산하는 강판재의 폭은 3,000~3,600 mm 정도이며, 경제성 분석을 위하여 폭 Extra는 소폭/광폭 둘 다 톤당 5만원으로 가정한다. 본 연구에서는 아래 Fig. 7과 같이 주판의 폭이 6,000 mm인 경우를 고려한다. 대상 주판의 폭이 제철소의 생산 가능 폭을 초과하였기에 Seam생성은 반드시 필요하다. 이때, Fig. 8과 같이 2,000 mm, 4,000 mm 폭을 가진 Seam "A" 와 각각 3,000 mm의 폭을 가진 Seam "B"의 두 가지 Seam 배치를 만들었다고 가정한다. 폭의 크기에 따른 3개의 판재에 대해 그 원가 차이를 계산하면 Table 4와 같다.

Table 4 Comparison of steel costs considering extra width

Breadth (mm)	Weight (t)	Steel price (KRW)	Extra width cost (KRW)	Sum (KRW)
2,000	10.5	11,550,000	525,000	12,075,000
4,000				
3,000	10.5	11,550,000	0	11,550,000
3,000				

4. 결 론

경제성 향상이라는 측면에서 볼 때 소형 내부재 형상의 자재들은 강제 가격의 수준과는 관계없이 Seam 생성이 경제적으로 더 유리함을 알 수 있었다. 또한 내부재에 Seam을 생성할 경우 R.END에 근접하게 생성 하는 것이 스크랩율을 낮추는 결과에 유리함을 알 수 있었다. 즉, 높은 가격의 강제 사항인 현 상황에서 Seam을 적절히 생성시켜 스크랩율을 낮추는 것이 Seam 생성으로 인한 용접 비용의 증가보다 더 이득이라는 것이 본 연구에서 대표 예시를 통하여 확인되었다. 이는 결과적으로는 원가 차이가 발생한다는 점을 증명하고 있다. 또한 Seam의 추가가 없더라도 위치 조정만으로도 경제적 효과를 볼 수 있음을 알 수 있었다.

수 많은 조선사들은 다양한 측면에서 원가 절감을 위해 노력하고 있다(Na, 2018). 앞서 설명한 Seam 생성뿐만 아니라 그 외 스크랩부에 소형 부재를 배치하거나 블록 간의 합동 배치 등으로 원가를 최소화하려는 시도를 하고 있다. 이러한 시도 중 일부는 생산 측면에서는 용접량이 증가되어 기피하는 경향이 보이기는 한다. 이는 Seam 생성이 선박의 건조 원가에 절감되는 사항은 맞으나, 현업 입장에서는 용접 길이 및 검사 개소의 증가로 업무량이 늘어나기 때문으로 보인다. 따라서 경제성 측면에서 Seam 생성의 유불리는 원자재 가격의 변동 폭에 따라 달라질 수 있다. 강제 가격의 변동 폭이 커질 경우 본 연구를 검토할 필요성은 있어 보인다. 본 연구로 조선소에서 강제 가격 상승에 따른 조선소에서의 비용 절감노력이 좀 더 원활하게 되었으면 한다.

향후에는 Nesting 방법 및 프로그램과 연계하여 최적의 Seam 위치를 찾는 연구를 진행하고자 한다. 단일 부재로는 Seam 생성 효과가 미비하나 Nesting 방법에 따라 Seam 생성이 유리한 결과를 가져오는 대상을 발굴 및 이를 수평 전개하여 좀 더 큰 비용 절감을 만들 수 있을 것이라 생각한다. 또한 대상을 확대시켜 좀 더 다양한 형상의 내부재에 대한 Seam 생성 효과, 내부재 뿐만 아니라 Shell에서의 효율적인 Seam 배치를 연구할 예정이다. 최종적으로는 결정된 형상에 대한 효율적인 Seam 배치를 넘어서서 최적의 Seam 위치가 나올 수 있는 구조 결정에 대한 연구를 하고 싶다.

Conflict of Interest

Tak-Kee Lee serves as a member of journal publication committee of the Journal of Ocean Engineering and Technology. However, he had no role in the decision to publish this article. No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- CADMATIC. (n.d.). Plate nesting. <https://www.cadmatic.com/ko/marine/ship-design-software/plate-nesting/>
- Construction Association of Korea (CAK). (2023). Market wages in the construction industry in 2023. *The comprehensive market price information*. https://cmpr.or.kr/manage/noim_data.asp?part=noim&page=gong&n_type=gong&n_date=&ser
- CSCAM. (n.d.). E-NEST. http://www.cscam.co.kr/sub/sub06_0302.php?mode=view&idx=11
- Do, H. S., & Lee, T. K. (2022). Economic review on seam creation of pieces considering steel price. *Proceedings of the Korean Society of Ocean Engineers 2022 Fall Conference* (pp. 506–510), Daejeon, October.
- Do, H. S., & Lee, T. K. (2023). A study on optimal placement of internal seams considering economics. *Proceedings of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies 2023 Spring Conference*. Busan, April.
- Dr.Nesting. (n.d.). What is Dr.Nesting? <https://www.cadian.com/kr/product/nesting/drnesting.asp>
- Elkeran, A. (2013). A new approach for sheet nesting problem using guided cuckoo search and pairwise clustering. *European Journal of Operational Research*, 231(3), 757–769. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.020>

- Kim, Y. T., Han, M. K., Beak, G. D., Hwang, J. S., & Lee, D. H. (2013). An introduction to the optimization method for weld seam positions using SA. *Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference*, 540–543.
- Kwon, O. E. (2022, April 25). Steel production cuts around the world ... Steel prices soar]. *ChosunBiz*. <https://biz.chosun.com/industry/company/2022/04/25/G7ITY37RUBDNZAATAAW MGCY524/>
- Lee, C. S., Park, S. D., Park, G. R., Im, T. W., & Yang, Z. H. (2004). A study on layout method for effective NC cutting path of the flat-bar. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 9(2), 102–111.
- Lee, C. S., Heo, E. Y., Kim, J. M., & Kim, D. S. (2011). A study of the efficient nesting considering scrap feature. *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers*, 533–537.
- Lee, H. B., & Ryu, W. S. (2013). Determination of nesting algorithm fitness function through various numerical experiments. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 27(5), 28–35. <https://doi.org/10.5574/KSOE.2013.27.5.028>
- Na, K. H. (2018, January 14). Shipbuilding industry, It's a problem to win orders without cost reduction. *Mediapen*. <http://www.mediapen.com/news/view/324348>
- Na, G. Y., Cheon, S. U., & Yang, J. S. (2021). A deep learning-based part classification method for ship part pairing in nesting problems. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 26(4), 514–524. <http://doi.org/10.7315/CDE.2021.514>
- Park, J. W., Han, C. B., & Lee, H. S. (1997). A study on the nesting S/W development of piece with PC-CADRA. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 11(4), 239–248.
- Park, J. W., & Lee, H. S. (1997). A study on the piece creation on hull-structure with PC-CADRA. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 11(3), 191–199.
- Park, M. K., & Kim, W. D. (1999). Construction of an automation system for hull part nesting and cutting. *Journal of the Industrial Technology Research Institute*, 17, Korea Maritime University. http://repository.kmou.ac.kr/bitstream/2014.oak/6282/1/00000_2179813.pdf
- Ryu, B. H. & Kim, D. J. (2004). A study on the irregular nesting problem using genetic algorithm and no fit polygon methodology. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 18(2), 77–82. <https://www.joet.org/journal/view.php?number=1723>
- Ryu, G. S., Choi, J. Y., & Kim, I. G. (2006). A design and implementation of web based integrated nesting system. *Journal of KIISE : Computer Systems and Theory*, 33(1), 44–51.
- Sheen, D. M. (2012). Nesting expert system using heuristic search. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 26(4), 8–14. <https://doi.org/10.5574/KSOE.2012.26.4.008>
- Shim, J. H., Lee, C. S., & Kim, D. S. (2009). Feature extract and auto nesting algorithms for cutting efficiency of ship building part. *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers*, 383–389.

Author ORCID

Author name	ORCID
Do, Hyun-Seong	0009-0000-5464-1864
Lee, Tak-Kee	0000-0002-5944-156X