

3차원 선박형상정보를 활용한 설계초기단계 용접물량 산출

이정훈¹·변석호²·남종호^{2†}·강태원³
한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 해양과학기술융합학과¹
한국해양대학교 조선해양시스템공학부²
㈜마린테크인³

Estimation of Welding Material Quantity for Shipbuilding at Early Design Stage based on Three-dimensional Geometric Information

Jeong-Hoon Lee¹·Seok-Ho Byun²·Jong-Ho Nam^{2†}·Tae-Won Kang³
Department of Convergence Study on the Ocean Science and Technology, Korea Maritime & Ocean University¹
Division of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering, Korea Maritime & Ocean University²
Marine Tech-In, Co., Ltd.³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

These days, shipbuilding companies are making an effort to adopt the IT technology in order to improve the production efficiency. One such effort is to utilize a planning and scheduling system to predict the production cost in advance. In this system, assessing the welding material quantity is an important factor. Unfortunately, obtaining the welding material quantity in the early design stage is extremely difficult because the detailed production information, which is essential in deriving the cost associated with welding, is normally available at a later stage. This paper aims at developing a computerized program that produces an index to estimate the welding material quantity in the early design stage. By using only three-dimensional geometric information, the program analyzes the production process and estimates the welding material quantity at any design or production stage when no production information is available. The results can be used for the planning and scheduling system.

Keywords : Welding quantity amount(용접물량), Geometric information(형상정보), Assembly simulation(조립시뮬레이션), Production information(생산정보)

1. 서론

최근 조선사들은 경쟁력을 확보하기 위하여 조선과 IT기술을 접목하고 이를 통하여 생산효율성을 향상시킴으로써 원가절감에 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 일환으로 효율적인 생산관리를 위한 통합생산계획시스템 및 시뮬레이션 기반 관리체계에 대한 연구가 다각적으로 이루어지고 있다. 통합생산계획시스템이란 조선소의 선박 건조를 위해 필요한 계획 정보들을 기반으로 선표계획, 선행종일정 계획, 후행종일정 계획 등을 작성하는 시스템이다. 이를 통하여 조선소는 구체적이고 정확한 생산계획을 도출함으로써 생산 효율성을 향상시킬 수 있게 된다. 생산계획시스템을 활용하여 신뢰성 있는 생산계획을 마련하기 위해서는 필요한

각 액티비티 별 예상 공수를 정확하게 도출하는 것이 중요하다.

공수예측 및 생산 물량을 추정하기 위한 연구는 다양한 방향에서 추구되었다. 먼저 Cho, et al. (1998)은 블록 조립단계에서 조립단위 및 조립순서 결정에 관하여 연구를 수행하였고, 같은 시기에 조선소 데이터베이스를 바탕으로 용접물량 산출에 필요한 사항을 정리하고 이를 프로그램으로 개발하여 검증하는 연구도 수행되었다 (Lee, et al., 1998). 이후 선체구조 3차원 CAD 모델을 자동으로 생성하고 이로부터 블록 중량, 무게 중심, 도장 면적, 취부 길이 등을 추정하여 각 블록의 물량정보 획득 방법이 소개되었으며 (Roh, & Lee, 2006), Ruy, et al. (2013)은 용접장 및 용접물량 산출에 요구되는 대부분의 과정을 조선전용CAD시스템과 연계함으로써 실질적인 전산화 및 자동화 시스템 구축을 위한 방안을 제시하였다.

선행연구들에서는 기존의 선박설계 CAD 시스템의 형상정보와 생산정보를 활용하여 물량을 산출하였다. 이는 정확한 정보를 바탕으로 물량을 산출할 수 있다는 장점을 가지지만 물량 산출을 위해 필요한 생산정보인 블록계구조도 등이 생성되는 시점이 늦기 때문에 자연스럽게 물량 산출 시점도 늦어진다는 단점을 피할 수 없다. 특히 생산계획 관점에서 보면, 생산계획은 전체 설계단계 중 초기단계에 수행되는 반면 조선소에서 생산물량 정보가 산출되는 시점은 생산계획보다 이후인 관계로 생산계획 도출을 위하여 필요한 물량 추정이 조기에 이루어질 수 없는 상황인 것이다. 이러한 단점은 생산계획을 위한 초기 물량추정에 결정적인 장애로 작용한다.

위와 같은 선행연구 뿐만 아니라 기존 상용프로그램에서도 용접물량을 추정하기 위하여 많은 노력을 기울여왔지만 대부분의 프로그램에서 용접장, 각장 등 단순 물량을 계산하여 주는 것에 지나지 않아 생산정보가 고려된 용접공수를 조기에 추정하는 것에는 어려움이 따랐다. 이를 해결하기 위해서는 상세한 생산정보가 생성되지 않은 시점에서 개략적으로라도 생산물량에 대한 정보를 획득할 수 있는 방안이 필요하다.

본 연구는 조립단계의 여러 액티비티 중 공수가 가장 많이 소요되는 용접물량을 대상으로 한다. 기본설계가 완료되고 상세설계가 시작되기 전으로, 형상정보는 존재하지만 생산정보가 생성되지 않은 시점에서, 공통구조규칙(common structure rule: CSR) 수행으로 두께정보가 포함된 형상정보를 이용하여 용접물량을 산출하는 것을 목표로 삼는다. 형상정보를 이용한 용접물량을 산출 알고리즘을 도출하고 GUI와 그래픽 기능을 접목하여 용접물량산출프로그램을 개발한다. 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 이중저구조 형상모델을 활용한다.

2. 전체 프로그램 구성

용접물량산출프로그램은 Fig. 1과 같이 중립파일 형식의 모델 파일을 입력받는 것으로부터 시작된다. 각 형상의 특징을 자동적으로 생성하며, 형상 연결관계를 파악하는 입력부, 생성된 형상 정보와 연결관계를 바탕으로 용접물량을 생성하는 처리부, 생성된 용접물량을 화면에 표시하여 3차원 그래픽으로 확인할 수 있는 출력부로 구성된다.

Fig. 2는 전체적인 프로그램 구성에 대한 흐름도를 보인다.

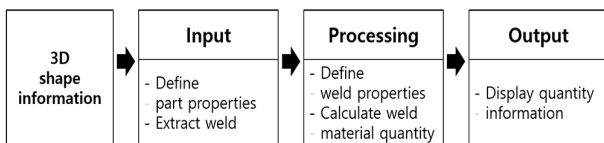


Fig. 1 Configuration of overall system

2.1 클래스 구조

용접물량산출 프로세스에 필요한 주요 클래스 구조는 Fig. 3

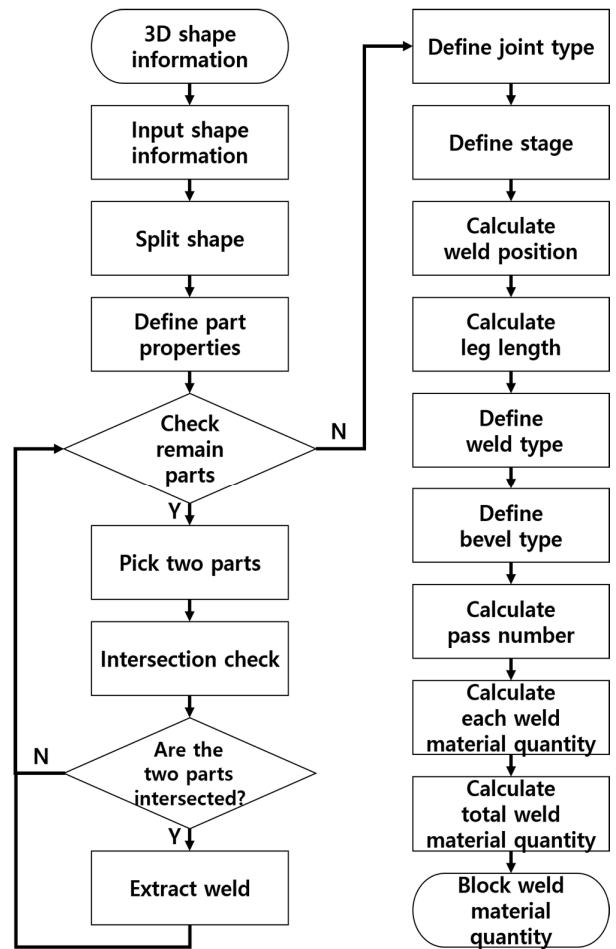


Fig. 2 System flow for estimation of welding quantity

과 같다. 먼저 부재와 용접을 나타내는 기본 클래스인 부재 클래스와 용접 클래스를 생성하여 부재와 용접 객체의 공통 특성들을 정의하였다. 여기에 플레이트, 판넬 부재, 소조립 부재 등 서로 다른 특성을 가지는 클래스가 부재 클래스를 상속받도록 하여 각각의 클래스가 서로 유기적인 관계를 가지도록 하였다.

각종 계산 및 판단을 하기 위하여 알고리즘 클래스를 생성하였다. 알고리즘 클래스에서는 입력받은 3차원 형상을 각각의 부재 단위로 분해하여 주는 알고리즘과 부재 간 교차검사를 통해 용접선을 추출해주는 알고리즘, 작업 단위, 용접 자세, 용접 종류 등을 판단해주는 알고리즘을 포함하고 있다.

2.2 개발 툴

개발은 PC환경에서 이루어지며, 마이크로소프트사의 개발도구(Visual Studio 및 MFC)와 그래픽 가시화를 위하여 오픈소스 기반의 OpenCASCADE 2016)를 활용하였다.

2.3 출력화면

산출된 용접 특성과 물량은 사용자가 확인하고 수정하기 편하

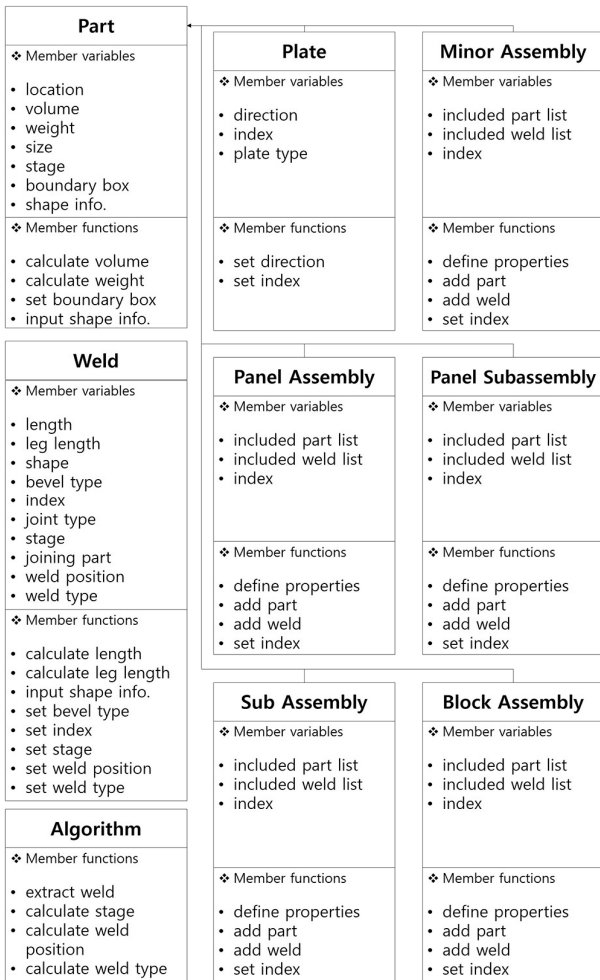


Fig. 3 Classes for major structures and processes

도록 표시되어야 한다. 각 작업 단위별 블록 형상을 3차원 형상으로 확인하는 기능 역시 중요하다. 이를 위하여 Fig. 4와 같이 대화형 형식으로 각종 수치 및 용접 특성을 표시하여 수정이 가능하도록 하였고, Fig. 5와 같이 전체 블록의 3차원 형상을 가시화하는 것을 물론, 사용자가 선택한 작업 단위 및 용접선에 해당하는 부분을 다른 색깔로 강조하여 사용자로 하여금 인식이 편하도록 구성하였다.



Fig. 4 An output dialog

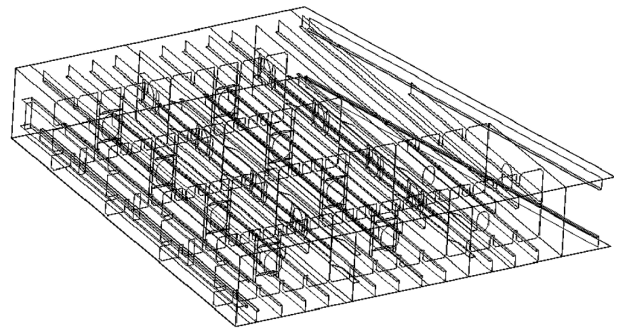


Fig. 5 Wire-frame model of a double bottom structure

3. 용접물량산출 주요 기능

3.1 형상정보 입력 및 추가 정보 산출

일반적으로 조선소에서 사용하는 상용 설계 프로그램은 3차원 형상을 처리하는 고유의 파일 형식이 있다. 하지만 본 연구에서는 특정 설계 프로그램에 구속되지 않고 독립적으로 구동하기 때문에 상용 프로그램의 파일 형식이 아닌 중립파일 형식을 사용한다.

중립파일 형식은 여러 분야에서 광범위하게 사용할 수 있으며 상용 설계프로그램의 형상정보를 출력할 수 있는 IGES(Initial Graphics Exchange Specification) 형식과 STEP(ISO 10303-21) 형식을 OpenCASCADE의 라이브러리를 활용하여 모델파일을 입력받도록 하였다. 이를 통하여 기존 상용프로그램에 구매받지 않게 될 뿐만 아니라 고가의 상용프로그램을 사용하고 있지 않은 중소형 조선소의 형상정보 또한 입력받을 수 있다.

기본적으로 중립파일 형식의 3차원 모델은 형상정보 외 다른 정보를 가지고 있지 않다고 가정하였기 때문에 입력된 부재의 형상정보로부터 부재의 크기 및 부피, 무게, 방향등을 추정할 필요성이 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 각 형상의 꼭짓점으로부터 경계상자 정보를 획득하였다. 이렇게 추출된 경계상자 정보로부터 부재의 가로, 세로, 높이 값을 설정하며 형상의 부피를 구한 후 중량을 추정한다. 더하여 방향정보를 획득하기 위하여 면단위로 분해한 형상 중 가장 넓은 면적을 가진 면을 부재대표면으로 선정하고 대표면의 관성 축을 부재의 대표 방향으로 설정하였다.

3.2 용접선 추출

전체 용접물량은 각 용접객체의 물량 합으로 계산된다. 입력 받은 형상모델은 용접정보를 포함하고 있지 않기 때문에 형상정보로부터 용접객체를 추출할 수 있어야 한다. 일반적으로 용접은 서로 다른 두 부재가 만나는 지점에서 이루어지므로 기하학적 형상들 간의 교차선을 두 부재를 잇는 하나의 용접객체라고 가정하였다. 생성된 교차선은 그래픽에서 특별한 색으로 강조되어 화면에 표시되며, 형상 간 교차계산으로부터 생성된 용접 형상의 예가 Fig. 6에 보인다.

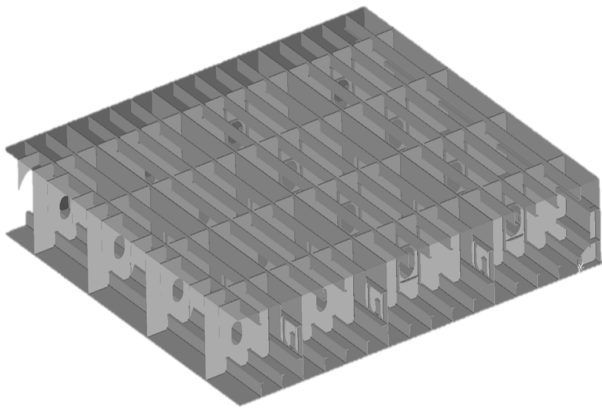


Fig. 6 A double bottom block with welding lines

생성된 용접객체는 별도로 저장되어 관리되며 각 용접 객체는 연결되는 부재를 포함하여 향후 관리가 용이하도록 하였다. 또한 각 용접형상의 꼭짓점(vertex)정보를 활용하여 용접장 및 용접두께를 파악하였다.

3.3 조인트 종류 판단

조인트는 두 부재 간 용접이 이루어질 시 두 부재의 연결 형태를 의미하며 기본적으로 용접선은 두 부재가 어떠한 각도와 방향으로 접해지는가에 따라 크게 두 가지의 조인트로 구분된다.

첫 번째는 버트 조인트로 각각의 부재가 서로 수평하게 만나게 되는 경우이며 두께 및 용접 종류에 따라 부재 앞뒤로 용접을 실시하게 된다. 두 번째는 필렛 조인트로 각 부재가 서로 수직하게 만나므로 수직형상의 양쪽을 용접한다.

개별 용접선을 이루는 두 부재의 접합 각도와 위치에 따라서 조인트 종류가 결정되며, 조인트 정보는 향후 용접종류, 용접자세, 조립단계 결정 등에 광범위하게 활용되므로 용접물량 산출에 있어 가장 먼저 판단해주어야 한다.

본 연구에서는 두 부재의 기하정보로부터 접합 각도와 위치를 계산하여 자동으로 조인트 판단을 수행하는 절차를 취한다.

3.4 조립 단계 설정

조립단계는 조선소에서 숙련된 작업자와 조선소 내규에 따라서 분류된다. 하지만 본 연구에서는 아직 생산정보가 생성되지 않은 시점에서 물량을 산출하기 때문에 자동으로 조립단계를 분류해주어야 하며, 이 분류는 조선소에서 일반적으로 적용되는 규칙을 바탕으로 구성되어야 하는 제한조건이 있다.

각각의 부재가 어느 조립단계에서 용접이 이루어지는지 파악하는 것은 매우 중요하다. 예를 들어 같은 용접객체라고 할지라도 조립단계에 따라 기준이 되는 베이스 플레이트가 바뀌어 용접 자세가 달라질 수 있으며 조립단계에 따라 블록의 복잡도가 달라지기 때문에 용접 난이도가 다를 수 있다. 따라서 조립단계를 조선소 규칙에 맞게 자동으로 분류하는 것은 매우 중요하다.

일반적으로 구분되는 형식에 따라 조립단계를 Fig. 7과 같이 6단계로 구분하였다.

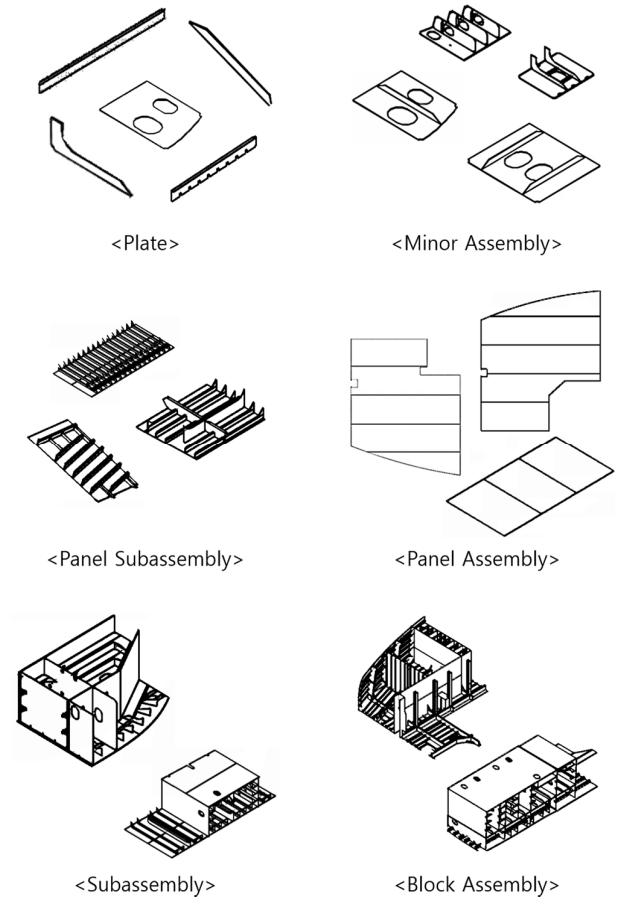


Fig. 7 Various assembly types

보다 정확한 조립 단계 분류를 위하여 조립단계 판단이 쉽고 명확한 순서대로 분류를 진행하였다. 가장 먼저 용접선의 길이가 일정 길이 이상이며 각 부재 간 연결이 버트 조인트로 구성되어야 하는 판넬 조립을 먼저 분류한다. 이어서 이러한 판넬 부재와 연결되는 부재들 중 용접선 길이 조건으로 만족하며, 조인트 연결이 필렛이고, 부재 높이가 일정 수준 이하인 부재들을 판넬 중 조립 부재로 분류한다. 이후 일정 크기 및 무게 조건을 만족하는 부재들의 연결을 소조립 부재로 판단한다. 중조립 부재는 개별 부재, 판넬 부재, 판넬 중조립 부재, 소조립 부재를 대상으로 크기와 무게 조건 및 추가 조건사항을 고려하여 분류하며 최종적으로 이렇게 분류된 모든 부재들을 대조립 부재로 포함시킨다.

중요 인자 및 제한 조건은 특정 조선소의 설계기준을 참고하여 설정하였으며 이후 필요에 따라 각 조선소의 설계기준에 맞게 변경할 수 있다.

3.5 용접 자세 판단

용접자세는 용접물량을 산출함에 있어 매우 중요한 인자이다.

동일한 용접 길이를 가진 용접객체라고 할지라도 용접자세에 따라 난이도가 크게 달라진다. 작업 난이도가 높은 용접자세의 경우 숙련된 작업자가 필요하며 용접에 소요되는 시간이 증가하게 되어 최종적으로 용접물량에 영향을 미치게 된다.

판단기준은 Table 1과 같은 미국기계학회의 용접자세 판단 기준을 따르는 것을 기반으로 하고, 해당 용접선이 속하는 조립 단계 블록의 베이스 플레이트와 용접선 축 각도 및 용접면의 각도를 이용하여 용접자세를 자동으로 판단하도록 한다.

베이스플레이트와 용접 객체의 사잇각을 기하학적으로 계산하기 위하여 베이스플레이트를 대표하는 면과 용접선을 대표하는 선 정보를 추출하였으며 해당 평면과 직선사이의 사잇각을 자동으로 측정한다.

작업단위의 베이스플레이트는 해당 작업단위의 모든 플레이트 중 가장 면적이 넓은 플레이트를 기준으로 삼았고 사용자로 하여금 수동으로 변경이 가능하도록 하여 유연성을 살린다.

Table 1 ASME welding position criteria

	Position	Inclination of Axis (degree)	Rotation of Face (degree)
Butt	Flat	0-15	150-210
	Horizontal	0-15	125-150 210-235
	Overhead	0-80	0-125 235-360
	Vertical	15-80 80-90	125-235 0-360
Fillet	Flat	0-15	150-210
	Horizontal	0-15	80-150 210-280
	Overhead	0-80	0-80 280-360
	Vertical	15-80 80-90	80-280 0-360

3.6 각장 계산

각장은 필렛 용접 시 용착부위의 루트에서 수평 또는 수직 끝 부분까지의 길이를 의미한다. 각장은 필렛 용접의 용착량을 구하기 위해서 필요하며 해당 용접객체를 구성하는 두 부재의 두께와 각도를 고려하여 계산된다.

3.7 용접 방법 설정

조선소는 각 용접의 특성을 고려하여 각 작업장마다 사용하는 용접방법이 상이할 수 있다. 용접 방법은 자동용접과 수동용접으로 구분하였으며, 자동용접은 다시 양면용접(SAW)과 편면용접(FAB), 그래비티(gravity)용접, EGW용접, 수동용접 등으로 나눌 수 있다.

본 연구에서 용접 방법은 조인트 종류, 용접 길이, 조립 단계, 용접 자세 등을 기준으로 판단한다. 대표적으로 일정 길이 이상의 버트 조인트가 연속적으로 있는 판넬 조립단계의 경우에는 SAW 방식의 자동화 용접으로 분류하며 나머지 조립단계에서는 두께 및 부재 크기에 따라 FAB 혹은 그래비티 용접을 우선적으로 적용하고, 마지막으로 자동화 용접 적용이 힘든 경우는 수동 용접으로 처리한다.

3.8 개선 형상 설정

버트 조인트의 개선형상은 용접의 용착량과 관련이 있다. 일반적으로 개선형상은 부재의 두께와 용접종류에 따라 부여되게 되는데, 본 연구에서는 조선소의 시공기준서를 따라 부재의 두께와 적용되는 용접 종류를 바탕으로 개선 형상을 크게 I, V, X 형상으로 나누어 부여하였다.

3.9 패스 수 계산

패스(pass)는 용접선을 따라 실시하는 1회의 용접작업 또는 그 궤적을 의미한다. 같은 용접선이라고 하더라도 패스 수에 따라 용접물량은 큰 차이를 보인다. 패스 수는 용접 종류와 조인트 종류에 따라 버트 조인트 경우에는 두께를, 필렛 조인트는 각각을 고려하여 결정하였다.

3.10 물량 산출

최종 용접물량은 용접선 길이를 수치화한 각종 용접특성들과 곱하여 산출하였다. 작업의 난이도 및 물량에 영향을 미치는 요소로는 조립단계, 용접자세, 용접종류, 패스 수를 선정하였다. 용접특성은 각 특성이 용접물량에 미치는 영향을 고려하여 수치화시켰으며 각 특성에 따라 서로 다른 가중치를 부여한다. 따라서 Q는 용접물량의 규모를 대변하는 하나의 지표(index)로 간주된다.

$$Q = \sum_{k=1}^N L_k * P_k * (w_s)_k * (w_p)_k * (w_m)_k$$

- N : Number of welding
- Q : Welding material quantity
- L : Welding length
- P : Number of pass
- w_s : Stage of block
- w_p : Welding position
- w_m : Welding method

4. 적용 예제

구현된 프로그램을 이용하여 같은 호선의 서로 다른 블록을 대상으로 용접물량을 산출한 뒤 비교한다. 사용된 블록은 Fig. 8에 보이는 80,000 CBM급 LPG 캐리어(길이 229.5 m, 폭 36.6 m, 깊이 22.4 m)의 중앙부와 선미도입부 이중저 블록, 그리고 선수부 블록이다.

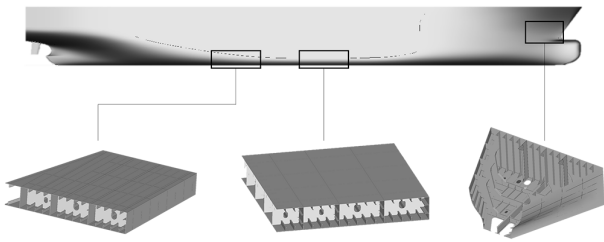


Fig. 8 Three different blocks

산출된 블록의 제원 및 용접물량 계산 값은 Table 2와 같다.

Table 2 Comparison of welding quantity indices for three different blocks

	Fore section	Midship section (port only)	Near-stern section (port only)
Number of Plates (ea)	162	158	122
Length (m)	9.515	13,600	13,252
Width (m)	13.404	12,805	12,805
Height (m)	5.011	2,215	2,215
Weight (ton)	39.33	82.33	69.44
Welding length (m)	469.662	927.447	728.694
Welding quantity index	1487.95	1590.29	1232.62

선미도입부 블록의 경우 그 크기는 중앙부 블록과 비교하여 큰 차이를 보이지 않지만, 전체가 후미로 갈수록 폭이 좁아지는 형상특성 때문에 전체 부재 개수가 122개로 중앙부 블록보다 36개 적음을 알 수 있으며, 용접 길이도 이에 비례하여 작아짐을 보인다. 결과적으로 선미도입부 블록의 경우 용접물량이 중앙부 블록보다 작은 것을 연구결과로 확인할 수 있다.

선수부 블록의 경우 블록을 구성하는 부재 개수가 162개로 중앙부 블록의 부재 수와 유사하지만 중량과 용접 길이는 상대적으로 작은 구조적 특성을 가진다. 결과로 나타난 선수부의 용접물량은 중앙부보다 조금 작을 뿐 오히려 선미도입부보다 큰 값을 보인다. 이와 같이 선수부 블록의 큰 용접물량은 선수부 블록이 두 이층저 블록에 비하여 복잡한 곡형상을 가지고 있어 용접 난이도가 상승한 원인으로부터 이해될 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 용접물량을 초기에 추정하기 위하여 생산정보가 포함되지 않은 3차원 형상정보를 활용한 용접물량 산출 과정을 다루었다. 순수 형상정보에는 생산정보가 포함되어있지 않기 때문에 입력받은 형상정보를 기반으로 부재의 특성과 용접선 정보를 유추하는 작업이 수행된다. 개발된 프로그램은 일정계획 및 시뮬레이션 등에서 초기단계에 용접물량을 산출하여 특정 블록의 용접공수를 추정하는 용도로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

도출된 결과는 정확한 물량을 추출하기보다는 부재 또는 블록의 제작단계에 대한 상대적 지표 제공에 유용하다. 정확한 물량 정보를 산출하기 위해서는 정확한 형상정보 입력이 필수적이며 각종 판단 조건은 각 조선소의 작업장에 맞도록 적용되어야 한다.

현재는 단일 블록을 대상으로 용접물량을 산출하였기 때문에 차후 연구에서는 여러 블록의 물량을 동시에 산출하는 경우와 용접분류로 인한 물량변화를 추가적으로 고려할 예정이다.

후기

본 논문은 산업통상자원부에서 지원한 “중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리 시스템 개발”과제 결과의 일부임을 밝히며 지원에 감사를 표합니다. 또한 “해양플랜트특성화대학원사업”에도 감사드립니다.

References

- ASME, 2010. BPVC IX. Available at: <<https://www.asme.org>> (Accessed 25 February 2016).
- Cho, K.K. et al., 1998. Determination of assembly units and assembly sequences for block assembly in shipbuilding. *Proceedings of the Korean Operations and Management Science Society Conference*, Kyungshung University, April 24–25, 1998, pp.1–8.
- Lee, K.T. Kang, B.Y. Kang, S.W. & Um, D.S., 1998. A study on the development of welding material quantity estimation system for ship structures. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 12(4), pp.51–59.
- OCCT, 2016. *OpenCASCADE technology documentation*. Available at: <<https://www.opencascade.com>> (Accessed 5 January 2016).
- Roh, M.I. & Lee, K.Y., 2006. A study on the generation of the production material information of a building block and the simulation of the block erection. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 11(2), pp.115–127.
- Ruy, W.S. Kim, H.K. & Ko, D.E., 2013. A study on the welding amount estimation system combined with 3D CAD tool. *Journal of the Korea Academic-Industrial Cooperation Society*, 14(7), pp.3184–3190.

