

# 유전자 알고리즘을 이용한 조선 소조립 로봇용접공정의 최적화

박 주 용<sup>\*†</sup> · 서 정 진<sup>\*</sup> · 강 현 진<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>한국해양대학교 조선해양시스템공학부

## Optimization of Robot Welding Process of Subassembly Using Genetic Algorithm in the Shipbuilding

Ju-Yong Park<sup>\*†</sup>, Jeong-Jin Seo<sup>\*</sup> and Hyun-Jin Kang<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Division of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering  
Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : jypark@hhu.ac.kr

(Received November 5, 2008 ; Revised March 4, 2009 ; Accepted April 2, 2009)

### Abstract

This research was carried out to improve the productivity in the subassembly process of shipbuilding through optimal work planning for the shortest work time. The work time consist of welding time, moving time of gantry, teaching time of robot and robot motion time. The shortest work time is accomplished by even distribution of work and the shortest welding sequence. Even distribution of work was done by applying the simple algorithm. The shortest work sequence was determined by using GA. The optimal work planning decreased the total work time of the subassembly process by 4.1%. The result showed the effectiveness of the suggested simple algorithm for even distribution of work and GA for the shortest welding sequence.

Key Words : Shipbuilding, Assembly, Genetic algorithm, Even distribution of work, Shortest welding sequence

## 1. 서 론

선박의 조립공정은 대부분 수많은 외판과 보강재를 용접하는 작업으로 이루어져 있으며 선박의 건조공정에서 가장 많은 작업량을 차지하고 있다. 현재 대형조선소의 경우 소조립공정에 조선 전용 용접로봇을 적용하여 자동화가 잘 이루어지고 있다. 현재의 소조립작업의 자동화는 로봇 운영자가 나름대로 작성한 작업계획에 의해 로봇을 조작하는 방식으로 이루어지고 있다. 이러한 방식의 자동화는 최적화된 작업계획이 없이 단순히 로봇 투입에 따른 작업시간의 단축, 작업환경 및 용접 품질의 개선에 그치고 있어서 제한된 수준의 효과에 그치고 있다. 최근 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, 이하 GA)을 이용하여 로봇경로 최적화 및 절단경로 최

적화에 대한 연구가 수행되어 작업계획의 최적화를 시도한 바 있고<sup>1,2)</sup> GA를 이용한 로봇용접공정 작업계획에 대한 연구도 수행된 바 있다<sup>3)</sup>. 본 연구에서는 자동화된 대형 조선소의 소조립공정을 대상으로 하여 동일한 작업을 수행하는 여러 대의 로봇에 작업량을 균형 있게 할당하는 방법과 각각의 로봇용접 작업시간이 최대로 단축되는 작업순서를 결정하는 방법을 다루었다.

## 2. 연구대상 및 목표

### 2.1 연구대상

소조립공정은 배재 - 취부 - 로봇용접 - 수동용접 - 마무리 순으로 수행되며, Tact time 생산방식에 의해 운용된다. 즉, 소조립라인에 들어 온 부재는 사전에 설

정된 Tact time 이내에 각 세부공정을 거친 다음 후공정으로 넘겨지게 된다. 본 연구의 대상은 소조립공정의 세부공정이며 편의상 이 공정을 로봇용접공정으로 이 공정이 이루어지는 공장을 로봇용접장으로 부른다<sup>1)</sup>. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 한 개의 라인에 3기의 갠트리를 설치하고 각 갠트리에 2대의 용접로봇을 부착한 로봇용접장을 대상으로 하였다. Fig. 2는 로봇용접공정에서 작업이 이루어지는 소블록의 한 예를 나타내고 있다. 소블록은 주판에 보강재(Flat bar)를 용접하여 만든다. 용접부는 주판과 보강재가 만나는 양쪽 필릿부이며 두 대의 용접로봇이 이를 동시에 용접한다.

2.2 목표

본 연구의 목표는 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 2대의 로봇이 부착된 3대의 갠트리에 작업량을 균등하게 배분하고 주어진 작업량을 최단시간에 끝낼 수 있도록 최적의 용접작업순서를 결정하는 것이다<sup>2)</sup>. 작업량의 균등배분은 우선 Fig. 3과 같이 각각의 갠트리에 일정한 작업면적을 부여하여 로봇용접장을 3개의 영역으로 나눈다. 이전 공정에서 취부된 물량이 들어오면 로봇용접장의 3기의 갠트리는 할당된 영역에 배치된 물량을 처리하게 된다. 이 경우 두 가지의 의사결정 문제가 발생한다. 첫째는 작업량 배분문제로서 3기의 갠트리에 작업영역을 어떻게 할당할 것인가의 문제이며 두 번째



Fig. 1 Robot welding shop for subassembly

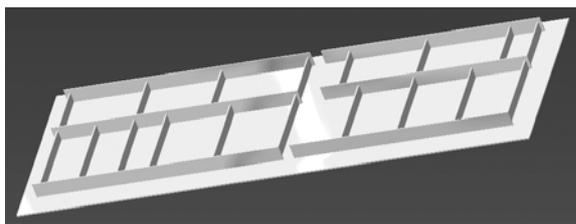


Fig. 2 An example of small blocks

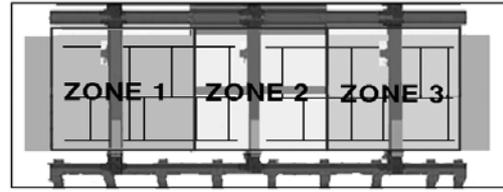


Fig. 3 Definition of 3 work zone

문제는 각 영역에 할당된 작업물을 어떤 순서로 용접할 것인가 하는 것이다. 이 두 문제는 로봇용접장의 작업시간을 결정짓는 요소로서 생산성을 좌우하는 중요한 문제이다.

3. 용접량의 배분과 용접순서의 결정 및 작업시간의 균등배분

3.1 용접량의 균등 배분

본 연구에서는 Fig. 2에서와 같이 길이 12m, 폭 8m의 판재에 10개의 보강재로 구성되어 있는 소블록과 같은 크기의 판재에 9개의 보강재로 구성되어 있는 소블록의 2개의 블록을 대상으로 하였다. 로봇용접장에는 총 3기의 갠트리가 있고 각 갠트리에 적당한 작업물량이 배치되어 작업영역은 3영역으로 구분된다. 3영역에 배치된 제품들은 형상이 서로 다르고, 보강재의 개수, 위치 및 길이도 다르다. 따라서 로봇용접장을 단순히 3등분하여 작업물량을 분배하면 영역별로 작업량이 불균등하게 배분될 가능성이 많다. 로봇용접장의 총 작업시간은 3개의 작업영역 중 작업시간이 가장 긴 영역의 작업시간과 같게 된다. 각 영역의 작업시간은 일차적으로 각 영역의 용접량, 즉 용접선의 길이에 의해 좌우되므로 각 영역의 용접선의 길이가 비슷해지도록 영역을 나누는 것이 중요하다. 3개의 영역은 Fig. 4에서와 같이 각 작업라인에 굵은 점선으로 표시된 2개의 가상바에 의해 정의된다. 본 연구에서는 각 영역의 용접량을 균등하게 배분하기 위해 다음과 같은 알고리즘을 도입하였다.

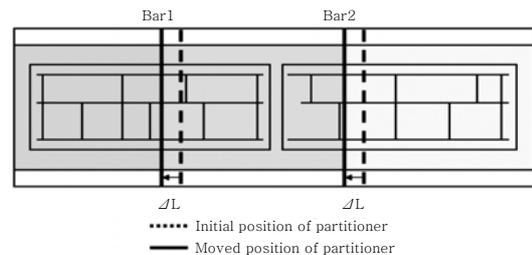


Fig. 4 Even distribution of weld length

**Table 1** Movement of partitioner for even distribution according to weld length of each zone

WL1	WL2	WL3	Bar1	Bar2
1	2	3	←	←
1	3	2	←	•
2	1	3	•	←
2	3	1	•	→
3	1	2	→	•
3	2	1	→	→

(1) 우선 가상바를 로봇용접장의 3등분하는 위치에 두어 로봇용접장을 3영역으로 분할한다.

(2) 분할된 3영역의 용접량  $WL_1$ ,  $WL_2$ ,  $WL_3$ 를 구한다.

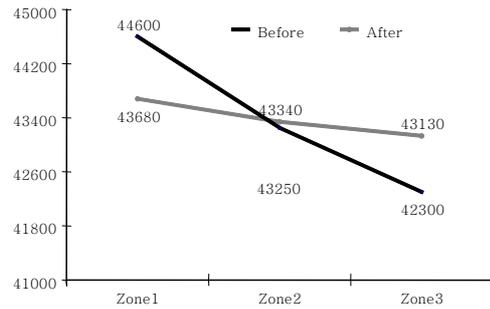
(3) Table 1과 같이 용접량이 작은 영역에서 큰 영역으로 가상바를  $\Delta L$ 만큼 이동하여 3영역을 새로이 정의한다. 이 경우  $\Delta L$ 의 값은 전체 작업장의 길이가 24m 이고 수직부재의 배치가 통상 1m 이상인 점을 감안하여 0.03m 로 하였다. Table 1에서 1,2,3은 각 영역의 용접선 길이를 크기순으로 표시한 것이며 Bar1은 왼쪽 가상바, Bar2는 오른쪽 가상바이다. 화살표는 가상바의 이동방향이며 •는 가상바의 이동이 없음을 의미한다. Table 1의 첫 번째 경우인 용접량의 크기가 영역1, 2, 3순인 경우 왼쪽 가상바와 오른쪽 가상바를 모두 왼쪽으로 이동함으로써 각 영역의 용접량의 차이가 줄어들도록 한다.

(4) 식(1)과 같이 각 영역의 용접량의 차이의 합인 DWL값을 구한다.

$$DWL = |WL_1 - WL_2| + |WL_2 - WL_3| + |WL_3 - WL_1| \quad (1)$$

(5) (3)와 (4)과정을 식(1)의 DWL값이 1m 이하가 될 때까지 반복한다. DWL의 값이 1m 이하가 되면 각 영역간의 용접량의 차이는 1m 보다 훨씬 줄어 균등배분으로 간주할 수 있다.

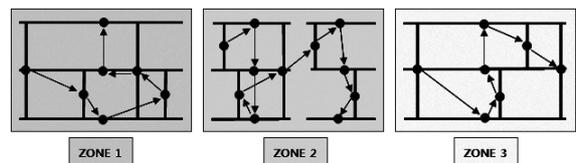
Fig. 5는 Fig. 4와 같이 배치된 2개의 블록에 대해서 상기의 방법에 의해 용접량 균등배분을 실시한 결과를 보여준다. 작업영역을 단순히 3등분한 균등배분 전 (Fig. 5의 Before)의 경우 최대용접량을 갖는 zone1에 44,600mm, 최소용접량을 갖는 zone3에 42,300mm의 용접량이 배분되어 그 차이가 2,300mm에 달했으나 균등배분 후(Fig. 5의 After)에는 zone1의 용접량이 43,680mm, zone3의 용접량이 43,130mm로 그 차이가 550mm로 확연히 감소하였다.



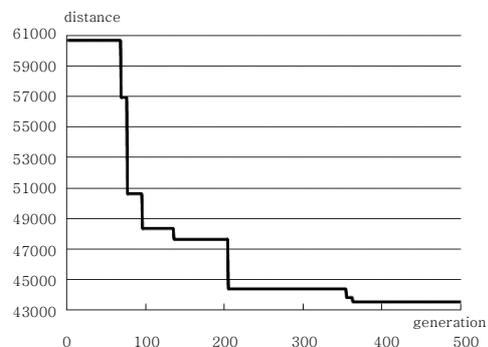
**Fig. 5** Result of even distribution for 3 work zones

### 3.2 용접순서

한 작업영역에는 다수의 보강재가 존재하며 이에 따라 이들의 용접순서에 대해서도 매우 많은 경우의 수가 있게 된다. 용접순서는 갠트리와 용접로봇의 동선을 최소화하여 최단시간 내에 용접작업이 이루어지도록 결정되어야 한다. 본 연구에서는 이 문제를 용접될 보강재의 중심점을 node로 보고 각 node를 돌아오는 최단경로를 찾는 문제로 모델링하여 여기에 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm, 이하 GA) 기법을 적용하였다<sup>4)</sup>. 즉, 한 영역에 놓여 있는 각 보강재를 왼쪽부터 순서대로 A, B, C 와 같이 알파벳 기호로 표시하고 그 순서를 용접순서로 간주하였다. Fig. 6은 GA에 의해 탐색된 해의 모습으로 결과는 각 영역 node의 이동거리로 표현된다. Fig. 7은 GA를 적용했을 때 세대가 진행될



**Fig. 6** The shortest work sequence of each zone obtained by GA



**Fig. 7** Decrease of moving distance of the gentry robot in zone 2 by using GA

**Table 2** Decrease of moving distance of the gentry robots in 3 zones according to change of working sequence using GA (unit: mm)

Zone	Before	After	Reduction
1	21,724	16,719	-5,005
2	60,695	43,520	-17,175
3	39,073	33,842	-5,231

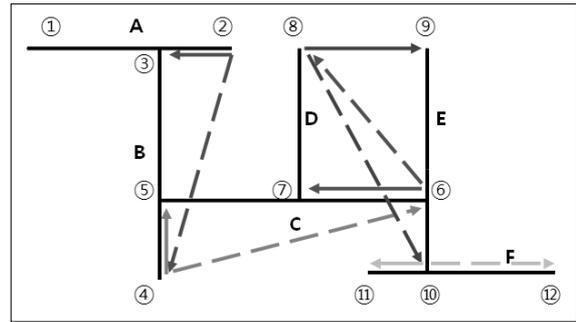
에 따른 zone2의 갠트리로봇 이동거리 감소를 보여주고 있다. 대략 370세대 정도 진행되면 이동거리의 값이 수렴함을 알 수 있었다. Table 2는 각 영역에 GA를 적용한 작업순서의 변화에 따른 갠트리로봇의 이동거리의 감소를 나타낸 결과이다. 이를 위해 두 가지 모델을 비교하였다. 하나는 용접될 보강재의 중심점을 기준으로 작업 순서를 컨베이어 위에 놓여있는 순서대로 작업했을 때 경우(Table 2의 Before부분)이다. 다른 하나는 작업순서를 결정하는데 있어 GA를 적용한 경우(Table 2의 After부분)이다. 이 두 경우 갠트리로봇의 이동거리의 감소치를 비교했을 때(Table 2의 Reduction부분) zone1은 21,724mm에서 16,719mm로 이동거리가 5,005mm 감소하였으며 zone2는 17,175mm, zone3은 5,231mm 감소한 것을 볼 수 있었다. 이를 통해 용접순서를 결정하는데 있어 GA가 갠트리 로봇의 최단경로를 찾는데 매우 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

**3.3 용접방향**

용접순서는 seam의 중심을 node로 보고 찾는 것이므로 한 부재에서의 용접방향은 알 수 없다. 본 연구에서는 용접이 종료된 node의 끝점에서 다음 node의 양 끝단 중 가까운 부분을 용접의 시작점으로 정하였다. 즉, Fig. 8에서 GA를 통해 A, B, C, D, E, F순으로 용접순서가 결정되면 시작 node의 용접종료점인 ②에서 다음 node로 진행할 때 용접시작점은 점선이 가리키는 지점 ④가 아니라 이동거리가 짧은 실선이 가리키는 지점 ③이 된다. 이런 과정을 거치면 Fig. 8의 경우 ①,②,③,④,⑤,⑥,⑦,⑧,⑨,⑩,⑪,⑫순으로 용접이 이루어지게 된다.

**3.4 작업시간의 균등배분**

작업시간은 3.1절에서 균등배분된 용접량의 용접시간 이외에도 로봇이동시간, 로봇티칭시간, 로봇모션시간을 포함한다. 따라서 총 작업시간의 균등배분은 용접시간



**Fig. 8** Decision of welding direction

이외에도 작업시간에 영향을 미치는 다른 인자들이 포함된 상태에서 이루어져야 한다. 소조립공정은 Tact time 생산체계로 되어 있어 물량을 처리하는데 있어 Tact time내에 처리해야 하며<sup>1)</sup>, 특정영역에 작업량이 편중되지 않도록 하여 갠트리간의 작업시간의 차이가 가급적 적도록 해야 한다. 작업 간을 결정하는 요소들은 다음과 같다.

① 각 영역의 용접량

용접량은 용접을 위한 티칭시간과 용접시간을 결정한다. 용접량이 균등하게 배분될수록 각 영역의 이 시간의 차이는 줄어든다.

② 용접경로와 용접방향

용접경로는 seam사이를 이동하는 순서이며 용접방향은 한 seam 내에서 시작점과 끝점을 결정하는 과정으로 로봇이동시간을 결정하는 요소이다.

③ 로봇모션

갠트리로봇이 작업을 수행함에 있어서 소요되는 부수적인 시간으로서 로봇이 용접 및 이동을 위해 자세를 바꾸는 데 걸리는 시간, 와이어 커팅시간 등이 이에 해당되며 seam당 일정시간으로 나타낼 수 있다.

각 영역의 로봇이동거리 MD는 각 부재간의 거리의 합인 식(2), 용접선의 길이 WL은 식(3), 작업시간 WT는 로봇이동시간과 티칭시간, 용접시간 및 로봇모션시간의 합인 식(4)로 표현된다.

$$MD = \sum_i^{n-1} \sqrt{(xe_i - xs_{i+1})^2 + (ye_i - ys_{i+1})^2} \quad (2)$$

$$WL = \sum_i^n \sqrt{(xs_i - xe_i)^2 + (ys_i - ye_i)^2} \quad (3)$$

$$WT = 2 \frac{MD}{MS} + \frac{WL}{TS} + \frac{WL}{WS} + MT * n \quad (4)$$

여기에서 MS는 로봇이동속도, TS는 티칭속도, WS는

용접속도, MT는 로봇모션시간, n은 부재수,  $(x_{s_i}, y_{s_i}), (x_{e_i}, y_{e_i})$ 는 i번째 부재의 시작점과 끝점의 좌표를 나타낸다. 로봇이동시간인 식(4)의 첫째항은 로봇이 티칭 작업과 용접작업 시에 각각 부재 간 이동을 하므로 2가 곱해졌다.

티칭시간, 로봇모션시간 등은 작업자의 숙련도, 공장 상황 등에 따라 차이가 있으나 본 연구에서는 국내 한 조선소에서 관측한 값의 대략적인 평균값을 기준으로 하여 MS=150mm/s, TS=150mm/s, WS=13.3mm/s, MT=40s/seam으로 결정하였다.

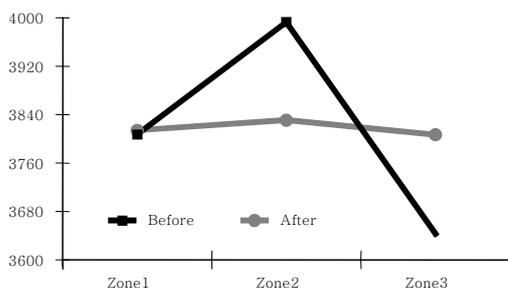
작업시간의 균등배분은 3.1절의 용접량 균등배분 알고리즘과 같은 방식으로 각 영역의 작업시간  $WT_1, WT_2, WT_3$ 을 식(4)로 계산하여 식(5)의 DWT값이 최소값에 도달할 때까지 반복 수행하여 각 영역에 균등배분된 작업시간을 구하였다.

$$DWT = |WT_1 - WT_2| + |WT_2 - WT_3| + |WT_3 - WT_1| \quad (5)$$

Table 3과 Fig. 10은 작업시간의 균등배분을 수행한 결과이다. 균등배분과정을 수행하기 전(Table 3의 Before부분)의 경우는 작업영역을 로봇용접장의 길이 방향으로 3등분한 경우로 취부된 블록이 컨베이어 위에 놓여있는 순서대로 작업하는 것에 해당한다. 이 경우와 작업시간 균등배분을 수행한 경우(Table 2의 After부

**Table 3** Even distribution of work time (unit: sec)

Zone	Before			After			Time Saving (%)
	Work time	DWT	Diff. (Max-Min)	Work time	DWT	Diff. (Max-Min)	
1	3,807	700	350	3,814	48	24	4.1
2	3,993			3,831			
3	3,643			3,807			



**Fig. 10** Result of even distribution of work time

분)를 비교했을 때 최대작업시간 영역과 최소작업시간 영역의 작업시간의 차이는 350초에서 24초로 줄었으며 최대작업시간이 소요되는 영역의 작업시간은 3,993초에서 3,831초로 162초가 단축되었다. 이 경우 티칭시간, 용접시간, 로봇모션시간은 일정하므로 작업시간의 단축은 GA로 구한 최단경로의 용접순서에 의한 로봇이동시간의 단축효과에 기인함을 알 수 있다. 이 결과는 로봇용접공정 전체의 작업시간을 4.1% 단축하는 것으로 작업시간의 균등배분이 조선 소조립공정에서 생산성 제고 효과가 매우 큼을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

로봇을 이용한 조선 소조립공정의 최적화된 작업계획을 위해 작업량 균등배분과 최적 용접순서의 결정을 통해서 작업시간을 최소화하는 문제에 대하여 연구하였다. 용접량의 균등배분을 위해 고안한 용접량 균등배분 알고리즘을 적용한 결과 작업영역을 단순히 3등분한 경우는 최대용접량과 최소 용접량의 차이가 2,300mm였으나 균등배분 후에는 차이가 550mm로 확연히 감소하였다. 또한 많은 부재를 용접하는 경우 GA를 이용하여 갠트리로봇의 이동거리를 최소화하는 용접순서를 구하였다. GA를 적용하여 갠트리로봇의 이동거리를 최소화한 결과 세 영역에서 이동거리가 GA를 적용하지 않은 경우에 비해 각각 5,155mm, 16,821mm, 5,231mm가 감소한 것을 확인 할 수 있었다. 이를 통해 소조립 로봇용접공정의 전체 작업시간을 4.1% 감축할 수 있었다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 균형배분 알고리즘과 GA가 로봇용접공정의 최적화에 유용함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. J.O.Kim, J.S.Sin, S.K.Kim, M.H.Park and S.H.Kim: Design of a Welding Robot System for the Sub-Assembly Line in Ship Yard, Journal of KWS, **14-1**, 30-37, 1996 (in Korean)
2. K.Y.Bae and J.H.Lee: A Study on Development of Automatic Weld-Seam Tracking System Using Vision Sensor, Journal of KWS, **14-4** (1996), 79-88 (in Korean)
3. H.J.Kang, J.Y.Park and H.C.Park: Work Planning Using Genetic Algorithm and 3-D Simulation at a Subassembly Line of Shipyard, Proc. of the 2004 Spring Annual Meeting of KWS, **18-20**, 2004 (in Korean)
4. T.W.Kang: A Genetic Algorithm with Local Competing, Journal of the Korea Institute of

- Information Scientists and Engineers, **29-6**, 396-06, 2002 (in Korean)
5. J.H.Kim, D.D.Yoo, J.O.Kim, J.S.Sin and S.K.Kim: Implementation of Automatic Teaching System for Subassembly Process in Shipbuilding, Journal of KWS, **14-2** (1996), 96-105 (in Korean)
  6. J.Grefenstette, R.Gopal, B.Rosmaita, and D. Gicht, "Genetic Algorithms for the Traveling Salesman Problem", Proc. the 1st Inter. Conf. on GAs and Their Applications, 160-168, 1985
  7. L.G.Kang, H.G.Im, C.Y.Jeong: New Population initialization and sequential transformation methods of Genetic Algorithms for solving optimal TSP problem, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Sciences, 10-3, 622-627, 2006 (in Korean)
  8. Y.K.Han, C.D.Jang: A Study on the Cutting Path Optimization using Improved Genetic Algorithm, Journal of the Society of Naval Architects of KOREA, **37-3** (2000), 90-98 (in Korean)
  9. S.G. Kang, S.Kwon, H.J.Choi: Path Optimization Using an Genetic Algorithm for Robots in Off-Line Programming, Journal of the Society of precision Engineering, **19-10** (2002), 66-76 (in Korean)