

유전자 알고리즘을 이용한 탑재블록 위치제어에 관한 연구

신성철* · 이재철* · 김수영*

*부산대학교 조선해양공학과

Study on Erection Block Positioning Using Genetic Algorithm

Sung Chul Shin*, Jae Chul Lee* and Soo Young Kim*

*Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Accuracy management 정도관리, Block positioning 블록 위치제어, Genetic algorithm 유전자 알고리즘, Optimization 최적화, Erection block 탑재 블록

ABSTRACT: In the shipbuilding industry, accuracy management is one of the keys for strengthening competitiveness. However, ship block errors are unavoidable in the block erection stage because of the deformation of the blocks. Currently, accuracy managers decide whether or not block corrections are needed, based on measured and designed point data. They adjust the locations of hull blocks so that the blocks are aligned with other assembly blocks based upon the experience of production engineers. This paper proposes an optimization process that can adjust the locations of ship blocks during the erection stage. A genetic algorithm is used for this optimization scheme. Finally, the feasibility of the proposed method is discussed using several case studies. We found that the proposed method can find the optimized re-alignment of erection blocks, as well as improve the productivity of the erection stage.

1. 서 론

현재 국내 조선소에서 건조되고 있는 대부분의 선박은 블록 건조공법(Fig. 1)에 의해 생산되고 있다. 블록 건조 공법은 선체 각 부위를 일정한 크기의 블록으로 제작하고 이를 크레인으로 들어 올려 조립하는 방식으로 공기단축, 도크회전을 증가 등 생산성 측면에서 획기적인 발전을 가져 왔다(Yuuzaki and Okumato, 1992). 블록건조공법은 그 특성상 아직도 해결해야 할 많은 문제점들이 있다. 선체의 재료는 박판과 후판으로 절단, 가공, 용접과정을 통하여 블록으로 조립된다. 이 과정에서 용접변형 및 절단과 가공 등에 의한 블록변형이 발생한다(Roh and Shin, 1999). 이러한 변형은 조립단계의 진행에 따라 계속 누적된다. 또한 조립된 블록은 크레인을 이용하여 이동 및 회전을 수행하는데 이 과정에서 추가적인 변형이 발생한다(Lee and Kim, 1995; Ham, 2001). 따라서 블록 조립과정에서 블록간의 부재 불일치와 같은 문제점이 발생하고 있으며 이를 바로잡기 위해 상당량의 공수가 투입되고 있다(Kim, 2003). 이러한 부재 불일치 문제는 선박의 품질 저하뿐만 아니라 교정 공수 및 교정 비용 야기 등 선박 생산성 저하의 주요인으로 작용할 수 있다(Kim et al., 2002).

각 조선소에서는 탑재블록 간의 부재불일치 문제를 최소화하기 위하여 정도관리 부서(Accuracy management department)를 두어 변형 발생을 사전에 방지하거나, 이미 발생한 블록변형의 영향을 최소화하고자 노력하고 있다(Jang and Lee, 2000). 블록의 변형을 사전에 방지하기 위한 연구로는 용접에 의해 실제 평

블록 구조의 조립시 발생하는 용접변형을 정량적으로 예측하고자 하는 연구(Kim, 2008)와 열탄소해석을 수행하여 실제 박판 평블록 구조의 조립시에 발생하는 용접변형을 최소화하고자 하는 연구(Kim, 2009)가 있다. 이러한 용접에 의한 변형과 더불어 절단 방법에 따른 잔류응력이 각 블록변형에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되었다(Kumar et al., 2005). 또한 이미 발생한 블록변형의 영향을 최소화하기 위한 연구로는 블록 탑재과정에서 3차원 측정시스템(Monmos system)을 이용하여 각 블록의 오차만을 측정하여 블록의 정도를 향상시키고자 한 연구(Yuuzaki and Okumato, 1992)와 실무자의 경험으로부터 블록의 변형이 쉽게

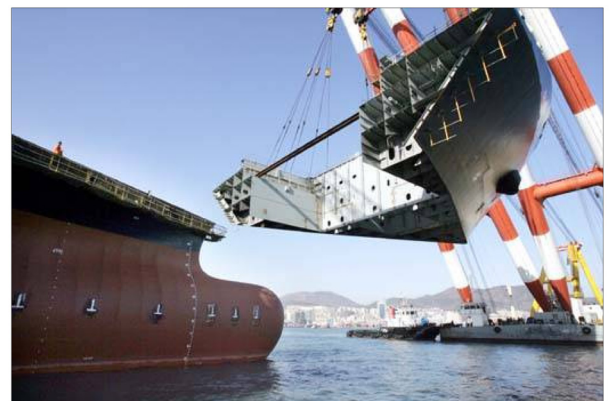


Fig. 1 Block construction method

발생하는 점(Less rigid spots)을 관리점으로 선택하여 블록의 이동을 6자유도 운동으로 표현하여 블록위치를 최적화하고자 한 연구(Takechi et al., 2005)가 있다.

하지만 실무에서 블록 탑재 시 부재 불일치 분석 및 블록 탑재 위치제어 작업의 경우, 많은 부분 실무자의 경험 및 직관에 의하여 이루어지고 있어 정성적이다. 따라서 실무자의 노하우를 체계화하고 추가적인 수정작업 최소화 관점에서 최적의 탑재 블록 위치를 신속히 결정하는 것이 필요하다.

이에 따라 본 연구에서는 중·대형 조선소에서 탑재 정도관리 방법을 분석하고, 실무에서 사용되고 있는 점기반 블록 탑재 방법을 기반으로 하여 현장에서 사용할 수 있는 블록의 최적 위치를 결정하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 블록의 위치제어 문제를 최적화로 정식화하였으며, 최적화 기법으로는 유전자 알고리즘을 활용하였다. 최적 탑재블록의 위치결정을 자동화함으로써 정도관리 실무가 부족한 실무자도 손쉽게 블록위치를 결정할 수 있고 전체적인 공정의 효율을 향상시킬 수 있을 것이다.

2. 탑재블록 최적위치 결정 방법

현재 조선소 현장에서 탑재를 위한 정도관리 시 먼저, 제작된 각각의 실물 블록이 갖는 변형의 크기를 측정하고, 허용오차를 바탕으로 탑재 가능 여부를 판단하게 된다. 탑재가 가능하다고 판단된 경우, 기준블록(Reference block) 및 탑재블록(Erection block)에서 관리점을 선정하고 이들 간의 오차를 분석하여 탑재 위치를 제어한다.

2.1 블록의 위치 변경에 대한 수학적 표현

관리점이 설정된 기준 블록에 탑재블록의 최적위치를 결정하기 위해서는 블록의 위치 변경을 수학적으로 표현할 필요가 있다. 블록의 위치 변경은 기준점과 축점간의 상대적인 위치관계로 설명할 수 있다. 기준점은 블록 회전 기준이 되는 점이고, 축점은 기준점으로부터 연장된 가상의 축을 결정하는 점이다. 기준점, 축점은 모두 블록상의 점일 수도 있고, 외부의 점일 수도 있다. 탑재하고자 하는 블록에서 기준점과 축점이 선정되면 가상축이 생기고 이를 3차원 공간상에서 조정하여 블록을 회전시킨다. 공간상의 일반적인 블록 회전은 Fig. 2, Fig. 3과 같이 두 가지 회전 성분으로 구분할 수 있다. 평면회전(θ (식 (3) 참조)은 평면상에서 가상축이 회전하는 것이고, 레벨조정(ϕ (식 (4), (5), (6) 참조)은 평면회전을 수행한 평면에 수직 방향으로의 회전을 뜻한다.

본 연구에서는 탑재 블록의 위치 및 자세 변화를 위하여 위의 두 가지 이동 방법을 조합한 식 (1), (2)와 같은 변환식으로 표현하였다.

$$P' = [C] P \tag{1}$$

여기서 P 는 블록의 측정 좌표, P' 는 이동 후 좌표, $[C]$ 는 블록의 위치 변환 행렬을 의미한다.

$$[C] = [C_H(\theta)][C_V(\phi)] \tag{2}$$

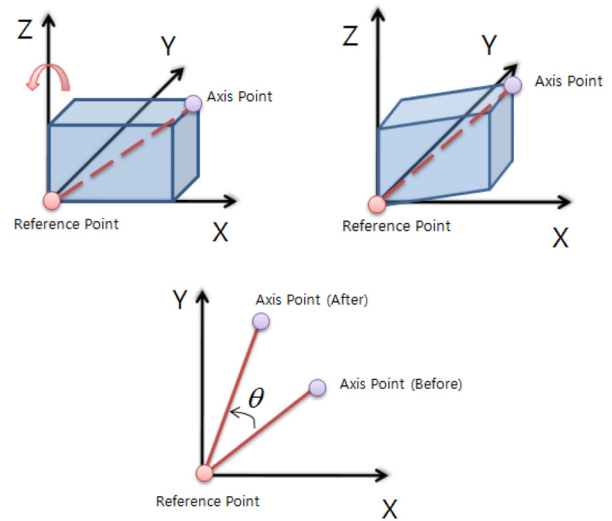


Fig. 2 Planar rotation

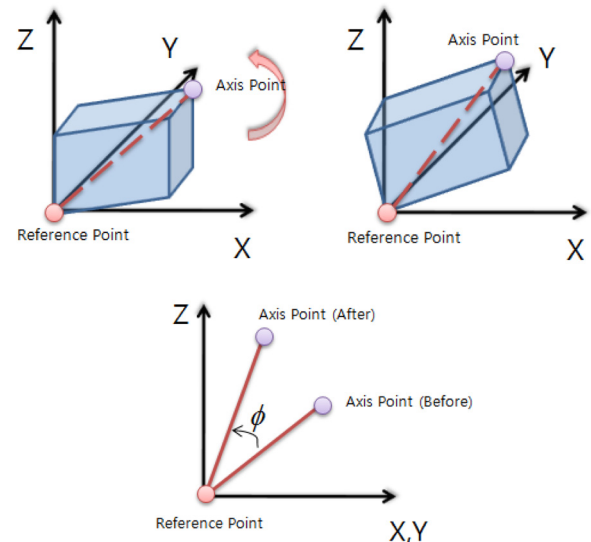


Fig. 3 Level control

여기서 $[C_H(\theta)]$ 는 평면회전변환행렬, $[C_V(\phi)]$ 는 레벨조정변환행렬을 나타낸다.

평면회전변환행렬($[C_H(\theta)]$)은 x-y 평면인 경우 식 (3)과 같이 계산하였다.

$$C_H(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

여기서 θ 는 평면회전변환을 위한 회전각을 의미한다.

레벨조정변환행렬($[C_V(\phi)]$)은 아래와 같이 5가지 단계로 계산된다.

- ① 기준점을 원점으로 평행이동
- ② 축점을 Y-Z(또는 X-Z) 평면으로 회전

- ③ 레벨조정을 위한 X축(또는 Y축) 중심 회전
- ④ 단계 ②의 역변환
- ⑤ 단계 ①의 역변환

상기의 레벨조정변환 5단계는 현재 조선소 실무자가 사용하는 레벨조정 의미를 충실히 따르도록 표현되었다.

① 기준점의 원점으로 평행이동 : 레벨변환의 기준점을 절대 좌표의 원점이 되도록 블록을 평행이동을 나타낸다.

$$\begin{aligned} x' &= x + \Delta x \\ y' &= y + \Delta y \\ z' &= z + \Delta z \end{aligned} \tag{4}$$

② Y-Z 평면상에서의 Z축 중심 회전 : 축점을 yz평면(xz평면)으로 이동시키기 위하여 Z축을 중심으로 블록을 회전이동 시킨다.

$$\begin{pmatrix} \cos\delta & -\sin\delta & 0 \\ \sin\delta & \cos\delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a' \\ b' \\ c' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'' \\ b'' \\ c'' \end{pmatrix} \tag{5}$$

여기서 δ : Y-Z 평면으로의 회전각, a', b', c' : 회전 전 점의 좌표성분, a'', b'', c'' : 회전 후 점의 좌표성분을 각각 나타낸다.

③ 레벨조정을 위한 축 회전

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a'' \\ b'' \\ c'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a''' \\ b''' \\ c''' \end{pmatrix} \tag{6}$$

여기서, ϕ 는 레벨조정 회전각, a'', b'', c'' 는 평면회전 후 점의 좌표성분, a''', b''', c''' 는 레벨조정 후 점의 좌표성분을 각각 나타낸다.

나머지 단계 ④와 단계 ⑤를 통하여 원래 좌표 공간으로 연산하면 블록의 이동에 따른 좌표계산이 끝난다.

2.2 문제의 정식화

평면 회전각과 레벨 조정각을 통해 전체 관리점의 오차를 최소화하는 탑재블록의 최적 위치 결정최적화 문제를 정식화하면 다음과 같다.

설계변수는 평면 회전각(θ)와 레벨 조정각(ϕ)로 설정 하였다. 본 연구의 목적함수는 식 (5)와 같이 설정하였다.

$$\text{Minimize} ; f(\theta, \phi) = g(\theta, \phi) + h(\theta, \phi) \tag{5}$$

여기서, $g(\theta, \phi) = \sum_{i=1}^n e^2 = \sum_{i=1}^n (P_{R,i} - CP_{E,i})^2$, n 은 탑재시 관리점 개수, $P_{R,i}$ 는 기준블록 i 번째 측정점, $CP_{E,i}$ 는 탑재블록 i 번째 측정점을 각각 나타내며, $h(\theta, \phi)$ 허용오차($\pm 5\text{mm}$)를 넘는 좌표성분의 수를 의미한다. 설계변수 범위는 아래 식(6)과 같이 설정하였다.

$$-\pi \leq \theta, \phi \leq \pi \tag{6}$$

블록 탑재 가능 여부 판단 기준은 허용오차(일반적으로 $\pm 5\text{mm}$)를 기준으로 하지만, 본 연구에서는 블록 탑재가 가능한 경우를 전제로 하고 있다. 주변 환경의 간섭 등을 고려하지 않은 상황에서의 위치 도출이므로 본 연구에서는 허용오차 및 간섭 등에 대한 제약조건은 고려치 않았다. 또한 목적함수의 구성을

보면 전체적인 오차가 감소되어야 할 것과 동시에 오차한도를 벗어나는 좌표성분의 개수가 줄어들어야 함을 반영하고 있다.

3. 유전자 알고리즘

설계변수인 θ 와 ϕ 를 변경하면 목적함수인 관리점들의 오차가 바뀌는 것을 평가할 수 있으나 θ 와 ϕ 의 직접적인 함수식을 찾기 어려워 미분정보를 필요하지 않는 최적화 알고리즘이 필요하였다. 이를 해결하는 수치적 알고리즘은 다양하게 보고되고 있으나 본 연구에서는 탐색미분정보를 사용하지 않고, 전역적 최적화에 적합한 유전자 알고리즘을 사용하였다.

유전자 알고리즘은 자연계에서의 생물진화 원리로부터 착안된 알고리즘으로서, 확률적 탐색이나 학습 및 최적화를 위한 기법으로 Fig. 4의 과정을 따른다. 유전자 알고리즘에서는 초기에 적당한 크기의 모집단(Population)을 생성한 후 모집단에 속한 각 개체의 환경에 대한 적합도(Fitness)를 평가한다. 그리고 우수한 개체 간의 복제(Reproduction)를 통하여 다음 세대(Generation)의 모집단이 생성되는 진화 과정을 거쳐 최적의 해를 도출한다 (Seong, 2005).

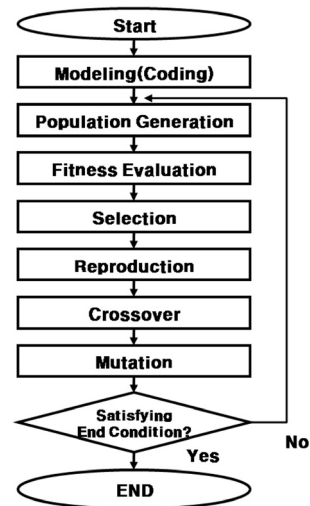


Fig. 4 Process of genetic algorithm

4. 사례연구

본 연구에서는 제안된 방법론의 효율성을 입증하고자 선수부 두 개 블록의 탑재를 상정하였다. Fig. 5는 기준블록(Reference block), Fig. 6은 탑재블록(Erection block)을 나타낸다. 각각의 블록에서 최적 위치 결정을 위한 21개의 관리점을 선정한다. 이는 각 블록의 해당지점 측정값이 된다. 구분을 위해 기준블록의 관리점은 CP001~CP021로, 탑재블록의 대응되는 관리점은 CP101~CP121로 이름 붙였다. 탑재블록의 위치변경을 위한 요소인 기준점은 CP110로, 측정점은 블록의 최대포락선을 고려하여 CP117로 잡았다.

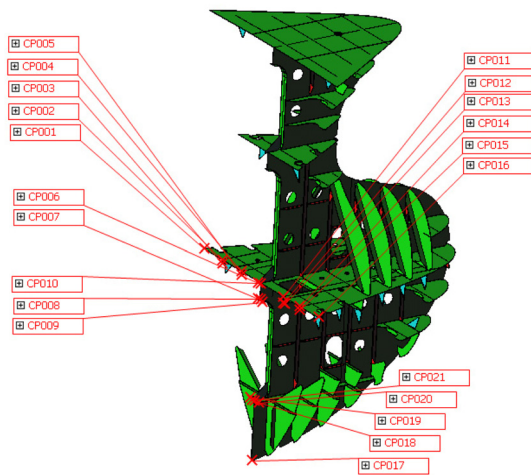


Fig. 5 Reference block

탑재블록 간 발생하는 초기오차를 정리한 것이다.

두 개의 탑재블록 위치제어 문제에 대하여 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 시스템 파라미터는 Table 2와 같이 설정하였다.

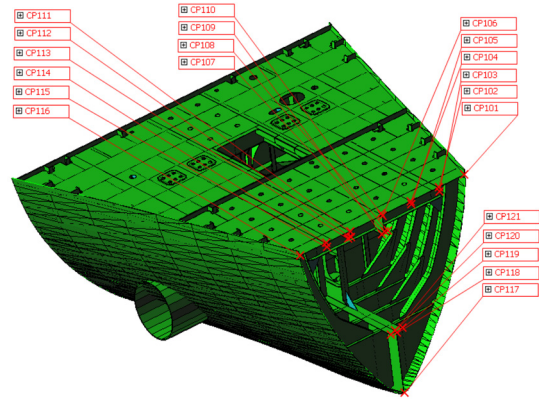


Fig. 6 Erection block

Table 1 Initial erection errors at each points

Points	Errors (Reference block -Erection block)			Remarks
	X	Y	Z	
CP101	-7.73	-3.02	-6.10	
CP102	-6.40	3.77	4.25	
CP103	-1.28	2.34	-1.53	
CP104	-3.39	-2.86	2.62	
CP105	-3.62	3.95	-5.26	
CP106	1.67	5.12	-3.20	
CP107	-2.45	-1.21	4.25	
CP108	-1.07	3.77	-2.23	
CP109	-1.77	1.79	2.68	
CP110	-2.67	2.34	-1.53	Reference point
CP111	3.20	1.65	2.23	
CP112	3.59	2.39	2.68	
CP113	3.20	2.34	-1.53	
CP114	5.21	5.48	-2.78	
CP115	6.20	2.53	-5.52	
CP116	2.09	7.07	2.34	
CP117	5.79	1.56	-1.25	Axis point
CP118	-3.56	3.4	-3.12	
CP119	5.34	2.95	4.21	
CP120	6.02	3.92	4.03	
CP121	-3.40	-2.80	2.45	
Average	0.24	2.21	-0.11	
Variance	18.59	7.33	12.21	
RMS error	46.802			

Table 2 System parameters for genetic algorithm

Population Size	100
Maximum Generation number	5,000
Mutation Probability	1%
Crossover Probability	20%
Representation of Solution	Binary String
Fitness Function	$1/(f(\theta, \phi))$

위 파라미터 적용 시, 적합도 함수(Fitness function)는 Fig. 7과 같은 형상을 보였으며 167세대에서 수렴함을 알 수 있었다.

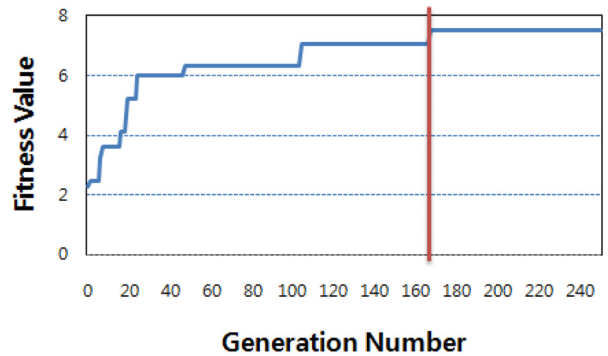


Fig. 7 Fitness function

탑재블록 위치 최적화 결과, 평면회전을 위한 회전각 θ 가 0.195° 이고, 레벨이동을 위한 회전각 ϕ 가 0.096° 일 때, 즉 축점 CP117을 X축 방향으로 3.518mm(Y축 방향 : +2.515mm), Z축 방향으로 -1.438mm 이동하였을 때 최적의 탑재 위치를 갖는 것으로 나타났다. 또한 최적 탑재 위치에서의 기준블록과 탑재블록 간 오차는 Table 3과 같다. 최적의 탑재 위치에서의 기준블록과 탑재블록 간 $\sqrt{(Error)^2}$ 의 합이 42762mm^2 으로 초기 46.802mm^2 보다 약 4.04mm^2 감소하였으며, 최대 오차 역시 -7.73mm 에서 5.80mm 로

Fig. 5와 Fig. 6 두 개의 블록을 특별한 위치조정 없이 탑재블록의 기준점(CP110)과 대응되는 기준블록의 점 CP1010을 맞추어 주면 초기오차 분포를 확인할 수 있다. Table 1은 기준블록과

감소하였다.

Table 1과 Table 3에서 평균과 분산을 비교 분석한 결과, 초기의 기준블록과 탑재블록 간 발생하는 오차에 비하여 최적 탑재 위치에서의 기준블록과 탑재블록 간 오차의 평균이 조금 커진 것으로 나타났다. 하지만, 본 연구에서 기준블록과 탑재블록의 관리점 21개를 오차범위 내에서 이동시켜 탑재함으로써 오차범위를 초과하는 관리점의 개수는 13개에서 8개로 감소하였다. 또한, 분산의 결과를 살펴보면 초기의 발생하는 오차에 비하여 최적 탑재에서의 경우가 오차의 평균값 근처에 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

Table 3 Optimum position errors

Points	Optimum Position Errors		
	X	Y	Z
CP101	1.62	-5.57	-4.67
CP102	0.80	1.22	5.68
CP103	5.80	-0.19	-0.09
CP104	1.57	-5.40	4.05
CP105	1.19	1.41	-3.83
CP106	4.29	2.59	-1.76
CP107	-0.41	-3.75	5.68
CP108	1.22	1.23	-0.80
CP109	-0.01	-0.75	4.11
CP110	0.00	0.00	0.00
CP111	3.18	-0.88	3.66
CP112	3.38	-0.14	4.12
CP113	2.74	-0.19	-0.10
CP114	3.25	2.95	-1.35
CP115	4.10	0.01	-4.08
CP116	-2.02	4.50	3.75
CP117	2.27	-0.96	0.19
CP118	-4.98	0.85	-1.70
CP119	4.44	0.43	5.65
CP120	4.08	1.40	5.47
CP121	-4.79	-5.14	3.98
Average	1.51	-0.30	1.33
Variance	8.13	7.23	12.22
RMS error		42.762	

5. 결 론

본 연구는 블록 정도관리의 일환으로 탑재블록 위치제어 문제에 대하여 최적화 알고리즘을 적용함으로써, 현재 전문가의 축적된 경험에 기반을 두어 정성적으로 결정하던 것을 자동화, 최적화 되도록 하였다. 이로부터 다음의 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 탑재블록 위치 이동의 수학적 표현이 가능하였고, 탑재블록의 최적위치결정을 최적화문제로 정식화 할 수 있었다.
- (2) 전체 오차와 허용오차를 벗어나는 점의 개수를 최소화 방향으로 탑재블록 위치 결정이 가능하였다.
- (3) 최적화 적용을 위해 유전자 알고리즘을 사용하였고, 이를 통해 실용적인 해를 손쉽게 도출할 수 있었다.
- (4) 실무에서 3차원 계측기를 이용하여 블록의 위치를 측정하여

실무자의 경험에 따라 반복적인 작업을 수행하여 블록의 위치를 관리하였던 문제를 본 연구를 통하여 블록의 최적위치를 자동으로 관리 할 수 있었다.

향후 블록 탑재 기준인 허용오차 및 주변 환경의 간섭 등 다양한 제약조건들을 고려함으로써 탑재블록 위치제어문제의 실용성 및 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2009-0066464)과 2008년도 부산대학교 신입교수 연구 정착금 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

- Ham, J.H. (2001). "Development of the Design System for the Lifting Lug Structure", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 38, No 1, pp 86-98.
- Jang, C.D. and Lee, C.H. (2000). "A Study on the Prediction and Control of Welding Deformations of Ship Hull Blocks", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 37, No 2, pp 127-136.
- Kim, S.I., Kang, J.K. and Han, J.M. (2002). "Prediction and Control of Welding Deformation for Panel Block Structure", Journal of The Korean Welding and Joining Society, Vol 20, No 2, pp 21-26.
- Kim, S.I. (2003). "Design for Raising the Rate of Recovering use of Lifting Lug", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 40, No 4, pp 59-65.
- Kim, S.I. (2008). "Prediction and Control of Welding Deformation for Panel Block Structure", Journal of the Korea Society of Ocean Engineers, Vol 22, No 6, pp 95-99.
- Kim, S.I. (2009). "Control of Welding Distortion for Thin Panel Block Structure Using Plastic Counter-Deformation Method", Journal of the Korea Society of Ocean Engineers, Vol 23, No 2, pp 87-91.
- Kumar, R., Spicknall, M and Hong, T.D. (2005). "Dimensional Management in Shipbuilding: A Case Study From the Northrup Grumman Ship Systems Lightweight Structures Project", Journal of Ship Production, Volume 21, No 4, pp 209-218(10).
- Lee, J.W. and Kim, H.J. (1995). "Erection Process Planning & Scheduling using Genetic Algorithm", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 32, No 1, pp 9-16.
- Roh, J.G. and Shin, J.G. (1999). "An Assembly Simulation of a Plane Block With Gravity and Welding Deformations", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol 36, No 3, pp 122-133.

Seong, H.G. (2005). Introduction to Optimum Design, Gold, Seoul Korea.

Takechi, S. and Aoyama K. and Nomoto, T. (2002). "Studies on the Block Positioning Metrics System for the Hull Erection Stage", Journal of Marine Science and Technology, 158-167.

Yuuzaki, M. and Okumato, Y. (1992). "Approach to New

Ship Production System Based on Advanced Accuracy Control", Proceedings of the NSRP Ship Production Symposium, New Orleans, Louisiana, USA.

2011년 6월 16일 원고 접수

2011년 8월 17일 심사 완료

2011년 10월 17일 게재 확정