

유전 알고리즘 기반 조선소 선행도장 공정 다목적 자동 스케줄링

나영진, 김기현, 박세호, 이동녕*, 장종환*, 임민중
동국대학교, *한화오션

dudwls976@naver.com, rlsrlgus123@naver.com, 323psh@naver.com,
*dnlee26@hanwha.com, *jhjang36@hanwha.com, minjoong@dongguk.edu

Multi-Objective Automatic Scheduling of Shipyard Pre-Painting Process Based on Genetic Algorithm

Young Jin Na, Ki Hyun Kim, Seho Park,
Dong Nyeon Lee*, Jong Hwan Jang*, Minjoong Rim
Dongguk Univ., *Hanwha Ocean.

요 약

본 논문은 조선소 선행도장 공정의 생산 효율 향상을 위해 그리디 기반 유전 알고리즘을 적용한 다목적 최적화 자동 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 선행도장은 선체 블록 제작 이후 수행되는 핵심 공정으로 후속 공정의 일정과 품질에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 현행 계획 체계는 스케줄러의 경험과 판단에 의존한 수작업 방식으로 운영되어 계획 품질의 일관성 확보가 어렵고, 변경 시 반복 수정으로 실시간 대응이 제한되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구는 주요 생산 제약조건을 반영한 다목적 최적화 모델을 설계하고, 납기 신뢰성과 공장 간 부하 균형을 동시에 고려한 효율적 스케줄링 방안을 제시한다.

I. 서 론

조선소의 선행도장 공정은 선체 블록 제작 이후 수행되는 핵심 생산 단계로 후속 탑재 공정의 일정과 품질에 직접적인 영향을 미친다. 이는 단순한 도색이 아니라 선체의 내구성과 방청 성능을 확보하고 후속 공정의 효율적 작업 환경을 조성하기 위한 필수 과정이다. 따라서 일정 지연이나 계획 불균형은 전체 선박 건조 일정 차질, 자재 낭비, 인력 불균형 등 다양한 리스크를 초래한다. 현재 도장 공정의 세부 일정은 스케줄러의 경험에 의존한 수작업으로 운영되어 일관성과 실시간 대응성이 떨어진다. 특히 선박의 대형화로 블록 수와 크기가 증가하면서 복합 제약조건을 동시에 고려하기 어렵다. 최근 조선소에서는 생산 공정의 효율화를 위해 다양한 휴리스틱 및 메타휴리스틱 기반 스케줄링 기법이 제안되어 왔다 [1][2]. 그러나 기존 연구들은 주로 단일 목적에 초점을 두었으며, 도장 공정과 같이 복합 제약이 존재하는 세부 공정에 대한 다목적 자동 스케줄링 적용은 부족하다.

이에 본 연구는 조선소 선행도장 공정의 효율적 일정 수립을 위한 다목적 자동 스케줄링 시스템을 제안한다. 그리디 알고리즘으로 초기 해를 생성하고, 이를 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)과 결합하여 탐색 다양성과 수렴 속도를 향상시켰다. GA는 납기, 리드타임, 부하 등 10 개 평가항목을 가중합 형태의 목적함수로 정량 평가하며, 공장별 물리적 제약을 반영해 단기간 내 실행 가능한 자동 스케줄링을 구현하였다.

II. 본 론

본 논문에서는 조선소 선행도장 공정의 자동 스케줄링을 위해 현실적인 제약조건을 반영한 다목적 최적화 기반 알고리즘을 설계하였다. 전체 구조는 입력

데이터 처리, 제약조건 검증, 평가함수 계산, 그리고 최적해 탐색으로 이루어진다. 입력 데이터는 실제 조선소의 블록 정보를 포함하며, 이를 바탕으로 블록별 착수 가능일과 작업 기간을 계산한다.

1. 목적함수 설계

스케줄의 품질을 정량적으로 평가하기 위해 총 10 개의 평가항목을 목적함수로 정의하였다. 각 항목은 도장공정의 생산 목표를 반영하며, 정규화 후 가중합 형태로 통합하여 종합 점수를 계산한다.

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^{10} a_i f_i$$

식 1. 최적화 기반 선행도장 스케줄링 목적함수

여기서 f_i 는 각 평가항목의 정규화된 값이며, a_i 는 해당 항목의 중요도를 나타내는 가중치이다. 주요 평가항목은 다음과 같다.

표 1. 다목적 최적화 문제의 목적함수 정의

구분	설명
f_1	완료일이 납기를 초과한 기간 최소화
f_2	전체 일정의 리드타임 최소화
f_3	공장별 제약(배량 선호/자재 조건) 최소화
f_4	특정 선박 블록이 공장 쏠림 방지
f_5	특정 블록 그룹 배량 비율 평준화
f_6	고난이도 블록의 비율 평준화

f_7	PE 그룹 내 블록 완료일 간격 최소화
f_8	공장별 면적 부하 산출 최소화
f_9	후공정에 따른 선호 도장 공장 배정
f_{10}	공장별 CAPA 대비 균형화

2. 제약조건 설정

선행도장 공정의 현실적 제약을 반영하기 위해 본 연구에서는 공장별 크기 제약, 공장 특성 제약, 그리고 장비 운용 제약을 포함한 복합 제약조건을 다음과 같이 정의하였다.

(1) 공장별 크기 제한

각 도장 공장은 고유한 폭(B), 길이(L), 높이(H) 기준을 가지며 이를 초과하면 배정할 수 없다.

(2) 공장별 특정 제약

공장마다 생산 특성, 장비 구성에 따라 배정 가능한 블록 유형이 다르다. 예를 들어, A 공장은 200t 초과 블록을, C 공장은 폭 26m 이상 블록을 수용할 수 없다. 또한 일부 호선·블록은 전용 공장에만 배정되는 특수 제약이 있다.

(3) 장비 운용 제약

작업장에는 트레슬, 셀링지그, 고소차 등 장비 수량과 공간 제약을 고려하여 실제 작업 가능한 범위 내에서 스케줄링을 수행한다.

3. 알고리즘 적용 및 파라미터 설정

정의된 목적함수와 제약조건을 기반으로 유전 알고리즘(GA)을 적용하였다. 초기 해는 그리드 방식으로 생성하고, 이후 세대별 교차와 돌연변이를 반복하여 목적함수 값을 개선하도록 설계하였다. GA의 핵심 파라미터는 탐색 성능과 계산 시간 간의 균형을 고려하여 설정하였다. 총 30 세대 동안 50 개의 개체를 유지하며, 각 세대에서 상위 개체 10 개는 보존, 30 개는 교차, 10 개는 돌연변이를 수행하였다. 돌연변이 확률은 0.1로 설정하여 탐색 다양성과 수렴 속도의 균형을 유지하였다. 이러한 설정은 전체 스케줄링 결과를 20 분 이내에 산출할 수 있도록 계산 효율을 최적화한 것이다.

4. 성능 평가 결과

실험은 2 주 스케줄링 기간, 총 188 개의 블록을 대상으로 수행하였다. 유전 알고리즘의 세대 수에 따른 성능변화를 분석하여 수렴 특성을 검증하였다. 각 세대별 최적 스케줄링 결과를 기준으로 부하 평준화 지표, 공장 CAPA 근접도, 평균 납기 초과일을 비교했다. 세대별 성능 비교 결과는 다음과 같다.

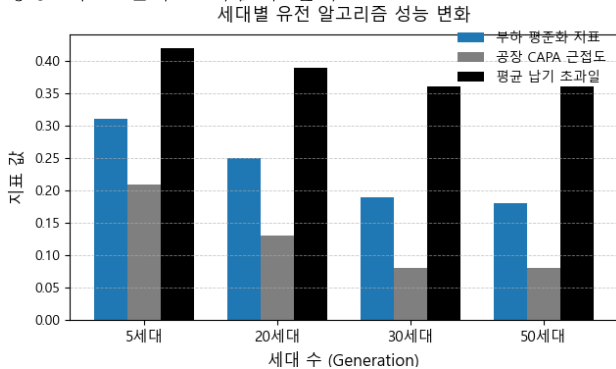


그림 1. 세대별 유전 알고리즘 성능 변화

세대가 증가함에 따라 평균 납기 초과일은 0.42 일에서 0.36 일로 약 14% 감소하였고, 부하 평준화 지표와 공장 CAPA 근접도는 각각 42%, 62% 개선되었다. 진화가 진행되면서 공장 간 작업량이 균등해져 부하 불균형이 완화되었으며, 30 세대 이후에는 모든 지표가 안정적으로 수렴하여 제안한 유전 알고리즘의 효율성과 안정성이 검증되었다.

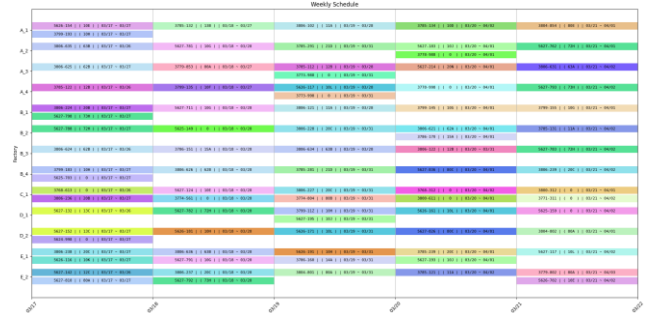


그림 2. 선행도장 스케줄링 예시

그림 3 은 유전 알고리즘을 적용한 스케줄링 결과를 시각화한 예시로 간트 차트(Gantt Chart) 형태로 공장별 블록 배치도와 부하 분포를 한눈에 확인할 수 있도록 구성하였다. 시각화 결과에서는 각 블록의 일정이 자동으로 배정되어 수작업 대비 일정 수립 시간이 크게 단축되는 효과를 확인하였다. 또한, 기존의 경험 기반 수기 계획보다 제약조건 충족률이 높고 일정 변경에도 유연하게 대응할 수 있어 현업에서의 자동 스케줄링 적용 가능성을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 조선소 스케줄링 공정의 효율적 일정 수립을 위해 다목적 최적화 기반 자동 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 납기, 공장 CAPA, 블록 특성 등 다양한 제약조건을 통합적으로 고려하고, 유전 알고리즘(GA)을 적용하여 수작업 대비 신속하고 일관된 계획을 수립할 수 있음을 확인하였다. 또한, 시각화를 통해 전체 작업 흐름과 블록 배정 결과를 직관적으로 파악할 수 있었으며, 이는 현업 환경에서 실시간 일정 관리와 계획 수정의 자동화를 실현할 수 있는 가능성을 보여준다. 향후에는 공장별 부하 균형과 CAPA 활용률을 정량적으로 개선하기 위한 고도화된 탐색기법 및 실행데이터 기반 성능 검증을 추가로 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원 - 학석사연계 ICT 핵심인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2024-00436744).

참 고 문 헌

- [1] B. Kwon and G. M. Lee, "Spatial Scheduling for Large Assembly Blocks in Shipbuilding," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 87, pp. 436-447, 2015.
- [2] E. Akan and G. Alkan, "Optimizing Shipyard Production Project Scheduling under Resource Constraints Using Genetic Algorithms and Fuzzy Sets," *Marine Science and Technology Bulletin*, vol. 12, no. 3, pp. 196-207, 2023.