

시물레이티드 어닐링을 활용한 조선 소조립 라인 소일정계획 최적화

황인혁¹ · 노재규^{2*} · 이광국³ · 신종계⁴

Short-term Scheduling Optimization for Subassembly Line in Ship Production Using Simulated Annealing

In Hyuck Hwang · Jackyou Noh · Kwang Kook Lee · Jongye Shin

ABSTRACT

Productivity improvement is considered as one of hot potato topics in international shipyards by the increasing amount of orders. In order to improve productivity of lines, shipbuilders have been researching and developing new work method, process automation, advanced planning and scheduling and so on. An optimization approach was accomplished on short-term scheduling of subassembly lines in this research. The problem of subassembly line scheduling turned out to be a non-deterministic polynomial time problem with regard to SKID pattern's sequence and worker assignment to each station. The problem was applied by simulated annealing algorithm, one of meta-heuristic methods. The algorithm was aimed to avoid local minimum value by changing results with probability function. The optimization result was compared with discrete-event simulation's to propose what pros and cons were. This paper will help planners work on scheduling and decision-making to complete their task by evaluation.

Key words : Simulated annealing, Subassembly line, Optimization, SKID, Short-term Scheduling

요약

전 세계 조선 산업에서 생산성의 향상이 크게 이슈화되면서, 생산 라인의 생산성 향상을 위해 새로운 방법론, 생산 자동화, 향상된 생산계획 및 일정계획 등의 연구가 진행되어 왔다. 본 연구는 조선 생산의 일정계획과 관련하여 소조립 라인의 소일정계획의 최적화를 통한 생산성 향상에 관한 것이다. 소조립 라인의 소일정계획 최적화를 위하여 공정 별 작업자 배치와 운용에 관한 시나리오와 스킵 패턴의 투입 순서를 미정 다항식 문제로 정식화하고 문제 해결하기 위해 메타휴리스틱 방법 중 하나이며 확률변수를 사용하는 시물레이티드 어닐링을 적용하여 지역 최소값에 빠지는 것을 막고 전역 최소값을 찾으려 하였다. 실제 조선소의 소조립 라인의 작업 시간 데이터와 스킵 투입 순서 데이터를 사용하여 최적화를 수행하고 최적화 결과의 효과를 검증하였다.

주요어 : 시물레이티드 어닐링, 소조립 라인, 최적화, 스킵, 소일정계획

1. 서론

현재 국내의 대형 조선소들은 경쟁에서 살아남기 위해 설계 분야에서는 기존의 일반적인 선박 대신 고부가가치 선박의 설계 방법을 개발하고, 생산 분야에서는 생산 기

술 및 생산 관리의 혁신 등의 다양한 대처 방안을 구상하고 있다. 특히, 생산 분야에서의 원가를 절감할 수 있는 생산성 향상의 필요성은 더욱 가중되고 있다.

Koenig 등(2003)은 조선소의 조선 능력을 비교하는 지표로써 생산성, 임금, 인도 시간을 제시하였다. 선박 생산은 설계에서 안벽 의장까지의 일련의 공정들이 상호 영향을 미치는 복잡한 건조 공정을 가지므로 특정한 공정 하나만의 변화로 전체 건조 생산성이 크게 달라진다고 할 수는 없다. 하지만 병목 공정이나 일정을 분석하는 공정계획과 특정 공정에서의 최적 일정계획 수립을 통해 고 품질의 선박을 효율적으로 생산함으로써 전체 건조 생산

2009년 10월 5일 접수, 2010년 1월 7일 채택

¹⁾ 서울대학교 조선해양공학과

²⁾ 군산대학교 조선공학과

³⁾ STX조선해양

⁴⁾ 서울대학교 해양시스템공학연구소

주 저 자 : 황인혁

교신저자 : 노재규

E-mail: snucurl@kunsan.ac.kr

성 향상을 도모하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

조선 생산에서의 일정계획 수립에 대한 대표적 연구로는 DAS(DAewoo Shipbuilding Scheduling) 프로젝트가 있다. 전문가 시스템을 기반으로 대일정부부터 상세 일정까지 전체 일정을 다루었고, 판넬 라인, 소조립 라인, 탑재 일정을 계획하고 이를 통합하는 시스템을 구축하였다¹³⁾. 그리고 선박 생산 공정과 유사한 Job shop과 Product-mix 형태의 공정에 대한 조선 산업 외의 제조업 분야에서의 최적 일정 계획 수립에 관한 다수의 연구 사례가 있다^{8,4,16)}. 하지만, 조선 생산 분야 중 소조립 라인의 세부적인 작업 단위별 활동을 고려한 최적화된 소일정계획 수립에 관한 연구는 수행된 바가 없다.

그리고, 조선 생산 분야에서의 이러한 공정계획과 최적 일정계획 수립 연구에 시물레이션을 활용한 연구 또한 다양하게 이루어지고 있다. 컴퓨터의 비약적인 발전과 3차원 CAD의 확산은 생산 공정 계획과 관련하여 시물레이션의 활용도를 넓히고 있다¹⁴⁾. 하지만, 선박 생산 공정의 복잡성이 가지는 특징으로 인해 전체 공정에 대한 시물레이션 보다는 병목 공정과 같은 일부 공정에 대해 공정 개선이나 초기 일정계획 수립을 위해 시물레이션이 활용되고 있다^{15,14,11,3,6)}.

이러한 대부분의 조선 생산 관련 시물레이션 연구들은 최적화가 아닌 몇 개의 가정된 시나리오를 바탕으로 시물레이션 된 결과에 상대적 순위를 매김으로써 계획을 수립하는 방법을 사용하였다. 이는 시물레이션의 직관성이 공정 계획 수립이나 개선 시에는 모델을 직관적으로 바라볼 수 있어 몇 개의 가정된 시나리오를 통해서도 문제점을 쉽게 찾아낼 수 있지만, 일정계획 수립 시에는 소수의 시물레이션만 으로는 상대적으로 더 나은 일정을 제시할 수는 있지만, 가정된 시나리오의 수가 너무 부족하기 때문에 최적의 일정계획을 수립하지는 못하는 문제가 있다⁸⁾.

이러한 시물레이션의 한계를 최적화 알고리즘으로 보완할 수 있는데, 유전알고리즘, 타부서치, 시물레이티드 어닐링은 최적 일정계획 수립 시에 빈번히 사용 되는 메타 휴리스틱 알고리즘이다¹⁵⁾.

본 연구는 작업자 배치와 운용 및 스킴(SKID) 투입 순서라는 주요 인자를 가지는 조선 생산 소조립 라인의 최적 소일정계획의 수립에 관한 것이다. 이를 위하여 소조립 라인의 작업을 분석하고 작업의 종류와 작업 시간을 모델링한 시물레이터를 만들어 시물레이션에 사용하였다.

작업자 배치와 운용에 관하여는 작업자의 배치와 운용의 유연성에 관한 3가지 수준의 시나리오를 선정하고 이를 바탕으로 시물레이션하여 결과를 비교하는 종래의 연

구 방법을 적용하였고, 스킴 투입 순서의 최적화에 관해서는 최적 순서 결정에 좋은 효율을 가진 것으로 알려진 시물레이티드 어닐링을 사용하여 하나의 작업자 배치와 운용에 관한 시나리오에 대해서 스킴 간의 대기 시간이 최소가 되는 스킴 투입 순서를 찾을 수 있도록 하였다.

또한, 주어진 시나리오에 따른 시물레이션 결과를 분석하여 본 연구가 소조립 라인의 소일정계획 수립 담당자에게 계획의 평가 및 의사결정에 도움을 줄 수 있음을 확인하였다.

2. 관련 연구 동향

조선 생산에서의 일정계획 수립에 대한 대표적 연구인 DAS프로젝트는 조선소의 전체 일정계획을 위한 시스템을 개발한 것으로 평블록 조립라인에서 신경망이론을 도입하여 과거 경험 데이터를 바탕으로 현재 소조립라인의 일정을 추정하는 방법을 사용하였다¹³⁾.

조선생산 분야에서 시물레이션을 활용한 연구로는 공정계획과 관련하여 소조립 라인의 생산 공정을 IDEF0 ((Integrated DEFinition)와 UML(Unified Modeling Language)을 사용하여 분석하고 M&S(Modeling & Simulation)를 활용하여 공정 개선 안을 제안한 연구¹⁵⁾와 판넬 라인의 레이아웃 설계에 시물레이션을 활용한 연구¹⁴⁾가 있고, 일정계획과 관련하여 판넬 라인의 일정계획 수립에 시물레이션을 활용한 경우³⁾와 평블록 조립공장에 대해 작업 시나리오를 정하고 작업자와 자원의 할당을 바탕으로 한 일정계획 시물레이션에 대한 연구⁶⁾가 있다.

일정계획에서 과거의 경험 데이터를 활용한 방법이나, 시물레이션을 활용한 방법은 현재의 일정계획보다 개선하는 효과를 가져온다. 하지만, 그 결과물이 최적의 결과라고 단언할 순 없다. 따라서 본 논문에서는 소조립라인의 소일정계획과 관련하여 메타휴리스틱 알고리즘인 SA를 이용하여 최적을 구하고자 한다.

3. 조선 소조립 라인 분석 및 소일정계획 문제 정의

조선 생산 공정에 있어 소조립 라인은 주로 컨베이어 형태의 라인으로 이루어져 이송 정반에 의해 물류가 이동하며 판재, 배재, 취부, 용접, 마무리의 작업 순서로 공정이 진행되며, 주로 선체 하부 블록, 외판 블록, 격벽 등과 같은 거더나 플로어를 생산한다. 컨베이어는 롤러/체인 컨베이어와 스킴 컨베이어로 분류되며 본 연구에서는

스키드 컨베이어를 대상으로 하였다. 그림 1은 하나의 스키드 패턴을 나타내고, 그림 2는 소조립 라인의 스키드 컨베이어의 형태를 나타낸다.

본 연구에서는 소조립 라인의 소일정계획 최적화에 관하여 스키드 투입 순서와 작업자의 배치와 운용이라는 두 가지 관점에서 문제를 정식화하였다. 먼저, 스키드 투입 순서의 결정이라는 관점에서는 하나의 스키드 컨베이어에 대해서 스키드 간의 대기 시간이 최소가 되도록 최적화 알고리즘을 적용하여 최적 일정을 결정하는 것이며, 작업자 배치와 운용의 관점에서는 3가지 시나리오를 선정하여 전체 작업자의 수는 일정하게 유지하되 병목 공정에 대해 작업자의 수를 증가시켜 운영의 유연성을 높일 경우의 그 효과를 확인하는 것이다.

먼저 스키드의 투입 순서와 스키드 간의 대기 시간을 포함하는 전체 작업 시간과의 관계를 예로 들어 문제를 정식화 하면 다음과 같다.

표 1과 같이 공정 별 작업 시간이 정해진 A와 B라는 공정을 통해 제작되는 100번에서 103번까지 네 개의 스

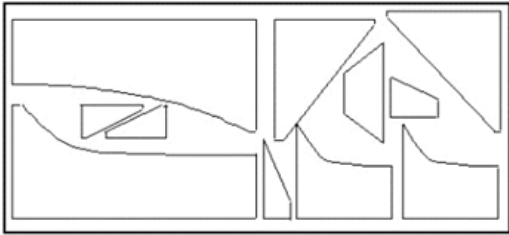


그림 1. 스키드 패턴

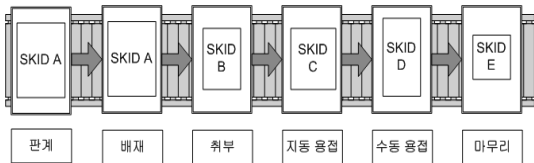


그림 2. 스키드 컨베이어

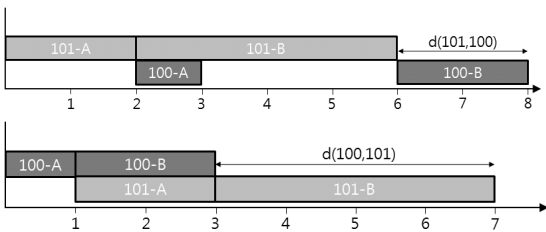


그림 3. 스키드 투입 순서와 전체 작업 시간

키드를 대상으로 할 경우에, 각 각의 스키드는 스키드별 작업 시간이 정해져 있지만, 컨베이어 형태로 스키드가 투입된다면 스키드의 공정 별 작업 시간의 차이로 인해 다음 순서인 스키드의 대기 시간이 달라진다. 그림 3을 보면 100번과 101번 스키드의 투입 순서의 변화에 따라 전체 작업시간이 1시간 달라지는 것을 알 수 있다. 이는 101번 스키드에 대한 B 공정의 작업 시간이 100번 스키드에 대한 A 공정의 작업 시간에 비해 너무 길어 100번 스키드의 대기 시간이 증가하기 때문이다. 즉, 스키드 투입 순서가 전체 소조립 라인의 작업 시간에 영향을 미치고, 전체 작업 시간을 최소로 만드는 스키드 투입 순서가 존재한다는 것을 할 수 있다.

네 개의 스키드 전체에 대해 선후 관계에 따라 추가 시간을 계산하여 표 2에 나타냈다. 표 2에서 행은 이전 스키드를 나타내고, 열은 다음 순서의 스키드를 나타낸다. (100,101)을 예로 들면, 100번 스키드의 작업이 끝난 후 4라는 시간이 흐르면 101번 스키드의 작업이 마무리 된다. 따라서 표의 값이 작은 선후 관계의 스키드 순서에 따라 전체 스키드 순서를 배치하면 4가지 스키드 전체의 작업 시간을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

그림 4는 표 2를 바탕으로 스키드들 간의 선후 관계와 작업 시간을 나타내는데, Start에서 시작하여 모든 스키드를 통과하면 라인 작업이 완료된 것이다. 화살표 위에는 스키드 선후 관계에 의한 추가 작업 시간을 표시하였다. 모든 스키드를 통과하는 화살표 위의 숫자를 더하면, 전체 작업 시간을 구할 수 있다. 그 작업 시간들 중 최소의

표 1. 스키드의 공정 별 작업시간

SKID	공정	
	A	B
100	1	2
101	2	4
102	3	1
103	4	3

표 2. 스키드 선후 관계에 의한 추가 작업시간

	Start	100	101	102	103
Start		3	6	4	7
100			4	2	5
101		2		1	3
102		2	5		6
103		2	4	1	

값이 최적화된 스킵드 순서에 의한 결과라고 할 수 있다.

그림 4에서 스킵드 번호를 각 지역을 번지로 생각하고 추가시간을 지역 간의 거리로 생각하면 스킵드 투입 순서는 마치 세일즈맨이 모든 지역을 가장 짧은 거리로 방문하는 미정 다항식 문제(NP Hard)로 정의 할 수 있다. 따라서, 총 n개의 스킵드가 있을 때 스킵드 투입 순서에 대한 경우의 수는 n!개의 조합으로 표현할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 미정 다항식 문제의 성질을 가지는 스킵드 투입 순서 문제의 전역 최적해를 구하는데 좋은 성능을 가지고 있는 것으로 알려져 있는 시뮬레이터드 어닐링을 최적해 솔루션으로 적용하였다.

작업자 배치 문제는 스킵드 투입 순서와 달리 전체 공정에 투입되는 작업자의 수는 일정할 경우에 한 공정의 작업자 수의 변화가 전체 스킵드의 작업시간에 모두 영향을 주게 된다. 따라서 병목 공정에 많은 수의 작업자를 배치하는 것만으로 정성적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 하지만 이 문제가 스킵드의 투입 순서와 결합되면 각각의 변화가 서로에게 영향을 주어 복잡한 형태의 문제로 변하게 된다.

본 연구에서는 전체 작업자의 수는 일정하게 유지하되 병목 공정에 대한 작업자 수의 증가와 같은 유연성 있는 배치를 3가지 시나리오로 선정하여 각각의 시나리오 상에서 최적의 스킵드 투입 순서에 따른 전체 소조립 라인의 작업 시간을 계산하도록 문제를 정의하였다.

4. 시뮬레이션 모델

시뮬레이션의 경우 실제 현상을 간단하면서도 정확히 반영하는 모델을 만드는 것이 매우 중요하다. 특히, 이러

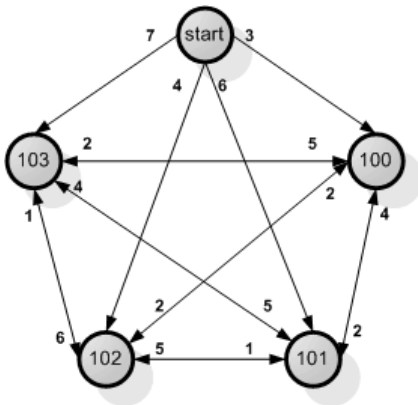


그림 4. 스킵드 순서와 작업 시간

한 시뮬레이션 모델이 현상을 가장 효율적으로 반영하기 위해서는 최적화 과정에서 선택을 위한 비교 대상이 되기도 하는 목적함수를 결정하기 위한 소조립 라인의 작업 및 운영에 관한 시나리오의 작성이 필요하다.

소조립 라인의 생산성에 영향을 주는 주요 요소로는 앞에서 언급한 스킵드 투입 순서와 초기 작업자 배치 및 운영이 있다. 이 두 가지 요소는 목적 함수를 구성하는 입력 요소이고, 목적 함수의 값은 공정이 진행되는 동안의 작업자 배치 및 운영에 따른 각 공정 별 작업 시간의 전체 누적에 의해 결정된다.

그림 5에 나타난 것과 같이 시뮬레이션을 위한 모델은 스킵드 투입 순서에 따른 잔여 작업 시간의 계산 후에 작업자의 운용 시나리오에 따른 배치로 인한 작업 시간의 계산 값이 다시 누적되는 형태로 구성되어 있다. 이 모델에서 각 공정별 작업시간은 국내 조선소의 실제 공정 분석 결과를 활용하였으며, 작업자의 운영 방법은 다음과 같은 조건에 따라 결정하였다.

- 1) 소조립 라인은 컨베이어 시스템 방식을 따른다.(선행 공정 마무리 후 다음 공정 진행)
- 2) 공정 사이에 버퍼는 존재하지 않으며 한 공정에서 하나의 스킵드만 작업한다.
- 3) 각 공정의 작업 시간은 그 공정에 투입된 작업자의 수에 반비례한다.
- 4) 일부 공정의 경우(배재/취부/수동용접/마무리)자신의 작업을 마무리한 작업자는 다른 공정의 작업을 지원할 수 있다.
- 5) 모든 작업자의 숙련도는 동일하다.
- 6) 모든 작업자는 어떠한 공정에도 투입 가능하다.

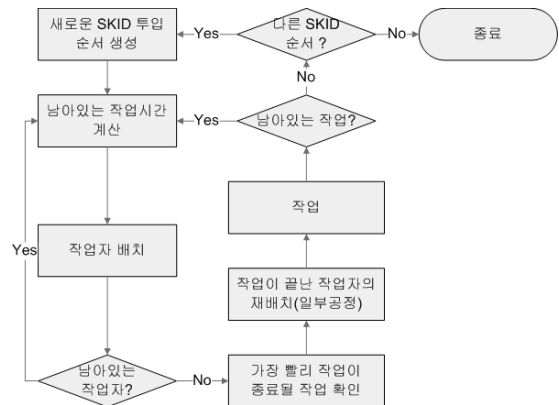


그림 5. 시뮬레이션 모델을 위한 시나리오

5. 시물레이티드 어닐링

물리적 풀림 과정(담금질)을 응용한 이웃해 탐색 방법의 일종인 시물레이티드 어닐링은 목적함수와 제한조건의 연속성이나 미분가능성에 영향을 받지 않고, 초기 조건에 관계없이 전역 최소값으로 수렴하는 성질을 가지고 있으므로 미정 다항식 문제의 해법으로 적합하다(Kirkpatrick 등, 1983, 박정선 등, 2005; Aarts 등, 1987).

시물레이티드 어닐링은 이웃해 결정 알고리즘이 한 단계 발전한 형태로 무수히 많은 해집합 중 최적해로 빠르게 수렴하기 위해 해를 선택하는 이웃해 선정 규칙이 중요하다. 이웃해 선정 규칙으로는 Single Change, Multiple Change, Pairwise Interchange, Adjacent Interchange가 있다. 본 연구에서는 이러한 이웃해 선정 규칙의 4가지 조합에 대해서 실험을 통하여 가장 적합한 이웃해 선정 규칙을 결정하였다.

시물레이티드 어닐링에서는 전역 최소값을 찾기 위해 전이확률에 따라 네트워크의 상태가 변하게 된다. 현재 순서의 목적함수 값을 F_C 라 하고, 임의로 선택된 이웃해의 목적 함수 값을 F_n 이라 할 때, $F_n < F_C$ 이면 선택된 이웃해로 이동하고, 그렇지 않은 경우는 식 (1)과 같은 확률로 선택된 이웃해로 이동한다. 여기서 T는 시물레이티드 어닐링의 네트워크 온도로 본 연구에서는 식 (2)를 이용하였다. 초기 온도를 T(0), 종료 온도를 T(N-1), 시물레이티드 어닐링 시간을 N(이웃해의 선택 횟수)이라고 하면 C와 Δ 는 식 (3),식 (4)와 같다

$$p = e^{(F_C - F_n)/T} \tag{1}$$

$$T(n) = C / \log(2 + \Delta \cdot n) \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \tag{2}$$

$$C = \log 2 \tag{3}$$

$$\Delta = \frac{e^{\frac{\log 2 \times T(0)}{T(N-1)}} - 2}{N-1} \tag{4}$$

6. 소조립 라인 소계획 최적화

작업자의 배치와 운영에 대하여 소조립 라인의 일련의 공정인 판계(SAW), 배재(ARR), 취부(FIT), 자동용접(WELD(A)), 수동용접(WELD(M)), 마무리(FINISH) 순서의 공정에 작업자를 배치하는 것을 3가지 형태로 가정하였다. 각 공정 간의 작업자 이동이 없는 경우와 병목공정 중의 하나로 인식되는 배재와 취부, 수동용접과 마무리 간의 작업자 교환이 가능한 경우를 가정하여 3가지 경우를 정하였다. 정해진 작업자의 배치와 운영의 각 경우에 시물레이티드 어닐링을 사용한 스킵드 투입 순서의 변경에 따른 전체 작업 시간의 최소화가 소일정계획의 최적화 문제가 된다.

본 연구에서 사용한 스킵드와 공정별 작업 시간 데이터는 표 3과 같이 국내 조선소의 실제 작업 데이터를 사용하였다.

이를 위해 먼저 본 연구에서 사용한 시물레이티드 어닐링의 이웃해 탐색 방법과 알고리즘에 대해 설명한 다음 시물레이션 실험의 수행과 결과의 고찰에 대해 설명한다.

표 3. 스킵드 데이터

bay	호선	block	skid	총부재	베이스	취부부재	공작도
345	1395	B12D	505	139	20	119	120.4
345	1383	B13D	9516	24	12	12	15.6
345	1383	B13D	7517	2	2	0	105.2
345	1383	B13D	7518	8	8	0	31.9
345	1383	B13D	8517	10	10	0	137.1
345	1383	B13D	520	83	5	78	185.6
345	1383	B13D	519	63	5	58	167.8
345	1383	B13D	518	51	5	46	107
345	1383	B14D	9528	102	51	51	34.2
345	1383	B14D	8529	8	8	0	170.8
345	1383	B14D	533	40	5	35	139
345	1383	B14D	7530	8	8	0	170.8

6.1 이웃해 탐색 방법

전체 스키드를 여러 개의 그룹으로 나눈 뒤 각각의 스키드들 간의 순서를 변화시키기 위한 규칙을 정의하였다. 스키드 순서의 변화는 그룹 내에서만 가능하며 그룹 간의 작업 순서를 바꾸는 경우나 그룹의 순서를 바꾸는 것은 허용되지 않는다. 그룹 내에서의 스키드 순서 변화는 두 가지 조건에 의해 이루어진다. 한 가지 조건은 그룹 내에서 변화시킬 스키드를 선택하는 규칙으로 Pairwise mode와 Adjacent mode이다. Pairwise mode는 임의의 두 개의 스키드를 뽑아 순서를 바꾸는 것이고, Adjacent mode는 서로 인접한 두 개의 스키드의 순서를 바꾸는 것이다.

Adjacent mode에서 첫 번째 스키드와 마지막 스키드는 서로 인접한 것으로 간주한다. 나머지 조건은 스키드를 변화시킬 그룹을 선택하는 규칙으로 Single mode와 Multiple mode가 있다. Single mode는 순서를 바꿀 그룹을 임의로 하나 선택하는 것이고, Multiple mode는 모든 그룹을 선택하는 것이다. 각각의 조건에 대한 자세한 내용은 표 4와 같다.

6.2 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘

1) 임의로 생성된 스키드의 초기 순서를 바탕으로 초기 목적함수 값을 구하고 최적해와 반복 횟수를 초기화.

- 초기 스키드 순서 $W_{Current}$
- 초기 목적함수 값 $F_{Current}$
- 최적해와 반복 횟수 초기화

$$W_{Best} = W_{Current}, F_{Best} = F_{Current}, n = 0$$

2) 이웃해 결정 방법에 따라 스키드 순서를 바꾸고 목적함수 값을 구함

- 결정된 스키드 순서 $W_{Current}$
- 현재의 스키드순서를 최적해 후보로

$$W_{Candidate} = W_{Current}$$

- 목적함수 값 계산 $F_{Candidate}$

3) 전이확률에 따라 현재 해의 교환 여부 결정

- $inc = F_{Current} - F_{Candidate}$
- 0과 1사이의 임의의 실수 u 에 대하여
- $T(n) = C/\log(2 + \Delta \cdot n) \quad n = n + 1$
- $u < \exp(-inc/T)$ 이면 5) 항목으로 이동, 아니면 4) 항목으로 이동

4) 현재의 스키드 순서를 최적해와 비교

- $F_{Current} = F_{Candidate}$
- $F_{Current} < F_{Best}$ 면
- $W_{Best} = W_{Current}, F_{Best} = F_{Current}$

5) 반복 종료 시점을 결정

- $n < N$ 이면 2)로 이동, 아니면 종료

6.3 실험 및 결과

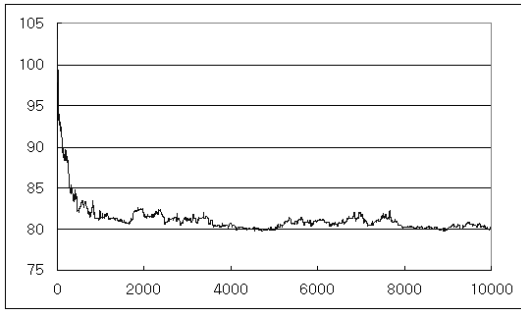
6.3.1 파라미터 설정

시뮬레이티드 어닐링의 수렴도는 설정된 최적화 파라미터에 따라 달라진다. 가장 빠르게 최소값으로 수렴하는 파라미터 값을 찾기 위해 각각의 파라미터 별로 값을 변화시켰다. 아래의 그래프 들은 초기온도, 종료온도, 스키드 변화 모드의 변화에 따른 수렴 속도의 변화 결과를 보여준다.

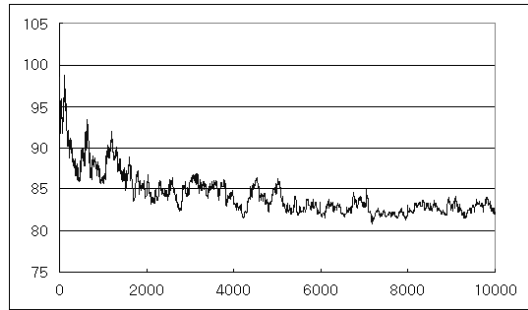
그림 6(a)(b)에서 볼 수 있듯이 초기 온도는 1일 때 보다 10일 때 더 빠르게 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 종료 온도는 0.1일 때, 스키드 상호교환 모드는 Pairwise mode 일 때 더 좋은 결과가 나오는 것을 확인할 수 있다 (그림 7, 그림 8). 본 연구에서는 초기온도 10, 종료온도 0.1, Pairwise mode로 파라미터를 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 4. 스키드 데이터

	Pairwise Interchange	Adjacent Interchange
Single change	순서를 바꿀 그룹을 임의로 하나 선택한 후 해당 그룹에 속한 서로 다른 두 개의 스키드를 뽑아 순서를 바꾼다.	순서를 바꿀 그룹을 임의로 하나 선택한 후 해당 그룹에 속한 인접한 두 개의 스키드를 뽑아 순서를 바꾼다.
Multiple change	모든 그룹에 대해서 중복을 허용하여 2개의 스키드를 선택하여 순서를 바꾼다. 모든 그룹에서 순서가 바뀌지 않은 경우는 single mode로 순서를 바꾼다.	모든 그룹에 대해서 인접한 2개의 스키드를 선택하여 순서를 바꾼다. 스키드의 수가 N개인 경우 0부터 N까지의 난수를 발생시켜 그 값이 N인 경우는 순서를 바꾸지 않고, 그렇지 않은 경우는 난수값과 난수값에 1을 더한 값으로 순서를 바꾼다.(난수값이 0인 경우는 첫 번째와 마지막 스키드의 순서를 바꾼다.)



(a) 초기온도가 10인 경우의 수렴 그래프



(b) 초기온도가 1인 경우의 수렴 그래프

그림 6.

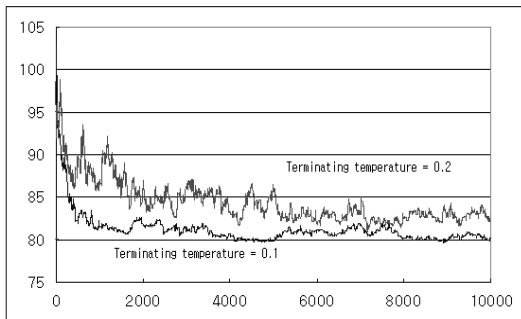


그림 7. 종료온도에 의한 수렴 그래프

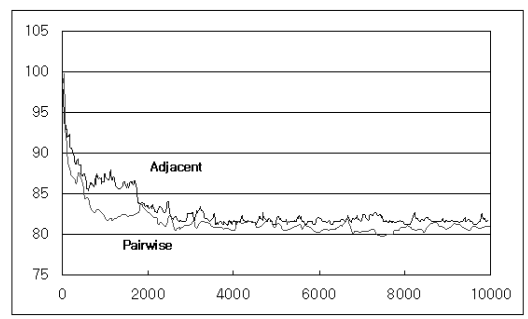


그림 8. 스키드 상호교환 모드에 따른 수렴 그래프

6.3.2 실험 결과 고찰

스키드 투입순서의 최적화와 함께 작업자 배치 및 운영의 차이에 의한 효과를 확인하기 위해 총 3가지 경우에 대하여 시물레이션을 수행하였다.

파라미터는 3가지 경우 모두 동일한 파라미터 값을 사용하였고 Single change와 Multiple change의 경우 큰 차이를 보이지 않아 Multiple change의 결과를 선택하였다.

첫 번째 경우는 판계(SAW) : 2명, 배재(ARR) : 1명, 취부(FIT) : 3명, 자동용접(WELD(A)) : 2명, 수동용접(WELD(M)) : 4명, 마무리(FINISH) : 2명의 작업자를 배치하였다. 그 결과는 표 8, 그림 9와 같다. 표 8은 목적함수 값인 전체 작업 시간을 구하기 위해 개발한 이산 사건 시물레이션을 수행 할 수 있는 Simulator에 현재 운영 중인 스키드 투입 순서를 적용한 결과와 시물레이티드 어닐링(SA)을 활용하여 최적화된 스키드 투입 순서에 대한 Simulation의 결과이다. 최적 스키드순서에 의한 전체 작업 시간은 90.4 시간이고, 생산성은 13.1% 향상되었다.

두 번째 경우는 첫 번째 경우에서 배재와 취부의 작업자간의 이동을 가능하게 설정하였다. 따라서, 판계(SAW) : 2명, 배재(ARR)와 취부(FIT) : 4명, 자동용접(WELD(A)) :

2명, 수동용접(WELD(M)) : 4명, 마무리(FINISH) : 2명의 작업자를 배치하였다. 그 결과는 표 9, 그림 10과 같다. 최적 스키드 투입 순서에 의한 전체 작업 시간은 89.6 시간이고, 생산성은 14% 향상되었다.

세 번째 경우는 두 번째 경우에서 추가로 수동용접과 마무리의 작업자간의 이동을 가능하게 설정하였다. 따라서, 판계(SAW) : 2명, 배재(ARR)와 취부(FIT) : 4명, 자동용접(WELD(A)) : 2명, 수동용접(WELD(M))과 마무리(FINISH) : 6명의 작업자를 배치하였다. 그 결과는 표 10, 그림 11과 같다. 최적 스키드 투입 순서에 의한 전체 작업 시간은 89.6 시간이고, 생산성은 14% 향상되었다.

세 가지 경우에 대한 결과를 고찰해 보면 다음과 같다. 먼저 각 각의 경우 별로 SA의 결과가 Simulator의 결과를 비교해 보면, SA의 스키드 투입 순서 최적화에 의한 전체 작업 시간이 Simulator를 사용하여 현재 운용되고 있는 스키드 투입 순서에 의한 전체 작업 시간보다 적은 값을 가져 생산성이 더 높음을 확인할 수 있다. 즉, 스키드 투입 순서의 최적화에 의해 생산성이 향상되었음을 알 수 있다.

각 각의 경우 시물레이션 결과를 상대적으로 비교해

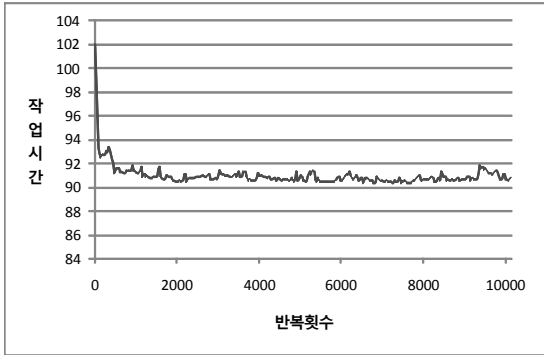


그림 9. Case 1의 시뮬레이티드 어닐링 적용 결과

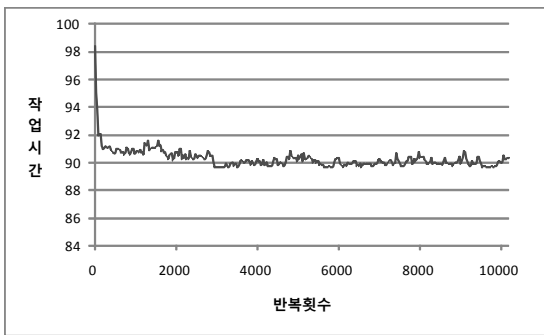


그림 10. Case 2의 시뮬레이티드 어닐링 적용 결과

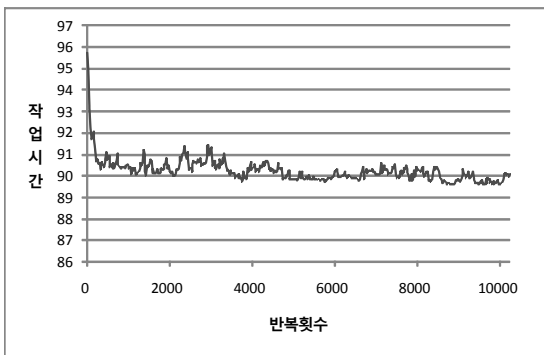


그림 11. Case 3의 시뮬레이티드 어닐링 적용 결과

보면, 작업자 배치 및 운영의 유연성이 증가함에 따라 Simulator에 의한 전체 작업 시간이 적어지고 있어 생산성이 높아지고 있음을 알 수 있다. 이로부터 작업자 배치 및 운영의 유연성 증가가 산성 향상에 도움을 준다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 스킵 투입 순서의 최적화에 의한 결과에 비해 생산성 향상 폭은 작았다.

작업자의 배치가 스킵 투입 순서의 최적화 보다 생

표 10. Case 1의 전체 작업 시간

Case 1	SAW:2 ,ARR:1 ,FIT:3, WELD(A):2 ,WELD(M):4, FINISH:2	
	Time	Productivity
Simulator	102.2	0
SA	90.3983	13.1%

표 11. Case 2의 전체 작업 시간

Case 2	SAW:2, ARR+FIT:4, WELD(A):2, WELD(M):4, FINISH:2	
	Time	Productivity
Simulator	99.4	2.8%
SA	89.645	14%

표 12. Case 3의 전체 작업 시간

Case 3	SAW:2, ARR+FIT:4, WELD(A):2, WELD(M)+FINISH:6	
	Time	Productivity
Simulator	94.0	8.1%
SA	89.6142	14%

산성 향상에 큰 영향을 미치지 못한 이유는 이미 작업자의 배치는 경험을 통해 어느 정도 안정된 배치가 이루어지고 있기 때문으로 사료된다. 그리고 작업자의 유연한 활용으로 인한 작업자 한 두 명의 도움 효과보다 스킵 투입 순서의 선후관계 변화로 인한 스킵 간의 대기 시간의 절대치 감소가 전체 작업 시간을 더 크게 줄여주는 효과가 있음을 알 수 있었다.

7. 결 론

본 연구는 조선 생산 공정 중 소조립 라인의 소일정계획 수립의 최적화 방안에 대해서 수행하였다. 이를 위해서 먼저 조선 생산 공정 중 소조립 라인이 가지는 특징을 분석하고 이를 바탕으로 소일정계획의 최적화를 위한 문제를 정의하였다. 소조립 라인의 소일정계획 최적화 문제는 작업자 배치 및 운영에 대한 경우 별로 최적의 스킵 투입 순서를 결정해야하는 미정 다항식 문제로 정의할 수 있음을 밝히고, 이를 해결하기 위해 메타 휴리스틱 방법 중의 하나인 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 사용하였다.

작업자 배치 및 운영에 관해서 병목 공정에 대한 작업자 배치 및 운영의 유연성 부여를 고려한 세 가지의 시나

리오를 구성하고, 스킵드 투입 순서의 최적화가 스킵드 간의 대기 시간을 줄여 전체 소조립 라인의 생산성을 향상 시키는 것을 확인하였다.

소일정계획의 최적화를 위한 계산 시간이 매우 짧아 소조립 라인의 현장 상황 변화에 빠르게 대처할 수 있을 뿐 아니라 소일정계획 수립 시 담당자에게 정량적인 결과를 제공해 줌으로써 소일정계획 평가 및 의사결정에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

다만, 본 연구에서는 스킵드 투입 순서에 대해서만 최적화 알고리즘을 적용하고 작업자 배치 및 운영의 문제에서는 특정한 경우를 가정하여 일부 공정 간의 유연성 있는 작업자 배치가 생산성 향상에 도움을 줄 수 있다는 상대적인 결과만 확인하였으나, 향후 스킵드 투입 순서와 동시에 초기 작업자 배치 및 운영에 관해서도 최적화 알고리즘을 적용한 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 도약연구사업의 일환으로 수행된 연구입니다(No. 2008-0054839)

참고 문헌

1. 김현철, “유전 알고리즘을 이용한 두 가지 목적을 가지는 스케줄링의 최적화,” 한국인터넷정보학회, 6(6), pp. 99-106, 2005년.
2. 박정선, 임종빈, 지상현, “시물레이티드 어닐링에 의한 인공위성 구조체 최적화,” 대한기계학회논문집, 29(2), pp. 262-269, 2005년.
3. 이광국, 최동환, 한상동, 박주용, 신중계, “디지털 생산 시물레이션 기반의 판넬라인 일정계획지원 시스템 구축,” 대한조선학회논문집, 43(2), pp. 228-235, 2006년.
4. 정동중, 이두용, 임성진, “교착 회피를 고려한 Jop-shop 일정의 최적화,” 대한기계학회논문집, A권 24(8), pp. 2131-2142, 2000년.
5. 홍대선, 조형석, “자동조립에서 시물레이티드 어닐링을 이용한 조립순서 최적화,” 대한기계학회논문집, 20(1), pp. 213-221, 1996년.
6. 이상협, 하승진, 민상규, 최태훈, 김형식, “조선 평블록 조

- 립공장 일정계획 시물레이션 시스템,” 대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회, pp. 158-162, 2002년.
7. Aarts, E.H.L., van Laarhoven, and P.J.M., “Simulated annealing: Theory and Applications,” Kluwer Academic Publishers, 1987.
8. A. El_bouri, N. Azizi, and S. Zolfjghari, “A comparative study of a new heuristic based on adaptive memory programming and simulated annealing: The case of job shop scheduling,” European Journal of Operational Research, vol.177, no. 3, pp. 1894-1910, 2007.
9. Wallace J. Hopp and Mark L. Spearman, “Factory Physics : Fountations of Manufacturing Management,” McFraw-Hill, 2000.
10. Kirkpatrick S., Gelatt, C.D.Jr., and Vecchi, M.P., “Optimization by Simulated Annealing,” Science, vol. 220, no. 4598, pp. 671-680, 1983.
11. Matthias Krause, Frank Roland, Dirk Steinhaue, and Macimilian Heinemann, “Discrete Event Simulation: An Efficient Tool to Assist Shipyard Investment and Production Planning,” Journal of Ship Production, vol. 20, no. 3, pp. 176-182, 2004.
12. Philip C.Koenig, Hitoshi Narita, and Koichi Baba, “Shipbuilding Productivity Rates of Change in East Asia,” Journal of Ship Production, vol. 19, no.1, pp. 32-37, 2003.
13. Jae Kyu Lee, Kyoung Jun Lee, Hung Kook Park, June Seok Hong, and Jung Seung Lee, “Developing scheduling systems for Daewoo Shipbuilding: DAS project,” European Journal of Operational Research, vol. 97, pp. 380-395, 1997.
14. Yasuhisa Okumoto, Kentaro Hiyoku, and Noritaka Uesugi, “Simulatin-Based Ship Production Using Three-Dimensional CAD,” Journal of Ship Production, vol. 22, no. 3. pp. 155-159, 2006.
15. Jong Gya Shin, Kwand Kook Lee, Jong Hun Woo, Won Don Kim, Jang Hyun Lee, Se Hwan Kim, Ju Yong Park, and Hyunjune Yim, “A Modeling and Simulation of Production Process in Subassembly Lines at a Shipyard,” Journal of Ship Production, vol. 20, no. 2, pp. 79-83, 2004.
16. Taicir Loukil, Jacques Teghem, and Philippe Fortemps, “A multi-objective production scheduling case study solved by simulated annealing,” European Journal of Operational Research, vol. 179, no. 3, pp. 709-722, 2007.



황 인 혁 (dlsgr0@snu.ac.kr)

2006 서울대학교 조선해양공학과 학사
2006~현재 서울대학교 조선해양공학과 석박사 통합과정

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, PLM, 공정자동화, PDQ



노 재 규 (snucurl@snu.ac.kr)

1996 서울대학교 조선해양공학과 학사
1998 서울대학교 조선해양공학과 석사
2009 서울대학교 조선해양공학과 공학박사
2000 한진중공업 기술연구소 주임연구원
2003 이지그래프 기술연구소 책임연구원
2007 서울대학교 해양시스템공학연구소 선임연구원
2010~현 군산대학교 조선공학과

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 곡가공, 시스템 설계, 생산관리, 최적화



이 광 국 (systra@onestx.com)

2001 부산대학교 공과대학 조선해양공학과 학사
2003 서울대학교 조선해양공학과 석사
2008 서울대학교 조선해양공학과 공학박사
2008~현재 STX조선해양 생산기획팀 과장

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 생산관리, 일정계획, PLM



신 중 계 (jgshin@snu.ac.kr)

1977 서울대학교 조선해양공학과 학사
1979 서울대학교 조선해양공학과 석사
1988 M.I.T Ocean Engineering 공학박사
1993~현재 서울대학교 조선해양공학과 교수

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 곡가공 자동화, 최적화