조선 곡블록 공장의 운영프로세스 개선 사례 연구

Case study on improving the business process of the curved block assembly shop in shipbuilding

민상규*, 이상협*, 김지온*, 최태훈*, 하승진*, 백태현*, 한영삼**, 박재우**, 김용수**

* 현대중공업 산업기술연구소 자동화연구실
** 현대중공업 조선사업본부 대조립부

Abstract

조선사는 선주와의 계약에 의한 수주 생산방식으로 계약시 명시된 작업시작일, 도크작업시작일, 진수일, 인도일을 지키기 위한 공정별 목표 생산완료일을 결정하게 되고, 각 공장별로 목표 생산완료일을 지키기 위한 일정계획을 수립하게 된다.

생산되는 선박은 선종, 선형에 따라 구성되는 블록의 수가 다르고 그 형태도 매우 다양하다. 그러므로 선박을 건조하기위해 제작되는 블록의 정확한 작업공기와 공수를 예측하기가 매우 어렵다.

본 논문에서는 불확실한 작업공기와 공수를 이용하여 작업장의 공간제약을 고려한 일정계획을 수립하는 문제에 대하여 기존의 공간제약 문제에 대한 연구에서 나아가 실행 단계에서의 운영프로세스를 개선하여 적용하는 연구를 수행하였다.

이번 연구의 결과로 목표 생산계획과 부서계획, 실행 실적을 과거 데이터와 비교분석 하여 개선된 운영프로세스의 효과를 검증하였다.

1. 서론

조선사는 선주와의 계약에 의한 수주 생산방식으로 계약시 명시된 작업시작일, 도크작업시작일, 진수일, 인도일을 지키기 위한 공정별 목표 생산완료일을 결정하게 되고, 각 공장별로 목표 생산완료일을 지키기 위한 일정계획을 수립하게 된다.

생산되는 선박은 선종, 선형에 따라 구성되는 블록의 수가 다르고 그 형태도 매우 다양하다. 그러므로 선박을 건조하기위해 제작되는 블록의 정확한 작업공기와 공수를 예측하기가 매우 어렵다.

본 논문에서는 불확실한 작업공기와 공수를 이용하여 작업장의 공간제약을 고려한 일정계획을 수립하는 문제에 대한 현실적인 대응 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구배경 및 목적

일반적으로 대형선박은 백여개의 블록으로 구성되어지며 블록은 형상 및 생산 공정을 기준으로 평블록과 곡블록으로 구분된다.

평블록은 바닥면이 평면이어서 흐름생산이 가능한 반면, 곡블록은 바닥면이 곡면이어서 핀지그(Pin JIG) 위에서 제작되어진다. 그러므로 곡블록은 작업시작부터 종료까지 일정 범위의 작업영역을 점유하게 되어 일정계획 및 블록제작 순서의 정도에 따라서 생산성에 많은 차이가 발생한다.

기존 연구에서는 계획단계에서 사전 유사경험으로 정의된 블록별 작업기간을 조건으로 작업장에 가능한 많은 블록이 배치되도록 하는 알고리즘에 관한 연구가 수행되었다. 그리고, 최근에는 초기 배치 계획 후 일정 시점이 지난 후 현실과 계획이 상이한 부분에 대한 대응 방법에 대한 연구도 진행되었다.

그러나 기존 연구에서는 작업장의 배치 가능 여부 및 일정 시점에서의 사후 대응 방법에 대한 연구가 진행되었을 뿐 실제 작업장의 계획과 연동되는 선공정의 일정을 적절하게 연계하여 배치 계획의 정도를 높이는 실행 단계에서의 연구는 수행되지 않았다.

본 논문은 일정 변동에 큰 영향을 미치는 선공정의 일정 및 부하를 고려한 배치 및 일정계획을 수립할 수 있도록 한 개선 사례 연구로 공장의 생산 목표를 달성하기 위한 운영프로세스 개선과 수행방법을 제시한다.

3. 곡블록의 특성

곡블록은 핀지그 위에 고정되어 작업이 수행되며 부재의 절단부터 조립완료까지 십여일 정도의 기간이 소요된다. 이 기간 중 부재의 절단부터 조립착수 시점까지의 기간이 십여일 정도 소요되며 핀지그 위에 고정되어 작업되는 조립착수에서 완료까지는 수일이 소요된다.

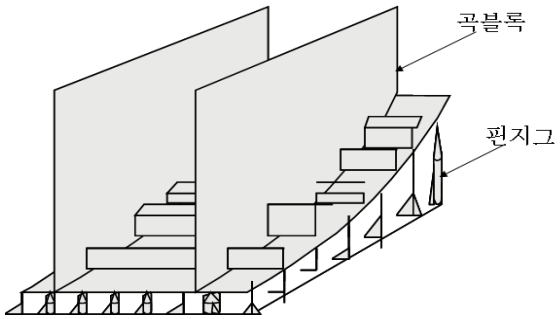

그림 1. 곡블록 형상

그림 1은 핀지그 위의 곡블록 형상의 예를 표현한 것이고, 곡블록의 제작 공정의 예를 그림 2에 나타내었다.

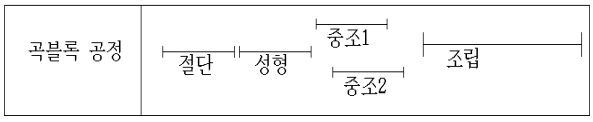

그림 2. 곡블록 제작 공정

그림 2에서와 같이 곡블록 공정은 부재의 절단을 시작으로 곡판을 만들기 위한 성형 작업을 수행한 후, 이러한 부재를 조립하는 중조립 작업이 수행되어진다. 중조립품들은 조립 작업장에서 조립되어 하나의 블록으로 제작되어진다.

조립 작업장에서 제작되는 블록은 작업 기간 동안 핀지그에 고정되는데 만약 다른 작업장으로 이동하기 위해서 핀지그를 재설치하기 위해서는 수일의 기간과 공수가 투입이 되어 많은 비용이 소요되므로 현실적으로는 작업중 이동이 불가능하다.

4. 관련 연구 내용

공간제약에 관한 연구로는 박경철 등(1995)이 작업장 폭이 좁은 정반에서 블록을 한줄로 나열하는 방식의 시스템을 개발하였으며, 이경전 등(1996)은 2차원 평면 위에 블록들을 자유롭게 배치하는 방식의 시스템을 개발하였다. 또한 Lozano-Perez(1983)는 볼록 다각형이 다른 볼록 다각형과 겹치지 않게 놓여지는 방법을 연구하였다.

고시근 등(1999)은 기존 연구와 유사한 형태로 정반의 면적활용률과 조립 작업장의 부하, 선행 작업장의 부하를 포함한 다양한 요인들을 고려한 연구를 수행하였다.

정귀훈(2001)은 조선 도장공정을 대상으로 시간과 공간의 제약이 있으면서 두개의 공장이 연계되는 일정계획에 대한 연구를 수행하였다.

이들은 주로 공간제약에 대하여 작업물을 배치하는 알고리즘과 작업물간의 간섭을 회피하는 방법에 관한 연구를 수행하였다.

기존 연구의 결과들은 장기계획 차원의 물량부하부석을 위하여 현실에서 활용되고 있다. 그러나 실행 단계에서 일정변동 혹은 물량변동에 대해서는 여러 가지 변수들이 많이 작용하여 알고리즘에 의한 자동배치 보다는 사용자의 수작업에 의한 정반배치가 수행되어 지는 것이 현실이다.

본 논문에서는 실행 단계 중에서 발생하는 변동에 대하여 사용자가 선공정의 부하를 정반배치와 동시에 판단하고 조립 정반배치 뿐만 아니라 선공정의 일정을 각각 조정할 수 있는 운영 프로세스를 정의하고 운영시스템을 개발하였다.

5. 연구 대상 공장의 일정 계획

본 논문에서 연구 대상 공장의 일정계획 형태는 크게 장기부하계획을 위한 수개월 계획을 수행하고, 매월 말일에 차월 계획을 수립한다.

계획 수립 대상 공정은 절단, 성형, 중조, 조립이다. 중조 및 조립은 공장내 여러 작업장에서 수행되며 하나의 작업장영역에서는 몇 개의 작업팀이 작업을 수행한다.

일정 계획 수립시 중요한 기준은 계획 물량을 기간내 작업할 수 있도록 일정을 수립하는 것과 각 팀의 부하를 일정한 수준으로 조정하는 것이다.

일정을 수립하기 위해서는 조립정반의 블록 배치가 반드시 수행되어야 하고 팀의 부하를 일정한 수준으로 조정하기 위해서는 중조, 조립의 팀 물량 배분이 중요하다.

이 두 가지는 동시에 고려되어야 하는데 블록의 조립정반 배치 위치가 팀의 작업영역과 관계가 있어서 팀 부하에 영향을 미치기 때문이다. 또한, 중조의 작업위치에 따라서 중조 작업이 조립과 다른 작업팀에 할당될 수도 있다.

중조/조립 작업계획시 필요한 결정요소를 그림3에 표현하였다.

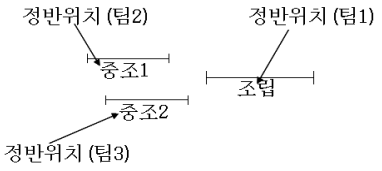

그림 3. 중조/조립 작업의 결정요소

작업의 실행은 계획의 준수를 위해 공장 관리자들에 의해서 수행되어진다. 곡블록 공장의 업무성과 평가의 요소로는 여러 가지가 있으나 중요한 평가요소로 목표생산일 준수율이 있다. 이는 조선산업의 특성상 선주와의 계약조건을 지키기 위해서는 반드시 일정을 준수해야 하며 또한 후공정의 정상적인 업무수행을 위해서는 목표생산일정 준수가 매우 중요하다.

6. 공장 운영상의 문제점

제작 블록의 공정별 공기는 과거의 유사한 블록의 제작경험을 기준으로 작성되어지며 이를 기준으로 일정계획이 수립되어진다. 그리고, 실행에 있어서 기후와 작업인력의 변동에 따라서 작업의 수행은 계획대비 변동이 발생한다. 변동의 폭이 크면 기존 계획을 변경해야 하는데 이 경우 공장 운영의 중심이 되는 조립작업을 기준으로 일정을 변경하게 된다.

조립작업 일정의 변경은 절단, 성형, 중조의 일정에 영향을 미치므로 사전에 조정에 대한 검토를 충분히 해야 하나 현실적으로 선공정에 대한 일정변경의 시점이 늦게 발생하므로 운영상의 여러 문제점이 발생한다.

현실적으로 조정시점이 늦은 현상을 그림 4에 나타내었다.

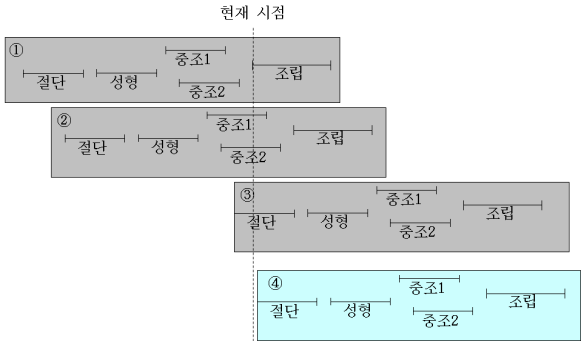

그림 4. 선공정에 대한 늦은 조정시점

그림 4에서 현재 시점을 기준으로 계획일정의 변동으로 조립 착수 시점을 변경해야 할 경우 현재 시점 이후에 절단 공정을 수행하는 ④번 블록의 경우에는 조립착수 시점을 지연시킬 경우 선공정이 착수전이므로 공정 운영에 영향을 최소화 할 수 있다. 그러나 ①,②,③번의 경우에는 선공정 일부 공정이 이미 작업을 진행하고 있으므로 조립의 착수 일정을 지연시킬 경우 선공정의 작업완료 물량을 버퍼장에 보관해야 하고 작업중인 물량은 작업을 중단하고 다음순위의 작업을 수행하던지 아니면 차순위의 작업일정을 지연시켜야만 한다. 이러한 원인으로 선공정의 작업순서가 변경되고 작업지연이 발생하여 다시 조립착수의 지연이 반복되는 악순환이 발생한다.

현실에서 발생하는 변수를 미리 예측하는 것은 매우 어렵기 때문에 이런 문제의 발생을 사전에 해결할 수 있는 방법을 찾을 수는 없었다.

이에 본 논문에서는 현재 시점에서 발생하는 일정 변경에 대하여 선공정 및 조립의 혼란을 최소화하여 일정변경 이후의 제작일정 변동을

최소화 할 수 있는 방법을 모색하게 되었다.

7. 운영 프로세스의 개선

본 논문의 대상 공장은 일정 계획을 수립하기 위하여 면적 활용률과 조립 작업장의 부하, 선행 작업장의 부하 등을 고려한 정반배치 계획 시스템을 이용하고 있다. 또한, 팀의 물량 부하를 조정하기 위하여 조립정반배치 결과를 가지고 선공정의 부하를 분석할 수 있는 프로그램을 병행하여 사용하고 있다. 결국, 조립을 중심으로 정반배치를 수행 후 다시 팀의 물량 배정과 분석을 통하여 정반배치를 재조정하는 업무를 반복 수행하여 차월 계획을 수립하게 된다.

기존의 일정 계획 프로세스는 그림 5와 같다.

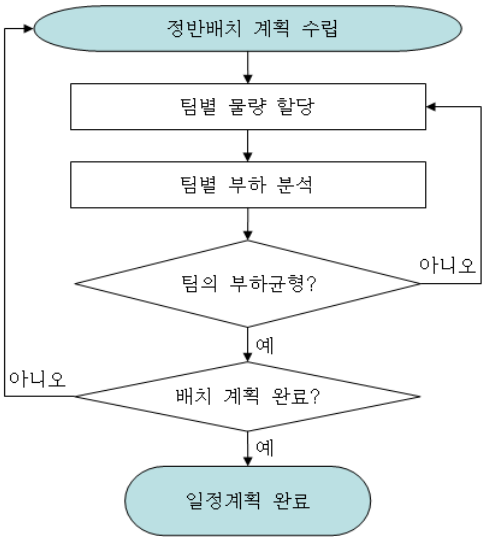

그림 5. 기존 일정계획 프로세스

그림 5에서의 프로세스 절차를 따르면 현재 시점의 일정 변경을 하기 위해서는 많은 반복 작업을 수행해야 한다. 그러나 실행 부분에서는 빠른 시간 안에 일정변경의 판단을 해야 함으로 현재의 프로세스를 따르기가 매우 어렵다.

본 논문에서는 실행 시점에서 일정변경의 판단을 빠르게 수행할 수 있도록 일정계획 프로세스를 변경하였다. 개선된 일정계획 프로세스를 그림 6에 나타내었다.

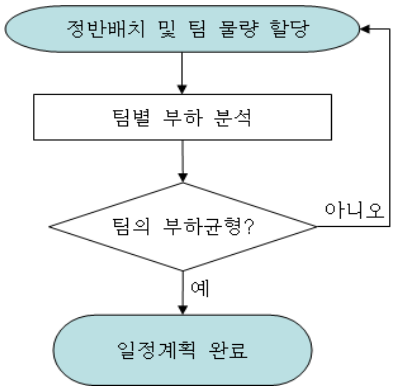

그림 6. 개선된 일정계획 프로세스

그림 6과 같이 일정계획 프로세스를 변경함으로써 차월 일정계획을 수립하기 위한 기간이 4~5일에서 1~2일로 단축되었고 실행단계에서의 일정변경에 대한 대응도 수 시간내에 수립이 가능하게 되었다. 일정 변경으로 인한 선공정 및 조립의 혼란의 정도도 많이 줄어들게 되었다. 결과로 현행단계에서 대응하지 못했던 실행단계의 일정변경을 2주 정도의 기간에 대하여 혼란을 최소화 하였다. 2주의 기간은 조립 착수 변경시 절단공정 등 최초 착수 공정의 작업시작 시점 최대일이다. 평가에 대한 내용은 9장에서 기술한다.

8. 운영 시스템의 구현

앞장에서의 운영프로세스 개선안을 기반으로 운영시스템을 개발하였다. 기존에 별개로 사용되고 있는 기능을 통합하여 정반배치와 동시에 물량 분배 및 로드분석이 가능하도록 하였다. 아래 그림 7은 기존에 운영되고 있는 시스템이다.

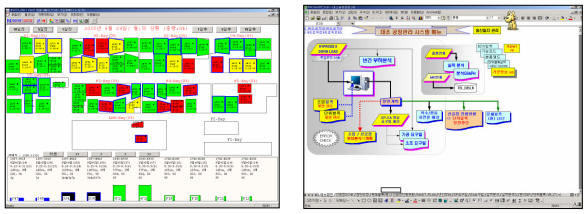

그림 7. 기존 운영시스템

기존 운영시스템의 프로세스를 개선하여 개발한 정반배치화면을 그림 8에 나타내었다. 그

림 8에서와 같이 개발된 정반배치 화면에서는 작업장에 조립블록을 배치함과 동시에 조립과 중조의 부하를 판단할 수 있도록 구성하였으며 절단, 성형, 중조의 정보를 팝업메뉴를 통해서 각각 수정 및 부하 분석이 가능하도록 하였다.

그림 8. 개선된 일정계획 및 운영시스템

각 팀에 대한 부하 분석은 아래 그림 9와 같이 나타나며 값에 의한 테이블로도 표현된다.

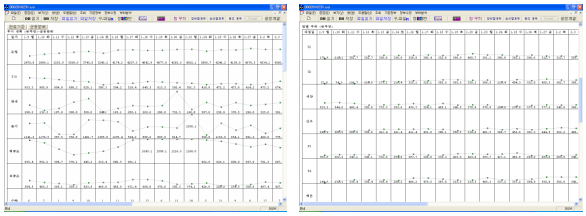

그림 9. 공정별 팀별 부하 분석 챠트

9. 평가

본 논문에서는 실행계획 단계에서 현실적인 제약사항을 반영하여 효과적으로 일정계획을 수립 및 재수립 할 수 있는 운영프로세스를 제시하고 운영안을 기반으로 시스템을 구현하였다. 기존의 운영프로세스와 새로운 운영프로세의 성능을 비교하기 위하여 공장의 관리 목표 중 하나인 목표생산일 준수율을 비교하였으며 또한 부서 계획에 대한 준수율도 같이 비교 분석 하였다. 먼저, 부서 계획에 대하여 실질적인 준수율을 비교하였다. 시스템 적용 초기에 기존 운영방식과 새로운 운영방식을 같이 실행하였으며 그 결과를 그림 10에 나타내었다.

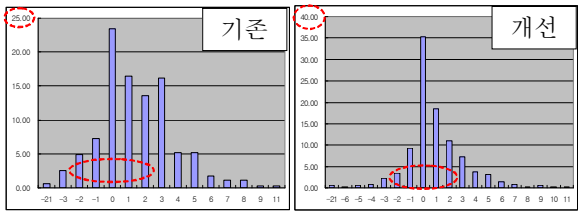

그림 10. 기존 부서계획 준수율 과의 비교

기존 운영 방식에서는 선행/지연의 분포가 넓고 최대 적중률 또한 낮았다. 반면 개선된 운영방식을 적용한 결과 최대 적중률이 10% 이상 향상 되었고 선행/지연의 분포가 많이 좁아짐을 볼 수 있다. 이후 개선된 운영방식만을 적용하여 운영을 하였으며 계속적인 개선 효과가 나타났다. 그림 11은 개선된 운영방식만을 적용하여 시행한 결과이다.

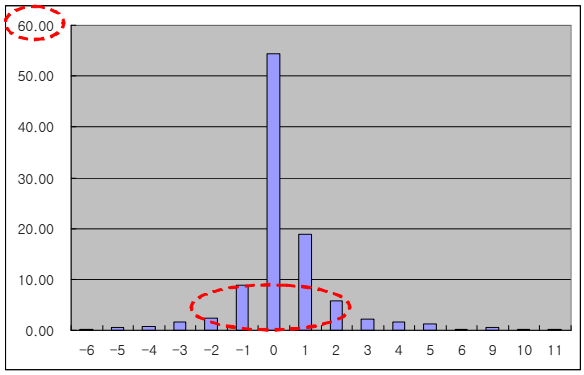

그림 11. 개선된 운영프로세스 적용 결과

그림 11에서 적중률과 선행/지연의 분포 정도가 상당히 개선되었음을 알 수 있다. 이상과 같은 개선효과는 기존 운영방식과 개선된 운영방식의 부서계획 대비 실적의 적중률을 비교한 것으로 실질적으로는 목표생산일의 준수율이 높아져야 한다.

그림 12는 목표생산일과 부서계획 대비 실적 준수율을 비교하여 표현한 것으로 기존 운영방식의 준수율과 개선된 운영방식의 준수율을 연결하여 표현하였다. 목표생산일 준수율은 하향 추세를 보이나 이는 초기 물량의 과부하로 인한 지연으로 분석되었다. 그럼에도 불구하고 개선된 운영방식 적용 후에 부서계획 대비 실적 준수율은 가파르게 상승하였고 목표생산일 준수율의 수준으로 향상됨을 알 수 있다.

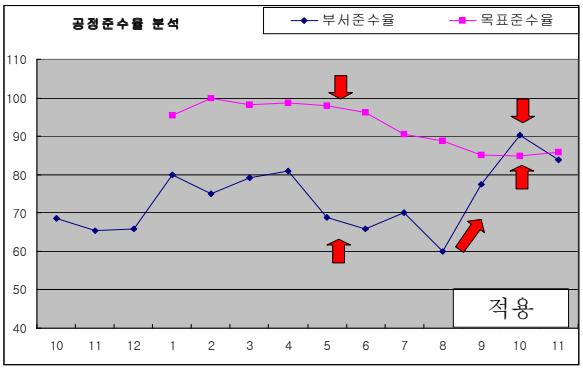

그림 12. 목표생산일과 부서계획 대비 실적 준수율

이 결과의 의미는 부서계획이 목표생산일을 준수하는 방향으로 계획되고 운영 중에도 유지가 됨을 의미한다. 과거의 분석 데이터와 비교했을때 매우 의미 있는 결과임을 알 수 있다.

10. 결론

불확실한 작업공기와 공수를 이용하여 작업장의 공간제약을 고려한 일정계획을 수립하는 문제에 대하여 기존의 공간제약 문제에 대한 연구에서 나아가 실행 단계에서의 운영 프로세스를 개선하여 적용하는 연구를 수행하였다. 이번 연구를 통하여 목표생산일과 부서계획, 실행실적을 과거 데이터와 비교분석 하여 개선된 운영 프로세스의 효과를 검증하였다.

조선의 블록제작은 매우 긴 시간과 많은 공정을 거쳐서 작업이 이루어지며 단위 작업에 대한 작업완료시점의 완수가 매우 중요하게 다루어진다. 타업종에 비하여 조선 산업의 생산 및 일정 관리, 운영 부분에 대한 연구는 미미한 수준으로 많은 관심과 연구가 진행 되어야 할 것이다. 본 연구는 생산 운영의 흐름에 대한 연구를 수행하였으며 적용 사례를 기술하였다.

참고문헌

Park, K., Lee, K., Park, S., Kim, S., Hwang, K-O., Kim, W-H., Yu, D-H., Lee, D-R. and Oh, M-J. (1995), Development of Bay Schedulers for Shipbuilding, *IE Interfaces* 8 (2), 95-103.

Lee, K. J., Lee, J. K. and Choi, S. Y. (1996), A spatial scheduling system and its application to shipbuilding : DASCURVE, Expert Sytem With Applications, 10 (3/4), 311-342.

Lozano-Perez, P. (1983), Spatial planning : A configuration space approach, IEEE Transaction on Computers, C-32 (2), 108-120.

Koh, S-G., Park, J-C., Choi, Y-S. and Joo, C-M. (1999), Development of a Block Assembly Scheduling System for Shipbuilding Company, *IE Interfaces* 12 (4), 586-594.