



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및
인공지능 응용

**Development of Integrated Production Planning System for
Shipbuilding and Application of Artificial Intelligence**

2022 년 2 월

서울대학교 대학원

조선해양공학과

조성원

공학박사 학위논문

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및
인공지능 응용

2022년 2월

서울대학교 대학원

조선해양공학과

조 성 원

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

지도교수 우 종 훈

이 논문을 공학박사학위논문으로 제출함
2021년 11월

서울대학교 대학원
조선해양공학과
조 성 원

조성원의 공학박사학위 논문을 인준함
2021년 12월

위원장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위원 _____ (인)

위원 _____ (인)

위원 _____ (인)

초 록

조선업은 대표적인 수주 산업으로 일정 수준의 수주 물량을 안정적으로 확보하는 것이 조선소 경영에서 가장 중요한 일이다. 2008 년 글로벌 금융위기 이후 장기간 이어져오고 있는 조선업 불황의 상황에서 수주 선가의 개선은 이루어지지 않고 있으며, 한국 조선업은 일본, 중국과 치열한 수주 경쟁을 벌이고 있다. 수주 경쟁력 확보를 위해서는 우수한 성능의 선박을 개발하는 것과 함께 생산 원가 혁신이 필요하며, 이를 위해 정교한 생산계획 수립을 통해 선박의 생산 과정에서 발생할 수 있는 낭비 요소를 줄이는 것이 필수적이다.

정교한 생산계획 수립을 위해 생산계획 수립을 지원하는 생산계획 시스템의 고도화가 절실하다. 조선산업에서 생산계획 시스템의 개념은 1980 년대 조선 CIM 구축과 함께 논의되었고, 1990 년대 개인용 컴퓨터의 도입시기를 거쳐 2000 년대 대형 조선소 중심으로 전사적 자원관리 시스템(ERP)의 도입에 맞추어 Advanced Planning 수립을 위한 생산계획 시스템이 구축되었다. 2000 년대 이후 최적화 기법을 조선 생산계획에 적용하려는 시도가 있었고, 시뮬레이션 기법을 도입하여 디지털 조선소를 구축하는 등 생산계획 수립을 효율적으로 수행하고 최적의 생산계획 수립을 지원하려는 연구가 있었으나 생산계획 업무의 복잡성, 최적화 및 시뮬레이션 기술의 한계 등으로 실제 생산계획 업무에 적용된 사례는 부족하였다.

본 연구에서는 ERP 도입에 맞추어 생산계획 업무를 전사적 프로세스 차원에서 분석 설계하고 체계적인 개발 방법론을 적용한 생산계획 시스템 구축의 사례를 소개한다. 시스템 구축과 함께 계획에 사용되는 표준 데이터를 정립하고 표준 코드를 정의하였다. 기존의 생산계획 시스템은 일부 계획자의 업무 필요성에 따라 제한적인 기능으로 개발되어 사용되어 왔으며, 계획 데이터는 전사 표준으로 사용되지 못하고 계획자의 필요에 따라

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

제한적으로 정의하여 사용하는 등 생산계획 업무가 전사적 차원의 업무 프로세스로 정의되지 못하였다. 본 연구의 사례를 통해 ERP와 연동 가능한 전사 프로세스에 통합된 생산계획 프로세스를 확립하였다.

또한, 최근 IT 기술의 발전과 인공지능 기술의 급격한 발전에 따라 최적화 및 인공지능 기술의 조선소 생산계획에 적용 가능성을 검토하였다. 조선소의 장기계획인 선표계획에 대해 Berth plan 수립에 제약만족기법을 적용하고, 공종별 부하 분석을 위해 지도학습(Supervised learning)을 통해 적절한 S-Curve를 제시할 수 있도록 하였다. 중기계획인 기준계획에 일반적으로 사용되는 Gantt planning에 대해서 강화학습(Reinforcement learning) 기술의 적용 가능성을 검토하였다. 기존의 일정계획 최적화 연구가 대부분 수리적 최적해를 찾기 위해 노력하였으나 문제의 크기가 너무 크고, 조선소 생산의 다양한 변수를 고려할 때 일부 변수를 고려한 최적해가 실제 조선 생산 전체에 대한 최적의 생산계획이 되기 어려운 점을 고려할 때 생산계획 수립 시 고려할 제약조건을 만족하는 적정한 케이스들을 도출하고, 생산계획 전문가가 도출된 케이스 중 가장 적합한 케이스를 선택할 수 있도록 지원하는 방식이 효과적일 수 있음을 사례 연구를 통해 확인하였다.

주요어 : 선박 건조 공정(Shipbuilding process), 조선 생산계획 시스템(Shipbuilding production planning system), APS(Advanced Planning System), 시스템 개발(System development), 인공지능(Artificial intelligence), 제약만족기법(Constraint satisfaction technique), 기계학습(Machine learning)

학 번: 2006-30181

목차

초록.....	i
목차.....	iii
1. 서론	1
1.1 연구 배경.....	1
1.2 조선산업의 특성.....	5
1.3 선행 연구.....	7
1.3.1 시대별 연구 흐름	7
1.3.2 분야별 연구 사례	19
1.4 연구 목적.....	31
1.5 논문의 구성.....	32
2. 조선소 생산계획 업무 프로세스 분석 및 고찰	34
2.1 선박건조 생산 단계.....	34
2.2 생산계획 단계.....	41
2.2.1 생산계획 단계 정의	44
2.2.2 선표계획	51
2.2.3 기준계획	58
3. 조선소 통합 생산계획 시스템 개발.....	71
3.1 개발 방법론.....	71
3.2 업무 프로세스 분석.....	73
3.2.1 As-Is 분석	73

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

3.2.2 To-Be 설계.....	78
3.3 시스템 아키텍처 설계.....	82
3.3.1 요구사항 분석.....	82
3.3.2 아키텍처 정의.....	89
3.3.3 시스템 설계.....	97
3.3.4 시스템 구현.....	100
3.4 개발 시스템의 적용.....	107
4. 생산계획 고도화를 위한 최적화 및 인공지능 적용 사례 연구.....	113
4.1 기존 생산계획 연구의 한계.....	113
4.1.1 생산계획 업무의 복잡성.....	115
4.1.2 최적화 및 시뮬레이션 기술의 한계.....	115
4.1.3 휴리스틱 의존.....	116
4.2 생산계획 프로세스와 최적화 및 인공지능 기술.....	117
4.3 장기계획을 위한 최적화 및 인공지능 기술.....	119
4.3.1 개요.....	119
4.3.2 적용 기술 소개.....	121
4.3.3 모델링 및 실험.....	124
4.3.4 분석 및 결론.....	142
4.4 중기계획을 위한 최적화 및 인공지능 기술.....	145
4.4.1 개요.....	145
4.4.2 강화학습 알고리즘.....	148
4.4.3 Environment 모델링.....	152
4.4.4 학습 케이스.....	157
4.4.5 테스트.....	164
5. 결론.....	168
참고문헌.....	170

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

그림 목차

그림 1. 전세계 신조 발주량 및 건조량 (출처 : 한국수출입은행).....	1
그림 2 조선 생산계획 평가 프레임워크.....	30
그림 3. 국내 조선소 상선 프로젝트 WBS 구조.....	39
그림 4. 생산계획 간의 관계와 흐름 [이종무(2007)].....	45
그림 5. SCP-Matrix [Fleischmann, Meyr, Wagner(2008)].....	47
그림 6. SCP-Matrix 를 적용한 생산계획 단계 구분 [남승훈(2018)].....	48
그림 7. 도크배치도 (예시).....	55
그림 8. PI/BPR 프레임워크.....	72
그림 9. CBD (Component based development) 절차.....	72
그림 10. 주요 액티비티에 대한 프로세스 모델 [Porter (2011)].....	74
그림 11. SCM 밸류체인과 관련 액티비티 구성.....	76
그림 12. S.2 생산 프로세스의 액티비티간 관계도.....	78
그림 13. To-Be 중장기 생산계획을 위한 LOVC 분석.....	79
그림 14. To-Be 생산계획수립을 위한 LOVC 분석.....	81
그림 15. 생산계획에 대한 액터 다이어그램.....	84
그림 16. 전체 아키텍처의 구성.....	90
그림 17. 기준계획 수립에 대한 비즈니스 아키텍처(일부 예시).....	91
그림 18. 생산계획시스템의 전체 시스템 아키텍처.....	96

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

그림 19. 인터페이스 목록과 설명을 포함한 컴포넌트 다이어그램.....	98
그림 20. IErectNetworkMgr 인터페이스의 requestErectNetworkInfo 메서드 실현	99
그림 21. 탑재계획 화면의 일정 수정에 대한 사용자 인터페이스 실현	100
그림 22. 애플리케이션 tier의 구현 컴포넌트 모델.....	101
그림 23. 선평계획 수립 기능의 구현 환경	102
그림 24. 선평계획의 바차트 계획 화면 예시	103
그림 25. 탑재계획의 네트워크 계획 예시	104
그림 26. PE 계획 프로세스의 액티비티계획(위)과 정반배치계획(아래)	105
그림 27. 선행계획 수립의 액티비티 계획 예시	106
그림 28. 선평계획 수립 업무 프로세스.....	108
그림 29. 기준계획 수립 업무 프로세스.....	109
그림 30. 선박 생산의 일정계획 프로세스의 계층적 구조	118
그림 31. 생산계획 단계별 적용 가능한 최적화 기법 예시	119
그림 32. S-curve 의 기계학습을 통한 Berth plan 최적화 프로세스	125
그림 33. 선평 계획 예시.....	127
그림 34. CSP 에서 공간 배치 개념	130
그림 35. S-Curve 의 입력 데이터 종류.....	137
그림 36. S-Curve 기계학습을 위한 학습 데이터	139
그림 37. RMSE 히스토그램	140
그림 38. RMSE 9%(a)와 19%(b)에 대한 샘플 그래프	141

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

그림 39. 계획 대상 조립 공정 프로세스 (예시)	146
그림 40. Problem Domain (일부 예시).....	147
그림 41. Gantt planning 을 위한 강화학습 다이어그램	148
그림 42. A3C 강화학습 알고리즘의 개념도	149
그림 43. 그리드 형태로 구성된 학습 환경	153
그림 44. 학습환경의 value 할당	154
그림 45 보상값 계산 예제.....	157
그림 46. Case 1-1 에 대한 학습 결과.....	158
그림 47. Case 1-2 에 대한 학습 결과.....	158
그림 48. Time window 의 개념	160
그림 49. Case 4 의 State 정의	163

표 목차

표 1. 선박 건조 공정 상세 [남승훈(2018)]	36
표 2. 선박 건조 공정의 제품 단계와 작업 종류의 조합	37
표 3. WBS 요소와 액티비티네트워크의 주요 특징	38
표 4 기존 연구에서 Planning 과 Scheduling 의 정의	42
표 5. 6-Factor 를 고려한 Planning 과 Scheduling 구분	43
표 6. 생산계획의 종류 구분 [이종무(2007)]	45
표 7. 기존 연구의 생산계획 단계 구분 요약	49
표 8. 국내 조선소 계획기간에 따른 생산계획 단계 구분	50
표 9. 조선 생산계획 단계 정의	51
표 10. 선표계획의 계획 대상, 결과, 제약사항 및 생산정보모델 요소	57
표 11. 기준계획의 공종별 계획 대상의 형태와 계획 수립 방식	59
표 12. 외업계획의 계획 대상, 결과, 제약사항 및 생산정보모델 요소	62
표 13. 선행계획의 계획 대상, 결과, 제약사항 및 생산정보모델 요소	68
표 14. S.2 생산 프로세스의 액티비티 정의	77
표 15. 생산계획 To-Be 프로세스 분해 (Level 2~Level 4)	81
표 16. 생산계획에 대한 액터 목록	84
표 17. 유스케이스 목록 (일부 예시)	85
표 18. 탑재네트워크 계획의 유스케이스 이벤트 흐름	86

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 19. 품질속성으로 나타낸 기술적 요구사항	92
표 20. 생산계획시스템의 데이터베이스 테이블 목록(일부 예시).....	94
표 21. 개발된 생산계획시스템 적용 효과.....	111
표 22. CSP 변수 설명.....	126
표 23. 선종별 도크 리드타임 예시	128
표 24. 선종별 키이벤트간 리드타임 예시.....	128
표 25. 건조 도크 길이 및 폭.....	129
표 26. 선종별 선호되는 도크 우선 순위 (예시)	133
표 27. 도크별 선호되는 선종 우선 순위 (예시)	134
표 28. 선종과 건조 도크간 우선 순위 매트릭스 예시.....	134
표 29. 목적함수 별 Scaling 상수.....	137
표 30. 탑재작업의 a, b 및 RMSE 의 평균과 표준편차	139
표 31. 최적값에 대한 Hyper-parameter	139
표 32. a, b 및 RMSE 의 예측값.....	140
표 33. Berth plan 케이스별 최적해의 목적함수 값.....	142
표 34. CSP 를 통한 Berth plan 최적화 결과	143
표 35. Berth plan 최적화 결과에 대한 S-curve 분석(시수부하의 표준편차 (σ)).....	144
표 36. A3C 학습 알고리즘의 의사코드.....	150
표 37 에이전트 별 신경망 구성	151
표 38. 입력 데이터 (일부 예시).....	152

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 39. 학습 케이스	157
표 40. Case 1-2 에 대한 학습 결과.....	159
표 41. Case 2 에 대한 학습 결과.....	160
표 42. Case 3 에 대한 학습 결과.....	162
표 43. 테스트 대상 선박 및 관련 블록/액티비티 수	164
표 44. 개발된 학습 알고리즘을 통한 테스트 결과.....	165
표 45. 학습된 신경망의 테스트 결과	166

제 1 장

서론

1.1 연구 배경

세계화의 흐름속에 국제적 교역량의 급격한 증가에 따라 2000년대 전세계 신조 발주와 건조량은 빠르게 증가하였으나, 2008년 미국 ‘리먼 사태’로 촉발된 글로벌 금융위기 이후 지속되고 있는 글로벌 경기 침체의 영향으로 조선업은 지속적인 물량 부족과 저선가로 인한 어려움을 겪었다.

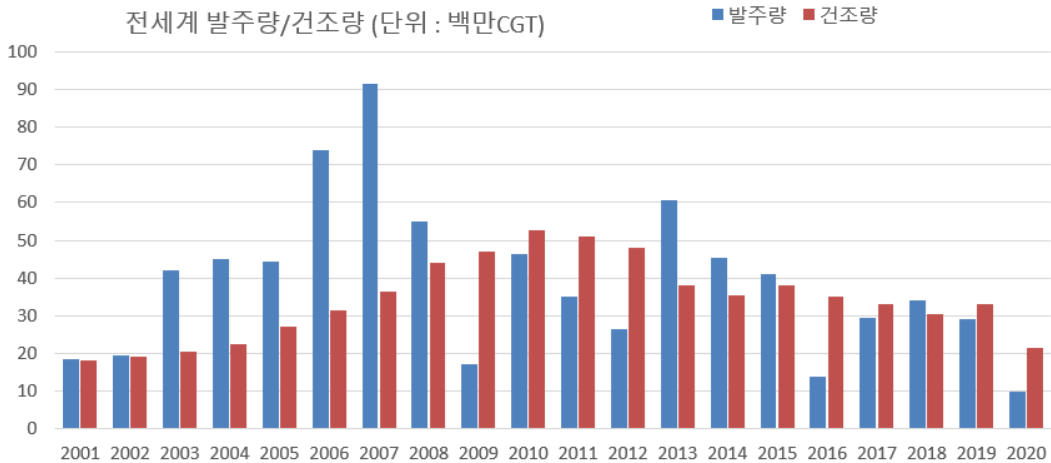


그림 1. 전세계 신조 발주량 및 건조량 (출처 : 한국수출입은행)

리먼사태 이후 빠르게 국제유가가 상승하면서 해양 프로젝트가 경쟁적으로 발주되었고, 한국 조선소는 발주가 줄어든 선박을 대신하여 대규모의 해양 프로젝트를 수주하였

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

다. 그러나, 생산능력을 초과하여 수주한 물량을 소화하지 못해 납기가 지연되는 상황과 국제유가가 급락하는 상황이 맞물려 프로젝트가 취소되면서 공사 대금을 받지 못하게 되자 한국 조선소는 유동성 위기에 빠지게 되었다. 선박 발주의 감소와 해양 프로젝트 버블의 붕괴로 대형 조선소와 중소형 조선소를 가릴 것 없이 구조조정의 어려운 시절을 겪었다.

경쟁국인 일본과 중국은 글로벌 시황의 악화로 구조조정을 추진하는 한편, 자국 수요를 통해 상당한 성과를 거두고 있다. 2000년 이후의 조선업 호황기에 대대적으로 설비를 확충했던 중국은 글로벌 금융위기 이후 구조조정과 자국 선사의 노후선박 교체 지원을 병행하였다. 일본은 화주-해운-조선-기자재로 연결된 강한 클러스터를 기반으로 안정적인 자국 물량을 확보하는 구조에 엔저를 등에 업고 수주 점유율을 크게 끌어 올렸다. 이에 더해, 2025년까지 세계 조선시장 점유율 30% 이상 확보를 목표로 생산성 향상, 사물인터넷을 활용한 설계, 생산, 운영 분야 개선에 대한 세부 추진계획을 마련하여 추진하고 있다.

최근 들어 국제유가의 회복 움직임에 더해 2020년 발효 예정인 ‘황산화물 배출 개정안’과 신조 선박에 기 발효된 ‘평형수 미생물 처리 후 배출’에 대한 국제해사기구(IMO) 규제 영향으로 신규 선박에 대한 교체 수요가 발생하면서 신조 시장이 회복되고 있다.

하지만, 과거 여러 선종에서 고르게 경쟁력을 유지했던 한국 조선은 비교적 난이도가 낮은 Bulk 선의 경우 이미 중국에 경쟁력을 잃은 상황이고, 중형급 이하의 Tanker 선도 상황은 유사하다. VLCC와 PC 선에서 경쟁력을 유지하고 있는 수준이다. 컨테이너선은 대형화 추세에서 한국 조선이 기술 경쟁력을 가지고 추세를 선도하기는 하였으나, 중국 조선소도 건조 경험을 축적하면서 빠르게 격차를 좁히고 있다.

COVID-19 사태 이후 컨테이너선의 수요가 폭증하면서 선가가 회복되는 추세이기는 하나 조선소에 높은 수익을 확보해주지는 못하고 있고, VLCC는 강재가의 인상 영향으로 수익성 확보가 어려운 상황이다. 한국 조선소가 수익성을 확보할 수 있고, 기술 격차를

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

유지하고 있는 분야는 LNG 선이다. 전세계적으로 친환경·신재생 에너지로 전환이 이루어지고 있는 상황에서 당장 석유를 대체할 수 있는 대안으로는 LNG가 유일하기 때문이다. 대규모 LNG 광구 개발이 이루어지고 있고, 대륙간 LNG 운송을 위한 LNG 선의 발주가 증가하고 있다. 중국 등 환경규제 강화를 위해 LNG 수요가 늘고 있고, 미국은 셰일 가스 공급을 늘리고 있으며, 러시아는 유럽 외에 국가로 LNG를 수출하려고 하고 있고, 유럽은 러시아 외의 가스 공급처를 찾고 있는 등 LNG 운반의 수요는 급격히 증가하고 있다. 최근 카타르에서는 한국에 대규모 LNG 선 발주 계획을 발표하고 한국 조선소 중심으로 발주를 진행하는 등 향후 LNG 선이 한국 조선업의 주력 선종이 될 것으로 예측하고 있다. 선박용 연료에 대해서도 이산화탄소와 SOx/NOx 배출량을 줄이기 위한 노력으로 SOx Scrubber 장착, 저유황유 사용의 대안을 도입하였지만, LNG Bunkering 문제가 해결되면 향후 선박은 대부분 LNG 추진선으로 많이 옮겨갈 것이라는 예측이 힘을 얻고 있다. 이와 같이 한국 조선소가 경쟁력을 가지고 있는 선종은 크게 단순화된 상황에 있어 향후 한국 조선업의 경쟁력 유지 방안의 심도 있는 논의가 필요하다.

해양 프로젝트가 활황을 구가하던 시절을 지나면서 한국 조선업의 생산 체계가 많이 무너졌고, 생산의 관리체계도 혼란을 겪었으며, 이에 따라 생산성 저하도 상당했다. 다시 선박 중심의 생산으로 재편되고 해양 프로젝트의 규모를 적정 수준 이하로 유지하려고 하고 있는 상황에서 다시 생산관리 체계를 점검하고 생산성 향상을 통한 극심한 경쟁 상황에서 생존하기 위한 노력을 해야 하는 시점이다. 조선업 경쟁력은 생산성, 수요 상황, 보조 산업, 산업 조직 구조 그리고 정부 역할의 5개로 나눌 수 있으며, 이 중 조선소 내부적인 요인은 생산성과 수요 상황에 맞는 제품 개발로 볼 수 있다(남승훈 2018). 수주 물량 확보를 위해서는 제품 경쟁력을 갖추는 동시에 생산 원가에 대한 경쟁력 확보를 통해 시장에서 경쟁력있는 선가를 제시하거나 조선소의 수익성을 높이는 것이 중요하다. 생산 원가 확보를 위해 생산 체계 혁신을 통한 낭비 요소 제거의 노력이 필요하며, 이를 위해 생산관리의 고도화가 절실하다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

생산관리의 고도화를 위해서는 생산관리 역할 중 생산계획의 역할이 가장 중요한데, 생산계획 고도화를 위해 생산계획시스템의 고도화는 필수적인 요소라 할 수 있다. 조선산업에서 생산계획시스템에 대한 논의는 1990 년대에 조선 CIM 구축과 연계하여 활발히 이루어지기는 하였으나, 생산 방식과 계획 수립의 기본 개념은 국내 대형 조선소가 들어서는 1970 년대부터 정립되었다고 할 수 있다. 이 개념은 장기계획을 선평계획의 형태를 적용하여 핵심 자원인 도크의 사용기간 중심으로 선박의 생산 척수를 결정하고, 생산하는 선박의 강재절단일, 도크 Keel Laying, 진수 및 인도일의 키이벤트 일정계획을 수립하는 것을 기본으로 하고, 중기계획은 건조 선박의 도크 내 탑재 일정계획에 대해 탑재네트워크 계획을 통해 결정하고 탑재 이전은 블록별 일정계획으로, 탑재 이후는 구역 및 시스템별 일정계획으로 정의하는 기준계획(기존 중일정계획)으로 정의하는 것이 대표적인 개념이라고 할 수 있다. 이 때 정립된 개념은 생산 일정을 표현하는 형태 뿐 아니라 부하 분석과 부하 평준화의 개념까지 포함하고 있다. 다만, 개념 정립 당시 전산기기의 도입이 본격화 되지 않았기 때문에 대부분의 작업은 수작업으로 이루어졌고, 생산계획의 결과물은 수기로 작성된 표와 다이어그램으로 이루어진 것이 많고, 따라서 많은 연산을 수행하는 분석 작업이 이루어지기 어려웠던 점은 한계점이라고 할 수 있다.

이러한 초기 단계의 생산계획을 1 세대 생산계획이라 한다면, 2 세대 생산계획은 1990 년대 CSDP 사업과 대형 조선소 중심으로 이루어진 생산계획 시스템의 구축 사업으로 시작되었다. 2.1.2 에서 예시한 바와 같이 대형 조선소들이 생산량을 증대시키기 위해 체계적인 생산계획을 통해 최적의 생산계획이 필요함을 인식하였고, 이를 위해 생산계획 시스템 구축과 최적화 알고리즘 개발에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 2000 년대 ERP 시스템 도입 이전까지 국내 대형 조선소들은 본격적으로 보급된 PC 기반의 윈도우 환경에서 운영 가능한 생산계획 시스템을 개발하였다. 이 때 개발된 생산계획 시스템은 ERP 도입 과정에서 업그레이드 되거나, ERP 시스템에 통합되어 운영될 수 있도록 개발되기는 하였으나, 시스템의 개념은 유사하게 개발되었고, 이 시스템은 몇 차례 업그레이드는 있었으

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

나 현재까지 사용되고 있다.

2세대 생산계획 시스템은 그래픽 사용자 환경과 통합 데이터베이스의 사용과 ERP 등 전사 시스템과의 연동을 기반으로 하고 있으며, 선평계획/기준계획/실행계획 등 단계별 계획 수립을 지원한다. 일정 조정 자동화 기능을 탑재하고 있으나 최적화에는 미치지 못하고 많은 부분 계획자의 경험을 자동으로 반영하는 수준이며, 부하 분석 결과에 대해 일부 레포팅 기능을 제공하고 있기는 하나, 많은 부분은 계획자의 레포팅 작성 시간을 별도로 필요로 하는 한계가 있다.

조선업의 생산관리에서 생산계획의 중요도는 일반 양산 산업과는 다른 중요성을 가진다. 조선소 생산 전반에 대한 균형있는 계획 수립을 통해 생산을 운영하도록 해야하는 생산계획 입장에서 지난 10여년간의 변화를 통해 많은 전문 인력의 유출과 경험의 축적 단절은 뼈아픈 상황이다. 이런 상황을 극복하기 위해 최근 스마트 기술은 많은 도움이 될 수 있다. AI 도입과 최적화, 시뮬레이션을 통해 그동안 계획자의 경험과 판단에 의존하던 업무를 체계적으로 데이터를 축적하고 그 데이터를 통해 지능적인 의사결정, 현장에 좀 더 밀착된 정보 제공을 할 수 있는 생산계획을 포함한 생산관리 시스템을 구축할 필요가 있는 시점이다.

조선업 외 타 산업에서는 이미 4차 산업혁명의 흐름을 통해 제조업의 경쟁력을 제고하려는 움직임이 있고, 이에 따라 국내 대형조선소 중심으로 Smart Shipyard 구축 프로젝트들이 진행되고 있고, 정부에서도 국책과제를 통해 중소조선소를 지원하기 위한 과제도 진행되고 있다. 조선소 운영시스템에서 핵심이 되는 생산계획 시스템에 대해서도 새로운 시대에 맞는 시스템 방향 제시가 필요하다.

1.2 조선산업의 특성

제조업은 고객의 주문에 대해 어떤 생산전략(설계부터 생산과 판매까지의 프로세스에

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

대한 전략)에 따라 MTS(make-to-stock, 계획생산), ATO(assemble-to-order, 주문조립생산), MTO(make-to-order, 주문생산), CTO(configure-to-order, 주문사양생산), ETO(engineer-to-order, 주문설계생산) 등으로 나눌 수 있다.

조선산업은 ETO의 성격을 가지는데, 대표적인 ETO 산업인 건설업을 들 수 있다. 선박이나 해양 하나의 프로젝트로 보면 ETO 산업과 유사하나, 조선소 야드 내에서 동시에 여러 프로젝트를 수행하고, 도크 혹은 선대의 사용 기간에 따라 생산량이 결정되는 특성을 고려할 때는 선박 엔진 제조와 유사하게 CTO 산업의 특성도 동시에 가지고 있다.

한순홍(1995)은 선박을 단혀진 대형 시스템으로 구분하였는데, 선박은 대형 구조물이면서도 수송 시스템의 특성을 동시에 갖고 있는, 상당한 정도로 단혀있는 대형 시스템으로 파악되며, 선박의 생산과정은 정보관리 측면에서 동적인 CIM으로 파악되었다고 하였다. 선박의 건조과정은 대량 생산 체계와 대비하여 시제품 제작이 없고, 설계와 생산 작업이 겹쳐서 진행되기 때문에 생산 도중에 설계 변경 가능성이 높은 것으로 파악하였다.

일반제조업의 경우, 생산기간은 제품개발기간과 시기적으로 중복됨이 없이 하류에서 진행되는데, 이미 개발이 끝난 제품에 대한 완전한 설계도와 완벽에 가까운 생산계획에 의한 소재, 장비, 공구, 인원 등의 준비에 따라 정해진 시간에 정해진 만큼의 생산품을 제작한다. 하지만, 이와 다르게 조선업의 생산방식은 단품 수주생산으로서 계약에 의해 제품개발이 착수되고 동시에 불확실한 제품에 대한 생산준비(계획, 예산, 발주, 수급)가 병행된다. 따라서, 제품개발이 완성되는 시기는 생산이 완료되는 시기와 일치된다. 시스템에서 볼 때 불완전하고 복잡한 생산체계라 할 수 있다(김근철 1991).

조선소는 수주 경쟁력 확보를 위해 생산성 향상에 주력할 수 밖에 없는데, 생산성 향상을 위해서는 동시에 생산되는 다수의 프로젝트에 대해 생산 리소스를 고려하여 생산의 부하를 균일하게 맞추고, 자재와 도면을 적기에 공급할 수 있도록 하는 생산계획의 수립이 중요성이 부각된다고 볼 수 있다.

1.3 선행 연구

1.3.1 시대별 연구 흐름

1.3.1.1 1970년대~1980년대

70년대에는 조선산업에서 연구 분야에 생산은 용접 분야에 대한 연구가 주류를 이루었고, 생산관리 분야는 개념 정립과 조선소 운영을 위한 관리 시스템의 도입 차원에서 이루어졌다. 생산관리에 대한 연구는 70년대 후반에 들어서부터 관심을 가지기 시작하였는데, 현대중공업의 조선소 가동과 맞물려 조선소 운영을 위한 생산관리 체계에 대해 관심을 가지게 되었고, 외국의 관리체계를 한국 조선소에 도입을 하기 위한 검토를 하는 수준의 연구가 이루어졌다.

곽수일 (1966)은 1957년을 중심으로 거의 때를 같이하여 여러 분야에서 발전되었던 PERT¹의 개념과 기본적인 작성법, Critical Path 분석 방법을 소개하였다. 논문에서는 PERT를 조선산업에 적용하는 방안에 대해서는 제시되지 않았으나, 이후 PERT 기법은 조선산업의 일정계획에 다양하게 적용되었는데, 특히 탑재 일정계획 수립을 위한 탑재 네트워크 분석에 직접적으로 적용하고 있다.

장석 (1976)은 조선소를 기획함에 있어 선박 시장분석을 통해 건조 선박의 종류와 적

¹ PERT는 Program Evaluation Research Task (계획평가연구방법) 혹은 Program Evaluation and Review Technique 이라고도 하는데, PERT와 같은 개념을 가지는 다음과 같은 방법들이 있다.

- CPM - Critical Path Method
- PRISM - Program Reliability Information System for Management
- PEP - Program Evaluation Procedure
- IMPACT - Integrated Management Planning and Control Technique
- SEANS - Scheduling and Control by Automated Network System

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

정 생산량을 먼저 결정하여야 하며, 야드 레이아웃을 결정할 때 건조 선박의 개발 및 건조 공법을 면밀히 검토하고, 현재의 실질적인 수준보다 향후 기술의 발전 가능성을 고려하여 이론적인 접근이 중요하며, 선박 건조 시 경제적인 생산이 가능한 시설을 갖추어 선박 시장에서 경쟁력을 갖추도록 해야 할 필요가 있음을 강조하였다. 연구를 통해 건조 선박의 대상을 분석하여 도크 사이즈 결정, 생산량을 고려한 조립 공장 설비와 버퍼 공간 확보 등 구체적인 검토 사항을 소개하였다.

정태구, 이병남 (1977) 은 조선산업을 개별수주생산산업으로 정의하고, 생산패턴을 Jobshop 타입으로 인정하는 견해를 받아들였으며, 이에 따라 조선공업의 경영 형태가 인간중심으로 이루어지기 때문에 생산성을 높이기 위해 새로운 생산계획 및 관리 기법의 발전 보급이 필요하다고 주장하였다. 논문에서는 구체적인 생산관리 방안은 논하지 않고 원칙만 제시하였는데, 작업에 필요한 표준시간에 따라 작업 계획과 배원을 수행하고, 실적을 확인하여 표준시간 데이터베이스를 유지하는 체계를 제안하였다. 표준시간의 관리는 최종적으로 전산 시스템화 되어야 하며, 이 데이터를 활용한 배원 계획 수립을 수행하기 위한 정보 처리 시스템 구축 방안을 제시하였다. 연구는 기존의 관리자의 경험에 의존한 현장의 배원 계획을 체계적인 표준 데이터에 기반하여 컴퓨터를 사용한 생산계획 관리의 필요성을 제시하였다는데 의미가 있다. 이병남, 홍광희 (1981)는 정태구, 이병남 (1977)의 연구를 발전시켜 탑재 공정에 생산관리시스템을 적용하였다.

김태섭 (1980) 은 조선공업에서 생산관리의 중요성을 강조하였는데, 조선공업이 주문 생산에 의한 다품종 소량생산의 특성에 따라 대량생산 산업과 달리 기계화와 자동화에 제한이 있고, 인력 투입에 의한 공정 진행이 많은 비중을 차지하기 때문에 효율적인 인력 운영을 위한 부하 평준화가 필요함을 주장하였다. 하지만, 기존의 생산관리 방식이 관리자의 경험과 직관에 의존하는 방식으로 이루어지고 있어 생산계획이 현장과 유리되어 단지 생산활동의 참고적인 목표로 되어버리는 문제가 있음을 지적하고, 작업순서의 계획관리, 작업량과 작업인원의 평준화, 능률향상의 우선순위 고려(부분 최적화를 지양하고 전체

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

최적화가 필요함), 의장공사 시 전체 의장공사에 잠재 유틸 시간을 최소화하는 계획 수립이 필요함을 강조하였다. 논문에서는 일본 전문가 Yamasaki 박사의 ‘조선의 이론적 계획 관리방법에 관한 연구’를 바탕으로 계획공정 수립의 기본방향을 제시하였다. 계획공정 수립을 위해 컴퓨터 활용의 아이디어를 부분적으로 제시하였지만, 전면적인 전산 시스템 구축의 방향을 제시하지는 못하였다.

1.3.1.2 1990 년대

조선소에서 전산 시스템의 도입은 생산분야보다 설계분야에서 먼저 이루어졌다. 선박이라는 제품의 특성 상 제품 개발 단계에서 많은 계산을 통해 최적의 성능을 도출해야 하고, 생산 단계에서 매우 많은 수의 선각 부재와 의장품을 결합하여 최종 제품을 완성해야 하기 때문에 수기로 제품을 설계하고 자재를 관리하는 것이 불가능하기 때문이다. 기본 계산과 생산설계분야의 전산화 시도는 1950년대부터 시작되어 1970년대 초반에 근간이 구축되고(김광욱 1991), 1990년대에는 독립 프로그램들의 통합화가 본격적으로 이루어졌다. 초기에는 대형 전산 장비가 필요하여 대형 조선소를 중심으로 기본계산 등 제품 개발의 핵심적인 업무에 적용되었으나, 점차 생산 데이터를 제공해주는 것으로 분야가 확대되었다. 1980년대 중반에는 고성능 개인용 워크스테이션과 개인용 컴퓨터의 보급과 전산화에 대한 인식 고조, 인건비와 인력난이 맞물린 상황에서 다양한 설계업무에 대한 전산화가 이루어졌다.

조선의 생산관리 및 일정계획 분야에 전산화된 시스템의 도입 필요성은 대형 조선소가 건립되던 때부터 지속적으로 언급되었으나, 본격적인 전산화에 대한 연구는 1990년대에 들어와 본격적으로 추진되었다.

설계분야의 전산화와 병행하여 생산 분야에도 적극적으로 전산 시스템의 도입이 이루어졌다. 생산분야는 전산화된 설계 정보를 생산에 적용하기 위한 CAD/CAM 분야에서 시

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

작하여 설계정보와 생산정보의 통합하는 방향으로 추진되었다. 1970년대 이후 설계에서 CAD를 통해 생성된 공작정보(절단, 가공)의 수치화에 의해 NC(Numerical Control) 강판 절단기가 사용되었고, 1980년 이후로는 소조립 작업장의 각종 용접기의 로봇화와 자동절단기 개발, 강판 곡면가공을 위한 NC 프레스기의 개발, 페인팅 로봇의 개발 등 다양한 생산 공정에 전산 정보가 활용되었다.

일반 제조업, 특히 소품다량생산 형태의 제조업에서 활용되는 공정전산화는 작업준비의 용이성, 동일제품에 대한 반복작업의 경제성, 시설투자에 대한 비용배분의 원만성 등으로 더욱 발전되어 1980년대에 이미 공장자동화의 단계를 넘어서 회사 전체를 하나의 통일된 전산시스템으로 묶는 전산통합 제조체계(CIM)를 구축하게 되었다. CIM이 통합된 전산시스템으로서 완성되려면 CAD/CAM과 함께 공정계획을 전산화 시켜 단절될 두 시스템을 연결시켜주는 작업이 필요한데, 이와 관련된 기술을 CAPP(Computer Aided Process Planning)이라 한다. (김근철 1991)

일본에서는 조선연구협회내 신세대 조선시스템연구회에서 산·학·연 공동으로 조선 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)개발을 추진하였다. CIMS는 기존에 사용중인 CAD/CAM 시스템에 전문가시스템의 도입과 데이터베이스 기술의 접목, 생산 자동화를 위한 지원을 포함하는 방향으로 추진되었다.

미국에서는 미국 해사청을 중심으로 정부 주도하에 산·학·연 공동으로 1970년대 말부터 NSRP(National Shipbuilding Research Program)을 추진했다. 프로젝트는 설계·생산의 자동화를 통한 생산성 향상으로 군함건조에 따른 예산절감 및 효율 증대를 목표로 하였다.

1990년대 한국 조선은 원가 우위와 설비 확장으로 세계 시장에서 경쟁력을 확보해 가고 있었으며, 원가와 설비에서의 우위에서 나아가 관리 기술 강화를 통한 생산성 향상을 바탕으로한 경쟁력을 강화를 필요로 하였다. 이에 미국 NSRP와 일본 CIMS 개발의 영향

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

으로 국내에서도 산·학·연 공동으로 선박설계·생산 전산 시스템(CSDP, Computerized Ship Design and Production System) 개발 프로젝트가 추진되었다. CSDP는 선박의 주문, 설계, 생산, 관리에 이르는 제반 공정 정보를 일관되게 처리하고자 하는 전산 시스템으로 한국해사기술연구소를 중심으로 추진되었다. 1 단계는 설계전산시스템을 개발하고 이어서 생산 전산시스템을 개발하여 통합화하는 것을 목표로 하였다.

양선모, 이순요 et al. (1992)는 조선업의 특징 및 문제점을 분석하고, 이를 토대로 조선업의 CIM 시스템의 개념을 제시하였다. 또한, CIM 시스템의 일환으로 생산정보 시스템의 구축을 위한 방법으로 프로덕트 모델의 개념과 사용자의 이용효과를 높이기 위한 계층별 정보활용의 체계화를 위한 방안을 제시하였다. 연구를 통해 프로덕트 모델과 이 개념에 기초한 관리정보의 계층별 정보활용의 체계화를 위한 방안을 개념적인 차원에서 제시하였다. 제시 방안에 따르면 CIM 시스템에서는 제품설계와 생산계획, 생산통제 업무가 공통으로 데이터베이스화 된 프로덕트 모델을 사용하되, 사용자와 인터페이스를 위해서는 계층별로 체계화된 정보화가 필요함을 주장하였다.

해당 연구 사업에서는 배관 배치 모델을 포함한 선박 모델을 이용하여 선박 생산 계획 일정을 수립하는 시스템을 개발하였다. 이 연구에서는 부재들의 형상 정보, 조립 단계, BOM(Bill Of Material) 정보를 바탕으로 절단, 가공, 조립, 용접에 이르는 일련의 공정 계획 시스템을 개발하였으며, 이를 가용 자원을 고려하여 생산 계획으로 확장하는 기술을 개발하였다

윤덕영, 김근철 (1993)은 초기 단계의 공정/일정계획 지원 시스템 개발을 위한 요구사항을 분석하고 개발 개념을 정립하였고, 탑재 일정계획 지원 시스템 개발을 위한 요구사항을 분석하고 이를 토대로 탑재일정계획 지원 시험용 시스템을 개발하여 제안한 개념을 정립하였다. 연구를 통해 선박의 초기설계와 공정설계, 공정설계와 일정관리 간의 정보수수 방법과 통합화를 중점점으로 연구하고, 각각의 시스템에서 필요로 하는 정보를 모

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

델화하여 그 정보를 운용하는 시스템 프로토타입을 개발, 검증을 통한 실용 시스템을 개발하고자 하였다.

한순홍 (1995)은 제조산업의 경쟁력을 확보하는 수단으로 많은 연구가 진행되고 있는 CIM에 대해 조선 CIM이 가지는 성격을 규정하였다. 이를 위해 유사한 시스템들과 조선 CIM을 비교하였는데, 1) 선박은 대형 구조물이면서도 수송시스템의 특성을 동시에 갖고 있는, 상당한 정도로 닫혀 있는 대형 시스템이며, 2) 선박의 생산과정은 정보관리 측면에서 정적(Static)이지 않고 동적인 CIM으로 파악하였다. 연구에서는 조선업과 유사 산업으로 금형 공장의 사례를 들어 설계와 생산계획, 그리고 생산으로 이어지는 업무에 대한 프로세스를 분석하고 조선의 업무와 유사함을 예시하였다. 이와 같은 유사점을 통해 조선 CIM 구축을 통해 관련 기술이 다품종 소량생산 방식의 제조산업의 CIM 구축에 쉽게 이전 가능할 것으로 예측하였다.

이종갑, 장석 (1996)은 CALS에 대한 개념과 내용, 관련 기술을 소개하였다. CALS는 ‘통합화된 제품데이터의 생산, 관리, 활용을 위한 표준 및 표준화된 방법론’이며 CAD/CAM, CAE 및 CIM을 구현하기 위한 프레임워크로 정의하였다. CALS가 당시 추진되고 있는 조선 CIM 구축 및 운영을 위한 구체적인 방향과 목표, 그리고 환경과 도구를 제공할 수 있으며, 이를 위해 1) 조선공정의 재설계, 2) 정보시스템 기반 구축, 3) 자료의 표준화와 디지털화, 4) 조선업 공동의 협력체제 구축이 필요함을 주장하였다.

유병세 (1997)는 CIM 구축에 있어서 필수적인 개념인 제품모델의 개념을 설명하고, 제품모델과 생산 시스템과의 관계를 규명하고, 설계·생산 시스템의 통합이 기능하도록 제품모델 설계가 이루어질 필요가 있음을 주장하였다.

생산시스템과 관련된 연구로는 1995년 한국 기계연구원 선박해양공학연구센터 주관으로 블록 조립 과정을 지원할 수 있는 공정 계획 시스템 개발 연구 등 생산 관리의 일부 분야에 대한 연구가 있었지만 본격적인 연구는 대형 조선소에서 독자적으로 생산계획 시

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

시스템을 구축하는 연구로 진행되었다. CSDP 프로젝트는 현재 한국의 여러 조선소에 도입되어 있는 생산 계획 시스템의 시초가 되는 연구사업이라고 할 수 있으며, 이 프로젝트 이후 민간 대형조선소 중심으로 이루어진 생산계획 시스템 구축 프로젝트가 이어졌다.

민간 대형조선소가 주도한 연구의 대표 사례는 대우조선에서 한국과학기술원과 산학협력 연구로 이루어진 '대우조선의 일정관리 전문가시스템(DAewoo shipbuilding Scheduling, DAS)의 개발' 프로젝트라고 할 수 있다. DAS 프로젝트는 전문가 시스템 기술을 중심으로 조선 생산계획 전 분야에 적용되는 시스템을 구축하는 것을 목표로 하였으며, 시스템은 탑재 일정 계획을 수립하는 DAS-ERECT, 평블록 조립 일정 계획을 수립하는 DAS-PANEL, 곡 블록 정반 일정 계획을 수립하는 DAS-CURVE 등의 계획 시스템이 개발되었다.

DAS 시스템은 UNIX 기반 워크스테이션에서 구동되도록 구축되어 계획 전문가의 지식을 알고리즘화 하여 생산계획 수립에 적용할 수 있도록 하고, 그래픽 사용자 인터페이스를 제공을 통해 사용자 편의성을 높이는 등 현재 사용되는 조선 생산계획 시스템의 주요 기능의 원형을 제시하기는 하였으나, 시스템 구축 당시 컴퓨터 연산 능력의 한계와 전문가 지식의 데이터화의 어려움 등의 원인으로 실제 프로젝트가 목표하였던 수준으로 계획 업무에 광범위하게 적용되지는 못하였다.

대우조선은 DAS 프로젝트 이후 외부 기관과 협력을 통한 대형 프로젝트 보다는 생산 계획 조직 내부에서 계획자가 직접 작은 규모의 개발을 통해 Microsoft DOS 기반의 PC 상에서 운영 가능한 프로그램들을 개발하여 사용하다가, 1990년대 말부터 2000년대 초까지 대우그룹 연구 기관인 고등기술연구원과 조선소 자체 연구조직의 참여하여 '대우조선 통합생산계획시스템(Daewoo shipbuilding Integrated Planning System, DIPS) 개발' 프로젝트를 통해 본격적인 생산계획 수립 시스템을 연구 개발하기 시작하였다. DIPS 시스템 개발 프로젝트의 목표는 DAS 프로젝트의 실패 사례를 반복하지 않기 위해 (1) 통합데이

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

터베이스 구축 (2) 실사용 가능한 사용자 환경 구축 (3) 전문가 시스템이 아닌 공중별 부하 평준화를 위한 최적화 알고리즘 개발을 목표로 하였다.

박주철, 옥철영 et al. (1995)은 현대중공업과 울산대학교의 산학협동연구과제를 통해 조선소의 조선기본계획을 편성하기 위한 시스템(Capacity Requirement Planning System)을 개발하였다. 개발 시스템은 조선소의 선표를 결정하기 위한 지원 시스템으로, 기존에 일부 전산화된 프로그램을 선표계획 전문가의 경험에 의존한 수작업으로 진행하던 선표계획 업무의 계획수립기간과 노력을 절감하고, 영업 및 생산 측면의 제약을 고려한 최적화된 선표계획안을 제공하는 전산시스템 개발을 목표로 하였다.

1990 년대에 본격적으로 생산관리 및 일정계획 업무에 전산 시스템을 도입하기 위한 연구 개발이 이루어졌다는 점에서는 큰 진전이 있었으나, 개발된 시스템이 생산계획 업무에 실질적으로 적용되지는 못하였다. 그 원인으로는 일정계획 수립을 위해 전사적으로 관련 업무 프로세스와 데이터의 표준화가 이루어지지 못하였고, 이에 따라 일정계획 수립을 위한 통합 데이터베이스 구축도 이루어지지 못한 상태였다. 이와 같은 상황에서 대우조선의 DAS 프로젝트와 같은 대형 프로젝트가 수행되었지만, 시스템 운영을 위해 필요한 데이터를 전사적으로 구축된 통합 데이터베이스를 통해 입수하지 못하고 일일이 계획 담당자가 입력을 해야했고, 그 데이터 입력 방법도 사용자 편의성이 충분히 제공되지 못하였기 때문에 실제 일정계획 수립 환경에서 시스템의 기능을 충분히 활용할 수 없었다. 또한, 당시 전산 기기의 성능이 현재에 비해 많이 낮은 수준이었기 때문에 시스템 설계상의 기능을 충분히 구현하기 어려웠다는 점도 한계점으로 볼 수 있다.

1.3.1.3 2000 년대 이후

ERP 시스템 도입

2000 년대에 들어서면서 국내 조선소에도 1997 년 한국 경제에 불어닥친 IMF 사태의

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

영향으로 국제 표준에 맞는 재무회계와 원가관리 시스템의 도입의 필요성이 제기되었고, 이를 위해 업무 절차를 혁신하고 선진 업무프로세스를 적용하기 위한 PI(Process Innovation) 활동과 이를 통한 ERP 시스템 도입이 추진되었다.

기업이 ERP 를 도입하는 것은 일하는 방식을 혁신하고 ERP 시스템에 내재하여 기업에 정착시킨다는 것으로 일하는 방식을 혁신하는 목표는 빠르고 정확하게 일을 할 수 있도록 하되, 그 기준은 ERP 소프트웨어에 탑재된 'Global Standard Process'가 되도록 하는 것이다. ERP 의 'Global Standard Process'는 ERP 소프트웨어 제조사가 오랜 기간동안 유럽 또는 미국 기업들의 일하는 방식을 정보시스템의 기능으로 구현한 것이다.

일을 '빠르게' 한다는 것은 개인의 단위 작업을 빠르게 처리한다는 의미라기 보다, 일의 절차를 간소화한다는 의미이다. 일의 절차를 간소화하기 위해서는 하지 않아도 될 일을 제거하는 것이 필요하다. 특히 여러 조직이 관련된 일에서 사전/사후 통제를 위한 보고와 승인 업무가 ERP 시스템을 통해 이루어지도록 함으로써 불필요한 대기 시간을 제거하도록 하였다.

일을 '정확하게' 한다는 것은 기존에 필요하지만 하지 않았던 일을 한다는 의미이다. 이를 위해서는 기존에는 업무 담당자가 인식할 수 있는 수준의 기록만 남기던 수준에서 업무 절차에 관련된 다른 조직이 필요로하는 데이터까지 입력해주어야 한다.

기업이 처음 표준 프로세스를 설계할 때는 각 조직의 업무를 효율적으로 수행할 수 있도록 합리적으로 결정하였으나, 시간이 지나면서 기업 활동의 결과로 각 조직 또는 업무의 특수한 요구사항에 따라 프로세스를 조금씩 변경하다 보니 나중에는 표준과의 괴리가 점차 커지게 된다. 이와 같이 표준과 괴리가 생긴 업무 절차를 변경하는 것을 '개선'이라고도 하고, 큰 폭으로 변경하는 것을 '혁신'이라고도 할 수 있다.

조선소에서 ERP 를 도입하면서 조선업의 상황에 따라 복잡하게 변경된 절차를 따르기 보다는 ERP 소프트웨어에 정의된 업무 절차를 'Global Standard Process'로 인정하고,

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

기존의 업무 절차를 ERP 소프트웨어의 업무 절차에 따라 일을 처리하도록 하는 것을 목표로 하였다.

기존에 익숙한 업무 절차를 ERP 도입과 함께 'Global Standard Process'로 변경하게 되면 그 절차가 적절한 절차라 하더라도 업무 담당자 뿐 아니라 업무를 승인하고 통제하는 관리자도 불편하게 되는 것이 통상적인 상황이다. 이러한 인식하게 조선소에 ERP 를 도입하면서 이에 따르는 불편함을 당연히 수반되는 절차로 여기고 극복하고자 하였으나, 표준 절차와 차이가 큰 업무에 대해서는 대규모의 비표준 절차를 지원하는 프로그램을 개발하게 되었다.

조선의 특성을 완전히 무시하고 ERP 틀에 맞추려는 시도는 많은 부분 조선에 적절하지 않은 것으로 결론이 나서 ERP 표준 기능보다 자체 개발 기능을 추가하는 방식으로 진행되었다. 생산분야, 특히 생산계획 분야가 ERP 모듈을 그대로 사용하기 어려웠기 때문에 ERP 도입 조선소들은 ERP 에 생산계획 결과를 제공할 수 있도록 별도의 생산계획 시스템을 개발하여 ERP 와 연동할 수 있도록 하였다.

대우조선해양은 2004 년 조선업계 최초로 프로세스 혁신 프로젝트를 수행하고 SAP R3 ERP 를 도입하였다. 2002 년초 태스크포스팀을 신설하면서 시작된 대우조선해양의 ERP 도입 프로젝트는 빅뱅 방식을 통해 전사의 프로세스를 대상으로 전면적으로 ERP 시스템을 적용하였고, ERP 와 더불어 공급망관리, 인적자원관리, 제품개발관리, 지식경영 시스템을 통합한 시스템으로 구축하였다.

ERP 에 생산계획 정보를 담아 전사의 기준정보로 사용할 필요가 있지만, ERP 자체에 내장된 생산계획 수립 기능으로는 복잡한 선박 건조 과정의 생산계획 수립을 위한 요구사항을 충족시킬 수 없었다. 이에 대우조선해양은 기존에 자체 개발하여 사용하던 생산계획시스템(DIPS)을 ERP 와 병행하여 운영할 수 있도록 재구축하는 전략을 사용하였다.

이후 현대중공업은 2004 년, 삼성중공업은 2005 년 각각 약 2 년간의 PI 프로젝트를 통

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

해 ERP 시스템을 도입하였으며, 이 과정에서 생산계획 시스템의 도입에는 대우조선해양과 유사하게 별도의 생산계획 시스템을 구축하여 ERP와 연동하는 전략이 적용되었다.

조선소에 ERP 도입하는 프로젝트는 대규모 자금이 투입된 프로젝트이기는 하나, 학술적으로 연구하거나 그 결과에 대해 분석하여 논문으로 발표된 것은 거의 없다.

대형 국책과제 추진

조선소별로 ERP 도입을 통해 복잡한 업무 프로세스를 혁신하고 전사 데이터를 표준화하고 전사의 시스템을 ERP 시스템 중심으로 통합하며 필요한 시스템을 업그레이드하는 가운데, 시뮬레이션 기반의 디지털 조선소 구축을 위한 대규모 국책과제들이 추진되었다. 해당 국책 과제들은 조선소 전체를 디지털화하고 디지털화한 조선소를 통해 생산 전과정을 실제 생산 전에 시뮬레이션하여 실제 생산에서 발생할 수 있는 문제를 해결하고 효율적인 생산이 이루어질 수 있도록 하는 것을 목표로 하였다. 글로벌 금융위기 이후 생존에 어려움을 겪고 있는 중소형 조선소의 생산 관리 역량을 강화하기 위한 연구와 차 산업혁명의 대두로 발전된 ICT 기술을 조선소에 적용하기 위한 연구도 산학연의 참여로 수행되었다.

2000년대 초반에 약 4년 동안 산업자원부 지원으로 서울대 및 삼성중공업에 의해 진행된 ‘고부가가치 선박 개발용 디지털 통합건조 공법 개발’ 프로젝트에서는 선박 생산 전 공정에 대하여 디지털 조선소를 구축하였고, 당시 병목 공정 및 물류 흐름에 대한 분석, 수립된 일정에 대한 예측 및 검증에 대한 연구가 이루어졌다. 디지털 선박 생산 기법을 이용하여 조선소의 제품, 공정, 리소스 및 일정에 대한 가상 모델링을 수행하고 조선소의 현재 상황 파악 및 미래 상황을 예측하는데 도움을 줄 수 있는 시스템 구성을 제안하고 사례를 도출하였다.

다음 국책사업으로 진행된 조선 분야 생산 시뮬레이션 과제는 2010년부터 2015년까지 한국해양과학기술원(KRISO; Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering)

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

주관으로 한진중공업 대상의 시뮬레이션 기반 선박 및 해양플랜트 생산기술 개발 (Simulation-based Production Technology for Ships and Offshore Plants, project no.: 10035331) 과제이다(Heo et al. 2013; Hwang 2013; Hwang and Gong 2011; Lee et al. 2014; Ruy et al. 2015). 이 과제의 가장 큰 특징은 생산 시뮬레이션과 관련된 원천기술 확보를 위해 시뮬레이션의 기반이 되는 커널의 국산화라고 할 수 있다. 과제를 통해서 크레인 리프팅 시뮬레이션, GIS 기반 안벽 시뮬레이션, 트랜스포터 물류 시뮬레이션, 중일정 상호검증 시뮬레이션에 대한 커널이 개발되었고 이를 기반으로 하여 한진중공업 현업에서 필요로 하는 응용프로그램이 개발되어 적용이 되었다. 다만, 갑작스러운 조선경기 침체로 인하여 다수의 조선소가 참여하지 못하였고 유일한 참여조선소인 한진중공업 또한 연구개발에 많은 노력과 관심을 기울이기가 어려웠던 점은 아쉬움으로 남는다.

2010년대 중반 이후 조선소 생산 분야의 과제로는 중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리 시스템 개발(Development of simulation based production management system for middle-sized shipbuilding companies, project no.: 10050495) 과제가 있다. 이 과제는 2010년 이후로 생존에 어려움을 겪고 있는 중소형 조선소의 공급관리 역량, 특히 생산관리 역량을 강화시키기 위한 목적으로 생산관리의 PDS 사이클 중 SW 의존도가 높은 생산계획 부분에 대한 shipbuilding APS를 개발하고 계획을 검증할 수 있는 DES 시뮬레이션 체계를 확립하는 내용으로 추진이 되고 있다. DES 시뮬레이션 부분은 앞서 소개한 10035331 과제의 생산계획 검증 시뮬레이션 부분에서 개발되었던 커널을 기반으로 기능과 체계를 업그레이드 하는 내용을 담고 있다.

ICT 융합 Industry4.0^s(조선해양)사업은 기존 조선해양 분야의 정부지원정책과 다르게 ICT 및 SW 정책을 추진하는 과학기술정보통신부, 정보통신산업진흥원이 조선해양 업계와 협력하여 본 과제를 추진한다는 점을 특징으로 볼 수 있다.

R&D 과제 추진에 있어, ICT와 조선해양의 성공적인 협업을 위하여 총괄책임자인

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

PC(Project Coordinator, 서울대 신중계 교수) 및 5 개 분과별 PM(Project Manager, 조선분야 전문가)을 기획위원회 선임 하고 ICT, SW 적용 시 현업의 환경 및 수요를 제공하기 위하여 기획, 전문컨설팅, 현장평가 등을 추진하고, 조선 3 사 CTO, 중소기업기자재 기업대표, 표준, 인증기관, ICT, SW 전문기관 대표가 참여하는 운영위원회를 통하여 현장변화에 따른 정책추진 방향 논의, 제품의 품질경쟁력 확보를 위하여 SW 품질관리 기관을 선정 하는 등 R&D 결과물의 현장 활용성을 높이기 위한 다양한 지원을 추진하였다.

1.3.2 분야별 연구 사례

1.3.2.1 생산계획 체계 관련 연구

WBS 체계

조선 산업에서 생산계획 및 관리 기술은 초기에 WBS (Work Breakdown Structure)를 중심으로 이루어졌다. 선박을 하나의 프로젝트로 고려하여 프로젝트 전체 작업 범위를 정의하고 관리를 수행하는 WBS 개념이 조선 산업에 도입되면서 엔지니어링 정보를 체계적으로 관리하는 것에 관심을 가지기 시작하였다. 1970년대 미 해군은 함정을 획득하는 과정에서 데이터를 모으고 관리하기 위하여 SWBS (Ship Work Breakdown Structure)를 도입하여 사용하였다. SWBS는 함정을 기능 중심으로 분류하여 선각, 추진, 전장, 의장 등을 관리하였다. 그렇지만 기능 중심의 작업 분류는 자재, 인력, 일정 등을 자세히 관리하는데 너무 큰 단위였기 때문에 효과적이지 못하였고, 선박을 구성하는 자재, 조립품을 중심으로 작업을 분류하는 방식에 관심을 가지게 되었다. 이에 1980년대 일본의 Ishikawajima-Harima Heavy Industries(IHI)에서는 제품 중심의 WBS인 PWBS(Product Work Breakdown Structure) (Okayama, Chirillo 1980)를 개발하여 상선 건조를 위한 WBS 개념을 확립하였다. 이후 PWBS 개념을 적용 및 확장하는 방향으로 연구가 수행되었다. 대표적으로 제품을 중심으로 Stage, Work type 을 결합하여 하나의 WBS로 표현한

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

GPWBS (Generic Product-oriented Work Breakdown Structure) 연구(Koenig, MacDonald et al. 1997), WBS 를 통해 건조 비용을 추정한 연구(Ennis, Dougherty et al. 1998) 등이 있었다.

공급망 관리와 APS 시스템

공급망(supply chain)이란 어떠한 제품에 대하여 최종 수요자인 고객에게 제품을 전달하기 위한 모든 과정에서 연계되는 다양한 조직간의 물질, 정보, 자본의 흐름을 말한다. 조선 산업의 공급망은 하나의 완제품을 완료하는데 걸리는 시간이 매우 길기 때문에 매우 복잡한 프로세스로 알려져있다. 또한, 최근에는 선박과 함께 의장품의 개수가 수만에서 수십만개에 이르는 해양플랜트를 건조하면서 구매 조달을 넘어 아웃소싱에 따른 협력사와의 생산, 설계, 물류 등의 협업체계 구축의 필요성이 증가하였다. 이에 정보와 물류 흐름의 총체적 관점에서 시스템을 통합해야 한다는 공급망 관리가 더욱 중요해졌고, 이에 관련하여 아래와 같은 연구들이 수행되었다.

미국 조선 산업의 공급망 관리 향상을 위해 자동차, 항공 등의 기타 관련 산업과 해외 조선소 공급망 관리의 우수 사례 분석을 수행한 연구가 있었고(Fleischer, Kohler et al. 1999), 조선 산업이 해당되는 ETO 산업의 공급망 관리 적용을 위한 산업 특성 분석 연구(Hicks, McGovern et al. 2000), 조선 산업과 같은 일회성 프로젝트 환경에서 공급망 전략을 선택하는 방법에 대한 연구(Sanderson, Cox 2008) 등이 있었다. 또한, 조선 산업의 공급망 관리의 역할과 적용을 위한 이슈 및 극복해야 할 장벽에 관련한 연구(Mello, Strandhagen 2011), 조선소 공급망 분석 및 공급 업체 선정과 관련한 방법론을 연구한 사례(Vlachakis, Mihiotis et al. 2016) 등이 있었다.

공급망 관리의 개념이 적용되기 이전부터 기업들은 ERP 시스템을 통해 기업 내 생산, 물류, 재무, 회계 등의 다양한 프로세스를 연계하고, 정보 및 자원을 공유해왔다. 그러나 하나의 기업이 아닌 다양한 기업이 제품 개발에 참여하면서 공급망 관리의 중요성이 커

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

지고, ERP가 생산계획 및 스케줄링 측면에서 리소스의 용량을 고려하지 못한다는 점과 리드 타임이 고정값이라는 한계가 존재하자 계획 프로세스를 관리하기 위한 새로운 시스템을 필요로 하였다. 이때 등장한 시스템이 APS이다. APS는 공급망 전체에 대한 계획을 대상으로 하는 통합 계획, 다양한 계획 문제에 대한 대안, 목표 및 제약조건을 고려한 최적화, 통합 계획과 최적화를 함께 고려하는 계층적 계획 시스템이라는 특징을 가지고 있다(Stadtler, Kilger 2008).

APS와 관련하여 Fleischmann, Meyr (2003)는 공급망을 분석하여 APS 구조 및 모듈을 정의하는 연구를 수행하였고, Zoryk-Schalla, Fransoo et al. (2004)는 APS 시스템에서 계획 프로세스 모델링에 대하여 구체적인 사례 연구를 통해 정의하였다. Rudberg, Thulin (2009)는 APS가 전술적(tactical) 공급망 계획을 지원하는 방법을 스웨덴 기업에 대한 사례 분석을 통해 제시하였다. 조선산업 외 타 산업에 대해서는 APS의 개념을 응용하여 정유 산업(refining industry)에서 원유 조달 계획에 대한 의사 결정 지원 시스템(decision support system)을 개발한 연구(Kallestrup, Lynge et al. 2014), 자동차 산업의 계획과 스케줄링에 활용하기 위한 프레임워크를 제안한 연구(Staeblein, Aoki 2015) 등이 있었다.

하지만, 조선 산업의 공급망 관리를 고려한 생산계획 측면에서 APS를 고려하여 수행한 연구 사례는 제한적이다.

조선소 자체 생산계획 시스템 개발

1990년대 이후에는 원가 우위와 설비 확장 등으로 글로벌 시장에서 경쟁력이 높아진 한국의 조선소를 중심으로 생산계획에 대한 사례 연구가 수행되었다. 특히 선박을 구성하는 블록에 대한 공정인 탑재, 조립, 가공 등의 연구가 주로 수행되었다. 전문가 지식을 적용하여 탑재와 조립 공정 등에 대한 생산계획 시스템을 개발한 사례(Lee, Lee et al. 1995), MIAS(multiple intelligent agent system)를 활용하여 조선소 야드 내 블록 공정을 통

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

합하는 프로토타입 시스템을 개발한 사례(Choi, Park 1997), 블록의 조립 공정에 대하여 부하를 고려한 통합 공정 계획 및 스케줄링 시스템을 개발한 사례(Cho, Oh et al. 1998) 등이 있었다. 또한, 블록이 조립되는 공간인 Bay 에 블록을 배치하는 방법에 대한 일정 계획 시스템을 개발한 연구(Park, Lee et al. 1996)도 있었다.

그러나, 기존의 생산계획 연구들은 특정 문제를 중심으로 계획 및 스케줄링 작성 및 관리에 초점을 맞추고 있으며, 조선소 전반의 생산계획을 위한 프로세스 체계화 및 시스템 개발에 대한 연구는 부족한 상황이다.

1.3.2.2 생산계획 최적화 관련 연구

일정계획 분야에서 최적의 일정을 수립하고자 하는 노력은 계획자들 뿐 아니라 조선소의 관리자와 경영자들의 오랜 관심사였다. 하지만, 최적의 일정계획 수립을 위해 많은 연구가 이루어져 왔지만, '최적의 일정'이 무엇인지를 정의하는 것 자체가 어렵고, 복잡한 생산의 자원들에 대한 일정 계획을 하나의 지표로 표현하여 이 지표에 대해 최적의 해를 구하는 것은 매우 어려운 일이다. 일정 최적화는 목적함수의 값을 평준화 하거나, 최대 혹은 최소의 값을 찾는 것이라고 할 수 있으며, 그 동안 유전 알고리즘, 시뮬레이티드 어닐링, 제약만족기법 등의 기법을 조선 생산 계획에 적용하기 위한 연구가 다양하게 수행되어왔다.

유전 알고리즘

유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 자연세계의 생물 유전학에 기본 이론을 두며, 병렬적이고 전역적인 탐색 알고리즘으로서, 다윈의 적자생존 이론을 기본 개념으로 한다. 초기집단을 구성한 후 각 개체간의 교차변이와 돌연변이를 통해서 가장 좋은 해를 찾아가는 일종의 탐색기법이다. 교차변이는 복제를 통해 생성된 새로운 모집단의 가능 계획

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

안들을 대상으로 새로운 가능 계획안을 만들어내는 연산을 수행하며, 돌연변이 연산자는 탐색가능한 해의 범위를 넓히고, 해가 국부최적해에 빠지지 않게 하기 위해 사용된다. 유전 알고리즘은 이들 연산자들을 통하여 가능 계획안들로부터 적합도가 우수한 계획안들을 골라 이들만으로 새로운 모집단을 구성하고 이를 반복하여 가장 좋은 해를 찾아가는 방식이다.

대부분의 최적화 문제들은 탐색영역에 있어서 많은 변수와 비선형성의 복잡한 문제로 구성되어 있어 해를 구하는데 많은 어려움이 있다. 특히 조합 최적화 문제에 있어 문제의 크기가 커질 때 문제의 복잡성이 기하급수적으로 증가하는 NP-Hard 문제에서 수리적 최적해를 구하는 것은 시간적 제약으로 인해 현실적인 문제에 적용하기 어려운 것으로 알려져있다. 이를 극복하기 위해 빠른 시간 내에 최적해에 가까운 근사 최적해(near optimum solution)을 구하는 방안들이 연구되었고 유전 알고리즘도 근사 최적해를 구하는 방법의 하나로 사용되고 있다.

조선 일정계획 분야 관련 연구는 주로 탑재 공정에 대해 탑재 네트워크를 자동 생성하거나, 탑재 부하 평준화를 고려한 일정 자동 수립 등의 연구가 이루어졌으며(이재원, 김훈주 1995, 민상규, 이민우 et al. 2000), Skid Conveyor 로 이루어진 소조립 작업장에 대해 작업 대상물의 투입시점과 투입량을 결정하는 작업일정계획을 수립하는 문제에 유전 알고리즘을 적용하여 최종작업완료시간(Makespan)을 최소화하는 방법에 대해 연구하였다(배희철, 박경철 et al. 2007).

제약 만족 기법

제약만족문제(CSP; Constraint Satisfaction Problem)는 주어진 제약조건을 만족하는 가능해를 찾는 것을 목적으로 하는 문제이며, 제약만족기법은 CSP 의 해를 구하는데 사용되는 방법을 말한다. 제약만족문제는 변수(Variable), 변수에 할당 가능한 값의 집합(Domain), 그리고 변수간의 관계인 제약(Constraint)으로 정의한다. 일정계획 문제는 변수

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

와 제약을 이용하여 제약만족문제로 표현할 수 있으며, 이에 대한 해를 구하는 기법은 제약전파(Constraint Propagation), 변수정렬(Variable Ordering), 값정렬(Value Ordering) 등이 있다. 제약만족기법을 이용한 해법은 경영과학에서 널리 사용되어 온 분지한계 방법과 유사하다.

탐재 일정을 제약만족기법을 이용하여 실제 탐재 일정과 관련된 업무 규칙 및 제약을 고려하여 모형화 하고, 이를 통해 탐재 작업 부하를 평준화하는 연구가 이루어졌으며(김기동, 이상복 et al. 2001, 김홍태, 신종계 et al. 2004), 이 연구들을 통해 제약만족기법을 조선산업의 일정계획 업무에 적용하는 것에 대한 타당성을 확인하였다.

인공신경망

선박 건조 공정에 인공신경망 기법을 적용한 연구로는 선체 외판의 곡면 가공 정보를 데이터베이스화하고 이를 기반으로 인공신경망 기법을 적용하여 가공이 필요한 곡외판에 대해 곡가공 정보를 추정하는 연구(조성원 1998)가 있으며, 홍승택, 최진영 et al. (2011)은 신경망 모델을 기반으로 조선소의 조립공장 작업 상태를 효율적으로 판별하는 방안을 연구하였다. 작업현장에서 발생하는 작업진행 관련 데이터를 취득하고, 이 데이터를 가공하여 인공 신경망의 다계층 퍼셉트론 모델에 적용시켜 수집된 현장 데이터를 기반으로 계획대비 실적의 진척도 상태를 예측하거나 문제 공정을 신속히 파악할 수 있도록 하는 방안을 제안하였다.

휴리스틱

휴리스틱 방법론은 계획 전문가의 지식을 활용하여 빠른 시간 내에 적절한 해를 구할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것으로 구해진 해가 최적의 해를 보장하지는 못한다. 하지만, 고려해야 할 제약을 적절히 고려하면서 업무에 적용할 수 있는 수준의 해를 빠른 시간 내에 구할 수 있는 알고리즘을 제안할 경우 실제 업무에 쉽게 적용이 가능하다는 측면에

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

서 긍정적인 면이 있어 많은 분야에 적용되고 있다.

일정계획에 휴리스틱을 적용한 사례로는 안벽 배치계획, 작업자 부하 평준화, 의장/도장 작업장 부하 평준화 등 다양한 사례가 있다. 도크 혹은 육상 선대에서 탑재 완료한 후 진수된 선박은 의장, 도장, 시운전 작업 및 인도 준비를 위하여 안벽에 장기간 계류해 둘 필요가 있는데, 선박을 안벽에 배치하는 계획은 납기, 작업공기, 작업자의 수, 가용설비, 작업순서, 기상과 같은 제약조건을 고려해야 하는 문제이다. 휴리스틱을 적용한 알고리즘은 조선소 내부에서 개발하여 업무에 적용하는 경우가 많고 연구 논문으로 발표되지 않는 경우도 많아 발표된 연구보다 더 많은 사례가 있을 수 있다.

안남수, 강자영 et al. (2007)는 안벽 계획을 LP relaxation 방법을 적용하여 총 비용 최소화를 목적함수로 하는 해를 구하였다. LP 문제를 풀기 위해 CPLEX10.1 을 사용하였고, 통상적으로 업무에 사용하는 수준(Pentium 4 2.6GHz, 2GB RAM)의 PC 에서 빠른 시간 내에 해를 구할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

여성주, 정인성 et al. (2008)은 안벽 배치계획 문제가 여러 제약조건을 고려해야 하는 NP-Hard 문제이므로 수학적 모델링을 기반으로 하는 LP 를 이용한 최적해 도출에 어려움이 있으므로, 전문가 노하우를 Rule 기반의 휴리스틱 알고리즘을 구성하여 업무 효율을 높을 수 있는 방안을 연구하였다.

생산일정 최적화를 위한 다양한 연구는 대부분의 경우 실제 계획 수립 업무에 적용되지 못하였는데, 연구 대상이 생산계획의 일부 - 예를 들어 탑재 네트워크 최적화, 조립공장 작업 최적화 등 - 문제만을 대상으로 알고리즘을 개발하는 수준이었기 때문에, 실제 생산계획 수립 시 여러 공정을 고려할 때 특정 공정만을 최적화한 일정계획을 채택하기 어려운 경우가 많고, 개발된 알고리즘도 특정 조건을 가정한 경우가 많아 생산계획 수립 시 다양한 조건에서 활용하기 어려웠다. 또한, 조선 생산 일정계획은 계획 대상 기간이 길고 일정계획을 수립해야 할 액티비티의 수가 많고, 고려해야 할 생산 자원과 제약도 다양

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

하기 때문에 최적화를 위해 매우 복잡하고 많은 연산을 수행해야 하나 당시 전산 기기의 성능으로는 하나의 문제를 풀기 위해 수 시간 단위의 긴 시간이 소요되는 문제가 있어 실제 업무에 적용에 어려움이 있었다.

이에 더해, 생산일정계획 최적화 알고리즘 개발은 생산계획 업무에 대한 지식 뿐만 아니라 전산 프로그래밍 기술과 일정 최적화 기술까지 갖춘 고급 연구원 수준을 필요로 하였기 때문에 일반적인 생산계획 담당자가 필요에 따라 다양한 상황에 적용을 해보기 어려웠다는 점도 다양한 최적화 연구가 실제 업무에 적용하는데 어려움을 주었다.

1.3.2.3 생산 시뮬레이션 관련 연구

컴퓨터를 이용한 제조 시뮬레이션의 역사는 1970년대 초반부터이지만 본격적으로 제조에 대한 컴퓨터 시뮬레이션이 활성화 된 것은 컴퓨터 하드웨어의 발전과 소프트웨어 기술의 향상에 의해 실제 제조 시스템의 거동을 가상 환경에서 모사할 수 있는 1990년대 후반부터라고 할 수 있다. 제조업에서의 컴퓨터 시뮬레이션을 선도적으로 적용한 업종은 항공과 자동차, 전자 업종 등 3D CAD의 적극적인 도입과 자동화 수준이 높은 업종으로 볼 수 있다. 반면에 조선업의 경우에는 글로벌 표준으로부터 고립된 IT 환경과 함께 공정의 자동화 또한 낮은 수준이었기 때문에 컴퓨터 시뮬레이션의 적용 또한 뒤쳐질 수 밖에 없었다.

그럼에도 불구하고 대다수 국내 제조기업들의 경우 시뮬레이션을 포함한 IT 관련 best practice를 외국 기업으로부터 도입하였던 반면에) 조선업의 경우에는 글로벌 정상을 모두 우리나라 조선소들이 점유하고 있었기 때문에 범위를 조선업으로 한정시킨다고 한다면 시뮬레이션과 관련된 대부분의 레퍼런스들은 국내 조선소들 또는 국내 학계와 연관이 되어 있다고 볼 수 있다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

단편적으로는 몇몇 조선소에서 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 가상 공장에 대한 연구가 1980년대부터 수행되어 왔지만 디지털 생산이라는 진보된 개념으로 본격적인 조선소 시뮬레이션 연구가 시작된 최초의 사례는 산업자원부 지원으로 2001년부터 2004년까지 진행되었던 고부가가치 선박 개발용 디지털 통합건조 공법개발 과제 (Integrated Digital Shipbuilding Technology for Development of High value-added Ship, project no.: 00016038) 라고 할 수가 있다. 서울대학교를 주관으로 삼성중공업을 대상 조선소로 하여 진행되었던 해당 과제에서는 3D Kinematic simulation 과 DES simulation 소프트웨어를 이용하여 조선소의 모든 공정에 대한 디지털 모델을 구축하였고 판넬라인, 가공공장(fabrication factory), 옥외공정(outdoor-yard production processes) 등에 대해서는 조선소의 생산관리 업무와 연동하여 사용할 수 있는 시스템을 구축하는 연구가 진행되었다. 세계 최초로 조선소 전 공정을 대상으로 디지털 모델을 구축하고 다양한 usecase 를 도출함으로써 향후 디지털 조선소의 고도화를 위한 방향성을 제시하였다는 점에서 높은 의의를 지니고 있는 과제라고 할 수 있다. 다만, 외산 시뮬레이션 소프트웨어에 대한 의존도를 탈피하지 못한 점은 향후 소프트웨어의 국산화 필요성에 대한 과제를 남겨두는 계기가 되었다.

다음 국책사업으로 진행된 조선 분야 생산 시뮬레이션 과제는 2010년부터 2015년까지 한국해양과학기술원(KRISO; Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering) 주관으로 한진중공업(Hanjin Heavy Industry and Construction) 대상의 시뮬레이션 기반 선박 및 해양플랜트 생산기술 개발(Simulation-based Production Technology for Ships and Offshore Plants, project no.: 10035331) 과제이다. 이 과제의 가장 큰 특징은 생산 시뮬레이션과 관련된 원천기술 확보를 위해 시뮬레이션의 기반이 되는 커널의 국산화라고 할 수 있다. 과제를 통해서 크레인 리프팅 시뮬레이션, GIS 기반 안벽 시뮬레이션, 트랜스포터 물류 시뮬레이션, 중일정 상호검증 시뮬레이션에 대한 커널이 개발되었고 이를 기반으로 하여 한진중공업 현업에서 필요로 하는 응용프로그램이 개발되어 적용이 되었다. 다만, 갑작스러운 조선경기 침체로 인하여 다수의 조선소가 참여하지 못하였고 유일한 참여조

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

선소인 한진중공업 또한 연구개발에 많은 노력과 관심을 기울이기가 어려웠던 점은 아쉬움으로 남는다.

2010년대 중반 이후 조선소 생산 분야의 과제로는 중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리 시스템 개발(Development of simulation based production management system for middle-sized shipbuilding companies, project no.: 10050495) 과제가 있다. 이 과제는 2010년 이후로 생존에 어려움을 겪고 있는 중소형 조선소의 공급관리 역량, 특히 생산관리 역량을 강화시키기 위한 목적으로 생산관리의 PDS 사이클 중 SW 의존도가 높은 Planning 부분에 대한 shipbuilding APS 를 개발하고 계획을 검증할 수 있는 DES 시뮬레이션 체계를 확립하는 내용으로 추진이 되었다. DES 시뮬레이션 부분은 앞서 소개한 10035331 과제의 생산계획 검증 시뮬레이션 부분에서 개발되었던 커널을 기반으로 기능과 체계를 업그레이드 하는 내용을 담고 있다.

2000년대 들어와서는 생산계획의 정확성을 높이고자 시뮬레이션 기술을 적용한 연구들도 수행되었다. 선박 건조 공정 중 초기 가공 공정에 대한 시뮬레이션을 위해 프로세스 모델링의 데이터베이스를 구축한 연구(Fast 2000), 선박 건조에 시뮬레이션 기술을 적용하는 방안을 제안한 연구(김홍태, 이종갑 et al. 2002), 조립 라인을 모델링하고 시뮬레이션을 적용해 보는 연구(Shin, Lee et al. 2004), 시뮬레이션 기반 조선소 생산 프로세스 모델 구축 및 검증을 수행한 사례(Kim, Lee et al. 2005)가 있다.

직접 생산 공정 외에 블록 물류에 적용하려는 연구도 다수 수행되었다. Woo, Song et al. (2010)은 대우조선해양의 ‘통합 블록 물류계획시스템 개발 과제 (2007~2008)’를 통해서 DES 시뮬레이션을 이용하여 대우조선해양의 중일정 레벨의 야드 블록 물류 시뮬레이션 시스템을 구축하였다. DES 시뮬레이션 소프트웨어로는 Dassault Systemems 의 QUEST 를 이용하였고 중일정 계획 인터페이스를 위해 DELFOI integrator 를 이용하였다. Jeong, Lee et al. (2018)은 동일 조선소를 대상으로 ‘블록운반최소화 시뮬레이션 구축 과

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

제(2016~2017)’를 통해 국내 기업인 지노스에서 개발된 DES 시뮬레이션 소프트웨어인 ShipyardOne 을 활용하여 야드 블록물류 시뮬레이션 시스템을 개발했다. ShipyardOne 은 기존 상용 DES 시뮬레이션 소프트웨어와 달리 프로세스 중심의 모델 구조와 GIS 경로 탐색 모듈 탑재하고 있으며, 반복적으로 변경되는 기준계획 일정 정보로부터 모델 자동 생성 기능을 포함하였다. 또한, 블록을 운반하는 트랜스포터의 이동 경로에 대해 최적 경로를 제시함으로써 블록 물류 비용을 절감할 수 있는 방안이 연구되기도 하였다(차주환, 조두연 et al. 2016).

1.3.2.4 생산계획 평가 관련 연구

생산계획은 조선소의 영업 단계부터 실제 생산이 이루어지는 단계까지 회사의 비전과 전략을 이어주는 주요 프로세스로서 회사의 경영목표를 달성할 수 있도록 체계적으로 수립되어야 한다. 국내 대형 조선소들은 대부분 체계화된 계획 수립 절차와 계획 시스템, 그리고 전문 수행 조직을 갖추고 있다. 현재 대부분의 조선소에서 생산계획은 오랜 기간 생산계획 업무를 수행해온 계획 전문가의 경험에 기반하여, 주어진 생산량을 주어진 일정과 제한된 생산 자원 내에서 생산할 수 있는 수많은 경우의 수 중 하나의 경우를 선택하는 방식으로 이루어지고 있다. 조선소의 경영 상황과 생산 품목의 변화 등 변화에 따라 생산의 목표가 다양하게 변할 수 있어 전사 차원에서 최적의 생산계획의 기준도 변화할 수 있으므로 이에 대응하는 능동적인 생산계획 수립이 필요하다.

하지만, 대부분의 조선소는 비교적 체계적인 생산계획 수립 조직을 가지고 있고 그 안에서의 생산계획 수립 활동에 대한 분업이 잘 이루어져 있지만, 전체적으로 이러한 생산계획들이 어떤 연관성을 가지고 있는지, 전체의 목표가 무엇이고 그 안에서 생산계획 담당자의 생산계획 수립 활동은 어떤 의미를 가지는지 등에 대한 이해는 매우 부족한데, 이

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

종무, 조성원 et al. (2006)는 대부분의 조선소에 통합 계획 프로세스와 통합 계획 시스템의 부재, 현행 생산계획 활동이 계획 수립 결과에 대한 평가와 판단이 체계적으로 이루어지지 않기 때문이며, 생산계획 수립 시 계획 수립 결과에 대한 평가와 판단이 체계적으로 이루어질 필요가 있다고 주장하였다. 이종무 (2007)는 이를 위해 국내 대형 조선소의 생산계획 프로세스를 분석을 통해 생산계획 통합 프로세스를 정의하고 이를 이용하여 생산계획 결과에 대한 평가 체계를 구축할 수 있는 방법론을 개발하였으며, 이 방법론을 통해 생산계획을 바라보는 다양한 관점별로 계획 결과를 평가할 수 있도록 하는 계획 평가 프레임워크를 제시하였다. 제시한 계획 평가 프레임워크는 전사 아키텍처 구축 시 사용되는 자크만 프레임워크를 응용하여 작성되었는데, 계획 단계별 평가 관점별 평가 척도의 정리 및 평가에 대한 핵심 정보를 정보의 추상화(6 하원칙)에 의해 정의하며 다음 그림 2와 같이 3 차원 스키마의 형태로 표현하였다.

		Planning stages					Key Information
		Strategic planning (SP)	Capacity planning (CP)	Master planning (MP)	Operation planning (OP)		Target (What)
Perspectives	Marketing	SP-MKT-001 SP-MKT-002	CP-MKT-001	MP-MKT-001 MP-MKT-002 MP-MKT-003			Method (How)
	Design	SP-DSN-001	CP-DSN-001 CP-DSN-002				Relation (Where)
	Production	SP-MFG-001	CP-MFG-001 CP-MGF-002	MP-MFG-001	OP-MFG-001 OP-MFG-002		Main agent (Who)
	Procurement	SP-PRC-001 SP-PRC-002	CP-PRC-001	MP-PRC-001 MP-PRC-002 MP-PRC-003	OP-PRC-001		Time (When)
	Finance	SP-FNC-001	CP-FNC-001	MP-FNC-001	OP-FNC-001		Object (Why)
	Personnel	SP-PSN-001	CP-PSN-001	MP-PSN-001	OP-PSN-001		

그림 2 조선 생산계획 평가 프레임워크

이승윤 (2012)은 선표계획에 초점을 맞추어 선표계획 단계에서 평가 가능한 평가 항목

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

을 도출하고, 평가 항목에 대한 정량적인 평가를 위하여 계층적분석과정(Analytic Hierarchy Process; AHP) 기법을 적용한 평가 방법론은 제안하였으며, 이상무 (2015)는 초기 선평계획 수립 단계부터 계획에 대한 정량적인 평가를 적용하기 위하여 이종무 (2007)가 제안한 조선 생산계획 평가 프레임워크를 선평계획에 적용하여 구체적인 평가 기준을 제안하였으며, 생산과 설계 데이터가 구체화되지 않은 초기 선평계획 단계에 정식화된 평가 기준 적용 시 데이터의 재활용성과 가용성을 향상시켜 중립적인 생산 정보 관리를 위하여 이동건 (2013)이 제안한 6-Factor 방법론을 이용하여 조선 정보모델을 구축하여 적용함으로써 생산과 설계 데이터가 구체화되는 시점까지 평가 기준이 유지될 수 있도록 하는 방안을 제시하였다.

위에 예시한 조선 생산계획 평가에 대한 연구를 통해 평가 프레임워크를 구축하는 방법론이 제안되었고, 선평계획에 대한 평가를 통해 계획 결과를 정량적으로 평가함으로써 조선소 운영의 의사결정이 계획 담당자의 경험과 직관에 의존하지 않고 정량적 평가 기준으로 의사결정을 할 수 있는 기반이 마련되었다. 다만, 실제 조선소의 생산계획 시스템에 적용되어 조선소에서 생산계획을 수립하고 운영하는 과정에 구체적인 적용이 이루어 지지는 못하였다. 최근 대두되고 있는 디지털 조선소 구축을 위해서는 생산계획의 결과물에 대한 평가가 정량적으로 이루어져야 할 필요가 있으므로(우종훈, 송영주 et al. 2015), 생산계획 평가 방법을 구체화하고 실제 조선소 생산계획 업무에 적용하기 위한 연구가 이어질 필요가 있다.

1.4 연구 목적

생산계획 업무는 조선소 전사 업무 중 기준정보에 해당하는 일정계획을 결정하는 업무로 전사 업무의 일환으로 정의가 필요하며, 생산계획 수립을 지원하는 시스템도 전사

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

적 자원관리 시스템(ERP, Enterprise Resource Planning)과 연동될 수 있도록 개발되어야 한다. 본 논문에서는 조선소 생산계획 업무에 대해 체계적인 업무 프로세스 분석 및 설계 방법론과 소프트웨어 개발 방법론을 적용하여 조선소의 생산계획시스템(Advanced Planning System)을 구축 사례를 제시한다.

위의 생산계획시스템 개발 이전에도 생산계획의 최적화를 위한 자동일정계획 수립 기법에 대한 관심이 높았으며, 이에 따라 유전 알고리즘, Tabu Search, Simulated Annealing, 제약만족기법 등 다양한 최적화 기법을 적용한 사례가 있었으나, 실제 생산계획 업무에 성공적으로 사용되고 있는 기법은 찾아보기 힘들다. 하지만, 최근 인공지능 기술의 발전과 컴퓨팅 파워의 급증으로 다시 자동 일정계획 수립에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 장기계획인 선표계획과 중기계획인 기준계획에 최적화 기법과 인공지능 기술을 접목하여 조선소 생산계획 수립의 자동화에 대한 가능성을 검토하는 것을 목적으로 하였다.

1.5 논문의 구성

2장에서는 조선소 생산의 단계와 생산계획의 단계를 정의하였는데, 기존 연구에서의 정의 중 조선소 실제 업무와 일부 차이가 있거나, 최근 업무에서의 변화가 있는 부분을 고려하여 조정이 필요한 사항에 대해 단계를 다시 정의하였다. 또한, 각 생산계획 단계별로 계획대상, 계획 결과, 제약 사항, 계획 수립 방법을 기술하고 각각에 대해 생산 6요소(6-Factor) 기반의 생산정보모델과의 관련성을 정의하였다.

3장에서는 중견 조선소의 생산계획시스템 개발 프로젝트에 체계적인 업무 프로세스 분석 및 설계 방법론과 소프트웨어 개발 방법론을 적용한 사례를 소개하였다.

마지막, 4장에서는 최적화 기법 및 인공지능 기술을 생산계획 업무에 적용함으로써 생산계획 수립 업무의 효율성 제고의 가능성을 검토한 사례를 나타내었다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

제 2 장

조선소 생산계획 업무 프로세스 분석 및 고찰

2.1 선박건조 생산 단계

조선산업은 대표적인 ETO(Engineering-To-Order) 산업으로 주문주가 선박을 주문하면서 프로젝트가 시작되고, 고객이 주문한 사양에 따라 설계가 진행되는 중간에 자재 공급과 생산이 중첩되어 진행되는 특성을 가진다. 선박의 생산방식은 선박의 종류에 따라 다양하다. 본 연구에서는 상업용 선박(Commercial Vessel, 이하 '상선')의 건조를 대상으로 선박생산의 단계를 정의한다.

상선은 대부분 강철(Steel)을 재료로 하는 강선(Steel Vessel)으로 재료를 용접 작업을 통해 구조물과 주요 의장품을 설치하는 특성을 가진다. 강선의 생산 공정은 선박을 블록 단위로 분할하여 조립한 후 도크(Dry Dock, Skid, 육상 선대, Floating Dock 포함)에서 탑재 작업을 통해 선체를 완성하여 진수 과정을 통하여 물에 띄운 후 안벽에서 의장작업과 시운전 작업을 거쳐 주문주에게 인도되는 과정으로 이루어진다. 과거의 선박 생산 공정과 가장 큰 차이점은 블록건조공법²의 도입이라고 볼 수 있는데, 현대 선박 건조 시 강선 건조의 경우 대부분 블록 건조 공법이 적용되고 있으므로 이 공법에 따라 블록을 제작하

²블록건조공법은 제 2 차 세계대전 중 리버티선(Liberty Ship)의 건조에 도입된 것으로 선박 전체를 블록 단위로 분할하고, 블록 제작과 블록 간의 접합에 용접기술을 적용하여 기존 건조 방식에 비해 건조 기간을 획기적으로 줄일 수 있었다. 미국이 제 2 차 세계대전 중에 건조한 수송선으로 정식명칭은 리버티급 수송선이지만 통칭 '리버티선(Liberty Ship)'으로 불린다. 1941 년~1945 년까지 2,751 척이 계획되어 2,710 척이 건조되었다. 대량생산에 효과적인 포드방식(Fordism)을 건조에 응용해 설계를 단순화하고 리벳대신 용접 기법을 적용했다. 평균 건조 기간은 24 일이나, Roberty E. Peary 호의 경우 공사 시작에서 진수까지 4 일 15 시간 30 분이 걸렸다. (사양 : 배수량 14,245 톤톤(만재), 길이 134.37m, 폭 17.3m, 높이 8.5m, 속력 11 노트, 항속거리 20,000 해리, 승조원 41 명)

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

고 탑재해 나가는 과정을 기준으로 생산의 단계를 정의하고 각 단계별로 필요한 작업을 규명하는 방식을 적용하도록 한다.

생산의 관점을 강선 생산으로 한정하더라도 생산 단계를 구분하는 방법은 다음과 같이 여러가지 관점에 따라 구분할 수 있다.

- 작업장 옥내·옥외에 따른 구분 : 내업/외업, 옥내/옥외
- 작업 유형에 따른 구분 : 절단, 가공, 조립, 의장, 도장, 시운전
- 작업 대상물 크기에 따른 구분 : Assy, 조립 블록, PE 블록, Ring PE 블록, Multi-Ring PE 블록, Mega 블록, Giga 블록, Half-Ship, Module
- 작업 흐름 순서에 따른 구분 : 강재입고, 강재전처리, 강재절단, 곡가공, 조립, 선형 의장, 선형도장, 선형탑재(PE), PE 의장, PE 도장, 탑재, 후행의장, 후행도장, 시운전

주문주와 조선소 간에 선박 계약이 이루어지면 조선소 설계는 계약에 포함된 사양서의 사양을 만족하는 선박을 설계한다. 설계가 이루어진 후 설계된 선박을 건조하기 위해 생산공법은 조선소의 설비를 고려하여 선박을 블록단위로 분할 계획을 수립한다. 블록단위로 분할이 이루어지면 각 블록별로 블록을 구성하는 부재들을 도출하고 각각의 부재를 강판 원자재에 배치하여 절단 과정을 통해 부재를 생산할 수 있도록 생산 정보를 제공한다.

선박 생산 과정은 크게 선체를 형성하는 단계와 선박에 기능을 부여하기 위한 의장 및 시운전 작업 단계로 구분할 수 있다. 선체를 형성하는 단계는 각각의 부재를 용접 작업을 통해 연결하여 조립품을 생성하고, 조립품을 연결하여 블록을 생성하며, 조선소의 탑재 설비(주로 Goliath Crane, Floating Crane 사용)가 인양할 수 있는 최대 크기로 여러 블록을 사전에 탑재하여 대형화하는 단계를 거쳐 도크장에서 각각의 블록과 대형화된 블록을 탑재하여 선박의 선체를 완성시키는 과정으로 이루어진다. 조립품은 몇몇 부재의 조합으로

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

이루어지고 크기가 작은 소조립품에서부터 매우 많은 부재의 조합으로 이루어진 대조립 품까지 여러 단계로 구분할 수 있는데, 보통 대조립품을 블록(소조블록이나 중조블록과 구분이 필요할 때는 ‘대조블록’이라고 하고, PE 블록과 구분이 필요할 때는 ‘조립블록’이라 명시적으로 부름)이라고 부른다.

조선 산업의 생산분야 중 생산관리 및 생산계획 분야의 연구를 위해서는 선박의 건조 과정과 이에 따르는 관리 체계를 구분하는 것이 필수적이다. 남승훈(2018)은 선박 건조 공정을 제품에 따라 강재, 블록, 선박으로 크게 나누고 각 제품별 작업 공정을 다음과 같이 세분화하였다.

표 1. 선박 건조 공정 상세 [남승훈(2018)]

제품	공정	수행 사항
강재	전처리	입고된 강재에 대하여 이물질 제거하고, 녹이 스는 것을 방지하기 위한 페인팅을 수행
	절단	전처리가 된 강재에 대하여 목적 부재로 만들기 위한 절단을 수행
	형강	선박의 구조재로써 사용되는 강재 (Angle, T-Bar, H-Beam, Collar Plate 등)를 구매하여 조립을 위한 절단 및 가공 수행
	곡가공	굽힘이 필요한 부재에 대하여 압력이나 열을 주어 곡면 형상으로 가공
블록	소조립	부재에 대한 용접을 수행하여 선체의 내부재인 거더나 플로어를 제작
	중조립	소조립 부재와 가공된 부재를 용접하여 선체 중앙부의 평블록, 선수와 선미의 곡블록을 제작
	대조립	중조립 블록을 여러 개 용접하여 하나의 블록으로 제작
	선행의장	대조립 블록 내 파이프, 기계 장치, 전기 장치 등을 설치
	선행도장	선행의장 작업 시 블록과 부재에 발생한 부식을 제거하고자 페인팅을 수행
	선행탐재 (PE)	도크/선대에서 탐재되는 블록의 숫자를 줄이기 위해 대조립된 블록의 2~3개를 용접하여 하나의 블록으로 만드는 작업
	탐재	도크/선대에서 PE블록을 순차적으로 올려서 선체를 만드는 작업
선박	후행의장	도크/선대와 안벽에서 선체 내 필요한 파이프, 기계 장치, 전기 장치 등을 설치
	후행도장	선박 전체에 대한 페인팅을 수행
	시운전	선박 내 주요 장비 테스트 및 해상 안전에 관한 주요 테스트

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

실제 선박의 구조를 제작하는 과정은 분할된 블록들이 대형화 과정을 거쳐 탑재되는 블록의 계층 구조에 따라 진행되며, 블록은 부재부터 소조, 중조, 대조의 단계를 거쳐 블록을 형성하는 작업의 계층 구조를 따르게 된다. 각 제품의 제작 단계별로 선각 작업, 의장 작업과 도장 작업이 수반된다. 따라서, 제품의 계층구조 표현과 작업 공정을 구분하되 제품의 단계별로 필요한 공정을 매핑하여 표현할 필요가 있다. 의장에 대해 선행의장, 후행의장으로 구분하고, 도장을 선행도장, 후행도장과 같이 구분하는 것은 작업의 단계와 작업 내용을 혼합하여 업무의 편의성에 따라 호칭을 붙인 것에 불과하다. 아래의 표 2는 제품의 제작 단계와 작업의 종류의 조합을 통해 실제 선박 건조 공정을 나타낸 것으로, 각 제품의 단계별로 해당 작업이 실제 필요한지 규명한 것이다. 일반적으로 선박 건조 과정에서 선행의장이라고 하는 것은 소조, 중조, 블록 단계에서 철철철의장과 배관 작업을 수행하는 것을 의미하며, 후행의장은 PE 블록과 선박 단계에서 철의장과 배관 작업 뿐 아니라 기계 설치, 전기 작업, 계장 작업과 시운전까지를 포함하는 작업을 의미한다.

표 2. 선박 건조 공정의 제품 단계와 작업 종류의 조합

작업 종류 \ 제품 단계		강재	소조	중조	블록	PE블록	선박
가공	전처리	■					
	절단						
	곡가공						
조립	심출		■	조립		선행탑재 (PE)	탑재
	취부						
	용접						
	사상						
의장	철의장		■ 선행 의장			■ 후행 의장	
	배관						
	기계						
	전기						
	계장						
도장	시운전						
	전처리				■ 선행 도장	■ 후행 도장	
	도장						
보수도장							

실제 조선소의 작업은 보다 세분화된 단계와 작업들로 구분이된다. 복잡한 조선소의

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

생산 관리 체계를 표현하기 위해 WBS 체계³를 도입하고 있다.

WBS는 프로젝트를 구성하는 일(Work)을 계층적으로 구분한 각각을 나타내는 WBS 요소와 각각의 WBS 요소가 나타내는 제품이나 기능을 완성하기 위해 필요한 작업들(Activity)로 이루어진다. 작업들은 서로 선후 관계를 가지는 네트워크 형태로 구성므로 액티비티 네트워크(Activity Network)라고 부르며, 액티비티 네트워크는 WBS 요소에 연결된다. WBS 요소와 액티비티 네트워크의 주요 특징을 다음 표에 나타내었다.

표 3. WBS 요소와 액티비티네트워크의 주요 특징

WBS 요소	액티비티 네트워크
<ul style="list-style-type: none"> • 프로젝트를 통해서 ‘무엇(What)’을 달성할 것인가에 대한 규명을 통해 정의됨 • 프로젝트를 구성하는 일(Work)들의 계층 구조 형성 • 일(Work)의 산출물(Deliverables)로서 Product, Service 등의 형태로 정의됨 • 예산, 원가, 일정계획의 정보가 규명되고 집계 되는 단위가 됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 프로젝트를 ‘언제(When)’, ‘어떻게(How)’ 달성할 것인가에 대한 정의를 통해 액티비티를 규명 • 액티비티 네트워크는 액티비티와 액티비티 간의 관계, 소요시간의 정보로 구성됨 • 예산, 일정에 대한 계획을 세우는 세부 정보를 제공 • 원가를 발생시키는 작업 요소가 됨

WBS를 구성하는 방법은 여러가지가 있으나, 일반적으로 조선소에서 WBS 구성은 선체 구조를 형성하는 단계까지는 제품 중심의 구조를 따르는 WBS 요소들의 계층 구조를 형성하고, 선체 구조가 형성된 이후 단계의 작업에 대해서는 작업 구역 혹은 시스템 중심

³ 선박이나 해양구조물과 같은 복잡한 프로젝트에서 프로젝트의 목표를 달성하기 위해 프로젝트를 구성하는 활동과 업무를 보다 작은 단위로 분리하여 관리하기 용이하게 만든 것을 작업분할구조(Work Breakdown Structure, 이하 'WBS')라고 한다. 프로젝트관리지식체계(Project Management Body of Knowledge, PMBOK)에서는 WBS를 '산출물(결과물)을 얻기 위해 프로젝트팀이 수행할 전체 작업을 계층적으로 분할한 것'이라고 정의한다. WBS는 프로젝트의 전체 작업 범위를 프로젝트팀이 이해할 수 있고 관리할 수 있는 크기로 구분하여 시각적으로 정의하고, 각 수준의 WBS는 추가적인 정의와 상세 사항을 제공한다. (참고 : <https://www.workbreakdownstructure.com>)

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

으로 WBS 요소들의 계층 구조를 구성한다. WBS 요소를 생성하기 위해 필요한 작업은 액티비티 네트워크 형태로 구성하는 것이 일반적인데, 기존 조선소에서 작업을 식별하는 방식과 유사하기 때문에 액티비티 체계를 정교하게 구성하여 적용하는 경우가 많다.

다음에 국내 대형 조선사인 D사의 상선 프로젝트에 적용되는 WBS 구조를 예시하였다. 상선 프로젝트는 선박이라는 명확한 제품을 생산하는 프로젝트로 제품의 구조를 형성하는 단계를 '모듈공사'로 구분하고, 제품의 구조가 형성되어 감에 따라 구획이 생성되는 단계에 구획별로 이루어지는 일을 '구획공사'로 구분하였으며, 설치 작업이 완료된 후 시스템별로 진행되는 일에 대해 '시스템공사'로 구분한 것을 확인할 수 있다.

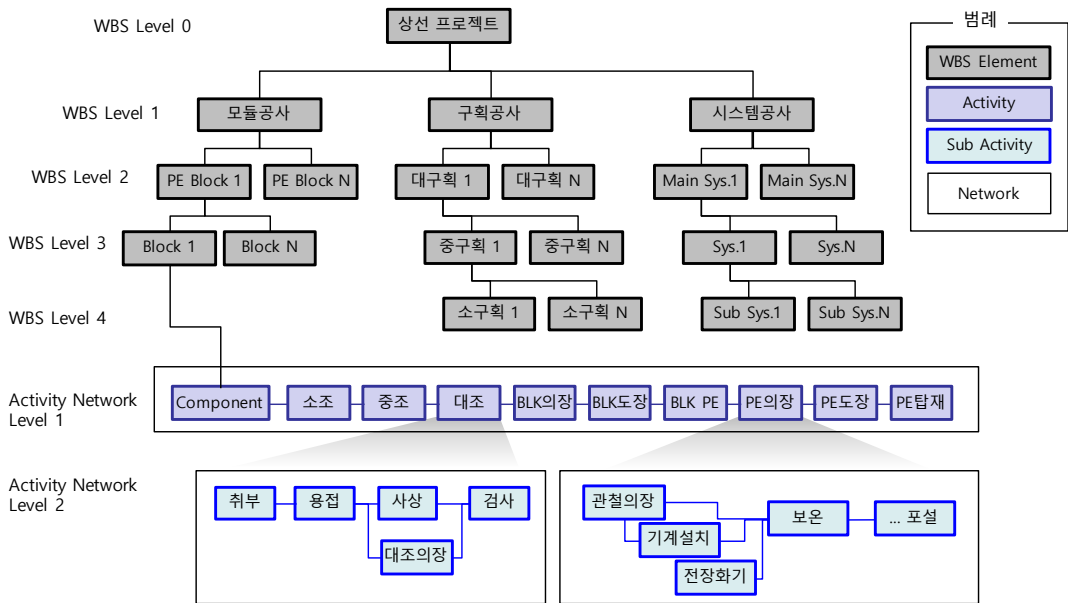


그림 3. 국내 조선소 상선 프로젝트 WBS 구조

모듈공사는 Level 2의 PE Block와 Level 3의 Block으로 세분화하여 계층 구조를 형성하였고, 구획공사는 Level 2의 대구획, Level 3의 중구획, Level 4의 소구획으로 계층

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

구조를 표현하였다. 마찬가지로 방식으로 시스템공사는 Level 2 의 Main Sys., Level 3 의 Sys., Level 4 의 Sub Sys.와 같이 계층 구조를 나타내었다.

위에 예시한 D 사의 WBS 는 각 Level 의 WBS 요소를 단일 계층으로 표현하였으나, 실제 선박 건조 시 한 Level 에 WBS 요소가 복수의 계층으로 이루어지는 경우가 있을 수 있다. 예를 들어 PE Block 의 경우 2~3 개의 블록이 하나의 PE Block 을 형성하기도 하지만, 수십개의 블록이 하나의 PE Block 을 형성하기도 한다. (PE Block 은 PE Block 을 형성하는 블록의 수와 최종 PE Block 의 중량에 따라 대형 PE Block, Ring PE Block, Multi-Ring PE Block⁴, 혹은 Mega Block, Giga Block, Tera Block⁵으로 구분하기도 한다.)

PE Block 외에 Block 보다 하위 Level 인 Assembly(대조립, 중조립, 소조립 포함)도 존재하며 복수의 계층 구조를 이룬다. D 사는 Block 하위 Level 에 대해서는 WBS 요소로 정의하지 않고, 액티비티 네트워크로 정의하였다. 프로젝트를 구성하는 일(Work)을 WBS 요소로 정의할 것인지, 액티비티로 정의할 것인지에 대한 명확한 규정은 없으며, 프로젝트의 성격이나 프로젝트를 수행하는 회사에 따라 적절히 선택하여 사용하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 구조의 가장 세부적인 단계까지 물리적으로 구분 가능한 구조물에 대해서는 WBS 요소로 정의하고, 액티비티 네트워크는 해당 구조물을 생산하기 위한 작업들로 구분하는 것을 기준으로 WBS 를 구성하는 것으로 하였다.

⁴ 대우조선해양이 대형 PE 블록을 구분하는 방식으로, 대우조선해양은 선박의 선수와 선미를 제외한 중앙부를 선박의 길이 방향 기준으로 분할한 형태를 Ring 이라 부르고, Ring 단위로 PE 블록을 형성한 것을 Ring PE Block 이라 하고, 복수의 Ring PE Block 을 합하여 더 큰 PE 블록을 형성한 것을 Multi-Ring PE Block 이라 한다. Multi-Ring PE Block 은 통상 5~7 개의 Ring 으로 구성된다. 동사는 Ring PE Block 은 해상크레인으로 탑재하거나, Modular Transporter 라는 대형 중량물 이동 장비를 사용하여 탑재한다. Multi-Ring PE Block 은 반잠수식 자항선을 사용하여 부양시킨 후 도크에 Redocking 하여 탑재 장소에 위치시키는 공법을 사용한다.

⁵ 삼성중공업이 대형 PE 블록을 구분하는 방식으로, 중량 기준으로 Mega Block 은 2500~3000 톤, Giga Block 은 4000~6000 톤, Tera Block 은 12000 톤 이상의 대형 블록을 말한다. 동사는 대형화된 블록을 1 개 이상의 해상크레인을 연결하여 들어올려 플로팅도크에 탑재하는 공법을 주로 사용한다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

탑재까지의 작업은 작업 대상물이 원재료인 강재(강판, 형강재)가 절단을 통해 부재화 되고, 부재를 조립하여 블록을 형성하고, 블록을 탑재하여 선체를 형성하는 구조 중심의 작업으로 각 단계를 비교적 명확하고 세부적으로 구분할 수 있다. 하지만, 탑재 작업을 통해 선박의 구조가 형성된 후에는 작업 구획과 설치된 장비 시스템별 혹은 시스템간의 연결 작업이 복합적으로 이루어지기 때문에 명확한 작업 구분이 어렵다.

조선소에서 WBS 구조가 중요한 것은 WBS 구조에 따라 설계, 자재, 생산의 모든 관리 행위가 이루어질 뿐 아니라 예산이 분배되고 원가가 집계되는 기준이 되기 때문이다. 또한, WBS 레벨별로 관리의 수준과 업무가 구분되고 있다. 예를 들어 D사의 생산계획 업무의 경우 선포계획은 WBS Level 0 의 WBS 요소인 프로젝트 단위에 대해서 액티비티의 종류(액티비티별이 아님)별 계획을 수립하며, 기준계획은 WBS Level 1 이하의 WBS 요소에 대해 Activity Network Level 1 수준의 액티비티별로 계획을 수립한다. 실행계획은 WBS Level 은 기준계획과 동일하나 조직별로 조직이 담당하는 액티비티의 종류에 대해 Activity Level 2 수준의 액티비티에 대한 계획을 수립한다. 생산계획의 단계 구분과 간 생산 계획 단계별 고려 사항 등에 대해서는 다음 절에서 상세하게 논한다.

2.2 생산계획 단계

선박 생산은 장기간에 걸쳐 복잡한 공정 단계를 거쳐 이루어지기 때문에 생산계획도 여러 단계를 거쳐 이루어진다. 프로젝트 수주 이전 단계부터 실제 생산이 이루어지는 단계까지 여러 관점에서 계획이 이루어지다보니 ‘계획’이라는 용어도 명확히 구분되지 못하고 사용되고 있다. 특히, 생산계획 업무와 관련하여 명확히 구분되지 못하는 용어가 **planning** 과 **scheduling** 이다. 사실상 많은 조직에서 두 가지는 같은 것으로 간주되며, 일부에서 둘 간의 차이를 두더라도 명확히 구분하여 사용되지 못하는 경우가 많다. 두 용어 모두 한국어로는 ‘계획’으로 옮길 수 있다. 하지만, **Planning** 이나 **scheduling** 이나 모두 현재 이후의 경영활동에 대한 의사결정을 ‘계획’의 형태로 반영한다는 점에서는 같은 영역의

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

행위이나 계획하는 범주나 기간 등 차이가 있다. 통상적으로 **planning** 은 **scheduling** 보다 먼저 발생한다. 예를 들어 **planning** 은 적절한 부품이나 재료, 장비나 기술을 확보하기 위한 결정 행위이고, **scheduling** 은 해당 작업이 언제 누구에 의해 수행되는지 결정하는 행위로 볼 수 있다. 기존 연구에서 **planning** 과 **scheduling** 의 정의는 다음과 같다.

표 4 기존 연구에서 Planning 과 Scheduling 의 정의

	Planning	Scheduling
이종무 (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • 회사의 전략이나 정책을 반영하여 중기 혹은 장기적인 계획을 수립할 때 사용하는 “생산 계획” 영역을 의미 • 언제(When) 무엇(What)을 만들지를 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 설비, 작업장, 작업자, 장비 등 작업에 직접적으로 제약이 되는 사항들을 계획수립 과정에 반영하여 실제로 현장에서 작업을 진행할 수 있는 단기 작업 계획을 수립 • 주어진 작업 (What, When) 수행에 필요한 자원(Where, Who) 할당
이동건 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • WBS계층 상하위 레벨 계획 • 일정, 예산, 물량 등 	<ul style="list-style-type: none"> • WBS계층 상하위 레벨 계획 • 작업장, 작업 인력, 작업 설비 등
Maravelias and Sung (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • To fulfill customer demand at minimum total cost • Mid-term 	<ul style="list-style-type: none"> • To determine the allocation of resources to processing tasks and the sequencing and timing of tasks on processing units under given production facilities, detailed production recipes, production cost and production orders with due dates • Short-term

상기와 같은 관점은 주로 **planning** 을 중장기적인 영역의 계획으로 보고 **scheduling** 을 단기적인 영역의 계획으로 하여 계획 기간의 장단에 따라 구분하거나, WBS 레벨의 상위/하위와 같이 명확히 구분이 될 수 있다고 본 것이다. 하지만, 실제 조선소 생산계획 업무에서 **planning** 과 **scheduling** 은 상기와 같이 명확히 구분되지 않는다. 예를 들어 ‘언제 (when)’의 관점은 **planning** 시에도 고려되어야 하며, **scheduling** 시에도 고려해야 하는 요

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

소이다. Planning 은 달성해야 할 목표와 현재 수준에서 목표 달성하기 위한 미래까지 Roadmap 의 의미를 가지며, 기간에 따라 long-term / short-term plan 이 있을 수 있다. Planning 은 목표 달성까지의 상세하고 구체적인 단계를 포함해야 한다. Scheduling 은 plan 을 달성하기 위해 해야 할 일을 더 작고 간단한 단위 작업(task, activity)로 나누고, 이 단위 작업의 시작과 끝을 결정하는 행위라고 할 수 있다. Scheduling 은 각각의 단위 작업에 인력과 시간, 자본과 다른 자원을 할당하는 것을 포함한다. Plan 과 마찬가지로 schedule 도 long-term / short-term schedule 이 있을 수 있다. 본 논문에서는 planning 과 scheduling 에 대해 6-Factor 기반의 생산정보모델을 고려하여 다음 표 5 과 같이 부분하고자 한다.

표 5. 6-Factor 를 고려한 Planning 과 Scheduling 구분

6-Factor	Planning	Scheduling
Product	<ul style="list-style-type: none"> • 무엇(What)을 얼마나(How much) 생산할지 결정 • Product Engineering 	<ul style="list-style-type: none"> • 결정된 제품(Orders, 종류 및 수량)과 제품의 구성품(Parts or interim product)을 대상으로 함
Process	<ul style="list-style-type: none"> • 제품 생산 작업 순서와 방식 	<ul style="list-style-type: none"> • 생산 단계별 소요시간
Labor	<ul style="list-style-type: none"> • 노동력 소요 수준 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 확보된 노동력 수준은 제약으로 작용 어떤 노동력 단위를 투입할지 결정
Area	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장 소요 수준 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 확보된 작업장 수준은 제약으로 작용 어떤 작업장에서 생산할 것인지 결정
Facility	<ul style="list-style-type: none"> • 설비 소요 종류 및 수준 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 확보된 설비의 종류와 수준은 제약으로 작용, 어떤 설비를 얼마만큼 사용할 것인지 결정
Schedule	<ul style="list-style-type: none"> • Planning horizon 	<ul style="list-style-type: none"> • 생산이 이루어지는 구체적인 순서와 일정 결정

2.2.1 생산계획 단계 정의

앞절에서는 조선 산업에서 생산 공정의 흐름과 생산공정의 단계를 구분하고, WBS 체계를 적용하여 선주가 주문한 선박을 수주부터 납품하기까지의 일(Work)을 관리 가능한 수준으로 구분하고 구조화하는 방안을 제시하였다.

실제 생산이 이루어지기 위해서는 생산계획이라는 업무를 통해 WBS 를 구성하는 각각의 WBS 요소와 액티비티들이 수행되어야 하는 일정과 각각의 액티비티가 수행되기 위해 필요한 설계 도면과 자재 등이 공급되어야 하는 일정을 결정하고 관리할 필요가 있다.

일반적으로 조선 산업에서의 생산계획은 계획 수립 주기에 따라 대일정계획, 중일정계획, 소일정계획으로 구분하였다. 하지만, 조선소에서 생산계획을 구분하는 방식은 계획 수립 주기 이외에도 다음과 같이 다양한 기준이 있을 수 있다.

- 계획 기간 Span 에 따라 : 대일정(1 년 이상)⁶ > 중일정(6 개월) > 소일정(1~2 개월) > 작업지시 (1~2 주)
- 계획 역할에 따라 : 전략 계획 > 기준 계획 > 실행 계획
- 계획 주기에 따라 : 연간 계획 > 반기 계획 > 분기 계획 > 월간 계획 > 주간 계획 > 일일 계획

이종무 (2007)는 상기 전통적인 생산계획의 분류를 따르되 연구가 이루어진 당시 실제 조선소에서 수행하는 생산계획의 종류를 분석하여 각각의 계획을 다음 표 6 와 같이 정의하고, 각 생산계획 간의 관계와 흐름에 대해서는 다음 그림 4 와 같이 정의하였다. 연구에

⁶ 대일정은 선편, 사업계획을 포함하는 것으로 설명하는데, 선편은 계획 기간의 길이로 보면 중장기에 해당할 수도 있지만 선편 분류 중 생산선편은 중일정 변화에 따라 변경 검토가 이루어지기 때문에 대일정이라고 보기 어려울 수 있다. 반면 사업계획은 일정계획 자체보다 연간 사업을 영위함에 있어서 소요되는 자원과 사업 목표에 대한 계획에 초점을 맞추기 때문에 단순한 일정계획의 영역과 차별성이 있다. 투자나 중장기적인 전략을 검토하기 위한 계획은 위의 분류 범주로 구분하기 어려운 단점이 있다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

서 제시한 구분의 특징은 계획의 종류를 Planning, Scheduling 그리고 계획 지원으로 구분한 것이다.

표 6. 생산계획의 종류 구분 [이종무(2007)]

종류	계획 영역	내용
선표 계획	Planning	호선 믹스 결정, 도크 회전을 결정, 호선 정보 및 주요 키이벤트 결정
대일정 계획	Planning	인력 및 주요자원에 대한 CAPACITY관리, 선표 호선에 대한 계획 정보 관리 (직종별 물량/시수 배분, 진도율 결정)
중일정 계획	Planning	선표 호선 믹스에 대한 중일정 액티비티 계획 수립
소일정 계획	Planning	중일정 계획의 세분화된 소일정 액티비티에 대한 계획 수립
실행 계획	Scheduling	실행 작업에 대한 작업자 할당, 조업도 분석, 작업 지시 발행, 실적 집계 및 분석
공정 계획	계획 지원	설계 정보로부터 부품이나 제품의 형상을 추출하고 그 기능과 구성 요소에 따라 현장의 생산방법을 결정
표준정보 관리	계획 지원	표준시수 관리, 원단위 관리, 실행 작업 단위 관리

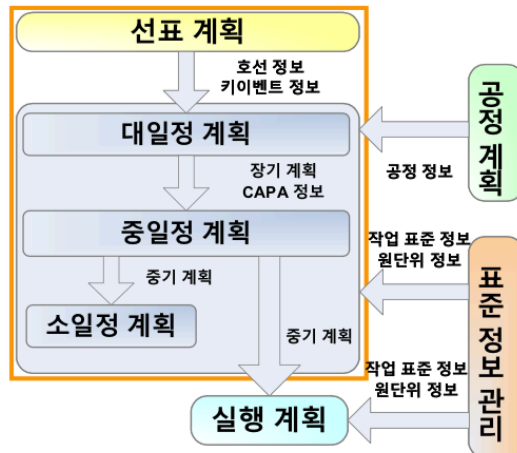


그림 4. 생산계획 간의 관계와 흐름 [이종무(2007)]

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

권용창 (2012)도 유사하게 생산계획의 단계를 대일정계획, 중일정계획, 소일정계획 및 작업지시서로 구분하고 각각의 계획을 다음과 같이 정의하였다.

- 대일정계획 : 선표계획이라고도 하며, 호선별 계획으로서 선박의 수주 상황을 고려한 도크일정계획 수립
- 중일정계획 : 블록별 계획으로서 세부공정에 대한 계획을 담당하고, 조선소의 두 자원인 도크와 내업공장의 작업을 중심으로 계획
- 소일정계획 : 절점단위별, 단위 작업장별 계획으로 중일정계획을 기초로 하여 각 단위 공장 내에 상세일정계획으로서 일정계획을 수립할 때 각 작업반에 대한 부하 및 실적, 블록 납기 등을 고려함

남승훈 (2018)은 조선 산업에서 생산계획은 기본적으로 생산 자원의 생산능력 (Capacity)이 유한한 점을 고려한 APS(Advanced Planning and Scheduling)이며, 조선소가 생산하는 제품인 선박의 전체 생산 프로세스 전체를 조선소 내부적으로 처리하지 않고 다양한 기업이 참여하는 공급망(Supply Chain)을 통해서 해결하고 있으므로, 이러한 기업의 생산계획의 관점은 기업 내부에만 한정되어서는 안되고, 전체 공급망을 고려해야 한다는 Stadtler, Kilger (2008)의 정의를 조선소의 생산계획의 정의에 적용하는 방안을 연구하였다. Stadtler, Kilger (2008)에 따르면 APS 는 다음과 같이 3 가지 주요 특징을 가진다. 첫째, 기업의 공급 업체에서부터 단일 고객까지, 혹은 보다 포괄적인 포괄적인 기업 네트워크에 대한 공급망에 대한 통합 계획을 수립한다. 둘째, 다양한 계획 문제에 대한 대안, 목표 및 제약조건을 적절하게 정의하고, 계획의 최적화를 수행한다. 셋째, 계층적 계획을 통해 전체 계획작업(total planning task)을 계획모듈(planning modules)로 구분할 수 있고, 각 레벨의 계획작업은 레벨별로 다른 역할을 수행하는데, 최상위 레벨은 전사적 관점을 가지며, 하위 레벨은 공급망 내에서 좀 더 제한적인 관점과 역할을 수행한다.

Fleischmann, Meyr et al. (2005)은 위에 기술한 APS 의 특징을 다음 그림 5 와 같은 계

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

층적 구조로 표현하고, 기업이 공급을 위해 내부적으로 수행하는 프로세스를 조달 (Procurement), 생산(Production), 배송(Distribution), 판매(Sales)로 구분하였으며, 각각의 프로세스에 대해 APS의 계층구조와 연계하여 상세한 계획작업을 수행할 수 있도록 하는 방법론을 SCP-Matrix(Supply Chain Planning Matrix)이라고 하였다.

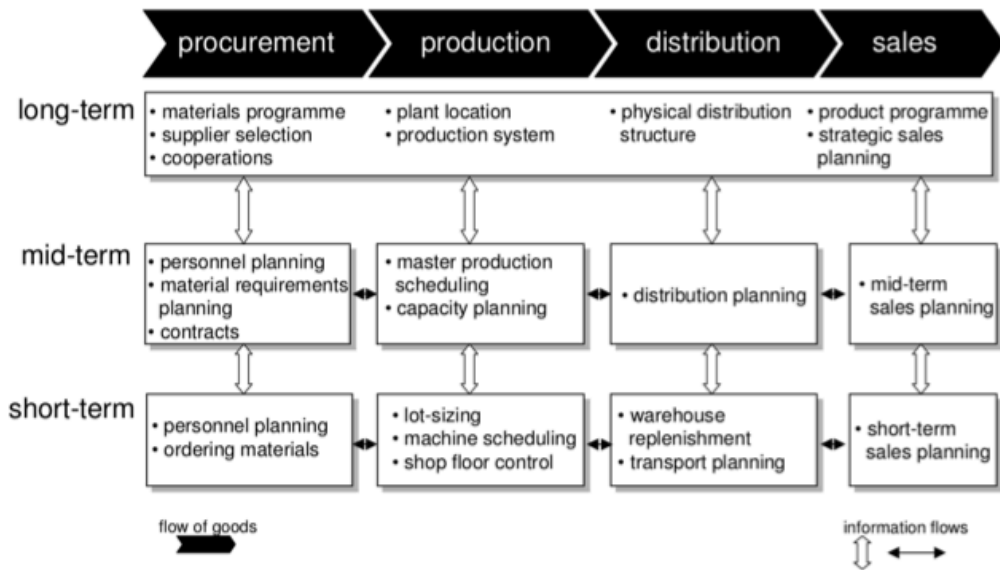


그림 5. SCP-Matrix [Fleischmann, Meyr, Wagner(2008)]

남승훈 (2018)은 조선소의 공급 프로세스에 SCP-Matrix를 적용하여, 다음 그림 6와 같이 각각의 계획 작업을 다음과 같이 상세화하였다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

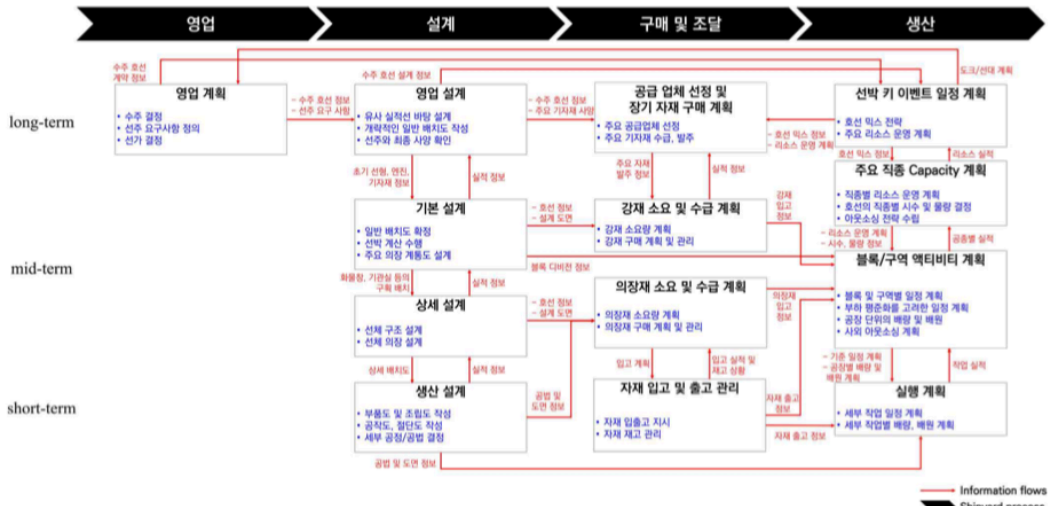


그림 6. SCP-Matrix 를 적용한 생산계획 단계 구분 [남승훈(2018)]

장기(long-term) 생산계획은 '선박 키 이벤트 일정 계획'과 '주요 직종 Capacity 계획'으로 이루어지는데, '선박 키 이벤트 일정 계획'은 경영 목표의 생산 목표를 만족하도록 수주된 선박의 주요 일정을 결정하는 목표로 하는 계획으로 Batch 일정 계획, 선박 믹스 계획, 도크/선대 공간 배치 계획, 안벽 공간 배치 계획의 세부 프로세스로 이루어지며, '주요 직종 Capacity 계획'은 선박 키 이벤트 일정 계획을 만족하면서 선박의 건조를 위한 주요 직종의 Capacity를 결정하는 계획으로 선박의 직종별 일정, 진도율, 물량/시수 계획과 직종별 가용 물량 및 시수 Capacity 계획으로 이루어진다고 하였다.

중기(mid-term) 생산계획인 '블록/구역 액티비티 계획'은 장기 생산 계획에 따라 선박의 주요 일정을 만족하는 건조 공정 별 일정 계획이며, 계획 프로세스는 탑재 블록 일정 계획, PE 블록 일정 계획, 조립 블록 일정 계획, 블록별 공간 배치 계획, 안벽 키 이벤트 일정 계획, 도크/선대 및 안벽의 구역별 의장, 도장 일정 계획으로 이루어진다고 하였다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

표 7. 기존 연구의 생산계획 단계 구분 요약

계획 기간	SCP-Matrix	남승훈(2018)	권용창(2012)	이종무(2007)
장기	Plant location Production system	선박 키이벤트 일정계획	대일정계획 (선표계획)	선표계획
		주요 직종 Capacity 계획		대일정계획
중기	Master production scheduling Capacity planning	블록/구역 액티비티 계획	중일정계획	중일정계획
단기	Lot-sizing Machine scheduling Shop floor control	실행 계획	소일정계획	소일정계획
			작업지시서	실행계획

단기(short-term) 생산계획은 '실행계획'이라 하며, 중기 생산 계획에서 결정된 공정별 일정 계획에 따라 세부 공정의 작업 계획을 결정하는 계획이다. 세부 계획 프로세스는 작업 그룹 일정 계획, 작업 일정 계획으로 구분하였다. 생산계획의 단계 구분을 종합하면 표 7과 같이 정리할 수 있다.

이종무, 권용창의 분류는 계획 대상 기간을 계획 명칭으로 사용하여 의미 전달이 어렵고, 남승훈의 분류는 계획 수립 시 결정 요소들을 명칭으로 사용하여 계획의 목적이 적절히 설명되지 못하는 단점이 있다. 또한, SCP-Matrix 에서 장기 계획은 기업과 기업이 속한 공급망에 대한 Global 한 전략 계획 중 생산 프로세스에서 검토되어야 할 사항을 장기 계획으로 정의하였으나, 조선소의 생산계획 범주에는 선표계획이나 대일정계획이 유사한 계획작업이나 일치하지는 않는다. SCP-Matrix 에서는 중기 계획에 Master production scheduling 은 조선소에서 선표계획과 유사하고, Capacity planning 은 대일정계획 중 일부로 다루어지고 있어 계획 기간의 레벨이 일치하지 않는다. 또한, 단기 계획에 대해서는 SCP-Matrix 상의 단기계획은 조선소에서 실행계획이나 소일정계획보다도 더 낮은 레벨

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

로 표에 기술되지 않은 주간계획 혹은 작업지시 수준으로 볼 수 있다. 조선소의 중기 계획에 해당하는 중일정계획은 자재와 도면의 소요일정을 제시하고 생산 각 공정에서 지켜야 하는 절점을 제시하는 중요한 역할을 담당하는 계획 작업이나 SCP-Matrix 상에는 유사한 개념의 계획이 정의되어 있지 않다.

상기 사항을 보완하고, 현재 조선소에서 실제 수행하고 있는 계획 작업의 구분을 반영하여 재분류할 필요가 있다. 국내 대형조선소는 최근 조선 산업 환경의 변화와 생산계획 단계별 역할에 부합하는 생산계획을 다음 표 8 과 같이 정의하여 사용하고 있다.

표 8. 국내 조선소 계획기간에 따른 생산계획 단계 구분

계획 기간	대우조선해양	현대중공업	삼성중공업
장기	선표계획	기본계획	기본계획
중기	기준계획	중일정계획	기준계획 (배량계획)
단기	실행계획	실행계획	실행계획 (12주 EPC계획)
	작업지시	작업지시	작업지시

상기 구분을 보면 장기 계획 중 선박의 건조 도크와 키이벤트(생산착수, Keel Laying, 진수, 인도 등)를 결정하는 계획을 선표계획이라 정의하는 조선소가 있고, 기본계획이라 정의하는 조선소가 있으나 그 의미는 유사하다. 마찬가지로 중기 계획에 대해 조선소에 따라 기준계획 혹은 중일정계획이라고 정의하기는 하지만 그 의미는 큰 차이가 없다. 따라서, 본 논문에서는 편의에 따라 대우조선해양의 명칭에 따라 표 9 과 같이 생산계획 단계를 구분하고, 이에 따라 각 계획 업무의 세부 사항을 기술하기로 한다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

표 9. 조선 생산계획 단계 정의

계획 단계	내용	목적	대상 기간	계획 주기
도크계획	<ul style="list-style-type: none"> • 생산제품구성(product mix) 및 건조도크(혹은 선대) 결정 • 키이벤트(S/C, K/L, L/C, D/L) 결정 	<ul style="list-style-type: none"> • 납기 준수 • 최적 생산제품구성 결정 • 도크(혹은 선대)의 매출 최대화 	장기 (3~5년)	반년~1년
생산능력 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 생산제품구성에 따른 생산시수 및 주요 생산 자원에 대한 생산능력 대비 소요 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 생산시수 및 주요 자원에 대한 소요 평준화 (rough cut capacity) 		
기준계획	<ul style="list-style-type: none"> • 장기계획을 만족하는 중기 액티비티 계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> • 생산시수 및 주요 자원에 대한 소요 평준화 (detail capacity) 	중기 (6개월~1년)	2~3개월
실행계획	<ul style="list-style-type: none"> • 중기계획을 만족하는 단기 액티비티 계획 수립 	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장과 작업인력에 대한 생산물량 최적 할당 	단기 (1~2개월)	매월

2.2.2 선표계획

선표계획은 조선소가 어떤 종류의 선박을 어떤 일정으로, 얼마나 많이 생산할 것인지를 결정하는 계획으로서 선표계획의 결과에 따라 조선소의 생산량과 매출액의 규모가 결정된다. 선표계획 시 조선소의 생산능력을 고려하되, 조선소의 경영 목표에 따라 목표를 달성할 수 있는 방안을 검토하여 조선소 생산의 목표를 제시하는 것도 선표계획의 목적이 되기도 한다.

선표계획은 계획을 수립하는 목적에 따라 크게 영업선표, 생산선표, 전략선표로 구분할 수 있다. 영업선표는 영업 조직이 수주활동을 하기 위하여 조선소가 생산할 수 있는 건조 Berth를 검토하기 위한 계획이다. 전략선표의 영향을 받는다. 생산선표는 생산이 준수

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

해야 할 목표 일정을 주요 키이벤트 일정으로 설정하기 위해 작성하고 운영하는 선포계획이다. 생산선포의 목표 일정은 수주된 계약 인도일정을 초과하지 않는 범위에서 생산을 최적 운영할 수 있는 계획을 수립하는 것을 목표로 한다. 전략선포는 조선소의 장기적인 전략을 검토하기 위해서 작성하는 선포계획으로 시장 상황을 고려하기는 하되, 전략적으로 시장에 마케팅할 제품을 포함하여 조선소의 이익을 극대화하고 시장에서 경쟁력을 강화할 수 있는 Product Mix 를 검토하는 것을 목표로 한다. 전략선포와 영업선포는 상호 영향을 주고 받는다.

선포계획 계획 대상 기간은 생산선포의 경우 3년 정도를 대상으로 하는 것이 일반적이며, 영업선포는 5년, 전략 선포는 5년 이상의 중장기적인 기간을 대상으로 하기도 한다. 계획 수립 주기는 생산선포는 통상 사업계획 수립 시 1회 작성하되, 생산 운영 중 중요 변경 사유가 발생할 경우 연 1~2회 정도 개정을 하기도 한다. 전략선포는 조선소의 중장기 전략의 검토 필요에 따라 수립하게 되는데, 통상 사업계획 수립 시 전략에 대한 수정 사항을 반영하게 된다. 영업선포는 생산과 영업 간에 의사소통을 하는 매개체로서 조선소 운영 전략이 크게 바뀌지 않는 한 비어있는 Berth 에 어떤 프로젝트를 수주할 것인지에 대한 변화를 갱신하는 수준의 변화는 수시로 이루어지나, Berth 운영 전략이 전반적으로 바뀌어야 하는 상황에 대해서는 조선소 전략에 따라 변화하게 된다.

선포계획에서 결정되는 결과는 간단하지만 매우 중요한 의미를 가진다. 직접적인 결과물은 계획 대상이 되는 각 선박에 대한 건조 장소(드라이 도크, 육상 선대, 플로팅 도크, 진수 바지 등 선박을 건조하여 진수 시킬 수 있는 장소)와 건조 범위, 그리고 주요 키이벤트 일정이다. 선포에서 관리하는 키이벤트는 선박 생산의 시작과 끝, 건조 장소를 사용하는 일정으로, 주요 키이벤트로 는 다음과 같은 일정이 포함된다.

- S/C (Steel Cutting, 강재절단일) : 통상적으로 생산 착수가 강재절단을 시작으로 이루어지기 때문에 S/C(Steel Cutting)을 생산 착수일로 한다. 강재절단이 중요하게 생

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

각되는 것은, 설계 측면으로는 선체 설계가 확정되어 생산할 수 있는 도면이 준비되었으며 자재 측면으로는 생산에 사용될 강재 구매가 원활히 진행되어 있어 조선소가 선박을 생산할 준비가 되었음을 의미하기 때문이다. 강재절단을 시작으로 선체 블록 제작이 시작되며, 블록 조립, 블록 의장, 블록 도장 단계를 거쳐 건조 도크(혹은 선대)에서 탑재 작업이 이루어지기 전까지 블록을 대형화하는 선탭재(Pre-Erection, 향후 PE) 작업이 이루어진다.

- K/L (Keel Laying, 용골거치일) : 강재절단 이후 제작된 블록 혹은 PE 블록을 건조 도크(혹은 선대)에서 탑재 작업을 시작하는 기준 일정을 의미한다. K/L 이전까지는 선체를 형성하는 중간 제품으로서 블록을 제작하였다면, K/L 이후에는 블록의 탑재를 통해 본격적으로 선박의 선체를 형성하게 된다.
- L/C (Launching, 진수) : 선박의 선체가 완성되면 선체를 물에 띄우는데 이를 진수라고 한다. 선체가 완성되었다는 의미는 선체 구조의 중요 연결부위가 용접이 완료되고 수선면 하부의 도장이 완료되어 선박이 스스로 물에 떠있을 수 있음을 의미한다. 진수 단계가 되면 선체 이외에 의장 설치 작업도 많은 부분 완료가 되며, 도장 작업도 많은 부분 완료된다. 진수 이후에는 선박을 안벽(Quay)에 계류한 상태에서 선박이 운항할 수 있도록 추진 기능, 운항 기능과 화물을 처리할 수 있는 기능 등에 대한 시운전과 마무리 도장이 진행된다. 안벽에서 선박의 기능이 완성되면 해상 시운전을 통해 계약과 사양서에 명시된 선박의 각 기능이 정상적으로 동작하는지, 선박의 성능(주로 특정 조건에서 운항 속도, 연료 소모율 등)이 계약 조건을 만족하는지 확인하게 된다. 해상 시운전은 선박의 종류에 따라 최소 1 회 실시하는데, LNG 운반선의 경우 일반적인 해상 시운전 외에 선적 화물인 LNG 를 선적/하역하는 성능을 테스트하기 위해 가스 시운전(Gas Trial, G/T)을 실시하기도 한다.
- D/L (Delivery, 인도) : 선박이 성공적으로 시운전을 마치고 계약서와 사양서에 명

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

시된 조건을 갖춘 것으로 확인되면 주문주는 조선소로부터 선박을 인도받는다.

상기 주요 키이벤트는 필수적으로 선표계획 시 결정되어야 하는 일정이며, 계약일자와 함께 선박 건조계약서에도 포함되는 일정이다. 선박 계약 시 선박 건조대금을 분할하여 지급하는데 통상적으로 계약일을 포함한 5 개 주요 키이벤트가 이루어지는 것을 기준으로 선가의 일정 비율을 지급하게 된다. 선박 건조 진행 중 조선소 내부적인 생산 운영에 따라 키이벤트 일정이 변경될 수도 있으나, 인도일에 대해서는 계약 상 인도일을 반드시 준수해야 하며, 계약 상 인도일을 준수하지 못하는 경우 Penalty 를 지급해야 하는 조건이 수반되는 경우가 일반적이다. 따라서, 조선소는 계약상 인도일을 준수하기 위해 조선소의 생산계획 상 인도 목표일을 조기화하여 생산하여 계약상 Risk 를 최소화할 수 있도록 운영하는 것이 일반적이다.

계약서에 명시되는 키이벤트 이외에 조선소에서 생산 진행 상 건조 Berth 운영과 관련하여 중요성 있게 관리하는 키이벤트도 있다. 이러한 키이벤트로는 탄템공법 적용 시 도크 내에 완성된 선박의 진수를 위해 완성되지 않은 선박의 일부를 부양시키는 부분진수 (Floating, F/L), 진수된 선박의 수선면 하부의 상태를 확인시켜주고 수선면 하부에 대한 Cleaning 작업을 하기 위해 도크나 플로팅도크, 혹은 진수바지에 재도킹(Redocking)하는 일정 등이 있다. 조선소마다 건조 설비와 조건이 다르기 때문에 이에 따른 관리의 필요성에 따라 해당 이벤트의 적용 여부에 차이가 있다.

선표 계획의 결과물은 선표, 도크배치도와 필요 시 안벽배치도와 주요 공종별 부하표를 포함한다. 선표의 형태는 조선소별로 형태에 차이가 있기는 하나, 통상적으로 간트차트를 응용하여 건조 선박에 대해 선번(혹은 프로젝트 번호), 주문주, 선박의 종류 및 사이즈 등의 정보화 선박 생산의 주요 키이벤트를 표현한다. 도크(혹은 선대)에서 동시에 여러 척의 선박을 건조하는 경우도 있어 한번의 진수로 건조되는 선박의 묶음을 관리하는

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

경우도 있는데, 이 선박의 묶음이 할당되는 Berth 를 Batch 라고 부른다. 조선소에 따라 Batch 개념을 적용하는 경우도 있고, 그렇지 않은 경우도 있다. 도크배치도는 선박이 건조 도크(혹은 선대)에 어떤 위치에서 어떤 형태로 건조되는지, 선수와 선미는 어떤 방향으로 놓이는지, 탱크 공법을 적용 하는 경우 중간진수 시 어느 범위까지 선체를 형성할 것인지, 복수의 선박을 건조하는 경우 선박과 선박의 간격은 어느 정도 되는지에 대한 정보를 포함한다. 선표가 일정계획 정보를 주로 나타낸다면, 도크배치도는 도크 건조에 대한 중요한 생산공법(Production Process)적인 정보를 나타내는 것을 목적으로 한다.

		No.1 DOCK <529 X 131 X 14.5>	
Batch/기간	(HEAD)	배치도	(GATE)
259	2018-10-29 2018-12-08	LNGC1(Ship Owner, Ship Type) (294.9 x 46.4)	LNGC2(Ship Owner, Ship Type) (221 x 46.4)
		VLCC1(Ship Owner, Ship Type) (336 x 60)	LNGC3(Ship Owner, Ship Type) (167.9 x 46.4)
260	2018-12-10 2019-01-19	LNGC2(Ship Owner, Ship Type) (294.9 x 46.4)	LNGC4(Ship Owner, Ship Type) (221 x 46.4)
		LNGC3(Ship Owner, Ship Type) (294.9 x 46.4)	VLCC2(Ship Owner, Ship Type) (179.1 x 60)
261	2019-01-21 2019-03-09	LNGC4(Ship Owner, Ship Type) (294.9 x 46.4)	VLCC5(Ship Owner, Ship Type) (216.1 x 60)
		VLCC4(Ship Owner, Ship Type) (179.1 x 60)	VLCC2(Ship Owner, Ship Type) (336 x 60)

그림 7. 도크배치도 (예시)

선박이 진수된 이후 짧게는 2 개월, 길게는 1 년 이상 안벽에 계류하여 의장작업과 시운전 작업을 수행하게 되기 때문에 조선소의 안벽 계류 능력도 선표 계획 수립 시 중요하게 고려해야 하는 조건이 된다. 특히, 일반적인 유조선이나 컨테이너선에 비해서 LNG 운반선의 경우 7~8 개월 이상의 안벽 계류 기간을 필요로 하고, Drill Ship 등 특수 선박은 1

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

년 이상 장기간의 안벽 계류 기간을 요구하고 있어 이전에 비해 안벽 계류 조건 검토는 더욱 중요한 사항이 되고 있다. 통상적으로 선표계획 시 안벽 계류 가능여부는 기간별 계류 척수 부하로 기본적인 판단을 하고, 안벽 계류 척수가 조선소의 안벽 계류 능력에 근접하거나 초과할 것으로 판단되는 경우 실제 안벽 배치가 가능할 것인지 안벽 배치도를 작성하여 세부적인 검토를 하게 된다. 기본적인 안벽 계류 척수를 초과하는 경우 2 중계류, 3 중계류까지 검토하고, 장기적으로 안벽 계류 척수가 증가할 것으로 판단되면 투자를 통해 추가 안벽을 확보할 것인지 검토하게 된다.

선표에 표현되는 정보는 간단하기는 하지만, 조선소 생산의 중요 제약 사항을 고려한 결과를 함축적으로 나타낸 것으로 선표의 결정에 따라 조선소의 생산량과 생산에 필요한 리소스들에 대한 대략적인 소요량이 결정된다. 대략적인 소요량이 결정된다는 의미는 선표 결정 시 조선소의 가장 중요한 설비 자원인 도크가 결정되고, 도크 내에서의 건조 범위와 일정이 결정되면 이후 생산계획 단계나 실제 생산 단계에서는 선표에서 결정한 일정을 준수해야 하기 때문에 선표 작성 시 검토한 자원 소요량의 범위를 크게 벗어나기 어렵기 때문이다. 다만, 선표계획 시 생산량과 자원 소요량을 산정하는 방식이 기준계획이나 실행계획 수립 시 사용하는 방식에 비해 간략화된 방식을 사용하고, 블록별 상세 일정을 고려하지 못하는 점, 사내 생산 능력 부족 시 사외 아웃소싱량을 세부적으로 조정하기 어려운 점, 생산 실적이 발생한 구간에 대해 정확한 실적 반영이 어려운 점 등의 한계에 따르는 차이가 발생할 수 있다.

선표계획 결정을 위한 의사 결정 시 사용되는 지표로는 매출액, CGT 생산량, 조립생산량 등 Throughput 관련 지표가 대표적이다. 계획의 실행 가능성 판단을 위한 제약 혹은 Capacity 적정성 판단을 위해서는 Throughput 관련 지표 외에도 공종별 인력부하, 주요 작업장과 설비 소요 부하에 대해서도 검토를 해야 한다.

상기 서술한 선표계획 업무는 계획 대상이 되는 제품은 선박 자체가 되며, 공정은 건조

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

도크 내 적용되는 건조 방식(탄뎀공법 적용 여부, 대형화 블록 탑재 여부, 건조 범위 등)이 되고, 선박의 건조 일정을 주요 키이벤트 일자로 결정하게 됨을 알 수 있다. 이 과정에서 공종별 인력부하, 건조 장소(PE 장, 안벽 등)에 대한 작업장 부하, 주요 장비(탑재 크레인 등)에 대한 생산능력을 제약으로 고려하며, 또한 이 자원들에 대한 소요량을 결과값으로 도출하게 된다. 다음 표 10은 선평계획의 계획 대상, 계획 결과, 제약 사항과 계획 방법을 나타내었고, 각 항목에 대해 어떤 생산정보모델의 어느 요소가 해당하는지 정리한 것이다.

표 10. 선평계획의 계획 대상, 결과, 제약사항 및 생산정보모델 요소

계획명	구분	내용	생산정보모델
선평 계획	계획 대상	호선 (프로젝트)	Product
	계획 결과	호선별 키이벤트 일자	Schedule
		호선별 건조 도크	Area
		호선별 건조 방식	Process
		매출액, 생산량	(해당없음)
	제약 사항	공종별 인력 Capacity 및 소요 부하	Labor
		주요 작업장 Capacity 및 소요 부하	Area
		주요 설비 Capacity 및 소요 부하	Facility
	계획 방법	Gantt Chart, S-Curve, Activity Network	Process, Schedule

위와 같은 현재 선평계획 방식의 한계는 통상적인 상황에 대한 검토에는 중장기 계획에 대한 의사결정을 위해 합리적인 수준의 정확도를 가지는 정보를 제공해줄 수 있으나, Product Mix에 변화가 크거나, 공법 변화가 크거나, 사내외 배량 정책 변화에 대해 검토를 해야하는 등 다양한 전략적인 시나리오 검토 상황에 대처하는 데에는 한계가 있다.

2.2.3 기준계획

기준계획은 선표계획에서 결정된 조선소 생산 목표를 준수하기 위해 최종 제품인 선박을 구성하는 중간제품인 블록을 생산하고, 블록을 연결하여 선박을 구성하며, 선박의 기능이 동작할 수 있도록 하는 작업들의 일정과 투입 자원의 소요를 결정하는 계획이다. 기준계획에서 결정된 작업 일정에 따라 설계는 도면과 물량 정보를 제공해야 하며, 생산에 투입될 자재의 소요일도 작업 일정에 따라 결정된다. 기준계획은 조선소의 생산 목표를 달성하기 위해 조선소의 공급망 내 각 공종별/조직별로 분할된 목표를 제시하는 역할을 하는데, 제시된 목표가 실행 가능한 목표가 되기 위해 각 공종/조직의 인력, 설비, 작업장 가용 자원의 Capacity 를 고려한 계획을 수립하게 된다. 각 조직별 목표는 목표 생산량과 생산일정이 된다.

기준계획의 계획 대상은 일반적으로 WBS 상 선체공사의 경우 Level 1 의 탑재블록부터 Level 3 의 조립블록, 구획공사는 소구역, 시스템공사는 서브시스템 까지의 WBS 요소들과 각 WBS 요소에 연결된 기준 액티비티의 일정이 된다. 선체공사에 대해 조선소에 따라 조립블록보다 하위 단계의 조립품까지 기준계획의 대상을 확대하기도 한다. 기준계획에서 결정된 액티비티의 시작일은 도면과 자재와 같이 해당 작업을 위해 준비되어야 할 사항들에 대한 기준 일정을 제시하며, 액티비티의 완료일은 생산 작업이 완료되어야 할 목표를 제시함으로써 조선소 각 조직의 관리 절점을 제시하게 된다.

기준계획은 선표계획에 비해 더 많은 WBS 요소와 액티비티를 계획 대상으로 하기 때문에 전체 계획 대상을 관련이 깊은 생산 공종별로 나누어 계획을 수립하고 각각의 공종간의 선후 관계를 고려하여 전체 기준계획의 정합성을 맞추게 된다. 앞절에서 언급한 생산 공정의 구분에 대해 도크에서의 탑재 작업을 중심으로 탑재와 선행탑재에 대한 계획을 외업계획으로 구분하고, 탑재와 선행탑재 이전의 작업에 대한 계획을 선행계획, 탑재와 선행탑재 이후의 작업에 대한 계획을 후행계획으로 구분하는 것이 일반적이다. 선표

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

계획에서 결정된 도크 작업의 시작이 되는 K/L 일자리를 기준으로 블록별 탑재일정을 수립하며, 탑재일정 이후의 생산 일정은 Forward 방향으로 계획을 수립하며, 탑재일정 이전의 생산 일정은 후공정 일정을 제약으로 하는 Backward 방향으로 계획을 수립하게 된다. 생산 공종별로 일정계획 구분과 일정계획 대상의 형태, 계획 수립 방식에 대해 다음 표 11에 정리하였다.

표 11. 기준계획의 공종별 계획 대상의 형태와 계획 수립 방식

작업 단계	전처리	절단	곡가공	조립	선행의장	선행도장	선행 탑재	탑재	후행 의장	후행 도장	시운전
계획 대상	원자재	부재	부재	블록	블록	블록	PE블록	선박	선박	선박	선박
계획 방법	가공계획			선행계획			외업계획		후행계획		
	Activity Network			Activity Network			PE Sequence	Erection Network	Activity Network		
	Backward			Backward & Forward			Backward	Forward	Forward		

2.2.3.1 외업계획

외업계획은 탑재블록의 탑재일을 결정하는 탑재계획을 중심으로 하며, 탑재 블록을 대형화하는 선행탑재(Pre-Erection, PE) 작업에 대한 PE 일정계획을 포함한다. 탑재계획과 PE 일정계획을 함께 고려하는 것은 두 작업이 탑재 크레인, 탑재 작업 인력, PE 작업장 등 생산 자원을 공유하며, 탑재 공법과 PE 공법이 밀접하게 연관되어 있기 때문이다.

도크에서 블록 탑재순서(Erection Sequence)와 PE 블록 생성을 위한 PE 순서(PE Sequence)는 구조설계 초기 단계부터 시작되는 블록 분할도(Block Division)에 따라 결정된다. 개별 블록의 크기는 조립 공장의 정반 크기와 반출 크레인의 인양 능력에 따라 결정되며, PE 블록의 크기는 탑재 크레인의 인양 능력, PE 장 크기에 따라 결정되는데, 조선소가 보유한 운반설비의 조건도 영향을 미치게 된다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

탑재순서는 탑재블록간의 선후 관계, 연관된 탑재블록의 탑재일 간격을 결정한다. 물리적인 제약이 없는 경우 생산의 작업 부하를 고려하여 순서를 조정하기도 한다.

탑재블록은 선행탑재 단계를 통해 대형화된 PE 블록일 수도 있고, 단일 블록일 수도 있다. 블록은 아니지만, 탑재 크레인을 사용하여 본선에 탑재되어야 하는 대형의장품도 탑재계획의 대상이 된다. 탑재계획의 대상이 되는 대형의장품은 Main Engine, Generator Engine, Rudder, Propeller 와 같이 단독 탑재되는 대형 기기장비재와 철의장고 배관이 복합적으로 구성된 의장 Unit 제품 등이 포함된다.

PE 블록은 앞절에서 언급한 바와 같이 적게는 2 개에서 많게는 수십개의 블록으로 이루어질 수 있고 중량도 수십톤에서 수천톤, 크기는 만톤 이상의 대형 블록이 되기도 한다. 조선소의 PE 블록의 크기는 조선소가 가지고 있는 탑재 장비와 도크 설비의 능력에 따라 차이가 나며, 일반적으로 PE 블록을 대형화할 수 있는 능력은 조선소의 건조 능력과 건조 효율에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 탑재 작업은 건조 도크에 설치된 탑재 크레인을 사용하며, 탑재 크레인은 수백톤부터 최대 1~2 천톤의 인양능력⁷을 가지며, 갠트리 형태의 크레인을 도입한 경우가 많다. 탑재 크레인의 인양능력을 초과하는 경우에는 해상크레인을 사용하기도 하고, 대형블록을 부양시켜 건조 도크에 정위치 시키는 방식을 사용하기도 한다.

탑재블록을 대형화하게 되면 많은 작업량이 탑재 이전 단계로 선행화되기 때문에 도크에서 작업 시간이 단축되기 때문에 조선소의 선박 건조 척수에 결정적인 영향을 줄 수 있다. 뿐만 아니라, 고소 작업이 줄어들고, 밀폐 공간이 형성되기 전에 상대적으로 작업 여건을 좋게 만들 수 있기 때문에 안전한 작업이 가능하고 이에 따라 작업 생산성도 높일 수 있는 장점이 있기 때문에 가능하면 대형화를 확대 적용하기 위해 노력을 한다. 다만, PE

⁷ 최근에 싱가포르의 Sembcorp 조선소에서 1.5만톤을 인양할 수 있는 갠트리형 크레인을 설치했지만, 일반적인 상선 선박 건조 용도가 아닌 해양 프로젝트 수행 목적으로 설계된 것임

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

작업을 할 수 있는 작업장을 추가로 사용하는 점, 선행화 작업을 위한 공기 확보가 필요한 점, 자재와 인력 투입이 조기화됨에 따라 자본 투입이 조기화되는 점이 있어 대형화 적용에 따른 이점과 비교하여 이점이 크다고 판단되는 수준을 결정하게 된다.

블록 탑재 이후 실제 작업 인력이 투입되어 수행하는 작업은 심출, 취부, 용접이며, 작업이 완료되면 필요 시 비파괴검사와 최종 탑재 Joint에 대한 검사를 수행하게 된다. 최종 검사를 탑재검사(Erection Inspection, E/I)라고 한다. 탑재 이후 작업에 대해서는 인력 소요 부하가 중요한 사항이 된다.

PE 일정계획은 블록의 탑재일을 기준으로 Backward로 작성하는데, PE 단계에 이루어지는 작업을 탑재 기준 역순으로 보면 PE 도장 > PE 의장 > PE 선각 > 블록 PE(?)의 순서가 된다. 블록 PE는 블록이 PE장에 탑재 크레인으로 선행탑재되는 일정을 결정하는 것이다. PE 단계부터는 선체가 형성되기 시작하기 때문에 기기장비가 설치되고, 의장 연결 작업이 증가하기 때문에 블록 제작 단계보다는 작업의 선후 관계가 복잡해진다. 설계 혹은 생산기술 조직에서 블록 조립부터 탑재 이전까지 각 단계별 선각/의장/도장 작업을 규명한 '작업순서도(Work Sequence Diagram)'라는 기술 도면을 생성한다. 생산계획 수립 시 WSD에 규명된 작업 정보를 참조하여 작업 순서와 작업 기간을 산정한다.

기준계획 수립 시 세부 의장 작업을 고려하기 어렵기 때문에 주요 작업에 대한 일정 계획을 수립하되 선체/의장/도장 작업 간 간섭이 되는 사항에 대해서 작업의 선후 관계와 작업을 수행할 수 있는 적정 공기를 확보할 수 있도록 한다. 다음 표 12은 외업계획의 계획 대상, 계획 결과, 제약 사항과 계획 방법을 나타내었고, 각 항목에 대해 어떤 생산정보모델의 어느 요소가 해당하는지 정리한 것이다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

표 12. 외업계획의 계획 대상, 결과, 제약사항 및 생산정보모델 요소

계획명	구분	내용	생산정보모델
탑재 계획	계획 대상	탑재블록(단독블록, PE블록, 대형의장품)	Product
	계획 결과	블록별 탑재일자	Schedule
		블록별 심출/취부/용접 액티비티 일자	Schedule
		기기장비 소요일자 (PND)	Schedule
	제약 사항	블록탑재순서(Erection Sequence)	Process
		DEP (Detailed Erection Process)	Process
		공종별 인력 Capacity 및 소요 부하	Labor
		탑재 크레인 Capacity 및 소요 부하	Facility
계획 방법	PERT/CPM, Activity Network	Process, Schedule	
PE 계획	계획 대상	PE블록(단독블록, PE블록, 대형의장품)	Product
	계획 결과	PE되는 블록의 PE일자	Schedule
		블록별 선각/PE의장/PE도장 액티비티 일자	Schedule
		PE블록별 PE작업장	Area
		기기장비 소요일자 (PND)	Schedule
	제약 사항	블록 PE순서(PE Sequence)	Process
		작업순서도(Work Sequence Diagram)	Process
		공종별 인력 Capacity 및 소요 부하	Labor
		탑재 크레인 Capacity 및 소요 부하	Facility
		PE작업장 면적 Capacity 및 소요 부하	Area
계획 방법	Gantt Chart, Activity Network	Process, Schedule	

2.2.3.2 선행계획

선행계획은 강제 전처리부터 절단, 곡가공, 조립, 선행의장, 선행도장까지의 선행공정

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

을 통해 블록을 제작하는 작업에 대한 일정계획을 수립하는 계획이다. 선행계획의 대상이 되는 작업은 대부분 옥내화된 공장 내에서 이루어지기 때문에 이들 작업을 '내업작업 (Indoor Work)'이라고 하기도 하며, 내업작업에 대한 계획이라는 의미에서 선행계획을 '내업계획'이라고 부르기도 한다.

선행공정 중 전처리/절단/곡가공 작업은 원자재와 가공부재를 대상으로 하는 반면, 조립/선행의장/선행도장은 블록을 대상으로 하는 점, 전처리/절단/곡가공은 조립일정에 따라 종속적으로 결정되는 경향이 있는 반면, 조립/선행의장/선행도장은 각 공정의 부하 상황에 따라 상호 영향을 주기 때문에 세 공정을 함께 고려하여 일정계획을 수립하는 특성이 있다. 이런 특성을 고려하여 전처리~곡가공에 대한 계획을 가공계획, 조립~선행도장에 대한 계획을 선행계획으로 구분하기도 한다. 일반적으로 기준계획 수립 시 가공계획에 대해서는 원자재와 가공부재 각각에 대한 일정계획을 수립하기는 어렵기 때문에 조립 착수일을 고려하여 절단 작업 착수일을 결정하는 수준의 계획을 수립하고, 개별 원자재와 가공부재에 대한 일정 계획은 실행계획에서 수립한다. 본 논문에서는 가공계획을 별도의 계획으로 구분하지 않고 선행계획의 일부분으로 포함되는 것으로 하였다.

선행계획은 블록이 탑재 혹은 PE 되는 일자를 후공정 소요일로 하여 기본적으로 Backward로 계획을 수립한다. 선행계획의 대상이 되는 작업을 역순으로 보면 선행도장 > 선행의장 > 조립 > 곡가공 > 절단 > 전처리의 순서가 된다. 선행도장부터 조립까지는 기본적으로 Backward 계획을 수립하고, 각 공정의 부하 수준에 따라 Forward 계획과 Backward 계획을 반복적으로 수행하면서 부하 평준화 계획을 수립한다.

선행도장계획

선행도장계획은 블록 구조를 이루는 강재 표면의 이물질과 녹을 제거하는 전처리 작업과 강재 표면에 도료를 입히는 Coating 작업의 일정을 결정하는 것으로, 조선소의 전처

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

리 작업장이 한정된 자원이기 때문에 전처리 착수 일자를 중요하게 관리한다. 블록을 전처리한 후 전처리 상태에 대한 주문주와 도장 메이커의 검사가 이루어지면 블록의 발청을 방지하기 위해 Coating 작업이 바로 이어진다.

전처리와 Coating 의 방법과 기준에 대해서는 계약서와 사양서에 의해 결정된다. 통상적으로 전처리 작업은 1 일의 작업기간을 가지며, Coating 작업 기간은 Coating 횟수와 Coating 간 간격(dry and curing time 고려)에 따라 결정되는데 통상적으로 1 회 Coating 에 2 일 정도 소요된다. Coating 은 온도와 습도에 따라 작업 가능 조건이 결정되기 때문에 날씨 영향을 가장 많이 받는 공종이 되며, 최근 우천일수가 증가하는 점을 고려하여 안정적인 공정 운영을 위해 조선소는 도장 작업장 확보를 위한 투자를 늘리고 있다.

도장 작업은 환경 오염 물질 배출할 수 있는 작업이 되기 때문에 관련 규제도 강화되고 있는데, 주요 환경 오염 원인은 전처리 작업에서 발생할 수 있는 먼지와 Coating 시 발생할 수 있는 비산 도장 분진, 도로에 포함된 Thinner 등이 있다. 환경 규제 조건을 맞추기 위해 환경 오염 저감 장치 등 시설 투자가 필요하며, 시설 투자로 인한 Capacity 감소가 있을 수 있으므로 도장계획 시 이러한 요소에 대한 고려도 필요하다.

도장작업은 블록 생산단계의 마지막 주 공정이 되므로 탑재/PE 일정 준수를 위해 반드시 후공정 요구일을 준수할 수 있도록 관리가 되어야 한다. 계획 수립 시 도장작업 전·후에 적정한 버퍼를 주어 선공정에서 발생할 수 있는 공정지연 요인이 후공정에 영향을 미치지 않도록 해주고 있다. 적정한 버퍼의 수준에 대해서는 조선소마다 운영 기준과 운영 방식에 따라 다르게 적용한다.

전처리 작업을 수행할 수 있는 공장이 한정적이므로 전처리 작업의 생산량은 전처리 공장의 Capacity 에 제약을 받는다. 전처리 작업의 부하는 전처리 공장에 입고할 수 있는 블록의 개수, 전처리 면적, 전처리 작업에 소요되는 작업 시수로 판단한다. Coating 작업은 작업을 수행할 작업장의 면적에 제약을 받는데, 일반적으로 작업장에 동시에 작업할

수 있는 블록의 개수로 환산하여 Capacity 로 정의한다.

선행의장계획

선행의장계획은 블록 제작 단계에 수행하는 의장작업의 일정을 결정하는 것으로, 대조 완료 후 선행도장 전에 집중적인 의장품 설치 작업이 주 계획 대상 작업이 된다. 대조 완료 후 의장품 설치 작업 외에도 중조단계 의장 작업, 필요한 경우 선행도장 후 실시하는 의장 작업, 배관이나 철의장 제작, 유니트 제작도 선행의장계획 대상이 될 수 있으며, 작업의 효율과 안전을 고려하여 블록을 턴오버(Turn-Over) 한 후 수행하는 의장작업도 선행의장 계획에 포함된다. 조선소에 따라서 선행의장 액티비티를 세부적으로 구분하기도 하고, 여러 작업을 하나의 액티비티로 묶어서 계획을 하기도 한다.

선행의장 액티비티의 시작일은 자재 소요일과 의장 설치도면의 출도일에 영향을 주며, 후공정인 선행도장 착수일이 완료일의 제약이 된다. 대부분의 경우 도장 착수 전에 도장 작업을 위한 발판(Scaffolding)을 설치해야 하므로, 선행의장 완료일과 선행도장 착수일 간에는 발판 설치 공기와 공정관리를 위한 적정 버퍼를 확보하도록 한다.

의장품 설치 작업은 기본적으로 설계 도면에 따르지만 블록의 구조와 의장품의 배치에 따라 의장품 설치 단계의 규명이 필요하며, 이는 PE 의장과 같이 작업순서도(Work Sequence Diagram, WSD)에 따른다. 의장품 설치가 복잡한 경우에는 생산기술 조직에서 상세한 작업 방법을 검토하여 생산에 정보를 전달하기도 한다.

설치할 의장품이 많지 않은 블록(주로 Cargo Hold 구역의 블록)의 경우에는 조립작업장에서 선행의장 작업을 병행하여 수행하며, 의장품이 많은 블록(주로 기관실 블록)은 별도의 선행의장 작업장으로 이동하여 작업을 수행하게 된다. 선행의장의 생산 가능성은 선행의장 작업장 부하와 작업 인력부하로 판단한다. 작업 기간과 소요 인력은 작업 물량에 따라 결정되는데, 의장 작업 물량은 설치되는 의장품의 종류에 따라 매우 다양한 물량 단

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

위가 있을 수 있지만 선행의장 단계에서는 대표적으로 배관은 설치할 배관 피스 수량(크기별로 몇 단계로 세분화 하기도 함), 철의장은 설치할 철의장 중량을 고려한다.

조립계획

조립작업은 전체 생산 작업량 중 가장 높은 비중을 차지하는 만큼 생산계획 시 생산목표 설정과 생산 가능성 검토 시 중요하게 다룰 수밖에 없는 작업이다. 생산량을 측정하는 지표가 됨. 실질적으로 가공계획을 결정하게 되며, 선행의장과 선행도장의 일정에 직접적인 영향을 미친다. 탑재일정 기준으로 Backward 계획을 수립하기는 하지만, 기본적으로 Backward 계획으로 선행 작업의 일정 범위가 산출된 후에는 조립일정이 선행 작업들의 일정을 결정하는데 중요한 기준이 된다.

조립은 시스템적으로 움직이고, 다수의 블록을 동시에 생산해야 하며, 가공부터 소조, 중조, 대조 단계를 거치며 많은 조립품들을 다루어야 하고, 각 조립품들이 복수의 작업장을 거치며 생산이 되기 때문에, 공정은 지연이나 불안전 요소가 발생하면 회복이 어렵다.

조립계획 시 기본적으로 조립 액티비티의 착수일과 완료일을 결정하는 것이다. 조립 액티비티의 착수일은 가공계획에 영향을 미치며, 조립 액티비티의 완료일은 후공정이 되는 선행의장 혹은 선행도장의 착수일의 제약일이 된다. 반대로 조립 액티비티의 완료일은 후공정인 선행의장과 선행도장 착수일에 따라 조정되기도 하는데, 어느 공정의 일정을 조정할 것인지는 공정별 부하 수준과 조선소의 생산 운영 정책에 따라서 달라질 수 있다.

기준계획 수립 조직에서는 조립 액티비티의 착수일과 완료일을 결정하고 생산 실행 조직에서 세부 조립품에 대한 일정계획을 수립한 후 기준계획의 조립계획을 준수 가능 여부를 반영하는 방식이 전통적인 방식이며, 지금도 많은 조선소에서 이러한 업무 절차를 따르고 있다. 이런 방식의 장점은 상위 계획 조직에서 생산의 목표를 제시하고, 실행 조직

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

에서 직접 일정계획을 수립하도록 하여 책임 생산을 강하게 유도할 수 있는 장점이 있다.

전통적으로 이러한 업무 방식을 따랐던 가장 큰 이유는, 하나의 블록에 대해 세부 조립품은 많게는 수십개에 이르기 때문에 기준계획 수립 시 세부 조립품의 일정까지 수립하는 데에는 어려움이 따르기 때문이다. 세부 조립품(Ass'y)의 조합으로 이루어지는 블록의 조립 작업을 조립 액티비티 하나로 표현하고 생산 가능성을 검토하는 것은 생산의 실제 상황을 제대로 반영한 계획이 되지 못하는 한계가 있다. 이와 같은 한계를 극복하고자 세부 조립품에 대한 계획을 기준계획 단계에서 수행하기도 하는데, 많은 수의 데이터를 다룰 수 있는 계획 시스템의 지원이 수반되어야 가능한 작업이 된다.

조립 작업이 많은 수의 세부 조립품과 부재들의 조합으로 이루어지기 때문에 작업 순서를 결정하는 것은 효율적인 생산을 위해 매우 중요한 일이 된다. 조선소에서는 조립상세도(Detailed Assembly Plan, DAP)를 작성하여 조립 작업의 단계와 순서를 결정한다. DAP 작성 시 조립품을 제작 시 소요되는 정반의 조건과 크레인 조건을 고려하기 때문에, 해당 조립품을 제작할 수 있는 작업장이 자연스럽게 결정된다. 블록과 조립품의 작업장이 결정되면, 작업장의 크레인 조건에 맞추어 부재 탑재와 조립품 turn-over 및 반출을 위한 Lifting 방법을 제공해야 하며, 블록 반출 시 이동을 위한 Supporting 방법 등 효율적이고 안전한 작업을 위한 공법적인 지원이 필요하다. 생산기술에서 결정하는 기술적 사항에 따라 소요 자원이 결정되기 때문에 조립계획 수립 시 생산기술 전문가와 긴밀하게 협업을 하는 것이 필요하다.

조선소에 따라 유사한 조립품을 생산 단계별로 묶은 단위로 관리를 하기도 하는데, 조립품에 대한 묶음 단위를 '송선'이라 부른다. 송선 체계를 사용하는 경우 DAP도 송선 단위로 표현되고, 작업장 지정, 작업 일정 수립도 모두 송선 단위로 이루어진다.

조립작업은 크레인 설비가 갖추어져 있는 작업장('정반'이라고도 함)에서 이루어진다. 크레인은 부재와 조립품 탑재를 위한 크레인, 완성된 블록을 반출하기 위한 크레인으로

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

구분된다. 작업장은 조립품 혹은 블록을 위치시킬 수 있는 공간으로 조립품과 블록의 크기를 고려하며, 조립품과 블록의 하부 형상에 따라 평블록과 곡블록을 위치시킬 수 있는 장소를 필요로 한다. 대부분의 조선소에서 조립 작업장은 옥내화된 공장 설비를 갖추어 안정적으로 블록을 제작할 수 있도록 하고 있고, 평블록에 대해서는 라인화된 설비를 갖추어 흐름 생산을 통해 생산량과 생산효율을 극대화할 수 있도록 하고 있다.

따라서, 조립계획 수립 시 조립 작업을 위해 필요한 작업장과 크레인 설비에 대한 제약과 소요부하를 고려하는 것이 필수적이다. 특히, 세부 조립품 단위가 소조 > 중조 > 대조 단계로 진행되면서 더 큰 크레인 설비와 작업장을 필요로 하므로 단계별 설비 제약을 고려해야 하고, 작업 효율은 평평하고 아래보기 작업이 가능하며 고소작업이 없는 단계(일반적으로 소조 > 중조 > 대조 단계로 진행되면서 작업성은 떨어진다)에서 작업을 할 수 있도록 적절한 작업 단계에서 해당 작업이 이루어질 수 있도록 생산계획을 수립하는 것이 중요하다.

조립작업에 소요되는 생산 인력은 크게 심출, 취부, 용접, 사상, 곡직으로 구분할 수 있는데, 이 중 생산량을 결정하는데는 취부와 용접 인력이 가장 많은 비중을 차지하며, 검사를 위한 준비 작업에는 사상 인력의 부하가 중요한 요소가 되기도 한다. 통상적으로 기준 계획 시에는 취부와 용접 작업의 부하를 기본적으로 고려한다.

다음 표 13은 선행계획의 계획 대상, 계획 결과, 제약 사항과 계획 방법을 나타내었고, 각 항목에 대해 어떤 생산정보모델의 어느 요소가 해당하는지 정리한 것이다.

표 13. 선행계획의 계획 대상, 결과, 제약사항 및 생산정보모델 요소

계획명	구분	내용	생산 정보 모델
선행계획	계획 대상	단독블록	Product
	계획 결과	공종별(가공, 조립, 선행의장, 선행도장 등) 액티비티 착수/완료 일자	Schedule
		공종별 작업 조직 및 작업장	Area
		설계 도면 출도일	Schedule

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

		자재(강재, 의장재) 소요일자	Schedule
	계약 사항	작업순서도(Work Sequence Diagram)	Process
		공종별 인력 Capacity 및 소요 부하	Labor
		공종별 작업장 Capacity 및 소요 부하	Area
계획 방법	Activity Network	Process, Schedule	
조립계획	계획 대상	단독블록 및 서브블록 (혹은 송선)	Product
	계획 결과	블록 착수/완료 일자	Schedule
		서브블록 (혹은 송선) 착수/완료 일자	Schedule
		블록 및 서브블록(혹은 송선) 제작 조직 및 작업장	Area
		설계 도면 출도일	Schedule
		자재(강재, 의장재) 소요일자	Schedule
	계약 사항	조립상세도(Detailed Assembly Plan)	Process
		작업순서도(Work Sequence Diagram)	Process
		조직별 인력 Capacity 및 소요 부하	Labor
		작업장별 Capacity 및 소요 부하	Area
계획 방법	Activity Network	Process, Schedule	

2.2.3.3 가공계획

가공계획은 기본적으로 블록 제작을 위한 부재의 절단, 절단 부재 중 곡이 있는 부재에 대한 곡가공 작업에 대한 계획을 수립하는 것이며, 원자재인 강판과 형강을 절단 전에 전처리하여 강재 표면의 녹과 불순물을 제거하는 전처리 작업, 절단 부재의 모서리 부위 사상, 준비된 절단부재, 가공부재를 블록과 조립품 제작 단위로 분류하고 모아서 일괄 공급하기 위한 배재 작업에 대한 계획도 가공계획에 포함된다. 조선소에 따라서는 콤포넌트라고 불리는 작은 단위의 조립품을 생산하는 작업까지를 업무 범위로 하기도 한다.

조립계획까지의 계획의 기본 단위가 블록인 반면, 가공계획은 원자재와 절단 부재를 대상으로 하기 때문에 계획의 상세 수준이 조립계획 이후의 계획보다 매우 상세해진다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 적용에 관한 연구

따라서, 기준계획 시 상세 수준의 가공계획을 수립하는 것은 어려움이 있어 기준계획 시 가공 작업의 주요 절점이 되는 블록별 절단 착수일을 결정해주며, 절단 착수일에 따라 절단 도면 출도일, 강제 입고일이 조선소의 업무 규칙에 따라 결정된다.

제 3 장

조선소 통합 생산계획 시스템 개발

3.1 개발 방법론

기존의 생산계획 연구들은 특정 문제를 중심으로 계획 및 스케줄링 작성 및 관리에 초점을 맞추고 있으며, 조선소 생산계획을 위한 프로세스 체계화 및 시스템 개발에 대한 연구는 부족한 상황이었다. 본 논문에서는 한국 중견 조선사를 대상으로 요구 사항 단계부터 시작하여 체계적인 개발 방법론을 이용하여 통합 생산 계획 시스템을 개발한 사례를 소개한다.

생산계획시스템 개발을 위한 업무 분석 단계는 PI/BPR(Process Innovation and Business Process Re-engineering) 방법론을 적용하여 As-Is 프로세스 분석과 To-Be 프로세스 정의를 수행하였다. PI/BPR 방법은 기업의 현행 체계(organization, process 및 system 등)가 수준이 저하되거나 기업의 프로세스 및 시스템에 대한 기반 구조(infra structure) 자체가 존재하지 않는 상황에 대응하기 위한 일종의 진단 및 설계 방법론으로 기업의 역량을 강화하기 위한 구조적 변화를 지향하는 방법론으로 알려져 있다(Andersen 2007). 그림 8에서는 PI/BPR의 주요 업무와 주요 산출물에 대한 프레임워크를 보이고 있다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

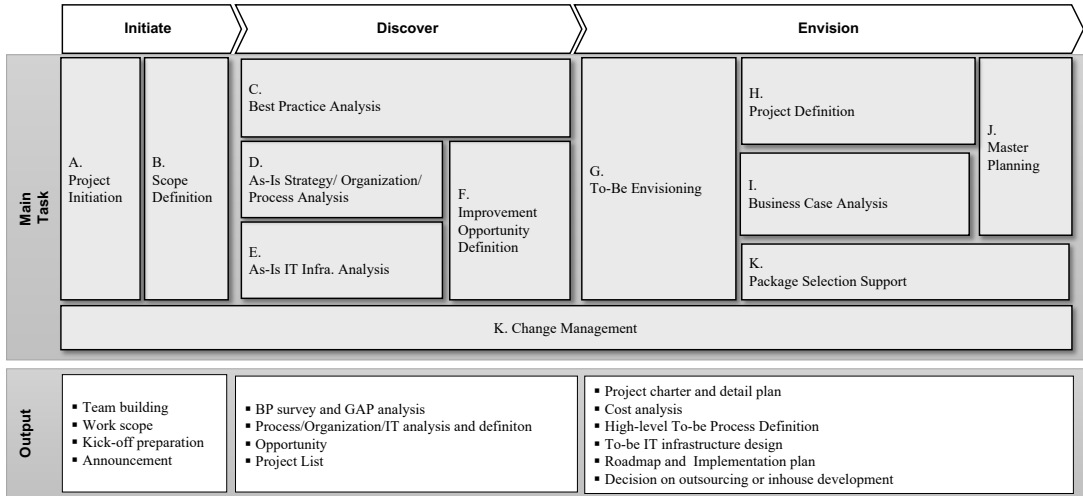


그림 8. PI/BPR 프레임워크

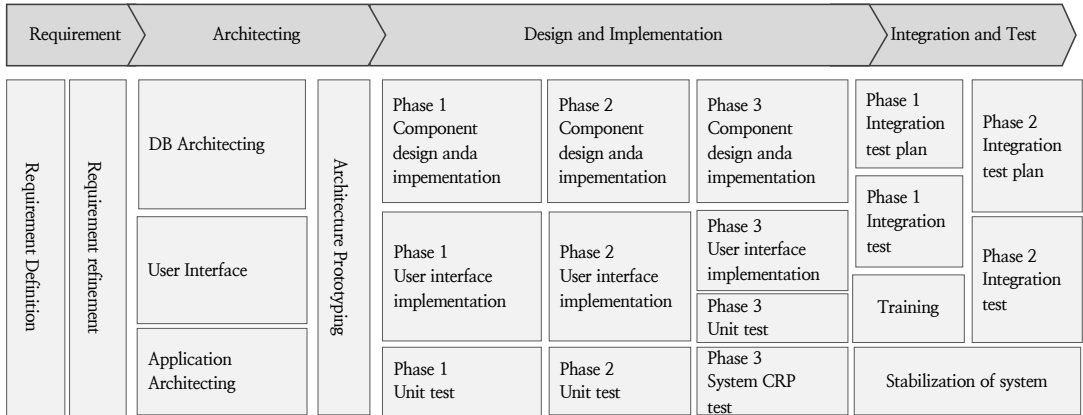


그림 9. CBD (Component based development) 절차

PI/BPR 방법론을 통해 도출된 To-be 구현을 위한 통합 생산계획 시스템 개발에 대하여, 요구분석 단계부터 아키텍처 정의 단계, 구현 단계 및 테스트 단계를 포함하는 컴포넌트 기반 개발방법론 (CBD, Component Based Development)을 이용하였다(Chaudron,

Larsson et al. 2005). 요구사항 분석에서 도출된 유스케이스 기술서와 아키텍처 설계 내역을 기본으로 하여 구현 및 테스트 수행에 이르는 공인된 개발 절차를 통해 진행하였다(그림 9).

3.2 업무 프로세스 분석

대상 조선소의 통합 생산 계획 시스템 구축을 위한 업무 분석은 PI/BPR 방법론을 이용하여 적용 환경 분석을 수행하였다. 본 논문에서는 그림 8 의 PI/BPR 프레임워크중 Discover 의 D.As-Is process analysis 단계에서 대상 조선소의 생산 계획 업무에 대한 현상 분석을 수행하고, Envision 의 G.To-Be envisioning 단계에 해당하는 생산 계획 체계를 설계하였다.

3.2.1 As-Is 분석

제조 기업의 value chain 은 운영 활동(operation activities)과 지원 활동(supporting activities)으로 분류할 수 있다 (Porter 2011). 지원 활동은 비즈니스의 내부적 운영을 표현하며 산업계 간에 큰 차이가 있지는 않은 반면, 운영 활동은 비즈니스의 외부적 운영을 표현하는데, 이러한 프로세스는 업종 별로 고유하다. 제조업의 일반적인 운영 프로세스의 value chain 은 그림 10 과 같다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Level 1 Process Chain	견적/수주(C)	설계(E)	조달(P)	생산(M)	고객인도(L)
Level 2 Activities	수주계획 수립	영업 설계	구매 전략 수립	프로젝트 일정 관리	하도급계약/기성 관리
	입찰 준비	설계 계획	구매 계약	목표예산 편성	시운전/성능 시험
	견적 입찰	기본 설계	구매 발주	생산 전략 수립	
	계약 및 협상	상세 설계	입고/출고	생산 계획 수립 (중소일정)	
	미확정프로젝트 계획수립	생산 설계	대금 지불	생산 준비/실행	
	고객 정보 관리	설계변경 관리	재고 관리	생산 실적 관리	
		기술자료 관리	운송/통관	생산물류 관리	
		Item/BOM관리	공급업체 관리	출하 준비	
		계약 관리	구매기준정보 관리	공정외주 관리	
		기성/수금 관리		치공구 관리	
		프로젝트 정산 관리		생산기술지원	

그림 10. 주요 액티비티에 대한 프로세스 모델 [Porter (2011)]

본 논문에서는 Porter (2011)의 밸류체인(value chain) 운영 활동 중 조달/생산/고객인도 부분을 SCM 밸류체인으로 정의하였다. 그리고, 이 중 생산에 대한 현행 체계 분석을 통해 생산 프로세스체인(process chain)에 대한 level 2 를 그림 11 및

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 14 과 같이 도출하였다. 그리고, 그림 12 와 같이 생산 프로세스체인을 구성하는 각 액티비티들(activities) 간의 연관성을 분석하였다. 생산 프로세스체인의 액티비티 중 생산계획과 관련된 것은 S.2.01 생산 사업계획 수립, S.2.02 선편계획 수립, S.2.05 기준계획 수립, 그리고 S.2.06 생산 준비/실행으로 식별(

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 14와 그림 12에 붉은 색 테두리로 구분)되었으며, 이들은 다음 단계인 To-be 분석을 통해 통합 생산계획 시스템 설계 단계로 연결하였다.

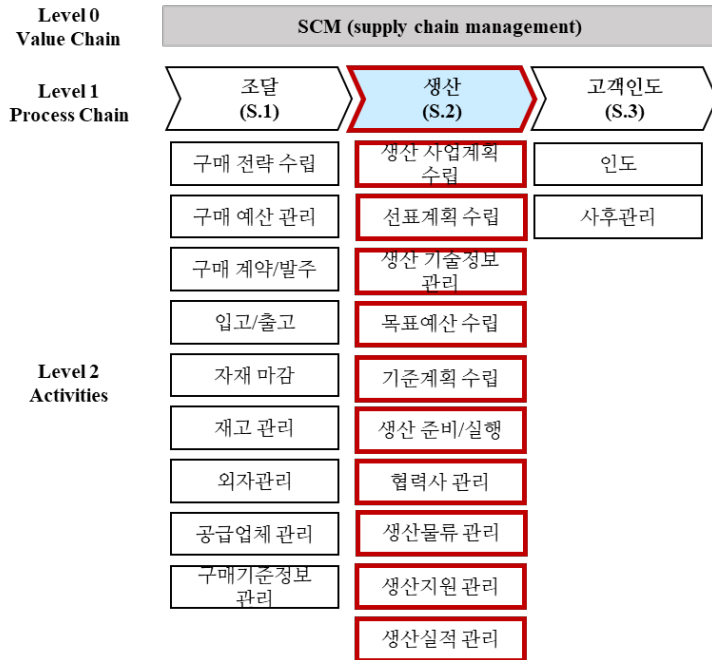


그림 11. SCM 밸류체인과 관련 액티비티 구성

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 14. S.2 생산 프로세스의 액티비티 정의

Process	Description
S.2.01 생산 사업계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> 중장기 영업계획, 영업 수주정보, 설계 기술정보를 근거로 중.단기 계획 생산성/매출액/건조척수를 수립하기 위해 선가, 강재처리량, CGT, 생산 시수 등을 호선별 표준공정 진도율로 산정하여 년도별 생산지표를 수립하는 프로세스
S.2.02 선표계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> 생산 사업계획을 기준으로 주요 key event 사항, 년도별 건조척수 등을 반영하여 건조선표, 영업선표를 작성하며 건조 선표는 생산계획(3년분)에 영업선표는 향후 3~5년의 영업방향 설정에 반영되도록 호선별 대일정을 수립하는 프로세스
S.2.03 생산 기술정보 관리	<ul style="list-style-type: none"> 호선별 특이사항, 도면, 물량, 생산공법, 시설보완에 관한 사항을 분석 및 개선계획을 수립한 산출 정보를 효율적인 생산실행에 사용토록 생산팀에 배포 및 변경사항 등을 검토하며 생산 기술정보를 관리하는 프로세스
S.2.04 목표 예산 수립	<ul style="list-style-type: none"> 사전원가 내역서, 실적선 생산성, 물량, 작업 scope를 검토하여 호선별로 예산, 물량을 1차 배분한 후 팀별 목표예산을 확정하여 생산조직에 통보하며 초기물량 변경분 또는 작업 scope 변경사항 등을 검토하며 목표예산을 관리하는 프로세스
S.2.05 기준계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> 선표계획, 생산 기술정보, 목표예산을 근거로 wp 배분, 부하분석 및 조정하여 확정된 중일정을 생산팀에 배포 이를 근거로 w/o배분, 팀/part/반단위 물량을 확정하여 생산을 수행할 수 있도록 생산계획을 관리하는 프로세스
S.2.06 생산 준비/실행	<ul style="list-style-type: none"> 월/주간 소일정 작성 및 부하평준화 후 직영/협력사 물량배분, 외주 시공의뢰, 불합리한 시공법 발취, 생산과정관리, 검사, 실적입력/분석을 근거로 생산성 향상방안 수립 및 이행 관리하는 프로세스
S.2.07 협력사 관리	<ul style="list-style-type: none"> 협력사 선정, 협력사 계약, 협력사 유지관리 그 외에 기성을 집계하고 분석하는 프로세스
S.2.08 생산 물류 관리	<ul style="list-style-type: none"> 생산 공정간 발생하는 물류를 처리하기 위하여 생산팀별 장비 요청된 신청서를 기준으로 장비 운영계획 수립 및 조정, 실적입력 및 가동율을 분석하는 프로세스
S.2.09 생산지원 관리	<ul style="list-style-type: none"> 생산을 지원하기 위한 생산 장비, 소요공구 및 소모품 집계, 구매요청, 입고 및 불출, 월별 사용현황 집계 관리하는 프로세스
S.2.10 생산 실적 관리	<ul style="list-style-type: none"> 호선 별 생산 실적 관리, 생산성, 일정 준수율, 품질 지표 등의 분석 생산성 저하, 공정 지연, 품질 문제 등의 분석을 통해 개선 계획을 수립하고, 차기 계획 반영

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

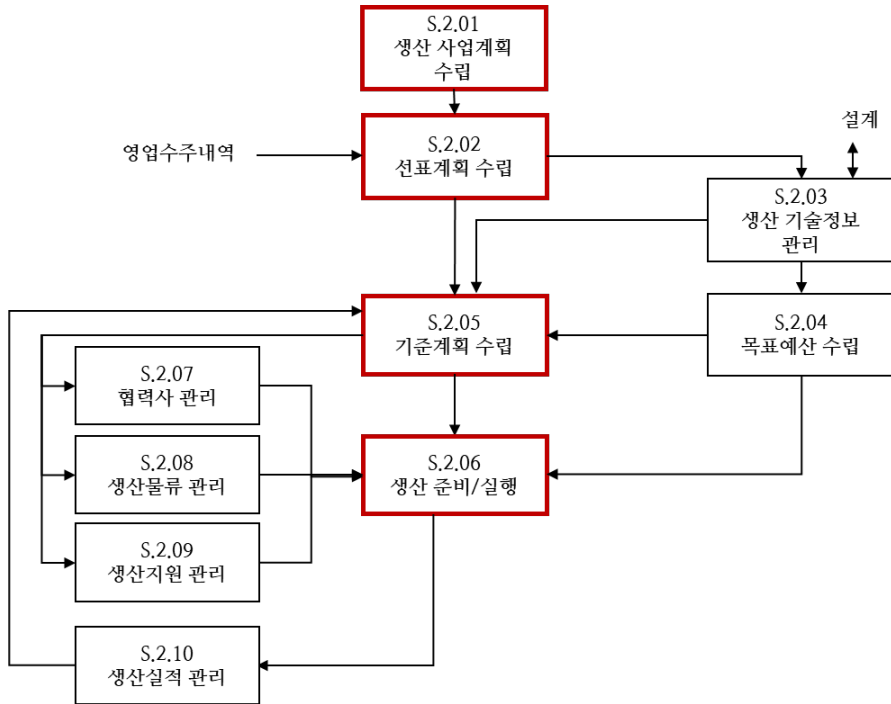


그림 12. S.2 생산 프로세스의 액티비티간 관계도

분석된 생산 영역 중 생산 계획의 영역은 S.2.01, S.2.02, S.2.05, S.2.06 으로 식별되어 To-be 분석을 통해 통합 생산계획 시스템 설계 단계로 연결하였다.

3.2.2 To-Be 설계

다음으로 S.2.0.1, S.2.0.2, S.2.0.5, S.2.0.6 의 현행 체계(As-Is)에 대한 LOVC(Line Of Visibility Chart) 분석을 통해 목표 체계(To-Be)를 도출하고 Level 1~Level 5 와 같이 상세 비즈니스 프로세스에 대한 설계를 수행하였다. 그림 13 과 그림 14 은 각각 Level 3 에 대

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

한 선표계획 수립과 기준계획 수립에 대한 LOVC 분석을 보이고 있다.

그림 13은 기존 As-Is의 생산 사업계획 수립과 선표계획 수립을 병합하여 선표계획 수립으로 통일한 To-Be 업무 프로세스를 보이고 있다. 선표계획 수립은 외부 시스템으로부터 중장기 영업 계획과 WBS, 가용인원 및 칼렌다(calendar) 등의 정보를 받아 시작되고, 사업계획 지표와 기존 선박과 수주 선박들에 대한 계획을 통해 선표(dock plan)를 확정하여 FCM(Financial Management), 생산 및 관련조직에 수립된 선표를 배포하고, 다음 계획 단계인 기준계획 수립으로 관련 데이터를 전달하는 프로세스로 구성된다. 이러한 선표계획 수립을 위한 Level 3 및 Level 4에 대한 상세 업무 프로세스를 표 15의 S.2.1 하위 항목으로 기술하였다.

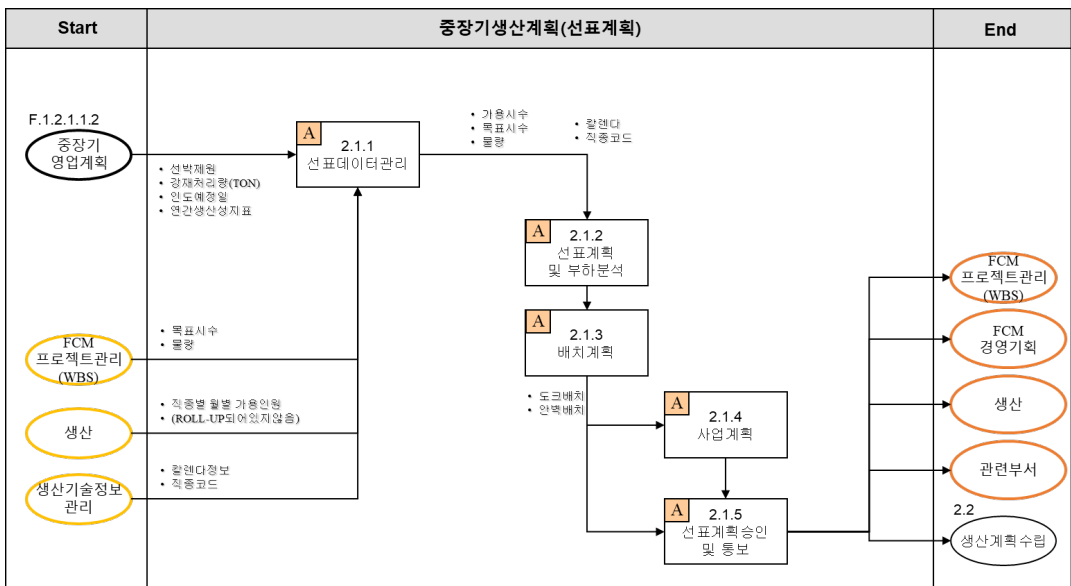


그림 13. To-Be 중장기 생산계획을 위한 LOVC 분석

다음으로 그림 14 과 같이 기준계획 수립에 대한 business process 를 분석하였다. 기준

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

계획은 선표 및 FCM, 작업자 및 작업장 정보, 과거 실적 등을 외부 시스템으로부터 입력 받는 것으로 설계 되었다. 기준계획 수의 첫 계획 업무는 탑재계획(block erection planning)을 수립하는 것으로 시작된다. 탑재계획을 기준으로 선행 계획(탑재 이전의 공정들에 대한 계획; fabrication, block assembly, pre-outfitting, pre-painting, PE)과 후행 계획(탑재 완료 후 진수 이후의 공정들에 대한 계획; 안벽(quay)에서 수행되는 outfitting, painting, sea trial 등)으로 연계된다. 선행계획과 후행계획이 수행되는 과정에서 동시에 선체 블록들에 대한 공간 배치 가용 여부가 검토된다. 그리고 공간 가용성이 확인되면 주요 공종들에 대한 부하 분석이 이어지게 된다. 충분한 수준의 부하 평준화가 확인되면 최종적으로 기준계획을 FCM과 현업(현업에서는 실행계획 수행)으로 전달하면서 기준계획 수립의 한 사이클이 종료된다. 여기에서 2.2.8의 중일정 최적화는 선행계획의 액티비티들에 대한 부하평준화를 최적화 알고리즘을 이용하여 수행하는 부분으로 대부분 외부 시스템이나 별도의 조직에서 수행하는 것이 일반적이었지만 본 논문에서 개발된 통합생산계획 시스템에서는 IBM CPLEX 기반으로 개발된 기준계획 최적화 기능이 계획 시스템 내부에서 연동이 되도록 설계에 반영하였다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

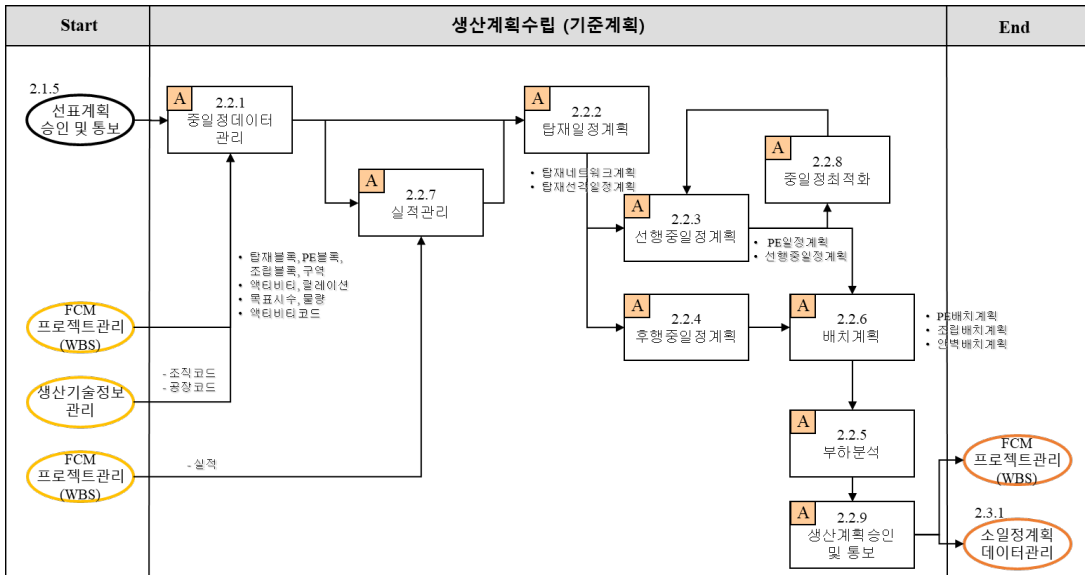


그림 14. To-Be 생산계획수립을 위한 LOVC 분석

본 논문에서는 주로 생산 현장에서 수행되는 실행 계획 부분은 개발 범위에 포함시키지 않는다. To-be process 에 실행계획 을 포함시키기는 했지만 생산 현장에서의 요구사항이 명확하지 않았기 때문에 개발 단계로 연결시키지는 않았다.

이러한 분석을 통해 표 15 과 같이 As-is 분석의 S.2.01 생산 사업계획 수립과 S.2.02 선편계획 수립은 To-Be 액티비티에서 S.2.1 선편계획 수립으로 병합되었고, S.2.05 기준계획 수립은 ID 만 변경되어 S.2.2 기준계획 수립으로 조정되었다.

표 15. 생산계획 To-Be 프로세스 분해 (Level 2~Level 4)

Level 2		Level 3		Level 4	
ID	Name	ID	Name	ID	Name
S.2.1	중장기생산계획 (선편계획)	S.2.1.1	선편데이터관리	S.2.1.1.1	선편케이스관리
				S.2.1.1.2	선편계획정보관리
				S.2.1.1.3	선편기준정보관리
		S.2.1.2	선편계획및부하분석	S.2.1.2.0	

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

		S.2.1.3	배치계획	S.2.1.3.1	도크배치계획 (선표계획)
				S.2.1.3.2	안벽배치계획 (선표계획)
		S.2.1.4	사업계획		
		S.2.1.5	선표계획승인 및 통보		
S.2.2	생산계획 수립 (기준일정계획)	S.2.2.1	중일정데이터관리	S.2.2.1.1	중일정케이스관리
				S.2.2.1.2	중일정계획정보관리
				S.2.2.1.3	중일정기준정보관리
		S.2.2.2	탑재일정계획	S.2.2.2.1	탑재네트워크계획
				S.2.2.2.2	탑재선각일정계획
		S.2.2.3	선행중일정계획	S.2.2.3.1	PE일정계획
				S.2.2.3.2	선행일정계획
		S.2.2.4	후행중일정계획		
		S.2.2.5	부하 분석		
		S.2.2.6	배치계획	S.2.2.6.1	PE배치계획 (중일정)
				S.2.2.6.2	조립배치계획 (중일정)
				S.2.2.6.3	안벽배치계획 (중일정)
		S.2.2.7	실적관리	S.2.2.7.0	
		S.2.2.8	중일정 최적화	S.2.2.8.0	
S.2.2.9	생산계획승인	S.2.2.9.0			
S.2.3	생산계획 수립 (소일정계획)	S.2.3.1	소일정계획 데이터관리	S.2.3.1.0	
		S.2.3.2	소일정계획 수립	S.2.3.2.1	소일정계획 작성
				S.2.3.2.2	소일정계획 조정

3.3 시스템 아키텍처 설계

다음으로, PI/BPR 을 통해 결정된 생산계획의 To-be 프로세스 구현을 위해 CBD 개발 방법론 기반의 시스템 설계에 대한 내용을 기술하고자 한다.

3.3.1 요구사항 분석

CBD(Component Based Development) 개발 방법론의 요구분석 단계는 시스템에 대한

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

사용자의 요구사항을 이해하고 그것을 시스템이 구현할 수 있도록 요구사항을 정의하는 단계이다. 본 논문은 조선소 생산계획을 수립하는 시스템을 구축하는 것을 목적으로 하며, 대상 시스템은 중장기 생산계획 시스템과 기준계획 수립 시스템으로 구성된다. 대상 시스템은 각 생산계획 업무 별 계획 기능들과 계획 별로 연관된 부하 분석 및 배치 계획이 포함되도록 하였다.

중장기 생산계획 단계에서는 3~5 년의 수주 선박 및 수주 예상 선박의 생산일정을 계획하는 단계로서, 경영기획 및 영업을 위한 생산가능성 및 예상 작업 부하를 시뮬레이션 하고, 수주된 선박의 선표 계획을 작성한다. 이 때, 각 Dry dock(or skid birth) 의 Batch 생산계획에 따라 키이벤트(key-event)를 계획 하며, 직종 별 부하 및 도크/안벽 배치 가능성을 함께 고려할 수 있어야 한다.

중일정계획 단계는 중장기 생산계획에 의해 정해진 각 호선의 키이벤트 일정을 참고 하여, 선박의 블록/구역별 생산 액티비티를 계획한다. 이를 위해 탑재계획, PE 계획, 블록 조립 계획, 후행 계획 기능들을 제공하며, 또한 정해진 일정에 각 자원(조립정반, PE 정반, 안벽) 가용성을 검토할 수 있도록, 조립정반배치, PE 정반배치, 안벽정반배치 기능을 제공하며, 최적화된 일정수립을 지원하기 위한 조립일정 최적화 알고리즘을 제공하도록 한다.

시스템에 대한 사용자의 요구사항을 정의하기 위해 UML(Unified Modeling Language) 에서 행위모델(behavior model)을 정의하는 유스케이스(usecase) 분석 기법을 사용한다. 사용자의 요구사항과 업무 분석을 통해 액티(actor)와 유스케이스를 도출하고, 각 유스케이스에 대해 유스케이스 이벤트 흐름(usecase flow of event)를 작성한다. 조선소 생산계획 시스템의 액티는 UML 을 이용하면 그림 15 과 같이 표현될 수 있고, 각 액티에 대한 설명을 표 16 에 추가하였다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

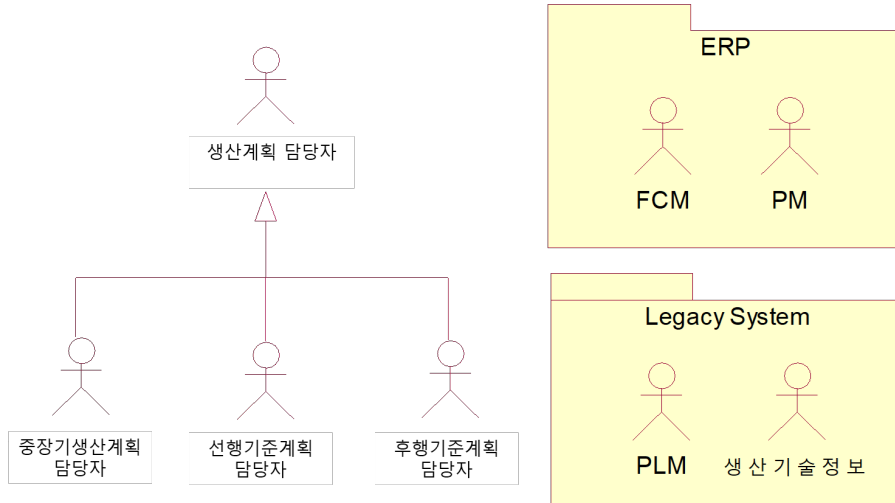


그림 15. 생산계획에 대한 액터 다이어그램

표 16. 생산계획에 대한 액터 목록

Actor	Description
생산계획담당자	생산계획 actor로서, 선표계획, 기준계획, 실행계획을 담당하는 모든 계획 담당자를 포함하는 상위 객체
선표계획 담당자	선표계획을 담당하며, 각 호선의 키이벤트 일정을 계획하는 actor 이 때, 직종별 부하를 분석하여 부하평준화를 고려하며, 도크배치 및 안벽 배치가 정해진 기간 내에 가능하도록 계획을 수립
선행기준계획 담당자	탑재 계획과 그 이전의 공정들(가공, 조립, 선행의장, 선행도장)에 대하여 선체 블록 단위에 대한 기준계획을 수립하는 actor
후행기준계획 담당자	탑재 이후의 작업에 대한 기준계획을 수립하는 actor 도크(혹은 skid birth) 및 안벽(quay) 단계의 계획을 zone 단위로 수립하며, 이 때 부하 평준화 및 안벽배치 키이벤트 일정을 고려
실행계획 담당자	기준계획 수립 후 세부 공종에 대한 생산 계획 수립하는 actor 각 세부 공종들의 작업 조건에 따른 부하 평준화를 고려하여 정해진 기준 계획의 한도 내에서 실행 일정을 계획
ERP-FCM	APS 에서 사용할 기준 정보(master data) 중, 예산/영업 정보를 인터페이스 하는 actor

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

ERP-PM	APS 에서 사용할 기준정보(master data) 중, WBS 정보를 인터페이스 하는 actor
PLM	도면/설계 정보를 담당하는 actor
생산기술정보 담당자	생산에 사용되는 모든 기술정보를 관리하는 actor로, 블록분할 정보 및 인력, 공법 등의 정보를 관리
시스템관리자	시스템에 대한 사용자 관리, 권한 관리 등을 담당하는 actor

유스케이스는 사용자에게 가치있는 결과를 제공하기 위해 시스템이 수행하는 행위의 연속이다. 본 논문에서는 생산계획 시스템에 대해 총 51 개의 유스케이스를 정의하였는데, 도출된 유스케이스는 증장기 생산계획과 관련 11 개, 기준계획 관련 6 개, 배치계획 관련 8 개, 조립일정 최적화 관련 5 개, 계획 데이터 관리 관련 11 개, 그리고 공통 사항 10 개로 구성된다. 다음 표 17는 도출된 생산계획 유스케이스의 예시로, 유스케이스 명칭과 유스케이스에 대한 간단한 설명을 포함한다.

표 17. 유스케이스 목록 (일부 예시)

ID	Uscase name	Description
UPP1	선포계획수립	직종별 workload를 고려한 호선의 batch 일정 및 키이벤트(key-event) 계획 수립. 이 때, 도크배치계획 및 안벽배치계획을 고려함
U101	탑재 네트워크 계획 수립	호선 별 탑재 액티비티들의 선후행 관계와 피치를 고려하여 critical path를 결정하고, 이를 이용하여 각 탑재 블록의 탑재 일자를 결정하며, Goliath crane의 작업 부하 고려
U201	PE일정계획 수립	PE 일정 계획과 함께, 조립, 의장 및 도장작업들에 대한 세부 일정 계획 동시 수립. Goliath crane 작업 부하와 공간 점유율, 인력 부하 고려
U202	선행일정계획 수립	선행의장 및 선행도장 일정을 고려하여 블록의 조립 일정 수립. 각 조립 공장 별 인력부하와 작업물량에 대한 부하 고려. 조립 일정에 따라 절단 시작일과 절단도출도일을 결정
U301	후행일정계획 수립	호선 별로 탑재 이후의 의장, 도장, 시운전 작업에 대한 일정 수립. 각 공종 별 작업 부하와 주요 키이벤트 일정 고려
U302	키이벤트 일정계획 수립	작업 케이스에 포함된 모든 호선의 키이벤트 일정 수립
UA01	PE배치계획 수립	PE 기간 동안 해당 블록을 작업장에 배치할 수 있는지 확인. 공간 배치 시뮬레이션 환경에서 PE 블록의 단면 형상을 해당 작업장에 배치하여 배치 가능 여부 확인

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

UA02	도크배치계획 수립	탑재 기간 동안 해당 호선들을 도크 또는 선대에 배치할 수 있는지 확인. 공간 배치 시뮬레이션 환경에서 호선의 평면 형상을 도크 또는 선대에 배치하여 배치 가능 여부 확인
UA03	조립배치계획 수립	조립 기간 동안 해당 블록을 작업장에 배치할 수 있는지 확인. 공간 배치 시뮬레이션 환경에서 조립 블록의 평면 형상을 해당 작업장에 배치하여 배치 가능 여부 확인

다음으로 도출된 각각의 유스케이스에 대해 유스케이스 이벤트 흐름(usecase flow of event)을 기술하는데, 이는 시스템과 사용자 사이의 상호작용과 시스템의 행위를 이해하기 위하여 액터의 관점에서 시스템의 행위를 표현한다. 이 과정은 시스템 사용자를 대상으로 한 인터뷰, 사용자가 제시하는 업무 관련 자료 및 시스템에 대한 비정형적인 자료들을 분석한 결과를 반영하여 비즈니스 분석가가 작성한다. 유스케이스 이벤트 흐름은 정의된 모든 유스케이스에 대해 다음과 같이 유스케이스 정의서에 기술한다. 유스케이스 이벤트 흐름은 기본 흐름(basic flow)을 통해 정상적인 작업의 수행을 나타낸다. 기본 흐름 외에 복수의 대체 흐름(alternative flow)이 있을 수 있고, 오류가 발생할 때 처리되는 예외 흐름(exceptional flow)을 포함하며, 업무 규칙과 사용자의 특별 요구사항도 기술한다. 업무 규칙이 복잡한 경우 별도의 문서로 기술할 수 있다. 표 18에서 ‘U101: Block erection planning’ 유스케이스에 대한 이벤트 흐름에 대한 분석 사례를 보이고 있다.

표 18. 탑재네트워크 계획의 유스케이스 이벤트 흐름

ID	U101	Usecase	탑재 네트워크 계획 수립
Writer	홍길동	Modifier	N/A
Created	2004-11-16	Finalized	
Actor	선행기준계획 담당자		
Preliminary conditions	계획 수립의 대상이 되는 기준일정계획 케이스를 선택한다. 기준일정계획 케이스에 포함되는 호선의 선평 데이터를 선평계획 시스템으로부터, 작업 칼렌더 등과 같은 기준 정보를 타 시스템으로부터 수신하여 데이터베이스에 저장해서 사용 가능한 상태이어야 한다.		
Post conditions	탑재일 변경 시, 각 일정계획 최초 실행시, 탑재선각, PE일정, 조립일정, 후행일정이 변경된 탑재일에 따라 재계산 되어야 한다.		
Basic flow	Actor behavior	System behavior	

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

<p>1. 탑재 네트워크 계획 수립을 선택한다.</p> <p>3. 탑재 네트워크 수립 호선을 선택한다.</p>	<p>2. 탑재 네트워크 계획 화면을 보여준다.</p> <p>4. 선택한 호선의 탑재이벤트와 탑재 시퀀스로 구성된 탑재네트워크를 보여준다.</p>
<p>[탑재이벤트 위치변경]</p> <p>5.1. 수정할 탑재이벤트를 선택한다.</p> <p>7.1. 원하는 링, 행 위치로 변경한다.</p>	<p>6.1. 선택된 탑재이벤트를 구별하여 보여준다.</p> <p>8.1. 탑재이벤트의 위치정보를 수정한다.</p> <p>9.1. 탑재연결일정 화면이 열려 있으면 수정된 정보로 업데이트 한다.</p>
<p>[탑재시퀀스 생성]</p> <p>5.2. 생성할 탑재 시퀀스의 출발 탑재이벤트와 도착 탑재이벤트를 지정한다.</p> <p>7.2. 피치 값을 입력한다.</p>	<p>6.2. 시퀀스를 탑재네트워크에 생성하여 보여주고, 피치 입력 상태로 전환한다.</p> <p>8.2. 입력한 피치값을 시퀀스에 적용하여 보여준다.</p> <p>9.2. 탑재연결일정표 화면이 열려 있으면, 수정된 정보로 업데이트 한다.</p>
<p>[탑재 네트워크 계산]</p> <p>5.7. 탑재 네트워크 계산을 요청한다.</p>	<p>6.7. 탑재 네트워크 계산을 수행하여 탑재일의 가능한 일정 범위 (ENT/LNT)를 계산하고, 가장 빠른 탑재 가능 일을 탑재일로 설정한다.</p> <p>7.7. 탑재 네트워크의 Critical-Path를 추출하고, 이를 화면에 식별 가능하도록 보여준다.</p>

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

		8.7. 탑재연결일정표 화면이 열려 있으면, 변경된 일정을 반영하고, 일별 탑재블록 개수를 재계산하고 화면에 갱신한다.
	[탑재 네트워크 정보 저장] 5.10. 작업 호선의 탑재 네트워크 저장을 요청한다.	6.10. 변경된 탑재이벤트, 탑재시퀀스 정보를 저장한다. 7.10. 탑재일이 변경된 탑재이벤트에 속하는 탑재블록의 탑재일을 변경하여 저장한다. 8.10. 탑재일이 변경된 탑재블록을 참조하는 PE/조립 블록의 탑재일을 변경하여 저장한다.
	[탑재 네트워크 인쇄] 5.11. 탑재네트워크 인쇄를 요청한다. 7.11. 인쇄범위(전체, 호선목록지정)을 선택한다. 8.11. 레이아웃(화면크기대로, 페이지에 맞도록, 지정한 페이지 수로) 유형을 선택한다. 9.11. 인쇄 매수 및 함께찍기 여부를 선택한다. 10.11. 인쇄를 요청한다.	6.11. 탑재네트워크 인쇄 화면을 생성하여 보여준다. 11.11. 사용자가 지정한 인쇄범위, 인쇄배율, 옵션, 인쇄매수를 적용하여, 탑재네트워크를 인쇄한다.
	액터 행위	시스템 행위
Exceptional flow	3. 오류 메시지를 확인한다.	[탑재시퀀스 생성/피치,대상수정 공통] 1. 생성/수정된 탑재시퀀스 정보 변경이 탑재 네트워크 규칙에 위배된다. 2. 오류 메시지를 출력한다. 4. 변경이전의 상태로 되돌린다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Frequency	상
Business Rule	- 탑재 네트워크 계산은 탑재이벤트 간의 선/후행조건인 탑재시퀀스와 피치를 이용하여 CPM 계산 방법을 적용한다. 탑재 네트워크 계산 규칙은 별도의 계산 규칙을 참조한다. - 탑재 네트워크의 Critical-Path 산출은 ENT(Earliest Node Time)만을 사용한다.

3.3.2 아키텍처 정의

본 논문에서는 개발 시스템의 아키텍처를 그림 16 와 같이 비즈니스 아키텍처, 애플리케이션 아키텍처, 기술 아키텍처, 데이터 아키텍처의 4 개 아키텍처로 구분하고, 각 아키텍처 관점에서 시스템의 구조를 분할하여 각 구조를 뷰로 표현하였다. 각 뷰에 대한 표현은 Kruchten (1995)의 ‘4+1 view’ 를 응용하여 유스케이스 뷰와 논리 뷰, 구현 뷰, 배포 뷰를 포함하였고, 프로세스 뷰는 PI/BPR 방법론에 따라 3 장에서 정의하였기에 아키텍처 정의 단계에서 제외하였으며, 사용자 인터페이스 뷰와 데이터 뷰, 기술 유스케이스 뷰를 추가하였다.

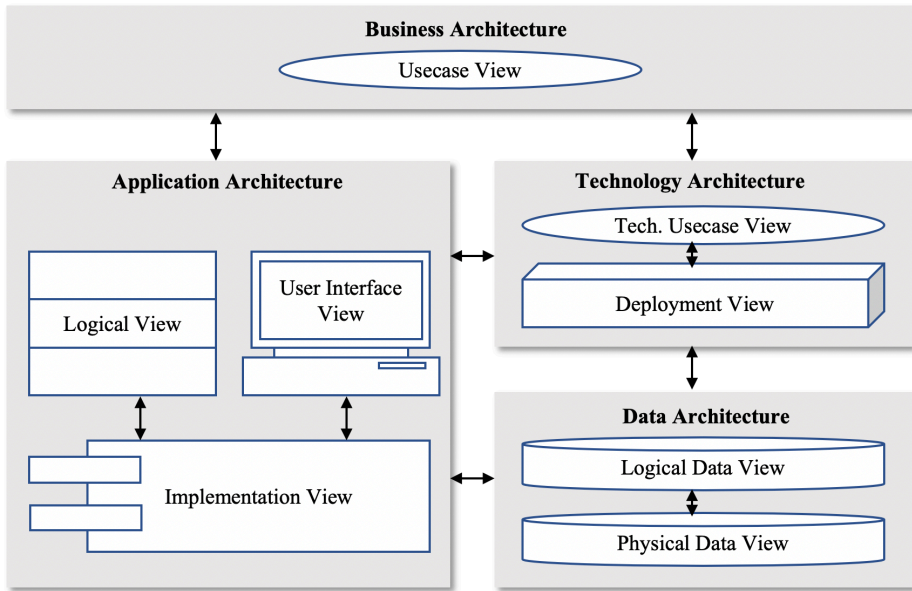


그림 16. 전체 아키텍처의 구성

3.3.2.1 비즈니스 아키텍처 (Business Architecture)

비즈니스 아키텍처는 유스케이스 뷰로 정의하며, 시스템에 대한 기능적 요구사항은 요구 분석 단계에서 정의된 유스케이스 모델로 표현하며, 시스템 사용자가 시스템의 어떤 기능을 사용하게 되는지, 시스템의 기능 간에 어떤 상관관계가 있는지 나타낸다. 그림 17은 생산계획 시스템의 비즈니스 아키텍처 중 선행중일정계획에 대한 비즈니스 아키텍처를 유스케이스 모델로 표현한 것이다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

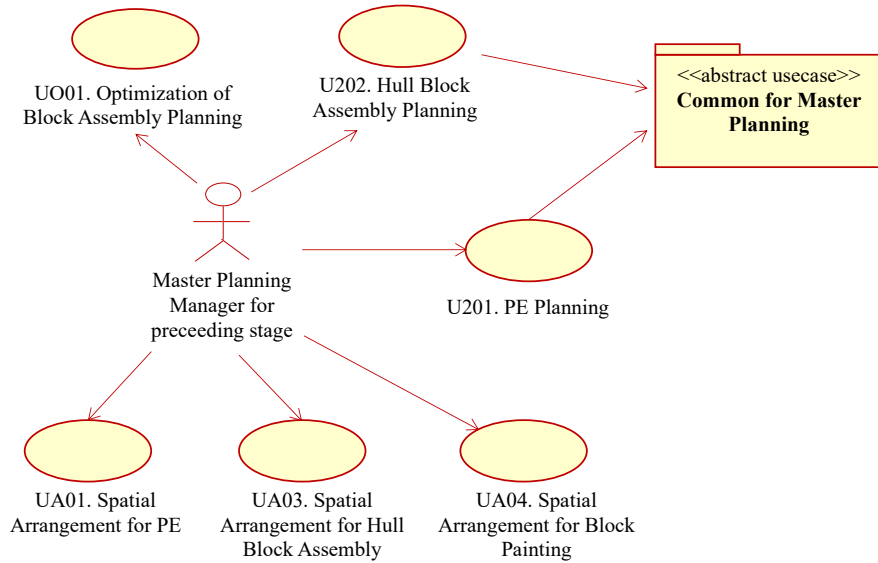


그림 17. 기준계획 수립에 대한 비즈니스 아키텍처(일부 예시)

시스템에 대한 사용자의 기능적 요구사항을 나타낸 비즈니스 아키텍처는 애플리케이션 아키텍처, 기술 아키텍처, 데이터 아키텍처 수립을 통해 구체화 되며, 이 과정에서 시스템에 대한 비 기능적 요구사항은 기술 아키텍처에 반영된다.

3.3.2.2 애플리케이션 아키텍처(Application Architecture)

애플리케이션 아키텍처는 컴포넌트 기반 개발에서 필수 구성 요소인 소프트웨어 컴포넌트들을 정의한다. 논리 뷰를 통해 비즈니스 문제를 해결하기 위한 비즈니스 컴포넌트와 이들간의 상호작용의 관점에서 시스템의 구조를 논리 모델로 정의하고, 사용자와 시스템의 인터페이스와 관련된 부분은 비즈니스 컴포넌트와 분리하여 사용자 인터페이스 뷰로 표현한다.

애플리케이션 아키텍처의 정의는 비즈니스 아키텍처에서 정의한 유스케이스에 대한

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

행위분석과 비즈니스 객체 모델링을 통해 비즈니스 컴포넌트를 정의하는 과정과 사용자 인터페이스 모델링을 통해 사용자 인터페이스를 정의하는 과정을 통해 이루어진다.

논리적인 비즈니스 컴포넌트를 구현하는 물리적인 소프트웨어 모듈(소스코드, 데이터 파일, 구현 컴포넌트, 실행 파일 등)의 구조는 구현 뷰로 표현되며, 시스템 설계 단계를 통해 구체화 된다.

3.3.2.3 기술 아키텍처 (Technology Architecture)

기술 아키텍처는 비즈니스 아키텍처에서 도출된 비 기능적 요구사항으로 부터 도출된 품질 속성을 실현하기 위한 기술적인 기반을 구축하는 것으로 구현된 컴포넌트의 실행 환경을 구축한다. 기술아키텍처는 컴포넌트의 재사용성과 요구변화에 대한 유연성을 확보하기 위한 프레임워크 설계를 포함하며, 시스템의 하드웨어와 네트워크 구조를 포함하는 시스템의 물리적인 구조를 나타낸다. 생산계획 시스템에 대한 기술적인 요구 사항은 다음 표 19 과 같은 품질 속성으로 정의하였는데, 각각의 품질속성을 만족할 수 있는 기술적 요소들이 기술 아키텍처에 반영되도록 하였다.

표 19. 품질속성으로 나타낸 기술적 요구사항

Technical requirements	Description	Priority
Performance	생산계획 시스템은 일정계획을 신속히 수립할 수 있도록 지원하기 위한 시스템으로 대량의 데이터를 신속히 처리할 필요가 있으므로 정해진 시간 내에 계획을 수립할 수 있는 성능을 갖추어야 함	High
Changeability	계획 방법이나 로직은 필요에 따라 변경될 수 있기 때문 변경 요구사항을 적시에 반영할 수 있어야 함 또한, 새로운 user inrerface가 추가될 수 있으므로, user interface 변경 가능성도 충분히 고려하여야 함	High
Usability	계획 담당자가 최소한의 training으 계획 수립이 가능하도록 사용하기 쉬운 user interface를 제공해야 함	High

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Easy to develop	생산계획 시스템을 유지 관리하는 인력은 제한적이기 때문에, 추가 기능 개발이 용이해야 함	Mid
Interoperability	생산계획 시스템은 ERP, MES 등 주변 시스템과 연동되기 때문에 타 시스템에 대한 인터페이스를 미리 고려해야 함, 타 시스템에 대한 의존성은 가능한 낮추어서 독립 운영도 가능해야 함	Mid
Availability	생산계획 시스템은 계획 담당자나 외부 시스템이 요구하는 경우 필요한 API(Application Programming Interface)를 제공하여야 함	Low
Security	생산계획 시스템은 사용자 로그인을 통해서 인증 받은 사용자만 시스템에 접근할 수 있도록 해야 함 권한 별로 기능을 제한적으로 사용할 수 있어야 함	Low

예를 들어 도출된 품질 속성 중 'Interoperability'이 시스템 설계에 반영되는 예시는 다음과 같다. 생산계획 시스템은 조선소의 기간 시스템인 ERP 시스템과 상호 연동하여 동작하여야 할 수 있어야 한다. 이 때 ERP 시스템과 연동 시 클라이언트 수준에서 동작하는 것보다 서버 단에서 상호 연동을 수행하는 것이 유리하다. 이 때 일정계획 시스템의 데이터베이스 서버와 ERP 시스템의 데이터베이스 서버가 직접 인터페이스를 수행할 경우 데이터의 정합성을 확인하기 어렵다. 따라서, 일정계획 시스템의 클라이언트나 데이터베이스와 별개의 티어에서 ERP 시스템의 데이터베이스 간에 인터페이스가 이루어지도록 하는 것이 유리하다. 일정계획 수립 시 최적화 수행은 고사양의 하드웨어에서 많은 연산을 수행하는 작업이므로 시스템에 대한 부하를 증가시킨다. 따라서, 최적화 시스템은 일정계획 시스템과 별도의 서버 시스템으로 동작하도록 할 필요가 있다. 이와 같은 요구사항들을 고려할 때 생산계획 시스템은 사용자 인터페이스를 담당하는 기능, 비즈니스 로직과 프로세스 및 타 시스템과의 연동을 담당하는 기능, 그리고 데이터 저장을 담당하는 기능이 구분될 필요가 있으며 각각의 기능을 별도의 물리적인 Tier 로 구분하는 아키텍처가 필요한 것으로 판단하였다. ERP 시스템 및 최적화 시스템과의 Interoperability 에 대한 아키텍처 결정사항은 그림 18 의 시스템 아키텍처에 반영된 것을 보여주고 있다.

3.3.2.4 데이터 아키텍처 (Data Architecture)

데이터 아키텍처는 생산계획 시스템에서 계획 정보의 지속성 유지를 담당한다. 일반적인 기업용 시스템 구축 시 관계형 데이터베이스를 사용하며, 이 경우 ER 다이어그램(entity-relationship diagram)을 사용하여 데이터 모델을 표현한다.

데이터 아키텍처 수립 단계에서 도출한 비즈니스 객체 중 지속성 처리를 요구하는 객체를 대상으로 정규화(normalization) 과정을 수행하여 논리 데이터 모델을 구성한다. 논리 데이터 모델을 대상으로 시스템 구축에 사용될 데이터베이스 시스템에 적합한 비정규화(denormalization) 등의 과정을 수행하여 물리 데이터 모델(physical data model)을 생성한다. 논리 데이터 모델과 물리 데이터 모델을 구분할 필요가 없는 경우 물리 모델만 포함시킬 수도 있다. 본 연구에서 개발된 생산계획 시스템의 Data architecting 결과 도출된 Database table 들의 일부를 표 20 에 예시하였다.

표 20. 생산계획시스템의 데이터베이스 테이블 목록(일부 예시)

DB Table	Description
Facility	각 작업장에서 관리하는 설비 정보를 관리
Arrangement shop	배치작업장(안벽,도크,PE작업장,조립작업장) 정보 관리
Stage code	스테이지 코드 정보 관리
Calendar	작업 칼렌다 정보 관리
Department code	조직코드 정보 관리
Standard duration by workcode	표준 선형의 공기 정보 관리
Standard progress	표준 선형의 진도율 정보 관리
Standard ship type	표준 선형 정보 관리
Workcode	직종 코드 정보 관리
Available mh	가용시수 정보 관리
Available mh factor	인당 가용시수 산출을 위한 Factor 관리
Activity (strategic planning)	선표계획 관련 액티비티 정보 관리
Batch	선표계획 Batch 정보 관리
Case (strategic planning)	선표계획 케이스 정보 관리

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Project	선표계획 호선 정보 관리
Assy block	조립블록 정보 관리
Erection block	탑재블록 정보 관리
Erection event	탑재이벤트 정보 관리
Erection module	탑재 시 모듈단위 정보 관리
Erection ring	호선 링 정보 관리
Erection sequence	탑재시퀀스 정보 관리
Pe block	PE블록 정보 관리
Pe sequence	PE시퀀스 정보 관리
Activity code	액티비티코드 정보 관리
Shopcode	공장코드 정보 관리
Block standard figure	블록표준형상 정보 관리
Mcm_activity	선/후행일정계획 관련 액티비티 정보 관리
CASE (Master planning)	중일정계획 케이스 정보 관리
Relation	액티비티들 간의 릴레이션 정보 관리
Erection block to zone	탑재블록-구역 맵핑 정보 관리
Zone	호선 구역 정보 관리

3.3.2.5 시스템 아키텍처 (System Architecture)

본 연구에서는 위에 설명한 비즈니스 아키텍처, 애플리케이션 아키텍처, 기술아키텍처, 데이터 아키텍처 정의 과정을 통해 생산계획 시스템의 아키텍처를 그림 18 과 같이 정의하였다. 기술 아키텍처 정의를 통해 생산계획 시스템은 사용자 인터페이스를 담당하는 기능, 비즈니스 로직과 프로세스 및 타 시스템과의 연동을 담당하는 기능, 그리고 데이터 저장을 담당하는 기능이 구분될 필요가 있으며 각각의 기능을 별도의 물리적인 Tier 로 구분하는 아키텍처가 필요한 것으로 판단되었으며, 이를 반영할 수 있는 아키텍처로 닷넷 엔터프라이즈 애플리케이션 레퍼런스 아키텍처(.Net enterprise application architecture)(Gorton, Liu 2005)를 아키텍처의 골격으로 삼아 시스템을 Presentation Tier, Application Tier, Data Tier 로 구성하였다. Presentation Tier 에는 사용자 인터페이스를 위

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

한 기능들이 배포되며, Application Tier 에는 비즈니스 로직을 담당하는 비즈니스 컴포넌트들이 배포되는데, 비즈니스 컴포넌트는 MS windows 운영 체제의 COM+ 서비스를 통해 실행되도록 하였다. 외부 시스템인 ERP 시스템 및 일정 최적화 시스템과 연동 또한 Application tier 에서 이루어지도록 하였다. Data Tier 는 데이터베이스 서버를 사용하여 생산계획 데이터를 통합적으로 저장 및 운영하도록 하였다.

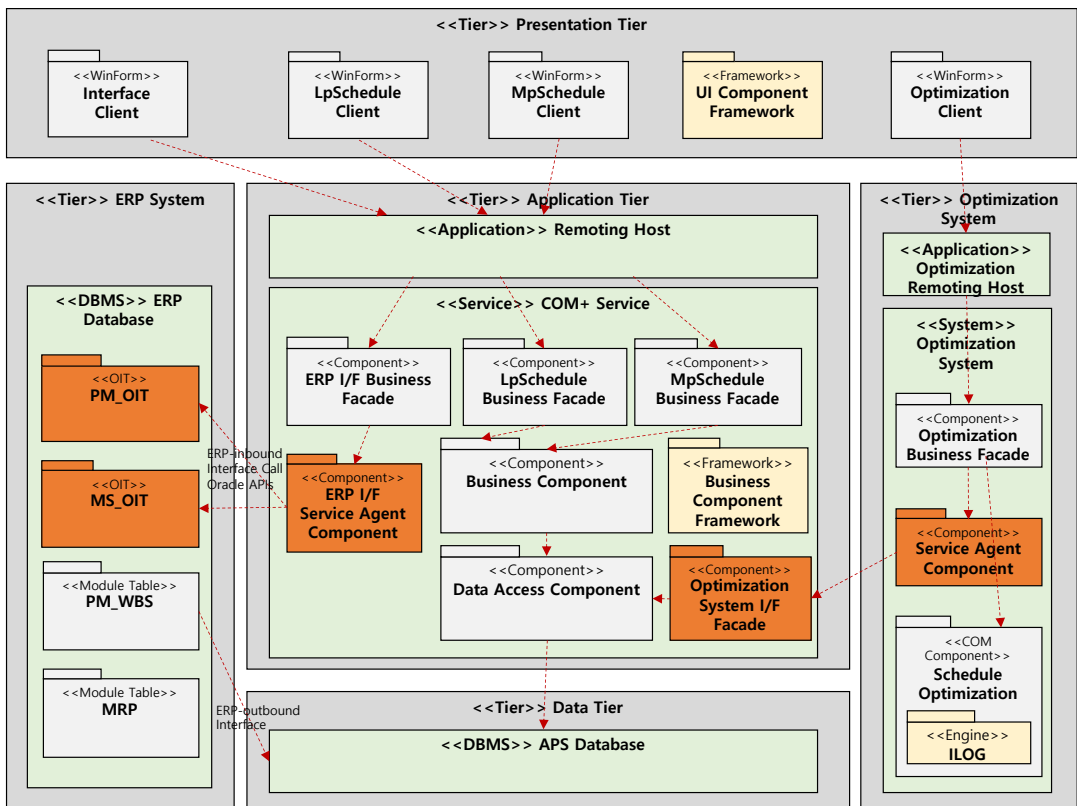


그림 18. 생산계획시스템의 전체 시스템 아키텍처

아키텍처 수립 단계에서 정의한 시스템 아키텍처에 따라 시스템 설계와 시스템 구현 단계를 진행하며, 각 단계 진행 시 시스템 아키텍처가 사용자의 요구사항을 만족하지 못하는 경우 시스템 아키텍처를 수정하고, 다시 시스템 설계와 시스템 구현 단계를 반복적

으로 수행한다.

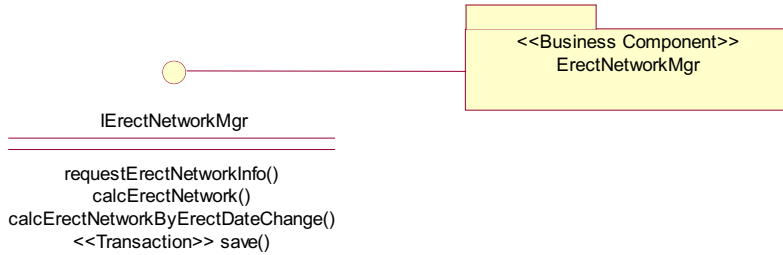
3.3.3 시스템 설계

System design 단계에서는 아키텍처 정의 단계에서 정의된 아키텍처를 기반으로 실제로 구현 가능한 시스템을 설계하고 구현하는 작업을 수행한다. 아키텍처 정의는 개념적이고 논리적이며 플랫폼에 독립적인 반면, System design 은 개발 플랫폼에 종속적인 관점에서 수행된다. System design 단계에서는 아키텍처 설계의 결정 사항을 준수해야 하며, 설계 진행 중 아키텍처 결정 사항의 문제점이 드러나면 해당 문제를 아키텍처에 반영하여 수정해야 한다.

System design 단계에서는 각 비즈니스 컴포넌트의 인터페이스의 행위에 대한 인터페이스 실현(interface realization)을 통해 비즈니스 컴포넌트의 인터페이스 실현에 참여하는 설계 요소 사이의 상호작용을 기술하고, 이를 통해 비즈니스 컴포넌트의 내부 설계 요소인 구현 컴포넌트와 구현 클래스를 식별한다. 인터페이스 실현 방법은 유스케이스 행위 분석을 위한 유스케이스 실현과 유사하지만, 유스케이스 실현에 비해 구현을 고려한 관점에서 분석이 이루어져야 한다.

이와 같은 인터페이스 실현은 비즈니스 컴포넌트 설계서에 기술되는데, 그림 19에 ‘탐재네트워크 관리자 컴포넌트(ErectNetworkMgr)’와 해당 컴포넌트가 구현하는 인터페이스를 나타내는 컴포넌트 다이어그램과 인터페이스 목록, 그리고 해당 인터페이스의 인터페이스 명세에 대한 예시를 보이고 있다. 그림 20에서는 IErectNetworkMgr 인터페이스의 requestErect-NetworkInfo 메서드에 대한 실현을 시퀀스 다이어그램으로 나타내었다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용



<Interface list>

Interface	Methods
IerectNetworkMgr	탐재네트워크 정보 요청, 탐재네트워크 계산 기능 수행, 탐재일 변경에 대한 탐재네트워크 계산, 탐재네트워크 정보 저장

<Interface description>

Method	requestErectNetworkInfo
Description	Request erection network information
Input	Vessel object
Output	Erection network information (Vessel object, Module objects list, Ring objects list, Erection event objects list, Erection sequence objects list)
Status	N/A
Constraints	Caller should provide vessel object of erection network information

그림 19. 인터페이스 목록과 설명을 포함한 컴포넌트 다이어그램

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

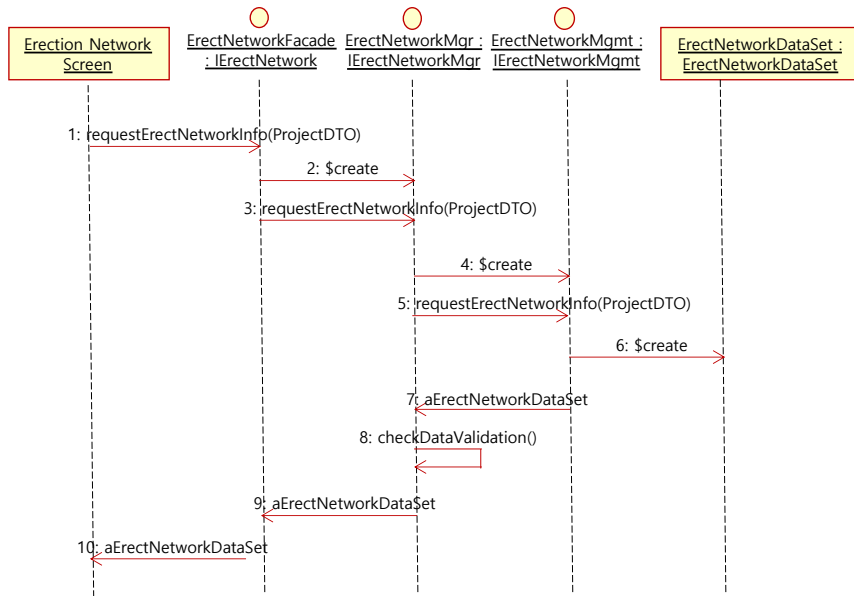


그림 20. IErectNetworkMgr 인터페이스의 requestErectNetworkInfo 메서드 실현

비즈니스 컴포넌트의 인터페이스 실현과 유사한 방식으로, 사용자 인터페이스에 대하여 유스케이스 스토리보드-설계를 생성하고 사용자 인터페이스 실현에 참여하는 요소 사이의 상호작용을 식별함으로써 사용자 인터페이스 요소들을 정의한다. 그림 21 는 sequence diagram 을 이용하여 탑재연결일정표 화면에서 탑재이벤트의 탑재일 조정에 대한 인터페이스 실현을 예시한 것이다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

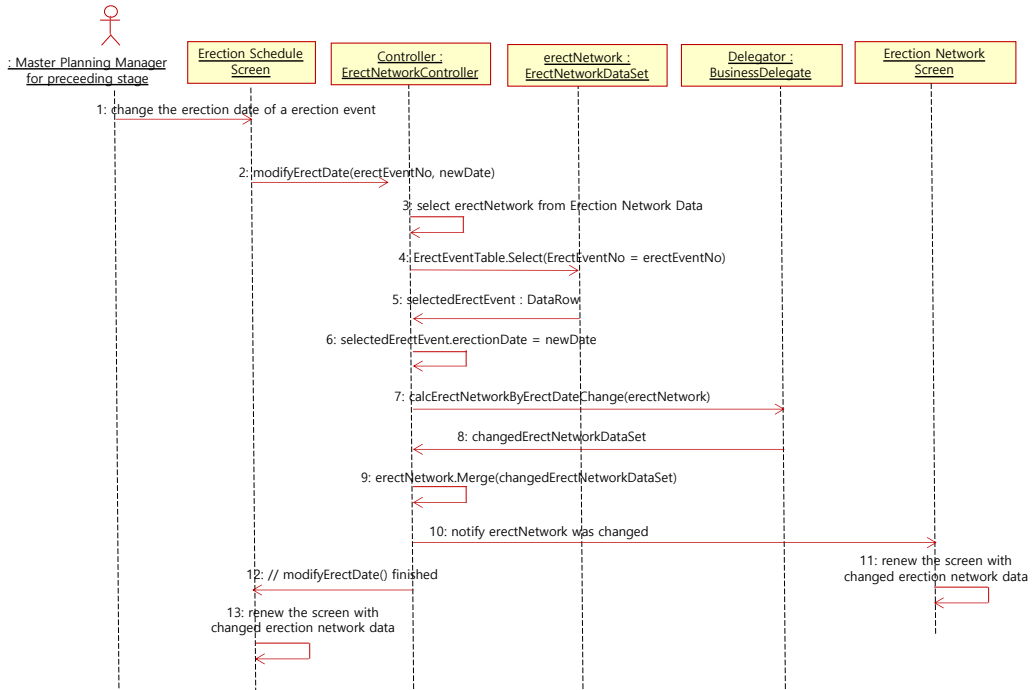


그림 21. 탑재계획 화면의 일정 수정에 대한 사용자 인터페이스 실현

3.3.4 시스템 구현

본 연구에서는 구현을 위해 Microsoft 의 .Net framework 기반의 개발 환경을 이용하였다. 구현 단계는 시스템 설계에서 식별된 요소들의 구현 모델을 정의하는 것으로 다음과 같은 사항을 포함한다.

- .NET 솔루션 패키지와 프로젝트 구조를 표현
- 일반적으로 프로젝트는 애플리케이션 또는 어셈블리를 생성함
- 프로젝트에 포함되는 코드 파일의 디렉토리와 파일 구조의 표현
- 애플리케이션 또는 어셈블리 사이의 참조 속성 표현

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

.NET 솔루션 패키지는 <<package>> 스테레오타입을 가지는 패키지로 표현되고, 어셈블리 프로젝트는 <<Assembly>> 스테레오타입을 가지는 패키지로 표현된다. 그림 22는 생산계획 시스템의 Application Tier에 포함되는 구현 컴포넌트 모델을 나타낸 것으로, strategic planning을 위한 LongTermPlan 솔루션 패키지, master planning을 위한 MidTermPlan 솔루션 패키지, 공통 컴포넌트들을 위한 Common 솔루션 패키지, 배치계획을 위한 Arrangement 솔루션 패키지, 외부 시스템과의 인터페이스를 위한 Interface 솔루션 패키지, 일정 최적화를 위한 Optimization 솔루션 패키지로 구성되어 있음을 보여준다. LongTermPlan 솔루션 패키지에 포함된 어셈블리 프로젝트 중 LpScheduleFacade, LpScheduleComp, LpDataMgmtComp는 비즈니스 컴포넌트를 포함한 것이며, LpLogicUtility, LpDataTransferObject는 유틸리티 클래스와 비즈니스 객체 클래스 등을 포함한 어셈블리 프로젝트를 나타낸다.

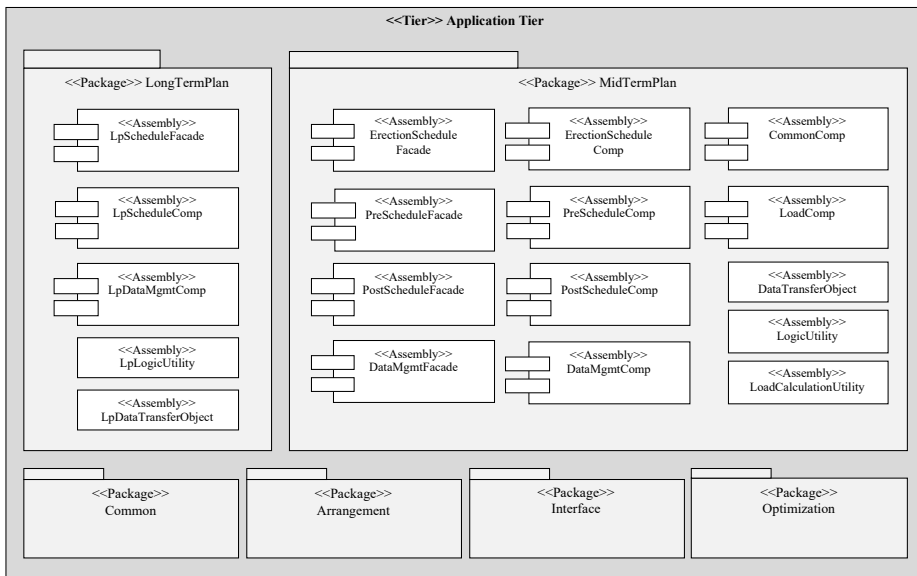


그림 22. 애플리케이션 티어의 구현 컴포넌트 모델

구현 모델에서 정의된 .NET 솔루션과 프로젝트 구성에 따라 개발 도구(e.g. Microsoft

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Visual Studio)를 사용하여 프로젝트 코드 파일 생성하고 설계단계에서 도출된 설계 요소들을 순차적으로 구현한다. 그림 23은 선표계획에 관련된 비즈니스 컴포넌트들의 프로젝트 구성과 프로젝트 내 코드 파일, 그리고 어셈블리 간의 참조 관계를 포함한 구현 환경을 보여준다.

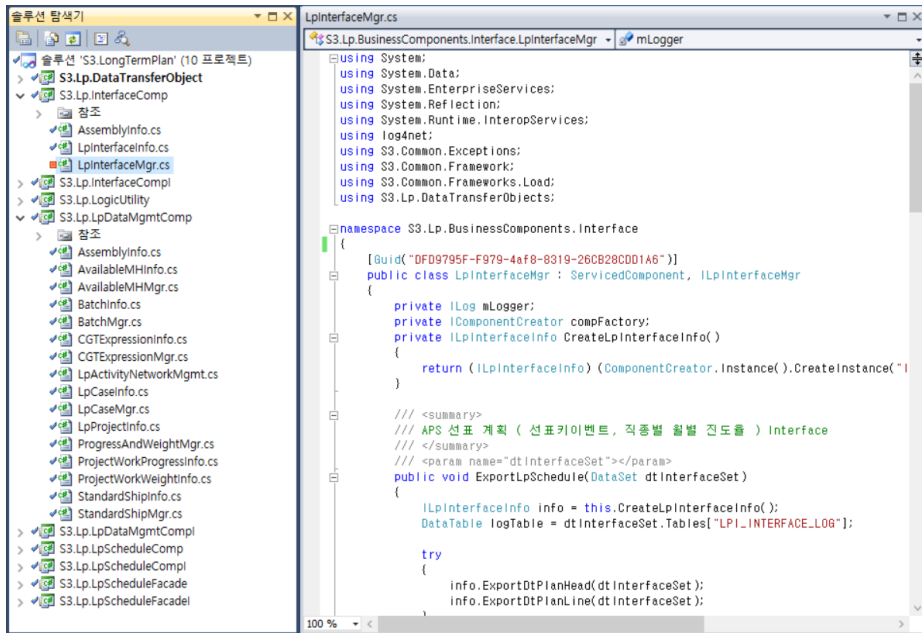


그림 23. 선표계획 수립 기능의 구현 환경

구현된 생산계획 시스템은 선표 계획과 중일정 계획(탑재일정계획, PE 일정계획, 선행 일정계획, 그리고 후행일정계획 포함) 업무를 지원하며, 각각에 대해 다음과 같은 기능을 예시하였다. 그림 24에서는 선표계획을 통해 건조할 프로젝트들의 키이벤트 일정계획 수립과 각 프로젝트의 공종별 부하를 S-Curve를 통해 정의하는 기능이 구현된 모습을 보여준다. 그림 25에서는 선행중일정계획 중 프로젝트의 각 블록의 탑재 일정계획 수립을 위한 탑재네트워크 계획 기능과 탑재 연결일정 계획 기능이 구현된 모습을 보여준다. 그림

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

26에서는 선행중일정계획 중 PE 블록별 일정계획 수립과 PE 블록 제작을 위한 PE 작업장 배치 기능이 구현된 모습을 보여준다. (PE : Pre-Erection, 탑재 작업의 효율성 향상과 의장 작업의 생산성 향상을 위해 여러 개의 조립블록을 탑재전에 대형화 하는 작업) 그림 27에서는 선행중일정계획의 블록별 일정계획 수립과 후행중일정계획의 구역별 일정계획 수립 기능이 구현된 모습을 보여준다.

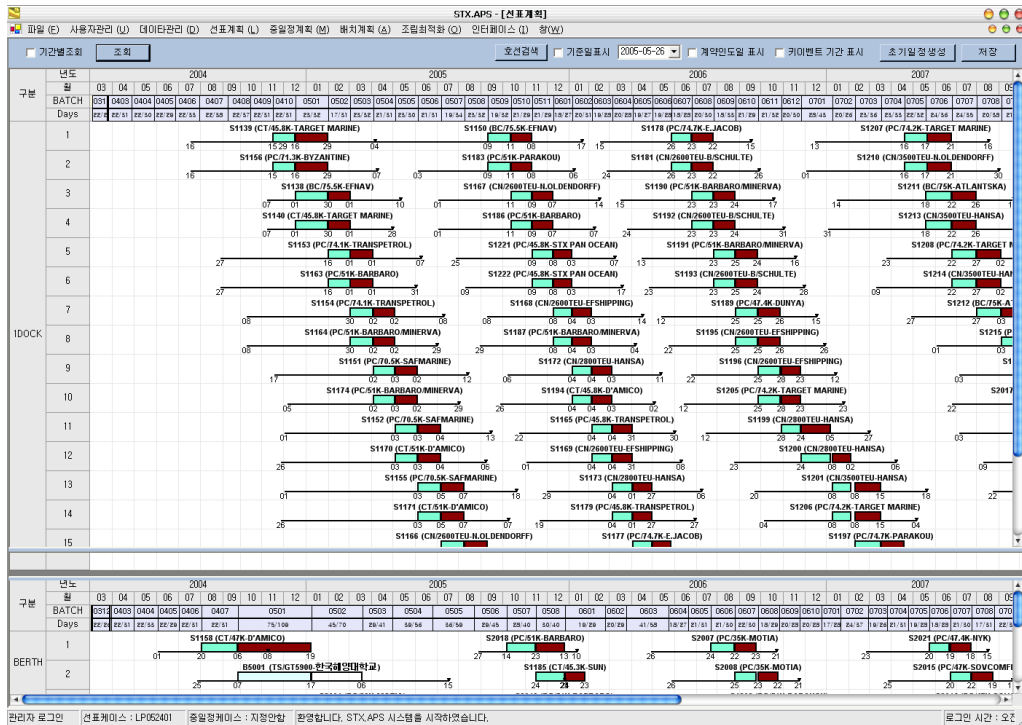


그림 24. 선표계획의 바차트 계획 화면 예시

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

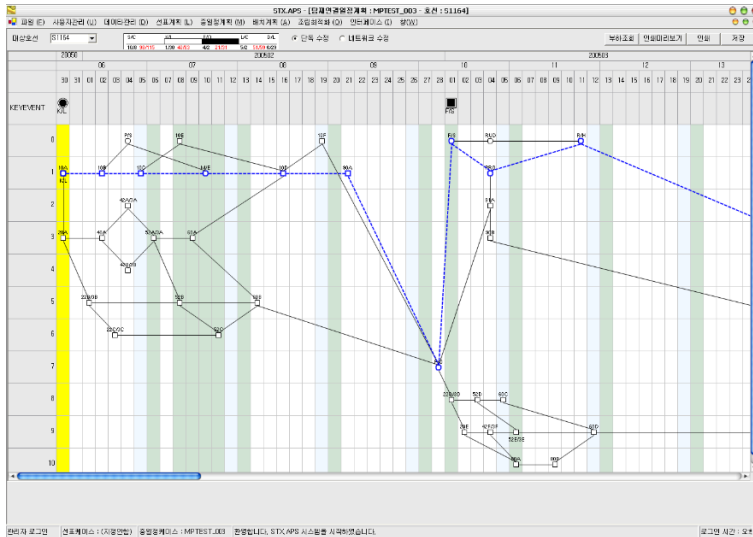
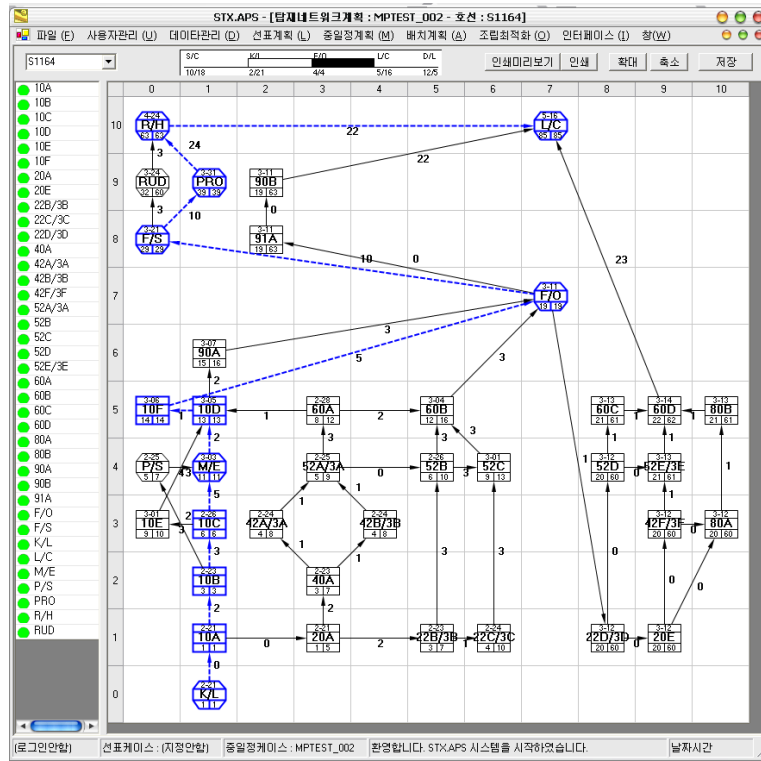


그림 25. 탑재계획의 네트워크 계획 예시

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

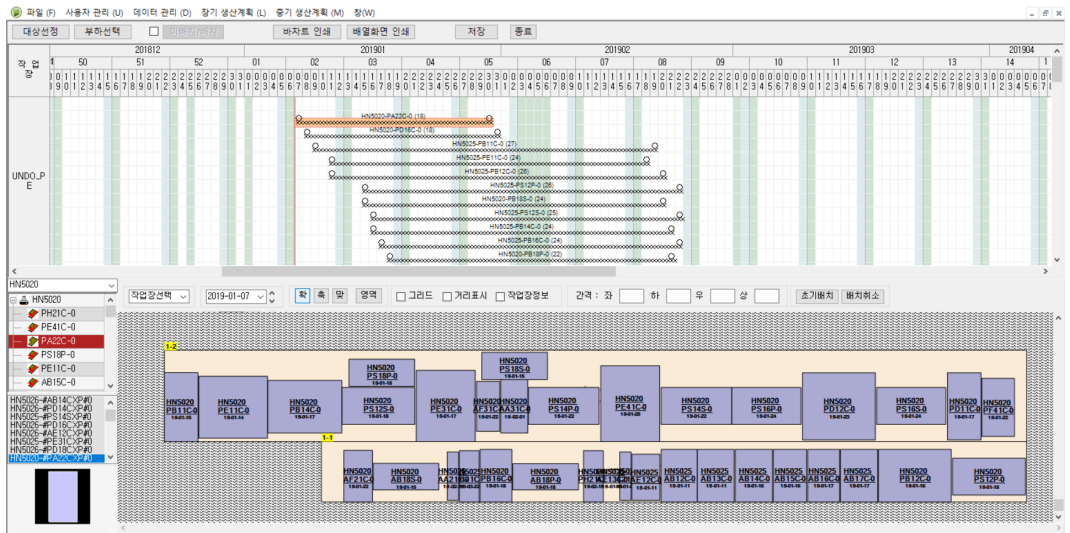
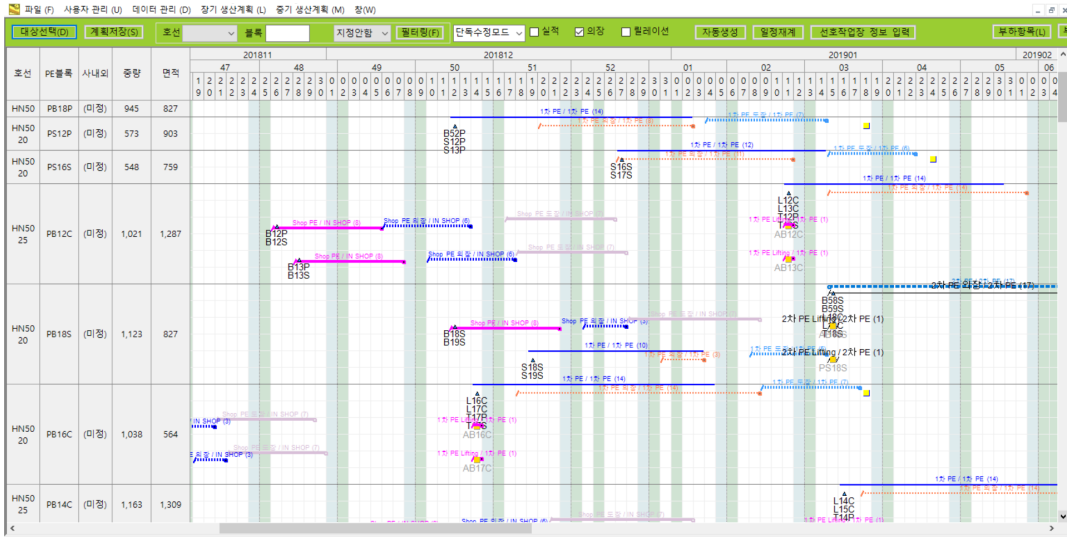


그림 26. PE 계획 프로세스의 액티비티계획(위)과 정반배치계획(아래)

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

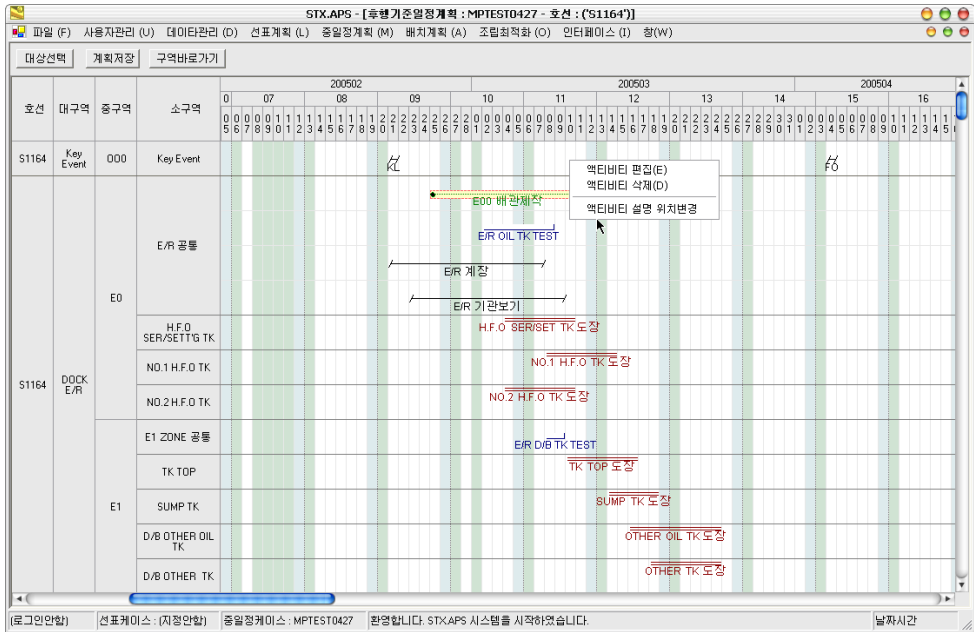
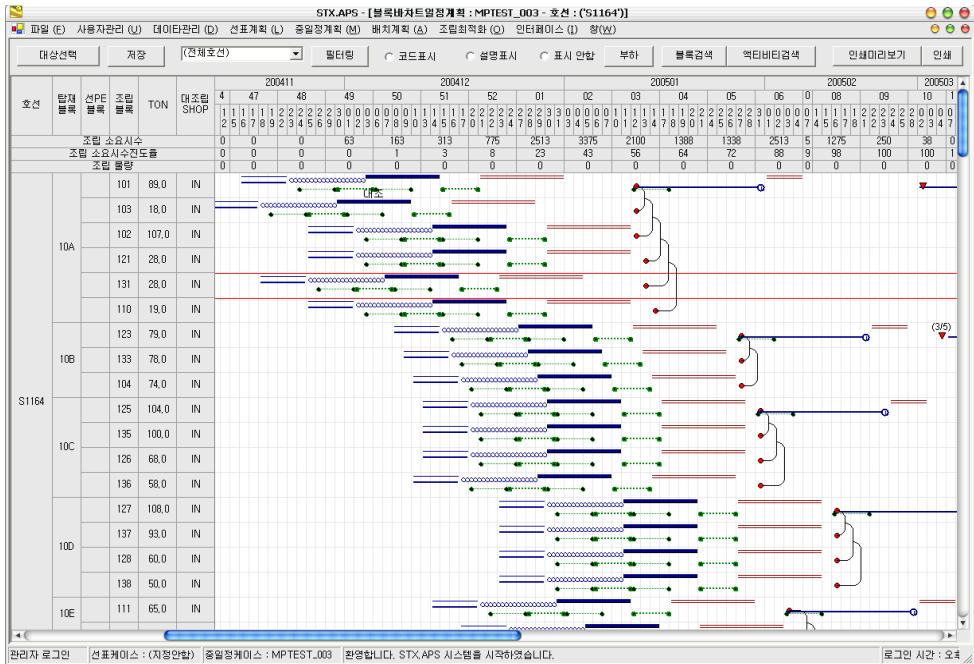


그림 27. 선행계획 수립의 액티비티 계획 예시

3.4 개발 시스템의 적용

개발된 시스템을 이용한 선표계획 수립과 기준계획 수립에 대한 업무 프로세스는 각각 그림 28, 그림 29 과 같이 도식화 할 수 있다. 본 논문에서 개발된 생산계획시스템은 각 계획 단계에서 필요한 기준 정보를 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템과 CAD 시스템으로부터 인터페이스하여 가져오고, 계획 수립의 결과를 다시 ERP 시스템으로 인터페이스를 통하여 내보내게 된다. ERP 시스템으로부터 가져오는 정보는 수주 호선 정보와 호선별 목표 시수, 생산성 목표 등 경영 목표 정보, WBS/Activity 정의, work type 과 생산 조직 정보, 전사 칼렌다와 각종 액티비티코드, 공장코드, 장비코드 등 표준데이터를 포함한다. 또한, CAD 시스템으로부터 제작 대상이 되는 선박과 블록의 형상정보와 생산 작업 물량 정보를 가져온다. 생산계획시스템을 통한 계획 수립의 결과는 WBS/Activity 별 작업 일정 및 조직과 생산에 소요되는 주요 설비의 사용 계획, 자재 소요 계획 등이 있다.

선표계획 수립은 그림 28 과 같은 계획 프로세스에 따라 진행된다. 프로세스의 시작은 선표케이스를 생성하는 것으로 시작된다. 하나의 선표케이스는 계획 대상이 되는 선박 정보의 목록으로 구성되며, 각 선박의 정보는 project no., 건조도크, 키이벤트, 생산 물량(주로 전체 강재 중량 기준) 등으로 정의된다. 선표케이스의 호선들을 건조하기 위한 작업 부하계산을 수행하기 위해, 각각의 project 에 대해 작업별 진도율을 S-curve 기반의 진도율 형태로 정의하고, 각 호선의 일정과 건조 도크를 정의하는 도크 계획을 수행한다. 그리고 여기에 호선별/직종별 목표 시수를 더하여 작업 부하를 연산한다. 도크 계획 시 건조 도크에 대한 공간배치와 도크 건조 이후 안벽에서의 작업을 고려한 안벽 배치를 고려해야 한다. 작업 부하계산은 생산 능력 대비 작업 부하가 평준화가 될 수 있도록 건조도크와 진도율 조정을 반복적으로 수행한다.

부하평준화가 고려된 작업 부하계산이 이루어지면 해당 작업을 수행하는데 소요되는 인력을 산출한다. 소요 인력 산출은 작업 가능일 정보를 포함하고 있는 칼렌다 정보와 작

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

업자 당 작업에 투입할 수 있는 인당가용시수를 고려하게 된다.

최종적으로 검토된 생산 선표계획에 대한 분석 보고서를 작성한다. 개발된 선표계획 시스템은 이러한 일련의 계획 활동을 위한 기능을 제공한다.

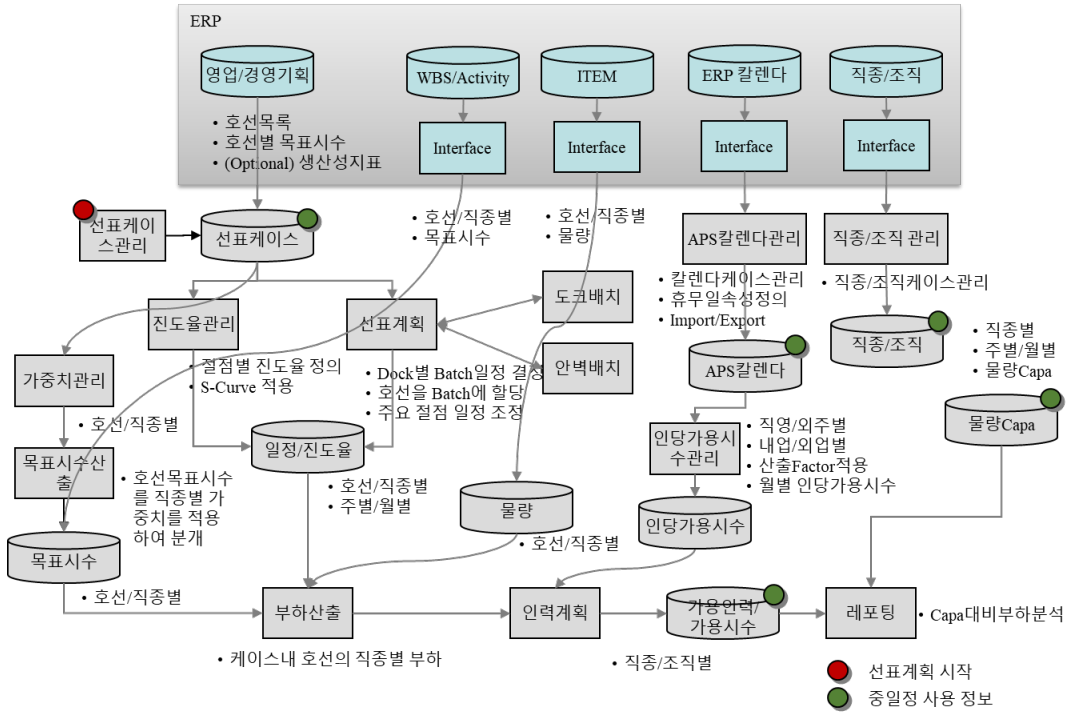


그림 28. 선표계획 수립 업무 프로세스

기준계획 수립은 그림 29 와 같은 계획 프로세스에 의해 진행된다. 기준계획 수립의 시작은 기준계획케이스를 생성하면서 시작된다. 선표계획 수립과 마찬가지로 기준계획케이스에는 계획 수립 대상이 되는 호선의 목록을 정의하는데, 기준계획 수립 시에는 선표계획 수립에서 결정한 호선별 key event 는 변경하지 못하고, 이를 준수할 수 있는 계획을 수립하게 된다. 선표계획 수립이 계획 대상 호선을 기준으로 주요 직종 별 생산 능력을 고려하여 계획 대상 호선의 key event 를 결정하는 계획이라고 한다면, 기준계획 수립은 실

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

제 생산 현장에서 수행되는 세부 생산 활동 단위를 포함하기 때문에 WBS 를 구성하고 있는 세부 액티비티 별로 작업 일정을 결정하는 계획이라고 할 수 있다. 따라서, ERP 에서 생산 기준 정보로 관리되고 있는 액티비티 데이터를 가져와서 선행의 경우 block 기준, 후행의 경우 zone 기준으로 분류하고 액티비티 들 간의 관계를 지정하여 계획 대상 데이터를 구축한다. 액티비티 들에 대한 데이터가 갖추어지면 기준계획 수립의 첫 번째 계획은 탑재 공정에 대한 계획 수립으로 시작한다. 탑재 공정에 대한 계획을 위해 탑재 네트워크를 작성하고, 확정된 탑재 네트워크를 구성하는 탑재 블록들의 탑재 일자 를 기준으로 PE 블록에 대한 계획을 수립한다. 이 때 PE 블록의 작업자 배치 가능 여부에 대한 판단이 중요하기 때문에 공간 배치에 대한 배치 환경 및 제약 조건을 고려하여 배치 가능 여부를 판단한다.

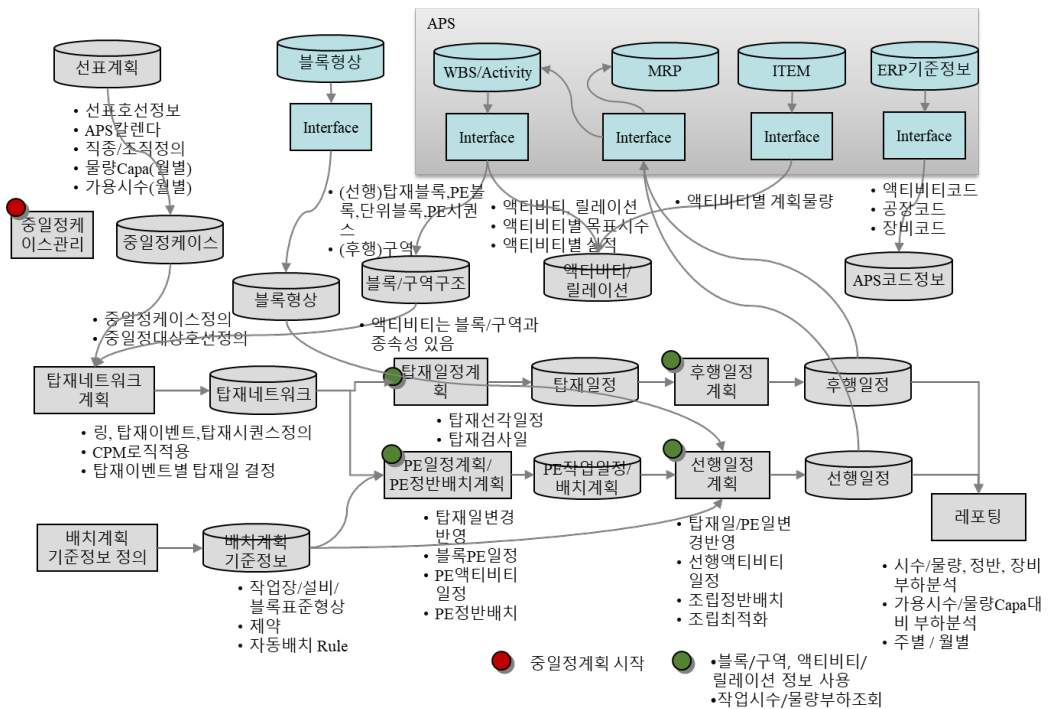


그림 29. 기준계획 수립 업무 프로세스

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

PE 계획이 수립되면 다음으로 PE 블록을 구성하는 블록들에 대한 선행 작업들, 예를 들어 가공, 조립, 의장 및 도장에 대한 세부 계획을 수립한다. 탑재 네트워크를 기준으로 선행 공정들에 대한 계획 수립과 병행하여 탑재 이후의 후행 공정에 대한 계획을 수립한다. 후행 계획에는 엔진룸 작업, 선실 작업, 시운전, 장비 테스트 등의 작업이 포함된다. 이러한 절차를 통해 기준계획 수립이 완료되면 해당 기간에 대한 세부 작업 별 부하 분석 결과를 제공한다.

이러한 선표계획 수립과 기준계획 수립은 일회 수행으로 끝나지 않고 만족할 만한 계획 결과를 얻을 때 까지 반복 수행된다. 특히, 기준계획 수립은 계획 데이터가 복잡하고 고려해야 할 변수가 많기 때문에 여러 명의 계획담당자들이 계획 업무를 분담하여 반복 수행하게 된다.

본 논문에서는 조선소의 생산계획 지원을 위한 통합 생산계획 시스템 개발 내용을 기술하였다. 조선소의 생산계획은 범용 생산계획 프로그램 적용이 어렵기 때문에 일정 규모 이상의 조선소들은 대부분 자체 개발 시스템을 사용한다. 하지만, 그러한 조선소의 자체 개발 시스템들에 대해서는 외부에 공개된 경우가 매우 제한적이기 때문에 일부 발표 사례(Lee, Lee et al. (1995), Lee, Lee et al. (1997))를 제외하면 조선소 생산계획 시스템 개발에 대한 체계적인 연구는 찾아보기 어렵다.

본 연구를 통해 개발된 시스템은 S 조선소의 실제 생산계획 업무를 대상으로 하였다. S 조선소 생산계획 시스템을 개발하기 위해 PI/BPR 단계부터 시작해서 To-Be 생산계획 체계를 정의하고, CBD 개발 방법론을 이용하여 체계적 절차를 통한 개발 내용을 기술하였다. 그리고, 개발된 생산계획 시스템과 이에 대한 생산계획 업무 프로세스를 기술함으로써 개발된 시스템의 운영 관점에서의 용례를 소개하였다.

표 21 는 선표계획 수립과 기준계획 수립의 주요 계획 업무들에 대하여 본 논문의 생산 계획 시스템의 우수성을 기존의 생산계획 시스템과 비교하여 기술한 내용을 보이고 있다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 21. 개발된 생산계획시스템 적용 효과

	기존 계획수립 방식	신규 개발된 시스템 적용
선표 계획 수립	수기로 작성되고 있으며, 연간 수십척을 건조하는 상황에 대해 다양한 시나리오 분석 불가능	자동 선표 계획 생성 및 일정 조정 기능을 제공 → 효율적 선표 계획 가능
	계약 관리 부서로부터 신규 호선에 대한 정보 전달이 수기로 이루어지고 있고, 영업 부서와의 유기적인 협업 불가	ERP 시스템을 통해 호선 정보연동 → 계약 정보 정합성 확보 및 영업 부서와 유기적 협업 가능
	일부 공정에 대해 제한적으로 월 단위 S-Curve를 이용하여 부하를 계산 → 정확도 낮음	전체 공정에 대한 부하 분석 가능 상세한 공정 진도율 및 공정 부하 관리를 통한 정교한 계획 수립 가능
	수기로 도크 배치 수행 → 배치 가능 여부 검토 불가	선표 계획 수립 시 도크 배치 가능성 여부 검토 가능
	안벽 계류에 대해 선박의 척 수만 계산 → 배치 가능 여부 검토 불가	선표 계획 수립 시 안벽 배치 가능성 여부 검토 가능
기준 계획 수립	공법 계획의 탑재시퀀스 기준으로 수기로 탑재 계획 수립 Critical Path 분석 불가 → 일정 조정 가능한 블록 식별 및 공법 변경 시 대응이 어려움	액티비티 네트워크 기반 탑재 계획 → Critical Path 관리 가능 Critical Path가 아닌 탑재 작업에 대해 부하 평준화 계획 수립 가능 탑재 공법 변경 시 탑재 순서 변경 용이
	고정된 공정 순서와 공종에 대해서만 계획 수립 가능 공법 변경에 의한 공종 추가 또는 순서 변경 불가	생산 활동을 WBS 체계에 따라 Activity 및 Activity 간의 Relation으로 표현 → 계획 데이터의 체계적 관리가 가능하고 다양한 공정 순서들에 대한 즉각적 대응 가능

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

<p>부하 분석 기능이 제한적이어서 일부 공종에 대해서만 부하 계산 가능 다양한 공종에 대한 작업 부하, 인력 부하, 설비 부하 동시 고려 불가</p>	<p>계획 대상이 되는 모든 작업에 대해 물량, 인력, 설비 부하 분석이 가능 특히 주요 리소스인 작업장과 크레인에 대한 부하 분석 가능</p>
<p>블록의 중량 또는 개수로 작업장 배치 가능 여부를 판단하고 있기 때문에 작업 현장에서 배치가 불가능한 경우가 빈번히 발생</p>	<p>작업 일정과 작업장 배치계획을 연동하여 계획 수립 가능 → 배치 불가능한 경우 감소</p>
<p>설계 물량, 예산 시수 등 계획 수립을 위한 기본 정보가 전산으로 공유되지 못하고 수기 관리 계획 관련 외부 데이터들의 정합성 확보 어려움</p>	<p>ERP 시스템을 통해 설계 정보, 예산 정보를 온라인으로 연동 → 데이터의 정합성과 데이터 수기 관리로 인한 업무 비효율 제거</p>
<p>수기로 생산 실적 정보 기록 → Human error가 빈번히 발생하여 차기 계획 수립에 부정확한 정보 전달 가능성 상존</p>	<p>ERP 시스템을 통해 생산 실적 관리 → 계획 수립 시 생산 실적이 자동으로 반영되어 Rescheduling</p>

제 4 장

생산계획 고도화를 위한 최적화 및 인공지능 적용 사례 연구

4.1 기존 생산계획 연구의 한계

2장에서 조선 생산계획과 관련된 기존의 연구를 살펴보았고, 3장에서는 체계적인 개발 방법론을 적용한 조선 통합생산계획시스템 개발 사례를 제시하였다. 본 장에서는 기존에 수행된 연구와 현재 사용되고 있는 생산계획 시스템의 한계점을 살펴보고 최근 크게 발전되고 있는 인공지능과 최적화 기술을 접목하여 앞으로 생산계획시스템의 개선방향을 도출하였다.

생산계획은 제조활동의 기본이 되는 작업순서와 시간, 그리고 작업에 투입되는 리소스를 결정하는 업무이다. 기계, 전자 등 대량 생산 업종의 경우 생산계획은 수요예측 또는 주문 수량을 바탕으로 product-mix 에 대한 기간별 수량을 결정한다. 이 때 모든 생산 대상 제품들의 설계와 공정은 결정이 되어 있기 때문에 생산계획 수립 시점에서 정보의 불확실성은 대부분 수요 부분에 집중되어 있을 뿐, 결정된 수량에 대해서는 상당 수준 표준화된 정보들을 바탕으로 계획이 수립될 수 있다. 이러한 기존 그리고 현행 대량 생산 업종의 생산계획은 제품에 대한 기간별 생산량을 결정하는 MPS(master production scheduling)과 생산량을 충족하기 위한 자재 및 리소스에 대한 계획에 해당하는 MRP(material

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

requirement planning, manufacturing resource planning)로 체계화가 되어 있다⁸.

따라서, 대량생산을 위한 생산계획 이론 및 기술은 다양한 제조업을 대상으로 방대한 연구가 이루어질 수 있었고 상업적으로도 성공한 소프트웨어가 다수 등장하게 되었다. 따라서, 대량생산 업종의 생산계획의 대부분의 기능들은 현재 연구개발의 영역이라기 보다는 다양한 소프트웨어 개발사들이 주도하면서, 좁은 영역의 세부적인 기능들에 한정적으로 연구개발 분야에서 이루어지고 있다고 볼 수 있다.

하지만, 조선업은 일품수주 생산이기 때문에 생산계획에 있어 대량생산과 전혀 다른 환경이라고 할 수 있다. 우선 조선업은 수요에 대한 예측이 생산계획에 미치는 영향이 상대적으로 매우 적다. 조선소의 전략 수립 차원에서 일부 미래의 수요를 분석하기는 하지만 구체적인 생산계획으로 연결되지는 않는다. 조선소의 생산계획은 조선소와 선주가 계약을 맺는 순간부터 시작된다. 이 때 대량생산과 가장 큰 차이점은 생산계획을 위해 필요한 정보의 존재 여부이다. 앞서 설명했듯이 대량생산은 생산이 결정된 대상 제품에 대한 설계 및 생산 정보가 확정적으로 준비되어 있는 반면, 조선은 계약 시점과 일정 기간 동안 건조 대상 선박에 대한 정보가 단계적으로 축적이 되기 때문에 계획 시점별로 한정적인 정보를 이용하여 계획을 수립할 수 밖에 없다.

또한, 동일한 제품이더라도 기간과 리소스에 따라 생산 시간이 달라지고 변동성 또한 매우 크기 때문에 기존의 생산계획 이론 및 최적화 방법을 직접 적용하는데 한계가 있다. 구매조달의 경우에도 협력사별로 생산 능력이 상이하고 조달 리드타임 또한 차이가 크기 때문에 정교한 생산계획을 수립하는데 있어 어려움을 가중시키는 요인이 된다.

조선소의 생산계획은 2장에서 소개한 여러 연구사례와 연구과제에서도 확인할 수 있

⁸ 최근에는 개인화(personalization)의 추세에 따른 다품종 소량생산 방식이 늘어나고 있어 생산 제품의 변동성이 커지고 있으며, 이에 따라 대량 생산 업종 또한 높아지는 변동성을 고려하여 생산계획을 최적화하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 하지만, 아직은 기존의 MPS/MRP 체계는 유지되면서 세부적인 생산운영 부분에서의 변화가 주도적으로 이루어지고 있다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

듯이 많은 연구가 진행되어 왔지만, 현재까지 실용화 되어 조선소에 적용된 연구는 많지 않다. 연구 수준으로 단순화되거나 많은 가정들을 내포한 문제의 경우에는 성공적인 결과를 보이지만, 조선소의 실제 환경과 스케일의 문제에 적용된 경우는 한정적이다. 이에 대한 원인은 다음과 같이 분석할 수 있다.

4.1.1 생산계획 업무의 복잡성

새로운 이론이나 기술이 성공적으로 적용되기 위해서는 기반이 되는 프로세스에 대한 포괄적인 재설계가 요구된다. 이를 PI 라고 하는데, 기업이 새로운 방법론이나 시스템을 도입할 때에는 PI 를 통해 기존 업무 프로세스를 분석하여 문제점을 식별하고, 식별된 문제점을 해결할 수 있는 업무 프로세스를 재설계 한다. 그리고 재설계 된 프로세스를 실현 시키기 위한 방법론과 기술 요소들에 대한 검토를 통해 새로운 시스템이 구축된다.

조선소에서는 오랜 기간 ERP, PLM 과 같은 새로운 시스템을 도입하는 과정에서 다수의 PI 프로젝트를 수행하였고 성공적인 시스템 구축으로 연결되도록 하고자 했다. 이러한 과정에서 ERP 와 같이 성공적인 구축 사례로 이어지는 경우도 있었지만, 생산계획의 경우 기존 프로세스와 차별화된 결과를 보이지 못했다.

이는 오랜 기간 선표로 대표되는 장기계획과 중일정 또는 기준일정으로 불리우는 중기계획의 구조가 혁신 없이 고착화 되는 결과를 보이고 있다. 그리고, 이러한 생산계획 프로세스의 고착화는 빠르게 변화하는 새로운 방법론과 기술의 적용을 어렵게 하고 있다.

4.1.2 최적화 및 시뮬레이션 기술의 한계

2.2.2 장에서 살펴본 생산계획 최적화 연구들은 모두 의미 있는 연구 결과를 제시하고 있지만, 현재 조선소에서 실용화되어 사용되고 있는 경우는 찾아보기 어렵다. 정수최적

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

화, 제약만족기법이나 메타휴리스틱 등의 최적화 방법들이 실제 조선소의 생산계획 문제를 해결함에 있어 반영하지 못하는 요인들이 있다고 볼 수 있다. 즉, 문제 정식화가 어려운 요인들이 반영되지 못한 최적화 방법들은 이론적인 의미를 가질 수는 있지만 실제 문제에서 누락된 요인들로 인해 현실과의 괴리가 발생했기 때문이다. 또한, 계획 시점에 필요한 데이터가 생성되지 않았거나 또는 확정적인 값이 존재하지 않는 경우가 많기 때문에 문제 정식화를 위해 확정적인 데이터가 필요한 최적화 방법이 한계를 보이는 경우도 있다. 2.2.3에서 소개된 생산 시뮬레이션 연구들의 경우에도 생산계획을 수립해가는 과정에서 야드를 모사한 시뮬레이션을 통해 계획에 의한 생산 활동을 선제적으로 검증함으로써 계획의 문제점을 사전에 식별하여 수정할 수 있는 기회를 제공하고자 하였으나, 데이터 부족, 데이터의 신뢰성 부족 문제 등으로 인해 일부 계획 업무에만 적용되고 있다.

4.1.3 휴리스틱 의존

상기한 이유로 인해 생산계획 업무는 계획자의 지식과 경험에 의해 수립되고 있다. 축적된 계획자의 지식과 경험은 생산계획 프로세스를 휴리스틱 또는 일련의 규칙을 따르는 방식을 따르는 프로세스로 안정화시키게 되었다. 현재 대부분의 조선소에서 수립되고 있는 생산계획은 시스템 자체는 4장에서 제시한 통합 생산 계획 시스템이라는 플랫폼을 기반으로 하고 있지만, 계획 업무 자체는 대부분 계획 담당자의 휴리스틱에 의해 수립되고 있다. 휴리스틱 기반 계획 프로세스는 제한된 탐색 영역에서는 안정적인 계획 수립에는 문제가 없지만, 협소한 탐색 영역으로 인해 보다 개선되거나 최적화된 계획을 수립하는 데에는 한계가 있다. 또한, 휴리스틱 기반 프로세스에서는 동등한 조건의 선택지가 있을 경우 계획 담당자의 경험에 의해 결정이 이루어지기 때문에 일관성이 결여될 수 밖에 없다. 국내 조선소에서 현재까지 발전되어 온 휴리스틱은 복잡한 선박 건조 공정에 대해 비약적으로 발전이 되어 왔지만, 새로운 도약을 위해서는 다차원적으로 연계되어 있는 복잡한 생산 환경 조건들을 반영할 수 있는 방법과 함께 탐색 범위를 문제의 전역 공간으로 확

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

장할 수 있도록 새로운 방법론과 전통적인 방법론을 융합할 수 있는 연구가 필요하다. 또한, 데이터의 부족이라는 한계에 대해서도 물리적인 야드 데이터를 실시간으로 수집할 수 있는 기술의 발전과 함께, 물리적인 실제 데이터가 아니더라도 일종의 생산계획 에이전트가 최적의 의사결정을 수립할 수 있는 지능을 가질 수 있도록 가상의 정교한 시뮬레이션을 이용한 인공 지능 연구도 요구된다.

4.2 생산계획 프로세스와 최적화 및 인공지능 기술

선박은 제품의 구조가 복잡하고 이에 따라 2.1 절에 설명한 바와 같이 생산 단계가 복잡하고 제작기간이 길기 때문에, 생산 계획 또한 복잡한 프로세스로 구성되어 있다. 이에 대해 2.2 절에서 기존의 조선소의 생산계획을 생산계획의 대상 기간과 목적에 따라 표 9와 같이 구분하였다. 이 중에 장기계획과 중기계획의 주요 계획 프로세스는 그림 30과 같이 도식화할 수 있다.

본 논문에서는 최적화 및 인공지능 기술을 접목하여 계획 수립 기간을 단축하고 최적의 생산계획 수립을 지원할 수 있도록 한 연구들 통해서 장기계획, 중기계획과 단기계획 각각에 대한 사례를 제시한다. 생산계획에 적용할 수 있는 최적화 기법은 여러 가지가 있을 수 있으며, 각 단계별로 적합한 최적화 기법도 다르게 적용할 수 있다. 본 논문에서는 여러가지 최적화 기법 중 각 단계별로 유효한 해를 제시할 수 있는 기법들을 제시하고 적용 가능성을 검토하는 것을 목적으로 하였다. 생산계획 각 단계별로 적용할 것으로 판단되는 기법들은 그림 31과 같다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

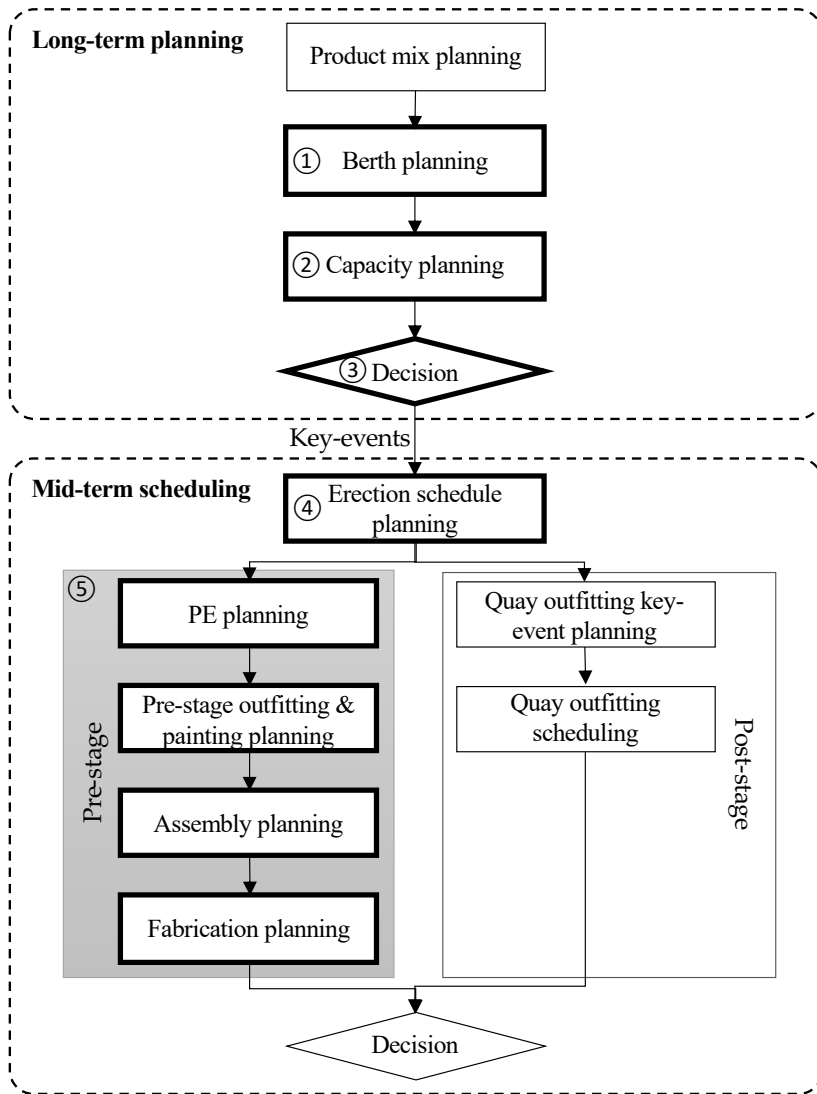


그림 30. 선박 생산의 일정계획 프로세스의 계층적 구조

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

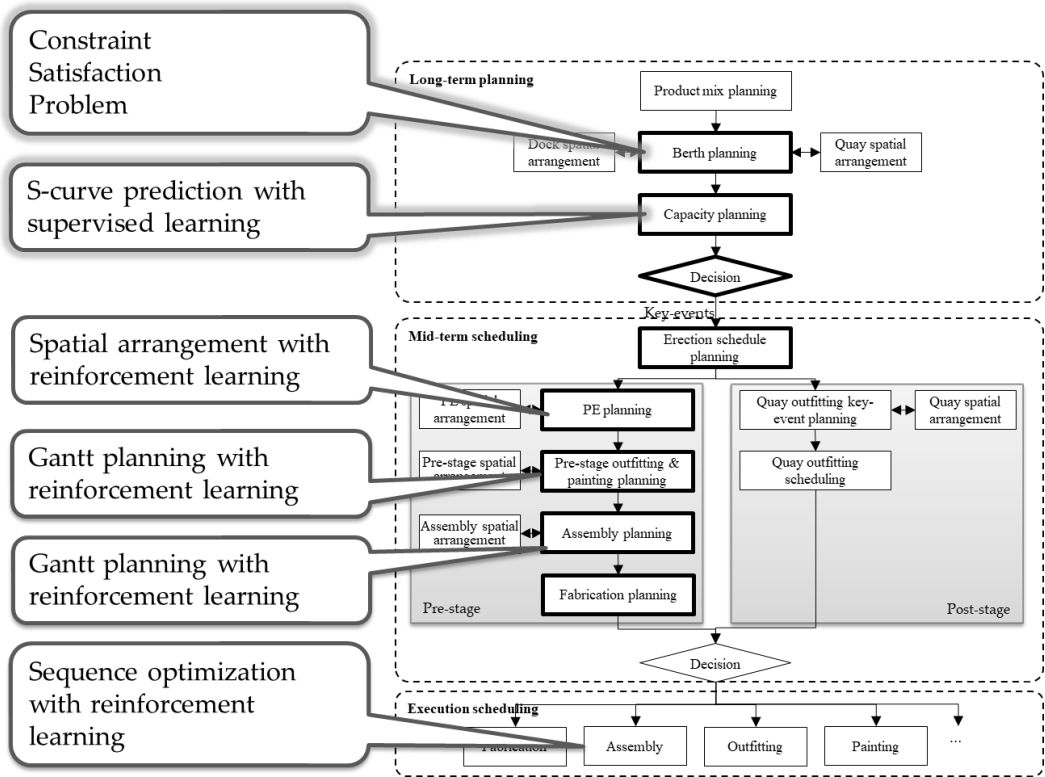


그림 31 생산계획 단계별 적용 가능한 최적화 기법 예시

4.3 장기계획을 위한 최적화 및 인공지능 기술

4.3.1 개요

장기계획은 탑재 공정이 이루어지는 product-mix 계획과 각 product 가 제작되는 berth⁹

⁹ 조선소에서 berth는 선박의 탑재 공정이 이루어지는 장소로 dry dock 또는 skid berth 등의 작업 공간을 의미한다. 본 논문에서는 semi-tandem 건조 공법을 고려하지 않기 때문에 berth의 시작일 및 종료일은 조정이 가능하고, 이를 조정함으로써 장기계획의 최적화(부하 평준화)를 목적함수로 하는 문제 정의가 가능해진다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

에 있는 기간을 결정하고, 주요 공종들에 대하여 장기계획을 만족시키기 위한 man-hour 계획을 수립한다. Product-mix 결정은 일반 제조업의 경우 최대 이익을 얻을 수 있는 product 들의 종류와 수량을 결정하는 최적화 문제로 고려하지만, 조선의 경우에는 영업 활동을 통해 선주들과 1:1 계약을 맺기 때문에 최적화 문제로 치환하기 어렵다. 따라서, 장기계획에서의 product-mix 계획은 종속변수가 아닌 고정 변수로 다루어진다. 따라서, 장기 계획에서의 이슈는 berth planning 과 capacity planning 이라고 볼 수 있다.

Berth planning 에서는 납기일 준수, 공정 부하 평준화, 그리고 공간배치가 복합적으로 고려한 최적화 알고리즘이 요구된다. 과거에 이와 관련된 연구가 다수 진행된 바 있지만 성공적으로 실용화된 경우는 거의 존재하지 않는다. 또한, 선표 계획이 수립되는 시점에는 해당 선박의 설계가 완료되지 않기 때문에 세부 건조 활동(가공, 조립, 외업 등)에 대한 정보가 필요한 세부 공정별 진도율과 관련된 S-curve 를 계획하는데 한계가 있어 공정 부하 평준화를 고려한 계획 수립에 한계가 있다.

따라서, 현재 대부분의 조선소에서는 목적함수에 해당하는 복수의 요소들(선호도크, 시리즈효과, 납기일준수 등)을 분리하여 휴리스틱 방법을 이용하여 선표 계획 계획을 수립하고, 계획 대상 호선과 유사한 과거 호선의 공종별 작업 부하 정보를 참조하여 얻어진 S-curve 를 이용하여 capacity planning 이 이루어지고 있다.

이러한 기존의 선표 계획 방법은 계획 수립 과정에서 해의 탐색 범위 한계로 인해 휴리스틱 방법을 통해 도출된 계획이 최적인지 보장을 할 수 없다는 근본적인 한계와 함께 계획 대상 호선과 과거 호선 간의 차이로 인한 참조 데이터의 부정확성이 상존하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 선표 계획의 복합적인 목적함수들을 동시에 고려하는 제약 만족 기법을 구현하고, 인공지능망 기반 지도학습을 이용하여 계획 대상 선박의 공정 부하를 정교하게 예측하여 S-curve 를 얻을 수 있도록 하였다. 그리고, 이 두 가지 방법을 연계하여 실제 조선소의 선표 계획을 고도화할 수 있는 연구를 수행하였다.

4.3.2 적용 기술 소개

4.3.2.1 Constraint Satisfaction Technique

Constraint satisfaction technique 은 CSP 의 해를 구하는 기법을 의미한다. CSP 는 제약 만족 문제로 3 가지 요소로 구성된다.

- Variables: $X = \{x_1, \dots, x_n\}$
- Domains: $D = \{D_1, \dots, D_n\}$
- Constraints: 변수 간의 제약 조건

제약 만족 문제는 변수가 만족하는 범위 내에서 제약을 만족하는 변수를 찾는 문제이다. Constraint satisfaction technique 란 CSP 문제를 푸는 기법으로 backtracking, forward checking 등이 있다(Brailsford, Potts et al. 1999).이 세 기법 모두 search tree 에 기반한 탐색 알고리즘으로, 변수들을 하나씩 지정하면서 해를 찾는 과정이다.

CSP 는 일반적으로 하나의 가능해를 찾는 것을 목적으로 사용되지만, 모든 해를 찾거나 최적의 해를 찾기 위해서도 사용된다. 최적해는 목적함수가 포함된다. 목적함수는 변수의 조합이나 새로운 변수로 표현이 가능하고, 가능해 집합에서 목적함수를 최대화 또는 최소화하는 해를 찾는 것이 목적이다. 이때, 탐색 알고리즘의 효율을 높이는 방법으로 branch-and-bound, cut 등이 있다. Branch and bound 는 각 branch 의 상한과 하한을 비교하며 탐색 공간을 줄여나가는 방법이다.

4.3.2.2 Deep Neural Network

DNN은 기계학습의 한 분야인 deep learning 알고리즘의 한 예로 2개 이상의 은닉층을 가진 인공 신경망을 의미한다. DNN의 발전은 역전파 알고리즘(Rumelhart, Hinton et al. (1985))의 발명부터 시작된다. 아래에 경사하강법을 이용한 역전파 알고리즘으로 가중치를 수정하는 수식이 있다. 전체 오차를 E_{total} , 노드의 가중치를 w_i , 학습률을 α 라고 하면, 개선된 가중치($w_i(t+1)$)는 다음과 같다.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \alpha \frac{\partial E_{total}}{\partial w_i} \quad \text{수식 (1)}$$

이때, 오차는 chain rule으로 계산된다. 역전파 알고리즘으로 불리는 이유는 가중치를 수정함에 있어 출력층부터 역으로 계산하기 때문이다. Chain rule에 따르면 가중치의 개선은 출력층부터 역순으로 미분값을 계산하고 이를 입력층까지 미분값을 서로 곱하는 형태로 전파된다.

역전파 알고리즘의 첫 활용 사례는 LeCun, Boser et al. (1989)으로 역전파 알고리즘을 사용한 DNN으로 우편물에 쓰여진 우편번호를 인식하는 프로그램을 개발했다. 성공적인 학습사례에도 불구하고, 학습에 소요되는 시간이 매우 길었기 때문에 상용화되지는 못했다. 하지만, 인공신경망의 지속적인 연구, 하드웨어의 발전, 빅 데이터 시대가 맞물리면서 인공신경망에 대한 연구는 폭발적으로 증가하고 있고, 성공적인 사례도 다수 존재한다. 현재 인공신경망은 패턴 인식, 자연어 처리, 컴퓨터 비전 등의 광범위한 영역에서 사용된다(Liu, Wang et al. (2017)). DNN은 특성간의 복잡한 비선형적인 관계를 잘 분석하는 특성으로 인해 여러 예측 분야에도 적용되고 있고, 본 연구에서 사용하는 S-Curve도 DNN을 이용한 S-Curve 예측 연구가 활발히 이루어지고 있다(Chao, Chien (2009), Lu, Peng et al. (2016), San Cristobal (2017)).

4.3.2.3 S-Curve

S-Curve 는 단위 프로젝트에 소요되는 특정 요소(Man-hour, 비용, 등)의 누적 진도율을 근사한 함수를 의미한다. 프로젝트는 단위 공정과 같은 단기 기간과 전체 공정 과정과 같은 장기 기간을 모두 포함한다. S-Curve 는 실제 값을 근사한 함수를 사용하기에 데이터의 효율적인 관리의 장점이 있지만, 근사의 한계로 모든 정보를 포함하지 않고, 오차가 발생한다는 단점이 있어 장기 기간의 프로젝트에 많이 사용되었다. 이러한 이유로 S-Curve 를 활용한 연구는 장기적인 생산 계획을 요구하는 ETO 산업에서 활발히 진행되어 왔다. 인공지능망의 발전과 함께 복잡하고 비선형적인 관계를 찾는 어려움을 극복한 사례가 나오면서, S-Curve 또한 근사한 함수의 계수와 프로젝트의 여러 지표(기간, 전체 투입량, 등)의 관계를 규명하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

S-Curve 에 사용되는 함수는 크게 두가지가 있다. 하나는 다항식으로 Chao, Chien (2009)은 건설 산업에서 소개된 여러 S-Curve 와 한계를 정리하고, 기존의 한계를 극복한 새로운 S-Curve 를 소개하고, DNN 을 활용하여 건설 품목, 건설 지역, 계약 금액, 그리고 건설 기간으로 S-Curve 를 예측하였다. 다른 함수는 확률분포로 Park, Lee et al. (1994)가 조선소 공정 부하에 적용하였지만, 예측을 위한 연구는 진행되지 않다. 확률 분포는 다항식이 필수적으로 가지는 몇 한계를 효과적으로 극복하지만, 아직 많은 연구가 진행되지는 않았다.

본 연구에서는 Chao, Chien (2009)가 소개한 3차 다항식 함수($f(x) = ax^3 + bx^2 + (1 - a - b)x$)를 사용하여 S-Curve 를 근사하였고, DNN 으로 S-Curve 를 성공적으로 예측하였다.

4.3.3 모델링 및 실험

본 연구의 대상 환경은 한국의 조선소이다. 본 연구를 위해 2017년부터 2020년까지의 125 대의 계획 선박 데이터를 사용하여 분석하였다. 20 대의 선박은 배치가 확정된 선박으로, 고정 배치로 CSP에서 제약 형태의 변수이고, 105 대의 선박이 CSP에서 최적의 배치를 찾는 선박이다. 선박 건조 제약을 위해 선박 별 선종, 선형, 길이 정보와 같은 선박 정보와, 계약일(C/A), 계약 인도일(D/L)과 같은 계약 기간 제약, 마지막으로 조선소 환경 정보에는 도크 정보, 배치 정보, 그리고 목적함수의 우선순위 정보가 있다. DNN 학습을 위해 사용된 S-Curve 데이터는 1,285 개로, 2010년부터 2020년까지 설계된 선박으로 이루어져 있다. S-Curve 예측을 위한 데이터는 선박 정보와 조선소 환경 데이터, 그리고 label 데이터가 있다. Label 데이터는 선박의 계획 실적 데이터를 뜻한다. 선박 건조 과정의 복잡성에 따라 선박 건조 계획은 계층적인 구조를 가지는데, 이때, 실행 계획을 제외한 중기 계획까지의 계획을 계획 실적 데이터라고 정의한다. 중기 계획 단계에서는 과거 호선으로부터 계획 선박에 부하를 대입하지 않고, 실제 생산 표준에 따른 man-hour 를 대입하여 구체적인 부하 평준화를 위한 일정 조정을 한다. 따라서 DNN의 label로 계획 선박의 계획 실적 데이터를 사용하여 알고리즘을 학습한다.

그림 32은 전체 선표 계획 과정을 나타낸다. 선표 계획 정보와 S-Curve 정보는 각각 CSP와 DNN에서 사용된다. CSP의 탐색 과정에서 나오는 여러 케이스를 찾은 후, DNN 알고리즘을 통해 각 선표 케이스에 S-Curve를 대입하여 부하가 최적화된 선표를 찾는다. 아래에서 자세한 CSP와 DNN 모델링을 설명한다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

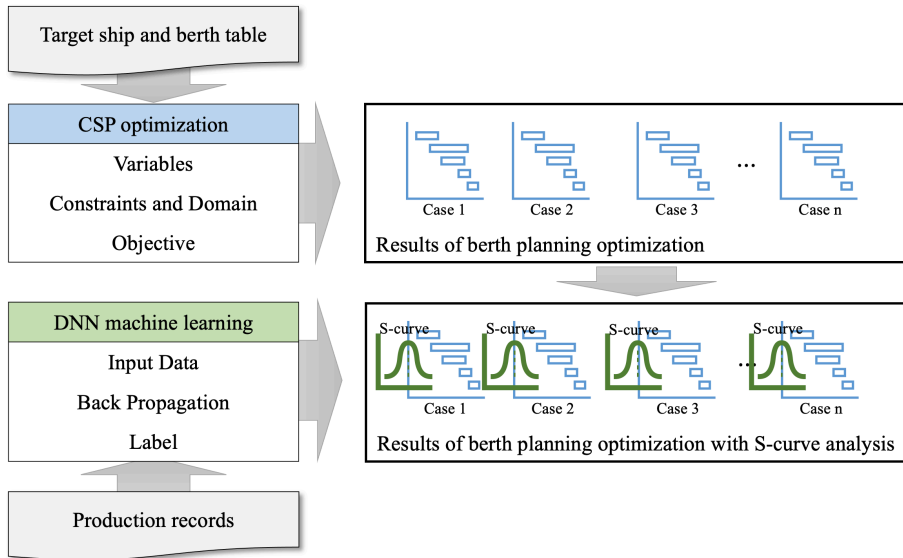


그림 32. S-curve 의 기계학습을 통한 Berth plan 최적화 프로세스

4.3.3.1 Constraint Satisfaction Problem

계획 호선은 다양한 제약들을 만족하면서 최적의 목적함수를 갖는 배치에 할당된다. 선표 계획에서 고려되는 제약조건은 배치 가능 기간, 도크 공간 배치, 동시 배치 가능 척수, 그리고 시리즈 호선 제약이 있다. 목적 함수는 현재 조선소에서 사용하는 휴리스틱을 정량화한 값으로 도크 별 우선 선종, 선종 별 우선 도크, 인도일정이 빠른 호선 우선 배치, 프로젝트 No. 빠른 호선 우선 배치가 있다.

본 연구의 선표 계획은 스케줄링이 포함된 조합 최적화 문제이다. 우선, 배치 가능 기간 제약으로 선박(i)이 배치될 수 있는 모든 배치에 잠재 배치($B_{i,j}$)를 형성한다. 이때 배치 number 은 모든 도크에 대해 일괄적으로 표기하기 때문에 한 배치 number 은 한 도크의 특정 배치를 지칭한다. 따라서, CSP 의 3 요소에 대응하면, 문제가 다음과 같이 정의될 수 있음을 알 수 있다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

- Variables: $B = \{B_{i,j}\} \quad \forall(i,j)$ 수식 (2)
- Domains: $D = \{D_j\} \quad \forall j$

제약은 아래부터 3.1.4 절까지 기술되어 있고, 3.1.5 절에 목적함수가 기술되어 있다. 한 호선에 대한 모든 잠재배치는 하나만 선택될 수 있다. 즉, 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\sum_j \lambda_{i,j} = 1, \quad \lambda \in \{0, 1\} \quad \text{수식 (3)}$$

$\lambda_{i,j}$ 는 $B_{i,j}$ 의 존재유무 변수이다. 이후 도크 공간 제약, 동시 배치 가능 척수, 그리고 시리즈 호선 제약을 만족하면서 최적의 목적함수를 갖는 해의 조합을 찾지만, 해당 해의 조합이 시간적인 제약을 포함하기 때문에 스케줄링의 성격이 포함되어 있다. 표 22 은 본 논문에서 정의하는 CSP 문제의 변수와 기호를 정리하고 있다.

표 22. CSP 변수 설명

Symbol	Explanation
i	선박 번호
j	배치 Number
k	도크 공간 Number
l	길이
b	폭
$B_{i,j}$	선박 i 의 j 배치의 잠재 배치 선박
$\lambda_{\#}$	$B_{\#}$ 존재 여부를 표시하는 binary variable
$B_{i,j,k}$	$B_{i,j}$ 선박의 도크의 k 공간 Clone
$B_{i,j,k}(l_k)$	$B_{i,j,k}$ 의 k 공간에 할당된 길이
$B_{i,j,k}(b_k)$	$B_{i,j,k}$ 의 k 공간에 할당된 폭
D	도크
$N(\#)_d$	d 일에 선표에 존재하는 # 개수
$S(\#_{B_i})_n$	동일한 $\#_{B_i}$ 의 n 번째 시리즈 호선
$DL_{i,j}(B_{x,y})$	$B_{i,j}$ 보다 빨리 배치된 인도일정이 느린 잠재 배치($B_{x,y}$)의 집합
$SN_{i,j}(B_{x,y})$	$B_{i,j}$ 보다 빨리 배치된 호선 번호가 느린 잠재 배치($B_{x,y}$)의 집합

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

<i>Obj</i>	목적함수
<i>w</i>	목적함수 각 항의 가중치

4.3.3.2 배치 가능 기간

계획 호선이 도크에 배치되기 위해서 고려하는 요소는 도크 리드타임, 배치 목록, 그리고 배치 가능 기간으로 세가지이다. 그림 33 은 이 세 요소의 관계를 설명하는 것으로, Dry 도크 1 번에 3 월부터 7 월까지 주 단위로 표현된 선표 계획이다. 조선소의 L/C 일은 반드시 토요일에 진행하기 때문에 선표의 모든 계획은 주 단위로 이루어진다. 그림의 노란 색이 도크 리드타임을, 파란색이 배치 목록을, 배치 가능 기간은 그림 내 모든 구간에서 가능하다고 가정한다. 배치 목록은 선박을 F/L 하는 간격을 표현하며, 선박은 배치를 반드시 가득 채우도록 배치 기간을 조정한다. 그림의 선박은 12 주의 도크 리드타임을 갖는 선박으로 배치 11 과 배치 12 에는 선박이 배치되어 있다. 그에 따라 선박을 배치 13 에 배치하고자 하며, 배치 13 을 초과하여 배치 12 도 사용하기 때문에 4 월 4, 5 주차도 포함하게 기간이 조정되어 배치된다. Dry 도크는 선박을 Semi-Tandem 공법으로 건조하기에 F/L 일정이 도크 공정내에 포함된다. 해당 선박의 경우 5 월 5 주차와 6 월 1 주차 사이 토요일이 F/L, 4 월 4 주차 월요일이 K/L, 7 월 2 주차 토요일이 L/C 이다.

DRY 1	March			April					May					June					July		
	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
	Batch 11					Batch 12					Batch 13					...					
	LNGC 33																				
	LNGC 20					Dock Lead Time															

그림 33. 선표 계획 예시

표 23 는 선종 별 도크 별 도크 리드타임을 보여준다. 일반적으로 Dry 도크는 Floating 도크보다 F/L 로 인해 도크 리드타임이 일주일 더 길다. LNGB 선종은 Dry 도크에서 건조

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

가 불가능하기 때문에 임의의 큰 수를 입력하여 Dry 도크에 건조가 불가능하게 설정하였다.

표 23. 선종별 도크 리드타임 예시

Ship Type	Dock Lead Time (Weeks)	
	Dry Dock	Floating Dock
CONT	1	5
COT	2	6
LNGC	3	7
LPGC	4	8

배치 가능 기간은 계약일과 계약인도일에 의해 결정된다. 계약일(C/A) 이후, 선박이 도크에 배치하는데 걸리는 최소한의 시간과, 도크에서 진수(L/C)된 후에 인도(D/L)까지 소비되는 최소한의 시간이 제약 조건이다. C/A 부터 K/L 사이 기간은 주로 설계 및 선형 공정 계획과 부품 조달 계획에 의해 결정된다. 부품 조달 계획은 엔진과 같은 선박 탑재 공정에 필요한 주요 부품의 리드타임을 의미한다. L/C 와 D/L 사이 기간은 탑재 공정 이후 후행 공정 계획의 리드 타임을 따른다. 표 24 는 선표 계획 대상 호선의 선종 별 제약 기간을 월 단위로 보여준다. 선박 건조 과정은 매우 긴 과정으로 도크 리드타임까지 포함하여 일반적으로 22 개월에서 35 개월까지 걸릴 수 있다.

표 24. 선종별 키이벤트간 리드타임 예시

Ship Type	Batch Range Lead Time (Months)	
	C/A to K/L(F/L)	L/C to D/L
CONT	1	5
COT	2	6
LNGC	3	7
LPGC	4	8

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Dry 도크는 Floating 도크와 다르게 Semi-Tandem 공법으로 건조하기에 F/L 일정이 추가된다. 선박은 F/L 전에 일반적으로 1/3 크기로 건조되기 때문에 조달 계획의 제약이 F/L 전까지는 해당되지 않는다. 따라서 Dry 도크는 배치 가능 기간의 제약으로 K/L 을 사용하지 않고 F/L 을 사용한다.

4.3.3.3 도크 공간 배치

표 25 는 도크 별 길이와 폭 정보를 보이고 있다. 도크는 Dry 도크 1 이 가장 크고, Floating 도크가는 Dry 1, 2 보다 작은 규모를 지니고 있다. Dry 도크의 폭이 Floating 도크 보다 더 크고, 건조하는 선박의 폭이 36m 보다 작은 선박이 많기 때문에 Dry 도크에서는 일반적으로 공간 활용도를 최대화하기 위해 병렬 건조를 한다. 병렬 건조를 가능하게 하는 또다른 요인은 Semi-Tandem 공법이다. 이 두 요인으로 인하여 Dry 도크에서 선박은 일반적으로 두 배치를 사용하여 건조를 하는데, 편의상 앞 배치를 F/L 배치, 뒤 배치를 L/C 배치라고 칭한다. Semi-Tandem 공법에서 F/L 배치 선박은 선박 전체 크기로 건조하지 않고, 선미나 선수부터 순서대로 탑재공정을 진행한다. 따라서 F/L 배치는 전체 크기가 아닌, 길이방향으로 선박의 1/3 크기만큼 공간이 도크에 할당된다. 배치의 길이가 짧거나 선박의 도크 리드타임이 긴 경우에는 F/L 이 2 번 발생할 때가 있는데, 이 경우 F/L 1 은 선박의 1/3 크기만큼, F/L 2 는 선박의 2/3 크기만큼 도크에 할당된다. F/L 이 2 번있는 선박도 Batch range 를 고려할 때에는 F/L 1 을 기준으로 고려한다.

표 25. 건조 도크 길이 및 폭

도크	Length(m)	Breadth(m)
Dry 1	500	100
Dry 2	500	50
Floating 3	400	40
Floating 4	400	50
Floating 5	400	50

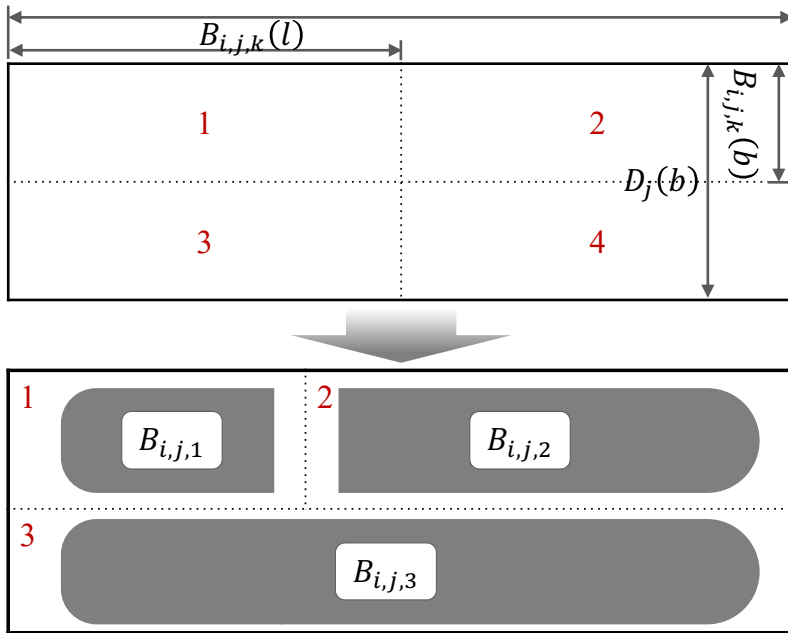


그림 34. CSP 에서 공간 배치 개념

CSP 에서 공간배치 제약은 그림 34 과 같은 모델을 사용한다. 해당 모델은 도크를 2×3 구역으로 분할하여 해당 배치에 있는 잠재 배치($B_{i,j}$)를 모든 구역에 대해 $\text{clone}(B_{i,j,k}, k \in \{1, \dots, 6\})$ 을 생성하여 하나를 선택한다. 도크 배치의 각 공간을 k 로 정의하고, 각 공간의 길이를 l , 폭을 b 라고 할 때, 각 선택 clone 의 공간의 길이와 폭은 $B_{i,j,k}(l_k), B_{i,j,k}(b_k)$ 으로 정의한다. 선택이 직사각형 형태라고 가정하고, 면적이 겹치지 않게 제약을 설정하면, 공간 배치 제약은 아래와 같이 길이 방향, 폭 방향, 대각선 방향으로 제약이 정의된다. $D_j(l)$ 는 j 배치 도크의 길이를 뜻한다.

1) 길이 방향:

수식 (4)

4.3.3.4 동시 배치 가능 척수

탑재 공정에서 특정 선종은 특정 장비와 조건에서 행해지는 경우가 있다. 따라서 같은 시점에 동시에 배치될 수 있는 선종에 제약이 존재한다. 날자 d 일에 선표에 존재하는 container 선박의 개수는 $N(CONT)_d$ 로 정의한다. 따라서 제약은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} N(CONT)_d \leq 3, & \forall d \\ N(COT)_d \leq 4, & \forall d \\ N(LNGC)_d \leq 5, & \forall d \end{cases} \quad \text{수식 (6)}$$

4.3.3.5 시리즈 호선

선박 건조 과정은 기본적으로 ETO 산업으로, 주문되는 선박의 요구사항이 모두 달라 개별 선박을 설계부터 시작해야 하지만, 선주는 때때로 같은 요구사항의 선박을 여러 대 동시에 주문하기도 한다. 같은 선주가 같은 C/A 에 같은 선종, 선형의 선박을 여러 대 주문할 때, 이 선박들을 시리즈 호선으로 정의한다. 시리즈 호선은 모두 같은 날에 계약하지만, D/L 은 조선소 환경에 따라 모두 다를 수 있다. 이때, 가장 빠른 D/L 일정을 가지는 호선을 시리즈 1 호선으로 정의하고, 시리즈 1 호선은 반드시 다른 시리즈 호선보다 빨리 선표 계획에 배치해야 한다. 이는 시리즈 호선은 동일한 설계 도면을 공유하므로 시리즈 1 호선에 대해서만 설계 계획일정을 고려하기 때문이다.

선박 B_i 가 속한 시리즈 호선의 집합은 $S(Owner_{B_i}, Type_{B_i}, C/A_{B_i})$ 으로 정의하고, n 번째 시리즈 호선은 $S(Owner_{B_i}, Type_{B_i}, C/A_{B_i})_n$ 으로 정의한다. 본 연구의 데이터는 같은 선주가 같은 선종의 선박을 같은 C/A 에 계약하는 모든 선박의 선형이 같기 때문에 선형은 구분하지 않는다. 선박(B_i)의 K/L 일자를 $K/L(B_i)$ 으로 정의한다면, 시리즈 호선의 1

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

호선 제약은 아래와 같이 표현한다. ($Owner_{B_i}, Type_{B_i}, C/A_{B_i}$)는 편의상 #으로 표기하였다.

$$K/L(S(\#)_1) \leq K/L(S(\#)_n), \quad \forall n \in \{2, \dots\} \quad \text{수식 (7)}$$

4.3.3.6 목적함수

생산 계획의 근본적인 목적은 매출 최대화를 위한 비용 최소화의 관점에서 바라볼 수 있다. 하지만, 조선 생산 계획의 변동성의 특성과 선표 계획이 생산 계획 단계의 최상단으로 장기적인 관점에서 효율적인 생산계획을 하는 것이 목적이기 때문에, 구체적인 비용을 정량화하는 것은 현실적으로 어렵고, 체계적인 시스템도 부재하다. 따라서, 현재 시스템에서 선표 계획은 효율적인 생산 관리를 하기 위해 도크 별 선종 별 우선순위, 인도일정 빠른 순서 우선 배치, 호선 번호 빠른 순서 우선 배치, 시리즈 호선 연속 배치, 부하 평준화와 같이 다각도에서 선표를 바라보고 최적의 선표를 찾고자 한다. 본 연구에서는 부하 평준화는 기계학습을 활용한 S-Curve로 대체하고, 다른 지표들을 정량화하여 CSP 문제의 목적함수에 대입하였다. 첫 번째는 도크 별 선종 별 우선순위이다. 표 26와 표 27은 도크 별 선종 별 우선순위 예시를 보여준다.

표 26. 선종별 선호되는 도크 우선 순위 (예시)

Ship Type	Dock	Priority
CONT	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
	5	5
COT	1	1
	2	2

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

	3	3
	4	4

표 27. 도크별 선호되는 선종 우선 순위 (예시)

Dock	Ship Type	Priority
	COT	2
	CONT	3
	LPGC	4
2	CONT	1
	COT	2
	LPGC	3

두 우선순위는 합쳐져 표 28의 우선순위 행렬을 형성한다. 우선순위 행렬은 각 우선순위의 합으로 이루어지고 우선순위에 없는 값은 임의의 큰 값(15)를 더하도록 하였다.

표 28. 선종과 건조 도크간 우선 순위 매트릭스 예시

Priority Matrix	CONT	COT	LNGC	LPGC
1	3 + 5	2 + 1	1 + 1	4 + 3
2	1 + 3	15 + 15	2 + 2	15 + 15
3	1 + 4	3 + 4	2 + 3	4 + 2

모든 잠재 배치는 이미 선종과 도크가 결정되어 있다. 따라서, 특정 잠재 배치의 특정 우선순위를 $PM(B_{i,j})$ 으로 정의하면 선표 전체의 우선순위 목적함수(Obj_{pri})는 아래 식으로 표현된다.

$$Obj_{pri} = \sum_i \sum_j \lambda_{i,j} PM(B_{i,j}) \quad \text{수식 (8)}$$

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

두 번째는 인도일정 빠른 순서 우선 배치이다. 이 목적함수는 선표 계획에서 배치된 선박을 기준으로 자신보다 인도일정이 느림에도 불구하고 빠르게 배치된 선박 대수로 정의한다. 이 목적함수 또한, 잠재 배치가 모두 정해진 일정이 있으므로 잠재 배치 개별로 점수 부여가 가능하다. 각 $B_{i,j}$ 보다 인도일정이 느리지만 더 빨리 배치된 모든 잠재 배치의 집합을 $DL_{i,j}(B_{x,y})$ 으로 정의하면 인도일정 목적함수(Obj_{dl})는 아래 식으로 표현된다.

$$Obj_{dl} = \sum_i \sum_j \lambda_{i,j} \left(\sum_x \sum_y \lambda_{x,y} \right), \quad B_{x,y} \in DL_{i,j}(B_{x,y}) \quad \text{수식 (9)}$$

세 번째는 호선 번호 빠른 순서 우선배치이다. 이 목적함수는 인도일정 빠른 순서 우선 배치와 같은 형식으로 정의된다. 호선 번호 빠른 순서 우선배치는 선표 계획에서 배치된 선박을 기준으로 자신보다 호선 번호가 늦음에도 불구하고 빠르게 배치된 선박 대수로 정의한다. 이 잠재 배치 집합을 $SN_{i,j}(B_{x,y})$ 으로 정의하면 호선 번호 목적함수(Obj_{sn})는 아래 식으로 표현된다.

$$Obj_{sn} = \sum_i \sum_j \lambda_{i,j} \left(\sum_x \sum_y \lambda_{x,y} \right), \quad B_{x,y} \in SN_{i,j}(B_{x,y}) \quad \text{수식 (10)}$$

마지막은 시리즈 호선 연속 배치이다. 시리즈 호선은 같은 공법으로 같은 건조과정을 겪기 때문에 연속적으로 같은 공간에서 건조하면 장비의 이동 최소화와 작업 효율성 최대화의 관점에서 생산 효율성이 극대화된다.

시리즈 호선 목적함수는 특정 선박(B_i)이 속한 시리즈 호선 ($S(Owner_{B_i}, Type_{B_i}, C/A_{B_i})$) 집합에 대해 B_i 의 잠재 배치 ($B_{i,j}$)가 점수를 가지며, 특정 $B_{i,j}$ 에 대해 같은 도크에 연속적으로 같은 시리즈 호선 집합에 포함된 다른 B_x 의 잠재 배

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

치 ($B_{x,y}$)가 선포 계획에 존재하면 1 점, 없으면 0 점을 갖는다. 즉, B_i 와 B_x 가 속한 시리즈 집합 $S(Owner_{B_i}, Type_{B_i}, C/A_{B_i})$ 의 한 잠재 배치($B_{i,j}$)의 인접한 B_x 의 잠재 배치($B_{x,y}$)를 $B_{x,y}^i$ 라고 정의한다면, $B_{i,j}$ 와 인접한 잠재 배치 선포의 개수는 $\sum_{(x,y)} \lambda_{x,y} (B_{x,y} \in B_{x,y}^i)$ 이고, $B_{i,j}$ 의 시리즈 목적함수($Obj_{ser}^{i,j}$)는 아래의 식과 같다.

$$Obj_{ser}^{i,j} \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{(x,y)} \lambda_{x,y} (B_{x,y} \in B_{x,y}^i) > 0 \\ 0, & \text{if } \sum_{(x,y)} \lambda_{x,y} (B_{x,y} \in B_{x,y}^i) = 0 \end{cases} \quad \text{수식 (11)}$$

따라서, 시리즈 호선 목적함수(Obj_{ser})는 다음 식으로 표현된다.

$$Obj_{ser} = \sum_i \sum_j \lambda_{i,j} Obj_{ser}^{i,j} \quad \text{수식 (12)}$$

4 가지 목적함수는 각각의 가중치($w_{\#}$)가 곱해져 CSP 의 목적함수는 다음과 같다. 전체 목적함수는 최소화하는 문제이므로, $w_{pri}, w_{dl}, w_{sn} > 0, w_{ser} < 0$ 의 조건을 갖는다.

$$Obj = w_{pri}Obj_{pri} + w_{dl}Obj_{dl} + w_{sn}Obj_{sn} + w_{ser}Obj_{ser} \quad \text{수식 (13)}$$

이때, 각 가중치의 민감도의 차이를 최대한 줄이기 위해 각 목적함수에 합리적인 숫자로 나누어 scaling 한다. 표 29 은 각 목적함수를 scaling 하는 상수이다. Obj_{pri} 은 모든 선포 수, Obj_{dl} 과 Obj_{sn} 은 모든 선포 수 \times (모든 선포 수 - 1)이며, Obj_{ser} 은 시리즈 호선으로 분류된 모든 선포 수를 의미한다

	Scaling constants
Obj_{pri}	$N(B_i)_{all} \times 30$
Obj_{al}	$N(B_i)_{all} \times (N(B_i)_{all} - 1)$
Obj_{sn}	$N(B_i)_{all} \times (N(B_i)_{all} - 1)$
Obj_{ser}	$N\left(\sum_{\#} \sum_n S(\#_{B_i})_n\right)$

표 29. 목적함수 별 Scaling 상수

4.3.3.7 S-Curve with Deep Neural Network

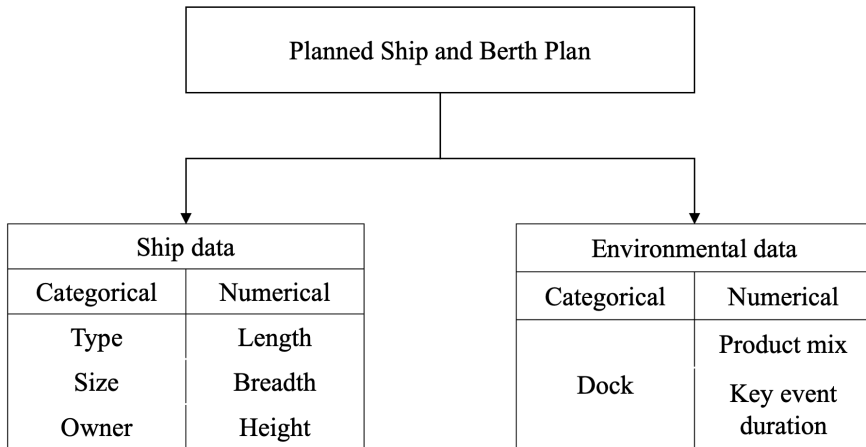


그림 35. S-Curve의 입력 데이터 종류

CSP에서 얻는 선표와 배치된 선박을 바탕으로 부하를 예측하기 위해 S-Curve를 선박에 대입한다. 선박 전체의 S-Curve를 예측하는 것이 조선소 전체 부하를 평가하기에 유리하지만, 탑재 공정을 기준으로 탑재 공정과 선행 공정은 비교적 계획을 잘 따르지만, 후행 공정은 계획과 벗어나는 경우가 많고, 계획 데이터는 체계적으로 관리되고 있지만 실제 데이터는 부재한 경우가 많다. 따라서, 인공지능망으로 전체 선박의 계획 데이터를 예측하는 것은 후행 공정에 의한 오차를 무시할 수 없으므로 공정 단위로 부하를 평가한다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

S-curve 예측을 위해 사용한 데이터는 선박 정보와 조선소 생산 환경 정보, 두가지로 구분 이 된다(그림 35).

선박 정보는 계획 호선의 정보로 선종, 선형, 선주, 그리고 선박 길이 정보가 있다. 선 종, 선형, 그리고 선주 정보는 categorical data 로 분류되고, 길이, 폭, 그리고 높이 정보는 numerical data 로 실수형이다. 조선소 생산 환경 정보는 선박 정보 외적인 요소로 배치 도 크, key event duration, 그리고 product mix 가 있다. 선박은 같은 선종과 선형이라도 도크 에 배치되었는 장비에 따라 공법이 바뀔 수 있다. Key event 는 조선소 생산 과정의 4 가지 시점으로 각각 S/C, K/L, L/C, D/L 이다. 각각의 기간은 생산 계획과 밀접한 관계가 있으 므로 각 시점 사이 기간을 계산한다. 마지막으로 product mix 는 같은 공정이 이루어지는 선박의 선종 별 대수를 뜻한다.

S-Curve 예측을 위한 전처리 과정은 다음과 같다. Raw 데이터는 주 단위 선박의 공수 로 표현되어 있다. 이 시간 축을 %로 변환하여 x 축을 0~1 사이로 변환하고, 주별 공정률 을 누적 주별 공정률로 변환하면 중간의 scaled data 를 얻는다. 이를 Cramer Rule 을 적용 하여 $f(x) = ax^3 + bx^2 + (1 - a - b)x$ 와 같은 3 차 함수(Chao, Chien (2009)) 로 근사하 면 각 S-Curve 는 (a, b) 쌍으로 1 대 1 대응이 되어 인공신경망을 위한 Input data 와 label 이 1 대 1 대응된다. 그림 36 는 S-Curve 예측을 위한 인공신경망 학습에 사용되는 데이터 를 보여준다. 선박 정보와 조선소 생산 환경정보는 다시 categorical 데이터와 numerical 데이터로 분리되어 각각 전처리한다. Categorical 데이터는 ordinal encoding 을 하고, numerical 데이터는 정규화하여 DNN 의 입력 데이터로 사용된다. 그리고, Cramer rule 을 사용하여 계산한 (a, b) 는 인공신경망에서 label 로 가정하여 학습이 진행된다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

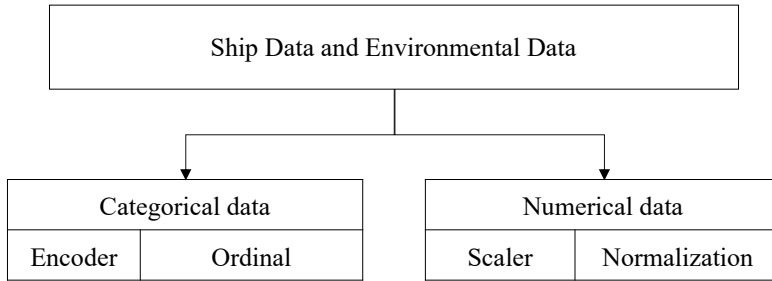


그림 36. S-Curve 기계학습을 위한 학습 데이터

1,300 개의 탑재 공정 데이터로 계산한 (a, b) 와 raw 데이터와의 오차(RMSE)는 표 30 와 같다. 평균 제곱근 오차는 4%로 근사한 함수 $f(x)$ 가 raw 데이터의 특성을 잘 보존한다고 할 수 있다. 특정 (a, b) 는 $f(x)$ 가 $[0, 1]$ 을 벗어날 수 있다. 이 경우, $f(x)$ 를 아래와 같이 보정한다. 표 30 는 보정한 값으로 RMSE 를 계산한 값이다.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } f(x) < 0 \\ 1, & \text{if } f(x) > 1 \end{cases} \quad \text{수식 (14)}$$

표 30. 탑재작업의 a, b 및 RMSE 의 평균과 표준편차

	a	b	RMSE
Average	-1.96	2.60	0.04
σ	0.95	1.59	0.02

Input 데이터와 label 을 이용하여 DNN 을 학습함에 있어, 베이지안 최적화에 기반하여 hyper-parameter 를 최적화하였다. 표 31 은 연구에 사용된 DNN 의 hyper-parameter 와 최적화 범위를 보여준다. Layer number 은 hidden layer 개수를 뜻한다. Learning rate 은 학습률을 의미한다. Node number 는 hidden layer 의 node 개수를 의미한다. Optimizer 은 DNN 알고리즘 학습 방법 종류를 뜻한다.

표 31. 최적값에 대한 Hyper-parameter

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Hyper-parameter	Range	Optimal value
Layer number	1 ~ 10	3
Learning rate	1e-5 ~ 0.1	0.05
Node number	10 ~ 300	50, 187, 255
Optimizer	RMSProp	

표 31의 최적의 hyper-parameter 으로 학습한 DNN 모델로 test 데이터에 적용하여 예측한 (a_{pred}, b_{pred}) 의 평균과 표준편차, 그리고 (a_{pred}, b_{pred}) 의 함수와 실제 누적 공정률의 RMSE가 표 32에 표시되어 있다. 예측한 함수와 실제 누적 공정률의 오차가 9%로 함수를 근사하는 과정에서 발생한 4%와 비교하였을 때, 평균적으로 예측 오차가 5%임을 확인할 수 있다. 하지만 오차의 표준편차가 0.05로 평균 0.09에 비해 무시할 수 없을 수준이므로 표 32에 보여진 오차의 히스토그램을 확인해야 한다.

표 32. a, b 및 RMSE의 예측값

	a_{pred}	b_{pred}	RMSE
Average	-1.92	2.40	0.09
σ	0.51	0.81	0.05

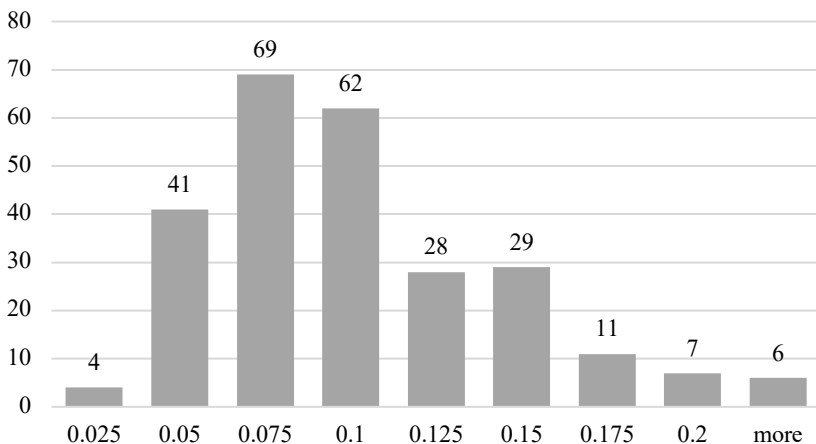


그림 37. RMSE 히스토그램

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

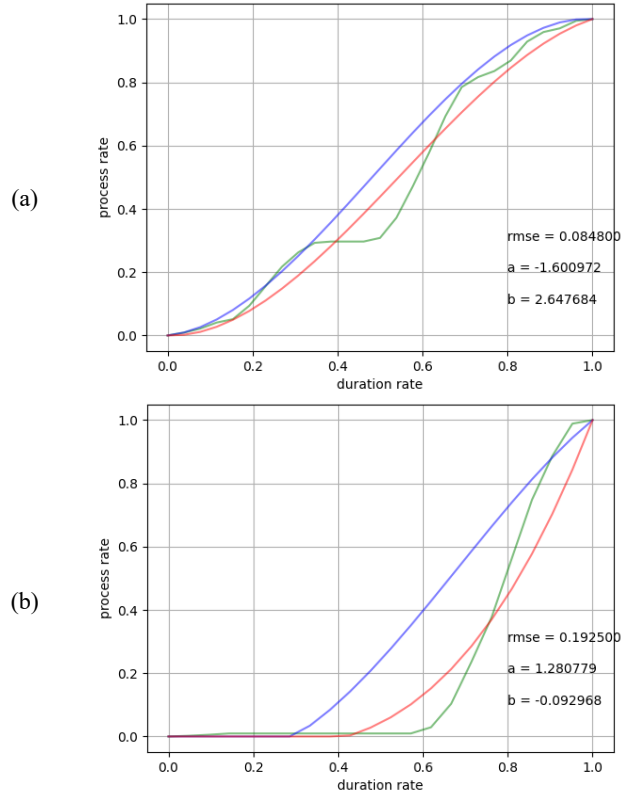


그림 38. RMSE 9%(a)와 19%(b)에 대한 샘플 그래프

히스토그램에서 평균 9%의 RMSE 를 갖는 표본이 가장 많고, 대부분 오차가 15% 이하임을 확인할 수 있다. Test 데이터의 68%가 10% 이하의 오차를 보이고, 5%가 20% 이상의 오차를 보인다. 8%와 19%의 오차를 갖는 표본의 예측함수, 근사함수, 실제 계획 누적 공수율의 관계는 그림 38 에서 확인할 수 있다. 푸른색 곡선이 DNN 으로 예측한 함수, 붉은색 곡선이 근사한 함수이고, 녹색 그래프가 실제 계획 누적 공수율 함수이다. x 축이 전체 기간을, y 축이 누적 공수율을 의미하고, 그림 38 에 예측한 a 와 b 가 표시되어 있다. 예측의 정확도는 푸른 곡선과 붉은 곡선의 차이이지만, 실측치와의 차이를 줄이는 것이

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

S-Curve의 목적이기 때문에 실측치와의 오차를 분석하였다. 그림 38(a)는 8.4%의 RMSE를 갖는 그래프이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 푸른색 곡선과 붉은색 곡선의 경향성이 매우 비슷함을 알 수 있다. 그림 38(b) 그림은 19%의 오차를 갖는 데이터이지만, 형상이 다소 극단적임에도 불구하고 예측의 경향성은 동일함을 알 수 있다. 실제 그림과 비교하며 S-Curve의 목적인 데이터의 효율적인 관리와 예측의 측면에서 첫 번째는 성공적으로 근사한 함수가 실제 곡선의 정보를 잘 담고 있음을 확인할 수 있었고, 두 번째 또한, 적은 데이터 개수에도 불구하고, 성공적으로 예측함을 알 수 있다. 즉, 데이터의 축적과 함께 알고리즘 예측의 정밀도가 높아짐을 기대할 수 있다는 뜻이기도 하다.

4.3.4 분석 및 결론

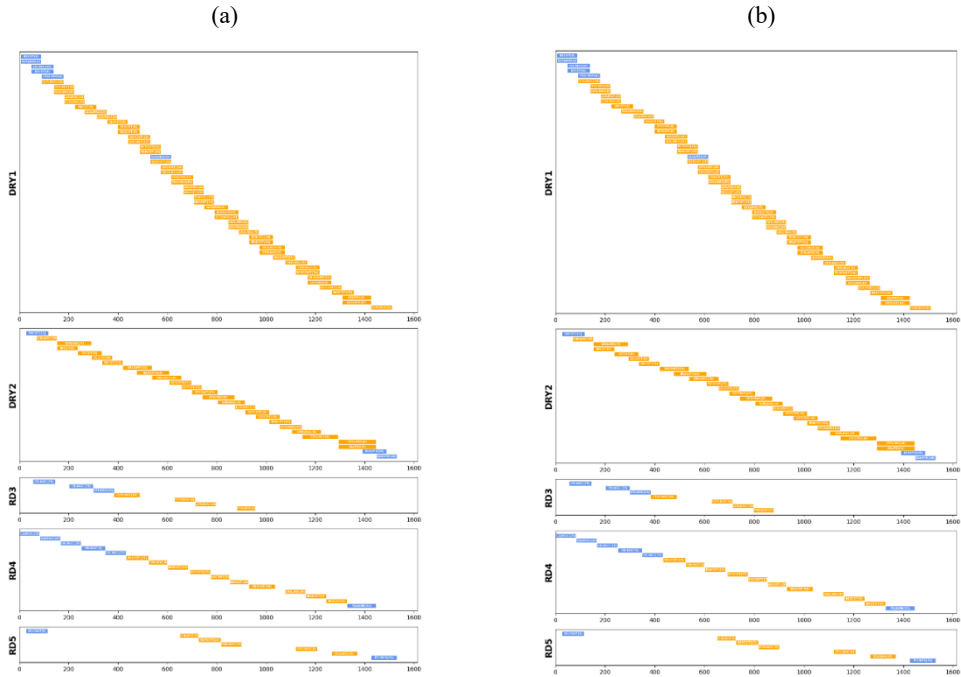
그림 32의 마지막 단계는 CSP의 결과로 출력된 선포 case에 선박 별 S-Curve를 대입하여 부하 평균화를 비교하여 최적의 선포를 찾는 것이다. 먼저 탐색 알고리즘에서 찾은 가능한 해와 목적함수는 표 33와 표 34에서 확인할 수 있다. 표 34의 푸른색은 고정 선박으로 이미 선포 계획에 고정된 선박을 의미하고, 주황색 선박이 실제로 최적화하고자 한 선박의 배치를 뜻한다. (a)에서 (c)로 갈수록 전체 목적함수가 더 좋아진다. 개별 목적함수를 비교하면 due date와 호선 번호는 차이가 없으나 시리즈 호선의 목적함수가 더 좋아질수록 선종 별 도크 별 우선순위가 낮아지는 경향을 확인할 수 있다. 이는 시리즈 호선을 같은 도크에서 건조하기 위해 도크 별 선종 별 우선순위를 부분적으로 포기한 결과임을 알 수 있다.

표 33. Berth plan 케이스별 최적해의 목적함수 값

Cases	Obj_{pri}	Obj_{dl}	Obj_{sn}	Obj_{ser}	Obj_{all}
(a)	0.170	0.080	0.201	-0.362	0.089
(b)	0.170	0.080	0.201	-0.426	0.026
(c)	0.162	0.080	0.201	-0.479	-0.035

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 34. CSP 를 통한 Berth plan 최적화 결과



각 case 에 S-Curve 를 대입한 man-hour graph 와 표준편차는 표 35 에 있다. 선박 별 탑재 공정에 투입되는 총 man-hour 은 조선소 표준을 사용하였다. Man-hour graph 에서 초반에 매우 높은 값은 고정 선박에 의한 결과이다. Graph 상으로는 세 case 모두 비슷한 결과를 얻었지만, 표준편차는 (a)에서 가장 작은 결과를 얻었고, 이는 부하평준화가 가장 많이 이루어진 선포임을 뜻한다. 따라서, 선종 별 도크 별 우선순위와 부하평준화의 수준이 높은 선포가 (a), 시리즈 호선의 배치 수준이 높은 선포가 (c)임을 알 수 있고, 선포의 선택은 조선소의 생산전략에 따라 달라질 수 있다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 35. Berth plan 최적화 결과에 대한 S-curve 분석(시수부하의 표준편차(σ))

	Man-hour graph	σ
(a)		284.3
(b)		287.9
(c)		294.7

본 연구에서는 조선소 생산계획의 장기 계획인 선표 계획을 제약 만족 기법과 S-Curve를 활용하여 최적화하는 모델을 소개했다. 3차 다항식 함수를 이용하여 S-Curve를 수식화하고, DNN으로 선박 별 공정 별 S-Curve를 예측했다. CSP에서는 부하를 제외한 요소들에 대해 최적화를 진행했다. 특히, 공간배치를 단순화한 모델로 수식화하여 CSP에 대입하여 선표를 최적화하고자 했다. 부하(man-hour)는 제약만족기법을 적용한 berth planning 최적화 결과들에 기계학습을 통해 예측된 S-Curve를 매핑하여 비교하여 최종적

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

으로 최적의 선포를 얻을 수 있었다.

선포 계획의 다중 복합적인 제약과 목적은 기존의 연구에 여러 한계를 발생시켰지만, 부하를 DNN 으로 정교하게 예측하고, 공간 배치 알고리즘 단순화를 통한 CSP 제약으로 고려 등으로 효율적인 선포 계획 알고리즘에 성공하였다. 그러나, 효율적인 생산 시스템은 다중 목적함수를 사용하게 하는 한계가 있고, 각 목적함수를 normalization([0, 1])하고, 가중치를 개별로 평가해야 한다. 이를 위해 선박 배치와 가중치와의 민감도 분석을 추가 연구로 진행할 예정이지만, 장기적으로는 효율적인 생산의 정의(ex. Time, Quality, Cost) 및 생산 시스템의 체계적 관리를 통해 선박 배치에 따른 생산 관리 지표(Time, Quality, Cost) 사이의 관계를 계산하여 목적함수를 직관화 할 필요가 있다

4.4 중기계획을 위한 최적화 및 인공지능 기술

4.4.1 개요

생산계획 수립 시 일반적으로 가장 많이 사용하는 방식은 생산 activity 를 Gantt chart 형태로 표현하여 activity 의 착수일과 완료일을 결정하는 방식이다. 본 연구에서는 Gantt chart 형태로 이루어진 기준계획(그림 27)을 대상으로 초기 계획이 수립되어 있다는 가정 하에 deep neural network 기반의 reinforcement learning 을 이용하여 생산 계획의 부하 평준화를 달성하는 것이다. 본 연구는 앞서 언급한 기존의 최적화 기법의 한계로 현재 대부분의 조선소에서 수작업으로 수행하고 있는 Gantt 기반 activity 계획을 대체하여 수작업보다 개선된 부하 평준화 결과를 도출할 수 있는 인공 지능 개발을 목표로 하였다.

이를 위해 Gantt planning 환경을 모사하기 위한 grid 형태의 environment 를 개발하였다. 조선소의 생산 작업 기간 및 공수 정보, 그리고 연결 관계가 포함된 activity 데이터를 이용하여 grid environment 를 이용하여 강화 학습을 수행하였다. 강화 학습 알고리즘으

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

로는 A3C(Asynchronous Advantage Actor-Critic)를 이용하고자 한다. 그리고, 실제 선체 블록의 activity 계획에 대한 강화 학습 알고리즘 적용을 통해 개발된 환경과 학습 알고리즘의 유효성을 분석하고자 한다.

본 연구에서는 조선소의 생산계획 중 블록 조립 공정을 대상으로 강화 학습 연구를 수행했다. 조선소의 블록 조립 공정은 도크나 선대에서 탑재되는 블록을 공급하기 위해 몇 단계로 나누어 선체 블록을 조립하는 공정이다. 일반적인 조립 절차는 가공(절단 및 성형) 공정을 통해 부재들을 제작하고, 소조립 공정(sub assembly)을 통해 부재들간의 조립이 시작된다. 소조립품들은 다음 단계로 중조립(unit assembly)과 대조립(grand assembly)를 거쳐 탑재 공정으로 전달된다. 제작 편의성을 위해 위와 아래가 뒤집힌 상태로 조립이 진행될 경우 대조립 공정 이후 턴 오버 공정이 추가 되기도 한다. 본 연구에서는 이 중 평블록/곡블록 중조립과 대조립, 그리고 턴 오버 공정을 대상으로 강화학습을 이용한 부하 평준화 연구를 수행하였다.

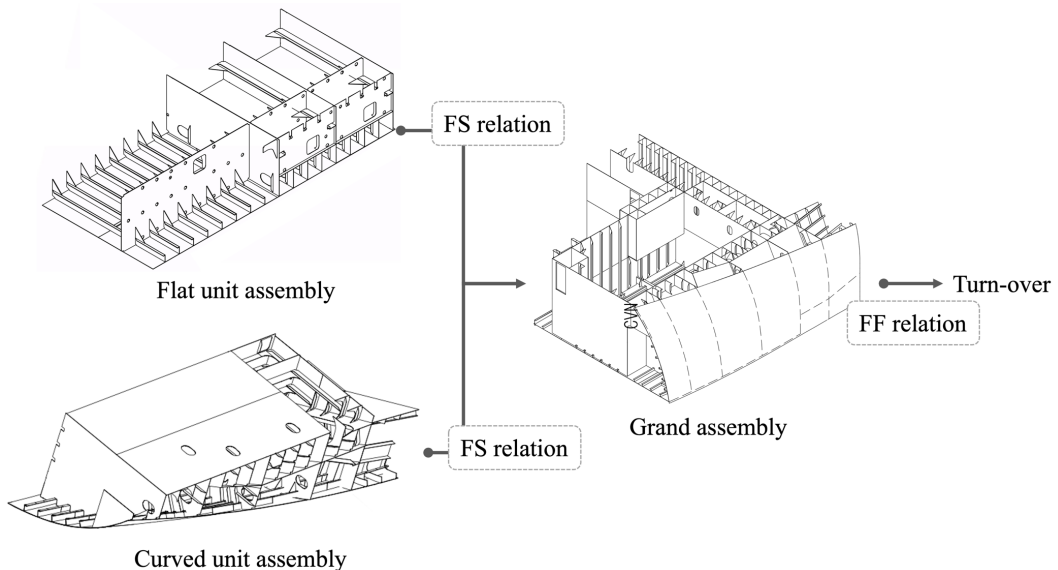


그림 39. 계획 대상 조립 공정 프로세스 (예시)

본 연구의 계획 대상은 그림 39 과 같이 도식화 될 수 있고, 이러한 조립 절차에 대한 생

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

산 계획은 그림 40 에 보이는 바와 같이 gantt planning 방법을 이용하여 진행된다. 중조립과 대조립의 관계는 중조립이 완료되어야 대조립이 시작될 수 있기 때문에 FS(Finish-to-Start) 관계를 가지게 된다. Turn-over 작업의 시작은 대조립 공정이 진행되는 중에 병행하여 진행하게 되고, turn-over 완료가 대조립 공정의 완료를 의미하기 때문에 대조립과 turn-over 의 관계는 FF(Finish-to-Finish) 관계가 된다.

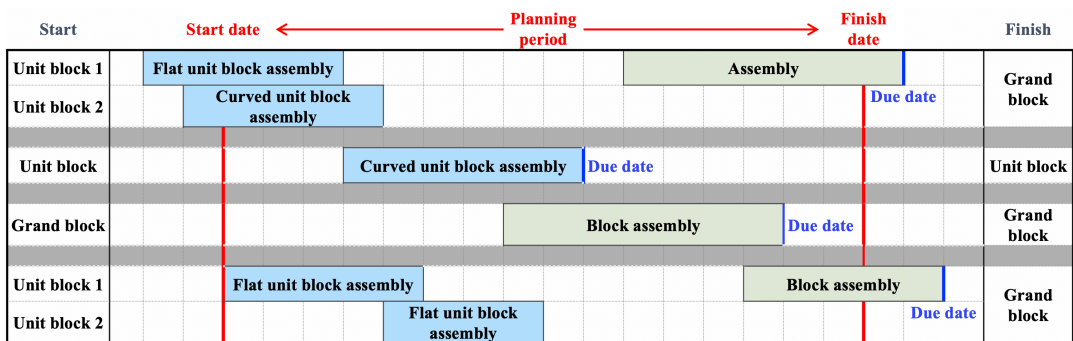


그림 40. Problem Domain (일부 예시)

환경 및 학습에 대한 구성은 그림 41 과 같다. 가장 하부에 있는 실제 계획 대상을 중간 부분에 있는 환경 부분과 같이 Grid 형태로 모델링한다. 다음으로, 학습 알고리즘은 single agent 를 이용한 A3C 알고리즘을 이용하였다. 학습에 투입되는 입력 activity 들에 대해 위치가 확정될 때까지 각 step 이 진행되면서 모든 activity 들에 대하여 시작 날짜 (또는 종료 날짜)를 정하게 되면 한 episode 가 완료된다. 그리고, 각 step 마다 agent 는 환경에 action 을 지시하고, 해당 action 에 의한 즉각적인 reward 와 다음 state 를 agent 에 피드백한다. Reward 가 수렴이 될 때까지 episode 는 진행이 되고 더 이상의 reward 상승이 없으면 학습을 중단하게 된다. 이 때 state 의 정의, action 의 정의 및 reward 의 정의에 따라 학습 여부(또는 reward 수렴 여부) 및 학습 품질이 결정되기 때문에 다양한 시나리오에 대해 최적의 조건 조합을 탐색하였다.

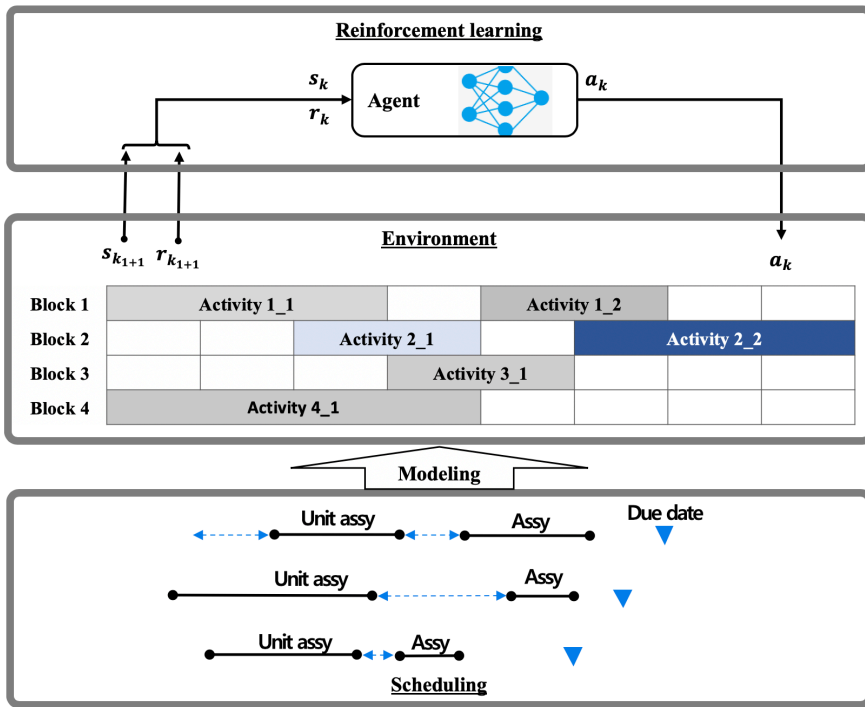


그림 41. Gantt planning 을 위한 강화학습 다이어그램

4.4.2 강화학습 알고리즘

본 논문에서는 A3C 알고리즘을 이용하였다. 초기 시작 단계에서 DQN(Deep Q-Network) 알고리즘(Mnih, Kavukcuoglu et al. 2013) 을 적용해보았으나 어떠한 경우에도 전혀 수렴이 되지 않았다. 본 논문에서 적용한 A3C(Asynchronous Advantage Actor-critic) 알고리즘은 정책 기반 강화학습 알고리즘으로, Mnih, Badia et al. (2016)에서 소개되었다. 여러 개의 에이전트가 각각의 독립된 환경에서 학습을 수행하는데, 독립적으로 학습하는 에이전트를 도입하여 데이터 간의 상관관계를 완화시키는 메커니즘을 지니고 있다. 각 에이전트의 학습에는 A2C 알고리즘이 적용되는데, A2C 알고리즘을 통한 각 에이전트의 학습 결과는 비동기적으로 글로벌 네트워크에 업데이트되도록 구성된다. 그림 42 에서와 같

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

이 worker 로 표시된 각각의 agent 는 A2C 알고리즘에 의해 작동되고, 각 agent 의 학습결과가 비동기적으로 global network 에 업데이트 되도록 하는 학습 방법이 A3C 라고 할 수 있다.

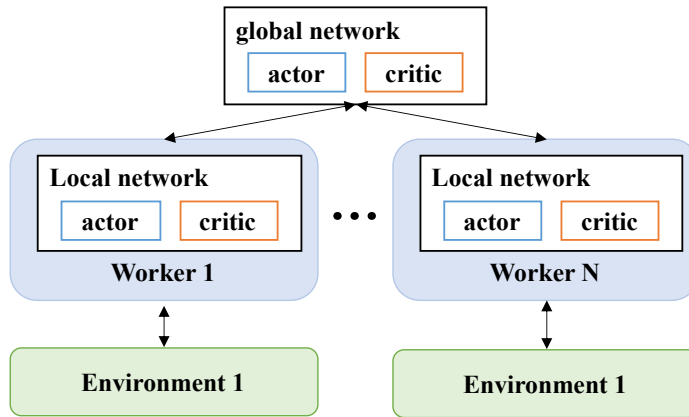


그림 42. A3C 강화학습 알고리즘의 개념도

A3C 알고리즘의 절차를 표 36 에 정리하였다. A3C 학습 알고리즘은 전체 step counter T 를 0 으로 초기화 하는 것으로 시작한다. T 는 모든 에이전트에서 공유되는 변수로 각 에이전트에서 진행한 step 의 수를 모두 합산한 값이 기록된다. 코드 내에서는 `global_episodes` 라는 변수로 설정하였다. 다음으로, thread 들의 step counter t 를 1 로 초기화한다. 여기에는 개별 에이전트가 위치한 time step 을 기록한다. 코드 내에서는 `total_steps` 라는 변수로 설정하였다.

표 36. A3C 학습 알고리즘의 의사코드

Asynchronous advantage actor-critic algorithm pseudocode

```

Initialize global shared counter  $T = 0$ 
Initialize thread step counter  $t \leftarrow 1$ 
repeat
    Reset gradients:  $d\theta \leftarrow 0$  and  $d\theta_v \leftarrow 0$ 
    Synchronize thread-specific parameters  $\theta' = \theta$  and  $\theta'_v = \theta_v$ 
     $t_{start} = t$ 
    Get state  $s_t$ 
    repeat
        Perform  $a_t$  according to policy  $\pi(a_t|s_t; \theta')$ 
        Receive reward  $r_t$  and new state  $s_{t+1}$ 
         $t \leftarrow t + 1$ 
         $T \leftarrow T + 1$ 
    until terminal  $s_t$  or  $t - t_{start} == t_{max}$ 
     $R = \begin{cases} 0 \\ V(s_t, \theta'_v) \text{ for non-terminal } s_t \end{cases}$ 
    for  $i \in \{t - 1, \dots, t_{start}\}$  do
         $R \leftarrow r_i + \gamma R$ 
        Accumulate gradients wrt  $\theta'$ :  $d\theta \leftarrow d\theta + \nabla_{\theta'} \log \pi(a_i|s_i; \theta')(R - V(s_i, \theta'_v))$ 
        Accumulate gradients wrt  $\theta'_v$ :  $d\theta_v \leftarrow d\theta_v + \partial(R - V(s_i, \theta'_v))^2 / \partial \theta'_v$ 
    end for
    Perform asynchronous update of  $\theta$  using  $d\theta$  and of  $\theta_v$  using  $d\theta_v$ 
until  $T > T_{max}$ 
    where
         $\theta$ : Weight variable of global policy network
         $\theta_v$ : Weight variable of global value network
         $\theta'$ : Weight variable of local policy network
         $\theta'_v$ : Weight variable of local value network

```

다음으로, 글로벌 정책 신경망의 가중치에 대한 기울기를 0으로 초기화하고, 대응되는 로컬 정책 신경망의 가중치를 글로벌 정책 신경망 가중치로 초기화 한다. 그리고, N-step bootstrapping의 시작 time step인 t_{start} 를 현재 에이전트의 time step으로 초기화 한다. 여기에서 n-step bootstrapping은 한번의 step마다 가중치를 업데이트 하는 Temporal Difference 및 에피소드 종료 시 가중치를 업데이트 하는 Monte Carlo 방식과 달리 정의된 n번의 step마다 가중치를 업데이트 하는 방법이다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

환경으로부터 state s_t 를받아 sample 을 수집하는 반복 단계로 진입한다. 정책 신경망 $\pi(a_t|s_t; \theta')$ 으로부터 행동 a_t 를 선택하고 환경으로부터 이에 대한 보상 r_t 와 다음 상태 s_{t+1} 받는다. 그리고, 전체 step counter T 쓰레드 step counter t 를 1 만큼 증가시킨다. 이러한 절차를 terminal state 에 도달하거나, 미리 설정한 t_{max} time step 에 도달할 때까지 반복한다. 다음으로, 환경으로부터 받은 보상으로부터 반환값 R 을 계산한다. 이 때 terminal state 에 대한 반환값은 0 이고, terminal state 이외의 state 들에 대한 반환값은 discounting factor 를 고려하여 계산한다. 그리고 다음으로 반환값을 이용하여 정책 신경망 및 가치 신경망에 대한 기울기를 업데이트 한다. 이렇게 sample 내의 모든 state 에 대하여 기울기를 반복 계산하여 누적하고 이 누적된 값을 이용하여 최종적으로 글로벌 네트워크의 가중치를 업데이트 한다.

본 연구에서 사용한 neural network 는 두 개의 CNN (convolution neural network)와 두 개의 FCN (Fully Convolutional Network)를 적용하였다. 초기 코드에서는 마지막 부분에 한 개의 RNN(Recurrent Neural Network)를 사용하였으나 case 1 에서 case 4 까지 업데이트 되어 가는 과정에서 RNN 이 있을 경우 상태에 NaN¹⁰이 발생하는 빈도가 증가함에 따라 학습이 중단되어 최종 case 에서 RNN 을 제외하게 되었다.

표 37 에이전트 별 신경망 구성

Layer	Hyper-parameter	
CNN 1	Filter: 32, Kernal: 8×8, Stride: 4×4 Activation function: elu	
CNN 2	Filter: 64, Kernal: 4×4, Stride: 2×2 Activation function: elu	
FCN 1	Neuron: 256 Activation function: elu	
FCN 2 (Output Layer)	Critic	Neuron: 1 Activation function: linear
	Actor	Neuron: 2 Activation function: softmax

¹⁰ NaN standing for Not a Number, is a member of a numeric data type that can be interpreted as a value that is undefined or unrepresentable, especially in floating-point arithmetic.

4.4.3 Environment 모델링

4.4.3.1 Input

학습 환경을 구축하기에 앞서 입력 데이터의 형식과 내용을 기술하고자 한다. 표 38은 2962 호선을 구성하는 블록들 중 E62 block group에 대한 block list와 해당 정보들을 보이고 있다.

표 38. 입력 데이터 (일부 예시)

project	block	block group	process	start date	finish date	duration	MH	weight	stage	due date
1111	EOOOP	E62	07	20190122	20190129	6	0	0	1	20190311
1111	EOOOS	E62	07	20190122	20190129	6	0	0	1	20190311
1111	EOOOP	E62	06	20190124	20190129	4	0	0	1	20190311
1111	EOOOS	E62	06	20190124	20190129	4	0	0	1	20190311
1111	EOOOP	E62	06	20190118	20190123	4	0	0	1	20190311

4.4.3.2 State

학습을 위한 환경의 state는 4.4.3.1의 input data를 고려하여 grid 형태의 환경으로 구성을 하였다. 대상 문제는 선체 블록을 중심으로 계획을 수립하며, 강화학습 시 계획의 대상은 각 블록에 대한 생산 액티비티를 대상으로 한다. 이러한 강화학습을 위한 환경은 그림 43와 같이 grid 형태를 이용하여 구성하였다.

그림 43와 같이 하나의 행에는 하나의 block group이 할당되고, block group는 그림 39과 같이 unit block들을 먼저 조립한 후 이들을 다시 하나의 상위 block으로 조립하는 형태가 된다. 즉, 하나의 행에는 여러개의 unit block들이 포함될 수 있다. 또한, 조립 작업 후 T/O 작업이 있는 경우에는 해당 activity가 추가된다. 즉, 하나의 블록 그룹은 하위에 평중조, 곡중조, 조), T/O 4개 종류의 액티비티를 가질 수 있으며, 개수 제한은 없다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

다음으로 연결 관계(activity relation) 및 납기일(due date)에 대한 제약 조건이 고려되었다. 첫 번째 제약 조건인 activity relation 에 대해서는 평중조와 곡중조는 연결관계가 없고, 평중조/곡중조는 조립에 대해 FS relation 을, 조립는 T/O activity 에 대해 FF relation 을 가진다. FS 연결 관계를 갖는 액티비티는 간트 차트 상에서 겹침이 불가능하며 반드시 선행 액티비티의 종료일 이후에 후행 액티비티의 시작일이 위치하도록 액티비티가 배치되어야 하고, FF 연결 관계를 갖는 액티비티는 겹침이 가능하되 선행 액티비티의 종료일보다 후행 액티비티의 종료일이 앞서도록 액티비티의 위치가 결정되어야 한다. 그리고 어떠한 연결 관계도 갖지 않는 액티비티들은 임의로 겹침이 가능하다. 두 번째 제약 조건은 각 조립 블록에 대한 납기일 조건이다. 그림 43 과 같이 블록별 액티비티들에 대하여 ES(Earliest Start) 및 LF(Latest Finish)이 추가되도록 하였다. 다만, 실제 학습에서는 LF 만 제약조건으로 하였다. 즉, forward 진행의 경우에는 time horizon 의 0 에서 시작하여 순방향으로 이동시 LF 이상 진행을 하지 못하는 제약이 적용되었고, backward 진행의 경우에는 LF 에서 시작하여 역방향으로 진행되기 때문에 LF 를 넘어가는 행위 자체가 없게 된다.

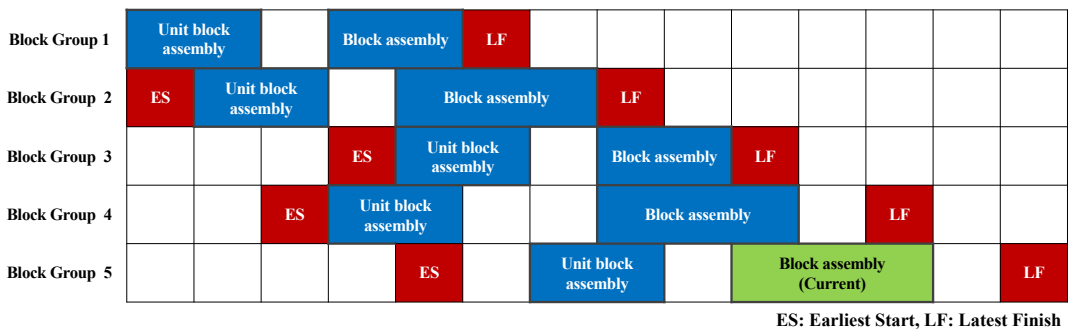


그림 43. 그리드 형태로 구성된 학습 환경

본 연구의 최초 학습 시도에서만 forward 방식이 테스트되었지만 좋은 결과를 얻지 못했다. 이후의 모든 학습 cases 들에 대해서는 backward 방식의 학습을 진행하였다. 블록 조

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

립 공정을 마친 블록들에 대해서는 의장과 도장 작업이 이루어지는데, 조선소의 생산 계획은 탑재 공정부터 역방향으로 이루어지므로 의장 작업의 착수일을 고려한 조립 공정의 납기일이 각 블록마다 주어진다. 따라서 간트 차트 상에서 각 블록에 대한 조립 공정의 최종 액티비티의 종료일이 주어진 납기일 이전에 위치하도록 액티비티의 위치를 초기화 한 상태로 학습이 시작되도록 하였다.

4.4.3.3 Action

에이전트가 취할 수 있는 행동은 두 가지로 구성하였는데, 첫 번째는 현재 계획 대상이 되는 액티비티의 위치를 그리드 환경에서 왼쪽으로 한 칸 이동하는 것(액티비티의 시작일을 하루 앞당기는 것)이고 두 번째는 액티비티의 위치를 고정(계획을 확정)하는 것이다. 즉, 에이전트는 액티비티를 역방향으로 이동시키면서 계획을 조정하며 부하를 평준화할 수 있는 적합한 위치에서 계획을 확정하는 다음 다른 액티비티에 대해 이러한 작업을 반복하는 방식으로 기존 계획을 수립한다. 이 때 state 각 cell 의 값으로, 현재 이동중인 액티비티의 위치에는 1 을 할당하고, 확정이 된 액티비티의 위치에는 2 를 할당, 제약 조건(납기일)의 위치에는 3 을 할당하였다. 그리고 빈 곳 (작업이 없는 곳) 에는 0 을 할당하였다(그림 44).

Block group 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	3
Block group 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2		3	0
Block group 3	0	0	0	0	2	2	0	2	2	2	0	3	0	0
Block group 4	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	3	0	0
Block group 5	0	2	2		2	2	2	0	0	3	0	0	0	0
Block group 6	0	0	1	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Block group 7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Block group 8	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

그림 44. 학습환경의 value 할당

4.4.3.4 Reward

4.4.1 에서 기술한 바와 같이 본 연구의 목적은 생산 계획의 작업부하 평준화(workload balancing or workload evening) 수준을 높이는 것이다. Reward 에 따라 학습 결과가 달라지기 때문에 작업 부하를 고려하는 방식을 변화시켜 가며 학습에 반영하였다.

가장 먼저 시도한 방법은 표 39 의 Case 1 에 해당하는 것으로, 학습 대상이 되는 time horizon 에 대해 일별로 중복되는 액티비티가 3 개 이상인 경우 0, 두 개의 액티비티가 겹치는 경우 1, 액티비티가 겹치지 않는 경우 2 로 하고 이를 모든 계획일에 대하여 합산하여 reward 를 결정하였다. 하지만 이 방법은 학습 대상에 따라 중복되는 액티비티의 중첩도가 모두 다르기 때문에 표 39 의 Case 2 에서는 전체 대상 일 수에 대한 겹치는 activity 수의 평균을 referene value 로 하여, 일별 겹치는 activity 의 수와 reference value 를 비교하여 reward 를 결정하였다. 또한, reward 합산 구간도 학습이 진행중인 activity 구간에 대해서만 고려하였다. 일별 겹치는 activity 의 수가 reference value 보다 작으면 2, 같으면 1, 크면 -1 로 하고 이를 모든 계획일에 대하여 합산하여 reward 로 하였다. 다음으로, Case 3 에서는 Case 2 와 유사하지만 Case 3 부터는 작업의 유무 대신, 실제 man-hour 를 고려하였다. 즉, Case 1 과 Case 2 에서 일별 작업량을 해당 activity 의 man-hour 와 상관없이 1 로 했었지만, Case 3 부터는 해당 activity 의 man-hour 를 해당 activity 의 duration 으로 나눈 값을 작업량으로 설정하였다. 즉, 액티비티에 대한 공수와 공기가 블록마다 계획되어 있으며 duration 동안에 man-hour 가 evenly distributed 되어 있다고 가정¹¹을 하였다. Case 1~Case 3 에 대한 추가 설명은 Appendix 에 추가하였다.

¹¹ 실제 조선 또는 건축 분야의 계획에서는 단위 activity 들의 man-hour 를 s-curve 형태로 분산한다. 이는 대부분의 작업들이 작업 초기와 완료 시점에서 투입 man-hour 가 상대적으로 적고, 작업 중반에 상대적으로 많은 man-hour 투입이 발생되기 때문이다. 하지만, 본 논문에서는 activity 의 시작-종료 기간 동안 해당 activity 에 할당된 man-hour 가 even 하게 distributed 되었다고 가정하였다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

그리고, Case 4 부터는 man-hour 를 고려함과 동시에 다음과 같은 방법으로 reward 를 정했다. 이전 case 에서는 작업이 있으면 해당 일에 1 의 값을 할당했지만, man-hour 를 고려하기 위해 해당 액티비티의 전체 man-hour 를 계획 공기으로 나누어 일별 작업 부하로 설정하였다. 예를 들어, 10 일의 planned duration 과 800 man-hour 를 갖는 액티비티는 $800/10 = 80\text{man-hour/day}$ 의 일별 작업 부하를 갖는다고 가정하였다. 이와 함께 부하를 평균화한다는 것은 이렇게 정의된 모든 액티비티의 일별 작업 부하를 각 일자에 대하여 합산을 한 다음 이 값들의 표준편차(σ_L)를 최소화하는 것을 의미한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다. 그리고, 이 값의 역수를 고려한 $100/\sigma_L$ 를 reward 로 정의하였다. 이에 대한 reward 계산 사례를 그림 45 에 보이고 있다.

$$\sigma_L = \sqrt{\sum_{d=1}^D \frac{(L_d - \mu)^2}{D}}$$

D: Planning horizon
 L_d : Workload at day d
 μ : Average workload

state	}	8	8	4	4	4		
		2	2	2	2	6		
		6	6	6	6	4		
		6	14	16	8	6	6	4

$$\mu = \frac{(6 + 14 + 16 + 8 + 6 + 6 + 4)}{7} = 8.57$$

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{(6-8.57)^2 + (14-8.57)^2 + (16-8.57)^2 + (8-8.57)^2 + (6-8.57)^2 + (6-8.57)^2 + (4-8.57)^2}{7}} = 4.24$$

$$reward = \frac{100}{\sigma_L} = 23.6$$

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

그림 45 보상값 계산 예제

4.4.4 학습 케이스

개발된 환경과 A3C 알고리즘을 이용하여 표 39 와 같이 case 들에 대한 분석을 진행하였다. 표 39 의 case 들은 순차적으로 학습 및 분석을 통해 이전 case 의 문제점을 극복해 가는 방식으로 진행되었다. 이에 각 case 들에 대한 학습과 분석 내용을 기술한다.

표 39. 학습 케이스

	Direction	State				Action	Reward	Time window
		Value	Lag	Relation	Scope			
Case 1-1	Forward		Not considered	No	Include fixed activity	Right/Fix	2: Activities do not overlap	No
Case 1-2	Backward		Not considered	No	Include fixed activity	Left/Fix	1: 2 activity overlap 0: 3 or more activity overlap	No
Case 2	Backward		Not considered	No	Include fixed activity	Left/Fix	2: Less than reference value ¹² 1: Same with reference value -1: Greater than reference value	Yes
Case 3	Backward	MH	Not considered	Yes	Include fixed activity	Left/Fix	1: Same of less than reference value ¹³ -1: Greater than reference value	Yes
Case 4	Backward	MH	Finite	Yes	Include all activity	Left/Fix	100/Deviation	Yes

¹² Reference value: total man-hour/planning range (daily man-hour is assumed to be 1 for all activities in operation)

¹³ Reference value: total man-hour/planning range (daily man-hour is set as actual value of assigned workload)

4.4.4.1 Forward and backward

개발된 환경과 알고리즘을 이용하여 2962 호선에 대해 가장 먼저 case 1-1 에 대한 학습을 수행하였다. case 1-1 의 경우에는 forward 방향으로의 계획 수립 방식을 적용하여 계획범위의 시작일부터 activity 를 납기일 방향으로 이동하도록 문제를 구성하였다. 하지만 학습 결과, 그림 46 과 같이 agent 가 상태 공간을 충분히 탐색하지 못하고 activity 의 위치를 계획범위의 시작일 부근에서 확정시키는 문제가 발생하였다. 따라서 case 1-2 에서는 backward 방향으로의 계획 방식을 2962 호선에 대해 적용하여 각 block group 에 대한 납기일부터 activity 를 이동시키도록 환경을 변경하였다. 이 경우, 그림 47 에서 확인할 수 있듯이 forward 방향의 계획 수립 방식을 적용한 case 1-1 보다 생산 activity 부하 평준화에 유효한 결과를 도출하는 것을 확인하였다.

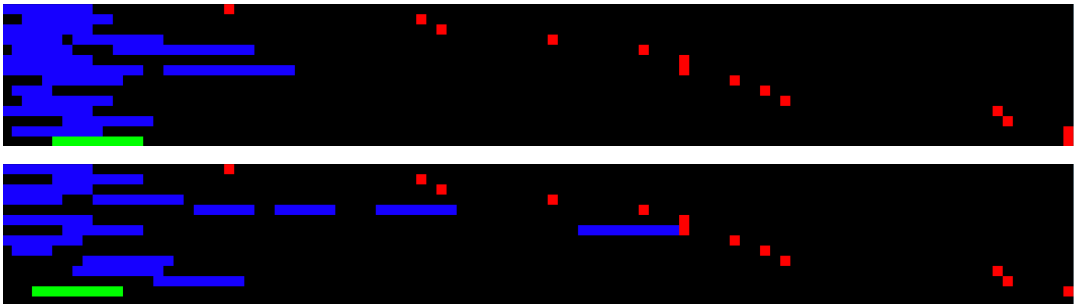


그림 46. Case 1-1 에 대한 학습 결과

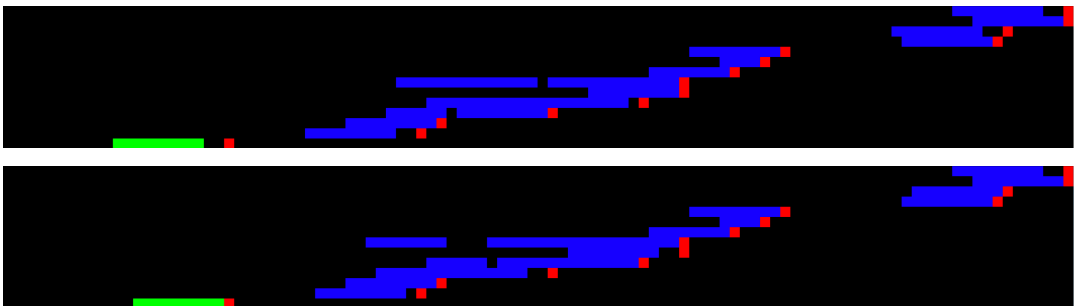
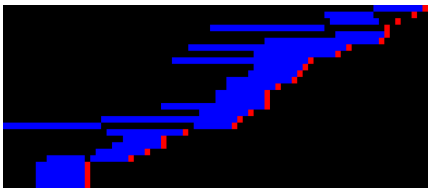
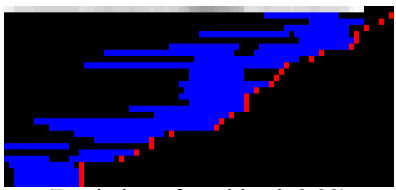
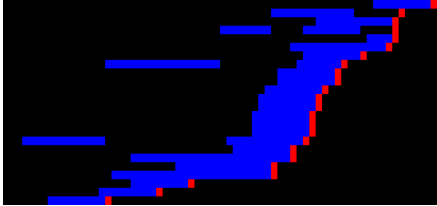



그림 47. Case 1-2 에 대한 학습 결과

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Case 1-2 의 방법을 몇몇 호선(3086 및 3095)에 적용을 해 보았을 때 초기 계획과 비교하여 부하 평준화 수준이 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, A3C reinforcement algorithm 이 backward direction 으로의 activity 에 대한 유의미한 move policy 를 결정해 준다고 볼 수 있다.

표 40. Case 1-2 에 대한 학습 결과

Ship	Manual	Test
3086	 <p style="font-size: small;">(Deviation of workload: 3.63)</p>	 <p style="font-size: small;">(Deviation of workload: 2.99)</p>
3095	 <p style="font-size: small;">(Deviation of workload: 4.59)</p>	 <p style="font-size: small;">(Deviation of workload: 2.12)</p>

다만, case 1 의 학습 대상은 입력 데이터 전체를 대상으로 하기 때문에 새로운 데이터가 입력되면 다시 학습을 수행하여야 하고, 이는 많은 계산 시간을 필요로 하기 때문에 기존의 CSP , Genetic, Tabu search 등과 같은 최적화 방법과 같이 수 많은 activity 에 대한 적용이 현실적으로 어려워지는 한계가 있다.

4.4.4.2 Time window

Case 2의 경우에는서는 학습된 neural network 모델이 새로운 입력 데이터에도 적용 가능하도록 하기 위하여 state에 time window 개념을 도입하였다. 그림 48와 같이 전체 계획 범위와 계획 대상 block group에 대한 그리드 형태의 state가 주어졌을 때, time window를 적용하여 현재 계획 대상 activity의 근방으로 state의 차원을 축소하였다. 이때, time window의 크기는 hyper parameter로 설정하여 조정 가능하도록 설정하였다. Time window를 테스트하기 위해 3095 호선 데이터에 대해 학습된 neural network를 2962, 3086, 3095 호선의 block group들(activity 단위로는 101개)에 대해 일괄 적용을 하였다. 적용 결과표 41와 같이 workload의 평준화 수준이 향상(5.00 → 3.91)된 것을 확인할 수 있다.

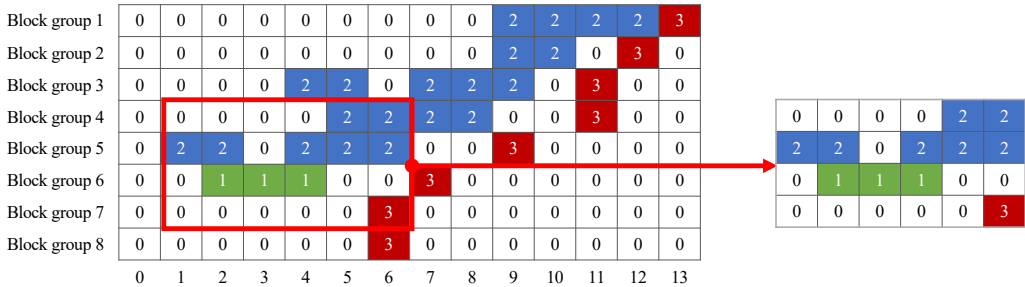


그림 48. Time window의 개념

표 41. Case 2에 대한 학습 결과

Ship	Manual	Test
2962	<p>(Deviation of workload: 5.00)</p>	<p>(Deviation of workload: 3.91)</p>
3086		
3095		

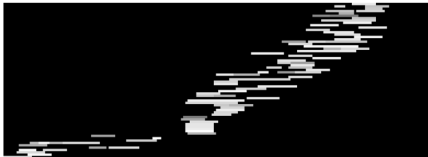
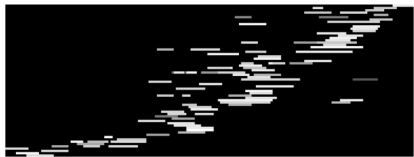
Case 2의 한계점은 activity의 실제 planned man-hour를 반영하지 못한다는 점이다. case 2에서 state의 각 cell에 입력되는 값은 해당 일자에서 activity의 계획 유무만을 나타낸다. 또는 reward를 계산함에 있어, 각 activity의 일별 작업 부하를 단순히 1로 가정한다. 따라서 case 2에서 부하평준화는 각 계획일에 투입되는 man-hour에 대한 평준화가 아닌 일별 중복 activity 수에 대한 평준화를 의미한다. 하지만 실제 기준 계획 수립 시에는 각 activity의 planned man-hour를 고려한 부하평준화가 목적이므로 case 2의 학습 모델을 그대로 적용하는 데에는 한계가 있다.

4.4.4.3 Man-hour

Case 3에서는 planned man-hour를 고려한 부하평준화라는 기준 계획의 목적에 맞추어 학습 모델의 적용을 가능하도록 하기 위하여 planned man-hour를 작업 부하로 반영하였고 각 계획일에 대한 일별 작업 부하로 state를 구성하였다. 앞서 기술한 바와 같이, 각 activity의 planned man-hour를 계획 공기로 나눈 값으로 일별 작업 부하를 계산하였고 이를 activity가 위치한 state의 각 cell에 할당하였다. 표 42에서 학습된 neural network를 사용한 test 결과 workload deviation이 150.7에서 142.71로 감소하였다. Man-hour를 고려하였기 때문에 case 1 및 case 2와 deviation의 단위가 달라진 것을 확인할 수 있다. 또한, 표 40과 표 41에서는 위치가 정해진 activity들이 동일한 색으로 표시가 되었지만, 표 42에서는 man-hour가 고려되어 모든 activity들을 구성하는 cell에 할당되는 value가 달라지기 때문에 명도로 구분하여 표시하였다. 즉, 상대적으로 할당된 man-hour가 크면 명도가 진해지고, 작으면 명도가 연해지도록 표시하였다.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 42. Case 3 에 대한 학습 결과

Ship	Manual	Test
3086	 <p data-bbox="303 596 622 625">(Deviation of workload: 150.7)</p>	 <p data-bbox="751 596 1085 625">(Deviation of workload: 142.71)</p>

하지만, case 3 에서도 연결관계(FS: Finish to Start)를 가지는 activity 간의 lag 에 별도의 제약을 두지 않았기 때문에, 표 42 의 오른쪽 학습 결과에서 볼 수 있듯이 과도하게 많이 이동을 하는 activity 가 나타났다. 즉, 하나의 block group 에 대한 선행과 후행 activity 간에 제약이 없기 때문에 간격이 과도하게 벌어지는 문제가 발생하였다. 또한, case 2 까지의 경우에는 state 를 정의함에 있어서 계획이 확정된 activity 와 현재 계획이 진행 중인 activity 를 각각 2 와 1 이라는 값으로 구분을 하였지만 case 3 에서 man-hour 가 고려되어 state 의 값이 일별 부하로 정의됨에 따라 현재 학습이 진행 중인 activity 가 식별이 되지 않아 학습에 부정적인 영향을 미치게 되었다.

4.4.4.4 Lag 및 상태의 변경 사항

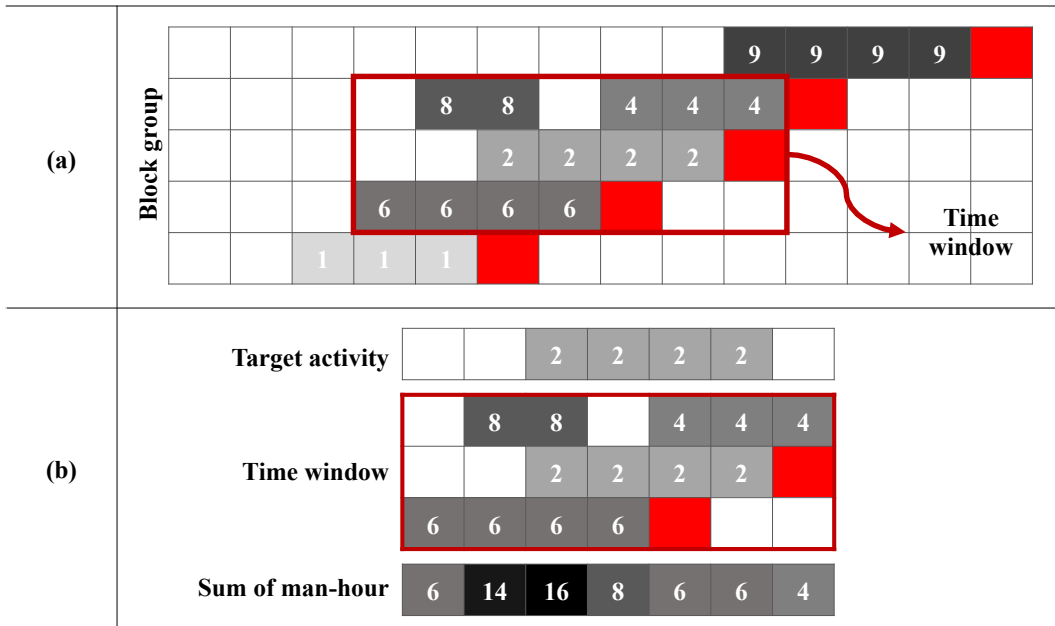


그림 49. Case 4 의 State 정의

Case 4에서는 연결관계를 가지는 activity 간에 lag 제약을 추가하였다. Lag는 10일을 기본값으로 설정하였고, hyper-parameter로서 조정 가능하였다. 그리고 state에 현재 학습이 진행중인 activity를 별도의 row로 추가하였고, state의 개선을 위해 일별 작업부하의 합을 표시하는 별도의 row도 추가하였다. 그림 49의 (a)를 전체 problem domain이라고 가정할 때, case 4의 state는 (a)에서 테두리로 표시된 time window가 학습 대상인 state가 된다. 그리고 (b)와 같이 time window의 윗 부분에는 현재 학습이 진행중인 activity에 대한 row를 추가하여 학습 중인 activity가 식별되도록 하였고, 아래 부분에는 일자별 man-hour의 합으로 구성되는 row를 추가하여 man-hour 분포가 학습에 고려되도록 하였다.

4.4.5 테스트

4.4.4 에서 다양한 실험을 통해 결정된 case 4 의 모델을 이용하여 약 100 개 정도의 activity 계획에 적용하였다. Test cases 는 표 43 과 같다. 각각의 test 는 15×50 크기의 time window 와 lag 제약을 10 일로 하였다. 표 43 는 각각의 case 들이 3 개의 호선에 해당하는 block group 들의 묶음으로 설계가 되었음을 보이고 있다. Block group 의 수는 학습 결과 인 인공 신경망이 부하 평준화 계획을 수행하는 대상의 row 수를 의미하고, 병합 된 activity 의 수는 학습이 수행되는 각 bar 의 개수를 의미한다.

표 43. 테스트 대상 선박 및 관련 블록/액티비티 수

Test case	Ship	Number of block group		Number of activities	Number of merged activities	
Test 1	3021	23	78	73	36	110
	3022	35		106	53	
	3027	20		43	21	
Test 2	3028	41	85	118	59	136
	3029	22		76	38	
	3062	22		78	39	
Test 3	2962	24	66	58	29	91
	3095	28		84	42	
	3086	14		40	20	

Test 1~Test 3 에 대하여 3028, 3095, 3100 으로 학습한 인공 신경망을 적용한 결과를 Table 10 에 보이고 있다. 그리고 Test 결과를 조선소에서 수작업으로 작업한 계획에 대한 man-hour deviation 를 (a), 학습이 시작되기 전 모든 activity 가 각 block group 의 due date 에 나열되어 있는 초기 조건에 대한 man-hour deviation 을 (b), 학습된 neural network 를 적용한 결과에 대한 man-hour deviation 을 (c)에 표시하고 각각의 비율을 표

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

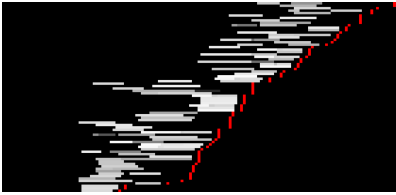
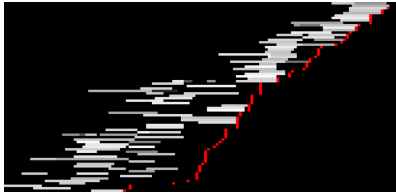
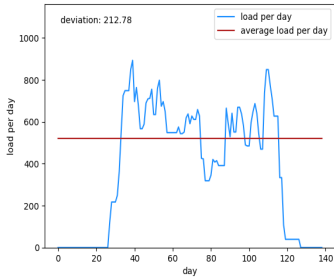
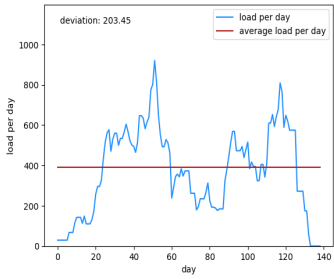
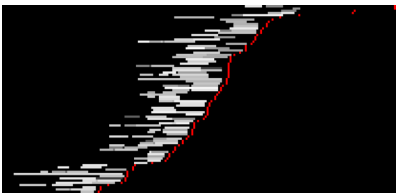
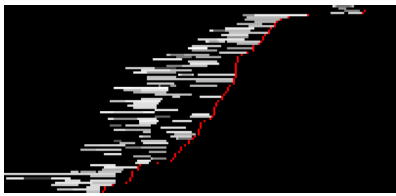
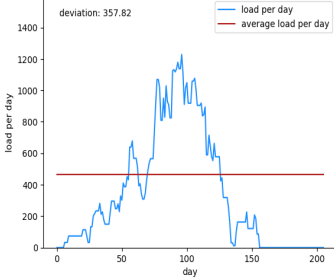
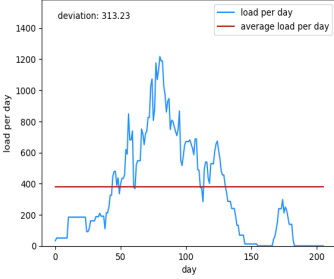
시하였다. 표 44 과 같이 9 개의 test 중 6 개 test 에서 (a)보다 학습을 적용한 (c)의 결과가 높은 수준의 부하 평준화 결과를 보이고 있다. 하지만, Test 1-1, Test 1-2 및 Test 2-1의 결과는 학습 결과가 manual 적용 보다 낮은 수준의 부하 평준화를 보였다. 모든 test case 에 대하여 부하평준화 수준이 개선된 학습 대상 호선은 3100 이다. 표 44 에서 확인할 수 있듯이, 3100 호선 정보로 학습한 neural network 를 적용한 Test 1-3, Test 2-3 및 Test 3-3 에서 manual 방법보다 일관되게 향상된 결과를 보이고 있다. 표 45 에서 3100 으로 학습된 neural network 를 이용한 Test 1~Test 3 에 대한 학습 결과를 보이고 있다.

표 44. 개발된 학습 알고리즘을 통한 테스트 결과

Test number	Ship (Learning)	Test case	Deviation			Improvement ratio w/ manual [(a)-(c)] / (a)	Improvement ratio w/ initial state [(b)-(c)] / (b)
			(a) Manual	(b) Initial	(c) Test		
Test 1-1	3028	Test 1	212.78	316.97	233.03	-10%	26%
Test 1-2	3095				258.36	-21%	18%
Test 1-3	3100				203.45	4%	36%
Test 2-1	3028	Test 2	357.82	393.68	365.31	-2%	7%
Test 2-2	3095				316.97	11%	19%
Test 2-3	3100				313.23	12%	20%
Test 3-1	3028	Test 3	185.16	172.94	147.45	20%	15%
Test 3-2	3095				143.11	23%	17%
Test 3-3	3100				134.71	27%	22%

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

표 45. 학습된 신경망의 테스트 결과

Ship	Manual	Test
Test 1-3		
		
Test 2-3		
		

본 연구에서는 계획 담당자의 수작업에 의존하고 있는 조선소 생산계획 업무의 자동화를 위해 A3C reinforcement learning algorithm 을 이용한 계획 자동화 알고리즘을 개발

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

하였다. 대상 계획 업무는 선박을 구성하는 선체 블록의 조립 작업으로 하였고, Gantt planning 형태로 주어지는 선체 블록 조립 생산계획 데이터를 확보하여 연구를 수행하였다.

Reinforcement learning 을 위한 환경은 grid 형태로 Gantt planning 환경을 모사하였고, 블록 간의 선후행 관계, 각 조립 activity 의 man-hour, 연결된 activity 간의 lag 등을 반영하였다. 그리고, 학습의 목표는 workload balancing 으로, activity 들의 일별 누적 man-hour 의 편차가 최소화가 되는 방향으로 학습을 진행하였다. 탐색 공간의 축소를 위해 activity 의 이동은 각 block 들의 due date 를 기준으로 역방향으로 이동시키도록 하였고, 서로 다른 입력 정보 (block 및 해당 activity)에 대해 재학습이 필요하지 않도록 time window 개념을 도입하여 학습 결과의 다양한 대상 적용이 가능하도록 하였다. 또한, 학습 결과는 state 와 reward 의 정의에 따라 민감하게 영향을 받게 되기 때문에 try and error 방식으로 다양한 블록들에 대해 workload balancing 이 성공적으로 이루어지는 case 를 결정할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 A3C reinforcement algorithm learning 을 통한 neural network 는 높은 확률로 사람이 수행한 계획 보다 높은 수준의 workload balancing 결과를 나타내어, 제안된 방법이 생산 계획 자동화에 적용될 수 있는 가능성을 보였다.

제 5 장

결 론

본 논문에서는 조선소의 생산계획시스템을 구축함에 있어서 체계적인 업무 프로세스 분석 및 설계 방법론과 소프트웨어 개발 방법론을 적용한 사례를 소개한다. 소개하는 사례는 국내 중견 조선소에 ERP 시스템 도입 시 전사 자원을 최적 운영을 목적으로 하는 생산계획시스템 개발에 대한 것으로, 시스템 개발에 앞서 전사 프로세스 혁신을 통해 업무 프로세스를 재정의하고 전사 표준 데이터를 정비한 결과를 나타내었다.

생산계획 업무 프로세스 분석 및 설계는 대상 조선소에 대한 PI 컨설팅을 통해 도출된 To-Be 프로세스를 정의하는 것으로, IBM의 PI/BPR 방법론에 따라 진행되었다. 소프트웨어 개발 방법론은 ooCBD(Object-oriented Component based Development) 개발 방법론을 적용하였는데, ooCBD 개발 방법론은 컴포넌트 기반 개발 방법론의 한 종류로 분석 및 설계에 객체지향 개념을 적극 적용한 방법론이다. 본 논문에서는 ooCBD 개발 방법론의 시스템 개발 단계인 요구 분석 단계, 아키텍처 정의 단계, 구현 단계별로 구체적인 수행 내역을 예시하였고, 마지막으로 개발된 시스템을 적용한 개선된 업무 프로세스를 나타내었다.

최근 인공지능 기술의 발전과 컴퓨팅 파워의 급증으로 다시 자동 일정계획 수립에 대한 관심이 높아지고 있으며, 본 논문에서는 장기계획인 선표계획과 중기계획인 기준계획에 최적화 기법과 인공지능 기술을 접목하여 조선소 생산계획 수립의 자동화에 대한 가능성을 검토하였다.

장기계획인 선표계획은 조선소가 생산한 선박의 조합을 결정하는 product-mix 계획과

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

계획된 각각의 선박을 건조 berth 에 할당하는 berth planning 계획, 계획된 berth plan 에 대한 부하 분석인 capacity planning 으로 이루어지는데, 본 논문에서는 berth planning 과 capacity planning 에 대해 각각 최적화 기법인 제약만족기법과 인공지능 기술 중 지도학습 기술을 적용을 통해 선표계획 업무의 효율성을 높일 수 있는 방안을 검토하였다.

기준계획에 대해서는 Gantt 차트 형태로 이루어진 생산계획을 대상으로 deep neural network 기반의 강화학습을 이용하여 생산계획의 부하 평준화를 실시하는 것을 목적으로 하였다. 이 방법은 기존의 최적화 기법과 달리 계획 문제의 수학적 정식화를 통한 최적해를 찾는 것이 아니며, 계획자가 수작업으로 수행하고 있는 계획 조정 업무를 대체하여 수작업에 비해 개선된 부하 평준화 결과를 도출할 수 있는 인공지능 개발을 통해 인공지능 기법을 생산계획 업무에 적용하는 것의 가능성을 확인하였다.

조선소 생산계획의 복잡성을 고려할 때 특정 인공지능 기술이나 최적화 기법을 사용하여 전체 생산계획을 최적화하는 것은 매우 어려운 일이다. 생산계획의 단계별로 적합한 기술을 적용하되 각각 단계를 연계한 복합 최적화 방안에 대한 향후 연구를 통해 전체 생산계획을 최적화하는 방안에 본 연구에서 검토된 방안이 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

곽수일 (1966). "PERT NETWORK 의 해설(解説) -Critical Path Method 를 중심(中心)으로." Journal of the society of naval architects of Korea **3**(1): 46-54.

권용창 (2012). 조선산업 생산 일정 계획에서의 TOC-DBR 적용에 관한 연구. 대한산업공학회 추계학술대회, 대한산업공학회.

김광욱 (1991). "선박설계 · 생산기술의 전산화 실태." 대한조선학회지 **28**(3): 54-59.

김근철 (1991). "조선생산에 활용되는 전산시스템." Journal of the society of naval architects of Korea **28**(4): 53-58.

김기동, 이상복, et al. (2001). "자원 제약을 고려한 조선산업에서의 탑재 일정계획에 관한 연구." IE Interfaces **14**(3): 218-226.

김태섭 (1980). "생산성 향상을 위한 조선공업의 생산관리." Journal of the society of naval architects of Korea **17**(4): 55-58.

김홍태, 신중계, et al. (2004). "계약만족기법 기반의 최대부하감소를 통한 탑재네트워크의 부하평준화." 대한조선학회 논문집, **41**(5): 55-62.

김홍태, 이종갑, et al. (2002). "가상생산기술을 이용한 시뮬레이션 기반의 선박설계 및 생산체계의 수립." IE Interfaces **15**(3): 230-240.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

남승훈 (2018). 조선소 생산 정보 모델과 Supply Chain Planning Matrix 기반의 조선 생산계획 프로세스 설계 및 시스템 개발, 서울대학교 대학원.

민상규, 이민우, et al. (2000). "조선 탑재일정의 부하 평준화를 위한 유전 알고리즘." IE Interfaces **13**(2): 225-233.

박주철, 옥철영, et al. (1995). "조선기본계획수립시스템의 개발." IE Interfaces **8**(2): 65-75.

배희철, 박경철, et al. (2007). "유전자 알고리즘을 활용한 조선 소조립 공정 일정계획." IE Interfaces **20**(1): 33-40.

안남수, 강자영, et al. (2007). 조선산업에서 안벽 배치 계획 문제에 관한 해법, 대한산업공학회.

양선모, 이순요, et al. (1992). "조선업의 CIM 시스템을 위한 생산정보 시스템의 구축방안에 관한 연구." 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집 **1**(1)(1992.10): 5.

여성주, 정인성, et al. (2008). 효율적인 선박 안벽배치를 위한 휴리스틱 Rule 생성, 한국경영과학회.

우종훈, 송영주, et al. (2015). KPI 지향 조선 생산관리 시스템 구축에 관한 연구, 한국경영과학회.

유병세 (1997). "제품 모델과 생산 시스템." 대한조선학회지 **34**(4): 53-61.

윤덕영, 김근철 (1993). "공정계획/일정계획 지원 시스템 개발을 위한 개념 정립." Journal of the society of naval architects of Korea **30**(4): 37-40.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

이동건 (2013). 조선 생산 계획 시뮬레이션의 통합 및 확장을 위한 PPR3-S 기반의 중립 정보 모델 및 시스템 연구. Study on the PPR3-S information-based neutral model and system for integration and extension of shipbuilding production planning simulations. 서울, 서울 : 서울대학교 대학원.

이병남, 홍광희 (1981). "조선공업(造船工業)에서의 신생산관리(新生産管理)시스템의 탑재공정(搭載工程)." Journal of the society of naval architects of Korea **18**(2): 21-34.

이상무 (2015). 조선 생산계획 평가 프레임워크를 적용한 선표계획 평가 시스템 개발. Development of the assessment system for shipbuilding plan applied on the shipyard production planning evaluation framework. 서울, 서울 : 서울대학교 대학원.

이승윤 (2012). AHP 기법을 통한 선표계획 평가 방안. Effective way of assessment of production plan in shipyards using AHP. 서울, 서울 : 서울대학교 대학원.

이재원, 김훈주 (1995). "유전 알고리즘을 이용한 탑재 공정과 일정 계획." Journal of the society of naval architects of Korea **32**(1): 9-16.

이종갑, 장석 (1996). "조선 CIM 과 CALS." Journal of the society of naval architects of Korea **33**(1): 64-68.

이종무 (2007). "대형 조선소의 생산 계획 통합 프로세스 및 평가 프레임워크 연구."

이종무, 조성원, et al. (2006). 대형 조선소를 위한 생산 계획 평가 프레임워크 개발, 대한산업 공학회.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

장석 (1976). "조선소(造船所) LAYOUT 의 개요(概要)." Journal of the society of naval architects of Korea **13**(3): 25-43.

정태구, 이병남 (1977). "조선공업(造船工業)에서의 신생산관리(新生産管理)시스템." Journal of the society of naval architects of Korea **14**(1): 33-47.

조성원 (1998). A study on the product modeling and the construction of product database for the forming of ship hull plate : 선체외판 곡가공을 위한 제품모델링과 제품데이터베이스 구축에 관한 연구. 선체외판 곡가공을 위한 제품모델링과 제품데이터베이스 구축에 관한 연구. Seoul, Seoul : Seoul National University.

차주환, 조두연, et al. (2016). "조선소 트랜스포터 운영을 위한 최적 계획 시스템 개발." Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers **21**(2): 177-185.

한순홍 (1995). "조선 CIM 의 두가지 특성." 대한조선학회논문집 **32**(4): 52-56.

한순홍 (1995). "조선 CIM 의 두가지 특성." Journal of the society of naval architects of Korea **32**(4): 52-56.

홍승택, 최진영, et al. (2011). "신경망 모델 기반 조선소 조립공장 작업상태 판별 알고리즘." 산업공학 (IE interfaces) **24**(3): 267-273.

Andersen, B. (2007). Business process improvement toolbox, Quality Press. 0873897196.

Brailsford, S. C., C. N. Potts, et al. (1999). "Constraint satisfaction problems: Algorithms and applications." European Journal of Operational Research **119**(3): 557-581.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Chao, L.-C., C.-F. Chien (2009). "Estimating project S-curves using polynomial function and neural networks." Journal of Construction Engineering and Management **135**(3): 169-177.

Chaudron, M., S. Larsson, et al. (2005). "Component-based development process and component lifecycle." Journal of Computing and Information Technology **13**(4): 321-327.

Cho, K., J. Oh, et al. (1998). "An integrated process planning and scheduling system for block assembly in shipbuilding." CIRP Annals **47**(1): 419-422.

Choi, H. S., K. H. Park (1997). "Shop-floor scheduling at shipbuilding yards using the multiple intelligent agent system." Journal of Intelligent Manufacturing **8**(6): 505-515.

Ennis, K. J., J. J. Dougherty, et al. (1998). "Product-oriented design and construction cost model." Journal of ship production **14**(1): 41-58.

Fast, K. R. (2000). The National Shipbuilding Research Program. Development of a Shipbuilding Simulation Process Modeling Database, Defense Technical Information Center.

Fleischer, M., R. Kohler, et al. (1999). "Marine supply chain management." Journal of ship production **15**(4): 233-252.

Fleischmann, B., H. Meyr (2003). "Planning Hierarchy, Modeling and Advanced Planning Systems." Handbooks in Operations Research and Management Science **11**(C): 455-523. 10.1016/S0927-0507(03)11009-2.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Fleischmann, B., H. Meyr, et al. (2005). Advanced planning. Supply chain management and advanced planning, Springer: 81-106.

Gorton, I., A. Liu (2005). An architects guide to enterprise application integration with j2ee and. net. Proceedings of the 27th international conference on Software engineering.

Hicks, C., T. McGovern, et al. (2000). "Supply chain management: A strategic issue in engineer to order manufacturing." International journal of production economics **65**(2): 179-190. 10.1016/S0925-5273(99)00026-2.

Jeong, Y.-K., P. Lee, et al. (2018). "Shipyard block logistics simulation using process-centric discrete event simulation method." Journal of Ship Production and Design **34**(02): 168-179.

Kallestrup, K. B., L. H. Lyngge, et al. (2014). "Decision support in hierarchical planning systems: The case of procurement planning in oil refining industries." Decision Support Systems **68**: 49-63. 10.1016/j.dss.2014.09.003.

Kim, H., S.-S. Lee, et al. (2005). "A model for a simulation-based shipbuilding system in a shipyard manufacturing process." International Journal of Computer Integrated Manufacturing **18**(6): 427-441.

Koenig, P. C., P. L. MacDonald, et al. (1997). The National Shipbuilding Research Program. 1997 Ship Production Symposium, Paper Number 16: Towards a Generic Product-Oriented Work Breakdown Structure for Shipbuilding, DAVID TAYLOR MODEL BASIN WASHINGTON DC.

Kruchten, P. B. (1995). "The 4+ 1 view model of architecture." IEEE software **12**(6): 42-50.

LeCun, Y., B. Boser, et al. (1989). "Backpropagation applied to handwritten zip code recognition."

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Neural computation 1(4): 541-551.

Lee, J. K., K. J. Lee, et al. (1995). "Das: Intelligent scheduling systems for shipbuilding." AI Magazine 16(4): 78-78.

Lee, J. K., K. J. Lee, et al. (1997). "Developing scheduling systems for Daewoo Shipbuilding: DAS project." European Journal of Operational Research 97(2): 380-395.

Liu, W., Z. Wang, et al. (2017). "A survey of deep neural network architectures and their applications." Neurocomputing 234: 11-26.

Lu, W., Y. Peng, et al. (2016). "The S-curve for forecasting waste generation in construction projects." Waste Management 56: 23-34.

Mello, M. H., J. O. Strandhagen (2011). "Supply chain management in the shipbuilding industry: challenges and perspectives." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part M, Journal of engineering for the maritime environment 225(3): 261-270. 10.1177/1475090211406836.

Mnih, V., A. P. Badia, et al. (2016). Asynchronous methods for deep reinforcement learning. International conference on machine learning.

Mnih, V., K. Kavukcuoglu, et al. (2013). Playing atari with deep reinforcement learning. NIPS Deep Learning Workshop 2013.

Okayama, Y., L. Chirillo (1980). Product Work Breakdown Structure, MARITIME ADMINISTRATION WASHINGTON DC.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Park, J.-C., K.-R. Lee, et al. (1994). "A Study on the Application of S-curve for Basic Plan in a Shipbuilding Yard." IE interfaces 7(3): 201-212.

Park, K., K. Lee, et al. (1996). "Modeling and solving the spatial block scheduling problem in a shipbuilding company." Computers & industrial engineering 30(3): 357-364.

Porter, M. E. (2011). Competitive advantage of nations: creating and sustaining superior performance, simon and schuster. 145165149X.

Rudberg, M., J. Thulin (2009). "Centralised supply chain master planning employing advanced planning systems." Production planning & control 20(2): 158-167. 10.1080/09537280802705047.

Rumelhart, D. E., G. E. Hinton, et al. (1985). Learning internal representations by error propagation, California Univ San Diego La Jolla Inst for Cognitive Science.

San Cristobal, J. (2017). "The S-curve envelope as a tool for monitoring and control of projects." Procedia computer science 121: 756-761.

Sanderson, J., A. Cox (2008). "The challenges of supply strategy selection in a project environment: evidence from UK naval shipbuilding." Supply chain management 13(1): 16-25. 10.1108/13598540810850283.

Shin, J. G., K. K. Lee, et al. (2004). "A modeling and simulation of production process in subassembly lines at a shipyard." Journal of ship production 20(02): 79-83.

조선소 통합 생산계획 시스템 개발 및 인공지능 응용

Stadtler, H., C. Kilger (2008). Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies. Berlin, Heidelberg, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 9783540745112
3540745114.

Staeblein, T., K. Aoki (2015). "Planning and scheduling in the automotive industry: A comparison of industrial practice at German and Japanese makers." International journal of production economics **162**: 258-272. 10.1016/j.ijpe.2014.07.005.

Vlachakis, N., A. Mihiotis, et al. (2016). "A methodology for analyzing shipyard supply chains and supplier selection." Benchmarking : an international journal **23**(2): 443-455. 10.1108/BIJ-08-2013-0082.

Woo, J. H., Y. J. Song, et al. (2010). "Development of the decision-making system for the ship block logistics based on the simulation." Journal of Ship Production and Design **26**(04): 290-300.

Zoryk-Schalla, A. J., J. C. Fransoo, et al. (2004). "Modeling the planning process in advanced planning systems." Information & management **42**(1): 75-87. 10.1016/j.im.2003.06.005.

Abstract

Development of integrated production planning system for shipbuilding and application of artificial intelligence

Sung-Won Cho

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering

The Graduate School

Seoul National University

The shipbuilding industry is a representative industry which produces on orders and securing a certain level of order volume is the most important thing in shipyard management. During the long-term depression in the shipbuilding industry since the 2008 global financial crisis, the shipbuilding industry has not improved its order prices, and the Korean shipbuilding industry is competing fiercely with Japan and China for orders. It is necessary to develop a ship with excellent performance and to innovate the production cost for the competitiveness of winning orders.

There is an urgent need to upgrade the production planning system that supports making sophisticated production plans. In the shipbuilding industry, the concept of the production planning system was discussed along with the establishment of the shipbuilding CIM in the 1980s, followed by the introduction of personal computers in the 1990s. Production planning systems for making advanced planning had developed in line with the introduction of the enterprise resource planning system (ERP) mainly by large shipyards in the 2000s. Since the 2000s, there have been

attempts to apply the optimization technique to shipbuilding production planning, and there have been studies to efficiently implement production planning and support making optimal production plans, such as introducing a simulation technique to build a digital shipyard. But, due to complexity of shipbuilding process, limitations of optimization and simulation technology, there were insufficient cases applied to actual production planning work.

In this study, an example of developing the production planning system by analyzing and designing production planning tasks at the company-wide process level in line with the introduction of ERP and applying a systematic development methodology is introduced. Along with system construction, standard data used for planning was established and standard codes were defined. The existing production planning system has been developed and used with limited functions to meet the needs of some planners. Planning data was not used as a company-wide standard, and production planning tasks were not defined as a company-wide business process. Through the case study, a production planning process integrated into the enterprise process that can be operated in conjunction with ERP was established.

In addition, with the recent development of IT technology and rapid development of artificial intelligence technology, the possibility of optimization and application of artificial intelligence technology to shipyard production plans was reviewed. The constraint satisfaction technique was applied to making the Berth plan for the long-term plan of the shipyard, and the appropriate S-Curve could be suggested through supervised learning for load analysis by work type. The applicability of reinforcement learning technology was reviewed for Gantt planning, which is generally used in master planning, which is a medium-term plan. Most of the existing schedule planning optimization studies have tried to find a mathematical optimal solution, but the size of the problem is too large, and when considering various variables in

shipyard production, it is difficult for the optimal solution considering some variables to be the optimal production plan for the entire shipbuilding production. It was confirmed through case studies that it can be effective to derive appropriate cases that satisfy the constraints to be considered when making a production plan, and to support production planning experts to select the most suitable case among the derived cases.

Keywords: Shipbuilding process, Shipbuilding production planning system, Advanced Planning System, Artificial intelligence, Constraint satisfaction technique, Machine learning

Student Number: 2006-30181