

## 제약이론을 적용하여 설계된 선각건조공정 모니터링 시스템 개발

윤훈희\*, 신동목†\*\*

울산대학교 자동차선박기술대학원/ 현대중공업\*  
울산대학교 조선해양공학부\*\*

Development of Monitoring System  
for Hull Construction Processes Using TOC Analysis

Hoon Hee Yun\* and Dongmok Sheen†\*\*

Institute of e-Vehicle Technology, University of Ulsan/ Hyundai Heavy Industries\*  
School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan\*\*

### Abstract

A large ship usually consists of 300 to 500 blocks, for which it is extremely difficult to monitor the whole manufacturing processes from assembly to erection. In an effort to unify all the data and procedures, shipbuilding companies are installing ERP systems, which have brought great improvement throughout the company as a whole. In some departments, however, the ERP systems are not being fully utilized. This paper analyzes and solves the problems revealed especially at the production departments after an ERP system is installed. In this research, firstly a TOC(Theory of Constraints) analysis is done to find out the best solution for those problems. Secondly, based on the solution found, a Monitoring System for hull construction processes is developed with an improved user interface. The visualization of data is designed to reflect the needs of the production departments. The new system supplements the ERP system in that it selectively utilizes the unified data base and is operated under ERP environment. The system is installed in the production departments and its usefulness is verified.

※Keywords: TOC (제약이론), Hull construction procedure (선각건조공정), Monitoring system (모니터링 시스템)

## 1. 서론

조선 산업은 대표적인 시스템 산업으로서 한 척의 선박을 건조하여 인도하기까지 계약, 설계, 생산, 자재 구매 와 블록 조립, 건조, 의장, 도장 등의 복잡하고 다양한 공정이 연계되어 있다. 따라서 수많은 인력과 장비, 전산 도구들을 사용하여 관리를 하고 있으며 그 과정에서 팀, 부서 간 발생하는 불필요한 손실 또한 많다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 근래 들어 많은 조선업계에서는 전사적 자원관리 시스템인 ERP (Enterprise Resource Planning) 시스템을 도입하고 있으며, H사 또한 ERP 시스템을 도입하여 현재 정착단계에 있다. ERP 시스템의 큰 장점 중 하나는 개별적, 독립적으로 관리되던 여러 데이터들을 하나의 통일된 데이터베이스에 저장하여 관리함으로써 모든 구성원들이 데이터를 공유할 수 있고, 따라서 투명하고 정확한 데이터 통합 관리 및 활용이 가능하다는 것이다. 다시 말해서 개별 부서에서 특정 전문가들에 의해 관리되던 데이터를 이제는 수많은 관련 인력들이 동시에 모니터링(Monitoring)하고 관리함으로써 데이터의 무결성, 동시성, 투명성이 높아지고 이를 바탕으로 해서 산출되는 각각의 지표와 건조 능력 등에 대한 신뢰도는 점차 높아지게 되었다.

내업 조립, 선행의장, 선행도장, 건조, 외업 의장, 외업 도장을 거쳐 진수, 인도되기까지의 작업장별 공정 진행현황에 대한 모니터링은 선, 후 공정을 책임지고 있는 모든 조선소의 구성원들이 거의 매일 점검하고 확인하는 업무로서 일일, 주, 월, 분기, 반기, 연간 공정계획 및 인력계획을 수립하는데 기본이 되는 업무이다. 척당 300~500개에 달하는 조립 블록의 공정관리는 현재 수주량의 증가 및 선종의 다양화로 더 많은 시간과 노력을 필요로 하고 있다. 지금까지는 이러한 블록 공정관리를 각각의 독립된 부서에서 나름의 방식으로 수작업 또는 자체 개발한 전산 프로그램들을 이용하여 관리함으로써 정보의 공유가 되지 않고, 정보의 효과적 활용이 어려웠다. 따라서 ERP 시스템 도입으로 정보의 공유 및 활용이 증가될 것으로 기대하였으나 현실은 오히려 수작업 등에 의존

하는 과거 업무 형태로 회귀하고 있는 형편이다.

본 연구에서는 ERP 시스템 도입 후에도 해결되지 않고 있는 이들 문제점들의 원인을 파악하고 효과적인 해결방안을 도출하기 위하여 먼저 제약이론(TOC, Theory of Constraints)을 이용하여 ERP 시스템 운용 중 생산부문에 나타나는 문제점들을 파악 하고 그 근본 해결책을 제시한다. 또한, 근본 해결책으로 제시된 형태의 선각건조 공정 모니터링 시스템을 개발하고 현장 적용한다.

## 2. 제약이론을 이용한 원인 분석

제약이론은 1984년 출간된 Goldratt의 경영소설인 'The Goal'에 그 개념이 처음 소개된 것으로 제약이란 "시스템이 그 목표(Goal)를 달성하는데 장애가 되는 요인"이라고 정의된다(Chung 2002). 제약이론에서는 시스템을 하나의 사슬로 비유하고 사슬 중 가장 약한 고리가 전체 사슬의 인장력을 결정하는 것과 같이 제약을 극복해야만 전체 시스템의 성능을 지속적으로 개선할 수 있다고 본다(Goh 2004). 제약이론은 조선분야에서도 일정계획 (Back and Yoon 2004), 가공공장 분석 (Shin et al. 2002), 평블록 조립공정 개선 (Kim 2006) 등에 활용된 사례가 보고되고 있다.

제약이론에는 여러 도구들이 있는데 본 연구에서는 ERP 시스템의 생산부문 적용 시 발생하고 있는 문제점을 해결하기 위해 TP(Thinking Process)를 이용한 문제 해결절차(Fig. 1)를 이용한다(KTA 2004).

먼저 Case study, UDE (Undesirable Effect) List 도출을 통해 Table 1과 같이 Causes, Negatives, Why Table을 작성하였다.

이를 바탕으로 CRT(Current Reality Tree)를 이용하여 ERP 시스템 하에서의 공정진행 현황 파악 시 발생하는 바람직하지 못한 결과들과 이에 대한 공통 원인을 규명하고, 인식하고 있는 사실과 그 배경에 있는 가정들을 Fig. 2와 같이 정리하였다.

다음으로 EC(Evaporating Cloud) 작성성을 통하여 갈등이나 모순으로 인해 해결하지 못한 문제 속에 숨어 있는 가정, 즉, 제약요인을 밝힘으로써 효과적이고 성공적인 해결방안을 얻을 수 있었으

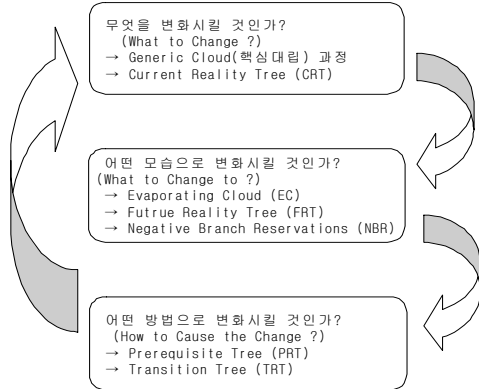


Fig. 1 Thinking process by TOC

Table 1 Causes, Negatives, Why table

CAUSES	NEGATIVES	WHY
C1. 행정시간이 과도하게 소요되어 현장 관리할 시간이 없음 C2. 엑셀을 이용한 기존 수작업 화면 사용자가 아직 많음	N1. 생산부서 ERP 시스템 정착이 늦어짐	W1. 공정진행 현황 프로그램 LOADING 시간 과다소요 W2. 외작 블록 공정 진행 현황 정도가 떨어짐 W3. 엑셀 전환 시 로딩 시간 과다 소요 W4. 입력 부서의 부정확한 데이터 입력발생
C3. 현재 개발된 프로그램은 수정/보완 하더라도 계속적으로 문제가 발생 C4. 하루 일과 중 공정 현황파악에 너무 많은 시간과 노력이 소비됨	N2. 전체적인 SYSTEM 불신으로 이어짐	W5. LEGACY SYSTEM의 증가로 시스템 효율 저하 W6. 문제점을 피드백해서 해결하는데 시간 과다소요 W7. 시스템 사용 불편 W8. 호선별 조회로 추가 호선 조회 시 조회 절차 처음부터 다시 시작
C5. 탑재공정 진행현황이 일목요연하지 않아 각자 수작업으로 공정관리도에 표기 C6. 기본 공정파악이 힘들므로 유선을 통한 의사전달 증가 C7. 공정회의 자료 작성에 애로 사항 많음	N3. 행정 업무 능률 저하	W9. 공정 지연 현황 파악이 힘들 W10. 블록 찾기 어려움

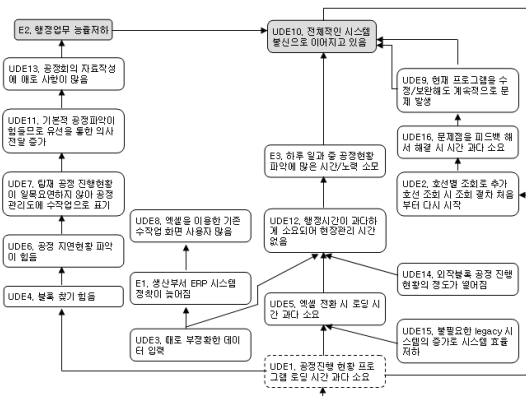


Fig. 2 Current reality tree

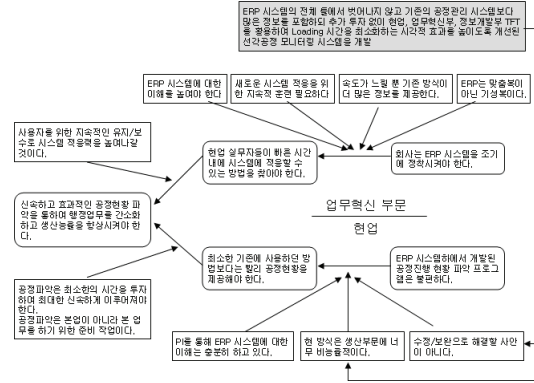


Fig. 3 Best Injection

며, 최선의 해결책(Best Injection)을 선정하고, 이를 EC에 주입하여 문제의 핵심 근본원인이 되는 모순 또는 가정, 갈등 요인을 해소하였다(Fig. 3 참조).

이상의 과정을 통하여 가장 효과적인 문제 해결 방법을 도출하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

“ERP 시스템의 전체 틀에서 벗어나지 않고 기존의 공정관리 시스템보다 많은 정보를 포함하되 추가 투자 없이 현업, 업무혁신부, 정보개발부 TFT를 활용하여 Loading 시간을 최소화하는 시각적 효과를 높이도록 개선된 선각건조 공정 모니터링 시스템을 개발한다.”

3. 모니터링 시스템 설계

선박공정관리 시스템에서는 ERP 시스템의 호선별 블록 분할도(Block Division) 정보를 이용하여 선박 형태를 이용하여 블록 배치 정보 등록 방법을 구현한다. 이들 정보를 이용하여 웹(Web)에서 조립 블록별, 작업 공정별로 색상 구분을 통하여 제시도록 하고, 또한 조립 블록별, 탑재단위 블록별 상세 공정현황을 모니터링 할 수 있도록 ERP 시스템의 공정 정보를 공유하도록 구성 한다.

선박을 건조하기 위해서는 먼저 절단 및 가공 공사를 거쳐 블록들을 조립하고, 조립된 블록들을 대상으로 의장 공사를 진행한 후 도장 공사가 이루어진다. 이렇게 도장 공사가 완료된 블록들을

도크(Dry-Dock)에 이동시켜 조립하여 마무리 공사를 거쳐 선박 건조를 완성하게 된다. 각 작업장, 부서별 공사일정 계획이 수립되면 호선, 공정별 생산을 실행하면서 실적을 입력하고 연관 공정은 선,후 공정의 실적 정보 및 계획 정보를 바탕으로 자공정의 실제 생산실행계획을 수립함과 아울러 자공정의 생산을 실행하게 된다.

상기한 각 공정들에 대해서 실제 생산 실행계획을 수립하기 위하여 선,후 공정의 실적 및 계획 정보를 텍스트, 간트 차트(Gantt chart) 형식, 또는 모자이크 차트(Mosaic chart) 형식으로 정보를 확인한다. 그리고 연관 부서들에서는 일정 계획이 흐름 생산 형태가 되도록 함과 동시에 자재 및 장비지원 등의 일정을 연계하여 선박 건조 계획에 차질이 발생하지 않도록 관리하게 된다. 각 부서별 실제 생산 실행 계획을 수립하기 위하여 선,후 공정의 실적 및 계획 정보를 텍스트, 간트 차트, 또는 모자이크 차트 형식으로 정보를 확인하면 소요시간과 오류가 많이 발생하고 호선 전체의 공정 흐름을 파악하기가 어려울 뿐만 아니라 병목공정 또는 문제가 되는 공정을 즉시 인식하기도 어렵다. 이로 인해 효과적인 정보 취득이 어려워 전체 선박 공정 관리 효율이 떨어지는 문제점이 발생하게 된다. 따라서, 시각적 효과를 높이도록 개선된 효과를 높이도록 개선된 선각 공정관리 시스템에서는 각 호선별, 블록별, 공정별 공정진행 현황 정보와 블록별 상세 정보를 신속하게 파악 할 수 있도록 함으로써 효율적인 선박 건조공사가 이루어지도록 한다.

본 연구에서는 기존의 ERP 서버에 저장된 호선별 블록분할도 정보로부터 호선별 블록 배치 정보를 등록하는 시스템을 구축하였고 또한 호선별 블록별로 공정상태와 배치정보를 조합하여 웹 서버로 전송하는 시스템을 구축하였다. 시각적 효과를 높이도록 개선된효과를 높이도록 개선된 선각건조 공정관리 시스템에서는 웹 서버로 전송된 정보와 호선의 선주, 건조도크, 선박종류와 크기, 대 일정(시공-기공-진수-인도)등의 호선정보를 가지고 선박 형태대로 호선별, 블록 배치정보를 보여주고 블록별, 공정별로 시시각각 변화하는 실제 공정 현황을 색상으로 표현한다. 또한, 본 시스템에서는

공사 계획일정 대비 실제 공사 진행 일정에 대한 공정진행상태, 지연 일수별 해당 블록 및 작업 조직을 볼 수 있는 지연분석 현황, 실적 지연에 따라 블록의 최종 탑재 일자를 예측 관리할 수 있는 기능을 추가한다.

현재는 선 공정 진행 현황 및 PE (Pre-Erection), 탑재 진행 현황을 파악하기 위하여 각 과 담당자별로 전화통화, 공정 담당부서 배포자료, ERP 공정 진행 현황, 검사 결과 등 여러 경로로 자료를 수집한 후, 출력된 공정관리도에 수작업으로 색칠하여 표기 하고 있어 공정 현황 파악에 불필요한 시간이 과다하게 소요 되며 또한 진행 상황을 여러 작업자가 중복 점검함에 따라 인력의 낭비가 과다하게 발생하고 있다.

이외에도 각 과별로 별도 개별 수작업 체크 현황을 보관/관리하고 있어 원본 데이터의 불일치, 자원의 낭비, 업무의 비효율성이 나타나고 있다. 현업 생산부서에서는 ERP 시스템에서 구현되어 있는 공정 관리 시스템이 있음에도 불구하고 이와 같은 수작업을 수행하고 있다. 현업 실무자의 경우는 변화하는 공정 상황에 대한 많은 양의 정보를 가능한 한 신속히 정확하게 파악해야 한다. 선, 후 공정의 파악은 본 업무가 아니라, 본 업무를 수행하기 위한 준비 작업이기 때문이다.

조선 산업의 특성상 한개 단위 작업장에서 연관된 공정의 수는 대단히 많으며, 이를 효과적으로 연계시켜주기 위한 장비 신청, 배치, 인원 배원 관리 등은 곧바로 생산성과 연계되는 것이다. 현재의 ERP 시스템은 실행속도 측면에서 현장의 요구 사항을 충분히 반영하지 못하고 있다. ERP 환경 하에서는 사내의 모든 데이터를 한곳에 집결시켜 누구나 필요로 하는 데이터를 활용할 수 있는 장점이 있는 반면, 한 곳에 다양하고 많은 양의 데이터를 담고 있는 서버로부터 우리가 필요로 하는 개별 정보를 추출해오는데 소요되는 시간은 길어질 수밖에 없다. 이러한 문제로 현업 실무자는 기 개발된 공정관리 시스템의 공정현황 자료만으로는 상세 공정 현황 파악이 어렵게 되고, 연관된 각 부서 담당자들에게 공정정보를 유선으로 확인하고 수작업으로 진도를 관리하고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 ERP 환경

하에서 현업 실무자가 편리하고 효과적으로 공정을 관리할 수 있는 공정 비주얼 모니터링 시스템을 현업 실무자들의 요구사항을 기반으로 개발한다.

Fig. 4는 블록 분할도 관리 시스템과 호선관리 시스템 및 블록 배치 관리시스템을 탑재한 전사적 자원관리 시스템(ERP)으로부터 데이터를 전송 받아 시각적 효과를 높이도록 개선된효과를 높이도록 개선된 선각 공정 관리 시스템을 탑재한 웹 서버를 통해 생산계획, 생산관리 등의 담당자가 실시간으로 공정 진행현황 및 관련 정보를 공유할 수 있도록 시스템을 구성한 것이다.

Fig. 5는 시스템을 운영환경 별로 구분한 간략한 개략도이다. 점선 부분은 본 시스템의 개발 범위를 나타낸다.

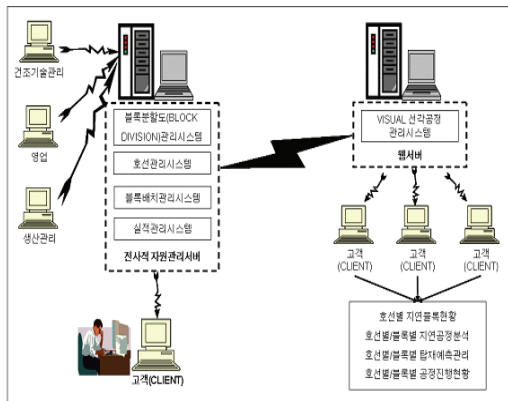


Fig. 4 System configuration

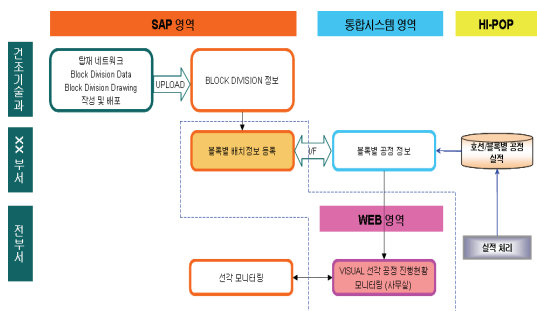


Fig. 5 System grouped based on domains

기존 통합시스템의 호선별 공정계획 정보, POP을 이용한 각 생산 부서로부터의 생산 실적정보, ERP 시스템(SAP) 영역의 선각 모니터링에 포함된 블록분할정보 및 블록 배치정보를 Web영역의 데이터 저장 창고로 받아들이므로써 접근성 및 시스템 loading 속도를 향상시킴과 동시에 호선별 현황을 쉽고 편리하게 볼 수 있도록 개발하게 된다.

4. 모니터링 시스템 구현 결과

본 연구를 통하여 개발된 블록 배치정보 등록 화면, 블록별 상세 공정진행현황 화면, 지연 분석 화면, 탑재 예측관리 화면을 살펴보면 Fig. 6~9과 같다. Fig. 6에서는 블록 분할도에서 제공된 정보를 바탕으로 블록들을 E/R(엔진룸구역), 중앙부, 선수/미, 선실 등으로 구분하여 표시하였다. Fig. 7에서는 공정진행 상황을 선색형태를 이용하여 블록별로 진행상태에 따라 색상으로 조립미착수, 조립착수, 조립완료, 선행의장착수, 선행의장완료, 후 PE착수, 선 PE 착수, 선행도장 착수, 선행도장 완료, 후 PE착수, 탑재 등을 구분하여 가시성을 높였다. 탑재지연현황, 지연분석, 후 공정 예측관리, 지연블록 현황 화면 등으로 바로 이동이 가능하다. Fig. 8의 블록 지연정보 화면에서는 지연일수별 상세 지연 블록 현황을 표시하고, 작업 공정-작업장별 지연 수량, 중량, 평균지연일수를 제시함으로써 공정-작업장별 현재 부하 및 지연 내역

The screenshot shows a software interface for '블록 배치관리' (Block Placement Management). It features a 'Block List' table with columns for '상황' (Status), '선' (Line), '구역' (Zone), and '시작' (Start). The table is filtered by '선' (Line) and '구역' (Zone). Below the table, there are several panels for '중앙부' (Center), '선수 (4418A11111)' (Line), and '선실 (F3) (필요)' (Line room). The interface includes various navigation and control buttons like '등록추가', '등록삭제', '조회', and '인쇄'.

Fig. 6 Registration of block layouts

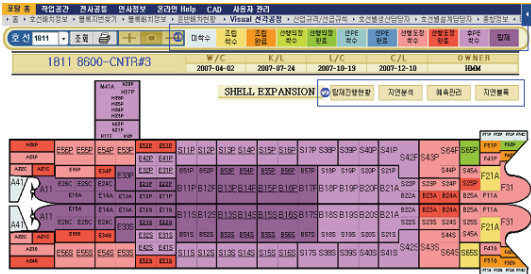


Fig. 7 Progress of blocks shown in colors

Table 2 Comparison of performances

Criteria	Before	After
Loading time for monitoring of processes for each ship (sec.)	60~90	5~10
Steps required for retrieving block data	4~5 steps	1 step
Time spent in monitoring by process management department	4 hrs/day	0.5 hrs/day

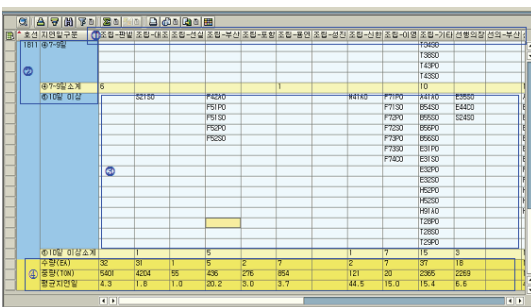


Fig. 8 Analysis of delays

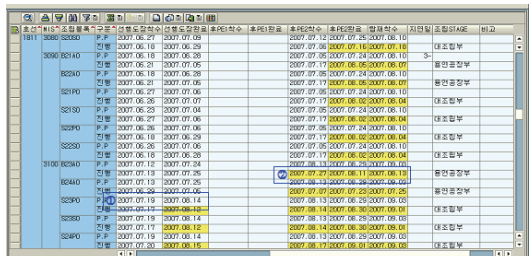


Fig. 9 Pre-erection progress vs. plans

을 분석하여 물량 평준화, 재분배등을 위한 기초 자료로 활용하게 된다. Fig. 9의 탑재 예측관리 화면에서는 현재까지 진행된 공정실적을 바탕으로 이후 공정일정을 각 공정별 현업 실무자가 계획하고, 계획한 결과를 모든 관련부서에서 모니터링 할 수 있다.

Table 2에는 선각건조 공정 모니터링 시스템 개발 전, 후의 시스템 구동 속도 및 조회 절차, 공정관리 부서에서의 공정 파악을 위한 일평균 소요 시간에 관한 사항을 간략히 표로 비교하였다.

### 5. 결론

본 논문에서는 먼저 한 조선업체에서 ERP 도입 후, 생산부문의 현업 사용자들이 선각 공정현황 정보 모니터링 시 느끼는 문제점들을 제약이론을 사용하여 분석하고 그 해결책을 제시하였다.

첫 단계로 Case Study를 통하여 각 사용자별 문제점들을 Brain Storming을 통해 나열한 후, UDE List 도출, Causes Negatives, Why table 작성 및 CRT, EC를 작성하였으며, 이를 통해 Best Injection을 도출함으로써 문제에 대한 근본 원인을 도출하고 이것을 해결하기 위한 가장 효과적인 해결 방안을 모색하였다. 다음으로 제약이론을 통하여 도출된 해결방안을 적용하기 위하여 실제 현장에서의 필요조건 및 요청사항을 수렴하고 이를 바탕으로 현업, 혁신부서, 개발 부서간의 업무 협의 과정을 통해 현업에서 공정 현황을 효과적으로 모니터링 할 수 있도록 시각적 효과를 높인 선각 건조 공정 모니터링 시스템을 개발하였다.

본 시스템은 ERP 환경 하에서 데이터의 선택적 활용 및 사용자 편의 환경 향상을 통하여 능률과 편리성을 추구하고 궁극적으로는 ERP 전체 시스템에 대한 신뢰성을 높인 하나의 보완 시스템이라 할 수 있다. 본 연구에 의해 개발된 선각 공정 모니터링 시스템을 생산 현장에 적용한 결과, 작업 편의성 측면에서 보면 상황판을 이용하여 담당자들(공정관리자, 개별 생산담당자, 부서관리자등)이 개별적으로 수동으로 차트에 색칠하며 공정을 관리하던 작업이 사라지고 있다. 또한 작업 효율성 측면에서 살펴보면 조회 시간이 단축되었다. 기존 시스템에서 선,후 공정 파악 시 사용되던 공정현황 모니터링 프로그램의 경우, 해당 구동시간이

1~3분가량 소요되었다. 여기서 다시 블록별로 공정을 파악할 경우, “해당 열 선택 - 블록입력 - 찾기 선택 - 해당 열로 이동 - 블록재입력” 등 4~5 단계의 과정을 거쳐야 호선-블록별 공정현황 파악이 가능하였으며, 지연 블록 현황의 경우는 이보다 더 복잡하여 다시 프로그램을 빠져나가서 새로운 프로그램으로 이동하여 호선, 날짜 등의 여러 단계를 거쳐야만 조회가 가능하였다. 본 연구를 통하여 현재 개발한 시스템의 경우 “포탈” 화면에서 호선 입력 후, 클릭한번으로 모든 정보의 조회가 가능하며, 구동 시간 또한 적당 약 5~10초로 즉각적으로 조회가 가능하다.

현재 개발된 프로그램은 현업부서에서 적용 중이며 사용자들의 편의사항 등은 지속적인 프로그램 보완을 통해 계속해 나갈 예정이다.

**참 고 문 헌**

- Back, D.S. and Yoon, D.Y., 2004, "Constraints Evaluation for Ship-building Industry," Proceedings of the 2004 Annual KSOE Fall Conference, pp. 40-44.
- Chung, N.K., 2002, Theory of Constraints Golden Rule, Haneon Publishing Co.

- Goh, H.W., 2004, “A Study on TOC Application in the 6 Sigma Quality Management,” Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 27, No.1, pp. 103-108.
- Kim, S.H., 2006, A Study on Improvement of a Panel Assembly Process in the Shipbuilding Industry using TOC, Master's thesis, University of Ulsan.
- Korea TOC Academy(KTA), 2004, TOC Basic, Lecture Note for 2 day Workshop.
- Shin, D.H., Woo, J.H., Lee, J.H. and Shin, J.G., 2002, "Forming Shop Analysis with Adaptive Systems Approach," Journal of the Society of Naval Architecture of Korea, Vol. 39, No. 3, pp. 75-80.



< 윤 훈 희 >



< 신 동 목 >