

조선 평블록 조립공장 일정계획 시뮬레이션 시스템 A Scheduling Simulation System for Panel Block Assembly shop in Shipbuilding

이상협, 하승진, 민상규, 최태훈, 김형식
 울산광역시 동구 전하동 1번지 현대중공업 선박해양연구소 자동화연구실

Abstract

본 논문에서는 선박의 평블록을 조립하는 공장의 월/주간 일정계획을 수립하는 과정에서 계획의 정도를 향상시키기 위해 시뮬레이션을 적용하는 방안에 대해 다루고 있다. 조선 평블록 조립의 일정계획 수립은 표준 데이터를 근간으로 계획을 수립하므로 일정계획의 정도가 낮을 수 있다. 그리고 공장의 제반 여건 및 운영 방안을 일반적인 일정계획 기법에 반영하여 정도가 높은 일정계획을 수립하는 것은 매우 어려운 일이다. 하지만 시뮬레이션에서는 공장의 제반 여건을 상세하게 묘사 가능하고, 시뮬레이션 수행 후 해당 일정계획의 정도 및 여러 사항에 대해 많은 정보를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 수립된 일정계획에 대해 시뮬레이션을 통해 평가하고, 해당 일정계획의 문제점을 사전에 발견하여 조치함으로써 일정계획의 정도를 한층 높이고자 한다.

1. 서론

정보 기술의 발달에 맞춰 다른 제조업 분야와 마찬가지로 조선 분야에 있어서도 조선 산업을 기술 집약적인 미래산업으로 발전시키기 위하여 조선 CIM(Computer Integrated Manufacturing) 구축을 위한 노력이 대부분의 조선소에서 활발히 진행되고 있으며, H 중공업에서도 생산성 향상과 공정 안정화 등을 목표로 조선 CIM 시스템을 구축하고 있다. 이 중에서 본 논문은 조선의 평블록을 조립하는 공장의 월/주간 일정계획 시스템을 구축함에 있어 일정계획을 보다 합리적이고 현실적으로 수립하는 방안에 대해 다루고자 한다.

조선 평블록 조립공장의 일정계획을 수립하기 위한 방안으로 공정의 특성상 다양한 변수와 제약으로 인하여 선형계획법 및 정수계획법과 같은 수리적 모델은 적용하기가 어렵고, 일반적으로 유전자 알고리즘, 터부서치 등과 같은 휴리스틱 기법이 많이 이용되고 있다.

휴리스틱 기법을 이용한 일정계획 수립은 각 작업대상물의 표준 공수/공기, 납기일, 가용인원 등의 표준 데이터를 사용하여 일정계획을 수립하게 된다. 이렇게 수립된 일정계획은 작업자, 크레인, 작업공간 등과 같은 일정수립에 영향을 미치는 주요자원을 고려하기가 어려워 계획정도가 낮다.

따라서 본 논문에서는 평블록 조립공장의

주요자원인 작업자, 크레인, 작업공간, 공장운영 방안 등을 고려한 시뮬레이션 시스템을 개발하고, 이를 통하여 월/주간 일정계획의 수립 정도를 향상시키고자 한다.

2. 조선 평블록 조립공장 특성

본 논문의 대상은 선박구조 중 중양부를 이루고 있는 평블록을 조립하는 공장으로서, 평블록을 완성하기 위해서는 보통 10여개의 공정을 거쳐 완성된다. 이러한 공정을 거쳐 평블록 조립공장에서 보통 한달 동안 처리하는 물량은 80여개의 블록이다.

조선 평블록 조립공장의 상세 공정은 그림 1과 같다.

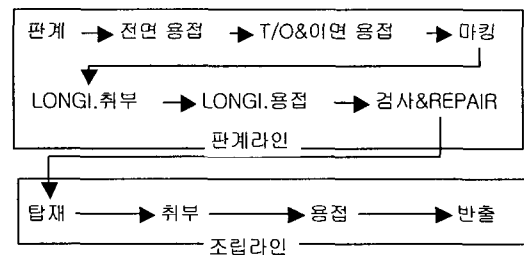


그림 1 평블록 조립 공정도

평블록 조립 공장은 판계라인과 조립라인으로 구성되어 있다. 판계라인은 각 공정별 특

성에 맞는 장비로 구성되어 있고, 블록의 이동은 체인 컨베이어로 이루어진다. 조립라인은 블록을 배치하기 위한 작업 공간에 블록을 배치하고 각 단위 셀에 작업자가 투입되어 작업을 한다. 조립라인에서 블록의 이동은 크레인으로 한다. 따라서 관계라인은 블록이 이동하는 흐름라인 형태이고, 조립라인은 블록이 위치하면 작업자가 움직이는 고정위치 배치 형태이다.

3. 일정계획 시뮬레이션 시스템

조선 일정계획 수립은 선박이 수주되면 도크 계획을 시작으로 대·중·소 일정계획을 단계적으로 수립하게 된다.

대일정 계획은 선표 계획으로 선박의 수주 상황을 고려한 각 도크 운영 계획이다. 그리고 중일정 계획은 선표 계획을 기초로 부하를 고려한 선박 건조 기본 일정과 단위 공장(소조, 판넬, 대조 공장)에 대한 일정계획이다. 소일정 계획은 단위 공장별 상세 일정계획으로 중일정 계획을 기초로 하여 일정계획을 수립한다. 본 논문에서는 평블록 조립공장의 소일정에 해당하는 월/주간 일정계획을 대상으로 하고 있다.

평블록 조립공장의 월/주간 일정계획은 중일정 계획을 기초로 해서 휴리스틱으로 초기 일정계획이 수립된다. 그리고 수립된 초기 일정계획에 대해 시뮬레이션 실험 후, 시뮬레이션 결과와 초기 일정계획을 비교하여 문제점을 발견하고 다시 일정계획을 수정하게 되며, 이런 절차를 반복하여 만족하는 해를 얻게 된다. 평블록 조립공장의 일정계획 수립 방안은 그림 2와 같다.

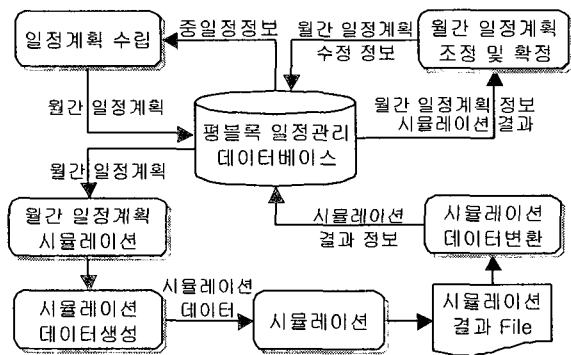


그림 2 일정계획 시뮬레이션 시스템 데이터 흐름도

그림 3은 평블록 조립공장의 파라미터 설정 및 실험을 할 수 있는 일정계획 시뮬레이션 시스템 운영 화면이다. 그림 4는 평블록 조립공장의 시뮬레이션 실험 과정을 제시한 화면이다. 그림 5는 수립된 일정계획과 시뮬레이션 결과를 블록별로 비교할 수 있는 간트차트 화면이다.

일정계획 담당자는 이러한 시뮬레이션 결과를 참조로 수립된 일정계획을 수정할 있다.

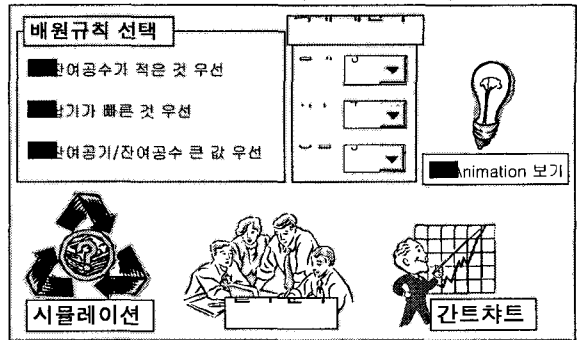


그림 3 시뮬레이션 운영 화면

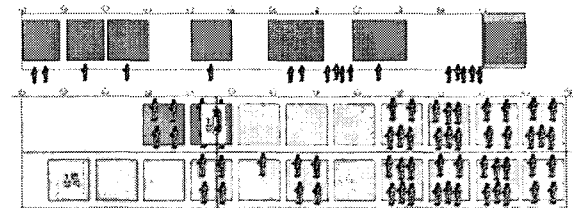


그림 4 평블록 조립공장 시뮬레이션 화면

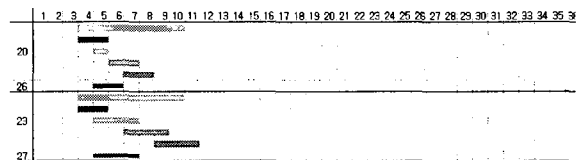


그림 5 초기 일정계획과 시뮬레이션 결과 비교 화면

4. 시뮬레이션 모델링 및 실험

평블록 조립공장의 초기 일정계획은 휴리스틱 기법을 통해서 수립하는데, 초기 일정계획을 통해 평블록들의 각 공정들에 대한 착수/완료일(공기), 작업 공수, 작업반, 작업장 등이 정해지게 된다. 그리고 앞서 언급한 바와 같이 초기 일정계획 수립에서 평블록 조립공장의 작업자 운영 방안, 크레인 사용, 작업 공간 제한, 일별 작업시간 변동 등을 반영하는 것이 어려우므로 본 논문에서는 이를 시뮬레이션 모형에 반영하였다. 시뮬레이션 모형의 입력자료 및 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

- 1) 입력 자료(초기 일정계획 정보)
 - 각 블록 공정별 착수일, 완료일, 작업공수, 작업장, 작업반
 - 블록의 크기
 - 기간내 각 반의 일별 작업시간
 - 기간내 각 반의 일별 출근 작업자 수
- 2) 시뮬레이션 실험 선택 항목
 - 작업자 할당 규칙

- 잔여공수가 적은 것 우선
 - 납기가 빠른 것 우선
 - 잔여공기/잔여공수 값이 큰 것 우선
 - 공정별 최대 작업자 배원 수
- 3) 평블록 조립공장 운영 조건
- 각 작업반은 매일 오전 8시에 시작하여 각 반별 1日 작업시간 까지 작업한다.
 - 관계라인의 블록은 컨베이어로 이동
 - 조립라인의 블록은 크레인으로 이동
 - 작업 책임제(작업자는 할당받은 블록의 해당 공정을 완료할 때까지 작업)
 - 각 공정에 해당하는 작업반은 정해져 있으며(관계반, 탑재반, 취부반, 용접반), 같은 공정을 수행하는 작업반은 여러 반이 있다.
 - 작업반간의 작업 지원은 없다.
 - 작업자 배원은 매일 작업시작 시점과 유티 작업자 발생 시점에 실시한다.
- 4) 시뮬레이션 결과 자료
- 공정별 착수/완료일
 - 공정별 작업기간 내 일별 소요 공수
 - 크레인 이용율
 - 작업장 활용율 등

현재 평블록 조립에서 일정계획의 기준이 되는 것은 각 공정의 작업공기 보다도 작업공수(Man-hour)가 된다. 이것은 조선 산업이 노동 집약 산업으로 해당 작업의 공기보다는 공수가 관리 기준이기 되기 때문이다. 그리고 평블록 조립공장에서 각 공정의 공기는 작업자 운영에 따라 달라질 수 있다. 즉, 그림 6에서와 같이 평블록 조립의 작업 공정은 작업자 할당 수와 할당 시점에 따라 작업공정의 공기가 달라지게 된다.

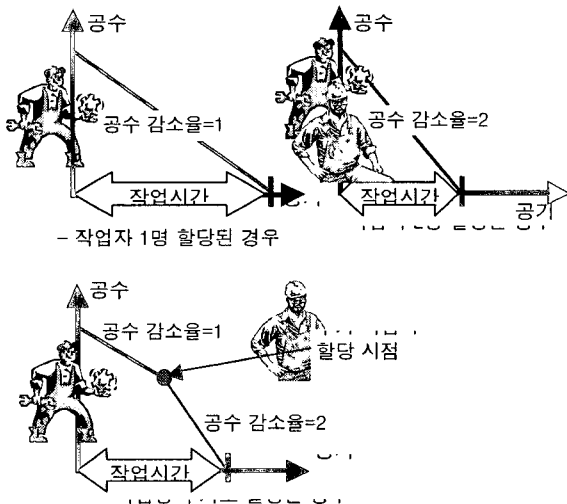


그림 6 작업자 할당 상황에 따른 작업공기 변화

따라서 이런 특성 때문에 조선 평블록 조립공장의 일정계획 수립은 일반적인 일정계획

수립과 다르게 접근해야 한다.

본 논문에서는 이와 같은 평블록 조립공장의 특성을 시뮬레이션 모델에 반영하기 위해 평블록 조립공장 시뮬레이션 처리 절차를 개발하였고, 시뮬레이션 처리 절차 적용은 그림 7과 같다.

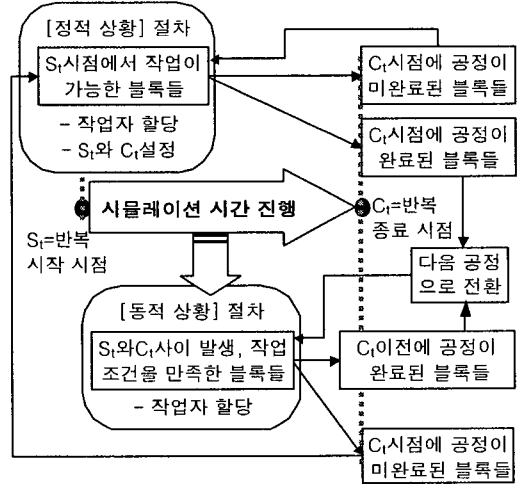


그림 7. 평블록 조립 공정 시뮬레이션 처리 절차

시뮬레이션 처리 절차에 사용된 기호를 정의하면 다음과 같다.

[기호 정의]

- j : 작업반 index, $j=1 \sim J$
- i : j 반에 작업 중인 블록 index, $i=1 \sim m_j$
- o : 블록 i 의 공정 index
- m_j : j 반에 할당된 블록 수
- S_t : t 번째 반복의 시작 시간
- C_t : t 번째 반복의 종료 시간
- P_j : 해당일 j 작업반의 1日 작업시간
- N_j : 해당일 j 작업반의 출근자 수
- Y_i : 블록 i 의 전일 작업자 수
- O_i : 블록 i 의 할당된 작업자 수
- F_i : 블록 i 의 예상 작업종료 시간
- $\min F = \text{Min}\{F_i\}, i=1 \sim m_j, \forall j$
- Max_o : 공정 o 에 할당 가능한 최대 작업자수
- $MH_{i,o}$: S_t 와 C_t 사이에 블록 i 의 o 번째 공정에 소요된 공수
- $MH_{i,o}^+$: 블록 i 의 o 번째 공정 잔여공수
- IO_j : j 반의 유티 작업자 수
- A_t : t 번째 반복에서 $\min F = F_i, i=1 \sim m_j, \forall j$ 인 블록들의 집합
- A_t^c : A_t 를 제외한 블록들의 집합
- B_t : S_t 와 C_t 사이에 등록된 블록들의 집합

시뮬레이션 처리 절차 중 [정적 상황]과 [동적 상황]에 따른 처리 절차는 아래와 같다.

-
-

[정적 상황]

- 단계 0. 각 반별 작업 블록 검색과 블록별 전달 작업자 배정 및 조정
 - $t=0$
 - $m_j > 0$ 이면, $O_i = Y_i, i=1 \sim m_j, \forall j$.
 - $\sum_1^{m_j} O_i > N_j$ 이면, $\sum_1^{m_j} O_i = N_j$ 일 때까지 임의의 i 를 선택하여 $O_i = O_i - 1, \forall j$
- 단계 1. 반복 시작 시점 설정, 유휴작업자 계산, 유휴 작업자 배원
 - $t=t+1$
 - $S_i = C_i, i=1, \dots, n$ (단, $S_1=0$)
 - $IO_j = N_j - \sum_1^{m_j} O_i, \forall j$
 - $IO_j > 0$ 이면, 작업자 할당 규칙에 따라 작업자 할당, $\forall j$
- 단계 2. 블록의 예상 작업 종료시간 계산
 - $F_i = MH'_{i,o} \div O_i, i=1 \sim m_j, \forall j$ (단, $O_i=0$ 이거나 $F_i \geq P_j$ 이면 $F_i = P_j$)
- 단계 3. 예상 작업 소요시간이 가장 작은 블록들을 검색하여 집합 A_t 를 구성하고 반복 종료시간을 계산
 - $C_t = S_t + \min F$
 - $F_i < P_j, \forall i \in A_t$ 이면, 단계 4로 이동
 - $F_i = P_j, \forall i \in A_t$ 이면, 단계 6으로 이동
- 단계 4. 시물레이션 시간을 C_t 로 진행 후, 소요공수를 계산하고, 집합 A_t 의 블록들은 [동적 상황] 절차로 이동시키고, 단계 5로 이동
 - $MH'_{i,o} = (C_t - S_t) \times O_i, i=1 \sim m_j, \forall j$
 - $o=o+1$, [동적 상황] 절차로 이동, $\forall i \in A_t$
- 단계 5. 집합 A_t^c 와 집합 B_t 를 검색하여 집합 A_t^c 의 블록들의 잔여공수 계산
 - $A_t^c = \phi$ and $B_t = \phi$ 이면 Stop하고, 아니면, $MH'_{i,o} = MH'_{i,o} - MH'_{i,o}, \forall i \in A_t^c$. 단계 1로 이동
- 단계 6. 시물레이션 시간을 C_t 로 진행 후, 시물레이션 진행 시간후의 소요 공수 계산과 잔여 공수 계산하고 모든 반의 작업이 종료되었는지 조사
 - $MH'_{i,o} = (C_t - S_t) \times O_i, i=1 \sim m_j, \forall j$
 - $MH'_{i,o} = MH'_{i,o} - MH'_{i,o}, i=1 \sim m_j, \forall j$
 - $\min F \geq P_j, \forall j$ 이면 Stop하고, 아니면 단계 1로 이동

[동적 상황]

- 단계 1. 해당 블록의 최종 공정이 완료되었으면 Stop, 아니면 단계 2로 이동
- 단계 2. 해당 공정의 작업시작 조건을 만족하면 단계 3으로 이동하고, 아니면 조건을 만족할 때까지 대기
- 단계 3. 해당 블록에 작업자를 가능한 범위에서 최대로 추가(해당 공정 작업반의 유휴 작업자 수 범위 내에서 Max_o 까지)

- $F_i = MH'_{i,o} \div O_i$
- $Max_o = O_i$ 이면, 단계 5로 이동
- $Max_o > O_i$ 이면, 단계 4로 이동
- 단계 4. 현시점(= T_{now})에서 ① 해당반에 유휴 작업자 발생($IO_j > 0$), ② $T_{now} + F_i$ 시간, ③ $\min F$ 시간, ④ 해당반의 1일 작업 시간(P_j) 중 가장 빠른 시간까지 대기 후, 대기시간 동안 소요공수 및 잔여공수 계산
 - ①의 경우 : [동적 상황] 절차 단계 3으로 이동
 - ②의 경우 : $o=o+1$, [동적 상황] 절차 단계 1로 이동
 - ③의 경우 : 집합 B_t 에 등록하고 [정적 상황] 절차로 이동
 - ④의 경우 : Stop
- 단계 5. 현시점(= T_{now})에서 $T_{now} + F_i$ 를 계산하고 상황에 따라 대기하고 소요공수와 잔여공수를 계산
 - $T_{now} + F_i \geq C_t$ 이면, C_t 시간까지 대기 후, 집합 B_t 에 등록하고 [정적 상황] 절차로 이동
 - $T_{now} + F_i < C_t$ 이면, $T_{now} + F_i$ 시간까지 대기 후, $o=o+1$, [동적 상황] 절차 단계 1로 이동

평블록 조립공장의 일정 수행에 가장 중요한 요소 중의 하나는 작업자 할당 방법이다. 따라서 본 논문에서는 작업자 할당 규칙과 각 공정별 최대 작업자 할당 수를 어떻게 하는 것이 평블록 조립공장에 타당한 것인지를 평가 항목별 시물레이션 실험을 통해 알아보았다. 시물레이션 실험의 선택 사항과 평가 항목은 다음과 같다.

- A) 평가 항목
 - ①-1) 납기 지연 블록 수
 - ①-2) 납기 지연된 블록의 지연 일의 합
 - ①-3) 평균 흐름시간(mean flow-time)
- B) 작업자 할당 규칙
 - ②-1) 잔여공수가 적은 것 우선
 - ②-2) 납기가 빠른 것 우선
 - ②-3) 잔여공기/잔여공수 값이 큰 것 우선
- C) 공정별 최대 작업자 할당 수(탑재, 취부, 용접)
 - ③-1) 3명, 4명, 4명
 - ③-2) 3명, 4명, 5명
 - ③-3) 3명, 5명, 4명
 - ③-4) 3명, 5명, 5명
 - ③-5) 4명, 4명, 4명
 - ③-6) 4명, 4명, 5명
 - ③-7) 4명, 5명, 4명
 - ③-8) 4명, 5명, 5명

그리고 실험 결과는 표 1, 2와 같다. 표 2에서 작업자 할당 규칙에 따른 평가 항목별 결과는 각각 다르게 나타났다. 즉 납기 지연

블록 개수에서는 ㉞-3규칙이 가장 좋았고, 납기 지연일 수에서는 ㉞-2 규칙, 평균 블록 흐름시간에서 ㉞-1 규칙이 가장 좋았다. 그리고 납기 만족 측면에서 보면 ㉞-2 규칙이 다른 규칙보다 더 좋다는 것을 알 수 있다.

최대 작업자 할당 수는 평가 항목 ㉞-2를 제외하고 작업자 최대 할당 수가 많을수록 더 나은 결과를 가져왔다. 이것은 각 블록에 작업자를 가능한 많이 투입하여 해당 공기를 짧게 가져가는 것이 납기 만족 및 블록의 흐름시간 측면에서 더 좋다는 것을 알 수 있다.

표 1 시뮬레이션 실험 결과

선택 항목		평가 항목(A)		
최대 할당 수(C)	할당 규칙(B)	㉞-1	㉞-2	㉞-3
㉞-1	㉞-1	43	63	134.7
	㉞-2	41	71	144.1
	㉞-3	33	74	134.9
㉞-2	㉞-1	22	36	121.5
	㉞-2	22	25	129.6
	㉞-3	24	60	125.8
㉞-3	㉞-1	24	37	124.3
	㉞-2	23	28	129.3
	㉞-3	25	52	125.1
㉞-4	㉞-1	19	22	116.5
	㉞-2	13	14	122.1
	㉞-3	16	30	117
㉞-5	㉞-1	38	58	132.1
	㉞-2	31	42	136.3
	㉞-3	32	69	132.8
㉞-6	㉞-1	20	29	120
	㉞-2	25	29	130.3
	㉞-3	22	58	124.7
㉞-7	㉞-1	23	33	122.3
	㉞-2	22	27	127.8
	㉞-3	22	48	124.1
㉞-8	㉞-1	13	17	114.4
	㉞-2	15	16	121.35
	㉞-3	17	44	118.4

표 2 선택항목별 평가항목 합계

선택 항목	평가 항목(A)		
	㉞-1	㉞-2	㉞-3
㉞-1	202	295	985.8
㉞-2	192	252	1040.85
㉞-3	191	435	1002.8
㉞-1	117	208	413.7
㉞-2	68	121	376.9
㉞-3	72	117	378.7
㉞-4	48	66	355.6
㉞-5	101	169	401.2
㉞-6	67	116	375
㉞-7	67	108	374.2
㉞-8	45	77	354.15

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 조선 블록 조립공장을 대상으로 월/주간 일정계획을 시뮬레이션 검증 을 통해 정도를 향상시키기 위한 시스템을 개발하였다. 그리고 조선 블록 조립공장 특성을 반영한 시뮬레이션 모델링 방안과 시뮬레이션 실험 결과를 제시하였다.

본 논문의 일정계획 시뮬레이션 시스템은 평블록 조립공장의 일정계획의 정도 향상뿐만 아니라 다음과 같은 기대 효과가 있다.

- 평블록 조립공장의 설비투자 효과 판단
- 조직 및 인원 변경시 사전 평가
- 평블록 조립공장의 능력 평가
- 공장 운영 방안 변경시 영향 평가 등

향후 연구과제로는 일정계획의 현실화와 기대 효과를 구체적으로 실현하기 위해서는 다음과 같은 연구를 진행할 예정이다.

- 타부서치/유전자 알고리즘 등을 통한 초기 일정계획 수립
- 현실적인 작업자의 운영 방안 추가 및 최적의 운영 방안 정립
- 계획 조정 방안의 구체화 및 시스템 지원
- 공장 운영 요소의 추가 반영 등

참고 문헌

- [1] 조규갑 외 5명, “선각내업 공정설계 자동화 시스템 개발”, 산업공학 IE Interfaces 제8권 제2호, 1995.
- [2] 박주철 외 4명, “조선기본계획수립시스템의 개발”, 산업공학 IE Interfaces 제8권 제2호, 1995.
- [3] 이규열, “조선 CIMS를 위한 시스템 통합 방법 연구”, 대우조선공업주식회사, 1993.
- [4] 이재동 외 1명, “블록조립공장의 부하평준화를 위한 생산일정계획”, 산업공학 제7권 제2호, 1994.
- [5] 부산대학교 기계기술연구소, “선각내업 공정설계 및 작업일정계획 자동화 시스템 개발 보고서”, 1997.