

폰카메라 렌즈모듈 제조시스템을 위한 시물레이션 기반의 스케줄러 개발

김재훈 · 이승우 · 이대령 · 박철순* · 송준엽 · 문덕희

Development of Scheduler Based on Simulation for Phone Camera Lens Module Manufacturing System

Jae Hoon Kim · Seung Woo Lee · Dae Ryoung Lee · Chul Soon Park* · Jun Yeob Song · Dug Hee Moon

ABSTRACT

Phone camera lens module is assembled with a barrel, multiple lenses, multiple spacers and a shield. The major processes of manufacturing system are injection molding, coating and assembly processes, and each process has multiple machines. In this paper, we introduce a scheduler based on simulation model which can be used for frequent rescheduling problem caused by urgent orders, breaking down of molds and failures of machines. The scheduling algorithm uses heuristic Backward-Forward method, and the objective is to minimize the number of tardy orders.

Key words : Scheduler, Simulation, Phone camera lens module, Backward-forward

요약

휴대폰 카메라의 렌즈 모듈은 경통, 복수의 렌즈, 복수의 스페이서와 한 장의 실드로 구성된다. 렌즈 모듈을 생산하기 위한 주요 공정으로는 사출성형공정, 코팅공정 및 조립공정이 있는데, 일반적으로 제조라인에서는 동일한 기능을 가지는 복수의 기계들을 사용하여 생산을 한다. 본 논문에서는 긴급주문, 금형의 파손, 장비의 고장 등으로 인하여 제조현장에서 빈번하게 발생하는 재스케줄링의 문제를 해결하기 위해 시물레이션을 기반으로 개발된 스케줄러에 대해 소개한다. 스케줄링 알고리즘은 경험적 Backward-Forward 방법을 사용하였으며, 주문의 납기지연율을 최소화시키는 것이 목표다.

주요어 : 스케줄러, 시물레이션, 휴대폰 카메라 렌즈 모듈, Backward-Forward

1. 서론

스케줄링 분야는 그동안 무수히 많은 연구가 진행되어 온 분야이다. 스케줄링 문제는 크게 단일기계 스케줄링(Single Machine Scheduling), 병렬기계 스케줄링(Parallel Machine Scheduling), 흐름작업장 스케줄링(Flow Shop Scheduling), 잡샵 스케줄링(Job Shop Scheduling), 오픈샵 스케줄링(Open Shop Scheduling)으로 구분되며, 특수한 분야로 배치스케줄링(Batch Scheduling), 유연생산시스템 스케줄

(FMS Scheduling) 등 작업장의 특성에 맞는 다양한 분야들이 존재한다.

스케줄링의 목적함수로는 평균체류시간(Mean Flow Time) 최소화, 평균지연시간(Mean Lateness or Mean Tardiness) 최소화, 전체작업 종료시간(Makespan) 최소화 등이 일반적으로 사용된다^[10]. 하지만 본 연구의 대상이 되는 작업장은 단순한 흐름작업장이나 병렬작업장이 아니다. 전체적으로는 흐름작업장의 형태를 유지하면서, 각 공정별로는 병렬기계가 존재하는 FSMP (Flow Shop with Multiple Processors) 혹은 HFSS (Hybrid Flow Shop Scheduling) 문제다^[1, 3, 7, 8, 11, 12]. 또한 코팅공정의 경우에는 배치 스케줄링^[5]의 개념이 필요하며, 공정과 공정 사이에는 재공품 재고가 존재하기 때문에 기존의 스케줄링 이론을 그대로 적용시키기 곤란한 상황이다.

본 논문에서는 시물레이션 모델을 기반으로 하여 휴대

*이 연구는 산업통상자원부 산업융합기술산업원천기술개발사업(과제번호 10040952)의 지원을 받았음.

Received: 29 August 2014, Revised: 9 December 2014,
Accepted: 15 December 2014

*Corresponding Author: Chul Soon Park
E-mail: cspark@changwon.ac.kr
Changwon National University

폰용 카메라 렌즈 모듈 생산 공정을 대상으로 개발한 스케줄러에 다양한 스케줄링 규칙(Scheduling Rule)을 접목하는 방법론적인 부분과 각 스케줄링 방법 간의 비교분석을 소개하고자 한다. 2장에서는 대상공정을 소개하고, 3장에서는 스케줄러의 개념에 대해서 소개한다. 4장에서는 스케줄러에 사용된 규칙에 대해 설명하고 5장에서는 비교대상인 규칙들에 대해 소개한다. 마지막으로 6장에서는 실험한 결과를 토대로 규칙간의 비교분석에 대해 설명한다.

2. 대상 공정의 특성

2.1 대상 제품

스마트 기기에 부착되는 카메라 렌즈 모듈은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 경통-P1렌즈-스페이서1-P2렌즈-스페이서2-P3렌즈-스페이서3-P4렌즈-실드 순으로 조립되어 하나의 카메라 렌즈 모듈을 구성한다^{5, 12)}. 최근에는 고해상도를 가진 렌즈 모듈이 요구되면서 일부 렌즈는 유리렌즈를 사용하는 경우도 있지만 대부분의 렌즈는 플라스틱과 같은 열가소성 수지를 재료로 사출공정을 통해 생산된다.

2.2 공정 특성

대상 작업장은 Fig. 2에 제시된 바와 같이 전형적인 병렬형 흐름라인(FSMP)의 구조를 가지는데, 공정은 크게 사출, 코팅, 조립의 세 단계를 거친다. 각 공정에는 여러 대의 사출기, 코팅기, 조립라인이 존재하며, 공정과 공정 사이에는 버퍼가 있다.

일반적으로 렌즈나 경통은 사출금형 한 벌에서 여러 개의 동일한 제품을 동시에 생산할 수 있도록 설계되는데, 이것을 캐비티(Cavity)라고 부른다. 따라서 사출기가 1 회(Shot) 생산을 하면 캐비티 수 만큼의 동일한 제품이 생산된다. 하지만 사출공정에서 아무리 금형을 잘 설계한다고

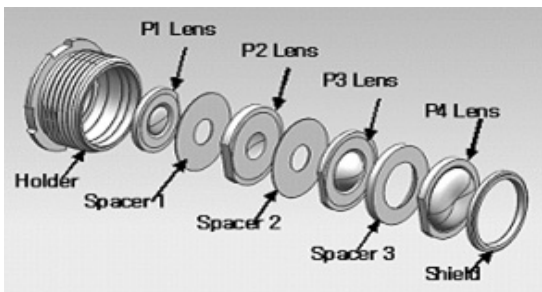


Fig. 1. Structure of camera lens module

하더라도 캐비티 별로 제품 품질에 미세한 차이가 존재한다. 특히 렌즈 제작용 수지의 경우, 방향성이 없는 아몰퍼스(Amorphous) 상태에서 성형 시 폴리머 분자의 배향으로 인하여 배향방향과 배향방향에 직교하는 방향에 복굴절(빛이 방향이 다른 두 개의 굴절광으로 굴절)이 발생하는데, 각 캐비티마다 이 복굴절에 차이를 보이게 된다⁹⁾. 따라서 동일한 P1 렌즈라도 캐비티가 8개이면 8가지의 서로 다른 P1 렌즈가 있는 것으로 인식되며, 재고 관리도 각각 별도로 한다.

코팅공정은 사출된 렌즈에 대하여 수평을 하게 되는데, 코팅기에 렌즈가 담긴 트레이(Tray)를 동시에 여러 개 집어넣어 공정을 수행하는 배치 생산형태를 따른다. 코팅기에 투입을 할 때는 동일한 부품으로 배치를 구성하는데, 이 때 캐비티는 고려하지 않고 배치를 구성한다.

코팅이 완료된 렌즈는 복수로 구성된 조립라인에서 경통, 스페이서, 실드 등 다른 부품들과 조립되어 렌즈모듈이 된다. 이 때, 각 렌즈별로 적절한 캐비티를 선택하여 조합을 한 후 조립을 해야 조립된 렌즈 모듈이 불량품으로 판정되는 것을 최소화 시킬 수 있다. 따라서 렌즈모듈을 조립하기 위해 사용하는 각 부품별 캐비티의 조합이 Table 1과 같이 사전에 결정되어 있어야 한다. 예를 들어

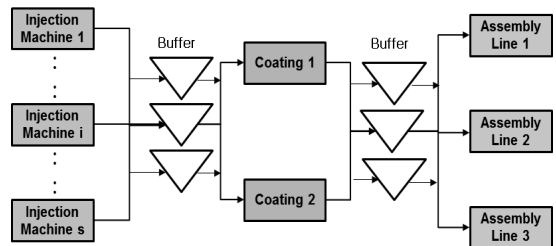


Fig. 2. Layout concept of the manufacturing system

Table 1. Example of assembly combination

Model	Combination	Barrel	Lens			
			P1	P2	P3	P4
1	1	11	1	1	1	1
	2	12	2	2	2	2
	3	21	3	3	2	3
	4	22	4	1	4	4
	5	11	2	4	3	1
	6	12	3	3	4	3
	7	21	4	4	4	4
	8	22	1	2	1	1

경통의 경우 2 캐비티 금형이 2벌, 렌즈는 P1, P2, P3, P4 렌즈 각각 4 캐비티짜리 금형이 한 벌씩 있다고 할 때, Table 1에서 조합 5번의 경우 경통은 1번 금형의 1번 캐비티 제품을 사용하고, P1 렌즈는 2번 캐비티, P2 렌즈는 4번 캐비티, P3 렌즈와 P4 렌즈는 각각 3번 캐비티와 1번 캐비티를 사용해 조립을 진행한다는 의미다. 이 때 각 렌즈는 양품 최소 기준을 넘길 수 있도록 특정한 각도로 회전하여 조립하는데, 각 캐비티 별 적정 회전각도는 Table 1을 만드는 시점에서 이미 고려되어 있어야 하는 사항이다. 만일 금형이 파손되거나 일정량을 생산한 이후 예방 보전을 한 후에는 캐비티별 조합을 다시 찾아야 한다.

그 결과, 동일한 렌즈라도 사용되는 캐비티가 있는 반면, 렌즈 모듈 조합과정에서 양품의 조합을 찾을 수 없어서 사용되지 않고 악성재고로 남아있다 버려지는 캐비티도 존재한다. 따라서 경통 및 렌즈는 캐비티 별 관리가 필요하며, 폐기품이 최소화되도록 적절한 렌즈 조합을 찾는 것이 중요하며, 이러한 조건이 스케줄링에 반영되어야 한다.

3. 스케줄러의 개념 설계

일반적으로 스케줄링에서 사용하는 목적함수는 평균체류시간 최소화, 평균지연시간 최소화, 납기지연작업수의 최소화 등이다^{10, 11, 12}. 또한 작업장의 특성도 단일 기계 스케줄링, 병렬 기계 스케줄링, 오븐과 같은 배치 스케줄링^{5, 10} 등과 같이 다양하다. 또한 복잡한 시스템의 스케줄링에 사용되는 방법으로는 여러 할당규칙 (Dispatching Rule)들을 사용하는데^{6, 10} 그중에서도 Backward-Forward 규칙을 이용한 방법이 널리 사용된다^{2, 5, 10}. 반면에 본 대상작업장에 적용할 스케줄러의 최종 목적은 주문에 대한 납기 준수 확률을 높이고, 각 부품들의 소비를 균등화 시켜서 폐기되는 부품이 최소화되도록 하는 것이다. 하지만 본 논문에서는 일차적으로 납기준수율을 높이는 관점에서만 접근하도록 한다.

납기의 경우 조립 공정에 의해 지연 유무가 결정된다고 보았으며, 따라서 사출 및 코팅 공정에서는 렌즈 모듈 조립하는 공정의 스케줄과 동일한 스케줄을 접목하여 조립 공정에서 소요된 수량만큼 생산을 진행하는 Pull 방식을 사용하였다. 조립 공정에서는 주문의 납기 지연율을 최소화하기 위해 Table 1에 있는 조합을 고려하고 여러 가지 할당규칙(Dispatching Rule)을 이용하여 카메라 렌즈 모듈의 생산스케줄을 결정하는 개념을 사용하였다. 이 때 각 조립라인의 가동현황 정보 등이 스케줄링에 반영되

며, 현재 조립이 진행 중인 생산로트에 대해서는 조립이 완료될 때까지 생산이 계속되도록 하였다.

스케줄링의 대상 공정은 사출공정, 코팅공정, 조립공정 세 가지이며, Table 1과 같은 렌즈방향성 조립 리스트와 부품별 재고 현황, 각 공정별 생산 진행 현황, 설비현황, 금형 현황 등의 데이터베이스가 필요하다. 스케줄러의 구축 개념은 Fig. 3과 같이 2단계로 이루어진 Backward-Forward Heuristic (BF-Heuristic) 방법이다. 구체적으로 먼저 Backward용 입력 자료를 이용해 Backward용 시뮬레이션 모델을 실행한다. Backward 단계에서는 조립공정을 기준으로 아직 착수되지 않은 스케줄 대상 주문 중에서 납기가 가장 늦은 주문을 선택하여 그 시간을 시뮬레이션 시작시간으로 설정한 후 시계를 거꾸로 돌리면서 역으로 시뮬레이션을 수행한다. 그 결과 각 주문의 조립공정 투입시점이 결정된다. 이 때 주문의 투입가능시간(Release Time)이 이미 과거의 시점이 된다면 투입가능시간을 조정한다.

Backward가 끝나면 Forward 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 이 경우에는 Backward에서 고려하지 않았던 주문들을 포함시키는데, 그 주문은 스케줄을 다시 작성해야 하는 시점에 각 설비에서 생산이 진행 중이던 주문이다. 이렇게 새로운 주문서 목록이 생성되면 Forward 스케줄러를 수행하는데 이때 이미 작업 중이던 주문은 미리 읽어서 바로 작업에 투입시키고 나머지 주문들은 Backward 단계에서 정해진 순서에 맞추어 투입되도록 하였다. 이 때, 사출공정에서는 조립공정에서 진행되는 스케줄을 체크하여 현재 사출에 투입된 생산 주문들 중 다음 조립에 사용될 경통과 렌즈의 부품과 동일한 주문을 먼저 사출하는 선행생산 방식을 진행하게 된다.

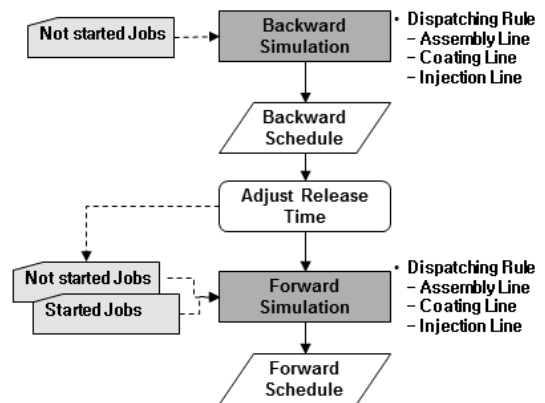


Fig. 3. Overall concept of scheduling

4. 스케줄링 알고리즘

스케줄링 알고리즘은 조립라인 알고리즘, 사출라인 알고리즘, 코팅라인 알고리즘의 세 가지로 구성되는데, 알고리즘 설명에 사용되는 기호는 다음과 같다.

- h : 제품 번호($h = 1, 2, \dots, s$)
- α : 부품 번호($\alpha = 0, 1, 2, 3, 4$), 이 때 0는 경통, 나머지는 P1~P4렌즈를 의미
- β : 금형 번호($\beta = 1, 2, \dots, n_{h,\alpha}$), 이 때 $n_{h,\alpha}$ 는 제품 h , 부품 α 의 생산을 위한 금형 수
- γ : 제품 h , 부품 α , 금형 번호 β 의 캐비티 번호($\gamma = 1, 2, \dots, m_{h,\alpha,\beta}$), 이 때 $m_{h,\alpha,\beta}$ 는 캐비티 수
- AMC_a : 조립라인 번호($a = 1, 2, \dots, e$), 이때 e 는 조립라인 수
- IMC_b : 사출기계 번호($b = 1, 2, \dots, f$), 이때 f 는 사출기계 수
- CMC_d : 코팅기계 번호($d = 1, 2, \dots, g$), 이때 g 는 코팅기계 수
- $MD_{h\alpha\beta}$: 제품 h 의 부품 α 사출을 위한 금형 β
- c_h : 제품 h 조립을 위한 조합번호($c_h = 1, 2, \dots, r_h$), 이 때 r_h 는 제품 h 의 가능 조합 수
- S_{NOA} : 조립공정에서 착수되지 않은 주문의 집합
- S_{NOC} : 코팅공정에서 착수되지 않은 주문의 집합
- S_{NOI} : 사출공정에서 착수되지 않은 주문의 집합
- S_{NP_1A} : S_{NOA} 를 생산로트로 분할한 집합
- S_{NP_1C} : S_{NOC} 를 생산로트로 분할한 집합
- S_{NP_1I} : S_{NOI} 를 생산로트로 분할한 집합
- S_{NP_2A} : 조립공정에서 주문의 일부 로트는 착수되었지만 남아있는 생산로트의 집합
- S_{NP_2C} : 코팅공정에서 주문의 일부 로트는 착수되었지만 남아있는 생산로트의 집합
- S_{NP_2I} : 사출공정에서 주문의 일부 로트는 착수되었지만 남아있는 생산로트의 집합
- S_{SPA} : 조립공정에서 생산중인 생산로트의 집합
- S_{SPC} : 코팅공정에서 생산중인 생산로트의 집합
- S_{SPI} : 사출공정에서 생산중인 생산로트의 집합
- $S_{FPA} = S_{NP_1A} \cup S_{NP_2A} \cup S_{SPA}$
- $S_{FPC} = S_{NP_1C} \cup S_{NP_2C} \cup S_{SPC}$

$$S_{FPI} = S_{NP_1I} \cup S_{NP_2I} \cup S_{SPI}$$

- i : Backward 실행 시 주문서 번호
($i \in S_{NOA} = \{x, x-1, \dots, 2, 1\}$)
- y_i : 주문서 i 의 생산로트 수
- j : Backward 실행 시 주문서 i 의 생산로트 번호,
($j = y_i, y_i - 1, \dots, 2, 1$)
- i' : Forward 실행 시 주문서 번호
($i' \in S_{NOA} = n, n-1, \dots, 2, 1$)
- j' : Forward 실행 시 주문서 i' 의 생산로트 j'
- D_i : 주문서 i 의 납기
- O_i : 주문서 i
- PO_{ij} : 주문서 i 의 생산로트 j
- $PO_{ij\alpha}$: PO_{ij} 의 부품 α 에 대한 생산로트
- Q_{ij} : PO_{ij} 에 해당하는 제품종류
- T_{now} : 리스케줄링을 실행하는 시점
- $T_{future} = \max_{i \in S_{NOA}} \{D_i\}$
- TE_{ij} = Backward에서 주문 번호는 i 이고 생산로트단위로 분할된 주문서의 번호는 j 인 주문서의 조립완료일
- $TS_{i'j'}$ = 각 주문서 i' 의 생산로트 j' 가 조립공정에 투입되는 투입일
- $TE_{i'j'}$ = Forward에서 주문 번호는 i' 이고 생산로트단위로 분할된 주문서의 번호는 j' 인 주문서의 조립완료일
- $VA_{h\alpha\beta\gamma}$: 조립공정 앞의 모델 h , 부품 α , 금형 β , 캐비티 γ 의 재고량
- $VC_{h\alpha\beta\gamma}$: 코팅공정 앞의 모델 h , 부품 α , 금형 β , 캐비티 γ 의 재고량(경통의 경우에는 코팅공정 앞의 재고 없음)

4.1 조립 공정 알고리즘

4.1.1 Backward 실행 시 알고리즘

Backward 시뮬레이션은 T_{future} 를 시뮬레이션 시작시간으로 설정하고 시계를 거꾸로 돌려가며 시뮬레이션 모델을 실행한다. 이 때 O_i 는 해당되는 D_i 시점에 투입대기 행렬에 투입(Release)된다.

Step 1. S_{NOA} 에 포함된 주문서 O_i 를 D_i 의 내림차순으로 정렬. 편의상 납기가 가장 긴 주문을 x , 납기가 가장 짧은 주문을 1로 정의.

Step 2. $i = x$

- Step 3. 주문서 O_i 선택
- Step 4. 선택된 주문서 O_i 를 생산 Lot단위로 분할하여 생산로트 PO_{ij} 생성
- Step 5. $j = y_i$
- Step 6. PO_{ij} 를 복사하여 조립공정과 사출공정에 각각 투입
- Step 7. PO_{ij} 에 관련된 제품을 h 라고 할 때, 제품 h 생산에 필요한 모든 부품 재고가 충분하고, 조립공정 앞의 버퍼에 대기하는 생산로트가 없다면 Step 8을 진행하고, 아니면 부품 재고가 확보되거나 조립기계가 가용상태가 될 때까지 대기
- Step 8. 제품 h 생산이 가능한 조립조합 c_h 중에서 경통, P1렌즈~P4렌즈 순으로 캐비티 재고량 ($V_{h\alpha\beta\gamma}$)이 가장 많은 조합을 선택. 그 조합을 $C_{ki,j}$ 라고 정의
- Step 9. 가용상태인 조립라인 AMC_a 를 선택. 만일 가용상태의 조립라인이 2대 이상일 경우 임의로 선택
- Step 10. Backward 시뮬레이션 모델에 의해 PO_{ij} 의 완료일 $TE_{i,j}$ 를 계산
- Step 11. $j = j - 1$
- Step 12. $j < 1$ 이면 Step 13을 진행하고 아니면 Step 6로 돌아감
- Step 13. $i = i - 1, j = y_i$
- Step 14. $i < 1$ 이라면 S_{NOA} 에 포함된 모든 주문에 대해 Backward 시뮬레이션을 진행한 것이므로 여기서 작업 중단. 아니면 Step 3으로 돌아감.

4.1.2 Forward 실행 시 알고리즘

Forward 시뮬레이션은 T_{now} 를 시뮬레이션 시작시간으로 설정하여 시뮬레이션 모델을 실행한다. 이 때 PO_{ij} 는 해당되는 $TS_{i,j}$ 시점에 투입대기행렬에 투입(Release)된다.

- Step 1. Backward 실행을 통해 얻은 각 생산로트 PO_{ij} 의 투입시간 $TS_{i,j}$ 를 다음과 같이 수정

$$TS_{i,j} = \begin{cases} T_{now} & \text{if } T_{now} \geq TE_{i,j} \\ TE_{i,j} & \text{otherwise} \end{cases}$$
- Step 2. $S_{FPA} = S_{NP_1A} \cup S_{NP_2A} \cup S_{SPA}$ 에 포함된 생산로트 중 S_{SPA} 에 포함된 생산로트의 우선순위(priority)를 1로 하고 S_{NP_1A} , S_{NP_2A} 에 포함된 생산로트의

우선순위를 2로 설정

- Step 3. S_{SPA} 에 포함된 생산로트를 기존에 생산하던 조립라인에 그대로 투입하고 S_{FPA} 에서 투입된 로트를 제거하여 변경. 만일 조립라인의 고장으로 인해 투입되지 못하는 생산로트는 우선순위를 유지한 채 대기
- Step 4. $PO_{i',j'} \in S_{FPA}$ 를 우선순위가 높고, $TS_{i',j'}$ 가 빠른 순서로 재정렬한 후 새로운 번호 k 를 순차적으로 부여하고, 이에 상응하는 i' 과 j' 을 매핑
- Step 5. $S_{FPA} = \{\emptyset\}$ 이면 종료. 아니면 Step 6 실행
- Step 6. $k = 1$
- Step 7. $PO_{i',j'}$ 를 복사하여 사출공정과 조립공정에 투입. 이때 $PO_{i',j'}$ 가 S_{SPA} 에 속한 경우에는 복사하지 않고 조립공정에만 투입
- Step 8. $PO_{i',j'}$ 에 관련된 제품을 h 라고 할 때, 제품 h 생산에 필요한 모든 부품 재고가 충분하고, 조립공정 앞의 버퍼에 대기하는 주문이 없다면 Step 9를 진행하고, 아니면 부품 재고가 확보되거나 조립기계가 가용상태가 될 때까지 대기
- Step 9. 제품 h 생산이 가능한 r_h 개의 조립조합(c_h) 중에서 경통, P1렌즈~P4렌즈 순으로 $V_{h\alpha\beta\gamma}$ 가 가장 큰 조합을 선택.
- Step 10. 가용상태인 조립라인 AMC_a 를 선택. 만일 가용상태의 조립라인이 2대 이상일 경우 임의로 선택
- Step 11. Forward 시뮬레이션 모델에 의해 $PO_{i',j'}$ 의 완료일 $TE_{i',j'}$ 를 계산.
- Step 12. S_{FPA} 를 변경하고 $k = k + 1$
- Step 13. $S_{FPA} = \{\emptyset\}$ 이면 종료. 아니면 Step 6로 돌아감.

4.2 사출 공정 알고리즘

4.2.1 Backward 실행 시 알고리즘

- Step 1. 조립공정 Backward 알고리즘의 Step 6으로부터 생산로트 PO_{ij} 가 사출공정으로 투입
- Step 2. 생산로트 PO_{ij} 를 경통과 P1~P4렌즈에 대한 생산로트로 분할하여 $PO_{i,j\alpha}$ 라고 한 후, 각 부품 α 별로 별도의 대기행렬에 투입
- Step 3. 가용상태의 사출기계가 있다면 Step 4를 진행하고 아니면 사출기계가 가용상태가 될 때까지 대기
- Step 4. $\alpha = 0, 1, \dots, 4$ 까지 각 부품 α 별로 모든 캐비티

재고 $V_{h\alpha\beta\gamma}$ 를 오름차순으로 정렬한 후 새로운 번호 k_α 를 순차적으로 부여하고, 이에 상응하는 h 와 α 를 매핑. 이때 $k_\alpha = 1, 2, \dots, h \times \beta \times \gamma$

Step 5. $\alpha = 0, 1, \dots, 4$ 까지 $k_\alpha = 1$ 인 캐비티를 비교하여 최소 재고를 가지는 α^* 를 선택하고, 이에 상응하는 h^* 를 선택

Step 6. $k_{\alpha^*} = 1$

Step 7. 부품 α^* 의 대기행렬에서 대기 중인 $PO_{ij\alpha^*}$ 중에서 제품이 h^* 이고 D_i 가 가장 큰 생산로트를 선택. 만일 없으면 h^* 를 무시하고 D_i 가 가장 큰 생산로트를 선택. 선택된 로트를 $PO_{ij\alpha^*}^*$ 라고 정의. 선택된 생산로트가 없으면 대기

Step 8. $PO_{ij\alpha^*}^*$ 를 사출하기 위한 금형 ($MD_{h^*\alpha^*\beta}$)이 존재하면 Step 9로 이동. 없으면 $k_\alpha = k_\alpha + 1$ 로 하고 Step 7로 이동. 만일 $k_\alpha > h \times \beta \times \gamma$ 이면 두 번째로 최소 재고를 가지는 α^* 를 선택하고, 이에 상응하는 h^* 를 선택한 후 Step 6으로 이동

Step 9. 가용상태의 사출기계 중 직전 사출제품을 Step 7에서 선택된 $MD_{h^*\alpha^*\beta}$ 를 이용하여 사출한 기계가 있다면 그 기계를 선택 후 Step 11을 진행하고 아니면 가용상태의 사출기계 중 임의로 선택 후 Step 10을 진행. 여기서 선택된 사출기계를 IMC_b 로 정의

Step 10. Setup Change를 통해 IMC_b 에 $MD_{h^*\alpha^*\beta}$ 를 장착

Step 11. 사출 수행

Step 12. 사출이 끝난 부품이 경통인 경우에는 재고 $VA_{h\alpha\beta\gamma}$ 의 모든 캐비티에 대해 갱신하고 종료하며, 렌즈인 경우에는 재고 $VC_{h\alpha\beta\gamma}$ 의 모든 캐비티에 대해 갱신한 후 코팅공정에 투입하고 종료

4.2.2 Forward 실행 시 알고리즘

Step 1. 조립공정의 Step 7로부터 생산지시서 PO_{ij} 가 사출공정으로 투입

Step 2. 생산로트 $PO_{ij} \in \{S_{NP_1I} \cup S_{NP_2I}\}$ 를 경통과 P1~P4렌즈에 대한 생산로트로 분할하여 $PO_{ij\alpha}$ 라고 한 후 각 부품 α 별로 별도의 대기행렬에 투입

Step 3. $S_{FPI} = S_{NP_1I} \cup S_{NP_2I} \cup S_{SPI}$ 에 포함된 생산로트 중 S_{SPI} 에 포함된 생산로트의 우선순위(priority)를 1로 하고 S_{NP_1I} , S_{NP_2I} 에 포함된 생산로트의

우선순위를 2로 설정

Step 4. 가용상태의 사출기계가 있다면 Step 5를 진행하고 아니면 사출기계가 가용상태가 될 때까지 대기

Step 5. S_{SPI} 에 포함된 생산로트를 기준에 생산하던 사출기에 그대로 투입하고 S_{FPI} 에서 투입된 로트를 제거하여 변경. 만일 사출기나 해당 금형의 고장으로 인해 투입되지 못하는 생산로트는 우선순위를 유지한 채 대기

Step 6. $\alpha = 0, 1, \dots, 4$ 까지 각 부품 α 별로 모든 캐비티 재고 $V_{h\alpha\beta\gamma}$ 를 오름차순으로 정렬한 후 새로운 번호 k_α 를 순차적으로 부여하고, 이에 상응하는 h 와 α 를 매핑. 이때 $k_\alpha = 1, 2, \dots, h \times \beta \times \gamma$

Step 7. $\alpha = 0, 1, \dots, 4$ 까지 $k_\alpha = 1$ 인 캐비티를 비교하여 최소 재고를 가지는 α^* 를 선택하고, 이에 상응하는 h^* 를 선택

Step 8. $k_{\alpha^*} = 1$

Step 9. 부품 α^* 의 대기행렬에서 대기 중인 $PO_{ij\alpha^*}$ 중에서 제품이 h^* 이고 D_i 가 가장 큰 생산로트를 선택. 만일 없으면 h^* 를 무시하고 D_i 가 가장 큰 생산로트를 선택. 선택된 로트를 $PO_{ij\alpha^*}^*$ 라고 정의. 선택된 생산로트가 없으면 대기

Step 10. $PO_{ij\alpha^*}^*$ 를 사출하기 위한 금형 ($MD_{h^*\alpha^*\beta}$)이 존재하면 Step 9로 이동. 없으면 $k_\alpha = k_\alpha + 1$ 로 하고 Step 9로 이동. 만일 $k_\alpha > h \times \beta \times \gamma$ 이면 두 번째로 최소 재고를 가지는 α^* 를 선택하고, 이에 상응하는 h^* 를 선택한 후 Step 8로 이동

Step 11. 가용상태의 사출기계 중 직전 사출제품을 Step 7에서 선택된 $MD_{h^*\alpha^*\beta}$ 를 이용하여 사출한 기계가 있다면 그 기계를 선택 후 Step 11을 진행하고 아니면 가용상태의 사출기계 중 랜덤으로 선택 후 Step 12를 진행. 여기서 선택된 사출기계를 IMC_b 로 정의

Step 12. Setup Change를 통해 IMC_b 에 $MD_{h^*\alpha^*\beta}$ 를 장착

Step 13. 사출 수행

Step 14. 사출이 끝난 부품이 경통인 경우에는 재고 $VA_{h\alpha\beta\gamma}$ 의 모든 캐비티에 대해 갱신하고 종료하며, 렌즈인 경우에는 재고 $VC_{h\alpha\beta\gamma}$ 의 모든 캐비티에 대해 갱신한 후 코팅공정에 투입하고 종료

4.3 코팅 공정의 알고리즘

4.3.1 Backward 실행 시 알고리즘

- Step 1. 사출공정의 Step 12로부터 생산로트 $PO_{i\alpha}^*$, $\alpha^* = 1, 2, 3, 4$,가 코팅공정 대기행렬로 투입
- Step 2. 가용상태의 코팅기계가 있다면 선택하고 그 기계를 CMC_d 라고 함. 만약 가용상태의 코팅기계가 없다면 가용상태가 될 때까지 대기(2대 이상의 코팅기계가 가용상태이면 임의로 기계를 선택)
- Step 3. 코팅공정 대기행렬에 있는 부품중 동일한 렌즈 부품(α^*)를 가지는 생산로트를 금형(β)과 캐비티(γ)에 관계없이 기계 CMC_d 의 बै치 사이즈와 맞게 묶어 투입. 만약 बै치 사이즈를 충족하지 못하더라도 투입
- Step 4. 코팅이 끝난 렌즈부품은 각 금형과 캐비티 별로 해당되는 $VA_{h\alpha\beta\gamma}$ 를 수정한 후 종료

4.3.2 Forward 실행 시 알고리즘

- Step 1. 사출공정의 Step 14로부터 생산로트 $PO_{i\alpha}^*$ 가 코팅공정 대기행렬로 투입
- Step 2. $S_{FPC} = S_{NP_1C} \cup S_{NP_2C} \cup S_{SPC}$ 에 포함된 생산로트 중 S_{SPC} 에 포함된 생산로트의 우선순위(priority)를 1로 하고 S_{NP_1C} , S_{NP_2C} 에 포함된 생산로트의 우선순위를 2로 설정
- Step 3. 가용상태의 코팅기계가 있다면 Step 4진행. 만약 가용상태의 코팅기계가 없다면 가용상태가 될 때까지 대기
- Step 4. $S_{SPC} \neq \{\emptyset\}$ 이면 S_{SPC} 에 포함된 생산로트를 기존에 생산하던 코팅기계 CMC_d 에 그대로 투입하고 S_{FPC} 에서 투입된 로트를 제거하여 변경. 만일 코팅기계의 고장으로 인해 투입되지 못하는 생산로트는 우선순위를 유지한 채 대기. $S_{SPC} = \{\emptyset\}$ 이면 Step 5로 이동
- Step 5. 코팅공정 대기행렬에 있는 부품중 동일한 렌즈 부품(α^*)를 가지는 생산로트를 금형(β)과 캐비티(γ)에 관계없이 기계 CMC_d 의 बै치 사이즈와 맞게 묶어 투입. 만약 बै치 사이즈를 충족하지 못하더라도 투입
- Step 6. 코팅이 끝난 렌즈부품은 각 금형과 캐비티 별로 해당되는 $VA_{h\alpha\beta\gamma}$ 를 수정한 후 종료

5. 성능비교를 위한 작업할당 규칙

스케줄링 규칙은 목적함수가 무엇이나에 따라 여러 가지 규칙들이 개발되어 왔다^[13]. 특히 본 연구의 대상 시스템은 새로운 주문이 발생하거나, 생산 공정에 이상이 발생하는 경우 수시로 생산스케줄을 변경해야 하는 상황이기 때문에 정적(Static) 스케줄링보다는 동적(Dynamic) 스케줄링 방식으로 접근해야 한다. 따라서 짧은 시간에 새로운 스케줄을 작성하기 위해 널리 알려져 있는 다음과 같은 할당규칙들을 병렬라인에 적합하도록 변경하여 사용하였다. 또한 Non-delay 스케줄 개념을 활용하여 설비가 유희(Idle) 상태가 되면 대기열에서 대기하고 있는 작업을 할당규칙 기준에 의해 투입하는 것으로 가정하였다.

본 논문에서 효율 비교를 위해 채택한 규칙은 EDD (Early Due Date) 규칙, SLACK 규칙, CR (Critical Ratio) 규칙, 단일설비 스케줄링 문제에서 납기지연작업수를 최소화시키는데 활용되는 Hodgson 알고리즘들이다. 이러한 규칙들을 병렬작업장에 적용하기 위해 병렬 작업장 앞에 하나의 대기행렬을 두고 규칙에 따라 작업들을 배열한 후, 병렬작업장에서 작업이 종료되면 대기행렬에서 맨 앞에 있는 작업을 할당하는 방식을 채택하였다. 본 논문에서 비교대상으로 삼은 스케줄링 규칙을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

- 1) EDD : $\min \{D_i\}$
- 2) SLACK : $\min \{D_i - T_{now} - R_i\}$
- 3) CR : $\min \left\{ \frac{D_i - T_{now}}{R_i} \right\}$
- 4) Hodgson's Rule
 - ① 먼저 EDD를 이용해 작업 순서를 정한다.
 - ② 만약 납기를 넘긴 작업이 없다면 중단하고, 아니면 정해진 작업순서에서 제일 처음 납기를 넘긴 작업을 찾는다. 이 때 그 작업을 k번째 작업이라 하자.
 - ③ 첫 작업에서부터 k번째 작업에 이르기 까지 작업시간(P_i)이 가장 큰 작업 j를 찾는다.
 - ④ 작업 j를 제일 마지막 순서로 변경하고 단계 2로 돌아간다.

이 때,
 i : 생산로트의 번호
 D_i : 생산로트 i 의 납기
 P_i : 생산로트 i 의 조립 공정 소요시간

R_i : 생산로트 i 의 조립 잔여 공정 소요시간, 만일 아직 착수하지 않은 작업인 경우 $P_i=R_i$
 T_{now} : 리스케줄링 시간

6. 시뮬레이션 실험 및 결과

시뮬레이션 모델은 Rockwell soft사의 시뮬레이션 툴인 Arena[®]를 이용해 Fig. 4처럼 개발하였다. 본 논문에서 사용된 스케줄링은 주문서를 생성시키는 모델, 각 주문서들에 스케줄링 방법을 반영하여 일정 계획을 수행하기 위한 모델, 그리고 생산 공정라인에 대한 모델 이렇게 총 3가지로 구성된다.

시뮬레이션 실험을 위해 다음과 같은 입력 자료를 사용하였다. 시뮬레이션 기간은 1년 동안 고객의 주문을 처리하도록 만들었으며, 1일 운영시간은 24시간으로 가정하였다.

6.1 주문서 정보

렌즈 모듈 제품은 5개의 업체에서 2종류의 렌즈모듈을 주문하는 것으로 가정하였으며, 각 종류별로 50%의 비율을 가지는 이산분포로 정의하였다. 주문은 지수분포 3일 간격으로 생성시켰으며, 주문 수량은 삼각분포(50,000, 60,000, 70,000)로 정의하였다. 조립공정의 경우 개당 조립시간을 3.5초로 하였으며, 각 주문별 납기는 Tight 주문, Normal 주문, Loose 주문 등 3가지로 구분하였다. Tight 주문은 주문량 생산소요시간의 1.5배로 설정하였으며, Normal 주문은 2.0배, Loose의 경우 2.5배로 설정하였다. 또한 주문들 사이에 긴급 주문을 생성하기 위해 주문서 중 10%를 긴급 주문으로 가정하고 주문 수량은 삼각분포(10,000, 20,000, 30,000)로 정의하였다. 긴급주문은 주문 발생 시 우선적으로 생산라인에 투입하도록 우선권을 부여하였으며, 긴급주문의 납기는 주문이 발생한 날 자정까지로 하였다. 하나의 주문은 여러 개의 생산 Lot로 나뉘는데 각 생산 Lot의 수량은 10,000개로 가정하였다.

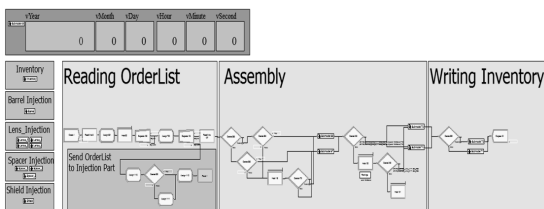


Fig. 4. Scheduler Model

6.2 공정 정보

사출기는 총 6대를 가정하였는데 사출기에서는 경통과 렌즈를 사출한다. 스페이서와 실드의 경우 외부에서 정해진 기간에 정해진 수량만큼 입고되며, 이 부품들이 부족해 폰 카메라 렌즈 모듈 조립 공정이 중단되는 상황은 없다고 가정하였다. 경통은 2개의 캐비티를 가지는 금형이 두 종류의 모델에 대해 각각 2벌씩 있다고 가정하였으며, 렌즈의 경우는 P1, P2, P3, P4 렌즈별로 각각 4개의 캐비티를 가지는 금형이 1벌씩 있다고 가정하였다. 따라서 두 종류의 제품을 고려하면 렌즈금형은 총 8벌이 되며, 경통의 금형 4벌을 포함하면 총 금형 수는 12벌이 된다. 따라서 6대의 사출기에서 모든 금형을 이용하여 동시에 사출을 진행하는 경우는 없다. 1회 사출에 소요되는 시간(Shot당 소요시간)은 경통과 렌즈 모두 15초로 설정하였다. 사출공정의 금형 교체에 소요되는 시간은 2시간(7200초)으로 가정하였다.

코팅공정은 렌즈에 대해서만 수행하는데, 4대의 코팅기계를 고려하였다. 코팅은 동일한 렌즈끼리 모아서 बै치 생산방식으로 수행을 하는데 동일한 렌즈에 대해 캐비티별 구분을 하지 않으며, 1회에 코팅할 수 있는 수량은 생산 Lot 크기인 10,000개로 설정하였다. 하나의 बै치당 코팅시간은 2시간으로 설정하였다.

조립공정은 2개의 자동화조립라인이 병렬로 운영되는 것으로 가정하였다. 렌즈모듈 조립을 위해서 사용되는 경통과 P1, P2, P3, P4렌즈의 조합은 Table 1에 있는 것과 같이 두 종류의 모델에 대해 각각 8종류의 조합이 있는 것으로 가정하였으며, 개당 조립시간은 3.5초를 가정하였다. 조립라인은 9개의 부품이 순차적으로 조립되는 자동화라인이기 때문에 개별 조립라인의 택트타임(Takt Time)은 개별부품의 조립시간인 3.5초와 동일하다.

조립조합은 경통부터 현재 부품별 재고량을 파악하여 재고가 가장 많은 캐비티를 선정하고, Table 1과 같은 조합표를 참조하여 해당 경통 캐비티와 일치하는 조합 중에서 P1렌즈 특정 캐비티의 재고가 많은 조합을 선정한 후 다시 P2렌즈 캐비티를 찾는 방식으로 모델링하였다. 이러한 방법으로 부품별 소요량을 어느 정도 균형있게 맞추었다.

6.3 실험결과

실험은 다음과 같은 시나리오 하에서 실시하였다. 스케줄링 규칙은 본 논문에서 제시한 BF 휴리스틱 방법과 4절에서 비교대상으로 선정한 EDD, Slack, CR, Hodgson Rule의 4가지 할당규칙 등 총 5가지로 하였으며, 주문의 납기수준은 6.1절에서 제시한 바와 같이 Tight, Normal,

Table 2. The Result of Experiments (BF-Heuristic)

Due Date Level	WIP Level	Number of Order	Number of Late Orders	On-time Delivery Rate (%)
Tight	10,000	7,652	6,424	16.05
	20,000	7,652	4,571	40.26
	50,000	7,652	1,880	75.43
	100,000	7,652	310	95.95
Normal	10,000	7,652	5,773	24.56
	20,000	7,652	4,042	47.18
	50,000	7,652	1,520	80.14
	100,000	7,652	298	96.11
Loose	10,000	7,652	5,363	29.91
	20,000	7,652	3,741	51.11
	50,000	7,652	1,282	83.25
	10,0000	7,652	281	96.33

Loose의 세 가지 조건을 고려하였다. 재공품 재고(WIP)는 코팅공정 전·후에 각 부품에 대해 캐비티 별로 10,000개, 20,000개, 50,000개, 100,000개를 각각 두는 네 가지 조건을 선택하였다. 따라서 총 실험시나리오는 60가지다.

Table 2는 위에서 정의한 실험 조건에 따라 BF-Heuristic으로 실험을 10번 반복한 결과이다. 1년간 평균 주문수는 7,652개이며, 납기수준이 Tight하고, 재공품 재고를 10,000개로 하였을 경우에는 납기준수율은 16.05%였다. 납기수준이 여유가 있고, 재고가 늘어날수록 납기준수율은 최대 96.33%까지 증가하였다.

Table 3은 BF-Heuristic 과 비교대상인 4종류의 할당 규칙을 각각 적용하여 10회 반복하여 실험한 결과다. 굵은 글자로 표시된 것이 납기준수율이 가장 높은 스케줄링 규칙인데 모든 시나리오에서 본 논문에서 제시한 BF-Heuristic 방법이 우수한 것으로 나타났다.

Table 3을 살펴보면 재공품 재고가 100,000개인 경우 각 할당 규칙들의 납기 준수율의 범위(Range)가 작은 것을 알 수 있다. 그 의미는 재공품 재고가 충분하면 재공품을 이용하여 조립공정에서 바로 조립을 할 수 있기 때문에 각 스케줄 규칙에 따른 영향력이 줄어든다는 것을 의미한다. 하지만 이미 도요타 시스템에서 과잉재고는 낭비로 정의한 바 있고 현실적으로 납기 준수율을 높이기 위해 무한 재고를 가지고 갈 수는 없다.

반면에 재공품 재고가 20,000개일 때는 규칙에 따른 납기준수율의 범위가 커지며, 납기수준이 Loose 할수록

Table 3. Comparison of On-time Delivery Rates (%)

Due Date Level	WIP Level	Rules					Range*
		EDD	Slack	CR	Hodgson	BF	
Tight	10,000	13.88	14.00	12.56	11.89	16.05	4.16
	20,000	35.60	35.73	35.23	33.35	40.26	6.91
	50,000	69.12	68.87	68.40	69.25	75.43	7.03
	100,000	94.93	95.26	92.85	93.36	95.95	3.10
Normal	10,000	20.82	18.57	18.05	16.86	24.56	7.70
	20,000	42.81	39.51	41.05	37.47	47.18	9.71
	50,000	71.67	71.77	71.81	71.97	80.14	8.47
	100,000	95.66	95.69	93.99	95.22	96.11	2.12
Loose	10,000	25.30	22.83	21.86	20.65	29.91	9.26
	20,000	45.92	42.33	44.07	40.72	51.11	10.39
	50,000	74.31	73.29	74.05	73.81	83.25	9.96
	100,000	95.88	95.81	94.47	95.56	96.33	1.86

*Range=max value-min value

오히려 범위가 커짐을 알 수 있다. 여기서 범위가 커진다는 의미는 본 연구에서 제시한 BF-Heuristic의 효율이 상대적으로 더 좋아진다는 것을 의미한다.

7. 결 론

본 논문에서는 스마트폰 용 카메라 렌즈 모듈을 생산하는 작업장에 적용할 수 있는 스케줄러를 시뮬레이션을 기반으로 개발한 사례를 소개하였다. 본 논문의 대상시스템은 사출-코팅-조립의 3단계로 구성이 되는 흐름생산방식이며, 각 공정별로 복수의 기계가 존재하는 FSMP (Flow Shop with Multiple Processors)시스템이다. 또한 추가적으로 사출공정에는 부품별로 금형수량이라는 추가 제약이 존재한다. 더 나아가 각 금형에는 복수의 캐비티가 존재해서 1회 사출을 할 때 캐비티 수만큼의 부품이 생산되는데, 각 캐비티별로 서로 다른 품질특성을 가지기 때문에 별도의 부품으로 고려해야 한다는 제약이 추가적으로 존재한다. 이와 같은 제약은 조립공정에서 조립을 할 때 활용할 수 있는 조합수가 제한적이라는 또 다른 제약이야기시킨다. 또한 코팅공정 전후에 일정 수량의 재공품 재고를 보유하는 것이 허용된다.

이와 같은 상황을 기존에 알려진 스케줄링 알고리즘을 이용하여 해결하는 것은 불가능하다. 또한 새로운 주문이 들어오거나 기계나 금형이 파손될 경우 수시로 새로운 스

케줄을 작성해야하기 때문에 동적 스케줄링 개념으로 접근해야 한다. 따라서 Backward-Forward 개념을 도입하여 고려대상 시스템에 적합한 시뮬레이션 기반의 스케줄링 개발방법을 소개하였다.

본 논문에서 제시한 BF-Heuristic 방법이 최적해를 보장한다는 수리적 근거는 없다. 또한 유사한 상황을 다른 선행연구도 찾을 수 없었다. 따라서 불가피하게 본 논문에서 제안된 방식과 일반적으로 널리 사용되는 EDD, SLACK, CR, Hodgson 방법을 이용하여 Non-delay 방식으로 투입할 때의 납기준수율을 시뮬레이션을 이용하여 비교하였다. 그 결과 본 논문에서 제시한 방법이 다른 4가지 방법보다 항상 우수한 결과를 제공함을 알 수 있었다.

현 스케줄러는 납기준수율의 극대화에 초점을 맞추어 개발하였지만 향후에는 렌즈 방향성에 따른 캐비티 별 조합에서 발생하는 특정 캐비티의 폐기량을 최소화할 수 있도록 부품 소요의 평균화라는 측면을 추가로 반영할 계획이다. 이를 위해서는 납기준수율의 최대화와 각 캐비티별 부품소요량의 편차를 최소화 시키는 두 가지 목적함수를 고려하는 스케줄링 알고리즘을 개발해야 한다.

References

1. Azzi, A., Faccio, M., Persona, A. and Sgarbossa, F., "Lot Splitting Scheduling Procedure for Makespan Reduction and Machine Capacity Increase in a Hybrid Flow Shop with Batch Production", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 59, No. 5-8, pp.775-786, 2012.
2. Hirano, S., Kobayashi, S. and Eguchi, T., "Integrated Production Planning and Scheduling Using Backward/Forward Scheduling Simulation", *Proceedings of ICROS-SICE International Joint Conference*, Fukuoka, Japan, pp.2631-2635, 2009.
3. Hunsucker, J.L. and Shah, J.R., "Comparative Performance Analysis of Priority Rules in a Constrained Flow Shop with Multiple Processor Environment", *European Journal of Operational Research*, Vol. 72, No. 1, pp.102-114, 1994.
4. Kim, H.J., Kim, J.H., Kim, Y.G., Song, J.Y. and Moon, D.H., "A Simulation Study on the Development of Injection Mold for the Parts of Phone Camera Lens Module", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 22, No. 4, pp.83-92, 2013.
5. Koo, P.H. and Moon, D.H., "A Review on Control Strategies of Batch Processing Machines in Semiconductor Manufacturing", *Preprints of the 2013 IFAC Conference on Manufacturing Modeling, Management and Control*, Saint Petersburg, Russia pp.1712-1717, 2013.
6. Mahmoodi, F., Mosier, C.T., and Guerin, R.E., "The Effect of Combining Simple Priority Heuristics in Flow-Dominant Shops", *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 3, pp.819-839, 1996.
7. Qian, B., Wang, L. Huang, D., Wang, W. and Wang, X., "An Effective Hybrid DE-based Algorithm for Multi-objective Flow Shop Scheduling with Limited Buffers", *Computers and Operations Research*, Vol.36, No.1, pp.209-233, 2009.
8. Ribas, I., Leisten, R. and Framiñan, J.M., "Review and Classification of Hybrid Flow Shop Scheduling Problems from a Production System and a Solutions Procedure Perspective", *Computers and Operations Research*, Vol. 37, No. 8, pp.1439-1454, 2010.
9. Song, J.Y., Ha, T.H., Lee, C.W., Kim, D.H. and Jeon, J., "Automatic Combination and Assembly System for Phone Camera Lens Module", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 38, No. 2, pp.219~225, 2014
10. Sule, D.R., *Industrial Scheduling*, PWS Publishing Company, Boston, U.S.A., 1997.
11. Takaku, K. and Yura, K., "Online Scheduling Aiming to Satisfy Due Date for Flexible Flow Shops", *JSME International Journal. Series C, Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, Vol. 48, No.1, pp.21~25, 2005.
12. Voß, S. and Witt, A., "Hybrid Flow Shop Scheduling as a Multi-mode Multi-project Scheduling Problem with Batching Requirements: A Real-world Application", *International Journal of Production Economics*, Vol. 105, No. 2, pp.445-458, 2007.



김 재 훈 (jhkim9461@gmail.com)

2012 창원대학교 산업시스템공학과 공학사
2012~2014 창원대학교 산업시스템공학과 석사과정
2014~현재 삼성테크윈 선행기술연구소

관심분야 : 물류시스템 분석, 시뮬레이션을 이용한 스케줄러 개발



이 승 우 (hanly12@nate.com)

2013 창원대학교 산업시스템공학과 공학사
2013~현재 창원대학교 산업시스템공학과 석사과정

관심분야 : 스케줄링, 시뮬레이션



이 대 령 (dudtlrdl2@naver.com)

2014 창원대학교 산업시스템공학과 공학사
2014~현재 창원대학교 친환경해양플랜트 FEED 전공 석사과정

관심분야 : 스케줄링, 시뮬레이션



박 철 순 (cspark@changwon.ac.kr)

1992 성균관대학교 산업공학과 공학사
1994 포항공대 산업공학과 공학석사
1991 포항공대 산업공학과 공학박사
2004~현재 창원대학교 산업시스템공학과 부교수

관심분야 : 데이터베이스, BPM, 신뢰도예측



송 준 엽 (sjy658@kimm.re.kr)

1983 숭실대학교 산업공학과 공학사
1985 숭실대학교 산업공학과 공학석사
1991 부산대학교 산업공학과 공학박사
1985~현재 한국기계연구원 초정밀시스템연구실 실장

관심분야 : 자율지능 사출시스템 설계, 자동화시스템 제어, 반도체 패키징



문 덕 희 (dhmoon@changwon.ac.kr)

1984 한양대학교 산업공학과 공학사
1986 한국과학기술원 산업공학과 공학석사
1991 한국과학기술원 산업공학과 공학박사
1990~현재 창원대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야 : Facilities Planning, 시뮬레이션 응용, Scheduling