

혼합 흐름공정의 할당규칙조합에 관한 연구 : 인쇄회로기판 공정을 중심으로

윤성욱 · 고대훈 · 김지현 · 정석재[†]

광운대학교 경영학부

A Study on Combinatorial Dispatching Decision of Hybrid Flow Shop : Application to Printed Circuit Board Process

Sungwook Yoon · Daehoon Ko · Jihyun Kim · Sukjae Jeong

Business School, Kwangwoon University

Dispatching rule plays an important role in a hybrid flow shop. Finding the appropriate dispatching rule becomes more challenging when there are multiple criteria, uncertain demands, and dynamic manufacturing environment. Using a single dispatching rule for the whole shop or a set of rules based on a single criterion is not sufficient.

Therefore, a multi-criteria decision making technique using 'the order preference by similarity to ideal solution' (TOPSIS) and 'analytic hierarchy process' (AHP) is presented. The proposed technique is aimed to find the most suitable set of dispatching rules under different manufacturing scenarios. A simulation based case study on a PCB manufacturing process is presented to illustrate the procedure and effectiveness of the proposed methodology.

Keywords: Dispatching Rule Combination, AHP, TOPSIS, Multiple Criteria Decision Making

1. 서론

혼합 흐름공정(Hybrid Flow Shop)은 n 개의 작업으로 구성된 한 주문이 연속된 m 개의 공정에서 처리되는 일반적인 제조환경이다(Brah *et al.*, 1999). 혼합 흐름공정과 흐름공정을 구분 짓는 명확한 기준은 없으나 다음과 같은 특징을 혼합 흐름공정으로 정의하고 있다.

- 1) 공정의 개수 m 이 2이상이어야 한다($m \geq 2$).
- 2) 작업공정은 한 개 이상의 기계(M)를 갖추어져 있다.
- 3) 작업은 m 개의 작업공정을 모두 경유하여야 한다. 단, 특정 작업이 한 개 정도의 작업공정을 경유하지 않아도 인정한다.

일반적으로 1)과 3)을 만족하는 경우를 흐름공정, 1), 2), 3)을 모두 만족하는 경우를 혼합 흐름공정이라 정의한다. 혼합 흐름공정에서 한 개의 기계는 최대 한 개의 작업(또는, 배치단위

작업)을 처리할 수 있고, 여러 작업들이 동일한 기계에서 처리되어야 할 경우에는 임시저장소(Buffer)에서 대기한다. 혼합 흐름공정은 처리해야 할 작업들의 공정순서가 같고 기계를 동시에 점유 할 수 없기 때문이다.

이러한 혼합 흐름공정의 우선순위규칙을 다루는 것은 섬유, 종이, 반도체, 조립산업 등과 같은 자동화된 제조환경에서 실질적인 대안으로써 중요성을 갖는다(Jayamohan and Rajendran, 2000). 일반적으로 혼합 흐름공정에서 사용되는 우선순위 할당규칙은 선입선출(First in First Out : FIFO) 규칙이다(Blackstone *et al.*, 1982; Pinedo, 1995). 그러나 공정마다 상이한 운영 특성 및 수요의 불확실성 때문에 단일로 적용되는 규칙은 효율적인 측면에서 우위를 점할 수 없다. 따라서 효율적인 할당규칙의 조합을 찾는 것이 제조기업의 다양한 성과지표를 충족하는 데 효율적인 방안으로 활용되고 있다(Fanti *et al.*, 1998; Laforge and Barman, 1989; Petroni and Rizzi, 2002; Rajendran and

[†] 연락저자 : 정석재 교수, 139-701 서울특별시 노원구 광운로 20(월계동 447-1) 광운대학교 경영학부, Tel : 02-940-5294, Fax : 02-940-8181, E-mail : sjeong@kw.ac.kr

2012년 7월 5일 접수; 2012년 11월 19일 수정본 접수; 2012년 11월 27일 게재 확정.

Holthaus, 1999; Salvador, 1973).

많은 연구에서 할당규칙 조합 간의 비교 분석 연구가 활발히 진행되고 있다. 예를 들면, Chan and Chung(2004)의 연구는 잡 샵 일정계획과 흐름공정의 벤치마킹 문제를 대상으로 몇 가지 할당규칙과 근사최적화 알고리즘을 비교했다. 이 연구에서는 Makespan(C_{max}), Maximum Lateness(L_{max}), Flow Time($\sum C_i$), Total Tardiness($\sum T_i$), Tardy Job($\sum U_i$)의 성과지표 값을 비교하는 형태로 진행됐고, 혼합 흐름공정문제에서 할당규칙을 적용하는 것이 의미 있는 결과를 보여줌을 제시했다(Braman, 1997; Cha and jung, 2003; Chen *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 1997).

한편, 혼합 흐름공정에서의 할당규칙을 비교한 연구들을 살펴보면, Botta-Genoulaz(2000)는 제약된 FSMP(Flow Shop with multiple processor)에서 여섯 가지의 할당규칙들을 비교하는 연구를 통해 SPT(Shortest Process Time)규칙이 총 주문 처리시간과 평균 사이클 타임의 최소화 관점에서 좋은 성과를 보임을 증명하였다. 또한, 공정의 복잡도가 높아질 때 FIFO 규칙이 최대 사이클 타임을 감소시키는데 효과적임을 밝혀냈다. Sarper and Henry(1996)는 작업이 동적으로 도착하는 혼합 흐름공정에서 MDD(modified due date)와 SPTL(Shortest processing time local)이 최대 및 평균 사이클 타임 그리고 평균 납기 지연 시간에서 다른 할당규칙보다 좋은 성과가 있음을 보였다. Holthaus (1999)는 동적인 흐름공정(Dynamic Flowshop)에서 SPT 규칙이 평균 사이클 타임에서 좋은 성과를 보였지만 평균 납기 지연 시간은 상대적으로 좋지 않다는 결과를 보인 바 있다.

최근까지 혼합 흐름공정에서 할당규칙의 성능을 비교하는 연구가 활발히 진행되어 오고 있지만, 대부분 연구에서는 단일 할당규칙들 간의 비교 연구를 진행한 사례가 많았으며(Blackstone *et al.*, 1982; Yang *et al.*, 2004; Chang *et al.*, 1996), 공정의 운영 특성 및 불확실한 수요를 고려한 공정별 효율적인 할당규칙의 조합을 찾으려는 시도는 미비한 실정이다. 뿐만 아니라, 할당 규칙의 성능을 측정하는 성과기준(criteria)을 선정함에 있어, 단일 성과기준을 활용하는 사례가 대부분이었으며, 다양한 성과기준을 함께 고려하는 시도는 많지 않다(Salvador, 1973; Santos *et al.*, 1996; Yang *et al.*, 2007).

본 연구에서는 혼합 흐름공정을 대상으로 병목공정 별로 상이한 할당규칙을 적용하여 최적 조합을 찾는 연구를 시도하였다. 또한 규칙 조합의 성과를 평가하기 위한 기준으로 전체 주문 처리시간(Makespan), 개별 주문 처리시간(Cycletime), 평균 납기 지연시간(Average Tardiness), 납기 준수율(Duedate Level)을 함께 고려하였다. 이를 위해 계층화 의사결정법(Analytic Hierarchy Process: AHP)(Saaty, 1980; Sugihara *et al.*, 2004)과 TOPSIS 방법(Technique for Order Preference by Similarity to ideal Solution)(Hwang and Yoon, 1981; Yang *et al.*, 2005)을 활용한 다 기준 의사결정 방법을 제안하고자 한다. 또한, 제안된 방법에 대한 검증은 위해, 본 연구에서는 국내 인쇄회로기판을 생산하는 K제조기업의 생산라인을 대상으로 시뮬레이션 모형을 기반으로 한 실증사례 분석을 수행하였다.

2. 연구 분석 절차

본 연구에서는 앞서 언급한 다 기준 의사결정 방법을 통해 병목공정 별 할당규칙 조합을 찾기 위한 연구모형을 제안했다. 제안된 모형은 <Figure 1>과 같이 총 7개의 단계로 진행되며 세부적인 내용은 아래와 같다.

STEP 1 : 시뮬레이션 모델 구축 및 분석

대상기업의 공정 현황을 파악하고, 병목공정을 찾기 위해 시뮬레이션 공정 모델링을 한다(Arbel and Vargas, 1999; Bareet and Barman, 1986; Song and Jamalipour, 2005; Wild and Pignatiello Jr., 1991)

STEP 2 : 자원의 부하율 측정 및 병목공정 선정

상이한 할당규칙을 적용하기 위한 병목공정을 선정하기 위해 시뮬레이션 분석을 통해 모든 공정을 대상으로 현재 사용하고 있는 우선순위 규칙인 FIFO를 이용하여 공정 부하율을 측정한다. 공정 부하율은 개략적 생산능력 계획(Rough Cut Capacity Planning : RCCP)을 적용하였으며(Arnold, 1992), 부하율이 높은 순서대로 병목공정을 선정하기 위한 개수만큼 추출한다. 한편, 부하율을 구한 식 (1)은 다음과 같다(Arnold, 1992; Banae Costa *et al.*, 1999; Greco *et al.*, 2002).

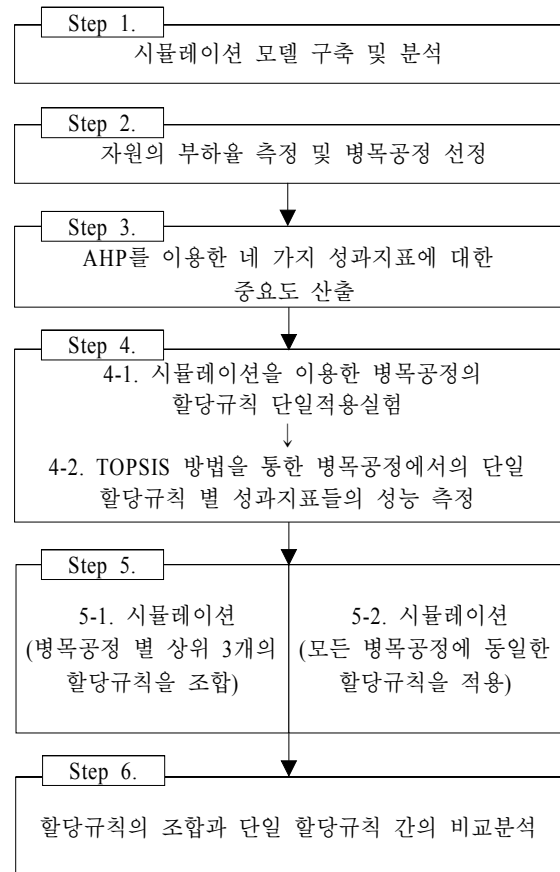


Figure 1. Research procedure

$$L_s = \frac{\sum_{k=1}^K P_{ks} Q_k}{PTM_s}, \text{ for } s = 1, 2, \dots, s \quad k = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

L_s : 공정 s의 부하율

P_{ks} : 공정 s에 대한 제품 k의 처리시간

Q_k : 제품 k의 수량,

PT : 전체 운영시간

M_s : 공정 s의 기계대수

STEP 3 : AHP를 이용한 네 가지 성과지표에 대한 중요도 산출

할당규칙 조합들의 순위를 결정하기 위한 성과지표는 앞서 언급한 바와 같이 4가지를 고려하였으며, AHP 분석을 위한 성과 기준들 간의 상대적 중요도를 산출하기 위해 전문가를 활용한 델파이 방법을 적용한다(Chan and Chung, 2004; Chang *et al.*, 1996; Kwong and Bai, 2003).

STEP 4-1 : 시뮬레이션을 이용한 병목공정의 할당규칙 단일 적용실험

2단계에서 선정한 세 병목공정마다 할당 규칙 군들을 적용한 조합을 만들기 위하여 각각의 병목공정에서 가장 좋은 할당규칙을 선택했다. 이를 위해 할당규칙 군들을 각 병목공정에 개별로 적용하여 상위 3개의 규칙들을 선정했다. 실험은 병목공정 한 곳에 할당규칙 군들을 바꿔가며 적용하고, 나머지 병목공정과 비 병목공정은 FIFO 규칙으로 적용하는 방법으로 진행했다.

STEP 4-2 : TOPSIS 방법을 통해 병목공정에서의 단일 할당규칙 별 성과지표들의 성능측정

2단계에서 선정된 병목공정들에 적용하고자 하는 할당규칙 군들을 개별적으로 적용하여 성과지표 값들을 추출하였다. 비 병목공정들은 현재 운영 중인 FIFO 규칙을 적용하였다. 또한, 단일 할당 규칙별 성과지표들의 상대적 우선순위를 결정하기 위해 TOPSIS 방법을 적용하였다. Hwang and Yoon(1981)에 의해 개발된 TOPSIS 방법은 다 기준 의사결정 방법 중 하나로 선택된 대안이 최선의 이상적 대안으로부터 가장 가까운 거리에 위치해야 하고, 동시에 부정적으로 이상적인 대안으로부터는 가장 멀리 위치해야 한다는 논리에 입각한 의사결정 방법이다. 만일 m개의 대안과 n개의 기준이 고려된다면, i번째 대안(alternative)의 j번째 기준(criteria)은 X_{ij} 로 표현될 수 있다(Braglia and Petroni, 1999; Kim *et al.*, 2003). 세부적인 TOPSIS 방법의 적용과정은 다음의 STEP 4-2-1에서 STEP 4-2-6까지 설명하고 있다.

STEP 4-2-1 : 식 (3)을 사용하여 성과 데이터를 정규화 한다.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

r_{ij} = 성과 데이터 정규화 값

X_{ij} = 성과 데이터 값

STEP 4-2-2 : 식 (4)을 사용하여 정규화된 성과 값의 무게를 측정한다.

$$V_{ij} = W_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

V_{ij} = 정규화 된 성과 값의 중요도

W_j = j번째 기준의 상대적인 중요도, $\sum_{j=1}^n W_j = 1$

STEP 4-2-3 : 식 (5)와 식 (6)를 사용하여 긍정적인 안과 부정적인 안을 파악한다.

$$A^* = v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^* = (\max v_{ij} | j \in R_1), \quad (5)$$

$$(\min_i v_{ij} | j \in R_2 | i = 1, \dots, m)$$

$$A^- = v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^- = (\min v_{ij} | j \in R_1), \quad (6)$$

$$(\max_i v_{ij} | j \in R_2 | i = 1, \dots, m)$$

A^* = 긍정 안의 값

A^- = 부정 안의 값

R_1 = 이익의 집단

R_2 = 손해의 집단

STEP 4-2-4 : 식 (7)과 식 (8)을 사용하여 긍정 안과 부정 안의 상대적인 유클리디안 거리를 계산 한다.

$$E_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$E_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

E_i^* = 긍정적 안에서부터 이상적인 I까지의 유클리디안 거리 측정

E_i^- = 부정적 안에서부터 이상적인 I까지의 유클리디안 거리 측정

STEP 4-2-5 : 식 (9)을 사용하여 이상적인 안의 유사성을 측정 한다.

$$C_i^* = \frac{E_i^-}{E_i^* + E_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

c_i^* = 최상의 이상적 대안의 유사성 $0 \leq c_i^* \leq 1$

STEP 4-2-6 : 최고의 대안을 선택하기 위해 정렬하여 순위를 정한다.

STEP 5-1 : 시뮬레이션 실험 (병목공정 별 상위 3개의 할당규칙 조합)

할당규칙 별 성과지표에 대한 우선순위에서 상위 3개 선택하여 조합을 함으로써 총 3ⁿ개(n : 병목공정의 개수)의 할당규칙의 조합을 설계한다. 각각의 설계된 조합을 토대로 시뮬레이션 분석을 수행하며, TOPSIS 방법에 따라 최적의 할당규칙 조합을 결정한다(Arbel, 1989).

STEP 5-1 : 시뮬레이션 실험(모든 병목공정에 동일한 할당규칙을 적용)

병목공정에 할당규칙을 조합하여 사용하는 경우와 조합하지 않고 하나의 규칙만을 사용한 경우를 비교하기 위하여 모든 병목공정에 동일한 할당규칙을 적용하여 실험했다.

STEP 6 : 할당규칙의 조합과 단일 할당규칙간의 비교 분석

최종적으로 도출된 할당규칙 조합의 성능 비교를 위해, 7가지의 할당 규칙(Chang *et al.*, 1996)을 개별적으로 적용했을 때와의 비교실험을 수행한다.

PCB 공정 특성은 제품의 특징에 따라서 처리시간이 상이하 며, 제품의 크기, 두께, 층수에 따라 처리시간이 달라지고 주문 량에 따라서도 기계의 자동/수동으로 구분된다. 또한, 제품의 크기와 종류에 따라서 준비시간의 차이를 보인다. 이처럼 제 품의 특징에 따라 생산라인에 변화가 많은 공정은 본 연구에 서 제안한 방법을 검증하기에 좋은 실험대상이라 할 수 있다.



Figure 2. PCB manufacturing process of K company

3. 인쇄회로기판 공정 프로세스를 대상으로 한 사례 연구

3.1 대상 공정 현황

본 연구의 대상이 되는 K업체는 인쇄회로기판 제조업체로, <Figure 2>와 같은 공정 흐름도를 가진다.

3.2 시뮬레이션 분석을 위한 기준 정보

본 연구에서 제안한 방법을 검증하기 위해 시뮬레이션의 실험데이터를 구성했다. K업체의 PCB 공정 라인의 특성상 제품 의 크기와 종류에 따라 특정 공정에서 제품처리시간의 차이가 난다. <Table 1>과 <Table 2>는 각각 전체 공정시간과 실험에 사용한 수효 데이터를 보여주고 있다.

Table 1. Processing and setup time by each process

공정	분류	공정시간
재단공정	준비시간	작업자가 원판을 설비에 고정하는 시간(1분~3분)
	작업시간	((수량×(판넬 층수-2))/2/등분 수)×9분
내층공정	작업시간	컨베이어 벨트 길이 : 3m, 컨베이어 속도 : 1m/min
라미네이팅 공정	작업시간	필름 붙이는 시간 : 15초, 건조시간 : 9분~15분(size에 따라 최대 15분), 필름 롤 교체시간 : 5분~10분
	준비시간	먼지 제거, 회로 필름 및 원판 고정 시간 : 20분~25분
노광공정	작업시간	U/V 빛 투시 시간 : 25초, 건조시간 : 2시간~5시간(판넬의 size에 따라 최대 5시간)
	준비시간	작업자가 원판을 설비에 고정하는 시간(25초~30초)
DES 공정	작업시간	컨베이어 벨트 길이 : 3m, 컨베이어 속도 : 1m/min
	준비시간	작업자가 원판을 설비에 고정하는 시간(25초~30초)
가이드 홀 공정	작업시간	판넬 모서리에 구멍을 뚫는 시간 : 2분
	준비시간	회로를 컴퓨터 프로그램에 세팅 하는 시간 : 1분
검사공정	작업시간	회로검사 시간 : 5분~45분(회로의 복잡도(홀 개수)에 따라 최대 45분)
	준비시간	회로를 컴퓨터 프로그램에 세팅 하는 시간 : 1분
수리공정	작업시간	5분~10분
옥사이드 공정	작업시간	컨베이어 벨트 길이 : 3m, 컨베이어 속도 : 1m/min
1차 적층 공정	작업시간	내층제와 prepreg를 쌓는 시간 : 15분~30분(판넬의 층수와 두께에 따라 최대 30분)
2차 적층 공정	작업시간	동박과 정면판을 쌓는 시간 : 10분~15분(판넬의 층수와 두께에 따라 최대 30분)
프레스 공정	준비시간	압축박스에 판넬 고정 시간 : 3분
	작업시간	압착시간 : 120분~250분(prepreg 종류에 따라 최대 250분)

Table 2. Demand data

No.	판넬 규격	납기일	Prepreg 종류	층수	두께	등분 수	홀 크기	수주량	내층동박 두께	홀 수
1	382×325	3월 7일	DS, LG(7408)	6	3	12	0.45	35	35	15000
2	241×628	3월 7일	EMC P.P 用	8	3	12	0.5	73	70	9000
3	490×216	3월 7일	C/L 적층 用	16	4	18	0.3	17	70	6000
4	390×344	3월 13일	P.P.E 자재 用	16	5	12	0.5	127	70	17000
5	222×229	3월 12일	P.P.E 자재 用	12	4	36	0.5	94	70	12000
6	499×297	3월 15일	P.P.E 자재 用	20	3.2	15	0.2	75	70	7000
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
46	428×594	4월 3일	DS, LG(7408)	16	5	6	0.5	93	70	13000
47	631×548	4월 3일	RCC 用	16	3	4	0.25	69	70	8000
48	474×568	4월 6일	FPC 用	22	5	6	0.35	88	70	12000
49	628×493	4월 6일	할로겐프리 P.P 用	8	3.2	6	0.2	24	70	6000
50	351×210	4월 7일	할로겐프리 P.P 用	18	5	28	0.25	17	70	8000
51	405×639	4월 8일	Bending 用	18	4	6	0.2	58	70	14000
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
63	223×586	5월 16일	HI-TG 用	10	5	12	0.5	93	70	7000
64	305×229	5월 20일	HI-TG 用	12	5	24	0.5	130	70	7000
65	552×293	5월 21일	HI-TG 用	16	4	10	0.2	7	70	12000
66	618×542	5월 21일	3.2t 이상	12	3	4	0.45	12	70	11000
67	225×287	5월 21일	일반(주름예방) 用	8	3	30	0.35	77	70	12000
68	417×638	5월 25일	일반(주름예방) 用	10	4	6	0.3	132	70	6000

4. 시뮬레이션 분석

4.1 시뮬레이션 모델링

인쇄회로기판의 공정을 반영하여 시뮬레이션 모델을 구축했다. 시뮬레이션 모형은 Arena 10.0에 의해 구축되었으며, (1) 공정의 특징과 공정시간, (2) 할당규칙 시스템, (3) 네 가지 성과지표 측정 등 세 가지를 중요한 요소로 다루었다(eM-plant User's Manual Version 5.5, 2001).

4.2 공정의 부하율

병목공정을 선정하기 위하여 각 공정의 가용능력을 측정하여 부하율을 산출했다. 식 (1)을 사용하여 부하율을 측정한 결과 <Figure 3>과 같이 재단공정, 노광공정, 1차 적층공정이 다

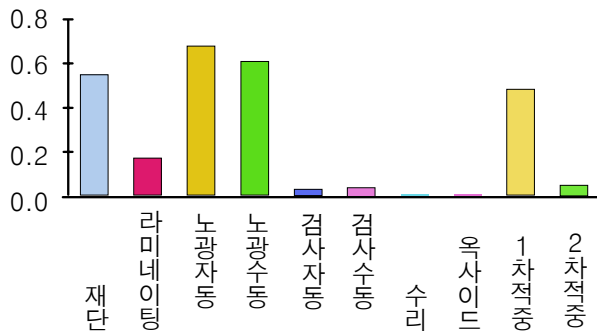


Figure 3. Lead factor by each process

른 공정보다 상대적으로 공정 부하율이 높게 측정되어 병목공정으로 선정했다.

4.3 성과지표에 대한 가중치

할당규칙 조합을 찾기 위해 성과지표에 대한 가중치를 산출했다. K업체의 의사결정을 담당자들에게 네 가지 성과지표에 관하여 AHP 설문조사를 실시하였고, 설문조사를 바탕으로 식 (2)를 적용하여 산출된 각 성과지표에 대한 가중치 값은 <Table 3>과 같다. 전체 주문 처리시간, 개별 주문 처리시간, 평균 납기 지연시간, 납기 준수율의 중요도가 각각 0.28, 0.14, 0.20, 0.38로 산출됐으며, 설문 대상자가 질문에 대하여 일관적으로 답변을

Table 3. AHP results

	평균납기 지연시간	전체 주문 처리시간	개별주문 처리시간	납기 준수율
평균납기 지연시간	1	0.5	2	0.5
전체 주문 처리시간	2	1	2	0.5
개별주문 처리시간	0.5	0.5	1	0.5
납기 준수율	2	2	2	1
가중치	0.20	0.28	0.14	0.38

했는지에 관한 일관성 평가 값이 0.0406으로 일반적으로 0.1이하의 값은 신뢰할만한 수준으로 알려져 있는 점을 감안할 때, AHP 분석이 타당성을 가짐을 의미한다.

4.4 병목공정 할당 규칙 변경에 따른 성과 추출

본 연구에서 고려된 할당 규칙들은 <Table 4>와 같다. FIFO를 포함하여 총 7개의 할당 규칙을 활용하였으며, 여러 연구에서 각 할당 규칙의 효율성은 이미 입증된 바 있다(Blackstone *et al.*, 1982; Grabot and Geneste, 1994).

Table 4. Dispatching rules used in this study

우선순위규칙	규칙설명
FIFO	가장 먼저 도착한 작업순서
EDD	납기일이 가장 빠른 작업순서
SPT/TWK	고려중인 공정의 소요시간을 전체 공정시간으로 나눈 비율이 가장 작은 순서
SPT/TWKR	고려중인 공정의 소요시간을 잔여 공정시간으로 나눈 비율이 가장 작은 순서
LPT/TWK	고려중인 공정의 소요시간을 전체 공정시간으로 나눈 비율이 가장 큰 순서
SLACK	납기일로부터 잔여작업시간을 뺀 여유가 가장 작은 작업순서
C.R	납기일까지 남아 있는 시간을 잔여 공정시간으로 나눈 값이 가장 작은 순서

실험하고자 하는 병목공정을 제외한 나머지 공정들에 대해서 FIFO 규칙을 적용하고, 병목공정에 본 연구에서 고려되어진 다양한 할당 규칙을 적용하여 각각의 성과 값을 추출하였다. 총 24번의 실험을 진행 하였고, <Table 5>는 노광 공정에서의 할당 규칙 변경에 따른 성과지표 값들에 대한 결과를 보여주고 있다. 동일한 방법으로, 제 4.2절에서 언급된 나머지 병목 공정들인 재단, 1차 적층 공정에 대해서도 동일한 실험을 수행하였다. 각 병목공정마다 가장 우수한 단일 할당규칙을 추출하기 위하여 <Table 5>의 측정값을 바탕으로 TOPSIS 방법을 이용했다.

Table 5. Performance value according to the dispatching rule changes in expose process

할당규칙	전체 주문 처리시간	개별 주문 처리시간	평균납기 지연시간	납기 준수율
FIFO	78.9	6.50	6.0	63%
EDD	76.7	7.85	2.3	81%
SPT/TWK	78.5	7.05	4.3	72%
LPT/TWK	77.1	7.33	4.6	74%
SLACK	76.7	9.07	5.5	76%
C.R	76.7	8.82	6.5	74%

앞서 설명한 TOPSIS 식 (3)에 의해 정규화 된 값이 <Table 6>에 나타나 있다. <Table 7>은 TOPSIS의 정규화된 값에 AHP 분석에서 상대적 가중치를 결합하여, 담당자들의 의사결정과 정량적 성과지표를 결합한 결과를 보여주고 있다.

Table 6. Normalization value of performances

할당규칙	전체 주문 처리시간	개별 주문 처리시간	평균납기 지연시간	납기 준수율
FIFO	0.3609	0.2920	0.4196	0.2990
EDD	0.3507	0.3525	0.1608	0.3867
SPT/TWK	0.3592	0.3166	0.3007	0.3428
SPT/TWKR	0.3527	0.3289	0.3217	0.3560
LPT/TWK	0.3508	0.4072	0.3846	0.3516
SLACK	0.3509	0.3960	0.4545	0.3604
C.R	0.3512	0.3512	0.3636	0.3516

Table 7. The combined results between the normalization value of TOPSIS and the relative weights of AHP

할당규칙	전체 주문 처리시간	개별 주문 처리시간	평균납기 지연시간	납기 준수율
FIFO	0.1011	0.0409	0.0839	0.1136
EDD	0.0982	0.0494	0.0322	0.1470
SPT/TWK	0.1006	0.0443	0.0601	0.1303
SPT/TWKR	0.0988	0.0461	0.0643	0.1353
LPT/TWK	0.0982	0.0570	0.0769	0.1336
SLACK	0.0983	0.0555	0.0909	0.1370
C.R	0.0984	0.0556	0.0727	0.1336

Table 8. The relative euclidean distance for the result of table 6

할당규칙	E_i^*	E_i^-	C_i^*	순위
FIFO	0.04104	0.01613	0.2822	7
EDD	0.02923	0.06210	0.6800	2
SPT/TWK	0.01721	0.03168	0.6479	3
SPT/TWKR	0.01347	0.03126	0.6989	1
LPT/TWK	0.02684	0.02135	0.4430	5
SLACK	0.03549	0.02455	0.4089	6
C.R	0.02351	0.02310	0.4956	4

한편, <Table 7>의 값을 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 이상적인 대안과 부정적인 대안을 추출하고, 전체 주문 처리시간, 개별 주문 처리시간, 납기지연시간, 납기 준수율에 대한 이상적 대안(E_i^*)과 부정적 대안(E_i^-)을 추출했다(0.0982, 0.0409, 0.0322, 0.1470 : 0.1011, 0.0570, 0.0909, 0.1136). 이 값들을 <Table 8>과 같이 유클리디안 거리측정법을 이용하여 이상적 대안과 부정적 대안과의 거리를 측정하고, 이를 바탕으로 각 병목공정의 우선순위 규칙의 순위를 결정한 결과를 <Table 9>에서 보여주

Table 9. Priority decision of dispatching rules by each bottleneck process

공정	순위				
	1	2	3	4	5
재단공정	EDD	LPT/TWK	SPT/TWKR	C.R	SPT/TWK
노광공정	SPT/TWKR	EDD	SPT/TWK	C.R	LPT/TWK
1ST 적층공정	SLACK	SPT/TWK	EDD	LPT/TWK	FIFO

Table 10. Performance results according to the combination of dispatching rules by each bottleneck process

순서	병목 공정			전체 주문 처리시간	개별 주문 처리시간	평균납기 지연시간	납기 준수율	TOPSIS 점수
	재단공정	노광공정	1차적층 공정					
1	EDD	SPT/TWKR	SLACK	77.14	7.77	7.89	0.70	0.9190
2	EDD	SPT/TWKR	SPT/TWK	77.21	7.84	7.93	0.69	0.9069
3	EDD	SPT/TWKR	EDD	77.28	7.91	7.97	0.70	0.9145
4	EDD	EDD	SLACK	77.49	7.60	9.12	0.74	0.8595
5	EDD	EDD	SPT/TWK	77.55	7.67	9.16	0.75	0.8581
6	EDD	EDD	EDD	77.62	7.73	9.20	0.74	0.8512
7	EDD	SPT/TWK	SLACK	76.87	7.90	17.07	0.79	0.0991
8	EDD	SPT/TWK	SPT/TWK	76.94	7.97	17.11	0.79	0.1009
9	EDD	SPT/TWK	EDD	77.00	8.04	17.15	0.79	0.1005
10	LPT/TWKR	SPT/TWKR	SLACK	77.14	7.96	9.12	0.71	0.8487
11	LPT/TWKR	SPT/TWKR	SPT/TWK	77.21	8.03	9.16	0.68	0.8296
12	LPT/TWKR	SPT/TWKR	EDD	77.28	8.10	9.20	0.70	0.8356
13	LPT/TWKR	EDD	SLACK	78.57	7.23	8.32	0.71	0.9129
14	LPT/TWKR	EDD	SPT/TWK	78.64	7.30	8.36	0.71	0.9084
15	LPT/TWKR	EDD	EDD	78.71	7.37	8.40	0.71	0.9060
16	LPT/TWKR	SPT/TWK	SLACK	76.93	7.90	17.07	0.79	0.0991
17	LPT/TWKR	SPT/TWK	SPT/TWK	77.00	7.97	17.11	0.78	0.0926
18	LPT/TWKR	SPT/TWK	EDD	77.07	8.04	17.15	0.78	0.0922
19	SPT/TWKR	SPT/TWKR	SLACK	76.93	7.66	8.53	0.73	0.9104
20	SPT/TWKR	SPT/TWKR	SPT/TWK	77.00	7.73	8.57	0.74	0.9117
21	SPT/TWKR	SPT/TWKR	EDD	77.07	7.80	8.61	0.73	0.9028
22	SPT/TWKR	EDD	SLACK	78.57	7.22	8.30	0.71	0.9140
23	SPT/TWKR	EDD	SPT/TWK	78.64	7.29	8.34	0.69	0.8942
24	SPT/TWKR	EDD	EDD	78.71	7.35	8.38	0.68	0.8846
25	SPT/TWKR	SPT/TWK	SLACK	76.86	7.89	16.99	0.79	0.1007
26	SPT/TWKR	SPT/TWK	SPT/TWK	76.93	7.95	17.03	0.78	0.0940
27	SPT/TWKR	SPT/TWK	EDD	77.00	8.02	17.07	0.78	0.0932

고 있다. <Table 10>은 각 병목공정들의 상위 3개의 우수한 할당 규칙들의 조합을 통해 성과지표 값 및 TOPSIS 점수 결과를 보여주고 있다.

4.5 할당규칙 조합실험

세 병목공정에 대하여 할당규칙의 순위를 결정하였고, 상위

3개의 순위를 바탕으로 우선순위 규칙들을 추출하여 모든 경우의 수의 할당규칙 조합을 설계했다. 총 27개의 조합을 설계하였고, 이 조합들 중에서 가장 최적의 우선순위조합을 선정하기 위하여 앞선 방법과 똑같이 TOPSIS 방법을 적용했다. 그 결과, <Table 10>에서 나타난 바와 같이 재단공정(EDD)-노광공정(SPT-TWKR)-1차적층 공정(SLACK)의 조합이 가장 좋은 결과를 보였다.

4.6 병목공정에서의 할당규칙 조합과 단일 할당규칙을 적용한 실험비교

<Table 11>에서 각 병목공정마다 상이한 할당규칙 조합을 가지는 경우와 단일 할당 규칙을 적용하는 경우에 대한 비교 실험을 수행하였다. 그 결과, 병목공정에서의 할당 규칙 조합이 개별 할당 규칙을 적용하는 경우보다 우수한 성과를 보임을 알 수 있었다.

한편, <Table 12>는 네 가지 성과지표에 대해 측정값의 가중치를 부여한 정규화 값으로 치환하여 비교 분석하였다. 특히, 네 가지 성과지표는 망소(전체 주문 처리시간, 개별 주문 처리시간, 납기지연시간), 망대(납기 준수율)특성을 갖고 있기 때문에 이를 충분히 고려하여 비교성과 지표, $\{(\text{납기지연시간} \times \text{가중치}(0.2)) + (\text{전체 주문 처리시간} \times \text{가중치}(0.28)) + (\text{개별 주문 처리시간} \times \text{가중치}(0.14)) / (\text{납기 준수율} \times \text{가중치}(0.38))\}$ 에 의한 값을 도출해 비교하였다. 가중치를 부여한 정규화 값을 기준으로 비교성과 지표 값을 구한결과, 단일조합 FIFO(1.9726), EDD

(2.0384), SPT/TWK(2.1209), SPT/TWKR(2.0523), LPT/TWK(2.2548), SLACK(2.2010), C.R(2.1969), 최적조합 EDD-SPT/TWKR-SLACK(1.8552), EDD-SPT/TWKR-EDD(1.8789), SPT/TWKR-EDD-SLACK(1.8374)로 본 논문에서 제안한 할당규칙 조합이 종합적인 관점에서 좋은 성과를 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 다중 흐름공정의 병목공정에서 다양한 성능지표를 모두 충족할 수 있는 할당규칙의 조합을 찾는 연구를 수행하였다. 우선, 분석하고자 하는 대상 공정을 시뮬레이션 모형하고, 할당규칙 조합 간의 순위를 정하기 위하여 다 기준의사결정 방법을 사용했다. TOPSIS는 할당규칙간의 순위를 정할 때 주로 사용됐고, AHP는 TOPSIS 방법을 적용할 때 성과지표에 대한 실제 의사결정자들의 중요도를 반영하는데 이용됐다.

이러한 연구 방법론을 실증적인 사례연구를 통해서 인쇄회

Table 11. Comparison results when applying the single dispatching rule and the combination of dispatching rules in bottleneck process

	할당규칙	전체 주문 처리시간	개별 주문 처리시간	납기 지연시간	납기 준수율
단일 조합	FIFO	69.0	6.7	18.0	79%
	EDD	76.7	8.7	15.2	79%
	SPT/TWK	78.6	7.2	13.9	71%
	SPT/TWKR	77.1	7.7	8.5	73%
	LPT/TWK	76.7	9.6	14.2	71%
	SLACK	76.8	9.2	15.8	75%
	C.R	76.8	9.3	15.7	75%
최적 조합	EDD-SPT/TWKR-SLACK	77.1	7.8	7.9	70%
	EDD-SPT/TWKR-EDD	77.3	7.9	8.0	70%
	SPT/TWKR-EDD-SLACK	78.6	7.2	8.3	71%

Table 12. Comparison results of normalized values reflecting the weights of performances

	할당규칙	전체주문 처리시간	개별주문 처리시간	납기 지연시간	납기 준수율	비교지표
단일 조합	FIFO	0.08465	0.07983	0.03620	0.10173	1.9726
	EDD	0.07113	0.08877	0.04699	0.10149	2.0384
	SPT/TWK	0.06504	0.09090	0.03906	0.09194	2.1209
	SPT/TWKR	0.06287	0.08926	0.04147	0.09433	2.0523
	LPT/TWK	0.06663	0.08879	0.05190	0.09194	2.2548
	SLACK	0.07395	0.08890	0.05004	0.09672	2.2010
	C.R	0.07347	0.08890	0.05012	0.09672	2.1969
최적 조합	EDD-SPT/TWKR-SLACK	0.03704	0.08926	0.04206	0.09075	1.8552
	EDD-SPT/TWKR-EDD	0.03740	0.08942	0.04280	0.09027	1.8789
	SPT/TWKR-EDD-SLACK	0.03896	0.09091	0.03906	0.09194	1.8374

로기관공정에서의 할당규칙 조합의 우수성을 입증했다. 본 논문에서 제안한 재단공정(SPT-TWKR)-노광공정(EDD)-1차 적층 공정(SLACK)이 네 가지 성과지표(최종완료시간(Makespan), 전체 처리시간(CycleTime), 평균 납기지연시간(Average Tardiness), 납기 준수율(On-time Delivery))에 대해서 가장 좋은 결과를 보였다. 더 나아가 본 논문의 연구모형을 더 많은 기업에 적용하여 할당규칙 조합의 실증적 연구 표본을 획득하고, 이를 이용하여 공정의 유형에 따른 할당규칙 조합 가이드라인을 제시할 필요성이 있다.

참고문헌

- Arbel, A. (1989), Approximate articulation of preference and priority derivation, *European Journal of Operational Research*, **43**(3), 314-326.
- Arbel, A. and Vargas, L. G. (1999), Preference simulation and performance programming : robustness issues in priority derivation, *European Journal of Operational Research*, **43**, 200-209.
- Arnold, J. R. T. (1992), *Introduction to Materials Management*, Prentice Hall, New Jersey.
- Banae Costa, C. A., Vansnick, J. C., and Vansnick (1999), *The MAC BETH approach : basic ideas*, software and application, N. Meskens, M. Roubens (Eds.), *Advances in Decision Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 131-157.
- Bareet, R. T. and Barman, S. (1986), A SLAMII simulation study of a simplified flow shop, *Simulation*, **47**(5), 181-189.
- Blackstone, J. H. Phillips, D. T., and Hogg, G. L. (1982), A state of art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operation, *International journal of production research*, **20**(1), 27-45.
- Botta-Genoulaz, V. (2000), Hybrid flow shop scheduling with precedence constraints and time lags to minimize maximum lateness, *International journal of production economics*, **64**(1~3), 101-111.
- Braglia, M. and Petroni, A. (1999), Data envelopment analysis for dispatching rule section, *production planning and control*, **10**(5), 454-461.
- Brah, S. A. and Loo, L. L. (1999), Heuristics for scheduling in a flow shop with multiple processors, *European Journal of Operational Research*, **113**, 113-122.
- Braman, S. (1997), Simple priority rule combinations : an approach to improve both flow time and tardiness, *International journal of production research*, **25**, 2857-2870.
- Cha, Y. and Jung, M. (2003), Satisfaction assessment of multi-objective schedules using neural fuzzy methodology, *International journal of production research*, **41**, 1831-1849.
- Chan, F. T. S. and Chung, S. H. (2004), A multi-criterion genetic algorithm for order distribution in a demand driven supply chain, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **17**, 339-351.
- Chang, Y. L., Sueyoshi, T., and Sullivan, R. S. (1996), Ranking dispatching rules by data envelopment analysis in a job shop environment, *IIE Transactions*, **28**, 631-642.
- Chen, L. H. and Chen, Y. H. (1996), A design procedure for robust job shop manufacturing system under a constraint using computer simulation experiments, *Computers and Industrial Engineering*, **30**, 1-12.
- eM-plant User's Manual Version 5.5 (2001), *Tecnomatix Technologies*, Stuttgart, Germany.
- ExpertFit® User's Guide (1998), Averill M. Law and Associates, Tucson, AZ.
- Fanti, M. P., Maione, B., Naso, D., and Turchiano, B. (1998), Genetic multi-criteria approach to flexible line scheduling, *International Journal of Approximate Reasoning*, **19**, 5-21.
- Grabot, B. and Geneste, L. (1994), Dispatching rules in scheduling : a fuzzy approach, *International journal of production research*, **32**, 903-915.
- Greco, S., Matarazzo, B., and Slowinski, R. (2002), Rough set methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria, *European Journal of Operational Research*, **138**, 247-259.
- Harris, J. M. and Roesch, E. B. (2001), *US Passive Component Supplier*, UBS Warburg LLC, New York.
- Holthaus, O. (1999), Scheduling in job shops with machine breakdowns : an experimental study, *Computers and Industrial Engineering*, **36**, 137-162.
- Hwang, C. L. and Yoon, K. P. (1981), *Multiple Attribute Decision Making : Methods and Applications*, Springer-Verlag, New York.
- Jayamohan, M. S. and Rajendran, C. (2000), A comparative analysis of two different approaches to scheduling in flexible flow shops, *Production Planning and Control*, **11**, 572-580.
- Kim, S. J., Kim, K. S., and Jang, H. (2003), Optimization of manufacturing parameters for a brake lining using Taguchi method, *Journal of Materials Processing Technology*, **136**, 202-208.
- Kim, G., Park, C. K., and Yoon, P. (1997), Identifying investment opportunities for advanced manufacturing system with comparative-integrated performance Measurement, *International Journal of Production Economics*, **50**, 23-33.
- Kwong, C. K. and Bai, H. (2003), Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using fuzzy AHP with an extent analysis approach, *IIE Transactions*, **35**, 619-626.
- LaForge, R. L. and Barman, S. (1989), Performance of simple priority rule combinations in a flow dominant shop, *Production and Inventory Management Journal*, **30**, 1-4.
- Petroni, A. and Rizzi, A. (2002), A fuzzy logic based methodology to rank shop floor dispatching rules, *International Journal of Production Economics*, **76**, 99-108.
- Phadke, M. S. (1989), *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall, London.
- Pinedo, M. (1995), *Scheduling : Theory, Algorithms and Systems*, Prentice Hall, New Jersey.
- Rajendran, C. and Holthaus, O. (1999), A comparative study of dispatching rules in dynamic flowshops and jobshops, *European Journal of Operation Research*, **116**, 156-170.
- Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. and Vargas, L. G. (1987), Uncertainty and rank order in the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operation Research*, **32**, 107-117.
- Salvador, M. S. (1973), *A solution to a special case of flow-shop scheduling problem*, in : S. E. Elmaghraby (Ed.), *Symposium of the Theory of Scheduling and Applications*, Springer-Verlag, New York, 83-91.
- Santos, D. L., Hunsucker, J. L., and Deal, D. E. (1996), An evaluation of sequencing heuristics in flow shops with multiple processors, *Computers and Industrial Engineering*, **30**, 681-692.
- Sarper, H. and Heny, M. C. (1996), Combinatorial evaluation of six dispatching rules in a dynamic two-machine flow shop, *Omega*, **24**, 73-81.
- Song, Q. and Jamalipour, A. (2005), Network selection in an integrated

- wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques, *IEEE Wireless Communications*, **12**, 42-48.
- Sugihara, K., Ishii, H., and Tanaka, H. (2004), Interval priorities in AHP by interval regression analysis, *European Journal of Operation Research*, **158**, 745-754.
- TORA version 2.0 provided by H. Taha (1997), *Operations Research*, sixth edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Wild, R. H. and Pignatiello Jr., T. T. (1991), An experimental design strategy for designing robust systems using discrete-event simulation, *Simulation*, **57**, 358-368.
- Yang, T. and Chou, P. (2005), Solving a multiresponse simulation-optimization problem with discrete variables using a multiple-attribute decision-making method, *Mathematics and Computers in Simulation*, **68**, 9-21.
- Yang, T., Chen, M. C., and Hung, C. C. (2007), Multiple attribute decision-making methods for the dynamic operator allocation problem, *Mathematics and Computers in Simulation*, **73**, 285-299.
- Yang, T., Kuo, Y., and Chang, I. (2004), Tabu-search simulation optimization approach for flow-shop scheduling with multiple processors-a case study, *International Journal of Production Research*, **42**, 4015-4030.
- Yang, T., Kuo, Y., and Cho, C. (2007), A genetic algorithms simulation approach for the multi-criteria combinatorial dispatching decision problem, *European Journal of Operation Research*, **176**, 1859-1873.
- Yang, T., Lee, R. S., and Hsieh, C. (2003), Solving a process engineer's manpower-planning problem using analytic hierarchy process, *Production Planning and Control*, **14**, 266-272.
- Yurdakul, M. and IC, Y. T. (2005), Development of a performance measurement model for manufacturing companies using the AHP and TOPSIS approaches, *International Journal of Production Research*, **43**, 4609-4641.