

시뮬레이션에 의한 복합형 흐름라인 간의 성과 비교

Comparative study of the performance of pure and hybrid flow lines using computer simulation

이진춘*, 윤재곤**

Lee Jin-Choon, Yoon Jae-Gon

Abstract

There has been a great deal of interest in the area of group technology recently. They suggest that group technology's formation of cells of machines which are dedicated to production of families of parts will bring many of the advantages of cellular layout of job shops. In this context, Yoon [2] designed and suggested 3 types of the layout structure for a small firm, by introducing the cellular layout into the traditional flow line of an existing factory. Also he found that P5C, i.e. process layout / 5 cells layout, outperformed the rest types. However, he performed the experiments in the standpoint of the existing factory operation and did not consider other operating methods including changing the dispatching and sequencing rules.

Therefore, in this paper, we compared the performance of 3 different layout by the simulation technique using the real data from the existing factory, considering a newly suggested dispatching and machine selection rule.

1. 서론

흐름공장(flow shop)은 직렬로 연결된 다수의 작업장에서 여러 작업을 처리하는 라인으로서, 작업들은 단일 방향으로 이동하고 전체 작업이 모든 작업장을 동일한 순서로 거치는 절차를 가지고 있다. 각 작업장에는 복수의 同種 기계가 설치되어 있어 동일한 작업을 동시에 처리할 수 있다.

반면에 복합형 흐름라인(hybrid flow line)은 일반적으로 자재의 흐름이 한가지 방향이지만 상이한 생산 공정이 혼합된 특징을 가진 시스템을 말한다[12]. 다시말하면 전형적 흐름라인의 형태에서 라인의 한 부분이 변형되어 상이한 부품을 처리하거나 상이한 공정순서를 가지는 경우이다. 이때 상이한 부품을 처리할 수 있는 공정이 주문생산(job shop)의 형태를 지니면 라인을 운영하는 문제는 더욱 복잡해 지게 된다. 이를 위해尹은 다품종 소량인 부

* 경북산업대학교 산업공학과

** 대구효성가톨릭대학교 경영학과

품들에 대해 효율적으로 처리하기 위해 공정에 셀(cell)을 도입한 구조를 제시하였다[2]. 셀을 도입한 공정은 셀의 효율적 운용이 중요한 문제로 대두된다. 즉 셀이 효율적으로 재공품을 처리하지 못하는 경우에는 오히려 주문생산인 전통적 생산 공정보다 효율이 낮아지는 경우가 발생한다[6][7].

이러한 상황에 대비하여 기존연구들은 상이한 공정 구조를 대비시킨 비교 연구를 수행하고 있다.尹[2]은 전통적 주문생산 구조에 다수의 셀을 도입한 구조를 제안하고 그 성과의 개선을 보고하였고, Flynn and Jacobs[6]는 셀을 도입한 구조가 나은 성과를 보이고 있긴 하지만 잘 구조화된 주문생산형태도 나은 성과를 나타낼 수 있다고 주장하고 있다.

셀을 도입한 공정 구조는 셀의 운용에 따라 성과를 개선할 수 있는 여지가 있다.尹[2]의 연구에서 나타난 셀의 이용율은 최대 35.8%이고 이에 대비한 주문생산 형태 공정은 15.2%의 이용율을 나타내고 있다. 이것은 공정 운용에 관한 규칙을 도입하지 않고 기존의 작업 방식을 그대로 사용한 상태에서 실시한 실험이기 때문이다. 따라서 작업 투입 절차나 방법을 개선하면 다른 결과를 얻을 수 있다.

일반적으로 복합형의 구조를 지닌 공정에 대한 성과의 비교연구가 상황에 따라 달라 질 수가 있으므로, 기존의 연구에서 배제한 운용 방법을 도입하여 그 효율성을 비교하는 것이 더 타당한 성과비교의 방법이다. 이러한 맥락에서 Ang and Willey는 셀간 작업부하 이동(inter-cell workload transfer)을 도입하여 전체 셀의 성과를 개선하고 있다[3]. 이러한 셀간 작업 부하 이동의 경우는尹[2]의 경우 셀을 확대한 구조에 해당한다.

따라서, 본 연구의 목적은 셀간 작업 부하 이동이 가능한 구조의 효율성을 검증하여 이의 현실적 적용을 가능케 하는데 있다. 이를 위해 본 연구에서는尹[2]이 제시한 공정의 구조와 그에 관련된 자료를 사용하여 비교 대상 공정 유형들에 대해 본 연구에서 제안한 기계선택 규칙과 작업 배정 규칙의 조합을 사용하여 성과를 비교한 뒤, 가장 효율적인 공정구조를 선택하도록 하고 셀간 작업부하 이동이 가능한 구조가 효율적임을 검증하고자 한다.

그러나 본 연구는 실제 사례에 입각한 분석이므로, 그 사용 대안 또한 현실적으로 운용가능한 것에 국한한다. 다시 말하면 작업의 흐름을 통제하기 위한 복잡한 알고리즘

대신에 현실적인 단순 휴리스틱을 사용할 것이다.

2. 문헌 연구

복합형 공정에 관한 연구들은 크게 두가지 흐름으로 나눌 수 있다. 공정의 설계를 위한 연구와 공정의 운용을 위한 연구로 나눌 수 있다.前者는 전통적인 주문생산이나 흐름공정 혹은 유연생산공정에 따른 형태의 공정을 도입하여 복합화시킨 경우 기존 형태와 제안된 형태간의 성과를 비교하는 것에 관한 것이고[2] [3] [5] [6] [12], 後者は 제안된 구조에서 효율적인 운용 방안을 모색하는 것을 포함한다[7] [9] [11].

본 연구가 대상으로 하는 운용에 관한 것을 살펴보면, Tsubone등의 연구[12]는 사진 필름 생산 공장의 사례를 연구하여 작업순서에 관한 휴리스틱을 제안하고 있고, Gupta and Tunc[8]는 동일한 기계로 구성된 2단계 복합형 흐름공정의 총작업 소요시간을 최소화하는 근사해 알고리즘을 제시하고 있다.

Narasimhan and Panwalkar[9]는 2단계로 구성된 흐름라인에서 첫단계에서 1대의 기계로 작업을 수행한 다음, 복수의 기계로 구성된 2단계로 연속적으로 작업을 이송하는 경우에 대해 CMD(Cumulative Minimum Deviation) 규칙을 제시하고 SPT규칙과의 성과 차이를 비교하여, 기계 유휴시간과 재공품 대기시간에서 우위의 결과를 보였다. 그리고 그들의 알고리즘을 개선하여, Narasimhan and Mangiameli[10]는 다수의 기계로 구성된 복합흐름공정의 제 1 공정단계에서 일반화된 누적 편차 규칙(generalized cumulative deviation rule)을 제안하고 다양한 운용 조건하에서 3가지 작업배정 규칙의 성과를 비교하였다.

Paul[10]은 유리용기 산업의 2단계로 구성된 복합 흐름공정의 문제를 고려하였는데, 1단계에서는 1대의 기계로 작업하여 2단계의 복수기계로 연속적으로 투입하는 상황이다. 그는 SPT (Shortest Processing Time)규칙과 다른 몇 개의 작업배정 규칙과의 성과를 비교하여, SPT의 성과가 제일 나음을 보고하였다.

복합형 흐름라인의 운용에 관한 연구에 사용된 시스템의 구성은 대체로 2단계로 구성된 경우이며, 첫째 단계가 1대의 기계로 구성된 경우와[10] [14], 둘째 복수로 구성된 경우로[9] 나누어 진다. 그 밖에 3단계로 구성된 경우[1]가 있지만 3단계의 경우는 도입가능한 운용 방안의

복잡성으로 인해 해당연구가 드문 실정이다.

라인의 효율성을 분석하기 위한 시뮬레이션 실험에서 작업의 도착은 실험의 성격을 규정하는 중요한 요소이다. 여기에는 이미 작업이 주어진 상태에서 효율성을 분석하는 정태적 도착과[2], 작업이 확률분포에 따라서 동태적으로 도착하는 경우로[1] 나눌 수 있다. 기존 연구에 의하면, 동태적 작업도착하에 3개의 공정으로 구성된 흐름라인의 경우에는 全 段階에 있어서, SPT규칙을 적용하는 것이 최고의 효과를 나타내었다[1].

이상에서 살펴본 바와 같이, 기존연구에서는 3단계로 나누어진 복합형 흐름라인에 관한 연구가 드물며, 또한 중간단계에서 다수의 셀이 있는 경우 셀을 선택하는 기계선택과정과 각 기계에서의 작업배정에 관한 규칙이 미치는 영향을 파악한 경우가 없다. 따라서 본 연구에서는 이 문제에 초점을 두고 그 영향을 분석할 것이다.

3. GT에 의한 복합 흐름라인 시스템의 설계와 운용

尹[2]은 자동차 부품을 생산하는 기업인 S社의 실제 자료를 이용하여, 공정순서와 공정별 작업 시간에 따라 부품 유형을 22가지로 나누고, 이들을 처리하는 공정을 부품유형에 대한 군집분석(cluster analysis)과 기계 도입에 관한 경제성을 고려하여 기존의 공정유형 외에 셀을 도입한 2가지 유형을 제안하였다. 즉, 기존 라인 외에 2개 그리고 5개의 셀을 도입한 2가지 유형을 제안하고, 시뮬레이션 실험에 의해 각 설계 구조에 대한 성과를 분석하여 효율적인 구조를 제안하였다.

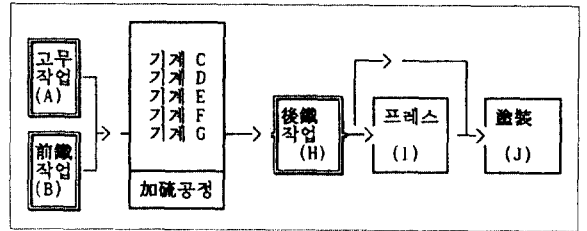
본 연구에서도 이 S社의 공정구조를 대상으로 하므로, 이하에서는 그에 관해 설명한다.

3.1. 기존 시스템의 구성

본 연구가 대상으로 하는 복합형 흐름라인의 구조를 설명하기 위해 우선 시스템의 구조를 설명하고 다음으로 투입되는 부품의 유형을 제시한다.

본 연구가 대상으로 하는 시스템은 6개의 공정으로 구성되는데 전형적인 흐름라인(flow line)의 형태가 약간 변형된 것이다. 다시말하면 전형적인 흐름라인에 약간의 job shop의 형태를 취하고 있는 이른바 복합흐름라인(hybrid

flow line)이다[5]. 이를 나타내면 <그림 3-1>과 같다. 시스템을 구성하고 있는 각 공정의 내용은 다음과 같다.



<그림 3-1> 공정구조

여기서 유의할 점은 <그림 3-1>에 나타난 공정 중에서 가류기 공정이 능력에 제한이 있고, 나머지의 공정은 공정 능력의 조정이 용이하므로 능력에 한계가 없다는 점이다.

현재 보유중인 가류기의 상황은 <표 3-1>과 같다. 이에 의하면 C로 표시한 500 cc형 가류기는 4대, D형 1000cc는 2대, E형 M2000은 6대, F형 R2000은 6대 그리고 가장 고가이면서 용량이 큰 G형 4000cc는 1대를 보유하고 있다.

각 가류기의 호환성은 능력에 의해 결정되는데, 능력이 가장 큰 G형 기계는 다른 C E E F에서 처리하는 것을 모두 처리할 수 있으나, 처리 용량이 가장 작은 C형 기계는 다른 기계에서 처리하는 것을 처리할 수 없다. 따라서 용량에 관한 상향 호환성이 있다. 즉, 용량이 큰 것은 작은 기계를 대신할 수 있다.

<표 3-1> 가류기의 상황

가류기 유형	보유대수	호환 가능한 기계
C : 500cc	4	D E F G
D : 1000cc	2	E F G
E : M2000	6	F G
F : R2000	6	G
G : 4000cc	1	

3.2. GT에 의한 시스템의 설계

현실적으로 S사의 공정은 加硫機가 가장 고가의 장비이고 능력에 제약이 있고 여타 공정의 경우 능력을 추가

적인 비용이 없이 확장이 가능하고 능력의 제약이 없는 상황하에 있으므로, 加硫 공정을 효율적으로 운용할 수 있는 구조로의 개선이 공정 계획의 목표가 된다. 따라서 가류기의 현황에 입각하여, 처리해야 하는 부품의 유형을 대상으로 군집분석을 실시하여 기존 공정에 셀을 도입한다.

이와 같은 기초하에서 尹[1994]은 S社의 사례를 통하여 GT(Group Technology)에 입각하여 고가 장비의 추가 구입이 발생하지 않는 전제하에서, 전체 부품유형에 대해 군집분석(cluster analysis)을 실시하여 그 결과를 공정설계의 기초로 삼았다[2].

우선 이 기업이 생산하고 있는 부품유형의 공정순서 자료를 보자. 이 기업이 생산하고 있는 개별 부품유형들의 공정순서를 나타내면 <표 3-2>와 같다. 각 부품의 공정순서는 대개 유사하지만 3단계와 4단계에서 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다.

대상 기업인 S가 생산하고 있는 전체 부품유형은 22가지로서, 그 처리 순서와 기계의 능력을 기준으로 군집분석(cluster analysis)을 실시한 결과 5개의 집단으로 분류되었으며 그 내용을 <그림 3-2>에 나타내었다. <그림 3-2>에서 볼 수 있는바와 같이 3수준에서 1군, 2군, 3군, 4군 그리고 5군으로 나누어졌다. 이들 群간의 유사도를 고려하여 재분류하면 2개의 소집단인 2수준으로 표시되었다.

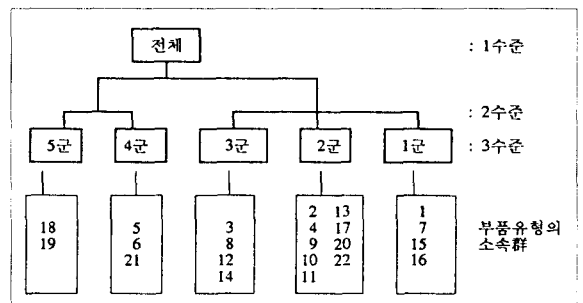
이에 입각하여 尹[2]은 각 수준별로 공정형태를 제안하였다. 즉, 1수준에 표시된 바와 같이 전체 부품유형을 별도 셀이 없이 작업을 처리하는 형, 2수준에서와 같이 4군 5군을 별도의 셀로, 그리고 1, 2, 3군을 또 다른 셀을 구성하여 처리하는 방식이다. 그리고 3수준에서 나타난 바와 같이 1, 2, 3, 4, 5군에 대해서 별도의 셀을 구성하는 방식이다.

이러한 방식으로 셀을 설계한 것은 당해 기업이 생산하는 부품은 유형이 다양하지만 동일한 재료와 유사한 공정을 거치므로, 공정순서와 필요 설비를 기준으로 셀을 구성하는 것이 타당하기 때문이다. 군집분석과정에서 부품유형의 소속군을 결정하는 첫째 기준은 加硫 공정에서의 필요 능력량이고, 둘째 기준은 공정의 순서가 된 것은 이와 같은 맥락에서 이다.

<그림 3-2>에서 1군과 2군은 2000cc의 처리용량이 필요하고, 3군은 1000 cc의 용량이 요구되고, 4군은 가장 작은 500cc와 5군은 가장 큰 4000cc의 용량을 필요로 하고 있다. 2수준에서 5군과 4군이 유사도가 큰 집단으로 된 것

<표 3-2> 부품유형과 공정순서

부품유형	공정 순서
1	A-B-F-H-J
2	A-B-E-H-J
3	A-B-D-H-J
4	A-B-E-H
5	A-B-C-H-J
6	A-B-C-H-J
7	A-B-F-H-J
8	A-B-D-H
9	A-B-E-H-J
10	A-B-E-H-J
11	A-B-E-H-J
12	A-B-D-H
13	A-B-E-H-J
14	A-B-D-H-J
15	A-B-F-H-J
16	A-B-F-H
17	A-B-E-H
18	A-B-G-H-I-J
19	A-B-G-H-I-J
20	A-B-E-H-J
21	A-B-C-H-I-J
22	A-B-E-H-J



<그림 3-2> 군집분석 결과도

은 5군이 4군을 대체할 수 있고, 兩者는 연간 처리량이 크지 않기 때문이다.

분류기준에서 나타난 바와 같이 셀의 구성 기준이 가류기의 처리 능력과 공정순서였으므로, 각 부품유형의 군에 대해 각 기계를 종류별로 할당하였다. 즉, 이들 부품군들을 각 가류기에 대응시키면, 1군은 F형, 2군은 E형, 3군은 D형, 4군은 C형 그리고 5군에는 G형이 할당되었다. 이에 따라 각 기계별 배당 부품유형을 보면, C형 기계에는 부품유형 5 6 21을, D형에는 3 8 12 14를, E형에는 2 4 9 10 11 13 17 20 22를, F형에는 1 7 15 16을 그리고 G형에는 18 19를 배당하는 것이 처리 부품들간의 유사도가 제일 근접한 것으로 나타났다[2, pp.287-289].

이상의 내용을 바탕으로尹[2]은 다음의 3가지 공정 유형을 설계하였다. 즉, 전체가 1개의 셀로 구성되는 구조(Process Layout Interchangeable machines, 이하에서는 PIM이라 함), 2개의 셀로 구성되는 시스템(Process Layout/ 2 Cells, 이하에서는 P2C라고 함), 그리고 5개의 셀로 구성되는 시스템(Process Layout /5 Cells, 이하에서는 P5C라고 함)으로 구성되었다. 이를 각각 정의하면 아래와 같다.

- ① PIM (공정별 배치/상호교환 가능 기계: Process layout / Interchangeable Machines) : 이 유형은 전체의 작업 혹은 부품유형을 구분없이 1개의 셀로 구성된 가류공정을 거치게 되는 것이다. 단 부품 유형별로 용량의 차이에 따라 처리불가능한 가류기가 있을 뿐이다.
- ② P2C (공정별 배치/2개 셀: Process layout /2 Cells): 이 유형은 전체 부품유형에 대해서 2개의 집단으로 분류한 다음, 각 집단에 대해서 별도의 셀을 구성한 유형이다. 또한 용량의 제한으로 인해 처리 불가능한 경우에는 큰 기계로 이송되어야 한다.
- ③ P5C (공정별 배치/ 5개 셀: Process layout /5 Cells) : 전체 작업 대상인 22개 부품유형을 5개의 집단으로 분류하고 각 집단에 대해서 별도의 셀을 구성하는 방식이다. 여기에도 다른 유형과 마찬가지로 처리 용량의 제한이 기계에 있으므로 제한 용량 보다 작은 부품만이 처리될 수 있다.

이들 3가지 유형을 부품유형의 관점에서 설명하자면, 5개의 셀로 구성되는 P5C는 각 부품유형 군에 대해서 별도의 셀을 구성하는 경우이고, 2개의 셀로 구성되는 것은 전체 부품유형을 2개의 群으로 나누고 각 群내에서는 기존의 job shop방식으로 처리하게 된다. 반면에 1개의 셀로 구성되는 PIM에서는 전체의 작업에 대해 job shop방식으

로 처리하게 된다.

이러한 구조가 실현 가능하기 위해서는 규격이 상이한 加硫機가 상호간에 호환성이 있어야 하는데, 각 加硫機는 상호 호환되지만 처리할 수 있는 부품의 용량이 한도가 있으므로 용량의 上向 호환성은 있으나 용량의 下向 호환성은 없다. 다시말하면 용량이 작은 가류기는 용량이 큰 데서 작업하던 것을 작업할 수 없으나, 용량이 큰 가류기는 용량이 큰데서 작업하던 것을 아무제한 없이 처리할 수 있다. 그러나 용량이 큰 가류기라고 해서 작업시간이 단축되는 것이 아님에 유의해야 한다.

3.3. 공정의 운용과 제안 방법

공정에서의 운용관리의 범위를 한정하도록 운용관리의 개념을 우선 고찰하도록 한다.

Anthony는 관리활동은 전략적 계획(strategic planning), 기술적 계획(tactical planning) 그리고 운영통제(operational control)로 나누었다[4]. 이러한 맥락에서 공정의 관리도 설계, 계획, 스케줄링 및 통제로 체계화 할 수 있다. 여기서 계획과 통제를 합하여 종종 운용과 통제 혹은 운용관리라 한다.

본 연구가 대상으로 하는 복합 흐름라인에 있어서 운용의 문제는 라인에 투입하는 것으로서 입구 단계의 능력이 제약없이 확장가능하므로 문제가 되지 않고, 가류기 공정의 단계에서부터 능력 제약이 발생하므로, 3단계에 투입되는 경우 투입될 셀의 선택이 문제가 된다. 즉, PIM의 방식은 전체 가류기에 대해서 선택하게 되고, P2C의 경우 각 셀 내에서 해당 기계를 선택하며, P5C의 경우 각 부품유형에 대해 전용 셀이 구성되어 있으므로 셀의 선택은 별도의 문제가 되지 않는다.

여기서의 공정운용과정에서 발생하는 문제는 두 가지로 나누어 진다. 첫째는 1단계의 작업을 마치고 2단계로 투입되는 경우 5가지의 異種기계가 있으므로 기계를 선택하는 문제가 발생한다. 둘째 선택된 기계 내에서 작업의 배정 순서를 결정하는 문제가 있다. 여기서 前者에는 기계 선택규칙이 적용되고 後者에는 작업배정규칙이 사용된다. 그런데 기술적으로 말하자면 前者에는 대기열 선택 규칙(queue selection rule)이 사용되고, 後者에는 작업 선택규칙(job selection rule)이 필요하다.

본 연구가 대상으로 하고 있는 기업에서 현재 사용하고

있는 규칙은 기계선택 규칙으로 LIT(Longest Idle Time at present)을 사용하고 있다. 이 규칙은 각 기계에서 기계를 선택할 시점에서 현재까지 유휴 상태로 있는 시간이 가장 긴 기계를 선택하는 것으로, 선행 작업이 완료된지 대기하고 있는 시간만을 고려하는 것이다. 한편, 작업배정 규칙은 각 기계의 대기열에서 도착순으로 작업을 배정하고 있으므로, FCFS(First Come, First Served)를 사용하고 있다.

그런데 LIT의 경우 순간적 유휴시간이 제일 긴 것을 선택하는 규칙이어서, 전체 가동시간의 관점에서 본다면 그전의 유휴시간 기록은 무시되는 규칙이다. 따라서 설비의 가동율이 낮아지는 경향이 발생하였다. 그리고 선착순 작업배정 규칙을 사용하는 경우도 전체 작업의 평균 유휴시간을 길게하는 경향이 있으므로 이를 위해 다른 규칙을 도입할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 순간적인 유휴시간을 고려하는 LIT 대신에 전체 작업 혹은 가동시간의 범위에서 최소 사용인 기계를 선택하는 SBT(Smallest amount of usage (Busy Time) from beginning to date)를 사용할 것을 제안한다. 이 규칙은 LIT와 상반되는 규칙이 아니라 유휴시간의 고려범위가 다르므로 상이한 규칙이다. 그리고 작업배정 규칙으로 지금까지 사용되고 있는 FCFS 대신에 SPT(Shortest Processing Time)을 사용할 것을 제안한다. 이 또한 평균유휴시간의 단축을 가져올 것이 기대되고, 그리고 유사한 상황 하인 기존의 연구[1]에서도 증명이 되었기 때문이다.

이를 요약하면 아래와 같다.

- ① 기존방식: LIT/FCFS: 이 방식은 기계선택 규칙으로 LIT(Longest Idle Time at present)을 사용하고 각 기계의 대기열에서의 작업 배정 규칙으로 FCFS(First In First Served)을 사용한다.
- ② 제안방식: SBT/SPT : 이 방식은 기계선택 규칙으로 SBT(Shortest Busy Time to date)을 사용하고 각 기계의 대기열에서 작업배정 규칙으로 SPT(Shortest Processing Time)을 사용한다.

4. 시물레이션 실험의 설계

4.1. 실험의 가정

前述한 바와 같이 대상 시스템의 능력에 결정적인 영향을 끼치는 것은 加硫機를 사용한 공정이고, 여타의 공정은 능력이 無限하다고 간주될 수 있다. 따라서 본 연구에서 실시하는 시물레이션 실험은 加硫機를 사용한 공정에 집중하여 분석을 실시한다. 본 연구에서 실시하는 시물레이션 실험은 SLAMSYSTEM/ Window 버전을 사용하여 설계하였다.

4.1.1. 실험의 가정

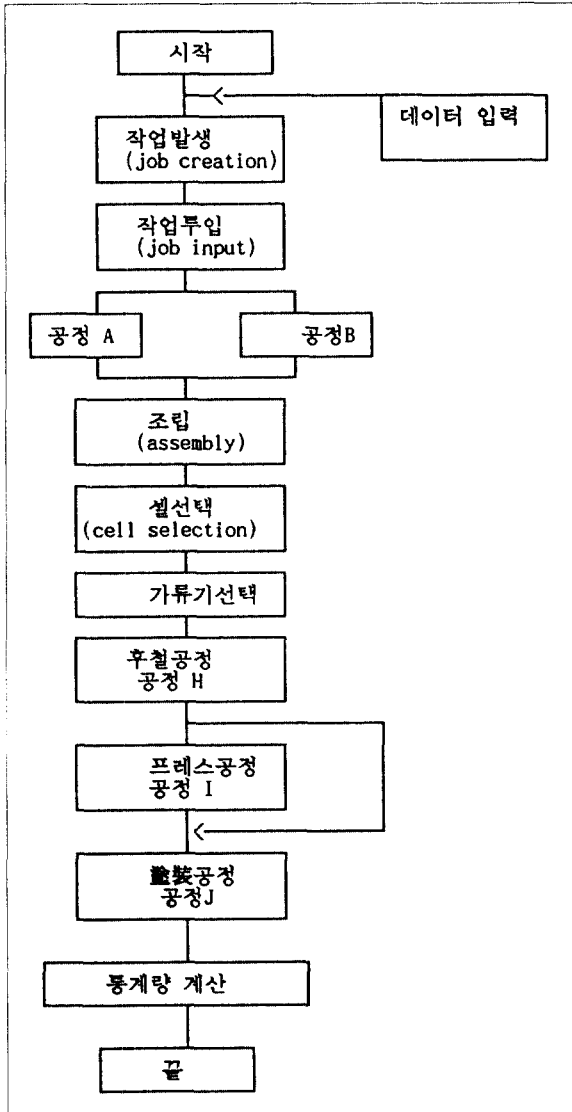
본 연구에서 실시할 시물레이션 실험모형을 설계하기 위해 다음과 같은 가정을 둔다.

1. 본 시스템의 수요는 지수분포에 따라 주문이 도착하는 것으로 하며, 그 수량은 과거의 자료로 부터 확정적으로 얻어진다.
2. 그 수량이 확정된 부품별 유형은 무작위적으로 도착하므로, 별도의 패턴이 없다.
3. 시스템의 능력은 加硫機에 의해서 한정되며 나머지 공정의 기계는 애로공정이 아니므로 시스템의 이용율에 영향을 미치지 않는다.
4. 加硫機가 처리할 수 있는 부품은 기계의 용량보다 작은 용량을 요구하는 부품은 처리할 수 있으나, 용량이 큰 부품은 처리할 수 없다. 그러나 용량이 큰 기계로 용량이 작은 부품을 처리하더라도 패널티는 없는 것으로 가정한다.
5. 부품의 유형이 바뀌는 경우에도 장착 시간만이 걸리게 되므로 별도의 착순준비시간은 소요되지 않는다.
6. 실험기간은 6개월치의 수요량을 완료하는 기간으로 한다.

4.1.2. 시물레이션 모형

본 연구에서 실시할 시물레이션 실험의 과정은 <그림 4-1>과 같다.

먼저 외부화일에서 시물레이션에 필요한 데이터를 입력한다. 데이터에는 공정시간과 공정순서도 그리고 부품유형별 수요가 포함된다. 그리고 입력자료를 바탕으로 수요를 충족시킬 작업(job)을 발생시킨 뒤, 이를 라인의 대기



(그림 4-1) 시뮬레이션 과정도

열에 대기시킨 다음, 라인 투입결정을 한다.

라인에 투입되면 공정A와 공정B가 동시에 수행되어야 하며, 두 공정이 완료된 작업은 이를 결합하여 다음 단계, 즉, 加硫공정으로 투입된다. 여기서는 셀의 구조에 따라 기계를 선택하여 공정을 완수한 다음, 공정 순서도에 따라 공정 H 혹은 공정 I로 투입되어 각 처리를 완수하고 마지막으로 각 작업에 관련된 통계량을 구하게 된다.

4.2. 실험의 설계

본 연구에서 시뮬레이션 실험을 하는 시나리오는 일단 3가지의 공정 유형의 성과를 비교하는 것이므로, 각 공정 유형에 대해서 尹의 연구[2]에서 제시된 기존 공정의 운용 방식과 본 연구가 제안하는 새로운 개선 방식을 도입한 운용 방식과의 차이를 분석하기 위한 것이다.

따라서 3개의 공정 구조에 대해서 2가지 운용 방식이 가지고 오는 결과를 비교 분석하게 되므로, 총 6가지의 실험조합이 있다. 이들 각 실험조합에 대해 10회의 실험을 반복하여 그 결과를 바탕으로 하여 분석을 실시하였다.

4.2.1. 공정 구조

본 연구에서 실험을 실시하는 3가지 공정 유형의 대안은 아래와 같다.

- ① PIM (공정별 배치/상호교환 가능 기계: Process layout / Interchangeable Machines)
- ② P2C (공정별 배치/2개 셀: Process layout / 2 Cells)
- ③ P5C (공정별 배치/ 5개 셀: Process layout / 5 Cells)

4.2.2. 운용 방식

본 연구에서 위에서 제시한 공정구조의 성과를 비교하기 위한 운용방식은 아래와 같다.

- ① 기존방식: LIT/FCFS: 이 방식은 기계선택 규칙으로 LIT(Longest Idle Time at present)을 사용하고 각 기계의 대기열에서의 작업선택규칙으로 FCFS(First Come First Served)을 사용한다.
- ② 제안방식: SBT/SPT : 이 방식은 기계선택 규칙으로 SBT(Shortest Busy Time from beginning to date)을 사용하고 각 기계의 대기열에서 작업선택 규칙으로 SPT(Shortest Processing Time)을 사용한다.

4.3. 평가기준

일반적으로 공정형태를 평가하기 위한 기준은 아래의 <표 5-1>과 같다. 그런데 본 연구가 대상으로 하는 복합 흐름공정의 경우에는 평균 이동거리를 論外로 할 수 있다. 흐름공정의 성격을 띠고 있고 부분적으로 job shop의 형태를 띤 것은 개별적으로 연결하게 되면 라인의 형태를

가지게 되므로, 크게 문제가 될 것이 없기 때문이다. 단지 문제가 되는 것은 부품 유형을 몇개의 부품군으로 나누고 그에 대해서 전용설비를 설정하는 셀의 구조와 전체의 하나의 군으로 보고 상호 보완적인 설비를 사용하는가 하는 것에 관련된다.

또한 본 연구에서 사용하는 수요량은 과거의 자료를 바탕으로 얻은 것이므로 확정적인 작업량으로 전제하고 있으므로, 이를 완성하는 총완료 소요시간(make-span)이 문제가 되지 완료 작업수는 문제되지 않는다.

그러므로 본 연구에서는 설비 이용율, 대기열의 길이, 대기시간, 그리고 유동시간의 기준을 사용하여 실험의 결과를 분석하고자 한다. 이들 기준의 정의는 <표 4-1>에 제시하였다.

<표 4-1> 공정의 성과에 대한 평가기준

- ① 작업완료소요시간(make-span): 주어진 작업량을 완성하는데 소요되는 전체 작업시간
- ② 평균유동시간(average flow time): 작업의 릴리스에서 완료까지의 소요시간의 평균
- ③ 대기열과 대기시간
 - i) 평균대기열의 길이(average queue length)
 - ii) 평균대기시간(average waiting time): 각 대기열에서 작업이 대기한 시간의 평균
- ④ 평균기계 이용율(average machine utilization): 실험기간 동안의 전체 기계 가동시간에 대한 착수준비 중이거나 가동중인 시간의 비율

4.4. 입력자료

본 연구의 시물레이션 실험에 사용되는 공정에 관련된 입력 자료는 대상기업의 공정과 관련사항을 1년간에 걸쳐 분석해 얻은 것이다. 각 부품유형별 공정시간과 그 수요량을 아래의 <표 4-2>와 같다. 좌측 제 1열에는 부품유형을 표시하고 있고, 우측 1열에는 각 부품의 유형별 6개월간의 수요량을 제시하고 있다. 그리고 중간에는 각 부품유형이 거치는 공정과 그 소요시간을 표시하고 있는데, 빈칸으로 표시된 것은 거치지 않는 공정을 나타낸다.

5. 실험의 결과와 분석

실험은 시나리오에 입각해서 기존의 운용 방식과 제안

<표 4-2> 공정시간 및 수요량

공정 부품 유형	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	수요량
	1	177	900				3400		1840		
2	136	1829			6827			2128		632	55
3	1030	50124		51904				18357		9194	73
4	175	3048			5255			1999			703
5	313	15255	15796					5641		2798	425
6	357	9508	71311					36844			73
7	252	2543				10404		4277		1526	532
8	176	2036		6289				3593			574
9	61	1091			2897			579		579	2999
10	77	1094			2086			1720	1622	996	96
11	185	1549			5755			2254		263	3890
12	49	4283		35991				1919			1473
13	257	4499			26600			8116		1200	155
14	541	12991		20044				7512		1232	83
15	183	5538				5990		1504		832	684
16	24	4288				4710		2384			1093
17	124	2261			7147			3060	1377		632
18	225	4253					4843	4871	1014	276	634
19	87	2558					3201	2198	3180	1496	622
20	91	3492			5687			537	1571	1672	886
21	260	2299	7798					683	1748	992	1650
22	50	2261			5579			558	1470	710	2021

[단위: 공정시간: 초, 수요량: 개]

방식 간의 비교 분석을 실시한다.

5.1. 작업완료 소요시간의 분석

S사의 6개월의 수요량을 본 연구에서 제시한 3가지의 공정형태 별로 작업완료시간(make-span)을 비교한 결과 5개의 셀로 구성된 P5C가 제일 나은 성과를 보이고 있다(<표 5-1> 참조). 전체 작업시간의 장단은 대기시간의 여부에 영향을 받게 되는데, 기존방법으로 작업을 투입한 경우에는 5개의 셀로 구성된 P5C가 제일 나은 성과를 보였

으나, 본 연구가 제안한 방법으로 투입방법을 개선한 결과 P2C가 제일 나은 성과를 보이고 있다. 즉 P2C의 경우에는 개선된 방법을 상용하므로써 작업완료 시간을 거의 반으로 줄일 수 있음이 나타났다. 반면에 P5C는 오히려 약간의 성과가 저하되는 결과를 가져 왔음에 유의해야 한다.

이 실험의 결과는 Ang and Willey의 결과와 일치하는 것으로서, 셀간의 작업이동을 허용하면 성과가 개선되는 것을 의미한다. 다시말하면 P2C는 P5C에 비해 셀의 구성을 확대한 것과 동일한 성격을 가지고 있으므로, P5C에 셀간 작업 이동을 허용한 것과 같은 상황이다.

요컨대 P5C는 작업 투입 방법의 변화에 별로 민감하지 않으나 P2C나 P1M은 즉각적인 효과가 있음이 나타났다. 그리고 S사의 기존 방식으로는 P5C가 가장 효율적이었지만, 본 연구에서 제안한 방법으로 개선하면 P2C는 효과가 배로 개선되면서 가장 효율적인 것으로 나타났다.

(표 5-1) 작업완료소요시간 결과

셀의 종류		P1M	P2C	P5C
작업완료 시간	기존방식	120,000분	57,330분	51,680분
	제안방식	62,680분	25,110분	52,060분

5.2. 평균유동시간(mean flow time)

작업의 유동시간(flow time)에 대한 실험결과는 아래의 표와 같다. S사의 기존 방식으로 작업을 하는 경우에는, P5C가 가장 나은 성과를 보이고 P1M이 가장 나쁜 결과를 보였다. 결국 평균유동시간(mean flow time)은 결국 개별 작업 완료시간에 대한 전체 평균이므로 變異計數가 그 상황을 잘 설명하게 된다. P5C는 변동계수의 값이 0.818, P2C는 0.856, 그리고 P1M은 1.17이다.

한편 본 연구가 새로 제안한 방법으로 작업을 관리하는 경우에는 P2C가 1작업당 평균 3,430분이 소요되었고, P5C가 3,880분이 소요되어 P2C의 성과개선이 현저하게 나타나고 있다. 더욱이 P2C는 평균유동시간의 표준편차의 값도 4,820분으로 가장 작게 나타나고 있어 가장 안정적으로 라인이 가동되었음을 보여주고 있다.

(표 5-2) 유동시간관련 결과

셀의 종류		P1M	P2C	P5C
평균유동시간	기존방식	26,500분	10,900분	9,130분
	제안방식	8,660	3,430	3,880
표준편차	기존방식	31,000분	9,300분	7,470분
	제안방식	9,800	4,820	7,210
變異計數	기존방식	1.17	.856	.818
	제안방식	1.13	1.41	1.86
완료작업수	기존방식	2,263개	2,263개	2,263개
	제안방식	2,263	2,263	2,263

5.3. 대기열과 대기시간

대기열과 대기시간의 측면에서는 P2C와 P5C의 성과가 엇갈리고 있다. 기존방식 보다는 제안 방식의 것이 대기열이 분산되는 효과가 있으므로 대체적으로 대기열의 수가 감소하고 있다. 이에 따라 전체적인 평균 대기시간도 감소하고 있다.

가류기 전체 평균 대기열로 본다면, 제안 방식을 사용하는 경우, P5C가 31.539, P1M이 45.914 그리고 P2C가 57.1626으로 나타나, P2C가 가장 저조한 성과를 보이고 있다. 반면에 평균 대기시간 측면에서, 제안 방식을 사용하는 경우, P2C가 3383분, P5C가 5131분 그리고 P1M이 6047분을 보이고 있어 P2C가 가장 좋은 성과를 보이고 있다.

반면에 본 연구가 제안한 방법으로 작업을 관리하면 P2C의 경우에는 설비 이용율이 73.8%로까지 상승하여 대폭적인 효율 증대를 볼 수 있다. 그런데 P5C의 경우에는 방법을 바꾸어도 비슷한 수준인 35.6%를 보이고 있어 이용률 면에서 개선이 이루어지지 않음을 나타내고 있다. P1M의 경우에는 낮은 수준이긴 하지만 기존방식에 비해서 제안 방식은 배정도의 이용률 개선을 보이고 있다.

〈표 5-3〉 대기시간 관련 결과

셀		항목	평 균 대기열	평균대기열 표준 편차	평균대기 시 간	처리부품 (작업)수	가 류 기 평균대기열	가 류 기 평균대기시간
P1M	N_C	기존방식	0	0.019	2.012	22	기존방식 :89.84 제안방식 :45.91	기존방식 :14166.62 제안방식 :6047.01
		제안방식	2.408	8.944	1347.47	112		
	N_D	기존방식	5.885	18.867	5985.272	120		
		제안방식	105.461	79.25	17212.98	384		
	N_E	기존방식	14.161	57.327	3600.410	480		
		제안방식	73.707	169.531	4289.299	1077		
	N_F	기존방식	48.355	135.889	7644.021	772		
		제안방식	42.835	88.748	4760.00	1077		
N_G	기존방식	380.8	256.730	53601.42	867			
	제안방식	5.236	15.992	2625.307	125			
P2C	N_C	기존방식	14.508	31.5	2938.893	282	기존방식 :116.02 제안방식 :57.16	기존방식 :8007.37 제안방식 :3383.83
		제안방식	162.038	89.286	7200.127	565		
	N_D	기존방식	1.208	3.974	1551.035	38		
		제안방식	12.510	18.642	2804.185	112		
	N_E	기존방식	10.767	24.609	2695.469	229		
		제안방식	56.956	44.054	3723.761	384		
	N_F	기존방식	231.586	276.575	10165.62	1306		
		제안방식	43.465	51.281	1013.191	1077		
N_G	기존방식	161.059	105.001	22685.86	407			
	제안방식	10.844	18.449	2177.889	125			
P5C	N_C	기존방식	18.443	44.688	4352.282	218	기존방식 :64.01 제안방식 :31.53	기존방식 :8084.20 제안방식 :5131.17
		제안방식	3.584	8.672	851.938	218		
	N_D	기존방식	87.725	57.563	20701.4	219		
		제안방식	72.146	43.379	17149.85	219		
	N_E	기존방식	140.685	261.805	6405.745	1135		
		제안방식	34.457	62.761	1580.436	1135		
	N_F	기존방식	66.188	123.157	6054.087	565		
		제안방식	42.282	73.112	3895.766	565		
N_G	기존방식	7.032	19.229	2907.489	125			
	제안방식	5.229	13.911	2177.890	125			

5.4. 설비이용율

전체적으로 기존 S사의 방식으로 작업을 투입하는 경우에는, 현재 실험에 사용한 조건하에서 S社의 설비 이용율은 낮게 나타나고 있다. 즉, 성과가 가장 좋은 편인 P5C의 경우에도 가동율이 35.8%에 불과하고, 가장 낮은 PIM의 경우는 15.2%에 불과하다. 이것은 작업의 도착에 따라 적절한 순서계획이 이루어지지 않으면 설비의 가동율은 낮게 되기 때문이다.

6. 결 론

본 연구는 기존의 S사의 시스템의 효율성을 제고하기 위해, 공정과 이에 투입되는 부품유형을 분석하여, 우선 부품유형을 소수의 부품 집단으로 분류한 뒤, 이들에 전용기계를 사용하여 처리하는 셀 구조를 공정에 도입하여 그 효율성을 분석하는 연구로서, 작업 투입의 방식을 변경함으로써 성과의 개선이 있는가를 검토하였다.

분석 결과, 전체적으로 셀 구조를 기존의 공정에 도입한 구조가 효율적임을 보이고 있는데, 작업 투입 방식을 기존 방식대로 하면 전형적 흐름라인의 형태를 가진 P5C가 가장 나은 성과를 보이고, 본 연구가 제안한 방식으로 투입 순서를 변경하면 확장된 셀의 구조를 지닌 P2C가 제일 나은 성과가 나타났다.

전체적으로 제안된 방식의 성과 개선이 현저하므로 S사의 경우에 작업 투입관리 방식을 개선함으로써 납기 단축을 달성할 수 있는 여지가 발견되었다고 할 수 있다. 또한 성과 개선의 정도가 현저하므로 P2C를 채택함이 바람직할 것이다.

본 연구는 다음과 같은 범위에서 수행된 연구이다. 즉, 본 연구가 제안한 작업 투입 방법은 현실적으로 적용이 가능한 방법 범위내에서 선택하여야 한다는 전제에서 출발한 것이므로 향후 연구는 새로운 알고리즘이나 휴리스틱을 도입하여 추가적인 성과 개선을 검토할 필요가 있다. 또한 전면적인 설비 개체가 가능하다면 설비의 대수를 변경할 수 있으므로 효율적인 구조를 변경할 수 있는 연구가 필요할 것이다.

(표 5-4) 설비이용율 관련 결과

공정	항목		평균이용대수 (표준편차)	설비 대 수	최대이용 대 수	전체평균 이용율
	기존	제안				
PIM	N_C	기존	0.04 (0.311)	4	4	기존방식 :0.152 제안방식 :0.2884
		제안	0.43 (1.213)			
	N_D	기존	0.29 (0.699)	2	2	
		제안	1.98 (0.167)			
	N_E	기존	0.56 (1.745)	6	6	
		제안	1.48 (2.574)			
N_F	기존	1.0 (2.231)	6	6		
	제안	1.59 (2.644)				
N_G	기존	1.0 (0.021)	1	1		
	제안	0.13 (0.341)				
P2C	N_C	기존	0.89 (1.662)	4	4	기존방식 :0.323 제안방식 :0.738
		제안	3.98 (0.224)			
	N_D	기존	0.17 (0.556)	2	2	
		제안	1.07 (0.977)			
	N_E	기존	1.15 (2.357)	6	6	
		제안	4.95 (2.223)			
N_F	기존	2.93 (2.997)	6	6		
	제안	3.69 (2.774)				
N_G	기존	1.00 (0.030)	1	1		
	제안	0.33 (0.472)				
P5C	N_C	기존	0.80 (1.597)	4	4	기존방식 :0.358 제안방식 :0.356
		제안	0.80 (1.592)			
	N_D	기존	1.99 (0.109)	2	2	
		제안	1.98 (0.191)			
	N_E	기존	1.92 (2.799)	6	6	
		제안	1.91 (2.761)			
N_F	기존	1.94 (2.799)	6	6		
	제안	1.92 (2.795)				
N_G	기존	0.16 (0.369)	1	1		
	제안	0.16 (0.368)				

참고문헌

[1] 김석성, 이진춘, 정충영, “동태적 작업도착하에서 흐름공정의 작업배정 규칙의 성과”, 생산관리연구, 제3

- 권 제1호 (1992), 한국생산관리학회, pp. 111-143.
- [2] 윤재근, "다품종 소량 생산 기업의 효율적인 설비 배치 모형에 관한 실증적 연구", 경영학연구, 23권 특별호 (1994, 12), 한국경영학회, pp.281-302.
- [3] Ang, C. L., and P. C. T. Willey, "A comparative study of performance of pure and hybrid group technology manufacturing systems using computer simulation technique", International Journal of Production Research Vol. 22, No 2 (1984), pp.193-233.
- [4] Anthony, R. N., Planning and Control Systems: A Framework for Analysis, Harvard University Press, 1965.
- [5] Barbara, B. Flynn and F. Robert Jacobs, "An experimental comparison of cellular(Group Technology) layout with process layout", Decision Science, (1987), pp.562-581.
- [6] Flynn, Babara B., and F. Robert Jacobs, "An experimental comparison of cellular (group technology) layout with process layout", Decision Science, Vol. 18 (1987), pp. 562-581.
- [7] Flynn, Barbara B. and F. Robert Jacobs, "A simulation comparison of group technology with traditional job shop manufacturing", Int. J. Prod. Res., Vol. 24, No. 5 (1986), pp.1171-1192.
- [8] Gupta, Jatinder N. D. and Enar A. Tunc, "Schedules for a two-stage hybrid flowshop with parallel machines at the second stage", Int. J. Prod. Res., Vol. 29, No 7 (1991), pp.1489-1502.
- [9] Narashimhan, S. L. and S. S. "Panwalkar, Scheduling in a two-stage manufacturing process", Int. J. Prod. Res., Vol. 22, No. 4 (1984), pp.555-564.
- [10] Narashimhan, Seetharama L. and Paul M. Mangiameli, "A comparison of sequencing rules for a two-stage hybrid flow shop", Decision Science, Vol. 18 (1987), pp.250-265.
- [11] Paul, R.J.A., "A production scheduling problem in the glass container industry", Operations Research, Vol. 27 (1979), pp.290-302.
- [12] Tsubone H, M. Ohba and Y. Miyake, "A production scheduling system for a hybrid flow shop - a case study", OMEGA, Vol. 21, No 2 (1993), pp.205-214.
- [13] Yang, Kum Khiong and F. Robert Jacobs, "Comparison of make-to-order job shops with different machine layouts and production control systems", Int. J. Prod. Res., Vol. 30, No. 6(1992), pp.1269-1283.
- [14] Panwalker, S.S. & Ikslander, S., "A survey of scheduling rules", Operations Research, Vol. 25 (1977), pp.45-61.

● 저자소개 ●



이진춘

현재 경북산업대학교 산업공학과 부교수로 재직 중이며, 경북대학교 경영학과에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하였다. 일본 大阪府立大學에서 공동연구원으로서 퍼지이론에 관한 연구를 수행하였다.

관심분야로는 스케줄링, 시물레이션, 퍼지집합 이론을 응용한 의사결정시스템의 설계에 관한 연구에 관심을 가지고 있다.



윤재근

현재 대구효성 가톨릭대학교 경영학과 교수로 재직 중이며, 현재 대구경북경영과학회 회장으로 재임 중이다. 경북대학에서 이학사, 영남대학교에서 경영학석사 그리고 경북대학에서 경영학박사를 취득하였다. 미국 미시시피 주립대학교에서 교환교수로 재직하며 연구를 수행한 바 있다.

관심분야로는 총괄생산계획, 설비배치, 최적화이론에 관심을 가지고 있다.