

조립생산 시스템에서의 혼합 모델 그룹화

김연민* · 서운호*

Model Grouping in α Mixed-model Assembly Line

Yeorn-Min Kim, Yoon-Ho Seo

〈Abstract〉

This paper investigates the problem of grouping N products on an assembly line with an objective of maximizing the option grouping rate. Before developing a mixed model grouping algorithm, simulation studies are committed for developing operating rules and evaluating the layout of production systems. A mixed model grouping algorithm is suggested and it is applied to the color selection lane in automobile production system, which reveals a high mixed model grouping rate.

1. 서론

조립생산시스템에서 혼합모델(Mixed-model)을 순서화하는 문제는 Thomopoulos (1967)의 연구이래 많은 연구가 이루어져 왔다(Thomopoulos, 1967; Macaskill, 1972; Dar-El and Cother, 1975; Okamura and Yamashina, 1979; Monden, 1983; Miltenburg, 1989; Yano and Rachamadugu, 1991; Inman and Bulfin, 1991; Tsai, 1995). 혼합모델의 경우 조립생산시스템 라인의 평준화, 부가작업(Utility Work) 및 컨베이어 증단의 위험 등을 줄이기 위해 자기발전적 기법, 시뮬레이션, 수리모형 및 regenerative sequencing 절차 등이 개발되었다.

그러나 혼합모델 순서화 (Mixed-model Sequencing) 문제와는 달리, 여러 모델이 혼재되어 흐르는 조립생산시스템에서 모델변환에 따르는 준비비용을 최소화하기 위해서 모델들을 다시 그룹화하여야 할 필요성도 있다. 예를 들면 판넬 프레스링, 차체 용접, 도장 및 의장조립 공정으로 이루어진 자동차공장에서 도장라

인의 경우, 같은 색상의 제품을 가능한 한 많이 그룹화 함으로서 도장부스의 색상 변환 빈도를 줄여 색상 변환에 따른 비용 발생을 억제 할 수 있다. 따라서 혼합모델 그룹화는 혼합모델 순서화와는 반대의 경우로 파악할 수 있다.

본 연구의 목적은 다음과 같다

- (1) 혼합 모델 그룹화 문제를 정의한다.
- (2) 효율적 혼합 모델 그룹화를 위한 시스템 배치 방안을 시뮬레이션을 통해 고찰하며, 아울러 혼합모델 그룹화를 위한 알고리즘을 어떻게 개발할 수 있는가를 고찰한다.
- (3) 혼합모델 그룹화를 위한 알고리즘을 개발하고 이를 실제 생산 시스템에 적용하여 그룹화 비율을 높인다.

본 연구는 2 장에서 먼저 혼합모델 그룹화 문제를 정의하며, 3장에서 효율적 혼합모델 그룹화를 위한 시스템배치 방안에 관한 고찰을 통해, 혼합모델 그룹화 알고리즘에 대한 이해를 높인다. 4 장에서는 혼합모

델 그룹화율을 높일 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 실제 생산 시스템에 적용한 사례를 예시한다.

2. 혼합모델 그룹화 문제의 정의

조립생산에서 규모의 경제를 상실하지 않고도 재고 없이 다종다양한 제품을 소량생산하는 도요타 생산 방식은 포드시스템의 사고를 뒤엎는 유연하고 효율적인 생산방식이며 다품종 소량생산의 시대를 연 뛰어난 생산 방식이었다.

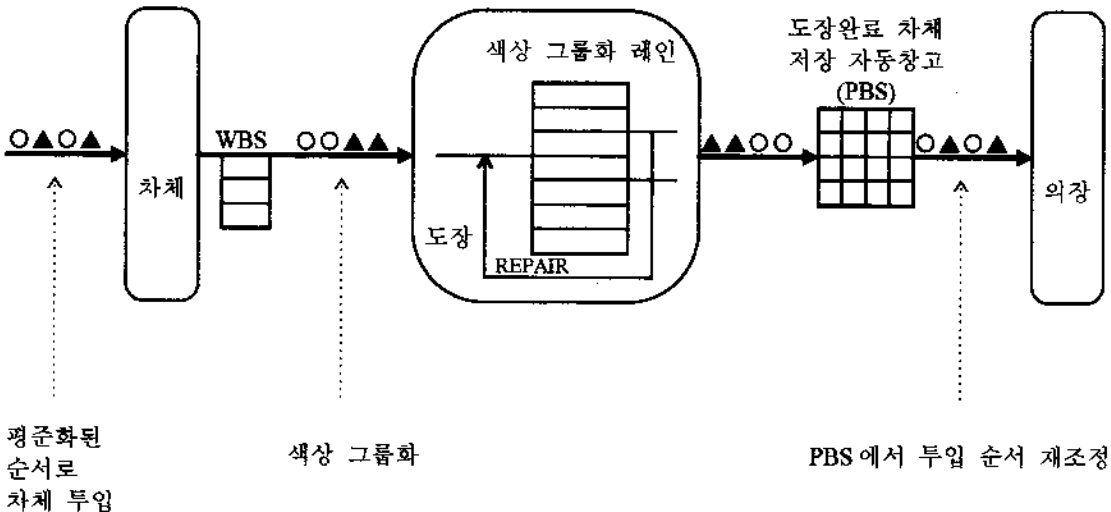
도요타 생산방식을 적용한 조립생산에서는 생산계획시 묶음(batch) 생산이 아닌 흐름생산, 라인의 평준화, 부가작업(Utility Work) 및 컨베이어 중단 위험을 최소화하기 위해 혼합모델의 순서화가 중요한 문제였다.

그러나 조립생산의 일부 공정에서는 순서화된 혼합모델을 다시 모델별로 묶어 그룹화 할 필요가 있다. Shingo(1985) 는 SMED(Single Minute Exchange of Die)를 이용 금형의 교환 시간을 몇 분 안에 이루어지게 하여, 묶음 생산을 하지 않을 수 있는 방안을 제시하였으나, 공정의 특성상 아직 묶음 생산이 불가피한 공정이 있고 그 경우에는 순서화된 혼합모델을 다시 같은 모델 혹은 같은 색상 등으로 그룹화할 필요가 있다.

혼합모델 그룹화 문제란 순서화된 혼합모델을 공정의 효율을 높이기 위해 그룹화하는 것이며, 이때 공정의 효율을 높인다는 것은 그룹화 비율을 높이거나, 그룹화를 통해 특정의 목적 함수를 최소화 혹은 최대화 하는 것으로 정의한다

예를 들면 <그림 1>과 같은 자동차생산의 경우 차체, 도장, 조립 공정을 거쳐 자동차가 생산되는데, 도장 공정에서는 도장 부스(booth) 내에서 차체 색상이 바뀔 경우 신너 등을 이용해 도장 장비를 세척해야 하는 문제가 발생한다. 그러므로 도장 공장의 경우 차체가 도색되기 전에 이들 차체를 그룹화하기 위한 몇 개의 컨베이어(lane 으로 부름)가 조합된 색상그룹화 레인이 존재하는데 이를 이용하여 같은 색상의 차체를 가능한 한 많이 그룹화 함으로서 도장 부스(booth)의 색상 변환을 줄여 색상변환에 따른 비용 발생과 잦은 색상 변환으로 인한 도장 품질 저하를 억제할 수 있다. 이와 같은 문제는 생산일정계획 문제로 볼 경우 동적 시스템에서의 N 개의 option을 가지는 제품의 순서변환 (permutation)을 통해 option의 그룹화를 위한 순서화 (sequencing) 문제로 파악될 수 있다.

한편 이 문제는 대부분의 조립생산 시스템에 내재된 문제로 자동차의 생산 일정계획 외에도 많은 조립생산



<그림 1> 자동차 조립 라인에서의 혼합 모델 순서화/그룹화

시스템의 일정계획 문제에 적용될 수 있을 것이다.

3. 효율적 혼합모델 그룹화를 위한 시뮬레이션

혼합모델 그룹화를 위한 알고리즘을 개발하기 전에 먼저 효율적 혼합모델 그룹화를 위한 설비배치 방안에 대한 시뮬레이션이 행해졌다. 이는 시뮬레이션을 통해 설비배치를 개선하고 이를 효율적으로 운영할 수 있는 알고리즘을 고찰하는데 많은 도움을 주었다.

시뮬레이션은 신설 자동차 조립 공장 내에서 도장 부스의 색상 그룹화 비율을 높이기 위해 설치할 색상 그룹화레인(〈그림 1〉 참조)에 대하여 행하여졌다. 이 색상그룹화레인은 일본의 컨베이어 제작 설치 전문 업체에 의뢰하여 설계(〈그림 2〉) 되었으며, 이 설계안은 설치전문업체가 Automod를 이용하여 자체 시뮬레이션한 결과 색상 그룹화율(전체 생산대수/ (색상 변환 횟수+1))이 2.59로 보고되었다.

그러나 이 설계안은 색상그룹화율이 너무 낮아 설치시 비효율이 명약관화하므로 설계안 자체를 재검토해야 한다고 결정되었다.

색상그룹화레인 (현장에서는 이를 색상선택레인(Color Selection Lane) 이라고 부르나 본 연구에서는 색상그룹화레인이 보다 학술적 용어라고 보아 이렇게 부르기로 한다)의 기존 설계안(〈그림 2〉)은 차체를 도장하기에 앞서 traverser와 컨베이어로 구성된 7개의 레인에 차체를 각 라인당 7대씩 임시 저장하였다가 같은 색상으로 묶을 수 있게 순서를 바꾸어 도장 부스에

투입하도록 설계되었다. 여기서 4번 레인은 차체의 색상 그룹화 비율을 높이기 위해 1,2,3 5,6,7번 레인으로 부터 차체를 회송하여야 할 경우에 쓰일 회송 레인으로 설계되었다.

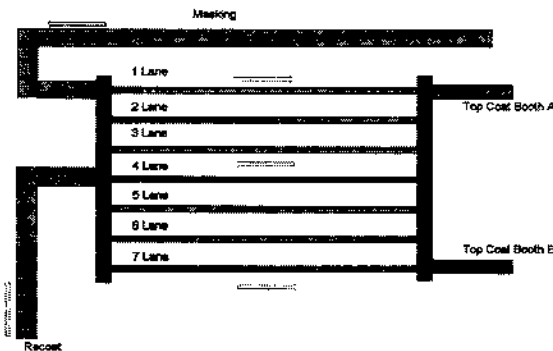
레인에서 도장 부스에 차체를 투입할 때 1,2,3 레인으로부터는 도장 부스 A에 투입 가능하며 5,6,7 레인으로부터는 도장 부스 B에 투입 가능하게 설계되었다. 그러나 회송시나, 도색에 불량률이 있어 recoat를 통해 재입고시 1, 2번 레인으로서는 재입고가 되지 않으며, 차체 색상 그룹을 높이고자 차체를 회송레인인 4번 레인으로 보내고자 할 경우 traverser를 역회전 시키도록 설계되어 있었다. 시뮬레이션은 기존의 설계안과 모든 레인으로 회송된 차체가 재입고 가능하게 하며 모든 레인에서 도장 부스로 차체가 출고 가능하게 한 대안1 (〈그림 3〉) 과 회송레인을 없애고 모든 레인을 색상그룹화레인으로 한 대안 2에 대해 행하여졌다.

이때 시뮬레이션에서 사용한 입출고 방법은 운영 알고리즘에 대한 통찰을 위해 여러가지로 구상되었으나 본 연구에서는 단지 대안의 비교에 사용되고, 이해가 쉬운 단순하게 만들어진 방법을 예시하며 그 방법은 다음과 같다.

가. 입고 방법

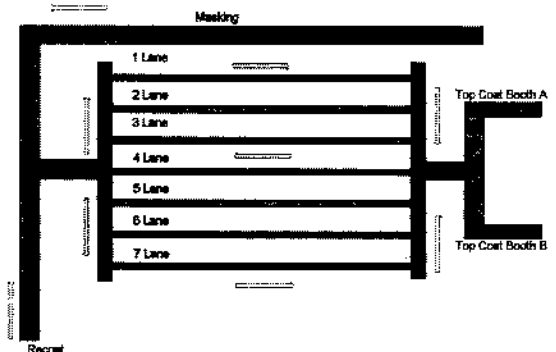
- (1) 입고시 라인 맨 뒤에 같은 색상이 있으면 그 레인을 선택한다.
- (2) 같은 색상이 없을 경우에는 무작위로 레인을 선택한다.

Color Selection Lane Layout
기존안



〈그림 2〉 기존의 설비배치안

Color Selection Lane Layout
Alternative 1 (1 Return Lane)



〈그림 3〉 설비배치 대안1

나. 출고 방법

- (1) 출고시 부스의 차체 색상과 같으면 차체를 출고한다.
- (2) 출고할 차체 색상과 같은 차체 색상이 도장 부스의 맨 뒤에 없으면 부스와 회송 라인 가운데 입의로 차체를 내보낸다.

단 위의 입출고 방법은 실제적 운영 알고리즘이 아니므로 대안의 비교에는 사용될 수 있으나 단순하여 색상의 그룹화 비율이 그다지 높지 않을 것으로 예상되었다.

Siman으로 처리된 시뮬레이션 결과<표 1>는 다음과 같았다. 시뮬레이션의 결과에 따라 설비 배치안으로 대안1이 권고되었으나 설비를 재설계할 시간이 충분하지 않으며, 기존안과 색상 그룹화 비율이 그다지 차이가 나지 않아 기존안을 그대로 사용하기로 결정을 내렸다. 따라서 이 설비배치 문제는 이제 기존 설비 배치를 그대로 두고 이를 가장 효율적으로 운영하게 할 수 있는 운영 알고리즘의 개발에 초점이 맞추어졌다. 그러나 혼합모델 그룹화를 위한 설비배치에 대한 시뮬레이션은 입고 알고리즘과 출고알고리즘은 분리되어야 하며, 색상의 순서변환의 가능범위 등에 관한 여러가지 흥미로운 고찰을 가능하게 해 주었다.

<표 1> 설비 배치 대안에 대한 시뮬레이션 결과

	색상 그룹화 비율	회송 비율	생산계획 관련 효과
기존 안	3.26	57.5%	
대안 1	3.62	52.0%	· Traverser의 역회전으로 인한 효율 감소 방지 · 라인, 부스선택의 자유도 증가로 효율적 운영 프로그램 이용시 색상그룹화 비율을 5 이상 유지 가능
대안 2	3.08	0%	· 회송라인을 없애므로 인한 생산 계획의 어려움

4. 혼합모델 그룹화 알고리즘의 개발 및 적용

4.1 혼합 모델 그룹화 알고리즘 개발을 위한 고찰

혼합 모델 그룹화 알고리즘을 개발하기 위해 다음의 예를 검토해 보자. 예를 들어 제품의 종류가 2 종류이며 2 개의 라인으로 구성된 색상그룹화라인을 가지고 제품을 동적으로 그룹화하는 문제라면 버퍼의 길이가 그룹의 크기를 결정한다.

제품의 종류가 3 종류이며 2 개의 색상그룹화라인에 각 라인마다 하나의 제품을 임시 저장할 수 있으며 이를 동적으로 계획화 하는 문제라면 제품 option의 순서 변환은 라인 수의 2배, 즉 앞으로 들어 올 4 개의 제품까지 그 순서를 바꿀 수 있다 (예 1). 한편

예 1) 2 X 1 색상그룹화라인 (2 라인 1 버퍼) 3 options의 경우

라인	option 변경횟수	입고순서	출고순서
1	14	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20	
1	8		0 X X Δ Δ Δ 0 0 X X Δ Δ 0 0 0 X X Δ Δ
2			2 1 4 3 5 6 8 9 7 10 11 12 13 14 15 16 18 17 20

라인에서 처리되는 과정

- (1) 라인이 가득차 밀려날 경우- option 변경횟수 8번
- (2) 라인에서 연계되지 못할 수 있을 경우-option 변경횟수 8번

제품의 종류가 3 종류이며 2 개의 색상그룹화라인에 각 라인마다 두개의 제품을 임시 저장할 수 있으며 이를 동적으로 계획화 하는 문제라면 제품 option의 순서 변환은 라인 수의 2배, 즉 앞으로 들어 올 4개의 제품까지 그 순서를 바꿀 수 있으며 라인에 임시 저장할 제품의 수는 순서변환에 영향을 미치지 못한다. 그리고 라인에 임시저장하여 이를 처리하는 방법은 3 가지이며 그 방법에 따라 제품 option 변경 횟수는 차이가 있다(예 2). 이 두 예제를 통해 알 수 있는 것은 동적 시스템에서의 N 개의 option을 가지는 제품의 순서변환을 통한 그룹화 문제의 경우 (1) 라인에

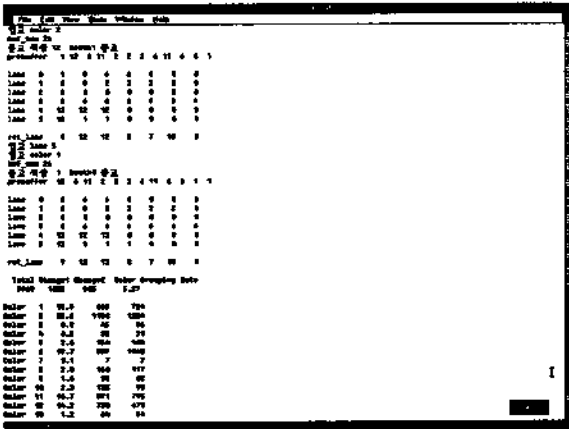
라인에 부스 A와 같은 색상이 있으며, 레인의 길이가 0 보다 크면 출고한다.

3. 출고 후에는 레인에 있는 차체를 조정하고 차체의 수를 하나 줄인다.
4. 지난 번에 도장 부스 A에서 출고 되었으며 5-7 레인에 부스 B와 같은 색상이 있으며, 레인의 길이가 0 보다 크면 출고한다.
5. 출고 후에는 레인에 있는 차체를 조정하고 차체의 수를 하나 줄인다.
6. 2~5 번에서 해당 차체가 없을 경우 버퍼의 두 번째 색상이 도장 부스와 같으면 해당 레인의 맨 앞의 차체를 회송라인(4번 레인) 으로 출고한다.
7. 그래도 해당 차체가 없을 경우 레인의 길이가 가장 긴 것에서 출고한 후, 색상이 바뀐 것을 해아린다.

이러한 알고리즘을 이용하여 운영 프로그램을 작성하여 이를 수행한 결과(그림 4)는 색상 그룹화비율이 5를 상회하고 두 도장 부스로의 투입비율이 비슷하여 매우 만족스러운 결과였다.

5. 토의 및 결론

본 연구는 N 개의 option을 가지는 제품의 순서변환을 통한 그룹화 알고리즘을 자동차 조립라인의 도



〈그림 4〉 색상 그룹화 운영 프로그램의 결과 화면의 예

장공정에 적용하여 같은 색상을 가진 차체를 효율적으로 그룹화하여 색상변환에 따른 비용발생과 품질저하를 막을 수 있게 하였다.

종래 자동차 공장의 경우에는 차체 순서변환을 통한 색상 그룹화 의사결정을 색상그룹화라인에 근무하는 작업자가 수행하였으나, 문제의 복잡성으로 인해 효율적인 차체 색상 그룹화가 거의 불가능하였다. 그러나 최근에는 PLC등을 통해 들어오는 차체 정보를 이용하여 이를 시뮬레이션을 통해 여러가지 운영방안을 고찰한 뒤, 이를 효율적 운영 알고리즘으로 개발하여 색상그룹화라인의 운영을 자동화 하고 있으며, 이에 따른 비용절감 효과는 연간 수 억원 대를 상회하는 것으로 밝혀졌다.

본 연구는 시뮬레이션을 통해 보다 나은 효율적 혼합모델 그룹화를 위한 설비배치안을 제안하였으나 안타깝게도 이는 채택되지 못했다. 아직도 많은 경우 현장에서는 실제 시스템의 설계 및 운영방안이 시뮬레이션을 통한 여러가지 대안에 대한 사전 검토 없이 이루어지고 있다는 점이 아쉬운 현실일 뿐이다.

혼합모델 그룹화를 위한 알고리즘을 개발하기 위해 시뮬레이션과 예제를 통해 혼합모델 그룹화 문제의 속성을 다소 파악할 수 있었으나 본 연구에서는 이를 정리(Theorem) 형태로 증명하지 못했다. 차후 연구에서는 이에 대한 수학적 증명이 필요하다고 본다.

한편 혼합모델 그룹화가 용이한 시스템이 어떤 것 이어야 하는가에 대한 연구도 필요하며, 과연 레인의 수가 어느 정도여야 어떤 특성의 그룹화 비율을 유지할 수 있는가 (예를 들면 레인의 수가 option수의 어느 정도이면 그룹화 비율이 어느 정도 나오는가에 대한 수식을 만들어 줄 수 없는가 하고 현장 시스템 설계자가 요구했다)에 대한 연구도 필요하다.

본 연구는 일본에서 그다지 잘 설계하지 못한 시스템을 그래도 효율적으로 운영하고자 노력한 결과 혼합모델 그룹화에 관련된 알고리즘을 개발하여 그룹화 비율을 5 이상으로 끌어 올렸다. 그러나 자동차 생산라인의 대부분은 외장조립라인 앞에 자동창고를 두어 그룹화된 차체를 다시 순서화하나 그룹화 비율이 너무 높을 경우에는 조립을 위한 순서화에 어려움이 따라 조립공정에서 라인의 평준화, 부가작업 및 컨베이어 중

단의 위험등이 따를 수 있으므로 앞으로의 연구과제는 차체, 도장, 조립 공정 전체를 고려하여 통합 시스템의 최적화를 이룰 수 있는 방향으로 전개 되어야 한다고 본다.

감사의 글

* 본 연구는 현대자동차의 연구비 지원으로 수행될 수 있었습니다. 본 연구를 위해 도와주신 현대자동차 생산기술개발부 신 현오 이사, 서 현진 부장, 김 성수 과장님 외 관계자 여러분께 감사 드립니다.

【참고문헌】

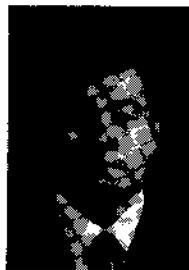
1. Dar-el, E. M. and R.F. Cothor, "Assembly line sequencing for model mix," Int. J. Prod. Res., 1975, Vol. 13, No. 5, 463-477.
2. Inman R. and Robert L. Bulfin, "Sequencing JIT Mixed-model Assembly Lines," Management Science, 1991, Vol. 37, No. 7, 901- 904.
3. Macaskill, J. L. C., "Production-Line Balances for Mixed-Model Lines," Management Science, 1972, Vol. 19, No. 4, 423-434.
4. Miltenburg, John, "Level Schedules for Mixed-model Assembly Lines in Just-in-time Production Systems," Management Science, 1989, Vol. 35, No. 2, 192-207.
5. Monden, Y., Toyota Production System, Institute of Industrial Engineers Press, Norcross, GA, 1983.
6. Okamura, K. and H. Yamashina, "A heuristic algorithm for the assembly line model-mix sequencing problem to minimize the risk of stopping the conveyor," Int. J. Prod. Res., 1979, Vol. 17, No. 3, 233-247.
7. Shingo, Shigeo, A Revolution in Manufacturing: The SMED System, Productivity Press, Cambridge, 1985.

8. Thomopoulos, Nick T., "Line Balancing-Sequencing for Mixed-Model Assembly," Management Science, 1967, Vol. 14, No. 2, 59-75.
9. Tsai, Li-Hui, "Mixed-model Sequencing to Minimize Utility Work and the Risk of Conveyor Stoppage," Management Science, 1995, Vol. 41, No. 3, 485-495.
10. Yano, Candace and R. Rachamadugu, "Sequencing to Minimize Work Overload in Assembly Lines with Product Options," Management Science, 1991, Vol. 37, No. 5, 572-586.



김연민

1979년 서울대학교 산업공학과 학사
 1981년 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1993년 한국과학기술원 경영과학과 박사
 1994년 미국 Ohio주립대학 경영과학과 객원 교수
 현재 울산대학교 산업공학과 교수
 관심분야 : 생산전략, 제조시스템 설계 및 운영



서운호

1993년 Pennsylvania주립대학 산업공학과 박사
 1990년 Pennsylvania주립대학 산업공학과 석사
 1984년 고려대학 산업공학과 학사
 현재 울산 대학교 산업공학과 조교수
 대한산업 공학회, 미국 산업공학회(IIE), 미국 기계공학회(SME)정회원
 관심분야 : 제조 시스템 공학, CAPP, CIM/FMS운영과 제어