

## 도장부스가 2개인 자동차 조립공장의 생산순서계획 작성

박혜규\* · 최원준\*\* · 강혜영\*\*

\*경영학부 · \*\*수송시스템공학부

## Generating a Production Sequence for an Automotive Assembly Plant with Dual Painting Booths

Hyekyou Park\* · Wonjoon Choi\*\* · Haeyoung Kang\*\*

\*School of Business Administration · \*\*School of Transportation Systems Engineering

### <Abstract>

The main line of an automotive assembly plant normally consists of a body line, a painting line, and an assembly line. For determining the production sequence, leveling of heavy options is the major concern for body line and assembly line whereas production of bodies with the same color consecutively is more important in case of the painting line. In this paper, we propose an algorithm for generating the production sequence plan for an automotive assembly plant having the dual painting booths. The proposed algorithm turns out very effective in terms of the global performance measure of the assembly plant.

### 1. 서론

자동차 산업의 완성차 조립공장은 차체라인-도장라인-조립라인으로 구성된 주라인과 주라인에 필요한 부품을 공급하는 공급공장으로 구성되어 있다. 공급공장의 예는 프레스공장, 엔진/기어 공장, 의자공장, 각종 조립부품공장을 들 수 있으며 일부는 사내공장으로 운영되며 대부분은 외부 공급업체로부터 부품을 공급받고 있다. 차체라인에서는 프레스 공장에서 제작된 판넬을 용접하여 차체를 만들고, 도장라인에서는 여러 공정을 거쳐 차체에 도색을 하며, 조립라인에서는 엔진, 트랜스미션, 서스펜션, 브레이크, 시트, 타이어 등 각종 부품을 차체에 부착시킨다.

차체라인과 조립라인상에서는 각 라인의 주요 옵션의 차량들을 평준화 생산할 때에 작업효율이 높는데 반하여 도장라인에서는 동일 색상의 차량들을 연속적으로 투입(그룹핑생산)하여야 색상변경비용이 작게 발생한다. 그런데 최원준(1996)에서 예시되었듯이 주문의 차체 색상과 차체, 조립 옵션 사이에는 상관관계가 있으므로 주요 옵션의 평준화생산(leveling-production)과 동일 색상의 그룹핑생산(grouping-production)은 상충되는 점이 있다. 조립공장 전체의 관점에서 평준화 생산을 저해하지 않으면서 도색 그룹핑의 효율이 높아지도록 생산순서계획을 작성하는 것이 중요하며 본 논문은 이러한 생산순서계획을 작성하기 위한 알고리즘을 제시하는 데에 그 목적이 있다.

## 2. 기존의 연구

지금까지의 자동차 조립공장의 생산순서결정에 관한 연구는 주로 조립라인만을 대상으로 한 생산순서결정에 관한 것이었다 조립공장의 생산순서에 관한 기존의 연구에 대하여서는 최원준(1996)의 참조를 제시한다

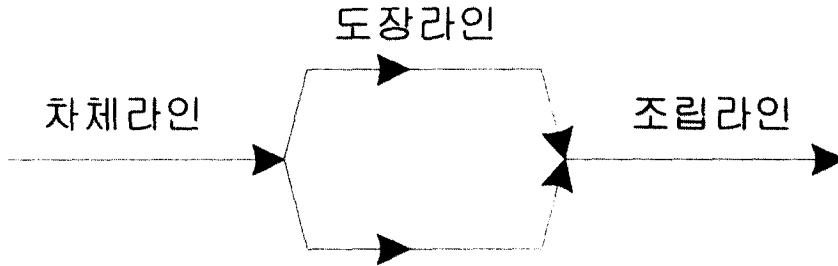
한편 도색그룹핑과 관련된 기존의 연구는 다음과 같다 Burns와 Daganzo (1987)는 도장라인에서의 도색변경시 세척비용이나 프레스공장에서의 뱃취생산준비비용 등을 고려한 생산순서계획 작성의 개념적 분석모델을 제시하였으나 구체적인 해법은 제시하지 않았다 국내의 연구결과로서 김연민과 서운호(1996)는 H사의 신설되는 공장의 도장 부스(booth) 인입/인출제어를 위한 도색그룹핑 알고리즘과 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 통상적으로 도장라인에서 색상변경비용을 줄이기 위하여 도장 부스 앞에 중간창고를 두고 운영하는데 이 창고를 도색 그룹핑 버퍼(color grouping buffer)라고 부른다. 박혜규 외(1996)는 H사의 도색 그룹핑 버퍼 운영시스템을 성공적으로 자동화하였고 운영 알고리즘을 포함하여 이 시스템에 대하여 상세히 기술하고 있다. 최원준외(1996)는 박혜규외(1996)와는 다른 H사의 도색 그룹핑 버퍼 운영시스템의 알고리즘을 제시하였고 실제 공장에 적용하였다

조립라인의 평준화와 도색그룹핑을 동시에 고려하여 생산순서계획을 작성하는 방법론은 최원준(1996)에 의하여 제시되어 적용된 바 있다. 또한 박혜규(1997)는 차체라인 투입순서계획의 구간별로 도색그룹핑을 실시하여 최종 차체라인의 투입 순서계획을 구하는 방법을 제시하였다.

그런데 조립라인의 평준화와 도색그룹핑에 관한 최원준(1996)과 박혜규(1997)의 연구는 도장부스의 개수가 하나라고 가정하거나 도장부스의 개수를 고려하지 않고 생산순서계획을 작성하였다 그러나 도색공정은 차체 또는 조립라인과 비교하여 상대적으로 속도가 낮기 때문에, 라인간의 능력 균형화를 위하여 도장 부스를 2개 설치하는 경우가 많다. 본 연구에서는 도장 부스가 2개인 자동차 조립공장에 대하여 도장 부스가 2개라는 점을 생산순서작성시에 직접 고려한 순서작성법을 제시하고자 한다.

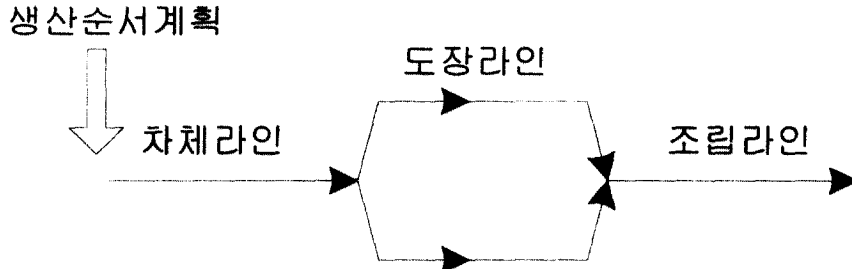
### 3. 문제의 정의

1. 차체라인과 조립라인은 각각 1개씩이고 도장부스는 2개이다. <그림 1>에 조립공장의 개념적 구성도를 나타내었다.



<그림 1> 조립공장의 개념적 구성도

2. 본 연구는 일일생산순서의 결정을 연구대상으로 한다.
3. 일일생산순서계획은 차체라인에 제공되며 차체라인은 제공된 생산순서계획에 따라서 생산을 한다. (<그림 2>참조)



<그림 2> 생산순서계획 제공 위치

4. 차체라인과 조립라인의 주요 옵션을 요구하는 차체는 생산순서계획에서 가급적 평준화되어야 한다.
5. 평준화대상이 되는 주요 옵션의 명세는 주어져 있다.

### 4. 생산순서계획

여기에서는 평준화와 도색그룹핑을 동시에 고려한 투입순서계획작성을 위한 알고리즘의 기본적인 내용에 대하여 서술하기로 한다. 여기에서 제시하는 알고리즘은 최원준(1996)의 방법을 도장라인이 2개인 경우로 확장한 것인데 그룹핑 순서계획은 새로운 형태로 제시하였다. 설명의 편의상 평준화 순서작성, 그룹핑순서작성, 평준화와 그룹핑을 동시에 고려한 순서계획작성으로 나누어 설명하기로 한다.

평준화 순서 작성:

문제. “N대의 계획대상차량이 주어져 있을 때에, 평준화옵션은 가급적 평준화되도록 투입순서를 작성”

다음과 같은 기호를 정의하자.

N 계획 대상 차량의 대수

L 평준화 옵션의 종류

$L_j$  평준화 옵션,  $j=1, 2, \dots, L$

$A(i,j)$ : 차량  $i$ 가 평준화 옵션  $L_j$ 을 요구하면 1, 아니면 0,  $i=1, 2, \dots, N$ ,  $j=1, 2, \dots, L$

$Q(j)$ : N대 중 평준화 옵션  $L_j$ 을 요구하는 차량대수

$k$  순서계산 회수

$Q(k,j)$   $k$ 번째까지 투입된 평준화 옵션  $L_j$ 의 차량 대수

평준화 순서작성을 위한 해법으로서는 목표추적법(Monden, 1993)을 원용한 다음과 같은 발견적 기법을 적용한다. 아래에서 S는 투입결정이 아직 되지 않은 차량들의 집합을 의미한다.

$S \leftarrow \{1, 2, \dots, N\}$

$k \leftarrow 1$

DO UNTIL  $S = \{\}$

다음조건을 만족하는 차량  $i^*$ 를 구한다

$$\underset{i \in S}{\text{Minimize}} \sum_{j=1}^L \left( \frac{N}{Q(j)} \{Q(k-1, j) + A(i, j)\} - k \right)^2$$

차량  $i^*$ 를  $k$ 번째 투입차량으로 한다.

$S \leftarrow S - \{i^*\}$

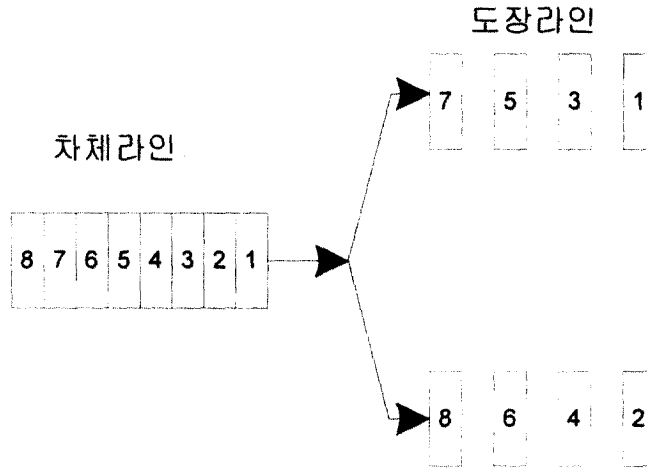
$k \leftarrow k + 1$

ENDDO

도색 그룹핑 순서 작성

문제 “N대의 계획대상차량이 주어져 있을 때에, 색상은 가급적 그룹핑이 되도록 투입순서를 작성”

도장라인이 2개있는 경우의 그룹핑알고리즘은 다음과 같은 점에 착안하였다 <그림 3>에 나타나 있듯이 차체라인에서 생산된 차체는 도장라인에 투입될 때에 순서의 변동이 없다면 순서상 하나씩 번갈아 가면서 도장라인에 투입된다. 도장라인에서의 도색 그룹핑은 도장라인별로 이루어 질 것이므로 순서계획의 작성시 짝수번째 차량들과 홀수번째 차량들의 도색 그룹핑율이 각각 높도록 순서계획을 작성하는 것이 옳, 짝 구분없이 전체의 차량에 대하여 도색 그룹핑하여 순서계획을 작성하는 것보다 나은 것이다



<그림 3> 차체라인 순서의 도장라인 분기

또한 도장라인의 도장 부스 앞에는 도색 그룹핑 버퍼가 있는 경우가 있는데 이 버퍼에서의 순서교환의 기능을 간접적으로 고려하여 차체순서계획의  $k$ 번째 투입될 차체를 선정할 때에 직전 차체의 색상과 동일한 차체가 있으면 그러한 차체중 하나를 선택하여 투입하되 만약 없으면 이전  $W$ 개의 차체중 하나의 색상과 같은 차체를 투입하도록 하였다. 이때에  $W$ 를 window의 크기라고 부른다.

다음과 같은 기호를 정의하자.

$C_i$ : 차량  $i$ 의 색상

$[j]$ :  $j$ 번째 투입된 차량

$\delta(x,y)$ : 색상  $x$ 와 색상  $y$ 가 같으면 0, 아니면 1

$k$ : 순서계산 회수

$W$ : window 크기

$\alpha$ : parameter ( $0 < \alpha \leq 1$ )

도색 그룹핑 순서작성을 위해서는 다음과 같은 해법을 적용한다.

$S \leftarrow \{1,2,\dots,N\}$

$k \leftarrow 1$

DO UNTIL  $S=\{\}$

다음조건을 만족하는 차량  $i^*$ 를 구한다:

$$\text{Minimize}_{i \in S} \sum_{m=1}^W \alpha^{m-1} \cdot \delta(C_i, C_{[k-2m]})$$

차량  $i^*$ 를  $k$ 번째 투입차량으로 한다.

$S \leftarrow S - \{i^*\}$

$k \leftarrow k + 1$   
ENDDO

이 알고리즘에서  $\alpha$ 의 역할은 현시점에 가까운 투입내용에 대하여 더 큰 가중치를 부여하기 위한 것이다

평균화와 도색그룹핑을 동시에 고려한 순서 작성:

문제: “N대의 계획대상차량이 주어져 있을 때에, 평균화옵션은 가급적 평균화되도록 하고, 색상은 가급적 그룹핑이 되도록 투입순서를 작성”

평균화와 그룹핑을 동시에 고려한 순서작성은 앞에서 서술한 평균화의 순서계획법과 그룹핑의 순서계획법을 다음과 같이 통합하였다

$S \leftarrow \{1, 2, \dots, N\}$

$k \leftarrow 1$

DO UNTIL  $S = \{\}$

다음조건을 만족하는 차량  $i^*$ 를 구한다

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \sum_{i \in S} \left( \frac{N}{Q(j)} \{Q(k-1, j) + A(i, j)\} - k \right)^2 \\ & + \gamma \sum_{m=1}^W \alpha^{m-1} \cdot \delta(C_i, C_{[k-2m]}) \end{aligned}$$

차량  $i^*$ 를  $k$ 번째 투입차량으로 한다

$S \leftarrow S - \{i^*\}$

$k \leftarrow k + 1$

ENDDO

여기에서  $\gamma$ 는 평균화부분과 도색그룹핑부분간의 상대적 중요도를 나타내는 가중치로서  $\gamma$  값이 클수록 순서계획작성 시 도색 그룹핑의 비중은 높게 된다 본 알고리즘의 성능과 파라미터들의 적정치는 실험결과를 통하여 알아보기로 한다

## 5. 성능평가

제시된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 국내 자동차 제조업체의 실제 생산 데이터를 대상으로 순서계획을 작성하였다 분석대상 데이터에서 생산대상 차량은 2,000대이고 이 차량의 색상의 종류는 10가지, 차체 및 조립라인의 중요 옵션은 7가지이었다 성능평가 척도는 다음과 같다

옵선소모량 변동 척도 (OptVar)

생산순서를 100대씩 분할한 뒤 각 구간별로 평균화옵선차체의 대수를 구한다.

옵선소모량 변동 척도=평균화옵선차체의 대수의 표준편차의 평균치

도색변경 척도 (ColVar)

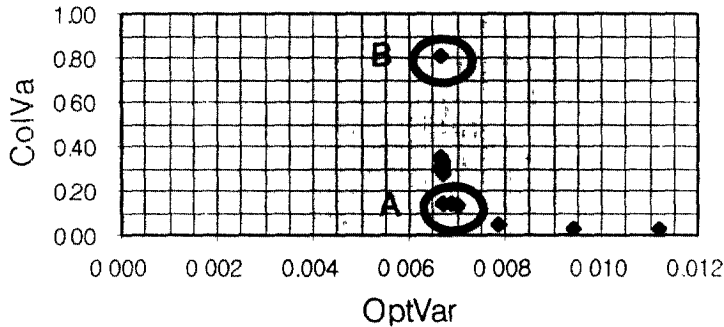
도색변경 척도 = 도색변경회수/전체생산대수

옵선소모량 변동 척도와 도색변경 척도의 값이 작을수록 성능이 더 좋다고 말할 수 있다.

예비실험의 실행결과  $\alpha$ 의 값에 따라서 OptVar와 ColVar의 값이 크게 영향을 받지 않았으나  $0.5 \leq \alpha \leq 0.9$  인 경우가 성능이 나은 편이었다. 이하에서는  $\alpha = 0.5$ 인 경우의 결과에 대하여만 설명하기로 한다.

파라미터  $W$ 와  $\gamma$ 의 값은  $W=1, 10, 20, 30, \gamma=0, 0.01, 0.1, 10, 100$ 의 각각의 조합에 대하여 실험한 결과를 <그림 4>에 정리하였다.

<그림 4>에서 A부분에 해당하는 파라미터값들은  $(W, \gamma)=(1,10), (10,10), (20,10), (30,10)$ 이고 B부분은  $\gamma=0$ 인 경우이다  $\gamma=0$ 인 경우는 순서계획작성시 도색변경은 고려하지 않는 방법을 의미하는데 이 경우의 결과가 옵선소모량 변동척도면에서는 가장 좋게 된다. 참고로 말하면 분석대상의 공장에서는 이러한 방식의 순서계획을 적용하고 있었다 <그림 4>의 결과에 의하면 A부분의 파라미터의 경우가 B경우보다도 옵선 소모량 변동척도면에서는 거의 동등하면서 도색변경척도면에서는 매우 우월한 결과를 보이고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 알고리즘이 기존 방식의 순서계획방법보다 우수함을 알 수 있다



<그림 4> 알고리즘의 성능

또한 도색 그룹핑시 직전  $W$ 대의 차체의 색상과 비교하는 방법을 검토하여 보았다. 본 논문에서 제시한 알고리즘에서는 짝수번째 차량들과 홀수번째 차량들의 도색 그룹핑용이 각각 높도록 순서계획을 작성하는데 반하여 아래의 방법은 홀, 짝 구분없이 전체의 차량에 대하여 도색 그룹핑하여 순서계획을 작성하는 방법이다. 구체적으로 말하면 이 방법은 다음과 같다.

$$S \leftarrow \{1,2,\dots,N\}$$

$k \leftarrow 1$

DO UNTIL  $S = \{\}$

다음조건을 만족하는 차량  $i^*$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize}_{i \in S} & \sum_{j=1}^L \left( \frac{N}{Q(j)} \{Q(k-1, j) + A(i, j)\} - k \right)^2 \\ & + \gamma \sum_{m=1}^W \alpha^{m-1} \cdot \delta(C_i, C_{[k-m]}) \end{aligned}$$

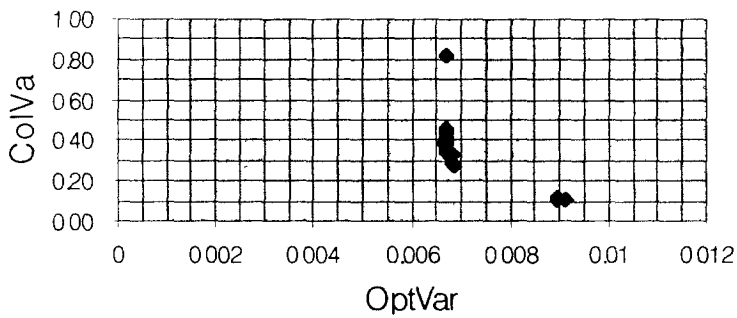
차량  $i^*$ 를  $k$ 번째 투입차량으로 한다.

$S \leftarrow S - \{i^*\}$

$k \leftarrow k + 1$

ENDDO

이 방법의 실험결과를 <그림 5>에 나타내었다 <그림 4>와 <그림 5>의 결과를 비교하면 <그림 4>의 결과가 <그림 5>의 결과에 비하여 ColVar이 약 1/2배 정도, 즉 도색 변경 회수가 약 1/2배 정도되는 것을 알 수 있다. 즉 본 논문에서 제시한 짝수번째 차량들과 홀수번째 차량들의 도색 그룹핑이 각각 높도록 순서계획을 작성하는 개념이 유효함을 알 수 있다



<그림 5> 홀, 짝 구분없는 방법의 결과

## 6. 결론

자동차 조립공장의 경우 라인간 밸런싱의 결과 도장라인의 도장부스가 두개 있는 경우를 흔히 볼 수 있는데 본 논문에서는 이러한 경우 조립공장 전체의 관점에서 평준화 생산을 저해하지 않으면서 도색 그룹핑의 효율이 높아지도록 생산순서계획을 작성하기 위한 알고리즘을 제시하였다



제시된 알고리즘은 기존의 방식에 비하여 주요 옵션의 평준화 생산과 또한 도색 그룹핑 면 모두의 관점에서 더 나은 순서를 만들어냄을 실제 생산데이터를 대상으로 한 실험결과를 통하여 보였다.

### < 참고문헌 >

- 김연민, 서유훈, 조립생산 시스템에서의 혼합모델 그룹화, 산업공학, 제9권, 제2호, pp.39~45, 1996.
- 박혜규, 조립라인의 평준화를 위한 차량 투입 순서 결정에 관한 연구, 울산대학교 경영대학논문집, 제4권 1호, 1997.
- 박혜규, 최원준, 신현오, 자동차 도장공장의 Color Selection 시스템의 자동화, 산업공학, 제9권, 제2호, pp.19~37, 1996.
- 최원준, 자동차 조립공장의 일일 생산순서계획 시스템, 산업공학, 제9권, 제2호, pp.61~74, 1996
- 최원준, 박혜규, 신현오, 자동차 도장라인의 도색 Grouping을 위한 알고리즘 설계 및 적용 사례, 한국생산관리학회지, 제7권, 제3호, pp.67~96, 1996.
- Burns, L.D. and Daganzo, C.F, Assembly Line Job Sequencing Principles, *International Journal of Production Research*, Vol 25, No.1, pp.71-99, 1987.
- Monden, Y., *Toyota Production System, 2nd ed.*, Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia, USA, 1993.