

# 자동차 조립공장의 일일 생산순서계획 시스템

최원준\*

## A Daily Production Sequence Planning System for the Automobile Assembly Plant

Wonjoon Choi

### 〈요 약〉

자동차 조립공장의 주요 공정은 차체라인, 도장라인, 조립라인의 순으로 구성되어 있다. 작업의 효율성을 높이기 위하여 차체라인과 조립라인은 주요 부품소모의 평준화를, 도장라인은 동일 색상차체의 연속 생산을 선호하므로, 생산순서의 결정시 상호 상충되는 점이 많다. 본 연구에서는 조립공장전체의 생산성을 극대화하기 위하여 차체라인, 도장라인, 조립라인의 특성을 고려한 일일생산순서결정 방법을 제시한다.

## 1. 서론

### 1) 연구의 배경 및 목적

자동차 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 Vendor로부터 부품을 공급을 받고 있다. 본연구는 조립공장의 주라인의 효율적인 운영을 위한 생산순서계획작성을 연구대상으로 한다.

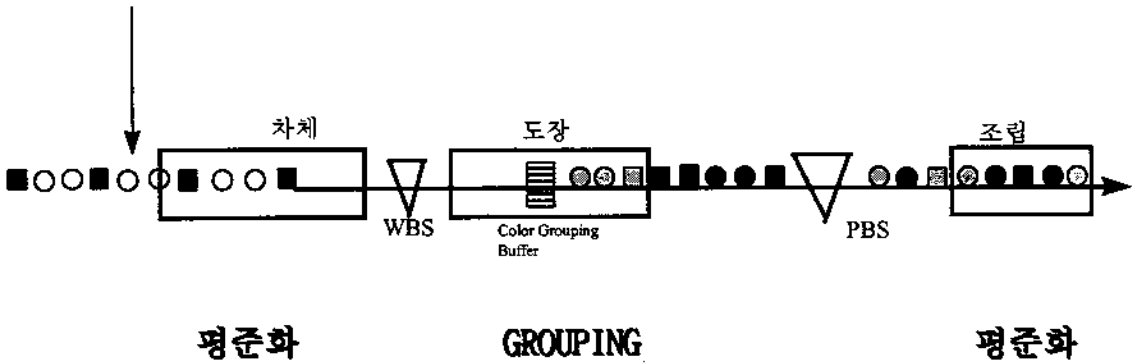
대부분의 자동차 조립공장의 단기생산계획은 주간 또는 10일(旬間)계획과 일일순서계획으로 구성되어 있다. 주간 또는 10일계획은 생산라인의 능력과 부품공급공장의 능력을 고려하여 수주된 물량과 예측생산되는 물량중 해당주간의 생산대상물량을 확정하고 이를

일일단위로 평준화되도록 배분하여 얻은 생산계획을 말한다. 일일순서계획은 일일 생산물량의 생산순서를 말하며 보통 조립라인에서의 생산순서(조립순서계획)를 일일순서계획으로 삼고 있다. 조립순서계획은 주라인의 첫공정인 차체라인에 전달되어 차체라인의 생산은 일일순서계획에 따라 진행된다.(〈그림 1.1〉 참조)

차체라인에 투입된 차체는 용접이 되어 차체가 완성된 후에 중간창고(WBS : White Body Storage라고 부르기로 함)에 저장된 후 도장라인에 투입된다. 차체는 도장라인에서 하도(下塗), 중도(中塗), 상도(上塗)의 도색공정을 거친 후에 중간 창고(PBS : Painted Body Storage라고 부르기로 함)에 저장된 후 조립라인에 투입된다. 도장라인에서의 도색공정, 특히 상도공정에서는 한 차량의 도색시에 그 이전차량과 색상이 다르면 도장 로봇의 노즐을 세척하여야 하는데, 세척시 비용이 발생한다. 세척 비용을 줄이기 위하여 동일 색상의 차량들을 연속적으로 도색하게 되며 이를 위하

\* 울산대학교 산업공학과

### 조립순서계획



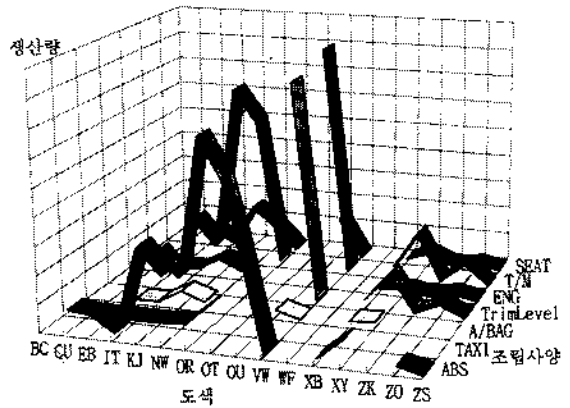
〈그림 1.1〉 자동차공장의 주라인과 생산순서계획

여 상도공정직전에 동일 색상의 차체들을 모으는 중간 창고를 운영하고 있다. 이 중간창고를 도색 그룹 평 창고(Color Grouping Buffer)라고 부른다.

또한 선택사양의 결합에 따라 수 많은 사양의 자동차들을 생산하게 되는데, PBS에서는 조립라인에서의 조립의 난이도 및 부품소모량의 평준화가 달성될 수 있도록 주요 선택사양(예 : 자동변속기, ABS브레이크, SUNROOF, ...)의 차체들을 평준화하여 투입하게 된다. 그러나 차체라인에서 조립순서계획에 따라 생산이 된다고 하더라도 공정중에 혼란요인이 발생하기도 하고 특히 도장라인에서 도색 Grouping에 의하여 생산순서의 혼란이 가중된다. 그런데 도색과 조립부품의 주요 사양은 〈그림 1.2〉의 X자동차 사의 경우와 같이 상호 독립적이 아니어서 도색 Grouping은 PBS에서의 평준화작업에 제약을 주게되고 결국은 조립라인의 생산성에 부정적인 영향을 미치며 조립순서계획의 달성도도 낮게 만든다.

더우기 조립순서계획은 조립부품의 주요사양의 투입이 평준화되도록 작성된 것이어서 차체라인은 굳이 이 순서대로 작업할 필요가 없다. 오히려 차체라인은 차체라인의 효율성을 위하여 조립순서계획과는 다른 순서로 투입하는 것이 유리하다.

본연구에서는 차체, 도장, 조립라인의 각각의 효율을 극대화할 수 있는 일일순서계획을 작성하는 시스템을 제시하고자 한다. 제안된 일일순서계획방법은 각



〈그림 1.2〉 조립사양과 도색과의 관계

라인의 특성을 고려하여 각 라인의 효율이 극대화되도록 하기 위하여 몇가지 개념을 도입하였다. 이 개념들과 방법론에 대하여 후술할 것이다. 제안된 일일생산순서계획 시스템은 실제Data로 검증한 결과 각 라인의 효율이 높게 나타났다.

## 2) 논문의 구성

지금까지 본논문의 연구의 배경과 목적에 대하여 언급하였다. 2장에서는 조립공장의 생산순서 결정과 관련된 기존의 연구 결과에 대하여 정리하고, 3장에서는 조립공장의 생산순서결정을 위하여 사용될 알고리즘의 기본내용에 대하여 소개한다. 4장에서는 이 알고리즘을 이용하여 조립공장의 조립라인, 도장라인, 차체라인의 생산순서계획을 작성하는 구체적인 과정을 제시하고 적용결과와 한 예에 대하여 설명하며 5장에서 결론을 제시한다.

## 2. 기존의 연구

지금까지의 자동차 조립공장의 생산순서결정에 관한 연구는 대부분 조립라인만을 대상으로 한 생산순서결정에 관한 것이었다. Thomopoulos [11]는 작업자의 유휴시간과 작업미완료 비용을 고려한 조립라인 생산순서를 결정하는 문제를 다루었고, Okamura와 Yamashina [8]는 컨베이어의 정지위험을 최소화하기 위한 순서결정의 발견적 기법을 제시하였다. 조립라인의 부품 소모량의 평준화를 위한 해법으로 Toyota 자동차회사에서 사용된 목표추적법은 Monden [6, 7]에 의하여 소개되었고 이를 변형한 몇가지 발견적기법들이 개발되었다[4, 5, 9, 10]. Bard 등 [1]은 조립라인 생산순서 설계의 문제를 유형별로 구분하고 정수계획법모형을 제시하였다. Bard 등 [2]은 작업장의 길이 최소화과 부품소모 평준화의 두목적함수를 고려한 Tabu Search기법을 소개하였다. Yano와 Rachamadugu [12]는 작업장의 능력초과시간을 최소화하기 위한 기법을 제시하였다.

Burns와 Daganzo [3]는 생산준비비용과 주요사양별 조립시간을 동시에 고려하여 생산순서를 결정하기 위한 개념적 분석모형을 제시하였다. 여기에서 생산준비비용은 도장라인에서의 도색변경시 세척비용이나 프레스공장에서의 Batch생산준비비용 등을 의미하여 기존의 다른 연구들과는 달리 조립라인 뿐만 아니라 도장라인 등도 함께 고려하여 순서결정을 하여야 한다는 필요성을 제시하고 있다. 그러나 Burns와 Dagan-

zo의 논문에서는 구체적인 해법을 제시하지 않고 있고 더구나 각 라인사이에는 중간 창고가 없다고 가정하고 있는데 이는 자동차 조립공장의 실상과는 거리가 있다.

이상에서 살펴보았듯이 자동차 조립공장의 생산순서 결정시에 차체, 도장, 조립라인을 모두 고려한 생산순서결정 시스템은 아직 제시되지 않았다.

## 3. 평준화와 Grouping를 동시에 고려한 순서 계획

투입순서계획작성시 몇가지 주요한 사양은 투입간격이 가능한 한 균일하게 되기를 희망하는 것이 있고 어떠한 사양에 대하여서는 연속하여 투입되기를 희망하는 것이 있다. 전자를 평준화 사양이라 하고 후자를 Grouping 사양이라 하는데, 평준화사양은 차체라인이나 조립라인의 특정공정에서 작업시간이 많이 소요되는 사양을 가르키고, Grouping사양은 예를 들면 각각의 도색을 가르킨다.

여기에서는 평준화와 Grouping을 동시에 고려한 투입순서계획작성을 위한 알고리즘의 기본적인 내용에 대하여 서술하기로 한다. 설명의 편의상 평준화 순서작성, Grouping순서작성, 평준화와Grouping을 동시에 고려한 순서계획작성으로 나누어 설명하기로 한다.

### 평준화 순서 작성:

문제 : "N대의 계획대상차량이 주어져 있을 때에, 평준화사양은 가급적 평준화되도록 투입순서를 작성"

다음과 같은 기호를 정의하자.

N : 계획 대상 차량의 대수

L : 평준화 사양의 종류

$L_j$  : 평준화 사양  $j=1,2,\dots,L$

$A(i,j)$  : 차량이 평준화 사양  $L_j$ 을 만족하면 1, 아니면 0,  $i=1,2,\dots,N, j=1,2,\dots,L$

$Q(j)$  : N대중 평준화 사양  $L_j$ 을 만족하는 차량대수, 즉

$$Q(j) = \sum_{i=1}^N A(i,j)$$

k : 순서계산 회수

x(k,i) : 차량 i가 k번째에 투입되면 1, 아니면 0.

Q(k,j) : k번째까지 투입된 평균화 사양 L<sub>j</sub>의 차량 대수, 즉

$$Q(k,j) = \sum_{s=1}^k x(s,i) \cdot A(i,j)$$

평균화 순서작성을 위한 해법으로서는 목표추적법 [6]을 원용한 다음과 같은 발견적 기법을 적용한다. 아래에서 S는 투입결정이 아직 되지 않은 차량들의 집합을 의미한다.

S ← {1,2,...,N}

k ← 1

DO UNTIL S={ }

다음조건을 만족하는 차량 i\*를 구한다 :

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

차량 i\*를 k번째 투입차량으로 한다.

S ← S-{i\*}

k ← k+1

ENDDO

목표추적법은 주요사양의 평균화를 위한 계획작성의 알고리즘으로 Toyota 자동차회사에서 개발되었다 [6,7].

Grouping 순서 작성:

문제 : "N대의 계획대상차량이 주어져 있을 때에, Grouping사양은 가급적 Grouping이 되도록 투입순서를 작성"

Grouping순서작성은 평균화순서작성의 알고리즘을 변형하여 구할 수 있다. 다음과 같은 기호를 정의하자.

L : Grouping 사양의 종류

G<sub>j</sub> : Grouping 사양 j=1,2,...,L

A(i,j) : 차량i가 Grouping 사양 G<sub>j</sub>을 만족하면 1, 아니면 0, i=1,2,...,N, j=1,2,...,L

Q(j) : N대중 Grouping 사양 G<sub>j</sub>을 만족하는 차량대수, 즉

$$Q(j) = \sum_{i=1}^N A(i,j)$$

Q(k,j) : iteration k까지 투입된 Grouping 사양 G<sub>j</sub>의 차량 대수, 즉

$$Q(k,j) = \sum_{s=1}^k x(s,i) \cdot A(i,j)$$

그밖의 기호는 평균화 순서작성의 경우와 같게 해석한다.

Grouping순서작성을 위한 해법은 평균화순서작성의 알고리즘을 변형하였다.

S ← {1,2,...,N}

k ← 1

DO UNTIL S={ }

다음조건을 만족하는 차량 i\*를 구한다 :

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

차량 i\*를 k번째 투입차량으로 한다.

S ← S-{i\*}

k ← k+1

ENDDO

평균화와 Grouping을 동시에 고려한 순서작성:

문제 : "N대의 계획대상차량이 주어져 있을 때에, 평균화사양은 가급적 평균화되도록 하고, Grouping사양은 가급적 Grouping이 되도록 투입순서를 작성"

평균화와 Grouping을 동시에 고려한 순서작성은 앞에서 서술한 평균화의 순서계획법과 Grouping의 순서

계획법을 다음과 같이 통합하여 구할 수 있다.

앞에서 정의한 기호를 일반화하여 다음과 같이 정의하자.

N : 계획 대상 차량의 대수

L : 평준화 사양 및 Grouping 사양의 종류

A(i,j) : 차량이 사양을 만족하면 1, 아니면 0,  
i=1,2,...,N, j=1,2,...,L

Q(i) : N대중 사양을 만족하는 차량대수, 즉

$$Q(i) = \sum_{j=1}^L A(i,j)$$

Q(k,j) : k번째까지 투입된 사양 j의 차량 대수, 즉

$$Q(k,j) = \sum_{s=1}^k x(s,i) \cdot A(i,j)$$

그밖의 기호는 평준화 순서작성의 경우와 같게 해석한다.

평준화와 Grouping을 동시에 고려한 순서작성을 위한 해법의 한 일반적인 형태로서 <그림 3.1>과 같은 발견적 기법을 제시한다.

```

S ← {1,2,...,N}
k ← 1
DO UNTIL S={ }
    다음조건을 만족하는 차량 i*를 구한다 :

    Minimize  $\sum_{i \in S} \delta_j \cdot \left( \frac{N}{Q(i)} [Q(k-1,j)+A(i,j)] - k \right)^2$ 

    차량 i*를 k번째 투입차량으로 한다.
    S ← S-{i*}
    k ← k+1
ENDDO
    
```

<그림 3.1> 통합적 순서계획법 A

여기에서  $\delta_j$ 는 사양 j에 주어지는 가중치로서

- $\delta_j > 0$  사양이 평준화 항목인 경우
- $\delta_j < 0$  사양이 Grouping 항목인 경우

이고  $\delta_j$ 의 절대값의 크기가 클수록 사양을 우선적으로 고려하게 되는데, 가중치의 구체적인 값은 후술하기로 한다.

위에서 소개한 평준화와 Grouping을 동시에 고려한 순서작성은 목표추적법을 간단하게 수정한 것으로 해법이 간명하고 또한 신속한 시간내에 순서를 작성할 수 있다는 잇점이 있다. 앞에서도 언급하였지만 평준화와 Grouping을 동시에 고려한 순서작성의 해법은 본 논문에서 제시한 것이 처음이다.

<그림 3.2>의 알고리즘은 <그림 3.1>의 통합적 순서계획법A와 동일한 것으로 계산속도면에서 개선한 것이다.

```

S ← {1,2,...,N}
k ← 1
DO UNTIL S={ }
    FOR j=1 TO L DO

        R ←  $\frac{N}{Q(j)}$ 

         $\Gamma[j] \leftarrow \delta_j \cdot (R \cdot [2Q(k-1,j)+1]-2k) \cdot R$ 

    ENDFOR

    다음조건을 만족하는 차량 i*를 구한다 :

    Minimize  $\sum_{i \in S} \Gamma[j] \cdot A(i,j)$ 

    차량 i*를 k번째 투입차량으로 한다.
    S ← S-{i*}
    k ← k+1
ENDDO
    
```

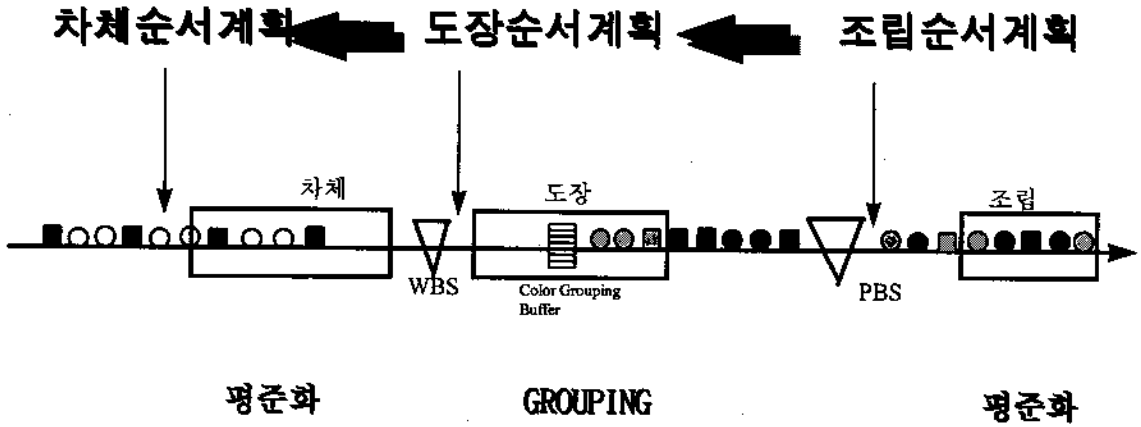
<그림 3.2> 통합적 순서계획법B

통합적 순서계획법A와 통합적 순서계획법B가 동일함과 통합적 순서계획법 B가 계산속도면에서 통합적 순서계획법A보다 우월함을 부록에 증명되어 있다.

#### 4. 신 생산순서계획 시스템

##### 1) 기본개념

기존의 생산순서계획방식은 조립순서계획을 바로 차체라인의 투입지시로 사용하는데 반하여 새로운 생산순서계획에서는 <그림 4.1>에 나타나 있듯이 조립순서계획을 작성하고 이를 기초로 도장순서계획을 다



〈그림 4.1〉 신 순서계획시스템에서의 순서계획순서

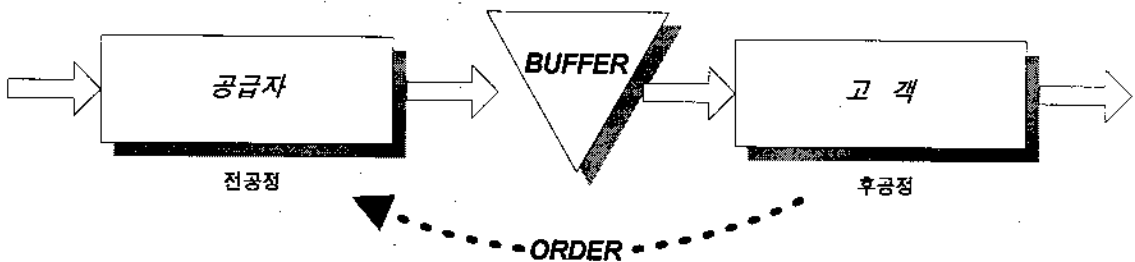
시 이를 기초로 차체순서계획을 작성하고 각 순서계획에 기초하여 각 라인의 투입을 제어하는 방식을 따른다.

신 순서계획시스템에서는 선행라인사이의 관계를 〈그림 4.2〉에 나타난 바와 같이 고객-공급자관계 (Customer-Supplier Relationship)의 연쇄(Chain)로 파악하여 후행라인이 고객의 역할을, 선행라인은 공급자의 역할을 담당한다. 후행라인은 선행라인에 납입의 주문을 생산순서계획의 형태로 요구하면 선행라인은 이 주문을 만족시키기 위한 작업을 한다.

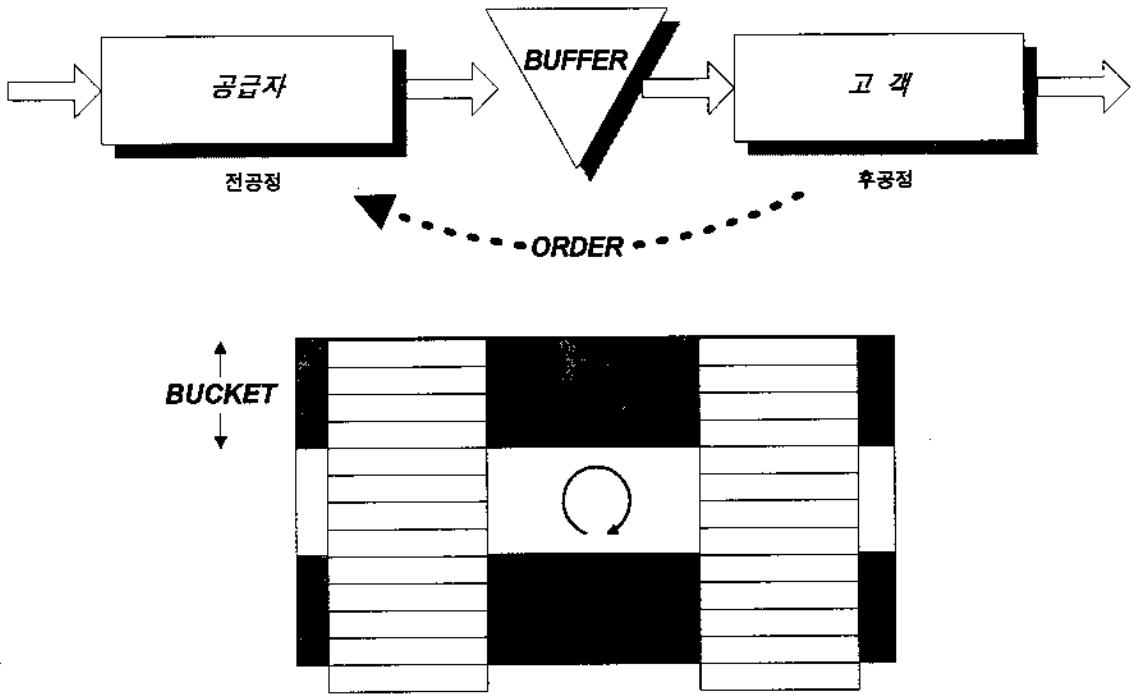
선행라인 사이에는 기본적으로 완충창고(Buffer)를 두어 관리하는데, 이 완충창고의 기능은 ① 선, 후 라인내의 불안정에 대한 완충 ② 선행 라인간 주문이행의 확인장소 ③ 후행라인의 순서계획에 근거한 후행 라인에의 투입을 위한 순서제어 등이 있다.

전통적으로 완충창고의 기능으로 주로 ①만을 생각 하였으나 신 순서계획시스템에서는 완충창고의 기능을 중요시하여 완충창고를 생산관리의 핵심적인 관리 대상으로 보았다. 후행라인에서 요청한 순서와 다르게 선행라인이 완충창고에 공급하여도 어느 정도까지는 완충창고에서 순서를 재조정하여 후행라인의 생산 순서계획에 맞게 투입할 수 있는 능력이 있다고 보았다. 완충창고의 순서혼란 복구능력을 고려하여 신 순서계획시스템에서는 후행라인의 순서계획의 주문을 일정한 범위내에서 선행라인이 뒤바꾸어 완충창고에 공급하여도 무방하다는 원칙을 설정하였다. 〈그림 4.3〉에 나타나 있듯이 이와 같이 순서가 뒤바뀌어도 되는 구간을 Bucket이라고 정의하였다.

Bucket은 PBS-Bucket과 WBS-Bucket이 있는데 PBS-Bucket은 조립라인과 도장라인사이의 순서혼란의 완



〈그림 4.2〉 선행공정의 고객-공급자 관계



〈그림 4.3〉 Bucket 개념

충을, WBS-Bucket은 도장라인과 차체라인사이의 순서혼란의 완충을 담당한다. PBS-Bucket크기의 결정시에 고려되는 요소로서는 PBS의 크기와 선행라인과 후행라인의 안정성 등이 있는데 PBS의 크기가 크면 PBS-Bucket크기를 크게 잡을 수 있고, 또한 선행라인에서 많은 순서혼란이 있을 경우에는 PBS-Bucket이 커야 PBS에서 순서 복구가 가능할 것이다. WBS의 경우도 유사하다. 또한 Bucket의 정의상 WBS-Bucket의 크기는 PBS-Bucket의 크기의 약수가 되어야 한다.

어느 라인이 자체의 순서계획을 세울 때에 고려하여야 할 원칙은 다음과 같다.

- ① 후행라인의 주문에 대하여 동일 Bucket내에서는 자신의 효율 극대화를 위하여 순서를 뒤바꾸어도 된다.
- ② 선행라인의 처리능력을 고려하여 선행라인의 평준화 사량이 Bucket간에 평준화되도록 한다.

원칙①은 이미 설명하였고 원칙②에 대하여 간략히 부연하면 다음과 같다. 동일 Bucket내에서는 선행라인과 후행라인의 생산순서가 다르더라도 중간창고의 순

서복구능력에 의하여 별다른 문제가 되지 않는다. 그런데 후행라인이 선행라인에 대하여 주문할 때 Bucket간의 선행라인의 평준화 사량이 평준화되지 않으면 선행라인이 이 주문을 제대로 처리하기 곤란한 경우가 발생한다. 어느 Bucket에 선행라인의 평준화 사량이 편중되어 몰리면 선행라인에서 작업부하가 불균형되게 발생하거나 부품공급상에 문제가 있을 수 있기 때문이다.

## 2) 순서작성의 절차

주간 또는 순간의 상위생산 계획으로부터 일일생산물량에 대한 정보를 얻어 이로부터 조립라인의 순서계획, 도장라인의 순서계획, 차체라인의 순서계획을 순차적으로 생성하는 과정을 설명하기로 한다. 설명의 편의상 일일생산물량 정보가 〈그림 4.4〉와 같이 표현되어 있다고 가정한다.

〈그림 4.4〉에서 사용된 기호의 정의는 다음과 같다.

차량 번호	TR <sub>1</sub>	TR <sub>2</sub>	TR <sub>3</sub>	TR <sub>4</sub>	BD <sub>1</sub>	BD <sub>2</sub>	BD <sub>3</sub>	BD <sub>4</sub>	CL <sub>1</sub>	CL <sub>2</sub>	CL <sub>3</sub>	CL <sub>4</sub>
	[Blank area for data]											

〈그림 4.4〉 일일생산물량의 정보

- TR<sub>j</sub> j=1,2,...,a : 조립라인의 평준화 사양
- BD<sub>j</sub> j=1,2,...,b : 차체라인의 평준화 사양
- CL<sub>j</sub> j=1,2,...,c : 도장라인의 도색

A의 한 행은 차량1대의 생산사양을 나타내며 A의 각 요소값은 0 또는 1이다. TR또는 BD항목의 값이 1이면 해당 사양이 요구됨을 의미하며, CL항목의 값이 1이면 해당 Color의 도색이 요구됨을 의미한다. 물론 한 차량의 도색은 한 가지이므로 각 행에 대하여 CL<sub>1</sub>, CL<sub>2</sub>, ..., CL<sub>c</sub> 중 하나만 1의 값을 취한다.

**조립라인순서계획**

조립라인의 순서계획은 일일생산대상물량을 재배열하여 작성되며 조립라인의 순서계획은 다시 도장라인에 생산요구되어진다. 조립라인의 순서계획작성은 두 단계로 구성되어 있다.

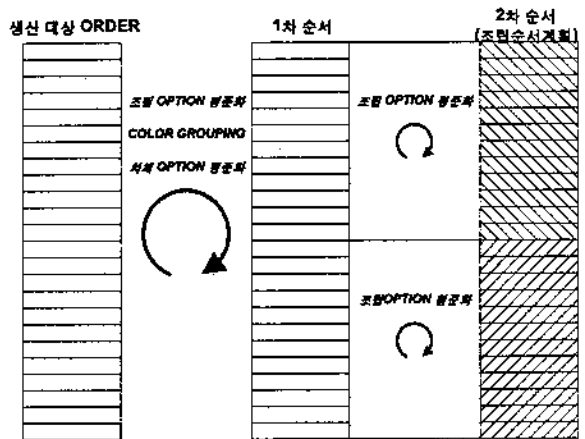
〈순서계획 1단계〉

일일생산대상물량을 조립라인과 차체라인의 평준화 사양에 대하여서는 평준화, 도장라인의 도색에 대하여서는 Grouping을 하기 위한 통합적 순서계획법을 적용하여 재배열하여 1차 순서를 만든다. 이때에 적용하는 가중치 $\delta$ 는 차체라인의 평준화사양에 조립라인의 평준화 사양보다 더 큰 값을 할당하고(즉  $\delta(BD) > \delta(TR_j)$ ), 도색에 대하여서는 Grouping의 가중치를 부여한다. 차체라인의 평준화사양에 조립라인의 평준화 사양보다 더 큰 가중치를 부여하는 것은 차체라인의 평준화 사양이 Bucket간에 전체적으로 평준화되도록 하기 위함이다.(조립라인의 평준화사양의 Bucket내

평준화처리는 순서계획 2단계에서 다루어진다.)

〈순서계획 2단계〉

순서계획 1단계에 얻어진 순서를 PBS-Bucket단위로 분할하고 각각의 Bucket내의 차량에 대하여 조립라인의 사양의 평준화를 고려하여 순서를 재배열한다. 즉  $\delta(BD) = \delta(CL) = 0$ 으로 설정하고 통합적 순서계획법을 적용한다. 여기에서 조립라인의 평준화 사양만을 고려하는 것은 Bucket내의 차량이 순서가 뒤바뀌어 PBS에 진입한다 하더라도 조립라인은 조립라인의 생산성을 극대화하기 위하여 투입하면 되기때문이다. 순서계획 2단계에서 얻어진 계획이 바로 조립라인의 순서계획이 되고 조립라인의 순서계획은 다시 도장라인에 대한 주문으로서 도장라인에 주어지게 된다. (〈그림 4.5〉 참조)



〈그림 4.5〉 조립라인의 생산순서계획 작성 단계

**도장라인순서계획**

조립라인의 순서계획을 받으면 도장라인의 경우는 차체라인의 능력을 동시에 고려하면서 도장라인의 생산성을 극대화하기 위하여 다음과 같은 두단계를 거쳐 생산순서계획을 작성한다.

〈순서계획 1단계〉

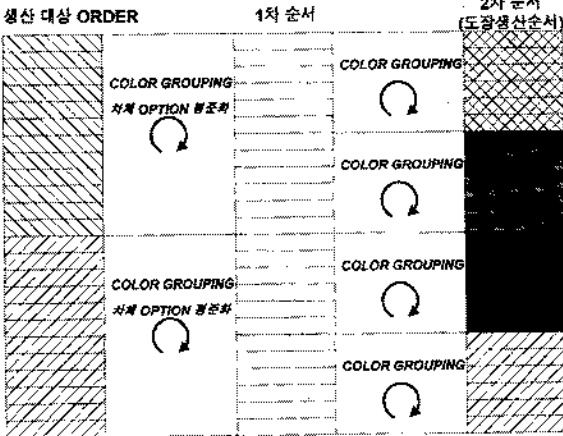
조립라인의 순서계획을 각각의 PBS-Bucket내에서 차체라인의 평준화 사양에 대하여서는 평준화, 도장



라인의 도색에 대하여서는 Grouping을 하기 위한 통합적 순서계획법을 적용하여 재배열하여 1차 순서를 만든다. 이때에 조립라인의 평준화항목에 대하여서는 고려하지 않는다. 차체라인의 평준화사양을 고려하는 것은 차체라인의 평준화 사양이 전체적으로 평준화되도록 하기 위함이다.

〈순서계획 2단계〉

순서계획 1단계에 얻어진 순서를 WBS-Bucket단위로 분할하고 각각의 WBS-Bucket내의 차량에 대하여 도장라인의 도색 Grouping만을 고려하여 순서를 재배열한다. 즉  $\delta(BD)_i = \delta(TR)_i = 0$ 으로 설정하고 통합적 순서계획법을 적용한다. 여기에서 도색Grouping만을 고려하는 것은 WBS-Bucket내의 차량이 순서가 뒤바뀌어 WBS에 진입한다 하더라도 WBS에서는 충분히 순서를 복구할 수 있기 때문이다. 순서계획 2단계에서 얻어진 계획이 바로 도장라인의 순서계획이 되고 이 도장라인의 순서계획은 다시 차체라인에 대한 주문으로서 차체라인에 주어지게 된다.〈그림 4.6〉 참조)

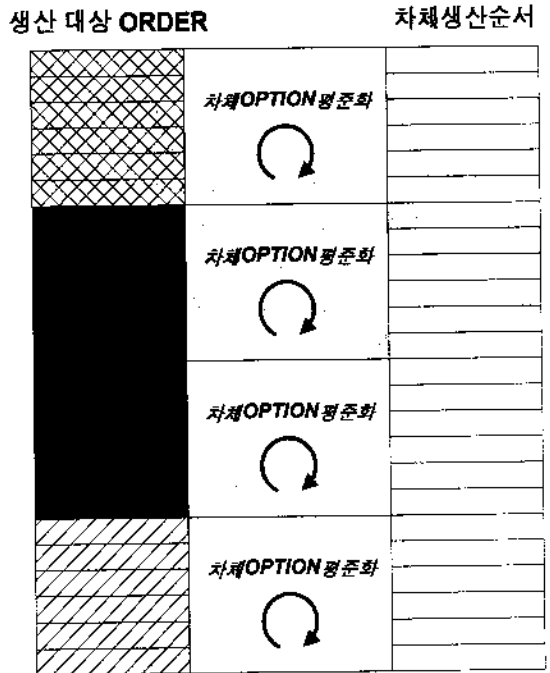


〈그림 4.6〉 도장라인의 생산순서계획 작성 단계

차체라인순서계획

도장라인의 순서계획을받으면 차체라인의 경우는 차체라인의 생산성을 극대화하기 위한 생산순서계획을 작성한다. 도장라인의 순서계획을 각각의 WBS-

Bucket내에서 차체라인의 평준화사양만을 고려하여 평준화하여 재배열하여 새로운 순서계획을 얻는다. 이 순서계획이 바로 차체라인의 순서계획이 된다. 여기에서 차체라인의 평준화사양만을 고려하는 것은 WBS-Bucket내에서는 차체라인에서 도장라인의 순서계획과는 다르게 생산한다고 하더라도 WBS에서 도장라인의 순서계획에 맞추어 복구될 가능성이 크기 때문이다. 차체라인의 순서계획은 1단계로써 완료되게 된다.〈그림 4.7〉 참조)



〈그림 4.7〉 차체라인의 생산순서계획 작성단계

3) 적용 결과

앞에서 제시된 방식을 X사의 경우에 실제 Data를 사용하여 적용하여 보았다. 가중치의 적정치에 대한 일반적인 결론은 아직 내리지 못하였는데 〈표 4.1〉과 같은 가중치를 적용하였다. 이러한 가중치로 작성된 생산순서의 결과에 대하여 생산관리 담당자들이 만족한 반응을 보였다.

Bucket크기에 대한 일반적인 결론은 아직 내리지 못

〈표 4.1〉 가중치

항목 \ 가중치	조립라인		도장라인		차체라인
	1단계	2단계	1단계	2단계	
TR <sub>j</sub>	10,000	1	0	0	0
BD <sub>j</sub>	20,000	0	20,000	0	1
CL <sub>j</sub>	-1	0	-1	-1	0

TR<sub>j</sub>, j=1,2,...,a : 조립라인의 평준화 사양

BD<sub>j</sub>, j=1,2,...,b : 차체라인의 평준화 사양

CL<sub>j</sub>, j=1,2,...,c : 도장라인의 도색

하였는데 PBS-Bucket크기는 PBS의 크기의 2/3정도인 60대로 하였으며, WBS-Bucket크기는 WBS의 크기의 2/3정도인 30대로 하였다.

1000대의 일일생산물량에 대하여 조립, 도장, 차체라인의 생산순서계획을 구하여 각 라인의 순서계획상의 부품평준화 수준 및 도색 Grouping을 계산하여 보았다. 이 때에 조립라인의 평준화사양의 개수는 12 (=a)개, 차체라인의 평준화사양의 개수는 8(=b)개, 도색의 종류는 13개이었다. 〈그림 4.8〉에 그 결과를 제시하였다. 〈그림 4.8〉에서

조립사양 간격 표준편차 =

$$\frac{\sum_{j=1}^a \text{조립라인 평준화사양 } TR_j \text{의 투입간격의 표준편차}}{a}$$

차체사양 간격 표준편차 =

$$\frac{\sum_{j=1}^b \text{차체라인 평준화사양 } BD_j \text{의 투입간격의 표준편차}}{b}$$

도색 Grouping을 =

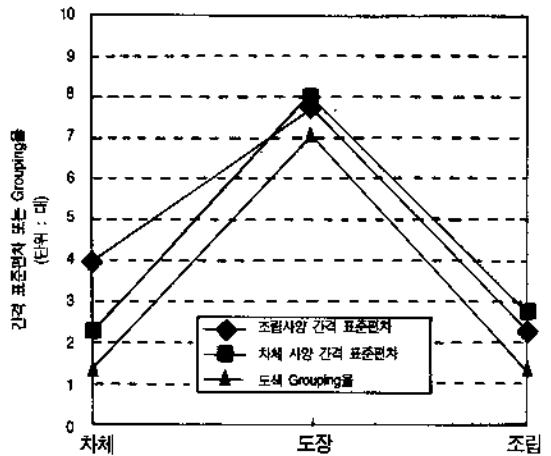
$$\frac{\text{순서계획상의 차체대수}}{\text{순서계획상에서 연속하는 차체사이에 도색이 바뀐 회수} + 1}$$

을 의미한다.

어느 사양의 투입간격은 순서계획상에서 이 사양을 갖는 차량사이의 간격을 의미한다. 어느 사양의 평준화가 이상적으로 되어 있다면 이 사양의 투입간격의 표준편차는 0이 될 것이다. 만약 사양투입간격의 표준편차가 크다면 이 사양의 평준화정도는 낮다고 말

할 수 있다. 〈그림 4.8〉의 조립사양 간격 표준편차는 조립라인 평준화 사양 12종류의 투입간격의 표준편차의 평균값이다. 차체사양 간격 표준편차도 마찬가지로 해석할 수 있다. 도색 Grouping율은 연속적으로 도색되는 차량대수의 평균값을 의미한다.

〈그림 4.8〉에 나타나 있듯이 차체부품의 평준화정도는 차체라인의 투입순서에서, 조립부품의 평준화정도는 조립라인의 투입순서에서 가장 좋게 나타났으며, 도색 Grouping율은 도장라인의 투입순서에서 가장 좋게 나타났다. 일일순서계획을 많은 Data에 대하여 적용하였는데 〈그림 4.8〉은 전형적인 결과를 보이고 있다. 〈그림 4.8〉의 결과에 의미를 부여한다면 신 순서계획시스템의 생산순서는 전체의 생산성을 저해하지 않으면서 각 라인의 효율을 극대화함을 알 수 있다.



〈그림 4.8〉 주요사양의 평준화정도 및 도색 Grouping율의 라인별 변화

### 5. 결론

자동차 조립공장의 주요 공정은 차체라인, 도장라인, 조립라인의 순으로 구성되어 있다. 작업의 효율성을 높이기 위하여 차체라인과 조립라인은 주요 부품소도의 평준화를, 도장라인은 동일 색상차체의 연속 생산을 선호하므로 생산순서의 결정시 상호 상충되는 점이 많다. 대부분의 자동차 조립공장에서는 조립라

인에서의 생산순서(조립순서계획)를 일일순서계획으로 삼고 있고 차체라인, 도장라인, 조립라인의 생산계획의 구분이 없이 단지 주라인의 첫공정인 차체라인에 조립순서계획을 전달하여 차체라인의 생산을 일일순서계획에 따라 진행하고 있다.

본 연구에서는 공장전체의 생산성을 극대화하기 위한 각 공정의 생산순서결정 방법을 제시하였다. 제안된 일일순서계획방법은 각 라인의 특성을 고려하여 각 라인의 효율이 극대화되도록 하면서 후행라인의 생산계획에 따라 선행라인의 생산계획을 맞추는 고객-공급자 개념을 도입하였다. 고객-공급자 개념을 구현하고 선-후행라인의 사이의 완충을 위하여 Bucket개념을 이용하였다. 제안된 일일생산순서계획 시스템은 실제 Data로 검증한 결과 각 라인의 효율이 높게 나타났다. 제안된 방법은 현실 적용을 위하여 시스템을 개발중에 있다.

### 【참고문헌】

- [1] Bard, J.F., Dar-El, E.M., and Shtub, A., "An Analytical Framework for Sequencing Mixed Model Assembly Lines," International Journal of Production Research, Vol.30, No.1, pp.35-48, 1992.
- [2] Bard, J.F., Shtub, A., and Joshi, S.B., "Sequencing Mixed-Model Assembly Lines to Level Parts Usage and Minimize Line Length," International Journal of Production Research, Vol.32, No.10, pp.2431-2454, 1994.
- [3] 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.
- [4] Miltenburg, J., "Level Schedules for Mixed-Model Assembly Lines in Just-In-Time Production Systems," Management Sciences, Vol.35, No.2, pp.192-207, 1989.
- [5] Miltenburg, J., "Scheduling Mixed-Model Multi-Level Just-In-Time Production Systems," International Journal of Production Research, Vol.27, No.9, pp.1487-1509, 1989.
- [6] Monden, Y., Toyota Production System, Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia, USA, 1983.
- [7] Monden, Y., Toyota Production System, 2nd ed., Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia, USA, 1993.
- [8] Okamura, K. and Yamashina, H., "A Heuristic Algorithm for the Assembly Line Model-Mix Sequencing Problem to Minimize the Risk of Stopping the Conveyor," International Journal of Production Research, Vol.17, No.3, pp.233-247, 1979.
- [9] Sumichrast, R.T., Russell, R.S., and Taylor III, B.W., "A Comparative Analysis of Sequencing Procedures for Mixed-Model Assembly Lines in a Just-In-Time Production System," International Journal of Production Research, Vol.30, No.1, pp.199-214, 1992.
- [10] Sumichrast, R.T. and Russell, R.S., "Evaluating Mixed-Model Assembly Line Sequencing Heuristics for Just-In-Time Production Systems," Journal of Operations Management, Vol. 9, No.3, pp.371-390, 1990.
- [11] Thomopoulos, N.T., "Line Balancing-Sequencing for Mixed Model Assembly," Management Sciences, Vol. 14, No.2, pp.59-75, 1967.
- [12] Yano, C.A. and Rachamadugu, R., "Sequencing to Minimize Work Overload in Assembly Lines with Product Options," Management Sciences, Vol.37, No.5, pp.572-586, 1991.

### 부록 1: 통합적 순서계획법 A와 통합적 순서계획법B의 동일성 증명.

여기에서는 통합적 순서계획법A와 통합적 순서계획법B는 동일함을 보인다.  
다음과 같이 기호를 정의하자.

$$\Psi(i) = \sum_j \delta_j \cdot \left\{ \frac{N}{Q(j)} \cdot \{Q(k-1, j) + A(i, j)\} - k \right\}^2$$

$$\xi(j, 1) = \delta_j \cdot \left\{ \frac{N}{Q(j)} \cdot \{Q(k-1, j) + 1\} - k \right\}^2$$

$$\xi(j, 0) = \delta_j \cdot \left\{ \frac{N}{Q(j)} \cdot \{Q(k-1, j)\} - k \right\}^2$$

$$K = \sum_j \xi(j, 0).$$

그러면

$$\begin{aligned} \Psi(i) &= \sum_j \{ \xi(j, 1) \cdot A(i, j) + \xi(j, 0) \cdot (1 - A(i, j)) \} \\ &= \sum_j \xi(j, 0) + \sum_j A(i, j) \cdot \{ \xi(j, 1) - \xi(j, 0) \} \\ &= K + \sum_j A(i, j) \cdot \{ \xi(j, 1) - \xi(j, 0) \}. \end{aligned}$$

그런데  $\xi(j, 1) - \xi(j, 0)$ 는 다음과 같이 단순화할 수 있다.

$$\xi(j, 1) - \xi(j, 0) = \delta_j \cdot \left\{ \frac{N}{Q(j)} \{2Q(k-1, j) + 1\} - 2k \right\} \frac{N}{Q(j)}$$

따라서  $\xi(j, 1) - \xi(j, 0) = \Gamma(j)$ 임을 확인할 수 있다.

결국  $\text{Minimize } \Psi(i) \Leftrightarrow \text{Minimize } \sum_j A(i, j) \cdot \Gamma(j)$ 임이 증명되었으므로 통합적 순서계획법A와 통합적 순서계획법B는 동일함을 알 수 있다.

## 부록 2 : 통합적 순서계획법 A와 통합적 순서계획법B의 계산 부하 비교

통합적 순서계획법 A는 다음과 같이 쓸 수 있다.

```
S ← {1,2,...,N}
k ← 1
DO UNTIL S={ }
  FOR j=1L DO
    R(j) ← N/Q(j)
  ENDFOR
} 나누기 L회
```

다음조건을 만족하는 차량 i\*를 구한다 :

$$\text{Minimize } \sum_{i \in S} \delta_j \cdot (R(j) \cdot \{Q(k-1,j)+A(i,j)\}-k)^2 \quad \left. \begin{array}{l} \text{(곱하기 3L회 +} \\ \text{더하기 2L회)} \cdot |S| \end{array} \right\}$$

차량 i\*를 k번째 투입차량으로 한다.

```
S ← S-{i*}
k ← k+1
ENDDO
```

통합적 순서계획법 B는 다음과 같이 쓸 수 있다.

```
S ← {1,2,...,N}
k ← 1
DO UNTIL S={ }
  FOR j=1L DO
    R ← N/Q(j)
    F[j] ← δ_j · (R · {Q(k-1,j)+Q(k-1,j)+1}-k-k) · R
  ENDFOR
} (나누기 L회 + 곱하기 3L회 + 더하기 4L회)
```

다음조건을 만족하는 차량 i\*를 구한다 :

$$\text{Minimize } \sum_{i \in S} F[j] \cdot A(i,j) \quad \left. \begin{array}{l} \text{(더하기 최대 L회)} \cdot |S| \end{array} \right\}$$

차량 i\*를 k번째 투입차량으로 한다.

```
S ← S-{i*}
k ← k+1
ENDDO
```

투입차량 한 대를 선정하기 위한 통합적 순서계획법A와 B의 계산 부하는 다음 표와 같이 정리할 수 있다.

	통합적 순서계획법 A	통합적 순서계획법 B	차이(A-B)
더하기 회수	$2L S $	최대 $4L + L S $	$L S -4L$
곱하기, 나누기 회수	$L+3L S $	$4L$	$3L( S -3)$

앞의 비교는 투입차량 한 대를 선정할 때의 결과인데 N대 전체의 투입순서를 결정하는 알고리즘 전과정의 계산부하의 차이는 다음과 같다.

	차이(A-B)
더하기 회수	$\sum_{ S =2}^N (L \cdot  S  - 4L) = O(N^2) \cdot L$
곱하기, 나누기 회수	$\sum_{ S =2}^N 3L \cdot ( S  - 3) = O(N^2) \cdot L$

따라서 통합적 순서계획법 B의 경우가 통합적 순서계획법A의 경우보다 계산부하가 작음을 알 수 있다.



최원준

1977 서울대학교 경영학과(경영학사)

1979 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)

1987 University of Florida(공학박사)

현재 울산대학교 산업공학과 교수

관심분야 : 생산일정계획, 물류시스템, 시뮬레이션