

## 조립라인의 평준화를 위한 차량 투입 순서 결정에 관한 연구<sup>1)</sup> -도장공장의 컬러 그룹핑을 중심으로-

박혜규<sup>2)</sup>

경영학과

### <요약>

다양한 차종이나 사양의 차량들을 혼류생산하는 대부분의 혼합모형 조립라인에서는 일일 차량투입순시계획 시에 차체라인과 외장라인의 부하평준화와 부품소비율의 평준화를 고려하고 있다. 본 논문에서는 평준화 뿐만 아니라 상도공정의 컬러 그룹핑을 고려함으로써 도장공장에서의 색상변경비용을 줄여 조립라인의 전체 효율성을 높이고자 한다. 이 연구에서는 평준화된 일일 순서계획이 주어진 경우에 도장공장의 컬러 그룹핑을 고려하는 알고리즘과 이 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과를 제시한다.

## Sequencing Automobiles for Levelling Assembly Lines

Hyekkyou Park

Dept. of Management, University of Ulsan

### <Abstract>

This paper deals with the problem of determining the sequence schedule for producing a variety of automobiles on the mixed-model assembly line. The sequence may vary depending on the the following goals,

1. Levelling the load on each station on the line,
2. Keeping a constant rate of usage of every part used by the line.

1) 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

2) 울산대학교 경영학과 부교수

In addition to these two goals, this paper also considers the goal of reducing the color change cost on the painting shop.

A simple algorithm for sequencing automobiles on the assembly line is developed and some computational results of the performance by this algorithm are provided.

## I. 서 론

자동차 조립라인 (또는 조립공장)은 보통 차체공장, 도장공장, 의장공장으로 구성되어 있다. 차체공장 (Body Shop)은 프레스 판넬을 용접하여 기본적인 차체를 형성하는 조립라인이며, 도장공장 (Painting Shop)은 차체공장에서 완성된 차체의 부식방지와 외관보호를 위하여 고객이 요구하는 색상으로 도장하는 라인이며, 의장공장(Trim Shop)은 엔진, 트랜스미션, 서스펜션, 브레이크, 시트, 타이어 등 각종 부품을 도장된 차체에 부착시키는 조립라인이다.

대부분의 자동차 조립라인에서는 동일한 차종에 속하는 다양한 사양의 차량들을 생산한다. 즉, 차체형태, 엔진, 색상을 비롯한 자동변속기, ABS 브레이크, 에어백, SUNROOF 등 여러 선택사양의 결합에 따라 수많은 사양의 차량들을 생산한다. 또한 조립라인에서 다수의 차종들을 생산할 수도 있으며 국내의 H사의 경우에는 한 조립라인에서 4 차종을 조립 생산하고 있다.

이와 같이 다양한 차종이나 사양의 차량들을 생산하는 라인을 혼합모형 조립라인 (Mixed-model Assembly Line)이라 한다.

이러한 생산라인은 제품다양성과 대량생산을 동시에 추구하는 중요한 잇점을 가지고 있지만 일정계획문제를 복잡하게 만든다. 이러한 난점에도 불구하고 혼합모형 라인이 유일한 합리적인 대안인 경우가 있다. 즉, 다양한 고객의 요구를 반영하여 다양한 모형들을 생산하여야 하나, 각 모형들의 수요량/생산량이 전용라인에 배정되는 것을 정당화 할 수 있을 정도로 많지 않은 경우이다. 물론 한 차종에 대한 수요량이 충분하면 전용조립라인을 운영하는게 경제적일 것이다.

이러한 혼합모형 조립라인의 효과적인 활용을 위해 다음과 같은 문제들이 해결되어야 한다. (Okamura와 Yamashina, 1979)

1. 사이클 타임 (Cycle Time)의 결정
2. 작업장 갯수와 작업장 순서의 결정
3. 라인 밸런싱 (Line Balancing)
4. 여러 차종을 섞어서 투입하는 순서계획의 결정

본 연구는 마지막 문제인 여러 차종을 혼합모형 조립라인에 투입하는 순서를 결정하는 방법에 관한 것이다.

대부분의 자동차 조립공장에서는 혼합모형 조립라인이든 전용조립라인이든 간에 다양한 사양의 차량들을 각 사양별로 모아서 배치생산(Batch Production)을 하는 것이 아니라, 각 사양별 차량들을 혼류하여 생산(Mixed-Model Production)하는 방식을 취하고 있다. 이 조립라인에의 차량투입순서를 결정함에 있어서 주로 의장공장의 작업부하와 부품소요량을 평준화하거나 부가작업 및 컨베이어 충단의 위험을 최소화하는 것이 주요한 고려사항이었다.

하지만 자동차 조립공장에서 각 사양별 차량들의 생산이 평준화되도록 혼류생산(Mixed-Model Production)만 하는 것이 아니라 일부 공장에서는 배치 또는 로트생산(Batch or Lot Production)도 이루어진다. 이는 여러 모형이 혼재되어 흐르는 조립라인에서 모형변경에 따른 준비비용 또는 준비시간을 최소화하기 위하여 모형들을 다시 그룹화 하여야 할 필요성도 있기 때문이다. 예를 들면, 도장라인의 상도공정에서는 동일한 색상의 차량들을 가능한 한 많이 그룹핑하여 도장부스에 연속으로 투입함으로써 도장부스의 색상변경횟수를 줄여 색상변경에 따른 색상변경비용을 최소화 하고자 한다. 그리고 차체공장에서 소요되는 다양한 프레스 부품들을 여러 종류의 금형을 사용하여 생산하는 프레스 공장도 금형준비시간 및 금형교환시간 등 생산준비시간의 절감과 가동률 제고를 위하여 배치생산방식을 취하고 있다. 따라서 자동차 조립공장과 같이 다양한 사양의 차량들을 혼류생산하는 경우 각 사양별 차량들의 투입순서결정(Mixed-Model Sequencing)에 있어서 평준화(Levelling) 뿐만 아니라 그룹핑(Grouping)을 동시에 고려할 필요가 있다.

그러나 대부분의 자동차 조립공장에서의 1일 조립생산순서계획은 마지막 조립라인인 의장공장의 평준화를 고려한 혼류생산계획으로서, 첫번째 조립라인인 차체공장의 1일 조립생산도 이러한 평준화된 차량투입 순서계획에 따라 이루어진다.

본 연구에서는 자동차 조립라인에 있어서 의장공장의 평준화 뿐만 아니라 도장공장의 그룹핑을 고려한 차량투입순서결정을 다루고자 한다. 즉, 조립라인의 평준화 생산을 위한 차량투입순서계획에 있어서 의장공장의 각 작업장의 부하와 각 부품소요량을 평준화시키는 목표를 달성하면서 도장공장의 그룹핑을 제고시키는 차량투입순서를 결정하는 단순하면서도 효과적인 알고리즘을 세시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

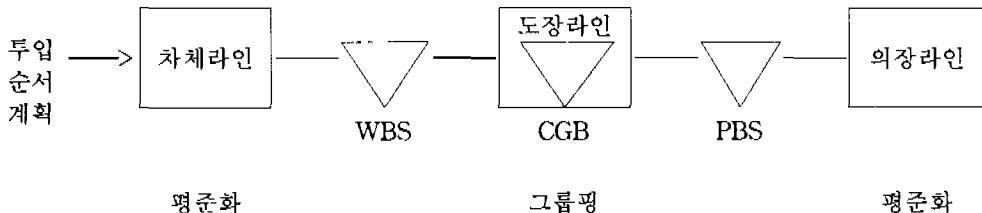
2장에서는 문제제기를 통해 조립라인의 각 공장과 차체들을 일시적으로 보관하는 창고의 기능을 설명하고, 차량생산계획 및 투입순서결정 과정을 기술한다.

3장에서는 제기된 문제에 대한 기존의 제반 접근방법들을 검토, 정리하며, 4장에서는 조립라인의 평준화생산을 위한 차량 투입순서계획에 있어서 의장공장의 평준화의 목표를 유지하면서 도장공장의 효율성을 제고시키는 차량투입순서를 결정하는 알고리즘을 소개한다. 그리고 이 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과를 설명한다.

마지막으로 결론에서 이러한 방식의 적용으로 예상되는 기대효과와 추후 연구방향을 제시한다.

## II. 문제제기

차체공장에서는 프레스 판넬들을 용접으로 조립하여 완성된 차체를 WBS(White Body Storage)라 불리우는 중간창고에 임시로 저장한 후에 도장공장에 투입한다. 조립된 차체는 도장공장에서 전처리, 전착, 층도를 거친 후에 CGB(Color Grouping Buffer)라 불리우는 중간창고에 저장된다. 상도공정을 거쳐 도색된 차체는 PBS(Painted Body Storage)라 불리우는 중간창고에 저장된 후에 의장공장으로 투입되어 각종 부품이 차체에 장착된다. ([그림 1] 참조)



<그림 1> 자동차 조립공장의 조립라인

도장공장의 상도공정에서는 도장비용과 품질 등을 고려하여 동일한 색상단위로 차체들을 모아 (Color Grouping) 뱃치로 도색작업을 한다.

의장공장에서는 차체들의 투입순서에 따라 소요되는 부품의 종류와 소요작업시간이 달라지므로, 차체의 투입순서조정에 의한 작업부하 평준화 (Load-Levelling)와 부품소비량의 평준화 (Part Consumption Smoothing)의 정도가 매우 중요하다.

대부분의 자동차 조립공장의 단기 생산계획은 10일(旬間) 생산계획과 1일 순서계획으로 구성되어 있다.

10일 생산계획은 조립라인의 능력과 부품공급공장의 생산능력을 고려하여 수주된 물량과 예측생산되는 물량 중 해당기간의 생산대상물량을 확정하고 이를 1일 단위로 평준화되도록 배분하여 얻은 생산계획을 말한다.

1일 순서계획은 10일 생산계획에서 1일 단위로 배정된 1일 생산물량에 대한 생산 순서 계획(Sequencing)을 말하며 이 순서계획은 조립라인의 첫번째 공장인 차체라인에 전달되어 이 계획에 따라 차체라인의 생산이 진행된다.

하지만 차체공장에서 이러한 일일 순서계획에 의하여 생산이 이루어진다고 해도 차체라인에서 조립되는 차량들에 있어서 불량이 발생하거나 투입될 부품의 결품 등으로 인하여 후속공정에서 차량들의 조립생산순서가 바뀌게 된다. 도장라인에서도 도장불량 등으로 인하여 투입된 차체의 순서가 혼淆되어진다. 그리고 각 라인에의 투입순서가 상기의 혼란요인들에 의하여 바뀌지만 일시적으로 차체들이 보관되는 저장창고인 WBS, CGB, PBS에서도 도장라인과 의장라인의 특성을 고려하여 차체 투입순서의 조정이 의도적으로 이루어진다.

도장공장은 방청을 목적으로 하는 신처리공정 및 전착공정, 미관을 목적으로 하는 중도 공정과 상도공정 등으로 나눌 수 있다. 진처리공정에서는 이물질을 세척하여 차체의 내식성과 도료의 부착성을 높인다. 전착공정은 차체를 도료용액에 담근 후에 전기적으로 도료가 전착되게 함으로써 방청성을 향상시켜 차체의 부식을 방지한다. 중도공정은 상도의 품질을 향상시키기 위하여 보통 3-4 종류의 도료로 중간 칠을 하는 공정이다. 상도공정은 최종 도장이 이루어지는 공정으로, 차체의 외판을 보호하고 차체의 외관을 아름답게 하기 위하여 고객이 요구하는 색상으로 도장하는 공정이다.

도장공정 중 상도공정의 도장부스(Painting Booth)에서는 스프레이(Spray)를 이용하여 도료를 차체에 분출하는 바, 연속적으로 투입되는 차체의 색상이 상이한 경우에는 스프레이 노즐(Sparay Nozzle) 등에 남아있는 이전 차체의 도료를 신너(Thinner)로 세정하여야 한다. 이 때 유실되는 도료손실비용과 신너 등의 세정비용이 발생하게 된다. 즉, 도장할 차체의 색상이 직전에 투입되었던 차체의 색상과 상이하면 색상변경에 따른 색상변경비용

(Color Change Cost)이 발생한다. 그리고 찾은 색상변경으로 인하여 도장품질도 저하된다. 따라서 색상변경비용을 줄이기 위하여 상도공정의 도장부스에 동일한 색상의 차체가 가능한 연속으로 투입될 수 있도록, 도장부스 직전에 위치하여 동일한 색상의 차체들을 모으는 중간창고(CGB)가 필요하게 된다. 이 CGB는 다수의 저장창고레인(Buffer Lanes)으로 구성되어 있으며, 중도공정을 거친 후 투입되는 차량들을 다수의 저장레인들에의 인입과 인출을 통하여 동일 색상의 차량들을 가능한 한 많이 그룹핑하여 상도공정의 도장부스에 연속으로 투입함으로써 도장부스에서의 색상변경횟수를 줄여 색상변경에 따른 비용발생을 억제하는 역할을 수행하고 있다. (박혜규 외 2인, 1996)

도장공장에서의 색상 그룹핑(Color Grouping)을 위한 투입순서의 조정은 도장공장의 입구에 있는 WBS와 상도공정 입구에 있는 CGB에서 이루어지고 있으나 주로 색상의 종류가 다양하고 색상변경비용이 많이 발생하는 CGB에서 이루어지고 있다.

그런데 도장라인에서 생산완료된 순서대로 차체들을 의장라인에 투입하면 많은 문제점이 발생하게 된다. 즉, 도장라인의 CGB에서 색상 그룹핑(Color Grouping)을 위하여 원래 투입되었던 차량들의 생산순서가 바뀌었을 뿐만 아니라, 도장라인의 불량으로 인한 재작업, 생산속도 불균형으로 인한 도장라인 내의 탈하 등으로 인하여 도장완료된 차체들의 순서는 작업부하와 부품소요량이 평준화되도록 각 사양별 차량들을 혼류생산(Mixed-Model Production)하는 의장라인에는 적합하지 않은 상태이다. 더욱이 의장라인에서의 부품 불량, 결품 등의 이유로 인하여 투입을 당분간 보류하여야 할 차체도 있으므로 PBS에서 의장라인에의 투입순서를 조정하여야 한다. 이 PBS는 도장라인에서 도장된 차체를 의장라인에 투입하기 전에 보관하는 창고로서 다음의 기능을 수행한다.(최원준 외 2인, 1996)

### (1) 도장라인과 의장라인 사이의 완충기능

도장라인과 의장라인의 생산속도는 수시로 변하는데 이에 대한 완충기능(Buffer)을 수행한다. 이로써 두 라인을 상호 불안정한 요인으로부터 분리시켜 안정적으로 운영할 수 있게 한다.

### (2) 의장라인에의 차체투입순서의 결정

의장라인의 생산성을 극대화하는 순서로 의장라인에 차체를 투입한다. 이 순서는 의장라인의 조립생산성에 직접적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라, 사내외 부품공급의 순서를 결정한다.

### (3) 차체투입보류

의장라인에 부품의 결품이 발생 시 관련차체의 의장라인에의 투입을 보류하는 장소가 된다. 요약하면, 일일 순서계획의 투입순서대로 차체공장에서 차체의 조립이 진행되어도 불량이나 결품 등에 의하여 순서가 바뀌게 된다. 뿐만 아니라, 각 조립라인의 특성에 맞게 같은 차량들의 투입순서를 조정할 수 있는 구간인 저장창고(Storage/Buffer)에서도 순서가 조정된다. 즉, 도장공장에의 그룹핑을 위한 투입순서의 조정은 WBS와 CGB에서, 의장공장의 평준화를 위한 투입순서의 조정은 PBS에서 이루어지고 있다. 그러므로 차체공장에서 처음으로 적용되는 정적인 일일 순서계획(Static Sequencing)에 의해 투입된 차량들의 순서는 불량이나 결품과 같은 요인이나 WBS, CGB, PBS에서의 동적인 순서조정(Dynamic Dispatching)으로 인하여 바뀌게 된다.

본 연구에서는 의장공장의 평준화를 유지하면서 도장공장의 색상변경비용을 감소시키는

일일 순서계획을 작성하는 간단한 알고리즘을 제시하고 이를 시뮬레이션한 결과를 제시한다.

### III. 기존의 제반 접근방법

자동차 조립공장의 생산순서결정(sequencing)에 관한 연구는 대부분 의장공장의 조립라인만을 대상으로 한 생산순서결정에 관한 것이었다.

혼합모형 조립라인에서의 순서결정문제를 다룬 Thomopoulos (1967)의 논문 이후에 컨베이어 정지 (Conveyor Stoppage) 위험의 최소화, 부가작업 (Utility Work)의 최소화, 일정한 부품사용율의 유지, 라인 길이의 최소화 등 다양한 목적들에 대하여 여러 연구가 이루어졌다.

Thomopoulos (1967)는 작업자의 유휴시간과 작업 비완료비용을 고려하여 생산순서를 결정하는 문제를 다루고 있으나 명확한 질차를 제시하지 못하였으며, Okamura와 Yamashina (1979)는 컨베이어의 정지위험을 최소화하기 위한 순서결정의 발견적 기법을 제시하였다. Bard (1992, 1994) 등은 라인 길이의 최소화와 부품사용량의 평준화라는 두 목식함수를 고려한 Tabu Search기법을 소개하였다. Yano와 Rachamadugu (1991)는 작업장의 능력초과시간을 최소화하기 위한 기법을 제시하였다.

Monden (1983, 1993)에 의하여 소개되어 널리 알려진 목표추적법 (Goal Chasing Method)은 의장조립라인의 부품 사용율을 평준화하기 위한 해법으로 Toyota 자동차에서 사용되었으며 이를 변형한 몇가지 발견적 기법이 개발되었다.

[Miltenberg(1989), Miltenberg & Sinnamon(1989), Sumichrast & Russell(1990), Ding & Cheng(1991)]. 특히 시뮬레이션을 행한 결과 Miltenberg(1989)의 알고리즘은 목표추적법보다 우수한 것으로 나타났으며, Sumichrast & Russell(1990)도 기존의 제 방법들을 Simulation을 통하여 비교한 결과를 제시하였다. Ding & Cheng(1991)은 보다 간편한 방법을 제안하였다.

Burns와 Daganzo (1987)는 생산준비비용과 주요 사양별 조립시간을 동시에 고려하여 생산순서를 결정하기 위한 개념적 분석모델을 제시하였다. 여기에서 생산준비비용은 도장라인에서의 색상변경시 발생하는 세척비용 등을 포함하는 색상변경비용이나 프레스 공장에서의 배치생산(Batch Production) 준비비용 등을 의미하여 기존의 연구들과는 달리 의장라인 뿐만 아니라 도장라인 등도 함께 고려하여 순서결정을 한 필요성을 제시하고 있다. 그러나 구체적인 해법을 제시하고 있지 않며 각 라인 사이에는 중간 창고가 없다고 가정하고 있다. 최근에 최원준 (1996)은 자동차 조립공장의 생산순서결정에 있어서 차체의 평준화, 도장의 그룹화, 의장라인의 평준화를 모두 동시에 고려한 순서결정 시스템을 제시하였다.

이러한 기존의 차체투입순서결정에 관한 방법들을 정리하면 다음과 같다.

혼합모델 조립라인에서의 차량 투입순서는 조립라인을 관리하는 기업의 목표에 따라 달라진다 차량 투입순서를 결정하는데 있어서 고려하는 두 가지 목표는 다음과 같다. (Monden, 1983)

#### 1. 조립라인의 각 공정의 부하(조립시간)의 평준화

(Levelling the load [total assembly time] on each station on the line)

## 2. 조립라인에서 사용되는 각 부품의 소비율의 평준화

즉, 조립라인에서 각 부품을 사용하는 속도를 일정하게 유지

(Keeping a constant rate of usage of every part used by the line)

목표 1에서 문제가 되는 것은 어떤 제품의 작업시간이 사이클 타임보다 오래 걸릴 수 있다는 점이다. 다시 말하면 공정별로 차량 1대당 작업시간이 사이클 타임을 넘어서는 안 된다는 것이다. 만일에 몇몇 공정에서 작업시간이 사이클 타임을 초과하는 경우에 조립라인의 속도를 감속하면 다른 공정에서는 여유시간이 발생하게 된다. 그러므로 이 조건이 충족되어야 조립라인의 동기화 (Synchronization)가 달성될 수 있다. 작업시간이 상대적으로 긴 차량을 연속적으로 라인에 투입하면 공정에서의 지연이 발생하게 되고 경우에 따라서는 라인이 정지할 수도 있다. 따라서 혼류생산에 있어서 컨베이어가 정지되는 위험을 최소화하는 차량의 투입순서를 결정하는 발견적 기법이 Okamura와 Yamashina (1979)에 의해 제시되었다.

조립라인에 투입되는 차량의 종류에 따라 각 공정에서의 소요되는 작업시간이 달라진다 즉, 흐르는 차량의 순서에 따라 각 공정에서의 작업시간이 사이클 시간 보다 길거나 짧아지는 등 불균형이 있다. 대표적인 공정으로 Engine, Transmission, Power Steering, Air-Condition 등을 장착하는 공정을 들 수 있다. 이와 같이 작업부하에 커다란 편차가 있는 공정들을 파악하여 이들 공정에서 작업부하가 균형을 이룰 수 있도록 차량투입순서를 결정하여야 할 것이다.

이를 해결하기 위하여 다음과 같은 금지측을 사용할 수 있다.

금지측은 조립라인에 작업부하가 큰 특정사양의 차량을 연속으로 투입하는 것을 방지하고 동시에 일정한 간격으로 투입하도록 제어하는 것이다. 이것은 연속제어와 간격제어로 나누어진다. (Monden, 1993)

### (1) 연속제어

이는 어떤 사양의 연속출현이 허용된 최대 연속대수를 초과하지 않도록 통제하는 것으로 다음의 형태를 취한다.

“사양 x의 차량은 m대 이상 연속으로 투입되어서는 안된다”

### (2) 간격제어

이는 어떤 사양의 출현간격이 허용된 최소 간격대수보다 작아지지 않게 통제하는 것으로 다음의 형태를 취한다

“사양 x의 차량이 투입된 후에 다시 투입되기 까지에는 사양 x가 아닌 차량이 k대 이상 투입되어야 한다”

금지측은 생산설비면에서의 제약이나 조립 시간에 큰 차이가 있는 경우 등 생산 라인에 특별 제약조건이 있는 경우에 사용되나, 생산순서계획에 있어서 단독으로는 사용하지 않는 편이 좋다.

이밖에도 과도한 작업부하가 걸리나 작업물량이 많지 않은 사양의 차체에 대한 작업을 미리 처리하여 조립라인의 라인 밸런싱의 효율을 올리기 위하여 별도의 우회공정인 선행 조립라인을 설치하여 운영하기도 한다.

대부분의 문헌에 나타나는 차량투입순서결정 방법들은 목표 2를 고려하고 있다. [Monden (1983, 1993), Miltenberg(1989), Miltenberg & Sinnamon(1989), Sumichrast & Russell(1990), Ding & Cheng(1991)].

특히 도요타 자동차의 목표추적법은 각종 부품의 사용속도를 일정하게 하는 목표 2를 제일 중요하게 생각하고 있다. 도요타의 적시생산방식은 조립라인에 소요되는 여러 종류의 부품들을 공급해주는 선행공정에 최대한의 관심을 기울이고 있다. 당기기 방식(Pull-type)에서는 선행공정에서의 생산량이나 운반횟수의 변동 폭을 최소화시키고 각 부품의 재고도 최소한으로 절감시키고자 한다. 이를 위하여 조립라인에서 여러 부품의 시간당 사용량(즉, 사용속도)을 가능한 한 일정하게 유지하여야 한다. 그러나 자동차는 20,000여 가지의 부품으로 구성되어 있으므로 이와 같은 전 구성 부품에 대한 부품의 사용율을 일정하게 유지하게 하는 차량의 투입순서를 결정하는 것은 대단히 어렵다. 따라서 조립라인에서의 작업성에 중대한 영향을 미치는 주요 부품들(Door, Engine, Transmission, Power Steering, Air-Condition 등)만을 고려하여 이 부품들에 대하여 소비율을 일정하게 유지할 수 있게 하는 제품의 투입순서를 고려한다.

그리고 평준화 항목으로 부품항목 대신에 사양항목(option)의 출현율을 평준화하기도 한다. 몇가지 사양의 차량의 투입을 시간대별로 평준화하기 위하여 각 사양의 실제 누적투입대수와 이상적 누적 투입대수와의 편차가 가능한 한 가장 작게되는 차량을 선정하여 투입하는 방법이다. 즉, k번재 차량 투입시 각 사양의 실제 누적투입대수와 이상적 누적 투입대수와의 편차가 가장 작게 되는 차량을 선정하여 투입하는 방식이다.

지금까지 자동차 조립공장에서의 차량 투입순서를 결정하는데 있어서 고려하는 두 가지 목표인 의장라인의 각 공정의 부하(조립시간)의 평준화와 의장라인에서 사용되는 각 부품 소비율/사양 출현율의 평준화, 그리고 이와 관련된 제반 방법들을 살펴보았다.

이밖에도 CGB와 PBS에서의 실시간에 동적인 차체의 인입과 인출순서를 결정하는 연구도 있다.

박혜규 외 2인(1996)은 도장공장의 CGB에서의 실시간에 동적으로 Buffer Lanes에의 차량인입 및 Buffer Lane에서의 차량인출을 통한 상도부스에의 투입순서를 결정하는 시스템을 개발하여 적용한 사례를 다루고 있으며, 이 때 CGB의 기능은 순서조정을 통하여 컬러그룹핑을 높이기 위한 것이다. 최원준 외 2인 (1996)은 PBS에서 실시간에 동적으로 Buffer Lanes에의 차량인입 및 Buffer Lanes에서의 차량인출을 통하여 의장라인에의 투입순서를 결정하는 시스템의 개발과 적용을 다루고 있다. 이 PBS에서는 도장라인에서 PBS에 인입되는 차량들의 순서를 재조정함으로써 조립라인의 평준화를 높이기 위한 것이다. 즉, Buffer Lanes에의 차량인입 및 Buffer Lanes에서의 차량인출을 통하여 각각 도장라인의 Color Grouping과 의장라인의 평준화를 높이는 것이다.

최근에 상기의 연구들과는 달리 의장라인 뿐만 아니라 차체라인과 도장라인의 경제성도 함께 고려하여 차량의 투입순서를 결정하는 논문들이 발표되었다. 다시 말하면 차체라인-도장라인-의장라인을 연결하는 전체 조립공장을 대상으로 차량의 투입순서를 결정하는 것이다. Burns와 Daganzo (1987)는 주요 사양별 조립시간 뿐만 아니라 도장라인에서의 색상변경비용이나 프레스 공장에서의 금형준비 및 교환비용 등을 동시에 고려하여 생산순서를 결정할 필요성을 제시하였다.

최원준 (1996)은 자동차 조립공장의 순시계획에 있어서 먼저 의장라인의 순서계획을 작성하고 이를 기초로 도장라인의 순서계획을, 다시 이를 기초로 하여 차체라인의 순시계획을 작성하고 각 순서계획에 기초하여 각 라인의 투입을 제어하는 방식을 제시하였다. 그는 선행라인이 후행라인에서 요청한 순서와 다르게 완충창고에 공급하여도 어느 정도까지는 후행라인의 생산순서계획에 맞게 투입할 수 있다고 보았다. 즉, 각 조립라인의 특성에

맞게끔 차량의 순서를 조정할 수 있는 구간으로 파악하였다. 따라서 WBS는 차체라인과 도장라인, PBS는 도장라인과 의장라인 사이의 순서를 조정하여 완충창고의 역할을 하는 것이다. 요약하면, 자동차 조립공장의 생산순서결정에 있어서 차체라인의 평준화, 도장라인의 색상 그룹화, 의장라인의 평준화를 모두 고려한 순서결정 시스템을 제시하였다.

대부분의 자동차 조립공장에서 사용되고 있는 일일 생산순시계획은 의장라인의 평준화 또는 차체라인과 의장라인의 평준화만을 고려하고 있으며, 차체의 색상 즉, 도장라인의 그룹핑은 고려하지 않고 있다. 도장공장의 경제성을 고려한다면 연속으로 도색되는 동일 색상의 차량 대수를 크게하여 색상변경비용을 절감하여야 할 것이다 하지만 이 경우에는 PBS에서 투입순서를 재조정하여 의장라인에 투입하지 않는 한 의장라인에서의 평준화 생산이 힘들게 될 것이다.

이를 해결하는 방안으로 도장라인에서의 Color Grouping의 효율을 높이는 방안을 강구하거나 차체의 색상을 일종의 사양으로 간주하여 차체라인에서의 투입순서 결정에서 고려하는 방법이다.

도장라인의 직전에 있는 WBS와 도장라인 내 상도공정의 직전에 있는 CGB에서 도장라인의 색상 그룹핑 효율을 높이기 위한 동적인 차체순서조정 (Dynamic Resequencing)이 이루어지고 있다. 하지만 이 경우에는 PBS에서 투입순서를 재조정하여 의장라인에 투입하지 않는 한 의장라인에서의 평준화 생산이 힘들게 될 것이다. 그리고 일부 자동화 정도가 높은 조립공장을 제외하고는 이러한 색상그룹핑이 작업자에 의한 수작업이나 PLC(Programmable Logic Controller)에 의해 수행되고 있어 효율적이지 못한 실정이다. 물론 이러한 색상 그룹핑이 자동화가 되면 좋겠지만 그렇지 못한 경우에도 차체와 의장라인의 평준화를 고려한 일일 생산순서계획에서 제한적으로나마 색상그룹핑을 시도함으로써 상도공정에서의 색상변경횟수를 줄여 노장공장에서의 색상변경비용을 줄일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 어떠한 생산순서결정 방식을 사용하고 있든 간에 주어진 일일 생산순서 계획에서 도장라인의 색상변경비용을 줄일 수 있는 새로운 일일 생산순서계획을 수립하는 간단한 방법, 예제, 시뮬레이션을 수행한 결과를 제시한다.

#### IV. 알고리즘의 개발

본 장에서는 차체 및 의장라인의 평준화만을 고려한 일일 순서계획이 주어져 있는 경우에 있어서 도장라인의 경제성을 고려함으로써 조립공장 전체의 효율을 높이는 간단한 투입순서의 결정방법을 제시하고자 한다.

이 방식은 차체 및 의장라인의 평준화를 고려한 일일 순서계획에 있어서 평준화를 저해하지 않는 범위 내에서 투입예정인 1일 총 차량대수( $N$ )를 대상으로 미리 결정된 기준에 따라서 여러 그룹으로 나눈 후에 각 그룹 내에서 퀼러 그룹핑을 시도하는 것이다. 여기에서 결정된 기준이란 일정한 대수의 차량들이나 일정시간 동안에 투입될 대수의 차량들을 의미하며 이 대수를  $K$  대라 하자. 예를 들면  $K$ 는 50대 또는 1시간 동안 조립라인에 투입될 차량대수일 수 있다.

$N$ 대의 투입계획차량을 대상으로 차체라인과 의장라인 또는 의장라인만의 평준화를 고려한 일일 순서계획이 이미 수립되어 있다고 하자.

이 알고리즘은 다음의 2단계로 나눌 수 있다.

[단계 1]

미리 결정되어 있는 기준에 따라 일일 순서계획상의 차량들을 정해진 투입순서에 따라 K 대씩 구성된 연속된 그룹으로 나눈다.

[단계 2]

각 그룹 내에서 이 그룹에 속하는 차량들을 동일한 색상별로 모아서 그룹핑을 한 후에 색상별 출현순서에 따라 배열한다

이 알고리즘의 설명에 필요한 용어들을 먼저 정의한다.

컬러효율 또는 색상효율은 CGB나 도장부스에 동일한 색상의 차체들이 연속으로 투입되는 평균대수라 정의하고 컬러효율 = 총 차체대수/총 색상변경횟수로 측정할 수 있다. 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

색상번호가 1인 차체와 2인 차체가 각각 3대씩 모두 6대가 인입된다고 하자.

만약 1-2-1-2-1-2 순으로 인입되면 첫 차체를 포함하여 색상변경횟수는 6번이므로 컬러효율은 1(= 6/6)이 된다.

반면에 1-1-1-2-2-2 순으로 인입되면 색상변경횟수는 2번이므로 컬러효율은 3(-6/2)이 된다.

컬러효율은 도장공장의 중도공정을 거쳐 CGB에 인입되는 차체의 인입효율과 CGB에서 인출되어 상도공정의 도장부스에 투입되는 차체의 인출효율로 나눌 수 있다. 인출효율은 도장부스에의 인입효율을 의미하며 인출효율이 높아야 색상변경횟수가 줄어들어 총 색상변경비용이 낮아질 수 있다.

이 인입효율과 인출효율의 비교가 CGB에서의 컬러 그룹핑의 효율성을 평가하는 중요한 척도가 될 수 있다. 일반적으로 컬러효율이 높아지면 총 색상변경비용이 낮아지는 경향이 있지만 반드시 그런 것은 아니다. 이는 색상별로 색상변경비용이 상이하고 도장부스별로도 색상변경비용이 다르기 때문이다. 본 연구대상인 H사 도장공장의 상도공정에서의 1회당 평균 색상변경비용은 약 10,000원 정도이다.

다음의 예를 통하여 알고리즘을 설명한다.

예) 색상번호가 1, 2, 3인 30대의 차량에 대한 일일순서계획이 아래와 같이 주어져 있다고 하자. 컬러 그룹핑을 고려하지 않는 경우에는 26번의 색상변경이 필요하다.

(2123321232 1223123123 3211232331)

10대씩 그룹으로 나눈 후에 컬리그룹핑을 한 새로운 일일순서계획을 작성하면 다음과 같다. 이 때 N = 30, K = 10이 된다.

[단계 1]

이를 10대씩 그룹으로 분류하여 순서대로 나열하면 다음과 같다.

그룹 1: (2123321232)

그룹 2: (1223123123)

그룹 3: (3211232331)

[단계 2]

그룹 1은 (2123321232)에서 (2222211333),  
 그룹 2는 (1223123123)에서 (1112222333),  
 그룹 3은 (3211232331)에서 (3333222111)로 투입순서가 바뀌게 된다.  
 그룹 1의 경우에 색상 2-1-3의 순으로 3번의 색상변경이 필요하게 되는데  
 이 순서는 단계 1의 그룹 1에서 색상의 출현순서에 따른 것이다.  
 이를 모두 연결하면 아래와 같은 새로운 일일순서계획을 작성되며 이 경우에는  
 컬러변경횟수는 9번이 아니고 8번이 된다.  
 (2222211333 1112222333 3333222111)  
 물론 컬러 그룹핑만 고려하면 2-1-3 3번의 색상변경만 필요할 것이다.

이 알고리즘의 기본 논리는 다음과 같다.

차체라인과 도장라인의 전처리, 전착, 중도공정을 거치는 과정에서 불량이나 결품 등에 의하여 차체투입순서가 바뀔 수도 있지만 일일 순서계획에서 컬러 그룹핑이 고려된 차체들을 CGB에 인입시키면 컬러 그룹핑이 고려되지 않는 경우보다 저장창고의 각 레인에 동일한 색상의 차체가 연속으로 인입이 되어 인입효율이 높아지게 된다. 그 결과 이 저장레인에서 도장부스로의 인출 시 동일색상의 연속횟수와 인출효율이 높아지게 된다. 그 결과 색상변경횟수가 줄어들게 되어 색상변경비용도 줄어들게 된다.

하지만 이 경우에 높은 컬러 그룹핑으로 인하여 도장라인에서 생산완료된 차체들의 순서가 의장라인의 평준화 생산에 적합하지 않은 상태이므로 PBS에서 의장라인에의 투입순서를 재조정할 수 있어야 한다.

그러므로 일정대수나 일정시간분의 대수는 PBS와 CGB의 버퍼 사이즈와 관련이 있다. 즉, PBS의 재공가능대수는 평준화를 위한 의장라인에의 투입순서를 재조정할 수 있는 능력과 관련이 있으며, CGB의 재공가능대수도 컬러 그룹핑을 위하여 그룹을 나누는 기준과 관련이 있다. 이 K와 N의 크기를 결정하는 체계적인 방법은 앞으로의 연구과제이다. 시뮬레이션을 통하여 K와 N의 수치를 탐색하는 것도 의미가 있을 것이다.

이밖에도 이를테면 30분 또는 1시간 동안과 같이 일정시간 동안에 투입되는 차량대수의 경우에는 조립라인의 속도인 시간당 투입대수 (Units Per Hour)를 고려하여야 한다.

본 연구는 박혜기 외 2인(1996)이 개발한 CGB에서의 컬러 그룹핑을 위한 알고리즘을 H사의 도장공장에 적용한 결과가 성공적이었다는 사실에서 시작되었다. 도장공장에시의 컬러 그룹핑을 고려하지 않은 일일순서계획에 따라 차체라인을 거쳐 도장라인의 상도공정에 투입되는 차체들의 인입효율이 낮음에도 불구하고 상당히 높은 인출효율을 얻을 수 있었던 것은 이 알고리즘에 의한 것이었다.

일일 순서계획에서 컬러 그룹핑이 고려된 차체들을 CGB에 인입시키면 컬러 그룹핑이 고려되지 않는 경우보다 인입효율이 더 높아질 것이며, 이 알고리즘을 적용하면 도장부스로의 인출효율이 종전보다 더 높아져 색상변경비용도 줄어들게 될 것이라는 가정을 설정한 것이다.

H사의 자동차 조립공장의 1일 생산대수인 약 1100여대를 대상으로 다음과 같이 시뮬레이션을 실시하였다.

이 시뮬레이션에서는 목표추적법을 응용한 H사의 방식으로 수립된 일일 투입순서계획을 이용하여 개발된 알고리즘에 따라 50대씩 색상별로 그룹핑하였으며, 도장공장의 상도

공정의 컬러그룹핑은 박혜규 외 2인(1996)이 개발한 알고리즘을 사용하였다.

그리고 50대씩의 그룹핑은 PBS에서의 순시조정이 가능하여 의장라인에서의 평준화 생산을 크게 저해하지 않는다는 담당자의 견해였다.

또한 차체라인과 도장라인의 CGB에 이르기까지 불량, 결품, 탈하 등 일체의 혼란요인이 없는 이상적인 상태를 가정하였다.

시뮬레이션을 실시한 결과는 다음과 같다.

컬러 그룹핑을 고려하지 않는 투입순서계획과 컬러 그룹핑을 행한 후의 투입순서계획에 의한 결과를 비교하면 다음과 같다.

컬러 그룹핑을 고려하지 않은 경우에는 인입효율은 1.22, 인출효율은 4.55이었다. 반면에 컬러 그룹핑을 고려한 결과는 인입효율이 3.17, 인출효율은 5.80이었다.

즉, 인입효율은 1.22에서 3.17로 161% 가량 크게 증가하였으나, 인출효율은 4.55에서 5.80으로 약 27% 증가하였다.

새로운 투입순서결정 알고리즘을 적용한 결과 인입효율이 1.22에서 3.17로 크게 향상되었으며 도장부스에 투입되는 차체의 인출효율은 4.55에서 5.80으로 약간 증가하였다. 결국 이 알고리즘의 적용으로 인입효율 3.17에서 인출효율 5.80의 결과를 얻을 수 있었다.

그리고 중요한 관리목표 중 하나인 차체 1대당 평균 색상변경비용은 약 24% 감소되었다. 이와 같이 인출효율의 증가율과 색상변경비용의 감소율에 있어서 약간 차이가 나는 이유는 도장부스별 색상별 변경비용이 상이하기 때문이다.

이러한 결과가 그룹핑하여 차체라인에 투입함으로써 도장공장에서의 색상변경비용을 감소시킬 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 방식은 대단히 간단하여 현행순서결정 방식에서 차량대수나 시간에 해당되는 차량들을 색상별로 그룹핑함으로써 조립라인 전체의 생산성이 제고될 수 있음을 보여주고 있다.

인입효율의 증가율에 비해 인출효율의 증가율이 낮은 것은 박혜규 외 2인(1996)이 개발한 도장공장의 알고리즘의 성능과 관련이 있다고 볼 수 있을 것이다.

즉, 일일 순서계획에 있어서 컬러 그룹핑을 고려하지 않아도 CGB에 인입효율 1.22로 투입되는 차체들을 인출효율 4.55로 그룹핑하여 도장부스로 인출시키는 성과는 이 알고리즘에 의한 것이다.

이 알고리즘의 장점은 일일 순서계획이 목표추적법 뿐만 아니라 기타 어떠한 방법으로 수립되어도 다만 의장공장의 평준화에 지장이 없는 범위 내에서 유효하게 사용될 수 있다는 것이다.

물론 대상차량의 대수를 늘리면 늘릴수록 인입효율과 인출효율이 높아질 것이다. 극단적인 예로서 일일 총 생산계획차량대수를 모두 대상으로 하여 그룹핑한다면 커리효율이 가장 높겠지만 PBS에서 의장공장의 평준화를 고려한 투입순서의 조정은 매우 힘들 것이다.

그리고 대상 차체수나 그룹의 크기에 따라 상이한 결과가 나올 수도 있으므로, 이들의 크기를 결정하는 기준의 합리적인 선택에 대한 연구가 요구된다.

이밖에 이 시뮬레이션의 결과에 영향을 미치는 것으로 PBS와 CGB의 구조와 재공가능 대수, 도장부스의 갯수, 컬러 그룹핑을 위한 알고리즘, 도장부스별 색상별 변경비용, 색상의 종류 및 색상별 차량대수 등을 들 수가 있다.

## V. 결 론

본 연구는 차체라인과 의장라인의 평준화만을 고려하고 있는 일일 차량투입 순서계획에 있어서 상도공정을 위한 컬러 그룹핑을 고려함으로써 도장공장에서의 색상변경비용을 줄여 조립공장의 전체의 효율성을 높이기 위한 것이다.

이를 위하여 차량투입순서 결정에 있어서 2가지 목표인 조립라인의 각 공정의 부하 평준화와 조립라인에서 사용되는 각 부품의 소비율의 평준화를 위한 기존의 차량투입순서결정방식 등을 검토하였다. 그리고 차체라인과 의장라인 뿐만 아니라 도장라인의 경제성도 함께 고려하여 전체 조립공장을 대상으로 차량의 투입순서를 결정하는 방식도 검토하였다.

이 연구에서는 평준화된 일일 순서계획에 도장공장의 컬러 그룹핑을 고려하는 간단한 알고리즘을 제시하여 현행 차량투입순서 결정방식을 개선함으로써 현재의 조립라인의 생산성을 높일 수 있는 가능성을 제시하였다. 이 알고리즘은 10일, 1일 생산순서계획 뿐만 아니라 주야간 시간대별 투입순서계획에도 효율적으로 이용될 수 있으며, 부품결손이나 불량발생으로 인하여 투입순서가 바뀌어도 차체라인이나 도장라인에서 이용할 수 있을 것으로 보인다. 그리고 이 알고리즘은 도장공장의 경제성을 높이기 위하여 의장라인의 평준화를 저해하지 않는 범위 내에서 가능한 한 색상별 Batch Size를 크게 하는 방안을 제시함으로써 색상변경 (Color Change)에 소요되는 비용을 상당히 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

비록 제한적인 조건 하에서 이루어졌지만 시뮬레이션을 실시한 결과는 다음과 같다.

일일 순서계획에 컬러 그룹핑을 고려하지 않은 경우에는 CGB의 인입효율은 1.22, CGB의 인출효율은 4.55이었으나 컬러 그룹핑을 고려한 결과는 인입효율이 3.17, 인출효율은 5.80이었다. 즉, 인입효율은 1.22에서 3.17로 161% 가량 크게 증가하였으며, 인출효율은 4.55에서 5.80으로 약 27% 증가하였다. 그리고 대당 색상변경비용이 약 24% 정도 감소되었다.

따라서 본 연구에서 제시된 알고리즘은 매우 효과적일 것으로 보인다.

CGB의 Color Grouping의 대부분의 경우 수작업이나 PLC에 위해 이루어져 컬러 그룹핑의 정도가 대단히 낮으며 이러한 경우에 의장라인의 평준화를 저해하지 않는 범위 내에서 도장공장에 투입되는 차체를 대상으로 컬러 그룹핑함으로써 얻을 수 있는 효과는 매우 클 것이다.

추후 연구분야로는 본 연구에서 충분히 고려하지 못한 의장라인의 평준화를 저해하지 않는 계획대상 차체수(N)와 각 그룹 사이즈 (K)의 체계적인 결정을 위한 방법의 제시와 차체공장, WBS, 도장공장, PBS, 의장공장의 전체적인 시스템의 효율화에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

김연민, 시윤호, “조립생산 시스템에서의 혼합 모델 그룹화,” 산업공학 9권 2호, pp. 39-45.

1996

박혜규, “프레스 공장의 일정계획 수립에 관한 연구,” 울산대학교 경영학연구논문집, 3권 1호, pp.53-66, 1996.

박혜규, 최원준, 신현오, “자동차 도장공장의 Color Selection 시스템의 자동화,” 산업공학 9권 2호, pp. 19-38, 1996

최원준, “자동차 조립공장의 일일 생산순서계획 시스템,” 산업공학 9권 2호, pp. 61-74, 1996

최원준, 박혜규, 신현오, “자동차 조립라인의 실시간 투입시스템의 자동화,” 산업공학 9권 2호, pp. 47-60, 1996

최원준, 박혜규, 신현오, “자동차 도장라인의 도색 Grouping을 위한 알고리즘 설계 및 적용사례,” 한국생산관리학회지 7권 3호, pp. 67-96. 1996

차동원, 조립라인의 평준화를 위한 PBS에서의 차량인출 모형에 관한 연구, 울산대학교 산업경영대학원 석사학위논문, 1993

한국생산성본부, JIT & CIM 구축매뉴얼, 1991

Bard, J.F., E.M. Darr-El and A., Shtub, "An Analytical Framework for Sequencing Mixed Model Assembly Lines," International Journal of Production Research, Vol.30, No.1, pp.35-48, 1992

Bard, J.F., A. Shtub and S.B. Joshi, "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.

Burns, L.D. and C.F. Daganzo, "Assembly Line Job Sequencing Principles," International Journal of Production Research, Vol.25, No.1, pp 71-99, 1987.

Ding, F and L. Cheng, "A Simple Sequencing Algorithm for Mixed-Model Assembly Lines in Just-In-Time Production Systems," Working Paper, 1991

Inman, R. and R.L. Bulfin, "Sequencing JIT Mixed-Model Assembly Lines ,"  
Management Science, Vol.37, No 7, pp 901-904, 1991.

Macaskill, J.L., "Production-Line Balances for Mixed-Model Lines," Management Science, Vol.19, No.4, pp.423-434, 1972.

Miltenberg, J. and G. Sinnamon, "Scheduling Mixed-Model Multi-Level Just-In-Time Production Systems," International Journal of Production Research, Vol.27, No.9,

pp. 1487-1509, 1989.

Miltenberg, J., "Level Schedules for Mixed-Model Assembly Lines in Just-in-Time Production Systems," Management Science, Vol.35, No.2, pp.192-207, 1989

Monden, Y., Toyota Production System, Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia, USA, 1983.

Monden, Y., Toyota Production System, 2nd ed., Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia, USA, 1993.

Okamura, K. and H. Yamashina, "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

Sumichrast, R and R. Russell, "Evaluating Mixed-Model Assembly Line Sequencing Heuristics for Just-In-Time Production Systems," Journal of Operations Management, Vol 9, No. 3, 1990.

Thompson, N. T., "Line Balancing-Sequencing for Mixed Model Assembly," Management Science, Vol.14, No.2, pp.59-75, 1967.

Thompson, N. T., "Mixed Model Line Balancing with Smoothed Station Assignments," Management Science, Vol 64, No.9, pp.593-603, 1970.

Tsai, Li-Hui, "Mixed-Model Sequencing to Minimize Utility Work and the Risk of Conveyor Stoppage," Management Science, Vol.41, No.3, pp.485-495, 1995.

Yano, Candace and R. Rachamadugu, "Sequencing to Minimize Work Overload in Assembly Lines with Product Options," Management Science, Vol.37, No.5, pp. 572-586, 1991.