

자동차 공장의 Painted Body Storage 운영에 대한 시뮬레이션 연구

문덕희^{1*} · 송 성² · 하재훈¹

¹창원대학교 산업시스템공학과 / ²하북과기대학 관리공정학과

A Simulation Study on the Operation of the Painted Body Storage in an Automobile Factory

Dug Hee Moon¹ · Cheng Song² · Jae Hoon Ha¹

¹Department of Industrial and Systems Engineering, Changwon National University, Changwon, 641-773

²Department of Management Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology,
Shijiazhuang, Hebei, 050018, China

This paper introduces a simulation study regarding the operation of the Painted Body Storage (PBS) in an automobile factory. In the paint shop of the factory, same colored bodies are grouped together in order to increase the effectiveness of process, for example decrease the loss of cleaning the painting-gun when the color of body changes from one to another. However the production of automobiles in the assembly shop is a typical example of the mixed model assembly production. Therefore PBS locates between the paint shop and the assembly shop for control the input sequence of bodies to the assembly shop, and it enables to meet the smoothing requirement of assembly sequence.

There are highly restricted constraints on the assembly sequence in a assembly shop. Those are spacing restriction and smoothing restriction. If such restrictions are violated, conveyor-stop or utility work will be necessary. Thus the major objective of PBS is to control the assembly sequence in a way to meet the two restrictions.

In this paper a case study of PBS in an automotive factory is introduced. The storage/retrieval algorithms are suggested and the proposed system is verified using simulation models. Sensitivity analysis for operating factors is also conducted.

Keywords: painted body storage, automobile, simulation, mixed model assembly line, operating algorithm

1. 서 론

자동차 공장은 엔진/트랜스미션 공장(Power Train Shop), 프레스 공장(Stamping Shop), 차체공장(Body Shop), 도장공장(Paint Shop),

조립공장(Assembly Shop 혹은 Trim Shop) 등으로 구성되어 있다. 프레스 공장에서 생산된 패널(Panel)과 외주업체에서 공급된 패널들은 차체공장에서 용접공정을 거쳐 차량으로서의 골격이 만들어진 후 도장공장에서 전착, 중도, 상도공정을 거친다.

본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것임.

*연락처 : 문덕희 교수, 641-773 경남 창원시 사림동 9 창원대학교 산업시스템공학과, Fax : 055-266-4464,

E-mail : dhmoon@sarim.changwon.ac.kr

2004 10월 4일 접수, 1차 수정 후 2005 4월 15일 게재 확정.

도장을 마친 차체는 조립공장에 투입되어 엔진, 트랜스미션을 비롯한 각종 부품들을 조립하게 된다.

자동차공장에서의 생산 스케줄은 차체공장에서부터 시작이 된다 해도 과언이 아니다. 가장 이상적인 생산계획은 차체공장의 생산계획이 최종 조립라인의 조립계획과 동일하게 구성이 되며 동시에 각 공장에서 목표로 하고 있는 생산계획 관련 성과지표를 만족시키는 것인데 현실적으로는 매우 어렵다. 차체공장에서는 배치(Batch) 생산방식을 채택하고 있는데 대차수량 등 차종별로 연속적으로 생산할 수 있는 설비의 대수가 정해져 있기 때문에 설비대수를 초과하여 생산할 수 없다. 반면에 도장공장에서는 동일한 색상의 차량을 한 번에 처리하는 것이 경제적이며, 조립라인에서는 가급적 사양이 다른 차종을 분산시켜야 한다. 따라서 이와 같이 서로 다른 생산계획의 목표를 한꺼번에 최적화하려는 시도가 있었는데, 이러한 문제를 Car Sequencing Problem이라고 하며 Choi(1996), Ha *et al.*(2003)의 논문에서 잘 설명이 되어 있다. 하지만 이러한 연구들은 이론적으로는 가능할지 몰라도 자동차 생산공정 중간에 발생하는 불량품 제거, 재작업 차량 재투입, 각 공장들 사이에 존재하는 버퍼(Buffer)에서의 순서변경 등 현실적으로 존재하는 많은 불확실성 때문에 실제로 적용하는 데는 많은 어려움이 있다는 단점이 있다.

이와 같이 자동차공장에서는 공장별로 다른 목표를 가지고 있기 때문에 후속공정으로 넘어갈 때 후속공정의 생산계획 목표에 적합하도록 생산순서를 조정해 주기 위한 방법이 필요하다. 즉 차체공장에서 도장공장으로 넘어갈 때 도장공장의 생산계획 목표에 맞도록 투입순서를 조정해 줄 기능이 필요하며, 도장공장 내에서도 중도공정에서 상도공정으로 넘어갈 때 조정기능이 필요하다. 또한 도장공장에서 조립공장으로 넘어갈 때 조정기능이 필요하게 된다. 따라서 대부분의 자동차공장에서 이러한 역할을 수행하기 위해서 <그림 1>에 있는 바와 같이 WBS(White Body Storage 혹은 Welded Body Storage), CRS(Color Rescheduling Storage)와 PBS(Painted Body Storage) 등 3가지 중요한 완충공간을 설치하고 있다.

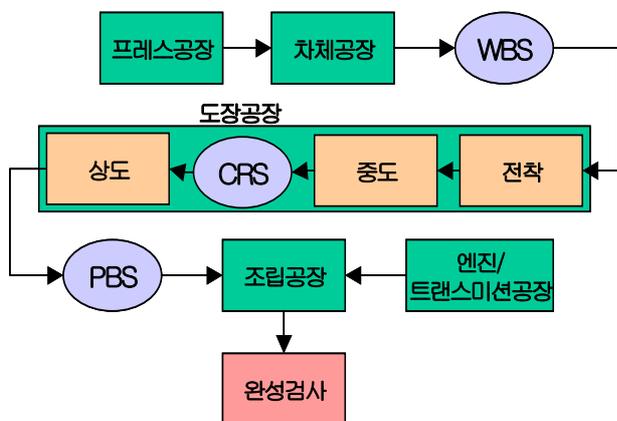


그림 1. 자동차 생산공정과 주요 완충공간.

WBS는 차체공장에서 생산된 차체를 일시적으로 저장하였다가 도장공정에 투입하는 역할을 하는데 생산량 불균형, 생산차종 간 불균형과 생산운영방식에 의한 불균형을 고려하여 도장라인에 투입할 순서를 결정한다. 도장공장의 경우 중도공정까지는 차체의 색상에 관계없이 동일한 도료를 사용하여 진행되지만 상도공정에서는 소비자가 요구한 색상에 따라 사용하는 도료가 변하게 된다. 따라서 상도공정에서는 색상이 변할 때마다 도장기를 세정해야 하는 손실이 발생하며, 이를 절감하기 위하여 상도공정 앞에 CRS(Color Rescheduling Storage)를 설치하여 동일색상의 그룹화 효율을 높이고 있다. Moon *et al.*(2003), Kim and Seo(1996) 등의 논문에서는 CRS의 효율적 운영을 위한 시뮬레이션 모델을 제시한 바 있다.

도장공정에서 상도공정을 마친 차량은 조립공장에 투입되어 조립이 된다. 조립라인에서는 다양한 옵션의 차량이 조립되어야 하는데 단일 작업부하가 많이 걸리는 특수한 옵션의 차량이 연속적으로 투입된다면 조립라인의 균형이 깨져서 생산에 차질을 가져오게 된다. 따라서 조립라인에 투입될 차체를 옵션(Option)별로 평균화시키는 것이 매우 중요하며, 이 역할을 담당하는 것이 PBS다. 일반적으로 PBS는 컨베이어(Power and Free Conveyor)를 이용하여 복수의 라인으로 설치하는 컨베이어 방식과 자동창고를 이용하는 방식의 두 가지가 사용되고 있다. PBS의 효율 측면에서는 자동창고방식이 컨베이어 방식보다 우수한데 그 이유는 출장 차체를 선택할 때 저장되어 있는 차량 전체가 검토대상이 되기 때문이다. 또한 공간효율 측면에서도 자동창고 형태가 우수한 반면 비용 측면에서는 컨베이어 방식이 경제적이다.

이러한 혼류생산의 특성을 반영하는 자동차 조립라인의 생산계획 문제는 혼합모델 조립라인 일정계획(MMAS; Mixed Model Assembly Scheduling) 문제로 알려져 있다. 혼합모델 조립라인 일정계획 문제는 일본의 도요타 생산방식(일명 JIT 생산 방식)이 널리 알려짐에 따라 급속하게 많은 관심의 대상이 되었다. MMAS 문제에서 일반적으로 적용하는 평가적도로는 조립라인에서 단위작업장 사이의 작업부하량 평준화, 부품사용량의 평준화, 차종별 투입비율의 평준화, 컨베이어 정지시간의 최소화 등이 있는데 Xiabo *et al.*(1999)의 논문에서 잘 정리가 되어 있다. MMAS 문제를 해결하기 위하여 다양한 방법들을 사용하고 있는데 Hyun *et al.*(1998)은 유전자이론(Genetic Algorithm)을 이용하였으며, Won and Koh(1997)는 신경망이론(Neural Network)을, Zang *et al.*(2000)에서는 Lagrangian Relaxation 방법을, Kim *et al.*(2000)에서는 Coevolutionary Algorithm을 이용한 바 있다. 기타 다양한 발견적 해법들은 Duplage and Bragg(1998)의 논문에서 요약이 되어 있다.

하지만 이러한 MMAS 분야의 연구결과를 실제로 현장에 적용하는 데는 많은 한계가 있다. 대부분의 논문들이 일정수립 대상 차량이 결정된 상태에서 최적의 투입순서를 결정하는 것을 가정하고 있기 때문에 동적으로 들어오고 나가는 PBS에 적용을 하기 곤란하다. 따라서 많은 경우에 자동차공장에서는

PBS의 운영을 작업자가 직접 하고 있다. 이러한 동적 상황을 다루기 위하여 Choi and Shin(1997)은 컨베이어 유형의 PBS에 적용할 수 있는 동적 입/출장 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션을 이용하여 검증한 바 있으며, Choi et al. (1996)에서는 자동창고 유형의 PBS 운영시스템에 대해 발표한 바 있다.

본 논문은 국내 A 자동차공장의 컨베이어 형태인 PBS를 대상으로 한 사례연구다. 이 공장에는 당초 PBS 운영을 위한 자동화시스템이 있었지만 조립라인의 제약요인이 다양하고, 제약 조건들도 시스템 개발 당시와 많이 변경되었기 때문에 사용하지 못하고 전담관리요원이 일정시간 간격으로 투입순서를 수동으로 입력시키고 있다. 입력오류가 발생할 경우 조립라인 투입 직전에 차체를 회송해야 하는 경우가 발생하고 있으며, 결과적으로 조립 라인에서 차체 1대가 투입되지 못하는 차체 결품상태가 발생하며 같은 옵션의 차종을 연속적으로 투입하여 조립라인 작업자들의 불만을 야기시키기도 한다. 따라서 본 논문에서는 PBS 운영을 위한 각종 알고리즘을 제시하였고, 시뮬레이션 모델을 개발하여 실험을 수행함으로써 제시된 알고리즘의 우수성을 입증하였다.

2. PBS의 기능 및 특성

자동차 회사들에서는 대부분 컨베이어 방식의 PBS를 설치하여 사용하고 있다. 이 방식은 <그림 2>에서 볼 수 있는 바와 같이 여러 개의 레인으로 구성이 되어 있으며, 차량이 입구에 도착하면 입장할 레인을 선택한 후 레인에서 대기하다가 레인의 맨 앞에 도착한 후 출장 알고리즘에 의하여 출장하게 된다. 따라서 이와 같은 컨베이어형 PBS를 설계할 때 결정해야 하는 의사결정 변수들은 다음과 같다.

- ① 레인의 수(n개)
- ② 한 레인에 포함되는 차량 대수(편의상 m대로 가정하지만 실제로는 레인마다 동일하지 않아도 무관함)
- ③ 컨베이어 속도
- ④ 행거(Hanger)의 수량(혹은 대차의 수량)
- ⑤ 특정 옵션 차량을 위한 전용레인의 설치 여부
- ⑥ 회송레인의 설치 여부
- ⑦ 입장방법
- ⑧ 출장방법

이 중에서 ①~③까지는 하드웨어 측면의 설계사항이며, ④~⑧은 운영 측면의 설계사항이다. 여기에서 회송레인은 PBS의 인출지점에서 접근금지조건을 만족하지 못하거나 생산 평준화를 만족하지 못하는 차량을 회송하기 위하여 설치한다. 접근금지조건이란 자동차 조립라인에서 작업자들의 조립시간 평준화를 위하여 특정한 옵션을 장착한 차량을 연속적으로 투입하지 못하게 하는 제약으로서 접근금지조건이 2:1이라는 의미는 특정 옵션의 차량이 투입된 후 같은 옵션의 차량이 투입

되려면 최소 2대의 다른 차량이 투입되어야 한다는 것으로 2:3 절에서 상세히 기술하도록 하겠다.

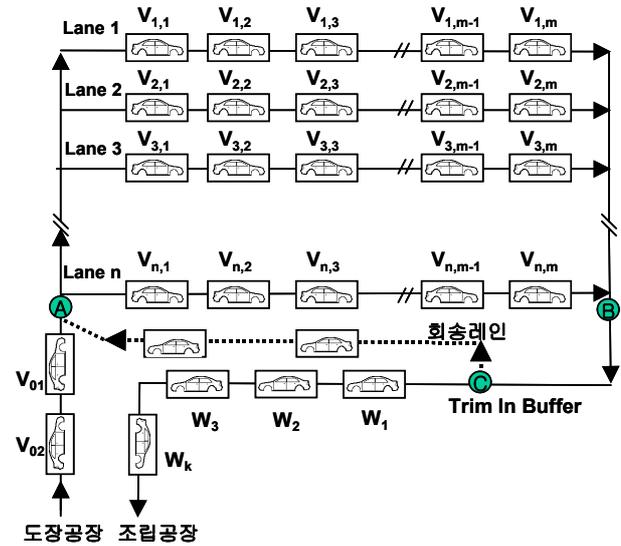


그림 2. 컨베이어 유형의 PBS 구조.

PBS를 운영하는 목적은 조립라인에서 생산의 평준화를 달성하는 것이므로 다음과 같은 조립라인의 특성을 이해해야 한다.

2.1 차량 옵션과 차종

자동차는 소비자의 기호에 따라 자동변속기, ABS 브레이크, 에어백, Sun-Roof, 가죽 시트 등 다양한 옵션들을 장착한다. 이러한 옵션들 중에는 조립라인의 특정 공정에서 추가로 조립시간이 소요되는 것들이 있다. 이러한 옵션들 때문에 조립라인 투입차량의 평준화가 필요하게 된다. 만일 n종류의 옵션이 존재하고 각 옵션별로 2가지의 사양이 존재한다면 총 차종(Model) 수는 2^n 가지가 된다. <그림 3>에서 (O,O,O)는 아무런 옵션을 장착하지 않은 기본형이며 (A,B,C)는 세 가지 옵션을 모두 장착한 차량을 의미한다.

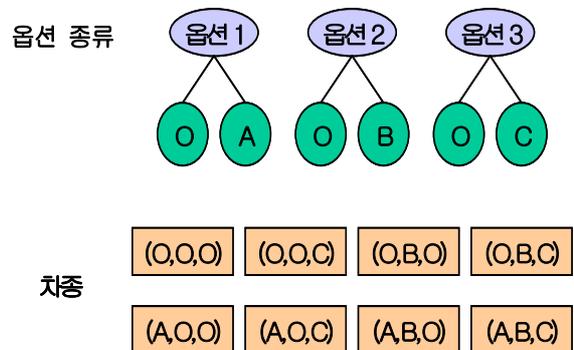


그림 3. 옵션의 종류와 이에 따른 차종.

2.2 차종 간 비유사성

일반적으로 CRS에서 동일한 레인에 차량을 투입할 때는 연속된 두 차량의 색상이 동일하게 유지되게 함으로써 그룹화 효율을 높인다(Moon et al., 2003). 하지만 PBS에서는 가끔씩 동일한 옵션을 가지는 차량이 동일한 레인에 연속적으로 투입되지 않도록 하는 것이 접근금지조건 위반비용을 줄이는 데 도움이 된다. 차종별로 한 가지 옵션만 장착하는 것이 아니라 다양한 옵션을 장착할 수 있기 때문에 차종이 다르다고 해서 동일한 옵션이 포함되지 않는 것은 아니다. 따라서 차종이 다른 차량도 접근금지조건 위반의 검중대상이 된다.

연속적으로 동일한 레인에 투입된 차량이 공통 옵션을 가진 유사차량인지 평가하기 위하여 Group Technology 분석기법 중에서 널리 사용되는 King(1980)이 제시한 순위순서 클러스터링 기법(Rank Order Clustering Analysis; ROCA)을 응용하였다. 각 차량의 가중치를 구하기 위하여 옵션별로 2진법의 제곱수를 부여한 후 차종별로 포함된 옵션의 이진 가중치의 합을 십진법으로 변환하여 차종의 가중치로 사용하였다. 이 때 접근금지조건이 큰 옵션에 대해 높은 가중치를 부여하도록 하였다. 그 후 가중치의 차이가 가장 큰 두 차량이 비유사성이 가장 높은(유사성이 가장 떨어지는) 것으로 결정하여 PBS에 차량을 입장시킬 때 사용하였다. <표 1>은 옵션별로 가중치를 부여하는 방법이다. 만일 선행차량의 차종이 (O,O,O,O,E) 이고 후속차량의 차종이 (A,B,C,D,E)라고 한다면 각 차량의 가중치는 0+0+0+0+1=1과 16+8+4+2+1=31로 계산되며, 이때 비유사성 계수는 두 가중치 차이의 절대값인 $|31-1| = 30$ 으로 계산된다.

2.3 접근금지조건

자동차조립에서 특정 옵션이 추가되는 차량에 대해서는 일부 공정에서 작업시간이 증가하므로 이런 차량이 연속적으로 투입될 경우 작업자의 작업부하를 증가시키고 일부 공정에서 조립시간 부족현상이 발생하여 전체 작업에 영향을 줄뿐만 아니라 부품소비량의 평준화를 실현하지 못한다. 접근금지조건이 3:1이란 의미는 “a 옵션의 차량이 투입된 후에 다시 투입되기까지는 옵션 a가 아닌 차량이 3대 이상 투입되어야 한다”는 제약을 의미한다. <그림 4>와 같이 만일 한 차종에 2가지 이상의 옵션이 추가될 경우 동시에 각각의 접근금지조건을 고려하여야 한다. <그림 4>의 경우 접근금지조건 위반차량 수는 옵션 1과 2에 대해 각 1대씩 총 2대로 계산된다. 접근금지조건

은 노사협약사항이 될 만큼 조립라인 작업자들에게는 민감한 사항으로 받아들여지고 있는 실정이다.

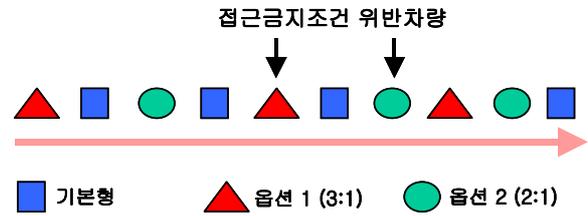


그림 4. 접근금지조건 위반차량 수 계산사례.

2.4 조립라인의 추가작업시간 (Utility Work)

자동차 조립라인은 전형적인 혼류생산방식으로 한 라인에서 여러 종류의 차량을 생산하거나, 한 종류의 차량에도 여러 가지 옵션을 장착한다. 이와 같이 동일 공정에서 혼류생산을 하는 경우 공정소요시간의 차이를 흡수하는 방법은 여러 가지가 있는데, 그 중 대표적인 방법이 협력인도구간(Batton Touch Zone)을 설치하는 방법이다.

협력인도구간은 각 공정의 전후에 설정할 수가 있는데 본 연구에서는 <그림 5>와 같이 공정의 전후에 설치하는 것으로 가정하였다. 이때 각 공정의 길이가 짧기 때문에 작업자의 이동시간은 고려하지 않는다고 가정한다.

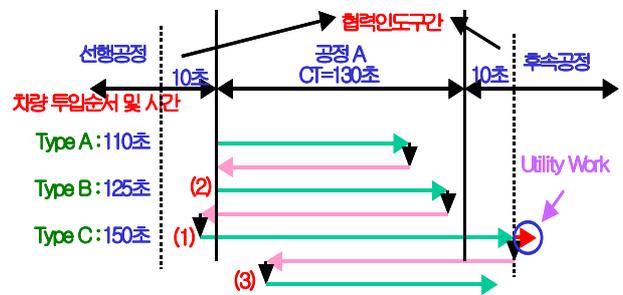


그림 5. 협력인도구간과 추가작업시간.

협력인도구간의 운영은 노사협약에 관련된 사항이기 때문에 본 연구에서는 다음과 같이 운영방법을 가정하였다.

- ① 각 공정별로 공정 전후에 각각 10초의 협력인도구간이 있음

표 1. 옵션에 따른 가중치 부여방법 예

옵션 유형 및 코드	옵션 1		옵션 2		옵션 3		옵션 4		옵션 5	
	O	A	O	B	O	C	O	D	O	E
접근금지조건	-	4:1	-	3:1	-	2:1	-	2:1	-	1:1
가중치	0	2 ⁴ =16	0	2 ³ =8	0	2 ² =4	0	2 ¹ =2	0	2 ⁰ =1

- ② 작업자가 조립작업 수행 후 위치가 해당 공정의 작업범위 내에 있는 경우에는 후속차량의 공정시간이 140초보다 긴 경우는 선행공정의 협력인도구간으로 복귀하고(1), 그렇지 않은 경우는 해당 공정 시작점으로 복귀함(2)
- ③ 후속공정의 협력인도구간에서 작업이 종료된 경우에는 해당 공정의 다음 차량이 있는 위치로 복귀함(3)

이 경우 추가작업시간(Utility Work)은 협력인도구간이 지날 때까지 해당 공정의 작업이 완료되지 못해서 다른 작업자가 투입되어 추가작업을 해야 하는 시간을 의미한다. 추가작업시간

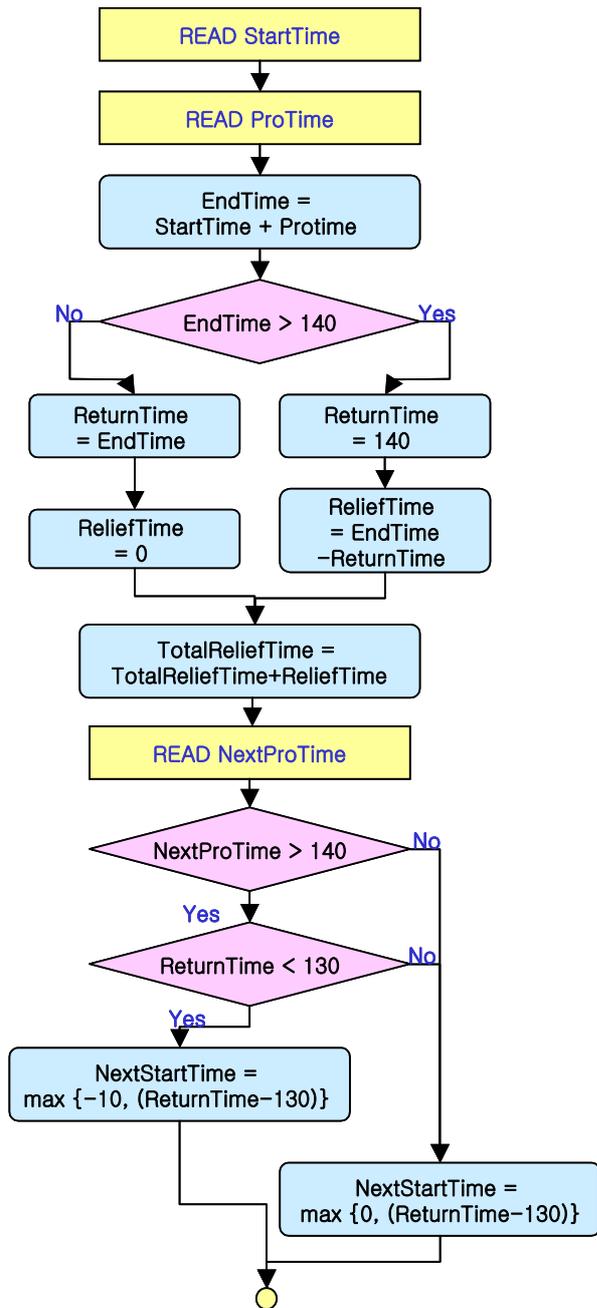


그림 6. 추가작업시간 계산과정 흐름도.

을 계산하기 위해 다음과 같은 기호를 정의하면 다음과 같으며, 계산과정은 <그림 6>과 같은 흐름도로 요약할 수 있다.

- T : 시간 축 (-10 ≤ T ≤ 140)
- StartTime : 해당 차량 작업의 공정시작지점
- ProTime : 해당 차량의 공정시간
- EndTime : 해당 차량의 공정종료지점
- ReturnTime : 해당 차량의 작업자 복귀지점
- ReliefTime : 해당 차량의 추가작업시간
- NextStartTime : 다음 번 차량 작업의 공정시작지점
- NextProTime : 다음 번 차량의 공정시간

2.5 조립라인의 평준화율 (Leveling Ratio)

일반적으로 혼류생산에서 평준화를 시킬 경우는 부품소비량의 평준화(오프선별 평준화) 혹은 차종별 평준화를 추구하는데 본 연구에서는 차종별 평준화를 목표로 한다. 평준화율은 PBS 운영의 효율성을 평가할 수 있는 척도가 되는데 본 논문에서 채택한 차종별 평준화율은 다음과 같은 방법에 의하여 계산하였다. 만일 이론적으로 완전한 평준화가 된다면 식 (3)의 값은 0에 접근할 것이다.

- N_{prod} : 생산해야 할 총 차량대수
- N_{model} : 차종의 수
- n_k : 차종 k 의 생산계획량 ($k=1, \dots, N_{model}$)
- x_{ik} : i 번째 차량이 출장될 때까지 차종 k 의 출장대수 ($i=1, \dots, N_{prod}, k=1, \dots, N_{model}$)
- y_{ik} : i 번째 차량이 출장될 때까지 차종 k 의 인출비율 ($i=1, \dots, N_{prod}, k=1, \dots, N_{model}$)
- LR_{ik} : i 번째 차량이 출장될 때까지 차종 k 의 평준화율 ($i=1, \dots, N_{prod}, k=1, \dots, N_{model}$)
- TLR : 총 평준화율

$$y_{ik} = \frac{x_{ik}}{n_k} \tag{1}$$

$$LR_{ik} = \left(y_{ik} - \frac{i}{N_{Prod}} \right)^2 = \left(\frac{x_{ik}}{n_k} - \frac{i}{N_{Prod}} \right)^2 \tag{2}$$

$$TLR = \sum_{i=1}^{N_{Prod}} \sum_{k=1}^{N_{model}} LR_{ik} \tag{3}$$

PBS에서 차량을 인출할 때 접근금지조건을 위반하지 않는 차량을 우선 인출하면 궁극적으로 옵션이 많이 장착된 차량은 인출이 지연된다. 따라서 단위기간 동안의 생산목표량에 맞추어 차종별로 일정한 비율을 유지하며 조립라인에 투입하는 것이 조립라인의 평준화생산에 도움이 된다. 따라서 PBS에서 차량을 인출할 때 접근금지조건을 만족하는 차량이 여러 대 있는 경우 인출비율 y_{ik} 를 고려하도록 하였다.

3. 알고리즘 개발

PBS를 효율적으로 운영하기 위해서는 차량이 투입될 때 어느 레인에 할당하는지를 결정하는 입장(Storage) 알고리즘, 조립라인에 어느 차량을 투입할 것인지를 결정하는 출장(Retrieval) 알고리즘, 차량을 PBS 입구 쪽으로 회송시키는 회송 알고리즘, PBS의 각 지점별 컨베이어의 통제를 위한 제어 알고리즘 등이 필요하다. 알고리즘 설명을 돕기 위하여 다음과 같은 기호를 정의한다(<그림 2>).

- n : PBS의 전체 라인 수
- i : 레인의 일련번호 ($i=1, \dots, n$)
- m : 라인 i 에 저장할 수 있는 차량 대수 ($i=1, \dots, n$)
- j : 라인 i 에 저장된 차량의 위치 ($j=1, \dots, m$)
- V_{ij} : 라인 i 에 저장된 차량 중에서 입구에서 j 번째 있는 차량 ($V_{i,1}$ 은 가장 최근에 라인 i 에 입장한 차량을 의미함)
- $V_{0,j}$: PBS에 입장하기 위해 대기하고 있는 j 번째 차량 ($V_{0,1}$ 은 PBS 입구에서 가장 가까이 있는 차량으로 회송차량도 포함함)
- W_j : Trim-in-Buffer (PBS를 나온 차량이 조립라인에 투입되기까지 이동하는 구간)에 j 번째로 있는 차량 (W_1 은 출장지점 B에서 가장 최근에 출장된 차량을 의미함)

3.1 입장 알고리즘

입장 알고리즘은 새로운 차량이 <그림 2>의 A 지점에 도착할 때마다 적용된다.

<단계 1> A 지점에서 차종을 읽음.

<단계 2> 만일 전용레인이 할당된 차종이면 해당 전용레인으로 투입하고 중단. 이 때 해당 전용레인이 2개 이상 존재하면 주기적(Cyclical)으로 투입. 만일 해당 전용레인이 다 차서 더 이상 투입할 공간이 없거나 전용레인 할당 차종이 아닌 경우 단계 3으로 감(공용레인으로 투입).

<단계 3> 공용레인의 맨 마지막 차량들에 대해 차종을 읽음. 투입차량과 맨 마지막 차량들의 비유사성 계수를 계산하여 그 중에서 비유사성 계수가 가장 큰 레인을 선택함. 이 때 해당되는 레인이 2개 이상인 경우 잔여공간이 가장 큰 레인을 선택하며, 잔여공간이 같은 경우 라인 번호가 작은 쪽을 선택하여 입장시킴.

<단계 4> 만일 투입차량과 맨 마지막 모든 차량의 차종이 같아서 입장시킬 레인을 찾을 수 없는 경우 차량이 적은 레인으로 투입.

3.2 출장 알고리즘

출장 알고리즘은 일정 시간마다 한 번씩 작동하면서 PBS에

저장된 차량을 한 대씩 출장시킨다. 차량을 출장시킬 때 고려하는 요인으로는 옵션별 접근금지조건, 차종별 인출비율, MRTF(1열 최대체류시간), MRTP(PBS 최대체류시간) 등이 있다. MRTF는 생산량이 많지 않은 특정 차종의 차량이 1열에서 대기하는 시간이 길어져 뒤에 있는 차량의 출장이 막히는 경우를 예방하기 위하여 일정 시간이 지나면 강제로 회송시키기 위한 방법으로 설정하였다.

반면에 MRTP는 특정 차량이 계속 회송됨으로써 PBS에 체류하는 시간이 길어져 납기를 맞추지 못하는 경우를 방지하기 위하여 설정하였다. 출장 알고리즘은 주 프로그램과 2개의 보조 프로그램으로 구성되는데 아래와 같은 논리로 구성되었다.

<주 프로그램>

<단계 1> S_1 을 PBS의 각 레인의 맨 앞(이후 1열이라 칭함)에 있는 차량들의 집합이라고 정의하고($V_{i,1}, i=1, \dots, n$) 차량들의 차종 코드를 읽음.

<단계 2> S_2 를 S_1 의 원소인 차량 중에서 MRTF (1열 최대체류시간)를 초과한 차량들의 집합이라고 정의. 만일 S_2 가 공집합이면 <단계 8>로 가고, 공집합이 아니면 <단계 3>으로 감.

<단계 3> S_2 의 원소인 차량 중에서 MRTP (PBS 최대체류시간)를 초과하는 차량의 집합을 S_3 로 정의함. 이 때 S_3 의 원소들이 출장 후보차량이 됨. 만일 S_3 가 공집합이면 <단계 6>으로 가고, 공집합이 아니면 <단계 4>로 감.

<단계 4> S_3 를 LOC(List of Candidates)로 설정하고 보조 프로그램 *Check_Spacing_Constraint*를 수행함.

<단계 5> 보조 프로그램 수행결과 특정 레인의 번호(접근금지위반조건 만족 차량)가 돌아오면 해당 레인의 차량을 출장시키고 종료. 만일 보조 프로그램의 수행결과가 공집합이면 (S_3 의 차량이 모두 접근금지조건 위반인 경우) S_3 중에서 PBS에 체류한 시간이 최대인 차량을 선택해 강제 출장시키고 종료. 이 경우 접근금지조건이 위반됨.

<단계 6> S_2 를 LOC로 설정하고 보조 프로그램 *Check_Spacing_Constraint*를 수행함.

<단계 7> 보조 프로그램 수행결과 특정 레인의 번호(접근금지위반조건 만족 차량)가 돌아오면 해당 레인의 차량을 출장시키고 종료. 만일 보조 프로그램의 수행결과가 공집합이면 (S_2 의 차량이 모두 접근금지조건 위반인 경우) S_2 중에서 1열에 체류한 시간이 최대인 차량을 선택하여 강제 회송시키고 <단계 1>로 돌아가서 즉시 알고리즘 수행. 이 경우 회송차량 수가 증가함.

<단계 8> S_1 의 원소인 차량 중에서 MRTP (PBS 최대체류시간)를 초과하는 차량의 집합을 S_4 로 정의함. 이 때 S_4 의 원소들이 출장 후보차량이 됨. 만일 S_4 가 공집합이면 <단계 11>로 가고, 공집합이 아니면 <단계 9>로 감.

<단계 9> S_4 를 LOC로 설정하고 보조 프로그램 *Check_Spacing_Constraint*를 수행함.

<단계 10> 보조 프로그램 수행결과 특정 레인의 번호(접근금지위반조건 만족 차량)가 돌아오면 해당 레인의 차량을 출장시키고 종료. 만일 보조 프로그램의 수행결과가 공집합이면 (S_4 의 차량이 모두 접근금지조건 위반인 경우) S_4 중에서 PBS에 체류한 시간이 최대인 차량을 선택하여 강제 출장시키고 종료. 이 경우 접근금지조건이 위반됨.

<단계 11> S_1 을 LOC로 설정하고 보조 프로그램 *Check_Spacing_Constraint*를 수행함.

<단계 12> 보조 프로그램 수행결과 특정 레인의 번호(접근금지위반조건 만족 차량)가 돌아오면 해당 레인의 차량을 출장시키고 종료. 만일 보조 프로그램의 수행결과가 공집합이면 (S_1 의 차량이 모두 접근금지조건 위반인 경우) S_1 을 각 레인의 2열 차량($V_{i,2}, i=1, \dots, n$)의 집합으로 다시 정의하고 S_1 을 LOC로 설정하고 보조 프로그램 *Check_Spacing_Constraint*를 수행함.

<단계 13> 보조 프로그램 수행결과 특정 레인의 번호(접근금지위반조건 만족 차량)가 돌아오면 (이 때 $V_{k,2}$ 가 선택되었다고 가정) $V_{k,1}$ 을 회송시키고 $V_{k,2}$ 를 출장시킨 후 종료. 만일 서브루틴의 수행결과가 공집합이면 (1열, 2열 차량 중 접근금지조건을 만족시키는 차량이 없는 경우) <단계 14>로 감.

<단계 14> 저장 여유공간이 최소인 레인을 선택하여 (레인 k가 선택되었다고 가정) $V_{k,1}$ 을 출장시키고 종료. 이 경우 접근금지조건이 위반됨.

<보조 프로그램 : *Check_Spacing_Constraint*>

LOC(List of Candidate)에 포함된 차량들에 대해서 접근금지조건 만족 여부를 차례로 검토 (이때 접근금지조건은 강한 것부터 약한 순서로 검토). 예를 들어 특정 옵션의 접근금지조건이 3:1로 설정된 경우 Trim-in-Buffer에 있는 최근 차량 3대(W_3, W_2, W_1)를 차례대로 검사함. 만일 접근금지조건이 2:1로 설정된 경우 최근 차량 2대(W_2, W_1)를 차례대로 검사함.

이와 같이 접근금지조건이 설정된 모든 옵션에 대해서 접근금지조건을 위반하지 않는 차량이 있는 경우 이들의 집합을 LOSSC(List of Satisfying Spacing Constraints)로 설정한 후 보조 프로그램 *Leveling_Ration_Test*를 수행함. 만일 LOC(List of Candidate)에 포함된 차량들 중에서 접근금지조건을 만족하는 차량이 없다면 'Null'을 되돌려주고 주 프로그램으로 돌아감.

<보조 프로그램 : *Leveling_Ration_Test*>

LOSSC(List of Satisfying Spacing Constraints)에 포함된 모든 차량에 대하여 차종별 인출비율(leveling ratio)을 비교하여 최소인 출비율을 가진 차종이 저장된 레인번호를 되돌려주고 보조 프로그램 *Leveling_Ration_Test*로 돌아감. 만일 최소인출비율을 가진 차종이 있는 레인이 2개 이상인 경우 여유공간이 최소인 레인을 선택하며, 여유공간이 같은 레인도 2개 이상인 경우 레인번호가 작은 것을 선택하여 해당 레인번호를 되돌려준 후 보조 프로그램 *Check_Spacing_Constraint*로 돌아감.

4. PBS 시뮬레이션 모델

4.1 모델의 개발범위

연구대상인 자동차공장에서는 2개의 조립라인과 각 조립라인에 대응하는 2개의 PBS가 있다. 조립라인 1에서는 승합차가 생산되고 있으며, 조립라인 2에서는 승용차가 생산되고 있다. 도장라인에서 PBS로 투입되는 입구는 하나이므로 PBS에 차체가 도착하면 승합차는 PBS 1로 투입하고, 승용차는 PBS 2로 투입한다. 각 PBS 입구에서는 독자적으로 입장 알고리즘을 적용하여 차량이 입장할 레인을 결정한다. 따라서 시뮬레이션 모델은 <그림 7>과 같이 2개의 PBS와 조립라인을 포함하는 범위에 대해 개발하였는데 조립라인에서의 추가작업시간(Utility Work)을 계산하기 위하여 각 조립작업장별로 차종별 작업시간을 입력 데이터로 사용하였다. 시뮬레이션 모델은 Delmia사의 QUEST[®]를 이용하여 개발하였다. 모델링 과정에서 행거(Hanger, 차량은 CATIA[®]로 설계된 3D 모델을 변환하여 사용하였으며, 공장의 각종 설비들은 Factory-CAD[®]를 이용하여 QUEST[®]와 연계시켰다. 또한 조립라인에서 작업자의 움직임은 IGRIP[®]을 이용하여 QUEST[®]와 연계시켰다. Factory-CAD[®]는 Auto-CAD[®] 기반에서 구동을 하는 소프트웨어로 공장에서는 다양한 부대설비들에 대한 3D 모델을 자체적으로 제공하고 있어서 공장을 3D로 구현하는 데 매우 편리하다. IGRIP[®]은 주로 로봇의 움직임 등 기구학적인 Kinematics를 구현하고, 제품, 치구, 로봇들의 간섭을 분석하는 용도로 널리 사용되는 소프트웨어로 작업장(Work Cell) 설계 및 시뮬레이션에 적합하다. QUEST[®]는 생산시스템 시뮬레이션에 널리 사용되는 3D 기반의 소프트웨어로서 CATIA[®], IGRIP[®] 등과 호환성이 매우 뛰어나며, VRML 형식을 이용하여 Factory-CAD[®] 이의 3D 모델을 쉽게 통합시킬 수 있다는 장점이 있다.

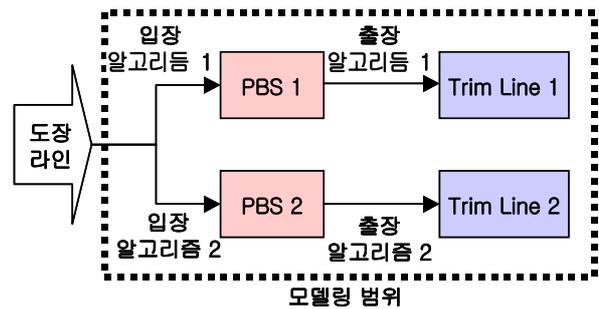


그림 7. 모델의 개발범위.

4.2 PBS 운영효율 평가척도

PBS가 효율적으로 운영되는지의 여부는 조립라인에서 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 평가척도를 설정하였다.

- 접근금지조건 위반횟수
- 조립라인의 차종별 평균화비용
- 회송차량대수
- 강제 출장차량대수
- 추가작업시간 (Utility Work)

4.3 시뮬레이션 모델 입력자료

시뮬레이션에 필요한 입력자료는 다음과 같다.

4.3.1 생산차종 및 옵션별 접근금지조건

2개의 조립라인에서는 <표 2>와 같이 승합차 2가지 옵션의 3가지 차종, 승용차 5가지 옵션의 16가지 차종을 생산한다.

표 2. 각 조립라인별 옵션과 생산차종

옵션	조립라인 1 (승합차)		조립라인 2 (승용차)				
	옵션1	옵션2	옵션1	옵션2	옵션3	옵션4	옵션5
접근금지조건	1:1	1:1	3:1	2:1	2:1	1:1	1:1
생산차종	3종		16종				

※ 옵션은 조립시간에 영향을 주는 것만 고려함

4.3.2 옵션 및 차종별 생산량 분포

승용차의 옵션별 생산량 분포는 <표 3>과 같은데 전반적으로 옵션 정착차량의 비율이 증가하고 있는 추세다. 그 이유는 소비자들이 편의장치 혹은 안전장치에 대한 욕구가 증가하기 때문이라 하겠다. 승용차의 차종별 생산량 비율은 <표 4>와 같은데 연간 분포는 <표 3>에서의 2차년도에 대한 것이며, 월별 분포는 2차년도 3개월 간의 분포다. <표 5>는 승합차의 차종별 생산량 분포다.

표 3. 승용차의 옵션 장착비율

점유율(%)	옵션 1	옵션 2	옵션 3	옵션 4	옵션 5
1차년도	9.36	31.56	7.17	16.51	4.21
2차년도	8.17	30.79	30.57	23.30	24.23

4.3.3 차종별 전용레인 할당정책

승용차의 경우(PBS 2) 특정 차종의 점유율이 18% 이상이면 1개 레인을 전용레인으로 설정하였으며, 승합차의 경우는 차종에 비해 PBS의 용량이 충분하기 때문에 전용레인을 지정하지 않았다.

4.3.4 MRTP와 MRTF의 설정

승용차의 경우 사전실험을 통하여 PBS 최대체류시간(MRTP)은 4시간으로 설정하였으며, 1열 최대체류시간(MRTF)은 40분

으로 설정하였다. 승합차의 경우 차종이 많지 않기 때문에 MRTP와 MRTF는 별도로 설정하지 않았다.

표 4. 승용차의 차종별 생산량 분포

승용차	연간 분포 실적 (%)	월별 분포실적 (%)		
		1월	2월	3월
차종 1	23.02	15.17	20.18	19.34
차종 2	7.35	12.40	10.98	13.27
차종 3	15.15	25.39	1.83	7.15
차종 4	14.01	7.16	11.35	7.69
차종 5	3.03	3.82	4.88	4.31
차종 6	0.10	0.15	0.11	0.04
차종 7	8.77	4.20	4.32	5.49
차종 8	0.22	0.07	0.11	0.04
차종 9	19.12	24.48	29.08	25.63
차종 10	1.04	1.45	0.90	0.97
차종 11	3.66	2.20	9.34	9.57
차종 12	2.83	0.74	4.68	6.39
차종 13	0.00	0.00	0.00	0.00
차종 14	0.04	0.01	0.00	0.10
차종 15	1.64	2.76	2.25	0.00
차종 16	0.00	0.00	0.00	0.00
계	100.00	100.00	100.00	100.00

표 5. 승합차의 차종별 생산량 분포

소형 승합차	1월	2월	3월	4월	평균
차종 1	60.47	60.07	52.34	47.93	55.20
차종 2	34.48	27.56	39.42	40.64	35.63
차종 3	4.65	12.37	8.24	11.42	9.17

이 이외에도 입력자료로서 PBS를 구성하는 컨베이어의 속도, 엘리베이터 속도 등 설비사양과 각종 설비의 고장시간간격 분포 및 수리시간 분포가 입력자료로 수집되었다.

5. 실험 및 결과 분석

실험은 크게 두 단계로 수행하였다. 먼저 개발된 입·출장 알고리즘의 효율성을 평가하기 위하여 승용차 라인만을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 이후에 두 라인의 통합 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

5.1 입·출장 알고리즘에 대한 효율성 검토

개발한 입·출장 알고리즘의 효율을 평가하기 위하여 과거

수작업으로 PBS에서 차체를 출장시킨 실적자료와 알고리즘을 적용한 결과를 비교하였다. 실험에서 2차년도 1월, 2월, 3월 3개월 간 PBS에 입장, 출장시킨 실적자료를 사용하여 실험을 한 결과는 <표 6>과 같다. 접근금지조건 위반비율은 3개월 모두 10% 이상으로 나타났는데, 그 이유는 연간 차종별 분포에 비하여 해당 3개월 동안에는 복잡한 옵션의 차량비율이 증가했기 때문이라 하겠다.

하지만 실제 PBS 담당자가 수작업으로 운영한 실적자료에 비하면 개발된 입·출장 알고리즘을 적용하면 접근금지조건위반 차량수가 최소 40% 이상 대폭 감소하였음을 알 수 있었다. 또한 평균화 비율의 경우에도 알고리즘을 적용하였을 때 실적자료보다 편차가 평균 6.5% 작게 나왔다. 추가작업시간의 경우에도 알고리즘을 적용한 결과가 실적에 비해 평균 6.4% 개선되었다.

접근금지조건 위반차량수가 40% 이상 감소한 데 비하여 추가작업시간의 개선율이 6.4%인 이유는 접근금지조건이 실제 조립작업장의 작업편성시간에 비하여 지나치게 강하게 설정되어 있는 것으로 볼 수 있으며, 조립작업장의 작업편성 시간 자체도 여유가 충분하게 설정되어 있기 때문이라고 볼 수 있다.

표 6. 알고리즘 적용결과

구 분	1월		2월		3월		
	대수	비율	대수	비율	대수	비율	
총 생산량	7972	100.0	7477	100.0	6700	100.0	
알고리즘	접근금지조건 위반	1113	14.0	1406	18.8	735	11.0
	4시간 후 강제출장	189	2.4	186	2.5	96	1.4
	회송	1829	22.9	1653	22.1	1060	15.8
	40분 후 강제회송	529	6.6	498	6.7	382	5.7

표 7. 3개월 간 실적자료와 알고리즘 적용결과의 비교

월		1월		2월		3월	
총 생산량 (대)		7972		7477		6700	
접근금지 조건위반	실적	2020	25.3	2377	31.8	1401	20.9
	알고리즘	1113	14.0	1406	18.8	735	11.0
	개선율	44.9%		40.1%		47.5%	
	평균화 비율	2106		1546		1500	
추가작업시간	실적	30.44		15.06		14.48	
	알고리즘	28.11		14.41		13.44	
	개선율	7.7%		4.3%		7.2%	

5.2 통합 시스템 시뮬레이션 실험 및 결과 분석

두 번째 단계로 승용차 라인과 승합차 라인을 통합함으로써 전체적인 PBS 운영시스템 검증이 가능한 통합 시뮬레이션을 수행하였다. 통합 시뮬레이션의 목적은 다음과 같다.

- PBS의 처리능력 검토
- 행거의 적정 운영수량 검토
- PBS의 적정 최소재고수량 결정

이와 같은 통합모형을 위해 다음과 같은 몇 가지 상황을 추가로 가정하였다.

- 도장라인에서 PBS에 투입되는 승용차와 승합차는 생산량 비율에 의해 임의로 투입된다.
- 고장은 도장라인의 고장, PBS 자체의 고장, 조립라인의 고장 등 3가지 종류를 고려한다.
- 행거는 2개의 PBS 라인에서 공동으로 운영한다. 따라서 빈 행거의 운영을 위해 행거의 이동경로를 통제하는 로직과 컨베이어의 구간별 행거 최대저장대수를 포함시켰다.

- 도장라인의 문제로 인하여 차체가 PBS에 투입되지 않으면 PBS에서 대기하는 차량의 수가 점진적으로 감소된다. 이 경우에 접근금지조건 위반을 피하기 위하여 선택할 수 있는 차량의 수가 줄어들기 때문에 접근금지조건 위반횟수가 늘어난다. 이와 같은 문제점을 방지하기 위하여 PBS에 저장된 차량의 수가 일정 수량 이하가 되면 일정 수량 이상이 될 때까지 출장을 중단시킨다.
- 차량이 PBS에서 출장되면 그 정보가 조립라인에 통보되어 엔진 등 필요한 부품들이 준비된다. 따라서 부품준비에 필요한 시간을 확보하기 위하여 Trim-In Buffer의 재고수량이 최대용량에서 미달될 경우 조립라인에 투입을 중단한다.
- PBS 중 어느 한 라인이라도 만차가 되면 도장라인에서 투입하지 못하도록 한다.

통합 시뮬레이션 실험은 <표 8>과 같이 3가지 요인을 고려하여 총 12개의 대안으로 설계하였다.

- ① PBS의 최소재고대수가 시스템 효율에 미치는 영향분석
- ② 운영 행거의 수량이 시스템 효율에 미치는 영향분석
- ③ 승용차 조립라인의 작업편성을 26JPH(Job per Hour)로 유지한 상태에서 승용차 조립라인의 생산량을 30JPH로 증

가시켰을 때 시스템 효율에 미치는 영향분석

이 때 옵션 및 차종별 분포는 연간분포를 사용하여 임의로 생성시켰다. 초기 안정화 조건을 유지하기 위하여 승용차 PBS의 초기재고는 30대, 승합차 PBS의 초기재고는 20대로 설정하

표 8. 실험계획

	생산량(JPH)	행거 수	최소재고
대안 1	(26, 8)	150	6
대안 2			12
대안 3	(26, 8)	160	6
대안 4			12
대안 5	(26, 8)	170	6
대안 6			12
대안 7	(30, 8)	160	6
대안 8			12
대안 9	(30, 8)	170	6
대안 10			12
대안 11	(30, 8)	180	6
대안 12			12

표 9. 주요 대안 간 결과비교

구 분	PBS 최소재고대수			생산량 증가			
	대안 3	대안 4	p-value	대안 4	대안10	p-value	
평균 PBS 처리대수 (승용)	59792.60	59786.20	0.25512	59786.20	68874.4	0.00000	
평균 PBS 처리대수 (승합)	18286.40	18287.60	0.14176	18287.60	18286.4	0.46649	
평균 PBS 재고대수 (승용)	27.56	26.70	0.26226	26.70	27.56	0.02880	
최대 PBS 재고대수 (승용)	42.40	39.80	0.13071	39.80	43.40	0.38194	
평균 PBS 재고대수 (승합)	14.74	19.51	0.00001	19.51	14.28	0.11027	
최대 PBS 재고대수 (승합)	23.60	23.20	0.18695	23.20	21.40	0.00004	
평균 PBS 체류시간 (승용,분)	56.64	62.03	0.07584	62.03	51.95	0.12708	
최대 PBS 체류시간 (승용,분)	244.62	243.75	0.05323	243.75	244.70	0.02030	
행거 가동률	81.50%	81.82%	0.28054	81.82%	75.76	0.03856	
승용차 라인	총 회송차량	8620.60	7360.60	0.17991	7360.60	9005.8	0.16223
	강제 출장차량	102.80	8.60	0.04975	8.60	62.2	0.01538
	강제 회송차량	2530.40	2281.80	0.19228	2281.80	2087.0	0.22108
	접근금지조건 위배 차량	5619.80	4784.60	0.02421	4784.60	6642.8	0.00545
	추가작업시간(초)	1099800.40	1113149.50	0.03880	1113149.50	9512418.40	0.00000
	PBS 고장정지시간(초)	438.55	465.57	0.42310	465.57	199.01	0.02375
	PBS 막힘정지시간(초)	13208.00	13494.00	0.36852	13494.00	15262.00	0.09905
	투입 고장횟수	8.60	9.40	0.18695	9.40	12.20	0.06735
	투입 고장시간(초)	10337.42	11041.19	0.29287	11041.19	14461.51	0.06435
	조립라인 고장횟수	121.20	124.40	0.27239	124.40	124.00	0.47641
	조립라인 고장시간(초)	14415.67	14797.04	0.23439	14797.04	15182.53	0.30632
	PBS 정지율	0.49%	0.51%	0.28903	0.51%	0.20	0.00018

였으며, 시물레이션 기간은 2교대 125일(6개월)로 하여 각 5회씩 반복실험을 하였다. <표 9>는 주요 대안의 실험결과를 비교한 것이다.

우선 PBS의 최소재고대수를 6대로 하는 것과 12대로 하였을 때 생산능력에 차이는 없었다. 하지만 PBS의 최소재고대수를 6대로 하는 것보다 12대로 하는 것이 접근금지조건 위반 차량수를 감소시킬 수 있다. 그 결과 조립라인에서의 추가작업 시간도 차이가 있다. 대안 4와 대안 10은 2가지 다른 점이 있다. 우선 운영하는 행거의 수가 160대에서 170대로 증가하였으며, 승용차의 생산량이 26JPH에서 30JPH로 17% 증가하였다. 그 결과 승합차량 라인의 평가지표는 큰 차이가 없었으나 승용차 라인의 경우 대부분의 평가지표에 차이가 있었다. 특히 조립라인에서의 추가작업시간(Utility work)은 8.7배 정도 증가하였는데, 그 이유는 26JPH의 작업편성으로 30JPH의 생산량을 수행했기 때문이다. 하지만 예상과는 달리 대부분의 공정에서 생산량 증가를 흡수하고 있었으며, 이 의미는 작업편성에 여전히 여유가 많음을 시사하고 있다.

행거의 수는 12가지 대안 모두 시스템 효율에 영향을 주지 못하였다. 하지만 26JPH로 승용차를 생산할 경우 행거를 140대로 줄이면 행거 부족현상이 발생하고 있음을 추가실험을 통하여 알 수 있었다. 30JPH의 경우 생산량이 증가됨에도 불구하고 행거 수량을 150대로 줄여도 큰 문제는 발생하지 않았다. 참고로 행거를 지나치게 많이 투입할 경우 빈 행거의 이동에 따른 막힘(Blocking)현상이 발생한다.

6. 결론

PBS(Painted Body Storage)는 자동차 도장공장에서 투입된 차체를 일시 저장하였다가 조립라인에서의 혼류생산에 적합하도록 투입순서를 조정하는 역할을 한다. 본 논문에서는 이러한 PBS의 운영효율을 개선하기 위한 시물레이션 사례연구를 소개하였다. PBS는 구조에 따라 자동창고 유형과 컨베이어 유형의 두 종류가 사용되고 있는데 본 연구에서는 컨베이어 형태의 PBS를 고려하였다.

또한 본 논문에서는 PBS 운영효율에 영향을 미치는 요인들에 대하여 설명을 하였으며, 이를 토대로 PBS에 차체를 투입하는 입장 알고리즘과 PBS에서 차체를 인출하는 출장 알고리즘을 제시하였다.

입장 알고리즘에서는 전용레인, 차종 간 비유사성, 레인별 잔여공간 등을 고려하였으며, 출장 알고리즘에서는 접근금지조건, 평준화를 위한 차종별 인출비용, MRTF (PBS 최대체류시간)을 고려한 강제 출장, MRTF (1열 최대체류시간)을 고려한 강제 회송 등을 고려하였다. 또한 검색은 2열까지 하는 것으로 하였다. 시물레이션 모형은 QUEST[®]를 기본으로 CATIA[®], Factory-CAD[®], IGRIP[®] 등을 활용하여 3차원 모델로 개발하였다. PBS의 운영효율은 조립라인에서 평가하게 되는데 본 논문

에서는 접근금지조건 위반 차량 수, 회송차량 수, 조립라인에서의 추가작업시간(Utility Work), 평준화 비율 등을 평가지표로 설정하였다.

실험은 크게 두 단계로 진행하였는데 먼저 개발된 알고리즘의 효율을 검증하기 위하여 승용차 라인을 대상으로 과거 3개월 동안 운영자가 수작업으로 운영한 실적과 알고리즘을 적용한 결과를 비교하였다. 그 결과 접근금지조건 위반횟수가 40% 이상 감소함을 알 수 있었으며, 평준화 비율은 평균 6.4%, 추가작업시간은 평균 6.5% 감소하여 개발된 알고리즘이 효율적임을 알 수 있었다.

두 번째 단계에서는 승용차 라인과 승합차 라인 등 두 라인을 통합하여 통합 시스템에 대한 실험을 수행하였다. 이 실험은 PBS, 도장라인, 조립라인의 고장을 반영했을 때 PBS가 정상적으로 운영되는지와 적정 행거의 수량, PBS의 적정 최소재고 수량 등을 검토하기 위한 것이다. 그 결과 PBS의 최소재고대수는 6대보다 12대로 하는 것이 효율 면에서 좀더 우수함을 알 수 있었다. 또한 적정 행거의 수량도 파악할 수 있었다.

사례연구 대상인 공장의 경우 현재 전담요원 2명이 수동으로 차량의 입·출장을 관리하고 있는데 개발된 알고리즘에 의하여 자동화 시스템을 도입하면 인원감축효과가 있을 것으로 예상된다. 그 외 부수적인 효과로는 계량화된 PBS 운영효율 평가지표개발로 관리수준을 향상시킬 수 있고, 조립라인의 차량 투입 불균형을 개선함으로써 작업자들의 작업부하 균형을 유지할 수 있으며 향후 생산량 변경이나 신규 라인 설치 시 사전 검증이 가능할 수 있게 되었다.

참고문헌

- Choi, W.J., Park, H.K. and Shin, H.O. (1996), Automation of the Real-Time Production Sequencing System of an Automobile Assembly Line, *IE Interfaces*, 9(2), 47-59.
- Choi, W.J. and Shin, H.O. (1997), A Real-Time Sequence Control System for The Level production of the Automobile Assembly Line, *Computers and Industrial Engineering*, 33(3), 769-772.
- Choi, W.J. (1996), A Daily Production Sequence Planning System for the Automobile Assembly Plant, *IE Interfaces*, 9(2), 61-74.
- Duplaga, E.A. and Bragg, D.J. (1998), Mixed-Model Assembly Line Sequencing Heuristics for Smoothing Component Parts Usage : A Comparative Analysis, *International Journal of Production Research*, 36(8), 2209-2224.
- Ha, Y.H., Woo, S.B., Ahn, H.S., Hahn, H.S. and Park, Y.J. (2003), Implementation of a Vehicle Production Sequencing Module Using Constraint Satisfaction Technique for Vehicle production Planning system, *IE Interfaces*, 16(3), 352-361.
- Hyun, C.J., Kim, Y.H. and Kim, Y.K. (1998), A Genetic Algorithm for Multiple Objective Sequencing Problems in Mixed Model Assembly Lines, *Computers and Operations Research*, 25(7-8), 675-690.
- Kim, Y.K., Kim, J.Y. and Kim, Y. (2000), A Coevolutionary Algorithm for Balancing and Sequencing in Mixed Model Assembly Lines, *Applied Intelligence*, 13(3), 247-258.

Kim, Y.M and Seo, Y.H. (1996), Model Grouping in a Mixed Model Assembly Line, *IE Interfaces*, 9(2), 12-37.

King, J.R. (1980), Machine-Component Group Formation in Production Flow Analysis: An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm, *International Journal of Production Research*, 18(2), 213-232.

Moon, D.H., Song, C., Kim, H.S. and Kim, K.Y. (2003), A Simulation Analysis on the Validity of Color Rescheduling Storage in an Automobile Painting Shop, *IE interfaces*, 16(2), 211-221.

Won, Y.C. and Koh, J.M. (1997), Mixed Model Assembly Sequencing Using Neural Net, *IE Interfaces*, 10(2), 51-56.

Xiabo, Z., Zhou, Z. and Asres, A. (1999), A Note on Toyota's Goal of Sequencing Mixed Models on an Assembly Line, *Computers & Industrial Engineering*, 36(1), 57-65.

Zhang, Y.H., Luh, P.B., Yoneda, K. and Kyoya, T. (2000), Mixed-Model Assembly Line Scheduling Using the Lagrangian Relaxation Technique, *IIE Transactions*, 32(2), 125-134.



문 덕 회

한양대학교 산업공학과 학사
 KAIST 산업공학과 석사
 KAIST 산업공학과 박사
 현재: 창원대학교 산업시스템공학과 교수
 관심분야: 설비계획, 스케줄링, 시뮬레이션
 현장 응용



하 재 훈

창원대학교 산업시스템공학과 학사
 창원대학교 산업시스템공학과 석사
 현재: 대우정보시스템 PLM 사업팀 근무
 관심분야: 3D 시뮬레이션, 공장설계



송 성

중국 연변대학교 농기계학과 학사
 창원대학교 산업시스템공학과 석사
 창원대학교 산업시스템공학과 박사
 현재: 중국 하북과기대학 관리공정학과
 부교수
 관심분야: 시뮬레이션, 스케줄링