

Integrated Storage System For Automobile Production Line

Duksu Kim · Yoonho Seo[†]

School of Industrial Management Engineering, Korea University

자동차 생산라인을 위한 통합창고 시스템

김득수 · 서윤호[†]

고려대학교 산업경영공학부

The automobile manufacture is a typical integrated assembly production that the numerous parts are committed sequentially to the assembly line. In this type of automobile manufacture, WBS (white body storage) and PBS (paint body storage) are operated to adjust the production sequence and to buffer. Starvation (impossibility of production owing to the insufficient supply) or blocking (impossibility of production owing to the over capacity) could occur in some chance, hence, both storages (WBS, PBS) are integrated as a prevention. This system is called integrated storage. In this paper, we suggest the simulation model of 'WBS-PBS integrated storage' and methodology of operation considering both 'Color grouping' and 'Option leveling.'

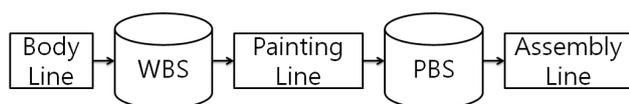
Keywords : Simulation, Automobile Manufacturing, Integrated Storage Operation

1. 서 론

자동차 생산은 일관 조립 생산 방식의 전형적인 산업으로 차체공장-도장공장-조립공장을 거쳐 이루어진다.

차체공장에서는 연속적으로 차체가 생산되면, 생산된 차체는 같은 색상으로 그룹화되어 도장공장으로 순차 투입된다. 이렇게 투입되어 도장이 완료된 차체는 차량이 가진 사양을 분산시켜 조립공장으로 투입된다[10]. 이렇듯 각기 다른 공정에서 WIP이 발생하기 때문에 각 공정간 자동차의 투입 순서를 조절해 주는 완충 공간이 필요하다.

완충공간은 <Figure 1>과 같이 WBS(White Body Storage),



<Figure1> Automobile Manufacturing

PBS(Painted Body Storage)로 구성된다. WBS는 차체공장과 도장공장 사이에 있고 도장 공장에 차량을 투입하는 역할을 한다. PBS는 도장공장과 조립공장 사이에 있고 조립공장에 차량을 투입하는 역할을 한다.

도장공장의 완충공간인 WBS와 조립공장의 완충공간인 PBS는 크게 컨베이어 형태와 자동창고(Automated Storage/Retrieval System, 이하 AS/RS)형태로 나누어진다. 컨베이어 형태의 완충공간은 비용 측면에서 경제적이지만 운영하는 데 있어서 많은 제약이 발생한다. 반면 자동창고 형태의 완충공간은 원하는 차량의 입출고가 자유롭기 때문에 운영에 많은 이점이 발생한다. 출고차체를 선택할 경우 전체 차량을 검토할 수 있으며, 공간 효율 측면에서도 우수하지만, 초기 설치비용이 많이 발생한다. 이러한 완충공간에 대해서 각각의 단점을 보완하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 컨베이어 형태 WBS에 대한 운영방법으로 Kim et al.[6]는 국내 자동차 공장의 CRS(Color Rescheduling Storage) 레이아웃과 운영알고리즘을 제안하였고, Choi et al.[3]는 도장공장의 색 변경을 줄이기 위한 CRS 설치 및 운영 소프트웨어를 연구하였다. Moon et al.[9]는 CRS 레이아웃 변경과 운영방법에 따른 효율변화를

연구하였고, Han[4]은 상도 공장 이전의 각 컨베이어 연결점에서의 운영 알고리즘을 개선하였다. 이러한 컨베이어 형태의 완충공간 운영방법에 대한 연구는 주로 회송라인을 이용하여 동일 색상의 차량으로 그룹핑(Grouping)을 한다. 하지만 이렇게 할 경우 회송되는 차량이 발생하여 생산량이 줄어들 수 있기 때문에 Atassi[1]는 자동창고를 이용하여 차량의 그룹화 효율을 올리는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 조립공장의 완충공간인 컨베이어 형태의 PBS에 대한 연구로 Moon et al.[11]는 PBS 입고 알고리즘과 출고 알고리즘을 제안하였다.

자동창고 PBS에 대한 연구는 설계와 운영방법에 대한 연구로 구분할 수 있다. 자동창고 PBS 운영방법으로 Choi and Shin[2, 3]은 조립공장에서의 실시간 투입순서 작성 및 운영 시스템을 제안하였으며, 자동창고 설계에 대한 연구로 Inman[5]는 자동창고의 적절한 크기 및 출고에 대해 연구를 하였다. Na et al.[7]은 as/rs에서 처리시간과 저장 공간의 크기를 고려한 시간당 처리량 조건을 만족시키면서 비용을 최소화 하는 비 선형 정수계획 모델을 수립하였으며 이러한 모델을 검증하기 위하여 동적인 상황에서 시뮬레이션 모델의 수립 및 수행과정을 추가한 방법을 제시하였다.

Ok et al.[12]는 이러한 WBS와 PBS를 통합하여 운영할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하였고, 개발한 모형을 이용해서 개별창고와 통합창고의 효율성을 비교하였다.

하지만 기존 통합창고 연구에서는 자동차 제조라인을 간단하게 모델링 하여 연구가 진행되었기 때문에, 실제 자동차 라인에서 고려되는 컬러 그룹핑(Color Grouping)과 옵션 평준화(Option Leveling)는 반영되지 않았다. 따라서 실제 자동차 생산 공장에서의 현실적인 제약 조건들인 컬러 그룹핑과 옵션 평준화가 반영된 통합창고 운영방법 연구가 필요하다.

본 논문에 목적은 WBS(White Body Storage)와 PBS(Painted Body Storage)를 통합한 모형에 대해서, 도장공장의 효율성의 척도인 컬러 그룹핑과 조립공장의 효율성 척도인 옵션 평준화가 고려된 통합창고 운영방법을 제시하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 통합창고 운영방법의 문제점에 대해 설명하고, 제 3장에서는 시뮬레이션 모형의 전반적인 구성에 대해 설명을 하며, 제 4장에서 제안하고자 하는 통합창고 운영방법을 설명한다. 제 5장에서는 실험에 대한 설명과 결과를 분석한 후, 제 6장에서 결론과 추후 연구방향에 대해서 언급한다.

2. 문제정의

자동차 생산라인은 <Figure 1>과 같이 차체공장-WBS-

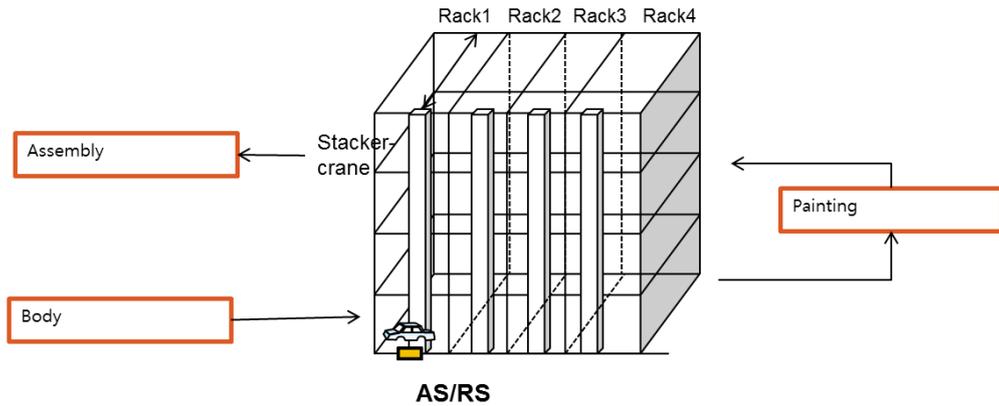
도장공장-PBS-조립공장으로 이루어진 직렬형태이며 각각의 공장들은 개별적으로 관리되고 있다. WBS에 보관된 차체는 도장공장으로 보내진다. 이렇게 보내진 차체는 도장공장에서 크게 하도-중도-상도 공정을 거친다. 하도 공정은 전착 도료를 부착하고 이렇게 부착이 된 차체는 중도 공정에서 도장기의 에어 스프레이건을 이용하여 도료를 부착한다. 상도 공정에서는 색상이 들어간 도료를 이용하여 도장을 한다. 중도 공정까지는 동일한 도료를 사용하지만, 상도 공정에서는 색상이 변할 때마다 도장기 내부를 세척하는 비용이 발생하기 때문에[9] WBS는 이러한 비용을 줄이기 위해 동일 색상으로 모아서 보내주는 역할(Color Grouping)을 한다[12]. PBS에 보관된 차체는 조립공장으로 보내진다. 이렇게 보내진 차체는 조립공장에서 다양한 옵션들이 장착된다. 조립공장에서 조립되는 옵션들은 조립시간에 차이가 존재하며, 이러한 조립시간의 차이 때문에 조립공장의 과도한 작업 부하가 걸리게 된다. 이러한 조립 라인의 Line Balancing 효율을 올리기 위하여 조립공장에서 사용되는 옵션을 평준화시켜주는 작업이 필요한데, PBS는 조립공장의 옵션상황을 고려하여 적합한 차량을 출고하는 역할을 한다[3, 11]. 이러한 WBS와 PBS는 하나로 연결된 형태의 흐름 공정으로 운영되기 때문에 WBS 운영방법은 PBS에 직접적인 영향을 미친다. 예를 들어 조립공장에 들어가야 할 옵션의 차량이 WBS에서 도장 공장의 효율을 위해 다량 대기하고 있다면, 조립공장에서 효율성이 상당히 떨어질 것이다. 또한, 조립공장에서 부품이 부족하여 해당 부품의 옵션을 차량에 대기시키고 있을 경우 이를 WBS에서 고려하여 도장공장으로 보낸다면 유연하게 대처할 수 있을 것이다.

본 논문은 기존의 통합창고 연구에 고려되지 않은 컬러 그룹핑과 옵션 평준화를 적용한 운영 방법을 제시한다.

3. 통합창고 모형

Ok et al.[12]의 논문에서 통합창고 모형을 개발하였으며 적정 Stacker Crane과 AGV대수와 통합했을 경우 발생하는 문제점들을 고려하여 설계하였다. 하지만 기존 논문에서는 컬러 그룹핑과 옵션 평준화에 대한 고려가 없었고 본 논문은 이러한 실제 운영 시 고려되는 제약사항이 고려된 운영 방법과 기존 운영방법과 비교하기 위하여 기존 논문의 통합창고 모형을 참조하였다. 따라서 본 논문에서 고려하는 통합창고 시뮬레이션 모형은 Ok, et al.[12]의 논문에서 Outer Loop 모형을 참조하였고, 구조는 <Figure 2>과 같다.

참조된 모형은 자동창고(AS/RS)와 AGV를 이용하며, WBS와 PBS의 용량을 공유하면서 사용하는 형태로 구성되었다. 자동창고(AS/RS)는 Rack과 Stacker Crane으로 구



<Figure 2> Integrated Storage Simulation Model

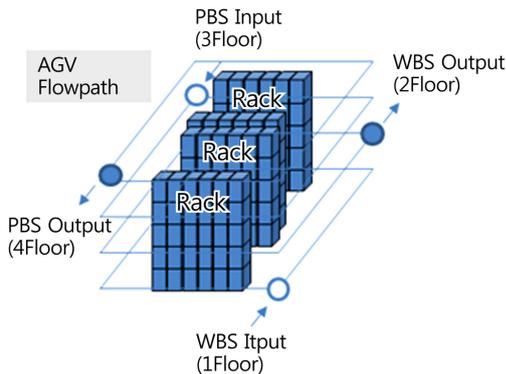
성된다. 이러한 Stacker Crane은 Rack에 차량을 입고/출고 하는 역할을 하며 이렇게 입출고 된 차량을 AGV가 통합창고 외부로 돌면서 차체를 각 해당 공장으로 이송시키는 형태다.

대해 설명한다.

본 논문에서 사용되는 기호는 다음과 같이 정의한다.

[Notation]

- m = WBS 차량 리스트
- k = PBS 차량 리스트
- n = 출고 횟수
- q = 조립라인 차량 수
- c_j = 조립라인 차량 중 옵션 j 대수
- j = Option index
- h = 차량 index(h = 0, 1, 2, 3 ...)
- x_{n-1}^j = n-1까지 출고된 옵션 j의 차량 대수
- w_i = 도장공장에 i번째로 입고 대기중인 차량



<Figure 3> Out-loop AGV Flowpath

WBS와 PBS는 <Figure 3>과 같이 Rack 4개로 구성된 자동창고를 사용한다. WBS는 128대를 사용하고 PBS 또한 128대의 공간을 이용하며, 통합창고 용량은 총 256대로 구성된다. 각 Rack은 4층 구조로 되어 있으며, 1층에서 WBS 입고가 이루어지고 2층에서 WBS가 출고되며, 3층에서 PBS 입고가 이루어지고 4층에서 PBS 출고가 이루어지는 형태다. 통합창고 크레인 수직 이동속도는 40m/min, 수평 이동 속도는 110m/min이라 가정하고, AGV 속도는 40m/min이라 가정한다.

4. 운영방법

본 장에서는 PBS에서 조립공장의 옵션 평준화를 위해 적용한 목표추적법을 소개하고 통합창고의 운영방법에

- e_j = { 1, 옵션 j 적정수량
0, 옵션 j 적정수량초과
- b_h^j = { 1, 차량 h에 옵션 j 존재
0, 차량 h에 옵션 j 존재하지 않음

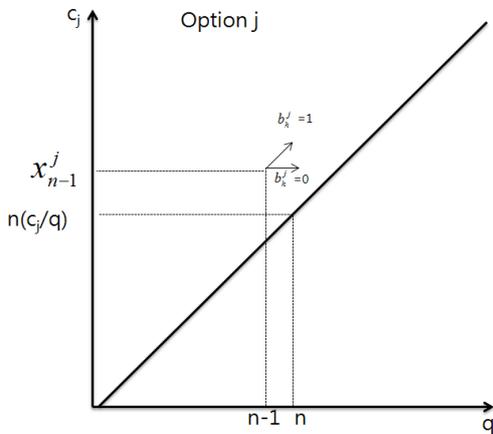
4.1 목표추적법

목표추적법[9]은 Toyota에서 개발한 방법으로 옵션을 평준화하기 위해서 사용한다. 옵션을 평준화하기 위해 각 실제 누적 투입 대수와 이상적 누적 투입 대수의 편차를 가장 적게 하는 차량을 선택하는 방법이다. 이러한 차량선정 투입방식에 대한 수식은 다음과 같다.

$$\min_{h \in k} \sum_{j=1}^c \left(n \frac{c_j}{q} - x_{n-1}^j - b_h^j \right)^2 \tag{1}$$

각각의 차량 h에 대해서 식 (1)을 계산하여 가장 값이 작은 차량을 출고하게 된다. 식 (1)은 이상적인 누적 투입 대수와 실제 누적 투입 대수의 편차를 계산하는

식이며, 의미는 다음과 같다. 총 q 대의 차량 중 옵션 j 의 개수는 c_j 이다 여기서 c_j/q 는 이상적인 투입 곡선이며 이 곡선에서 n 번째 투입할 당시 이상적인 옵션 j 의 투입량은 $n(c_j/q)$ 라 할 수 있다. 이러한 이상적 투입 대수와 실제 누적 투입 대수의 편차를 알기 위해 실제 누적 투입 대수(x_{n-1}^j 인 $n-1$ 번째 까지의 옵션 j 의 투입 대수)와 해당 차량의 투입 여부에 따른 옵션 j 의 개수 (b_n^j)를 차감한 편차를 계산하면 <Figure 4>에서 보는 것과 같이 이상적 투입 개수와 실제 투입 개수의 편차를 알 수 있다. 목표추적법은 이러한 편차를 최소화하는 차량을 선택하는 방법이다.



<Figure 4> Goal Chasing

이렇게 목표추적법을 이용하면 조립라인의 옵션 평균화 비율을 향상 시킬 수 있다. 본 연구에서는 목표추적법을 변형하여 통합창고 운영방법에 적용하고자 한다.

4.2 통합창고 운영방법

통합창고 운영을 위한 입고 알고리즘은 이동 거리 최소화라는 목적함수에 맞춰 Ok et al.[12]에서 연구가 이뤄졌다. 본 연구는 컬러 그룹핑과 옵션 평균화를 고려한 운영방법을 제안하는 것이다. 본 연구에서 다루어지는 평가 척도에 입고방법은 직접적인 영향을 미치지 않고 또한 기존 연구에서 통합 창고 운영 시 발생할 수 있는 창고 간의 간섭을 피하는 운영방법 연구가 선행되었기 때문에 본 연구의 통합창고 입고 알고리즘은 기존 연구의 입고 방법을 따른다.

4.2.1 WBS 출고방법

WBS 출고방법은 도장 라인에서 색상 변경 횟수를 최소화하기 위해서 마지막 출고한 차량의 색상과 동일한 차량을 우선 선택하여 출고한다. 만약 이러한 차량

이 다수일 경우 조립라인의 옵션 평균화를 높일 수 있도록 PBS에서 요구되는 옵션의 차량을 우선 투입하는 것을 원칙으로 하며 이러한 방식으로 WBS와 PBS를 연동하여 사용한다. 그러기 위해서 PBS의 필요한 옵션에 가중치를 설정하여 WBS와 PBS의 옵션을 유동적으로 운영할 수 있도록 한다.

여기서 가중치는 해당 옵션이 이상적 투입 대수보다 더 있을 경우 해당 옵션의 투입을 제한하여 필요한 옵션이 투입될 수 있도록 해당 시점에 PBS에서 출고한 옵션 수량이 이상적 시간당 옵션 투입 대수보다 더 많을 경우 0으로 설정하고 그렇지 않을 경우 1로 설정한다. 이상적 시간당 옵션 투입 대수는 전체 생산량대비 해당 옵션에 시간당 투입 비율을 적정 옵션 투입 대수로 설정한다. 예를 들어 1일 생산량이 1,000대고, A라는 옵션이 차지하는 비중이 24%라고 했을 때 옵션 A의 이상적 시간당 옵션 투입 대수는 10대라고 할 수 있다.

이렇게 PBS의 옵션 상황에 따라 적절한 차량을 선정해 주는 수정된 목표추적법 수식은 다음과 같다.

$$\min_{h \in k} \sum_{j=1}^c e_j \left(n \frac{c_j}{q} - x_{n-1}^j - b_n^j \right)^2 \quad (1)$$

본 논문에서 제안하는 수정된 목표추적법의 수식은 기존의 목표추적법에 가중치 e_j 를 적용하여 PBS와 WBS를 유동적으로 사용하고자 하는 방법이다. 이에 대한 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

[WBS 알고리즘]

- Step 1 : 도장공장에 입고 대기 중인 차량 중 마지막 차량(w_1)의 색을 목표 색으로 설정한다.
- Step 2 : 목표 색과 동일한색의 차량이 WBS에 보유하고 있을 경우 Step 3으로 그렇지 않을 경우 Step 4로 간다.
- Step 3 : 목표 색과 동일한색의 차량을 인출가능 차량으로 규정하고 인출 가능한 차량을 list m으로 등록한 후 Step 5로 보낸다.
- Step 4 : 출고하고자 하는 색의 차량이 없을 경우, WBS에 가장 많이 보유하고 있는 색을 목표 색으로 저장한 후 Step 2로 보낸다.
- Step 5 : list m에 대하여 PBS 옵션상황에 따른 긴급한 옵션을 고려한 목표추적법 식 (2)를 이용하여 출고 차량을 선정 후 선정된 차량을 출고한다.
- Step 6 : PBS 옵션상황을 고려하여 각 옵션별 가중치 e_j 를 설정한다.

통합창고 WBS 알고리즘에서는 PBS에 각 옵션별로 이상적 옵션 수량을 유지하도록 가중치를 설정하여 PBS에서 요구되는 옵션의 차량을 먼저 출고해 주기 위해 수정된 목표추적법을 사용한다. 수정된 목표추적법은 PBS에서 필요한 옵션의 차량에 가중치를 주게 되고, 가중치는 WBS 출고에 반영되어 효율적인 PBS 운영을 돕는다.

4.2.2 PBS 출고방법

PBS 출고방법은 목표추적법을 적용하여 조립라인에서 가장 옵션을 평준화시킬 수 있는 차량을 선택한다.

[PBS 알고리즘]

Step 1 : PBS 차량을 대상으로 인출 가능 차량을 LIST k에 등록한다.

Step 2 : LIST k에 대하여 수정된 목표추적법을 이용하여 출고 차량을 선정 후 Step 3로 보낸다.

Step 3 : 선정된 차량을 조립라인으로 출고한다.

Step 4 : 조립라인의 옵션상황을 고려하여 각 옵션별 가중치 e_j 를 설정한다.

통합창고에서 PBS는 수정된 목표추적법을 이용하여 조립라인에 옵션을 평준화시켜서 투입 시켜 준다. 또한, 옵션별로 실제 투입개수와 적정 투입 개수를 이용하여 옵션에 가중치를 설정해 준다. 이렇게 설정된 가중치는 WBS에서 반영이 되어 PBS로 들어오는 옵션을 조절할 수 있기 때문에 옵션 평준화율은 향상될 수 있다.

5. 실험 및 분석

본 논문에서 제안하고자 하는 운영방법에 효율을 평가하기 위하여 컬러 그룹핑 효율 실험과 옵션 평준화 실험을 진행하였다. 컬러 그룹핑 효율 실험은 도장공장의 색상 변경 횟수를 조사하여 컬러 그룹핑 효율을 기존 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 비교 실험하였다. 옵션 평준화 실험은 조립라인의 효율을 평가하기 위한 실험으로 시간대별 옵션 평준화 효율에 대해서 Ok et al.[12]에서 제안한 운영방법에 목표추적법을 적용한 방법과 본 논문에서 제안하고자 하는 수정된 목표추적법을 비교하였으며, 시뮬레이션 조건은 <Table 1>과 같다.

옵션은 11개(색상, 옵션 A, 옵션 B~옵션 j)로 구성이 되며 옵션의 개수와 비율을 변경해 가면서 반복실험을 수행하였다. 시뮬레이션 시간은 22시간으로 그 중 Warm up Time은 4시간을 설정하였다. 컬러 그룹핑과 옵션 평준화

<Table 1> Simulation Input Parameter

Option			
	Option 10	Option 8	Option 6
A	24%	26%	29%
B	10%	11%	12%
C	6%	7%	7%
D	32%	35%	40%
E	5%	5%	6%
F	4%	5%	6%
G	5%	5%	
H	5%	6%	
I	5%		
J	4%		

<Table 2> Color Option Rate

Color Option	
silver	23%
green	7%
orange	4%
beige	2%
red	1%
white	30%
yellow	2%
tropic green	3%
blue	10%
shpphire	4%
golden	2%
strong red	12%

<Table 3> Simulation Condition

Simulation Parameter	
simulation Time	22h
Warm up Time	4h
iteration	10
Initial Inventory	
WBS	89
PBS	89

효율은 초기 재고에 영향을 받으므로 초기 재고에 대한 조건으로 전체 창고 용량에 70%인 178대(WBS 89, PBS 89)대의 차량을 채워놓고 시뮬레이션을 수행하였다.

평가 척도는 크게 도장공장의 평가척도인 컬러 그룹

평 효율과 조립공장의 평가척도인 옵션 평준화 효율을 그리고 생산량에 대한 평가척도로 시간당 생산량인 UPH (Unit Per Hour)를 이용하였다.

도장공장의 평가척도로 총 세정비용, 세정횟수, 컬러 그룹핑 효율 등 다양한 척도로 평가할 수 있지만, 알고리즘 간의 퍼포먼스 비교가 용이한 컬러 그룹핑 효율을 이용하기로 한다. 컬러 그룹핑 효율 = 생산량/색 변경 횟수이며, 그룹화 효율은 높을수록 좋은 평가 지표다.

조립공장의 평가 척도인 옵션 평준화는 시간당 옵션이 얼마나 균등하게 들어가는지에 대한 평가로 Choi and Shin[2, 3]에서 제시한 방법을 사용하였다. 각 옵션에 대해서 투입간격의 표준편차를 이용하였고, 시간당 창고에 들어가는 옵션의 입고 투입간격에 대한 표준편차와 출고되는 옵션의 투입간격에 표준편차 비율로 평가하였다. 옵션 평준화율 = 출고 옵션의 표준편차/입고 옵션의 표준편차이다. 옵션 평준화율은 낮을수록 더 투입간격이 일정하다고 할 수 있다.

UPH는 시간당 생산하는 차량 대수를 의미하며 산출식은 $UPH = \frac{\text{총 생산 대수}}{\text{생산시간}}$ 으로 높을수록 좋은 평가 지표다.

5.1 컬러 그룹핑 실험

도장 라인의 평가 척도인 컬러 그룹핑 효율과 생산량을 이용하여 비교실험을 하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 대기하고 있는 차량의 색상 중 가장 많이 대기하고 있는 색상을 선택하는 방법이다. 이렇게 제안한 방법과 비교하기 위해서 Ok et al.[12]에서 제안한 방법인 이동시간을 최소로 하는 운영방법에 기본적인 제약인 8대까지 그룹핑 하는 제약을 추가하여 기존 방법과 제안한 방법을 비교하였다.

<Table 4> Color Grouping Comparison

	UPH	C-R
Ok et al.[12]	57	2.3
Modified Goal Chasing	57	2.73

<Table 4>는 기존방법과 제안한 방법에 대해서 생산량과 컬러 그룹핑 효율을 비교한 결과이다. 생산량은 시간당 57대로 동일하게 생산하지만, 색상 교체 비율이 0.4 더 높게 나왔다. 이러한 결과는 하루 생산시간을 18시간으로 가정했을 경우 1,026대 생산하는데 색상 교체횟수가 기존은 446번이라고 할 수 있고, 제안한 방법을 이용하면 380번 교체하게 된다. 그러므로 하루 66번 교체하는 비용을 절감할 수 있다고 볼 수 있다.

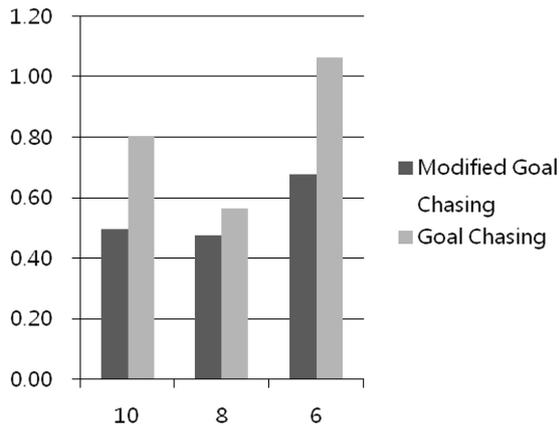
5.2 옵션평준화 실험

통합창고의 알고리즘을 적용하였을 경우 평준화율에 대한 개선 정도를 알아보려고 한다. 목표추적법을 이용한 방법과 본 논문에서 제안된 알고리즘에 대해서 비교 실험을 하였다. 평가척도로 각 옵션별로 평준화 효율을 비교해 보았다.

<Table 5> Option Leveling Comparison

Modified Goal Chasing			
option	10	8	6
A	0.77	0.51	0.67
B	0.45	0.32	0.58
C	0.43	0.33	0.53
D	1.11	1.16	1.17
E	0.31	0.44	0.60
F	0.39	0.35	0.51
G	0.29	0.36	
H	0.40	0.34	
I	0.43		
J	0.41		
Avg.	0.50	0.48	0.68
Goal Chasing			
option	10	8	6
A	1.14	0.76	1.00
B	0.56	0.48	0.95
C	0.71	0.53	1.06
D	0.89	0.79	1.07
E	0.90	0.49	1.09
F	0.79	0.49	1.21
G	0.75	0.45	
H	0.75	0.52	
I	0.80		
J	0.79		
Avg.	0.81	0.56	1.07

<Table 5>는 각 옵션별 표준편차와 옵션 평준화율을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 Modified Goal Chasing이라 표기하고, 목표추적법은 Goal Chasing이라 표기한다. 옵션 평준화율은 시간당 창고로 입고되는 옵션의 간격에 대한 표준편차와 출고되는 옵션의 간격에 대한 표준편차의 비율을 이용하여 구했으며, 이렇게 평가한 이유는 입고했을 때 각 옵션의 표준편차가 창고를 거치면서 얼마나 평준화되었는지에 대한 비율을 알고자 하였다. 그 결과 <Figure 5>와 같이 제안된 운영방법을 사용하였을 경우 옵션 투입간격의 표준편차가 줄어들어 평준화율의 값이 더 낮아질 수 있었다.



<Figure 5> Alg Comparison

<Table 6> ANOVA Table

	Between Groups	Within Group	total
SS	0.778	2.828	3.606
df	1.000	46.000	47.000
MS	0.778	0.061	
F	12.650		
P-Value	0.001		

이러한 결과에 대해서 통계적으로 유의한지 확인하기 위하여 <Table 6>과 같이 분산 분석을 수행하였다. 분산 분석을 통해서 Modified Goal Chasing에 대해서 각각의 방법이 차이가 있는지 알고자 하였다. Modified Goal Chasing과 Goal Chasing에 대한 분석결과 유의확률 0.001로 유의수준 95% 수준에서 차이가 있다고 할 수 있다.

그러므로 제안된 알고리즘을 사용할 경우 기존보다 조립라인에서 옵션을 균등하게 사용할 수 있어 효율적인 생산관리가 가능하게 된다.

6. 결 론

본 연구는 기존 Ok et al.[12]의 연구에 컬러 그룹핑과 옵션 평준화 문제를 적용하여 WBS와 PBS를 통합적으로 운영하는 방법을 연구하였다.

연구결과 WBS에서 도장공장으로 출고 시 도장공장의 효율을 고려한 목표추적법을 적용하였다. 또한, PBS에서 출고 시 각 옵션의 투입 수량을 확인하여 해당 옵션의 투입 여부에 따라 옵션별 가중치를 설정하였다. 이렇게 WBS와 PBS를 연동하는 방법을 제안하였고, 이러한 방법을 이용하여 도장공장의 효율을 높이면서 조립공장의 옵션 평준화율을 높이는 운영 방법을 제안하였다.

이렇게 제안한 운영방법의 효과를 측정하기 위해서 도장공장의 컬러 그룹핑 효율을 이용하여 기존 운영방법과 비교하였다. 조립공장의 효율은 옵션 평준화 효율을 이용하여 Ok et al.[12]의 연구에서 제안한 방법과 비교 실험을 진행하였다.

도장공장에 대한 실험으로 기존 통합창고 운영방법에 기본적인 제약을 도장공장에서 작업하고 있는 차량의 색상과 동일한 차량이 있을 경우 8대까지 그룹핑 하도록 설정하여 기존 운영방법과 제안된 운영방법을 비교하였다.

실험결과 기존방법과 제안하고자 하는 방법의 컬러 그룹핑 효율은 제안한 방법으로 운영하였을 경우 컬러 그룹핑 효율이 0.4 더 높게 나왔다. 이러한 결과는 하루 66번 교체하는 비용을 줄일 수 있기 때문에 제안된 방법이 기존방법보다 우수하다고 할 수 있다.

또한, PBS에 대한 비교 실험으로 목표추적법과 가중치를 적용한 수정된 목표추적법을 비교하였다. 옵션 10개에 대해서 옵션 개수와 비율을 변경해 가면서 반복실험을 수행하였으며, 실험 결과 옵션 10개에서 평균적으로 평준화율이 0.31 좋아졌고 8개에서는 0.08, 그리고 6개 옵션에서는 0.39 좋아졌다. 따라서 통합창고에서 제안한 방법으로 운영할 경우 옵션 평준화율을 향상시킬 수 있다. 이러한 결과는 옵션 평준화 효율이 향상됨에 따라 조립라인의 효율을 올릴 수 있으며, 부품 공급에 대한 측면에서도 부하를 줄일 수 있을 것이다.

따라서 통합창고에서 기존 방법보다 제안한 방법으로 운영할 경우, 컬러 그룹핑 효율과 옵션 평준화 효율이 더 높아지는 것을 볼 수 있다.

하지만 본 연구에서는 자동창고의 다양한 형태의 입출고 방법과 Stacker Crane 운영방법인 SC와 DC를 이용한 운영방법, 그리고 Dwell Point 등 실제 자동 창고 운영에서 중요 요소들이 고려된 설계 방법론 연구가 진행되지 못하였다. 이에 대한 추가 연구가 진행될 수 있다.

References

- [1] Atassi, F.R., Implementation of Block Painting In Ford's In-Line Vehicle Sequencing Environment. MS Thesis, *System Design and Management Program*, MIT, 1996.
- [2] Choi, W.J., Park, H.K., and Shin, H.O., A Real-Time Sequence Control System for the Level Production of the Automobile Assembly Line. *Computers and Industrial Engineering*, 1997, Vol. 33, p 769-772.
- [3] Choi, W.J., Park, H.K., and Shin, H.O., Automation of the real-time production sequencing system of an automobile Assembly Line. *Journal of the Korea Institute of Industrial Engineers*, 1996, Vol. 9, No. 1, p 47-59.

- [4] Han, Y.H., Modeling and Simulations Analysis of the setup reduction method in automobile painting process. *Journal of The Korea Society for Simulation*, 2009, Vol. 18, No. 3, p 147-154.
- [5] Inman, R.R., ASRS sizing for recreation automotive assembly sequences. *International Journal of Production Research*, 2003, Vol. 5, p 847-863.
- [6] Kim, Y.M. and Seo Y.H., Model Grouping a Mixed-model Assembly Line. *Journal of the korea institute of industrial Engineers*, 1996, Vol. 9, No. 2, p 39-45.
- [7] Na, Y.K., Lee, D.H., and Oh, G.T., A Solution Procedure for Minimizing AS/RS Construction Costs under Throughput Rate Requirement Constrain. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2002, Vol. 25, No. 4, p 40-45.
- [8] Monden, Y., 3rd ed., *Industrial Engineering and Management Press*, USA, 1998.
- [9] Moon, D.H., Kim, H.S., Song, C., and Kim, K.W., A simulation Analysis on the Validity of Color Rescheduling Storage in an automobile Painting Shop. *IE Interface*, 2003, Vol. 16, No. 2, p 211-221.
- [10] Moon, D.H., Song, C.H., and Ha, J.H., *A Simulation study on the installation designated Lane for CRS and PBS in an Automotive Factory*. The Korea Society for Simulation '04 conference in Kangwon Univ, 2004, Vol. 5, p 77-82.
- [11] Moon, D.H., Song, C., and Ha, J.H., A Simulation Study on the operations of the painted body storage in an Automobile Factory. *IE Interface*, 2005, Vol. 18, No. 2, p 136-147.
- [12] Ok, C., Kim, D.S., Gong, J.S., and Seo, Y.H., Study on integrated storage systems for automobile production. *Journal of The Korea Society for Simulation*, 2012, Vol. 21, No. 2, p 91-101.