

자동차 생산을 위한 통합창고 연구

옥창훈¹ · 김득수¹ · 공정수² · 서유희^{1†}

Study on Integrated Storage Systems for Automobile Production

Chang Hun Ok · Duk Su Kim · Jung Su Gong · Yoonho Seo

ABSTRACT

Automobile manufacturing consists of body-line, painting-line, and assembly-line. These production lines are disposed in series and go through a flow process, so according to the status of pre & post processing, a suspension happens in a line by a starvation(impossibility of production by insufficient supply) or blocking(impossibility of production by exceed capacity). Therefore, to prevent a loss of production coming from a starvation or blocking, a storage such as WBS or PBS is independently owned and operated. The paper suggests the simulation model of integrated storage which can operate it by integrating each storage performing a role as a buffer of line. Specifically, the paper found the answers about reasonable number of Stacker Crane and AGV(Automatic Guided Vehicle) and suggested a methodology of operation which is available to operate them. Also, it compared an efficiency between a model of current storage and integrated storage through simulation. As a result, it turned out that the model suggested in the paper was more efficient on suspension of painting-line stop than a current storage.

Key words : Automobile manufacturing, Integrated storage, Simulation

요약

자동차 생산라인은 차체라인, 도장라인, 의장라인으로 구성된다. 이러한 생산라인들은 직렬로 배치되어 흐름생산을 거치기 때문에 전후 공정의 상태에 따라 라인에서는 starvation(물량 부족으로 인한 생산 불가능) 또는 blocking(용량 초과로 인한 생산 불가능)으로 인한 정지가 발생한다. 이에 starvation이나 blocking으로 오는 생산 손실을 막기 위해 WBS, PBS와 같은 창고를 개별적으로 보유하여 운영된다. 본 논문은 라인의 버퍼역할을 하는 각 창고들을 통합하여 운영할 수 있는 통합창고 시물레이션 모형을 제안한다. 적정 Stacker Crane 대수와 AGV 대수를 구하고, 이를 운영할 수 있는 운영방법론을 제안한다. 또한 개별창고와 통합창고 모형을 시물레이션을 이용하여 효율성 비교를 한다.

주요어 : 자동차 제조시스템, 통합창고, 시물레이션

1. 서론

자동차 생산라인은 크게 차체, 도장, 의장라인으로 구분할 수 있다. 차체라인은 프레스 공장에서 생산된 판별

을 용접하여 자동차의 외관을 만들며, 주로 산업용 로봇들로 이루어진 자동화 라인이다.

도장라인은 차체라인에서 생산된 차체(주로 white body라 함)를 도색 하는 공정으로, Color Grouping(즉 동일한 색상의 차체를 모음)을 통하여 생산효율을 높일 수 있다(문덕희 등, 2005; Choi, W.J. and Shin, H., 1997). 마지막 의장라인에서는 엔진, 타이어, 의자 등 자동차 부품을 조립하여 최종 완성품을 만드는 공정으로 부품 소비비율을 일정하게 하기 위해 차종을 분산시켜 작업 한다(김연민과 서유희, 1996).

Monden(1983), Hindi and Ploszajski(1994), Duplaga et al.(1996), Choi and Shin(1997)는 라인별 생산방식의

*본 연구는 고려대학교 지능시스템설계 연구실과 현대자동차 NGV의 산학과제에 대한 연구결과입니다. 접수일(2012년 4월 20일), 심사일(1차 : 2012년 6월 12일), 게재 확정일(2012년 6월 22일)

¹⁾ 고려대학교 산업경영공학부

²⁾ 현대자동차 NGV

주 저 자 : 옥창훈

교신저자 : 서유희

E-mail; yoonhoseo@korea.ac.kr

차이로 오는 문제 해결을 위해 자동차 생산라인 작업순서에 대해 연구하였다. 하지만 작업순서 문제는 불량 차량의 재작업, 라인별 생산 속도 및 방식 차이 같은 현실 불확실성 문제로 실제 현장에 적용하는데 많은 어려움이 있다. 이러한 불확실성 문제에 유연하게 대처하기 위하여 각 라인에서는 적절한 재고를 필요로 한다.

재고를 확보하기 위한 자동차 생산라인의 창고는 크게 WBS(White Body Storage), CRS(Color Rescheduling Storage), PBS(Painted Body Storage)로 나누어진다. WBS는 차체라인에서 생산된 차체를 보관하고 도장라인에서 생산 불균형을 고려해 투입 순서를 결정하는 기능을 수행하며, CRS는 도장라인에서 동일한 색상을 모아 한번에 작업할 수 있도록 Color Grouping을 한다. 문덕희 외(2005)는 효율적인 CRS 입출고 알고리즘을 제안하였고, 김연민과 서운호(1996)는 시뮬레이션을 통한 혼합 모델의 그룹화 연구를 했다. PBS는 도장라인과 의장라인 사이의 생산 불균형으로 오는 변수에 대한 완충 역할, 조립라인의 옵션 평준화를 위한 투입 순서를 결정하는 역할을 한다. 일반적으로 PBS는 컨베이어 방식과 자동창고(Automated Storage/ Retrieval System, 이하 AS/RS) 방식 2가지 방식으로 구분된다. Choi and Shin(1997)은 컨베이어 형태의 PBS에 대해, 문덕희 외(2004)는 PBS 전용레인 설치에 대해 연구 하였다. 또한 문덕희 외(2005)는 자동창고 형태의 PBS를 제안하였고, Inman(2003)은 자동창고 크기결정 및 차체 출고에 대한 연구를 진행했다.

기존 연구는 각 라인의 창고 별 효율적인 운용 알고리즘 및 형태에 대한 연구만 이뤄졌다. 하지만 자동차 생산 형태가 흐름 공정을 따르기 때문에 선후 공정에 따라 라인 생산성은 변화한다. 가령 도장라인이 고장 난다면 조립라인에서는 PBS의 starvation(물량 부족으로 인해 생산 불가능)이 발생하고, 차체라인에서는 WBS의 blocking(용량 초과로 인한 생산 불가능)이 발생한다. 이에 창고의 상태에 따라 용도를 변경할 수 있는 통합창고 설계연구는 의미를 가진다.

본 논문의 목적은 WBS와 PBS를 통합하여 라인의 starvation, blocking에 유연하게 대처할 수 있는 통합창고 모형 개발 및 운영방법을 제시하는 것이다. 2장에서는 기존 자동차 생산라인 모형에 대한 설명을 하고, 3장에서는 통합창고의 일반적인 형태를 제안한다. 4장에서는 본 논문에서 제시하는 통합창고 시뮬레이션 모형을 개발하고 5장에서는 개발된 모형에 대한 성능 평가 결과 값을 보여준다. 6장에서는 결론을 정리한다.

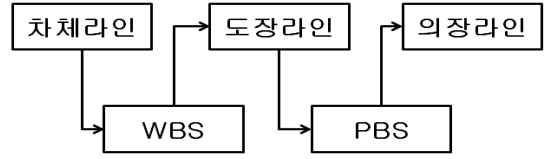


그림 1. 기존 자동차생산라인 개념도

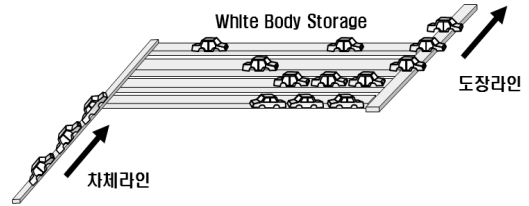


그림 2. 개별창고 WBS 개념도

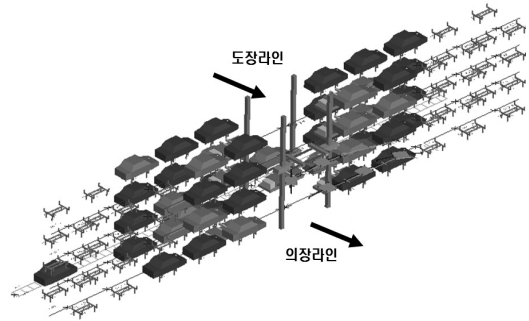


그림 3. 개별창고 PBS 개념도

2. 개별 창고운영 사례 및 문제정의

기존의 H사 자동차 생산라인은 그림 1과 같이 차체와 도장 라인 사이에 WBS, 도장과 의장라인 사이에 PBS라고 불리는 창고가 직렬로 연결된 형태이다. 이러한 배치 형태는 생산라인 사이에 버퍼공간을 직렬로 연결하여 전체 자동차 생산 공정을 하나의 라인으로 구현한 모형이다. 이와 같이 기존 자동차 생산라인에서는 WBS와 PBS를 개별적으로 설치하여 운영하고 있다. 본장에서는 기존 자동차 생산라인 형태와 특성에 대해 설명한다.

2.1 생산라인 내 개별창고 형태

기존 생산라인에서 창고는 WBS, PBS를 개별적으로 설치하여 운영한다.

WBS는 차체라인과 도장라인 사이에 위치한 전용 컨베이어 라인 형태이며. 그림 2와 같이 4개의 전용 라인

설치되어 있다. 각 라인별로 32대씩 총 128대를 저장할 수 있으며, 차량의 출고는 선입선출 법칙(First In First Out)을 따른다. PBS는 도장라인과 조립라인 사이에 위치해 있으며 4층 구조의 창고로 구성되어있다. 그림 3과 같이 차체라인에서 들어온 가공품은 리프트에 의해 각층의 창고로 이동되며 작업순서에 따라 의장라인으로 이동한다. 2개의 Rack로 이뤄진 PBS는 각 Rack별로 64대씩 총 128대를 저장할 수 있다.

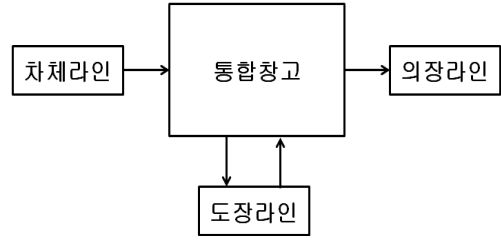


그림 4. 통합창고 모형 개념도

2.2 개별창고의 개선점

그림 1과 같이 차체라인-WBS-도장라인-PBS-의장라인으로 구성된 직렬배치 구조는 각 공정의 상태가 전후 공정에 직접적으로 문제를 발생시킨다.

도장라인의 고장이 지속 된다면, WBS에 저장되어 있는 차체가 도장라인으로 차량이 이동하지 못하기 때문에 WBS는 만량이 되고 차체라인에서 생산된 차체를 받아들이지 못할 것이다. 이에 차체라인은 WBS 만량으로 인한 blocking이 발생하게 될 것이다. 또한 PBS는 도장라인으로부터 차량을 공급 받지 못하기 때문에, 재고가 줄어들어 starvation으로 인한 의장라인 정지가 발생하게 될 것이다. 이에 도장라인 고장 시 PBS 물량소진으로 생기는 용량을 WBS로 사용할 수 있다면 blocking으로 인한 차체라인의 생산정지는 피할 수 있을 것이다. 한편 의장라인의 고장 시 WBS의 여유 공간을 PBS로 할당하여 재고를 확보한다면, starvation으로 생기는 생산손실을 막을 수 있을 것이다.

이와 같이 창고를 통합하여 라인의 상태에 따라 창고의 용량을 변화시키며 운영한다면 starvation과 blocking에 유연하게 대처할 수 있다. 3장에서는 각 창고의 용량을 유동적으로 이용 할 수 있는 통합창고 모형을 소개한다.

3. 통합창고 연구

본 연구의 목적은 라인에서 blocking으로 발생하는 생산손실을 최소화하고 이에 유연하게 대처할 수 있는 통합창고 모형 개발이다. 따라서 본 연구에서는 자동창고(AS/RS)를 이용해 그림 4와 같이 WBS와 PBS를 합친 형태의 통합창고 모형을 제안한다. 또한 통합창고가 적용된 생산라인 배치 형태, 물류이송장비 배치, 그리고 통합창고의 운영을 위한 운영방법론을 소개한다.

3.1 생산라인 내 통합창고 배치

피가공품의 평균이동시간을 줄이는 것은 라인의 생산

효율을 높이는 한 가지 방법이 될 수 있다. 자동차 생산라인에서 물류 이동시간은 라인과 창고의 배치 형태에 따라 달라진다.

본 논문에서 제안하는 통합창고 모형에서는 그림 4에 도시된 것과 같이 피가공품이 차체라인에서 창고, 창고에서 도장라인, 도장라인에서 창고, 창고에서 의장라인으로 흐르기 때문에, 각 공정 라인을 창고 주변에 인접하게 배치하는 것이 피가공품의 이동시간을 줄일 수 있다.

3.2 통합창고 내 이송장비 배치

자동차 생산라인에서 사용되는 자동창고(AS/RS)에는 입·출고점과 AS/RS의 특정 지점 사이 물류의 입출고를 수행할 물류이송 장비가 필요하다. 본 연구에서 제안한 통합창고 모형에서의 물류이송장비로는 컨베이어와 AGV(Automated Guided Vehicle)를 고려한다. 컨베이어 형태의 전용레일은 고정된 특정 위치로 물류량이 많을 경우 주로 사용되며, 기존의 PBS 전용레인이나 WBS의 Color Grouping을 위해 주로 활용되어 왔다(김동훈, 1996).

AGV는 운송방법에 있어 유연성이 크며 차량 간 정체 회피 등 자기제어가 가능하다는 특징을 가진다(김동훈, 1996). 이에 창고의 용량을 생산라인의 상태에 따라 유동적으로 변화시켜야 하는 통합창고에서는 AGV가 컨베이어 형태의 전용레인보다 유용하게 이용될 수 있다. 본 논문에서는 물류이송장비 선정 문제를 다루기보다, 물류트랙 배치 설계에 초점을 맞춘다. 따라서 통합창고 운영을 위한 물류이송장비는 자동창고에서 유용하게 사용될 수 있는 AGV로 하였다.

AGV의 물류 이동방법은 AGV가 자동창고 외부를 순환하며 차량을 이동시키는 형태인 Outer-loop AGV와 자동창고 사이를 이동하며 차량을 이동시키는 방법인 Inner-loop AGV로 나눌 수 있다.

그림 5, 6은 각각 AGV의 이동경로에 따른 자동창고의 물류트랙 배치형태를 보여준다. Inner-loop AGV는 양방향 AGV를 이용해 물류를 이동하는데 불필요한 이동구간

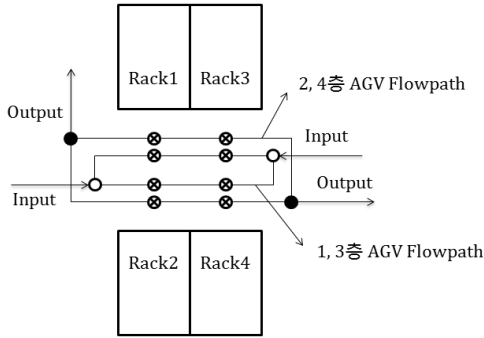


그림 5. Inner-loop AGV 개념도

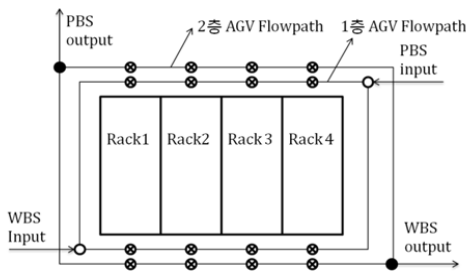


그림 6. Outer-loop AGV 개념도

을 최소화 하는 장점이 있지만 양방향의 특성으로 인해 AGV간의 정체가 빈번하게 발생한다는 단점을 가진다. Outer-loop AGV의 경우 일방향 순환 형태의 구조로 하나의 경로에 여러 개의 입·출력점이 존재하여도 AGV간의 정체를 최소화 할 수 있는 반면 자동창고의 외부로 순환하며 물류를 이송하기 때문에 AGV의 불필요한 이동이 생긴다는 단점을 가진다.

본 논문에서는 Inner-loop AGV와 Outer-loop AGV 시뮬레이션 모형을 제안하고 이 모형의 효율성을 기존 자동차 생산라인 시뮬레이션 모형(이하 개별창고 모형)과 비교한다.

3.3 통합창고 입·출고 방식

통합창고 입·출고 방식은 차량이 각 라인에서 통합창고로 이동하는 시간을 최소화하는 경로를 찾는 것을 목표로 한다. 본 논문에서 사용되는 기호를 다음과 같이 정의한다.

[Notation]

T_{sc} : Stacker Crane의 Cycle Time

T_A : AGV의 Cycle Time

α : 현실 충돌계수

N_C : 최소 Stacker Crane 대수

N_A : 최소 AGV 대수

UPH (Units Per Hour): 시간당 처리 대수

j : Rack index, $j = 1, 2, \dots, L$ (L = Rack 수)

z_j : 라인 출구에서 Rack j 의 Slot까지 이동시간

s_j : Rack j 에서 최단거리의 Slot까지 이동시간

r_j : 라인에서 Rack j 까지 이동시간

δ_j : Rack j 에서 작업 중인 Stacker Crane이 idle 상태가 될 때까지 남은 시간

p_j : Rack j 의 상태에 패널티 값

$e_j = \begin{cases} 1, & \text{Rack } j \text{ I/O에 차량이 존재} \\ 0, & \text{Rack } j \text{ I/O에 차량이 존재하지 않음} \end{cases}$

$w_j = \begin{cases} \infty, & \text{Rack } j \text{가 만량} \\ 0, & \text{Rack } j \text{가 만량이 아님} \end{cases}$

통합창고의 입고방식은 그림 7과 같이 AGV와 Rack 선정에 의해 결정되며 출고방식은 그림 8과 같이 선입선출(FIFO)법을 따른다. 따라서 라인에서 피가공품이 생산되어 통합창고로 입고 요청이 발생하면 피가공품은 가용한 AGV와 Rack을 선택하여 이동하게 된다.

AGV는 Park lot에서 대기하고 있는 차량을 우선적으로 선택하지만, 피가공품의 이동지점은 Rack의 상태, Stacker Crane의 상태에 따라 다르게 결정되며, 가용한 Rack이 2개 이상인 경우 라인 출구에서 통합창고까지 이동시간을 최소화하는 Rack을 선택하여 이동한다. 예를 들어 피가공품이 그림 9의 라인출구에 도착했다고 가정하자. 피가공품이 적재 될 Slot을 선정하기 위해서 이동 시간을 최소로 하는 경로를 선택해야 하는데, 라인에서 Rack j 까지 이동시간을 의미하는 z_j 은 아래의 식(1)으로 계산되며 이중 최소의 z_j 을 가지는 Rack으로 피가공품은 이동한다.

$$z_j = s_j + r_j + p_j \tag{1}$$

$$p_j = (e_j \times \delta_j) + w_j \tag{2}$$

z_j 는 라인의 Output에서 Rack j 까지 이동하는데 걸리는 시간 r_j , Rack j 에서 Slot까지 이동하는 시간 s_j , 그리고 Rack j 의 상태에 따른 패널티 p_j 의 합으로 구한다. p_j 는 식(2)를 이용하여 구하며, 여기서 e_j 는 Rack의 만량 유무를 판단하는 변수이고, w_j 는 Rack의 입·출력점에 대기 차량의 유무를 판단하는 변수다.

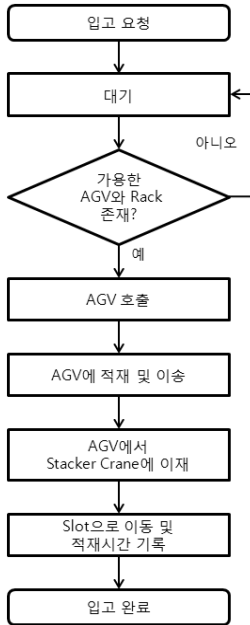


그림 7. 입고방식 순서도

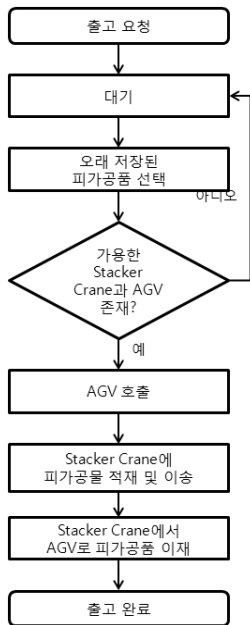


그림 8. 출고방식 순서도

3.4 최소 Stacker Crane대수

최소 Stacker Crane이란 현실에서 발생하는 불확실성의 변수를 제거한 안정 상태에서 라인이 목표로 하는 시간당 생산량(UPH)을 유지하기 위한 최소의 Stacker Crane

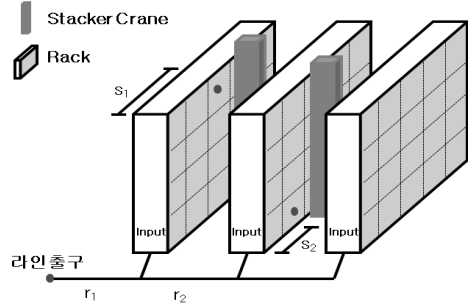


그림 9. 라인에서 자동창고까지 거리측정 예시

대수이며, 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$N_c = (UPH \times T_{sc}) / 3600 \quad (3)$$

임의의 자동창고에서 Stacker Crane의 사이클 타임을 T_{sc} 라 하고, 자동창고가 시간당 처리해야 하는 차량의 대수를 UPH로 한다면 이 둘의 곱을 시간으로 나눔으로 최소 Stacker Crane 대수를 구할 수 있다. 하지만 최소 Stacker Crane은 현실에서 발생하는 변수에 의한 지연시간을 고려하지 않았기 때문에 현실에 적용시키기가 힘들고 이에 시뮬레이션 실험을 통해 적정 Stacker Crane를 찾아야 한다.

3.5 최소 AGV 대수

최소 AGV대수는 최소 Stacker Crane와 같이 안정상태에서 라인의 목표를 충족시킬 수 있는 최소의 AGV대수를 의미하며 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$N_A = (UPH \times T_A) / 3600 \quad (4)$$

한대의 AGV 사이클 타임을 T_A 라고 하고, 자동창고가 시간당 처리해야 하는 차량의 대수를 UPH로 한다면 이들의 곱을 시간으로 나눔으로 최소 AGV 대수를 구할 수 있다. 하지만 이 또한 현실변수에 의한 지연시간을 고려하지 않았기 때문에 적정 AGV 대수를 구해야 하며, 적정 AGV대수와 적정 Stacker Crane 대수 도출에 대해서는 4장 시뮬레이션 모형개발에서 다룬다.

4. 시뮬레이션 모형개발

본 논문은 기존 자동차 생산라인의 개별창고와 통합창

고 시뮬레이션 모형을 개발하고 효율성을 평가하는 것이 목적이다. 이에 본 장에서는 각 모형에 대한 설명을 한다. 시뮬레이션 모형 개발을 위한 전제조건은 다음과 같다.

[전제조건]

- 차체와 의장라인의 목표 UPH는 각각 60, 58대 이다.
- 창고의 용량은 256대(개별창고 모형의 경우 WBS 128 대, PBS 128대)로 한다.
- 크레인의 수직, 수평 이동속도는 각각 40 m/min, 110 m/min 이라 가정한다.
- AGV의 속도는 40 m/min이라 가정한다.

개별창고 모형은 기존 H사 자동차 생산라인을 시뮬레이션 모형화 한 것이다. 따라서 WBS는 4개의 라인으로 구성된 창고이며, PBS는 자동창고 2개의 동으로 구성하였다. 개별창고의 경우 자동창고가 Stacker Crane가 아닌 리프트에 의해 운영되기 때문에 적정 Stacker Crane와 AGV 대수 도출은 하지 않았으며, 기본 가정은 위의 전제조건을 따른다.

4.1 통합창고 적정 Stacker Crane 대수

현실의 불확실성 변수를 적용시킨 시뮬레이션 모형을 개발하기 위해 적정 Stacker Crane 대수를 구해야한다. 시뮬레이션 기본 가정은 위의 전제조건을 따르며 추가적으로 AGV 대수는 충분히 많다고 가정한다.

시뮬레이션 분석결과 Stacker Crane 수에 따라 UPH 변화는 표 1과 같이 나타났으며, 의장라인의 목표 UPH를 58대로 하였기 때문에 적정 Stacker Crane 대수는 4대로 할 수 있다.

4.2 통합창고 시뮬레이션 모형

통합창고 모형 설계에 있어 차량의 하중을 버티기 위한 자동창고의 최대 높이는 4층이기 때문에 통합창고 높이는 4층으로 하였다. 또한 앞에서 Stacker Crane 대수를 4대로 구하였기 때문에 통합창고 시뮬레이션 모형의 Stacker Crane 대수는 4대로 하며, AGV는 각 층에 설치 가능하나 설계비용을 줄이기 위해 운영층수를 최소화 하는 것을

표 1. Stacker Crane 대수와 UPH 관계 (단위: 대수)

Stacker Crane 대수	3	4	5	6
Inner-loop AGV모형	41.6	58.7	66.7	71.2
Outer-loop AGV모형	46.9	58.6	67.9	71.3

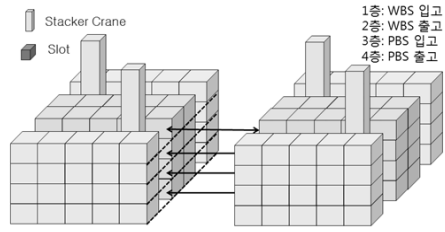


그림 10. Inner-loop AGV모형 측면도

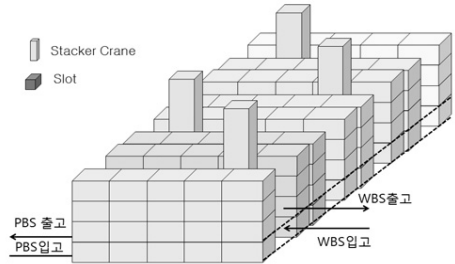


그림 11. Outer-loop AGV모형 측면도

목표로 하였다.

Inner-loop AGV모형은 그림 5와 같이 차량을 이송하는 AGV가 통합창고 사이에 위치하고, 양방향 AGV로 오는 충돌을 최소화 하기위해 4개의 층에서 AGV를 운용하는 형태이다. 양방향 AGV를 이용해야 하기 때문에 충돌을 최소화하기 위해 그림 10과 같이 각 층마다 전용 입출구를 설치하였으나 설치와 유지 보수의 측면에서 비용이 많이 발생 한다는 단점을 가진다.

Outer-loop AGV모형은 그림 6과 같이 AGV가 통합창고 외부를 순환하며 차량을 이송하고, 일방향 AGV를 이용가능 하기 때문에 그림 11과 같이 2개의 층으로 운영 가능한 형태이다. 따라서 AGV간의 충돌이 최소화 되지만 AGV가 창고의 외부를 순환하여 이동거리가 커진다는 단점을 가진다.

4.3 통합창고 적정 AGV 대수

AGV운용에 있어 효율성을 위해 적정 AGV 대수 도출을 해야 한다. 본 논문에서는 의장라인의 목표 UPH를 58대로 하였기 때문에 적정 AGV 대수 도출을 위한 적정 Stacker Crane 대수를 4대로 가정한다. 또한 시뮬레이션 기본 가정은 위의 전제조건을 따른다. 시뮬레이션 분석결과 표 2와 같이 나왔으며, 이에 Inner-loop AGV모형과 Outer-loop AGV모형에 대하여 적정 AGV 대수는 각각 28대(층당 7대), 32대(층당 16대)라 할 수 있다.

표 2. AGV 대수와 UPH 관계 (단위: 대수)

Stacker Crane 대수	24	28	32	36
Inner-loop AGV모형	57.8	58.1	58.7	58.7
Outer-loop AGV모형	57.7	57.8	58.0	58.6

5. 실험 결과 및 분석

개별창고와 통합창고 시뮬레이션 모형의 효율성을 비교하기 위하여, 도장라인 고장 시 생산량 비교, 의장라인 부품결품 시 생산유지 시간 및 라인 정지 횟수 비교에 대한 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 통합창고 모형의 경우, Inner-loop AGV모형과 Outer-loop AGV모형에 대한 두 가지를 이용해 비교하였다. 개별창고 사례를 통하여 도장라인의 고장시간은 15% 내외라고 가정하였으며, 파업으로 인한 정지 같은 특수한 경우의 라인 정지 상황을 고려하기 위하여 고장시간 25%에 대해서도 실험을 실시하였다. 여기서 고장시간이란 생산라인이 운영되는 동안 라인 정지가 발생하는 시간을 뜻하며, 의장라인 부품 결품을 또한 라인에서 필요한 전체 부품 중 결품이 일어난 비율을 말한다. 실험 파라미터값은 다음과 같다.

[실험 파라미터]

- 실험 시간: 30일
- 도장라인 고장시간: 5%, 15%, 25 %
- 고장 복구시간(MTTR): 5분 15분 25분
- 의장라인 부품 결품율: 5%, 15%, 25%
- 차체라인 목표 시간당 생산량: 60대

표 3. 도장라인 고장 시 차체라인 생산량 비교

고장시간	MTTR	개별창고 모형 UPH ^a	통합창고 모형			
			Inner-loop AGV모형		Outer-loop AGV모형	
			UPH ^b	비율(b/a)	UPH ^c	비율(c/a)
5%	5	60	60	1.00	60	1.00
	15	60	60	1.00	60	1.00
	25	59	60	1.02	60	1.02
15%	5	55	60	1.09	60	1.09
	15	54	60	1.11	60	1.11
	25	53	59	1.11	59	1.11
25%	5	48	58	1.21	59	1.23
	15	47	58	1.23	59	1.26
	25	46	57	1.24	58	1.26

- 의장라인 목표 시간당 생산량: 58대

5.1 도장라인 고장에 따른 생산량 비교

자동차 생산라인 중 도장라인의 고장이 지속되면 차체라인에서는 blocking, 의장라인에서는 starvation으로 인한 라인정지가 일어날 수 있다. 또한 라인정지는 생산량의 감소를 발생시킬 수 있다. 이에 개별라인과 통합창고 모형의 도장라인에 고장시간을 5%, 15%, 25%로 변화 시키며 blocking과 starvation에 대한 라인별 생산량을 비교하였다.

표 3은 도장라인 고장 시 차체라인의 생산량을 비교한 것으로, 두 창고모형 모두 고장시간 5%에 대해 시간당 생산량은 거의 차이가 발생하지 않았다. 하지만 고장시간이 15%, 25%로 증가하면서, 통합창고 모형이 시간당 약 1.11~1.26배 차체를 생산하는 것으로 나타났다. 특히 통합창고 모형 중 Outer-loop AGV모형이 더 나은 결과를 도출하였으며, 이는 Outer-loop AGV모형에서 물류 이송간의 충돌이 Inner-loop AGV모형보다 덜 발생한 이유로 분석된다. 표 3의 결과를 통하여, 통합창고 모형이 창고의 blocking 상태로 발생하는 생산 손실을 줄여줌을 알 수 있다.

표 4는 도장라인 고장 시 의장라인의 생산량을 비교한 것으로, 이 또한 고장시간 5%에 대해서 개별창고와 통합창고 모형에서 거의 생산량의 차이가 없었다. 고장시간이 15%, 25%로 증가하면서 통합창고 모형이 시간당 약 1.11~1.28배 더 생산 가능한 것으로 나타났다. 이는 통합창고 모형이 starvation으로 오는 생산 손실을 줄여주는 효과를 보여준다. 의장라인의 생산량 또한 Outer-loop

표 4. 도장라인 고장 시 의장라인 생산량 비교

고장시간	MTTR	개별창고 모형	통합창고 모형			
			Inner-loop AGV모형		Outer-loop AGV모형	
		UPH ^a	UPH ^b	비율(b/a)	UPH ^c	비율(c/a)
5%	5	57	57	1.00	57	1.00
	15	56	57	1.02	57	1.02
	25	55	57	1.04	57	1.04
15%	5	51	56	1.10	57	1.12
	15	50	55	1.10	56	1.12
	25	45	51	1.13	52	1.16
25%	5	44	53	1.20	54	1.23
	15	42	52	1.24	52	1.24
	25	39	49	1.26	50	1.28

AGV모형에서 더 나은 결과값이 도출되었는데, 이송물류간의 정체로 인한 이송지연을 최소화되었기 때문에 분석된다.

도장라인의 고장 상황에 대한 실험에서, 개별창고 모형은 창고의 용량이 고정되어 있기 때문에, 차체라인의 blocking 상태로 발생하는 생산중단과, 의장라인의 starvation 상태로 오는 생산중단이 발생하였다. 통합창고 모형에서는 개별창고인 WBS와 PBS의 공간을 통합하여 창고용량이 커짐에 따라, blocking과 starvation 상태로 발생하는 생산중단에 효율적으로 대처함을 알 수 있다. 특히, 통합창고 모형이 개별창고 모형보다 도장라인 고장시간 5%~15% 사이에서 시간당 약 5~6대를 더 생산 가능한 것으로 나타났으며, 이는 라인을 24시간 풀가동한다고 가정하였을 때 연간 약 43,000대 생산량 증가를 기대할 수 있다.

5.2 의장라인 부품 결품에 따른 생산유지 시간 비교

의장라인은 차량의 최종 조립을 담당하는 라인으로 요구조건에 따라 해당 부품을 이용하여 완성차를 제조한다. 이에 개별창고 모형에서는 필요한 부품의 결품 시 해당 요구 조건에 대한 작업 차량을 PBS에 보관한다. 따라서 의장라인의 부품 결품 발생시 PBS의 용량에 따라 자동차 생산라인 생산유지 가능 시간이 결정된다. 의장라인 부품 결품으로 오는 생산유지 시간 비교를 위해 의장라인 결품률을 5%, 15%, 25%로 증가시키며 시뮬레이션 분석을 실시하였다.

그림 12는 결품률 5%가 지속될 경우 의장라인의 라인 가동 시간을 비교한 것으로 개별창고의 경우 9시간 지속할 수 있었지만 통합창고 모형의 경우 9시간 이상 유지할

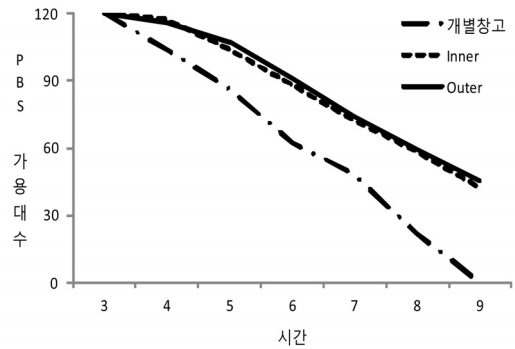


그림 12. 의장라인 결품률 5%시 대응시간 비교

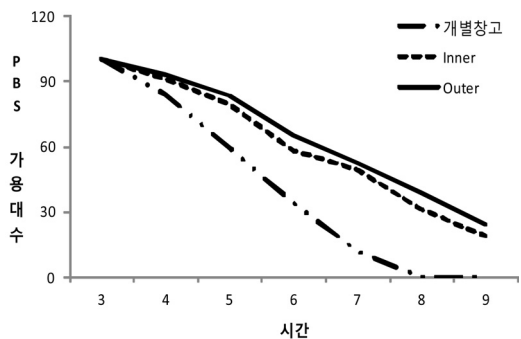


그림 13. 의장라인 결품률 15%시 대응시간 비교

수 있는 것으로 나타났다. 그림 13은 결품률 15%에 대한 실험으로 개별창고의 경우 8시간 생산을 유지할 수 있었으나 통합창고 모형의 경우 결품률 5%와 같이 9시간 이상 생산 가능하였다. 그림 14는 결품률 25%에 대한 실험

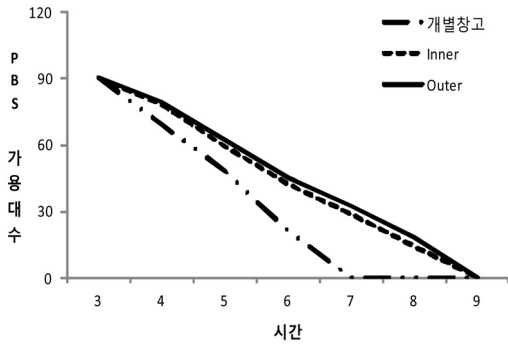


그림 14. 의장라인 결품률 25%시 대응시간 비교

으로 개별창고의 경우 7시간 통합창고 모형의 경우 9시간 생산을 유지 시킬 수 있었다.

이는 개별창고의 경우 PBS가 128대로 고정되어 의장라인의 부품 결품으로 작업 불가능한 재공품들을 보관하는데 제약이 발생하지만 통합창고 모형의 경우 개별창고보다 용량을 유연하게 이용할 수 있어 개별창고보다 통합창고 모형에서 의장라인의 결품 시 생산라인이 더 오래 운영 가능하다.

5.3 생산 안정성 비교

의장라인의 목표 UPH 58대를 맞추기 위해 약 62초에 한대씩 차량을 생산해야한다. 하지만 생산라인 운영과정에서 고장, blocking, starvation에 의해 라인정지는 빈번하게 일어나며, 이러한 라인정지를 최소화 하는 것은 생

산 안정성과 관련이 있다. 본 논문은 실험의 이해를 위해 의장라인의 생산간격을 유지하지 못하는 시점을 순간정지라고 하며, 순간정지가 최초로 발생하는 시점을 최소순간정지라고 정의한다. 또한 의장라인의 결품률을 5%, 15%, 25%로 변화시키며 개별창고와 통합창고 모형에서의 순간정지 횟수 및 최소순간정지 시간을 비교하였다.

표 5는 의장라인 결품률에 따른 순간정지 횟수 시뮬레이션 결과다. 결품 5%, 15%, 25%에 대해 순간정지 횟수는 각각 Inner-loop AGV모형 0.16, 0.18, 0.48의 비율로 감소하였으며, Outer-loop AGV모형 0.05, 0.15, 0.4의 비율로 감소하였다. 또한 최초 순간정지에 대해서는 표 6과 같이 결품률 5%, 15%, 25%에 대해 각각 개별창고 모형 4.15시간, 3.09시간, 1.99시간 Inner-loop AGV모형은 5.83시간, 3.81시간, 2.43시간 Outer-loop AGV모형은 5.7시간, 3.65시간, 2.29시간으로 나타났다. 최초 순간정지는 생산라인이 처음으로 가동을 중지하는 시점이기 때문에 시간이 늦어질수록 창고가 라인의 상태변화에 효율적으로 대처하는 것을 뜻한다. 따라서 의장라인의 부품 결품으로 인해 일부 제품에 대해서만 조립이 가능한 상태에서도 통합창고 모형이 개별창고 모형보다 약 1.2~1.5 배의 시간동안 라인 가동이 가능한 것으로 통합창고 모형이 개별창고 모형보다 더 안정적이다.

6. 결 론

본 연구에서는 기존 라인의 WBS와 PBS를 통합하여

표 5. 의장라인에서 순간정지 횟수비교

결품률	개별창고 모형 순간정지횟수 ^a	통합창고 모형			
		Inner-loop AGV모형		Outer-loop AGV모형	
		순간정지횟수 ^b	비율(b/a)	순간정지횟수 ^c	비율(c/a)
5%	19	3	0.16	1	0.05
15%	65	12	0.18	10	0.15
25%	104	50	0.48	42	0.40

표 6. 최초 순간정지 시간 비교 결과

결품률	개별창고 모형 최소순간정지 ^a	통합창고 모형			
		Inner-loop AGV모형		Outer-loop AGV모형	
		최소순간정지 ^b	비율(b/a)	최소순간정지 ^c	비율(c/a)
5%	4.15	5.83	1.40	5.7	1.37
15%	3.09	3.81	1.23	3.65	1.18
25%	1.99	2.43	1.22	2.29	1.15

운영할 수 있는 통합창고 시뮬레이션 모형을 제안하였다. 또한 통합창고 시뮬레이션 모형 개발에 필요한 최소 및 적정 Stacker Crane와 AGV대수 도출, 창고 Slot 선택방법론에 대해 소개하였다. 그리고 시뮬레이션 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 통합창고 모형이 개별창고 모형보다 유연하게 운영가능하다는 것을 보였다. 그 결과 통합창고 모형이 개별창고 모형보다 도장라인의 고장에 대해 시간당 약 10대를 더 생산할 수 있는 것으로 나타났다.

하지만 본 연구는 자동차 제조라인을 간단하게 모델링하여 연구가 진행되었기 때문에 실제 자동차 라인에서 재작업, Color Grouping, 생산 평탄화 과정으로 발생하는 변수가 고려되지 못했다. 이에 통합창고에서 재작업 차량의 이동, 작업 그룹화 및 생산 평탄화를 위한 작업순서 문제는 추가 연구로 진행 될 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김동훈(1996), “생산시스템에서의 물류시스템 기술분석”, *한국기계연구원 연구논문집*, Vol. 29, pp. 57-68.
2. 김연민, 서윤희(1996), “조립생산 시스템에서의 혼합 모델 그룹화”, *대한산업공학회지*, Vol. 9, No. 2, pp. 39-45.
3. 문덕희, 송성, 하재훈(2005), “자동차 공장의 Painted Body Storage 운영에 대한 시뮬레이션 연구”, *IE Interface*, Vol. 18, No. 2, pp. 136-147.
4. 문덕희, 송성, 하재훈(2004), “자동차 공장에서의 CRS와 PBS의 전용레일 설치에 관한 시뮬레이션 연구”, *한국시물레이션학회지*, pp. 77-82.
5. 최원준, 박혜규, 신현오(1996), “자동차 조립라인의 실시간 투입시스템의 자동화”, *대한산업공학회지*, Vol. 9, No. 1, pp. 47-59.
6. Choi, W. J. and Shin, H. (1997), “A Real-Time Sequence Control System for the Level Production of the Automobile Assembly Line”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 33, pp. 769-772.
7. Duplaga, E. A., Hahn, C. K., and Hur, D. (1996), “Mixed-model assembly line sequencing at Hyundai Motor Company”, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 37, No. 3, pp. 20-26.
8. Inman, R. R. (2003), “ASRS sizing for recreation automotive assembly sequences”, *International Journal of Production Research*, Vol. 5, pp. 847-863.
9. Monden, Y. (1983), “Toyota Production System”, *Industrial Engineering and Management Press*.
10. Hindi, K. S. and Ploszajski, G. (1994), “Formulation and Solution of a selection and sequencing problem in car manufacture”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 28, No. 1, pp. 203-211.



옥 창 훈 (chok@korea.ac.kr)

2010 상명대학교 경영공학과 학사
2010~현재 고려대학교 산업경영공학과 석사

관심분야 : 생산시스템, 시뮬레이션, AS/RS, 물류시스템



김 득 수 (jambonim@korea.ac.kr)

2011 세종대학교 컴퓨터공학과 학사
2011~현재 고려대학교 산업경영공학과 석사

관심분야 : 생산시스템, 시뮬레이션, AS/RS, 물류시스템



공 정 수 (gong@hyundai.com)

1994 한국항공대 기계공학과 학사
1993~현재 현대자동차(주)

관심 분야: MES(Manufacturing Execution System, 제조실행시스템),
물류 및 시뮬레이션(물류/라인/공정), 네트워크/서버 구축 및 프로그램 개발



서 윤 호 (yoonhoseo@korea.ac.kr)

1984 고려대학교 산업공학과 학사
1990 미국 Pennsylvania State University 산업공학과 석사
1993 미국 Pennsylvania State University 산업공학과 박사
1993~2003 울산대학교 산업공학과 교수
2003~현재 고려대학교 정보경영공학부 교수

관심분야 : 제조, 조립 및 물류 시스템의 VR적용 스케줄링