

자동차 공장에서 CRS와 PBS의 전용레인 설치에 관한 시물레이션 연구

문덕희*, 송 성**, 이재훈*

A Simulation Study on the Installation Designated Lane for CRS and PBS in an Automotive Factory

Dug Hee Moon, Cheng Song and Jae Hoon Ha

Abstract

자동차 공장에서의 생산스케줄은 차체공장에서부터 시작되는데 가장 이상적인 생산스케줄은 차체공장의 생산스케줄이 최종 조립라인의 조립스케줄과 동일하게 구성이 되는 것인데 차체공장, 도장공장, 조립공장의 생산 방식이 서로 다르므로 각각의 생산스케줄 목표에 맞게 투입순서를 조절해야 한다. 이를 위해서 WBS(White Body Storage), CRS(Color Rescheduling Storage), PBS(Painted Body Storage)라는 세 개의 주요 완충공간을 이용한다.

본 논문에서는 시물레이션 사례연구를 통하여 CRS와 PBS의 효율적인 운영을 위해 전용레인 설치를 검토 하였다. 그 결과 전용레인을 설치하였을 경우 CRS에서는 그룹화비율이 감소하고, 동시에 회송차량이 증가하므로 효과적인 방법이 아님을 알 수 있었다. PBS에 전용레인을 설치한 경우에도 접근금지조건을 위반하는 차량과 회송차량이 증가하여 효율적이지 못함을 알 수 있었다.

Key word : CRS(Color Rescheduling Selection), PBS(Painted Body storage), 입장/출장 알고리즘,
전용레인

* 강원대학교 산업시스템공학과

** 중국 하북과학기술대학교 관리과학공정과

1. 서론

자동차 공장의 생산스케줄은 차체공장에서부터 시작되는데 차체공장에서는 배치(Batch)생산방식으로 차량을 연속적으로 생산하지만, 도장공장에서는 동일한 색상의 차량을 한번에 처리해야 되고, 조립 라인에서는 가급적 사양이 다른 차종을 분산시켜야 한다. 이렇게 서로 다른 방식으로 생산을 하기 때문에 [그림 1]과 같이 각 연결 공정에 투입순서를 조절하는 기능을 수행하기 위한 WBS(White Body Storage), CRS(Color Rescheduling Storage)와 PBS(Painted Body Storage)등 3가지 중요한 완충공간을 설치하고 있다.

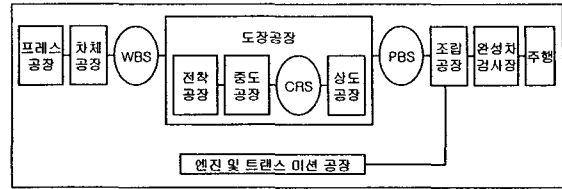
WBS는 차체공장에서 도장공장 사이의 생산량 불균형, 생산 차종간 불균형, 생산 운영방식의 불균형을 해소하며, 도장공정에서 회송된 차량의 도장을 한다. 도장공정에서 넘어온 차체는 상도공정에서 차량의 색상이 결정되는데 색상이 변할 때마다 도장기를 세척하는 비용이 발생한다. 이때 CRS를 상도공정 앞에 설치하여 동일색상의 그룹화 효율을 높인다. 도장공장에서 도장을 마친 차량은 조립공정에 들어가기 전 색깔별로 그룹핑된 차량을 다시 옵션에 맞게 분리시켜주어야 한다. 이는 차량이 가지고 있는 옵션마다 조립시간이 틀리기 때문에 PBS에 차량을 저장시켜서 조건에 맞는 차량을 조립공정으로 투입시킨다.

Choi *et al.*[1]은 CRS를 운영할 때 입출고 알고리즘에 대한 연구를 수행하였고, Kim and Seo[4]은 운영 및 알고리즘 변경 시 그룹화비용 변화를 시물레이션을 이용하여 검토하였고, Jayarman *et al.*[6]은 CRS를 설치할 때 시스템 효율 평가척도를 제시하였다. Moon *et al.*[5]은 기존 연구에서 제시한 입출장 알고리즘을 변경하여 운영효율을 향상시키는 연구를 하였다.

Choi *et al.*[3]은 컨베이어형 PBS의 출장알고리즘과 조립공정의 혼류생산순서를 결정하는 문제를 다루었고, Choi *et al.*[2]은 자동창고 형태의 PBS를 운영하는 연구를 하였다.

본 논문에서는 CRS와 PBS를 운영함에 있어 전용라인의 설치가 시스템 성능에 어떤 영향을 미치

는지 사례를 통하여 시물레이션 연구를 하였다.



[그림 1] 자동차 생산 공정에서의 3가지 Storage

2. CRS (Color Rescheduling Storage)에 전용라인 설치 검토

2.1. 시스템 평가 척도

① 그룹화 효율 : 상도부스에서 동일색상 차량의 연속도장대수 평균값이다.

$$\text{단계별 그룹화 효율} = \frac{\text{통과 차량수}}{\text{단계별 세정횟수}}$$

② 회송차량의 수 : 차량이 상도공정으로 투입되지 못하고 다시 CRS의 입구 쪽으로 회송

2.2 운영 알고리즘

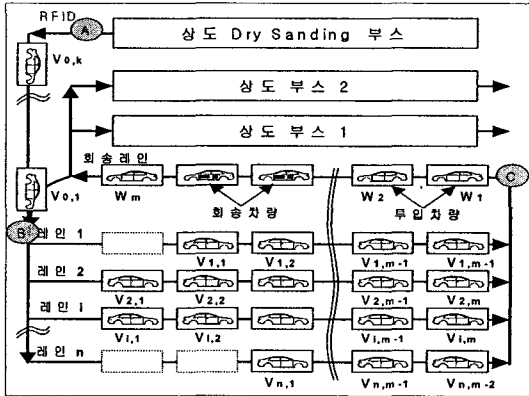
운영 알고리즘은 입장알고리즘과 출장알고리즘으로 구성되는데, Moon *et al.*[4]에서 제시한 알고리즘을 인용하였으며, 주요 내용을 간략하게 설명하면 다음과 같다.

[입장알고리즘]

- ① A지점에서 차량의 색상정보를 읽는다.
- ② B지점에서 전용라인 색상인지 파악해서 전용라인에 투입
- ③ 전용라인 차량이 아니면 각 라인에 있는 마지막 차량의 색상이 일치하는지 판단하여 일치하는 라인이 있으면 재공대수가 가장 적은 라인으로 투입한다.
- ④ 일치하는 라인이 없는 경우 각 라인의 마지막에서 두 번째 차량의 색상과 일치하는지 판단하여 일치하는 라인이 있으면 재공대수가 가장 적은 라인으로 투입한다.
- ⑤ 마지막 두 번째 차량의 색상과도 일치하는 라인이 없는 경우에는, RFID에서 읽은 나머지 차체들의 색상과 각 라인의 마지막 차량과 그 앞 차량

의 색상이 일치하는지를 순차적으로 확인하고, 일치하는 색상의 차량이 없는 레인을 선택하여 입장한다. 이 경우에도 대상 레인이 2개 이상 있으면 재공대수가 가장 작은 레인으로 투입한다.

⑥ ② ~ ④단계에서 해당되는 레인을 찾지 못한 경우에는 재공대수가 최소인 레인에 투입한다.



[그림 2] CRS의 구조도

[출장알고리즘]

- ① 저장된 모든 차량의 색상을 읽는다.
- ② 이미 출장된 차량 중 2번째 차량과 각 레인의 마지막 첫 열 차량의 색상이 같은 레인에 해당하는 차량을 출고한다.
- ③ 동일한 색상이 없으면 둘째 열 차량의 색상까지 비교한다.

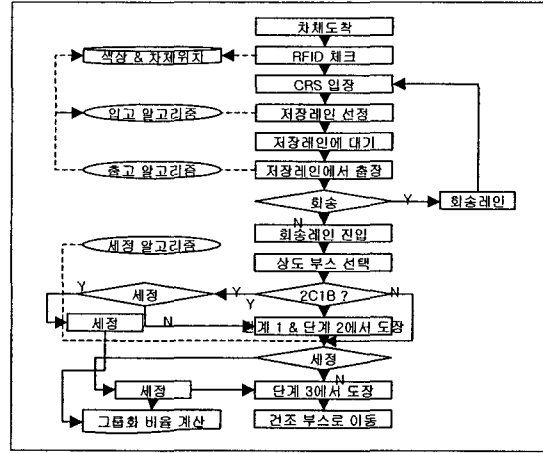
2.3 시물레이션 프로그래밍

시물레이션 모델을 개발하기 위해서 PRO - MODEL을 사용하였다.

2.4 실험 및 결과 분석

① 기존모델

전용레인을 설치하지 않고 운영한 모델은 Moon et al.[5]의 논문에서 제시한 기본모델을 사용하였다. 이 경우에 출장지연시간은 30분으로, 강제 출장시간은 5시간으로 설정하였다. 아울러 시물레이션 기간은 실적자료와 동일하게 1개월(9312대 생성)로 설정하였으며, 10회 반복실험을 하였다.



[그림 3] 시물레이션 모델 Logic

[표 1] 기본모델 결과 (전용레인 미설치)

항 목		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
그룹화 효율	단계 1,2	8.08	7.93	7.98	8.12	8.03	8.02	8.09	8.1	8.03	8.25	8.06
	단계 3	5.63	5.54	5.59	5.63	5.54	5.61	5.65	5.65	5.61	5.65	5.61
회송		743	777	836	762	782	806	740	739	719	710	761.4
강제출장		9	7	15	11	9	6	9	9	10	11	9.6
CRS 평균계고		22.11	21.81	22.73	22.81	22.41	22.04	22.1	21.72	22.39	22.13	22.13

② 전용레인 설치 여부

반면에 전용레인을 설치한 경우를 비교하기 위하여 Moon et al.[5]에서 사용한 기본모델을 변형하였는데 동일한 입력자료를 사용하였다. 전용레인을 할당하기 위해서는 색상비율이 20%가 넘는 Color 1, Color 6을 lane 5, lane 6에 할당하였다.

[표 2] 전용레인 할당 모델 실험결과

항 목		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
그룹화 효율	단계 1,2	7.33	7.69	7.56	7.45	7.22	7.70	7.60	7.48	7.55	7.59	7.52
	단계 3	5.29	5.32	5.28	5.21	5.25	5.36	5.29	5.26	5.33	5.27	5.29
회송		855	924	822	846	848	843	868	864	889	885	864
강제출장		11	7	5	9	13	11	13	14	9	14	10.6
CRS 평균계고		22.61	22.14	22.64	22.15	22.20	22.76	22.16	22.08	22.16	22.14	22.3

전용레인을 사용할 경우 그룹화 비율은 8.06에서 7.52, 5.61에서 5.29로 각각 감소함을 알 수 있었다. 반면에 회송차량은 761.4에서 864로 증가 하였고, 강제출고도 9.6에서 10.6으로 증가 하였다. 이는 전용레인을 사용할 경우 전용레인에 차량이 없는 현상이 발생하여 전체 운영효율은 감소하는 것을 알 수 있다.

3. PBS(Painted Body Storage)에 전용레인 설치 검토

3.1 시스템 평가 척도

- ① 접근금지조건 위반 : 조립라인에 차량이 투입되었을 때 조건에 만족하지 못하고 투입되는 차량
- ② 회송차량 : 접근금지조건을 만족시키기 위해서 첫 열에 해당차량이 없고 둘째 열에 해당차량이 존재할 경우 첫째 열의 차량을 회송

3.2 차량옵션, 접근금지 조건 및 가중치

차량옵션마다 생산량이 다르고 조립시간이 틀리기 때문에 [표 3]과 같이 옵션코드와 접근금지조건을 정의하였다. 접근금지조건은 조립시간 때문에 같은 차량이 연속적으로 투입되지 못한다는 것을 의미하며, 차종별 가중치를 두는 이유는 같은 lane에 동일한 차량이 투입되면 제약을 받아 장시간 lane에 투입되지 못함을 막기 위한 것이다.

[표 3] 차량 코드 및 접근금지조건

Option	Type	Code	접근금지조건
Hanlde	Basic(LHD)	O	-
	RHD	R	3:1
Transmission	Basic(Stick)	O	-
	CVT	C	2:1
Best Model	Basic	O	-
	Best Pack	B	2:1
Brake	Basic	O	-
	ABS	A	2:1
Engine	Basic(800cc)	O	-
	1000cc	M	1:1

3.3 알고리즘 개발

PBS에 차량을 입장시킬 때 전용레인의 설치여부와 각 레인에 차체입장방법에 대하여 고려하여야 한다.

[입장알고리즘]

- ① 전용레인 차량은 전용레인에 입장한다.
- ② 동일한 옵션일 때는 교대(Cyclic)로 전용레인에 입장한다.
- ③ 전용레인에 공간이 없을 때에는 공용레인으로 입장한다.
- ④ 공용레인에 입장시 각 레인의 마지막 차량과 입장하는 차량의 유사성 계수를 비교하여 유사성 계수의 차이의 절대 값이 큰 레인에 입장한다.
- ⑥ 유사성 계수의 차이가 같을 때는 공용레인 중에서 여유 공간이 많은 레인으로 입장한다.
- ⑦ 여유 공간이 같을 때에는 레인번호가 작은 레인으로 입장한다.

[표 4] 차종별 가중치

순	차종코드	가중치	순	차종코드	가중치
1	ROOOO	32	9	OOOBO	8
2	ROOOM	34	10	OOAOO	4
3	ROAOO	36	11	OOAOM	6
4	ROAOM	38	12	OOABO	12
5	RCOOO	48	13	OCOOO	16
6	RCAOO	52	14	OCOBO	24
7	OOOOO	0	15	OCAOO	20
8	OOOOM	2	16	OCABO	28

[출장알고리즘]

PBS내 차량을 출장시킬 때 고려해야 할 요소로는 다음과 같다.

- ① 접근금지조건 : 혼류생산이므로 차종마다 조립시간이 틀리다.
- ② 인출비율 : 부품의 평준화를 유도한다.
- ③ 첫 열, 둘째 열을 검색하여 첫 열에 해당 차량이 없을 경우에, 둘째 열 차량을 검색하여 해당차량이 있으면 첫 열의 차량을 회송 시킨 후 둘째 열 차량을 출장시키고, 만일 첫 열 체류시간, PBS내 체류시간이 일정시간 초과하면 강제로 회송시키거나 출장을 시킨다.

3.4 시물레이션 모델

Delmia사의 QUEST프로그램을 사용하여 3차원

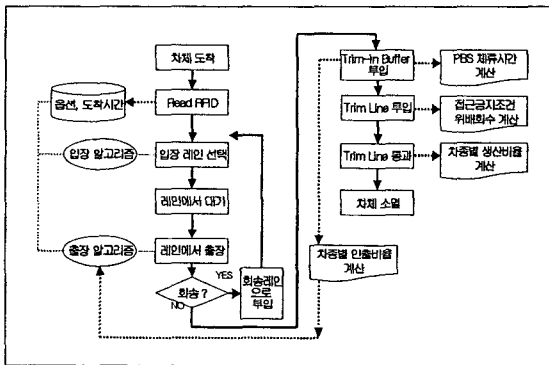
시물레이션 모델을 개발하였고 차체, 행거는 CATIA에서 구현하였으며 그 외 설비와 전체 라인 은 CAD와 Factory CAD에서 3차원 도면으로 구현하였다.

시물레이션 출력 자료

- 평균 PBS처리 능력, 평균 체류 차량 대수
- 접근금지조건 위반 비율
- 회송차량 비율
- 기타....

시물레이션 입력자료

- PBS차체 입장시간, 출장시간 간격
- 차체정보: 각 차종의 코드별, 옵션별 정보
- 옵션별 접근금지조건
- PBS입장, 출장알고리즘(회송알고리즘 포함)
- 기타...



<그림 3-3> 시물레이션 모델 Logic

3.5 결과 및 분석

다음과 같은 2가지 실험대안으로 전용라인의 설치여부와 접근금지조건이 있는 차량과 없는 차량을 전용라인에 할당하였을 때 PBS의 운영효율에 대한 검증은 하였다.

1) 실험1

PBS에 차체를 투입할 때 공용라인에 차체를 임의(Random)로 입장시키는 방법과 유사성 계수를 비교하여 입장하는 방법에 대하여 [표 5]과 같은 4 가지 대안을 검토한다.

[표 5] 입장알고리즘 검증 실험대안

차체 입장방법	전용라인 설치여부	
	설치	설치하지 않음
개발된 알고리즘	CASE 1(기본모델)	CASE 3
Random하게 입장	CASE 2	CASE 4

2) 실험 2

생산량 비율에 따라서 다음과 같이 실험하였다.

- Case 5 : 기본옵션 차량만 전용라인을 할당
- Case 6 : 생산비율 높은 차량만 전용라인을 할당
- Case 7 : 두 차종 모두 전용라인 할당하지 않음
- Case 8 : 기본옵션, 생산비율 높은 차량을 각 전용라인에 할당

3) 실험결과

위의 실험1의 결과 값은 [표 6]과 같다. 회송차량은 전용라인 설치여부의 영향보다 투입방법에 영향을 많이 받고 접근금지조건 위반은 전용라인, 차량입장방법 모두 영향을 받는다.

[표 6] 입장알고리즘에 대한 실험 결과

실험대안	X년 데이터	Y년 데이터		
		회송 차량	접근금지 조건 위반 차량	회송 차량
Case 1 전용라인 설치 유사성계수 비교	536 5.4%	579 5.8%	1006 10.1%	720 7.2%
Case 2 전용라인 설치 Random 입장	537 5.4%	823 8.3%	776 7.8%	794 8.0%
Case 3 전용라인 미설치 유사성계수 비교	2499 25.1%	177 1.8%	1607 16.1%	395 4.0%
Case 4 전용라인 미설치 Random 입장	1695 17.0%	714 7.2%	1592 16.0%	818 8.2%

* 입장차량 수 1만대, 출장 차량 수 9967대

실험2의 결과는 [표 7]과 같다. 기본옵션 차량을 전용라인에 할당하면 차량이 계속하여 출장되어 해당라인에 차량이 없는 경우가 많이 발생하여 출장조건을 검색할 수 있는 레인이 상대적으로 적어지는 현상이 발생함으로 PBS운영효율이 감소한다.

[표 7] 전용레인 설치여부 실험결과

	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
총 회송차량	1261	1977	2135	1060
접근금지조건 위반차량	747	424	401	735
강제출장차량	97	139	114	96
강제회송차량	414	504	541	382

4. 결론

CRS에서는 전용레인 설치하는 것이 그룹화 효율면에서 비효율적인 것으로 판명되었다. 또한 회송 차량수가 대폭 증가하였으며, 강제 출장 차량수도 다소 증가하였다. 따라서 전용레인의 설치가 운영 효율화 면에서 별 도움이 되지 않는다는 것을 보여주었다.

PBS에서는 차종별 생산비율에 근거하여 전용레인을 설치하였을 경우에도 접근금지조건 위반차량 및 회송차량이 많이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 전용레인을 제외한 공용레인의 앞, 뒤 차량의 유사성계수를 비교하여 입증하는 것이 임의로(Random) 투입하는 것 보다 우수하게 나타났다.

참고문헌

- [1] Choi, W.J., Park, H.K. and Shin, H.O. "Design and Application of an Efficient Color-Grouping Algorithm for a Painting Shop of an Automotive Industry", in *Journal of the Korean production and operation Management Society*, 7(3), 67-96, 1996
- [2] Choi, W.J. and Park, H.K. and Shin, H.O., "Automation of the Real-Time Production Sequencing System of an Automobile Assembly Line", *IE Interface*, Vol. 9, No. 2, pp.47-59, 1996
- [3] Choi, W.J. and Shin, H.O., "A real-Time Sequence Control System for the Level production of the Automobile Assembly line", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 33, No. 3, 1997
- [4] Kim, Y.M and Seo, Y.H, "Model Grouping in a Mixed Model Assembly Line", *IE Interface*, 9(2). 12-37
- [5] Moon, D.H., Song, C., Kim, H.S., Kim, K.Y, "A Simulation Analysis on the Validity of Color Rescheduling Storage in an

Automobile Painting Shop", in *IE interface* , Vol. 16, No.2, pp.211-221, June 2003

- [6] Jayarman, A, Narayanaswamy, R. and Gunal, A.K.(1997), A Sortation System Model, *Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference*, 866-871.

이 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정 강원대학교 공작기계기술연구소 지원에 의한 것임