

CSF(Color Selection Field)를 통한 버스 도장공장의 생산비용 개선

박세원*, 임현준**

Cost Improvement for a Bus Painting Shop by Introducing a Color Selection Field

Sewon Park* and Hyunjune Yim**

ABSTRACT

As the customer's needs for diverse colors, the process of bus painting shop is becoming more and more complex. In particular, frequent changes of paint colors in each spray process require the cleaning of the painting nozzles and setting them up for the new paints, which results in increased time and cost and reduced production. This also increases environmental influences. This paper proposes, as a solution to this issue, the use of color selection field (CSF). CSF is physically a system of conveyors that are used to rearrange objects in a flow line. CSF is proposed, in this paper, to be introduced right before the spray process so that buses are better grouped according to their desired colors. Various parameters of the CSF, such as the number of conveyors and algorithms to determine the rearranged sequence of buses, have been determined by running simulations using the digital manufacturing technology, and investigating the simulation results. As an outcome of the proposed solution, the CSF system is expected to reduce approximately 30% of the nozzle cleaning cost for a Korean motor company case, which will not only benefit the company economically, but will also benefit the environment.

Key words : Color selection field, Digital factory, Input/Output algorithm, Painting shop, Simulation

1. 서 론

차체공장에서 생산된 BIW(Body In White) 표면에 도료를 칠하는 도장공정은 자동차의 심미적 가치실현과 외관의 내구성에 있어 매우 중요한 공정이다. 또한 자동차는 세계 각지의 다양한 환경 및 사용 조건 하에 오랜 기간 사용되어야 하기 때문에 도장공정은 높은 수준의 품질과 기술을 요구하며 일반 기계류의 도장과는 비교할 수 없을 정도로 복잡하다. 이를 개략적으로 살펴보면, 방청을 주목적으로 하는 전처리 공정, 외관은 물론 차체 내부까지 균일하게 도장하여 차체의 부식을 방지하는 전착 공정, 차체 바닥이나 도어 내부에 코팅을 하여 주행 소음과 진동을 감소시키는 언더코팅 공정, 최종 도색 품질을 위한 중간 칠 작업인 중

도 공정, 차체 표면의 비관과 외관 품질을 최종적으로 결정하는 상도 공정, 그리고 패널 외부에 결합이 발생했을 경우 부분적으로 수정하는 공정으로 구성되어 있다. 버스의 도장공정은 승용차 도장공정 프로세스와 대체로 유사하나 제품의 색상이 다양하다는 것이 큰 차이점이다. 승용차는 하나의 색상으로 외관 품질이 결정되지만, 버스의 경우에는 최소 2개의 기본 색상으로 도색되고 주문자의 선택에 따라 최대 5개의 색상까지 도색된다. 최근 수년 사이에 주문자의 다색상(multi-tone) 요구 추세에 따라 평균 3개의 색상에서 3.4개로 증가하고 있다. 이와 같이 고객의 요구가 증가함에 따라, 도료의 변경 횟수가 증가되어 노즐의 세정비용과 새로운 도료를 준비하기 위한 셋팅(setting) 시간이 더 많이 필요하게 되었다. 따라서 전체적으로 도장공정의 비용이 증가하게 되고 총 생산량은 감소하는 문제를 초래하게 되었다.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 기존의 버스 도장공장에 CSF(Color Selection Field) 시스템을 도입하는 안을 제안한다. CSF 시스템은 차

*학생회원, 홍익대학교 대학원 기계공학과
**교신저자, 종신회원, 홍익대학교 기계시스템디자인공학과
- 논문투고일: 2010. 12. 27
- 논문수정일: 2011. 01. 10
- 심사완료일: 2011. 01. 23

량의 색상에 따라 입고순서를 조정하여 색상별 그룹핑을 도모하는 시스템이다. CSF 시스템은 다양한 파라미터에 의해 구동되므로 이 파라미터들을 합리적으로 결정하여야 효과를 극대화할 수 있다. 본 연구에서는 파라미터 설정을 위한 시스템 평가를 위해 디지털 매뉴팩처링(digital manufacturing) 기법^[1]을 이용한 물류 시뮬레이션을 수행하였다. 디지털 매뉴팩처링은 일반적으로 제조업의 경쟁력을 한 단계 높일 수 있는 방법으로 인정되고 있으며, 특히 이를 이용한 물류 시뮬레이션은 현장에서 현재 상태의 문제점을 파악하고 개선하는데 있어 효용성이 크다. 본 논문에서 대상으로 삼은 공장은 국내 A자동차 회사의 자동화된 버스도장공장이며, 물류 시뮬레이션을 위해서는 지멘스(Siemens)사의 eM-Plant 7.6 프로그램을 이용하였다.

본 연구와 관련된 기존연구를 살펴보면, 승용차 도장공장의 물류 시스템에 대한 연구결과는 많지만 버스도장공장에 대한 연구는 거의 없다. 그 이유는 버스도장공장의 프로세스가 상대적으로 훨씬 복잡하기 때문으로 생각된다. 승용차 도장공정에 있어서 CSF에 대한 연구로는 Jayaraman 등^[2]이 CSF를 설치할 때 고려해야 할 설계 요소와 효율을 평가하는 척도를 제시하였고, Choi 등^[3]은 승용차 도장공장을 대상으로 CSF의 인입/인출 알고리즘 변경에 따른 그룹화율의 변화를 연구한 바 있다. 그 외에 Kim 등^[4]이 CSF의 Layout 및 운영 알고리즘 변경에 따른 그룹화율의 변화를 검토하였고, 박혜구 등^[5]은 CSF 시스템을 자동화하여 성공적으로 운영하고 있는 사례를 소개하였다. 또한 문덕희는 승용차 도장공장에 CSF 및 회송레

인을 설치한 후의 물류 개선도를 시뮬레이션한 연구를 수행하였고^[6], 시뮬레이션 사례 연구를 통하여 CRS(Color Rescheduling Storage)와 PBS(Painted Body Storage)의 효율을 향상시키기 위해 전용 레인의 설치를 제안하기도 하였다^[7].

2. 연구의 개요

논문의 이해를 돕기 위해, 본 연구의 개요를 Fig. 1의 흐름도에 나타내었다. 컴퓨터 내에 가상 공장을 구현하기 위해서는 먼저 현재 공장에 대한 다양한 정보를 파악하여야 한다. 이러한 정보는 제품(product), 공정(process), 자원(resource)에 관한 정보로 나누어 생각할 수 있는데^[8], 구체적으로 요구되는 항목들은 Fig. 1의 'Input Data'에 열거되어 있는 바와 같다.

다음 단계로 기존 시스템의 가상공장이라고 할 수 있는 AS-IS 모델을 구축한다. AS-IS 모델은 입력된 데이터를 분석하여 얻은 물리적, 논리적 파라미터를 근거로 구축한다. 이 모델이 기존 시스템을 제대로 나타내는 지를 검증하기 위하여, 시뮬레이션으로부터 연간 생산량을 도출하고 이를 실제 기존공장의 생산량과 비교한다. 이 두 생산량 결과가 잘 부합하지 않으면 모델을 수정하여, 기존 시스템을 잘 반영할 수 있도록 AS-IS 모델을 구축한다.

마지막 단계는 본 연구의 주 내용이라고 할 수 있는 시스템 개선 연구이다. 이 단계에서는 AS-IS 모델에 CSF를 도입하고 CSF의 파라미터(운영 알고리즘 포함)를 적절히 설정하여 개선된 TO-BE 모델을 개발

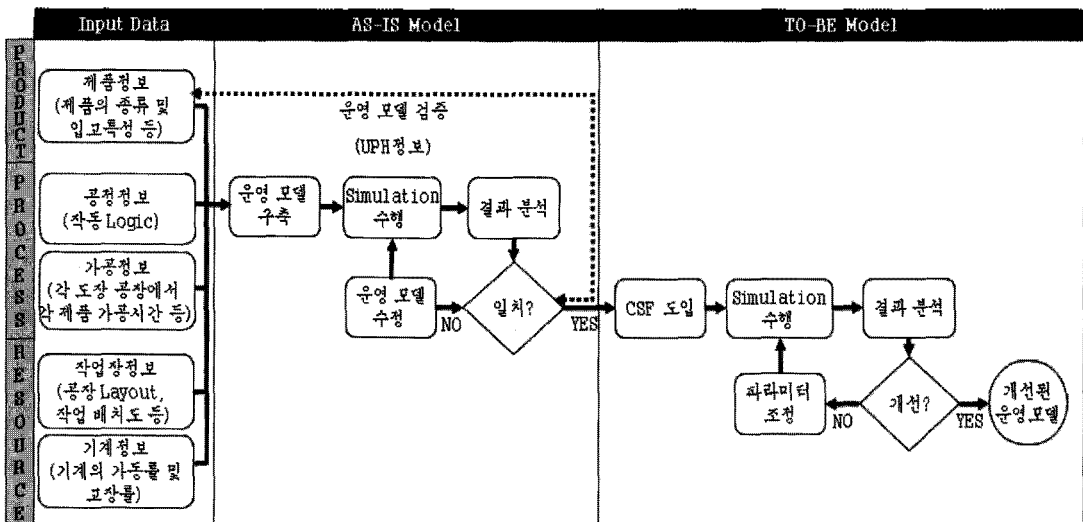


Fig. 1. 본 연구의 개요 흐름도.

한다. 이 과정에서 개발된 TO-BE 모델이 기존 시스템보다 나은 성능을 보이는지를 평가하고 그렇지 않은 경우 모델의 파라미터를 변경하면서 반복하여 개선된 모델을 구축한다.

3. AS-IS 모델의 구축 및 검증

3.1 대상 공장 분석

본 논문의 대상인 A사의 버스 도장공장은 소비자의 주문에 따라 운영되는 방식으로, 연간 2만대의 도장 능력을 갖추고 있다. 이 공장의 제품, 공정, 자원에 대한 분석을 아래와 같이 수행하였다.

3.1.1 제품(product) 분석

이 연구에서 제품은 차량, 즉 버스를 의미하며 대상 공장의 실제 데이터베이스를 통해 제품 관련 정보를

파악할 수 있다. 즉, 도장되는 버스의 크기(중형 또는 대형), 빈도 및 색상에 관한 데이터를 얻어, Table 1에 정리해 놓았다. Table 1에서 1T, 2T 등은 도색하는 순서의 색상 코드를 의미한다.

Table 1을 보면 차량은 크게 중형과 대형으로 구분되는데, 여기서 중형 차량은 마을버스, 대형 차량은 일반버스, 시내버스 및 고속버스 등을 의미한다. 모든 차량은 최소 2개의 색상으로 도색되며 세 번째 색상부터는 주문자의 선택사항에 따라 추가된다. 모든 차량을 색상의 조합에 따라 분류하면 Table 1과 같고 각 종류별로 빈도를 구할 수 있다. 중형과 대형의 색상을 보면 중형은 첫 번째 색상(1T)이 서로 다르지만 대형은 세 번째 색상(3T)부터 서로 다른 것을 알 수 있다. 따라서 중형 상도 작업장에는 초기 색상(1T)부터 변동되므로 도색 스프레이 노즐의 세정 횟수가 증가하고 이에 따라 도장 비용이 증가하고 생산량이 감소된다.

Table 1. 제품 데이터베이스

Size	종류	제품	빈도	Tone수	1T	2T	3T	4T	5T
중형 9m	마을 버스	M 1	0.314	2	C	K			
		M 2	0.047	2	H	F			
		M 3	0.022	2	K	W			
		M 4	0.247	2	M	K			
		M 5	0.319	2	O	T			
		M 6	0.003	3	O	T	A		
		M 7	0.003	4	O	T	B	G	
		M 8	0.045	3	O	V	I		
대형 13m	일반 버스	L 1	0.055	2	O	T			
		L 2	0.098	3	O	T	D		
		L 3	0.019	4	O	T	E	H	
		L 4	0.003	5	O	T	F	I	J
	시내 버스	L 5	0.016	3	O	T	N		
		L 6	0.024	4	O	T	C	M	
		L 7	0.013	2	O	T			
		L 8	0.09	3	O	T	W		
		L 9	0.177	4	O	T	J	B	
		L 10	0.084	5	O	T	V	K	F
	고속 버스	L 11	0.063	2	O	T			
		L 12	0.09	3	O	T	K		
		L 13	0.09	4	O	T	Q	H	
		L 14	0.024	5	O	T	H	P	W
		L 15	0.04	2	O	T			
		L 16	0.011	3	O	T	W		
		L 17	0.1	4	O	T	P	G	
		L 18	0.003	5	O	T	M	K	H

3.1.2 공정(process) 분석

공정은 제품이 하도(전처리 및 전착 공정), 중도 및 상도로 이송될 때 물류를 제어하는 역할을 하며, 물류와 관련된 데이터베이스를 통해 파악할 수 있다. Fig. 2는 대상 공장 전체의 배치(layout)와 물류를 보여주고 있는데, 분기점에서는 제품을 중형과 대형 버스로 구분하여 적절한 다음 작업장으로 차량을 이송시킨다. 버스 도장공장에서 가장 중요한 프로세스는 차량의 최종 색상을 결정하는 상도공장의 스프레이 공정이다.

Fig. 2를 보면 중형의 스프레이 작업장은 1개 부스(booth)로 되어 있고 대형의 경우에는 3개의 부스로 되어 있다. Table 1과 같이 다양한 색상을 도색하기 위해서는 (부스 수가 적어) 스프레이 공정을 반복적으로 수행해야 하는 경우가 많으며, 중형 부스와 대형 부스에서는 다음과 같이 상이한 프로세스가 실행된다.

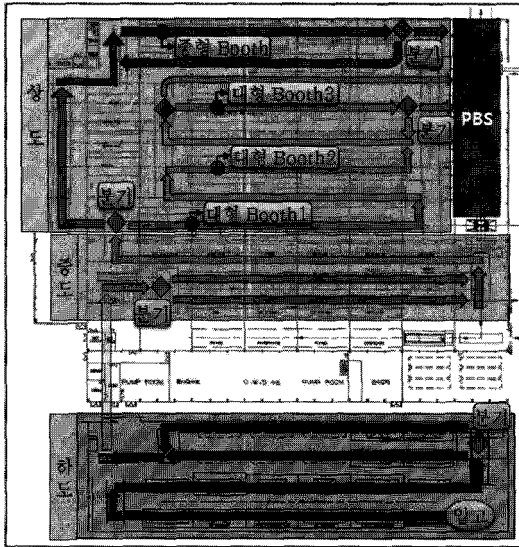


Fig. 2. 버스 도장공장의 전체 물류.

먼저 Fig. 3의 중형 부스를 보면 PBS와 회송 레인으로 이송되는 분기점이 존재한다. 여기서 PBS는 도장을 마친 차량이 엔진 빛 내부 조립을 하기 위해 대기하는 장소이다. 중형 차량의 색상 수는 2개 이상이고 중형의 스프레이 부스는 1개이므로, 여러 색상을 도색하기 위해서는 차량이 반복적으로 스프레이 작업장으로 귀환되어야 한다. 따라서 분기점에서 차량의 도색 횟수를 파악하여 PBS 또는 회송 레인 중 어느 쪽으로 이송되어야 하는지가 결정된다.

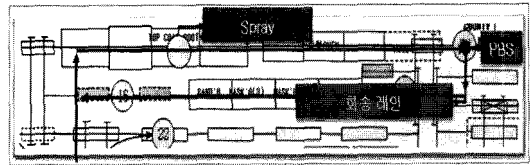


Fig. 3. 상도 중형 버스의 물류 공정.

한편, 대형의 스프레이 작업장에는 총 3개의 부스가 설치되어 있으므로 3개의 색상까지는 차량의 회송 없이 도색할 수 있다. 색상 수가 4개 이상인 차량의 경우에는 물론 중형의 경우와 마찬가지로 회송레인을 따라 재이송하여 도색해야 한다(Fig. 4). Table 1을 보면 대형 차량의 경우 최소 2개 색상까지는 동일하므로 부스1 및 부스2는 이들 두 색상(색상 코드 O와 T)을 도색하는데 사용되고, 부스3에서 세 번째 및 그 이후 색상이 도색된다. 따라서 대형 차량의 경우에는 Fig. 4에 보인 부스3의 공정만을 고려하기로 한다.

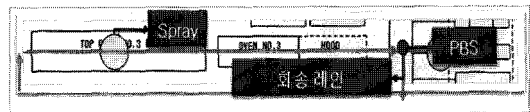


Fig. 4. 상도 대형 부스3의 물류 공정.

3.1.3 자원(resource) 분석

자원(resource)은 차량의 이송을 담당하는 자재운반 시스템과 설비를 의미한다. 버스 도장공장은 자동 생산 라인으로서, 작업장들은 자재운반 시스템으로 연결되어 있는 셈이다. 대상 도장공장의 자재 운반 시스템은 컨베이어 시스템과 크레인, 호이스트로 구성되어 있다. 이 중 크레인과 호이스트를 통칭하여 트래버서(traverser)라 하는데, 이들은 직선형 컨베이어 라인 간의 차량 이동을 위해 사용된다. 컨베이어와 트래버서의 속성 정보는 Table 2와 같다.

Table 2. 컨베이어 및 트래버서의 속성 정보

	이송속도(m/s)	적재시간(s)	하역시간(s)
컨베이어	0.058	-	-
트래버서	0.333	60	60

본 연구에서 고려하는 설비는 차량의 가공 및 품질 조사를 위한 장비로 탈지, 수세, 피막을 담당하는 처리 작업장과 마스킹, 샌딩과 같이 도색을 용이하게 하기 위한 가공 작업장, 실제 도색을 담당하는 스프레이 작업장 및 도색의 품질을 향상시키기 위한 오븐(oven)

작업장에 배치되어 있다. 이들 설비 각각의 속성 정보는 실제 현장에서 도출된 공정시간표를 통해 확인할 수 있다. 본 연구에서 가장 중요한 공정은 상도공정 중 스프레이 공정으로 그 속성 정보는 Table 3과 같다. Table 3에서 C/T는 공정의 사이클 타임을 의미하는 것으로 식 (1)에 의해 산출되는 값이다¹⁸⁾.

Table 3. 스프레이 작업장의 속성 정보

	C/T (mm:ss)	Setting Time (s)	노즐 수
중형 Spray	12:33	60	10
대형 Spray1	20:27	60	10
대형 Spray2	24:12	60	10
대형 Spray3	26:12	60	10

$$T_c = T_o + T_h + T_{th} \quad (1)$$

- T_c : 공정 사이클 타임(분개)
- T_o : 실제 가공 또는 조립 시간(분개)
- T_h : 공작물 취급 시간(분개)
- T_{th} : 공구 취급 시간(분개)

3.2 AS-IS 모델 구축

Fig. 5는 물류 시뮬레이션 프로그램인 eM-Plant 7.6을 이용하여 기존 공장의 시스템을 모델링 한 결과이다. 이를 위해 각 제품(product)과 자원(resource)의 속성을 대응하는 객체(object)에 적용하여 모델을 구축하였으며, Sim-talk라는 eM-Plant 7.6의 고유 언어를 이용하여 모든 공정(process)을 프로그래밍하였다.

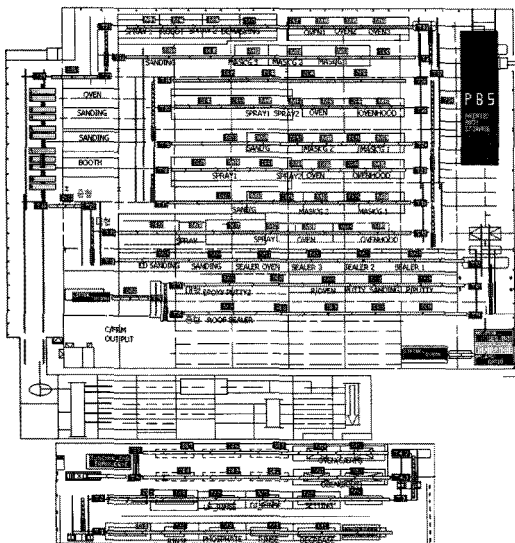


Fig. 5. 구축된 AS-IS 모델.

3.3 AS-IS 모델의 검증

AS-IS 모델이 기존 도장공장 시스템의 물류 흐름을 정확하게 반영하는지를 검증하기 위해, 1년간의 주문차량 데이터를 입력하여 시뮬레이션 한 후 마을버스, 일반버스, 시내버스, 고속버스 별로 시간당 생산량, 즉 UPH(Units Per Hour)를 구하고 이를 제품 실적 데이터에서 구한 값들과 비교해 보았다.

처음에는 시뮬레이션 결과와 실제 값이 약간의 오차를 보였으나, AS-IS 모델의 논리적 파라미터들을 일부 조정함으로써 Table 4와 같이 2% 이내의 오차범위에서 실제 데이터와 매우 잘 부합되는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 구축된 AS-IS 모델의 적합성이 확인되었고 이 모델은 기존의 시스템을 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다.

Table 4. UPH 비교를 통한 AS-IS 모델 검증

	마을 버스	일반 버스	시내 버스	고속 버스
시뮬레이션 (U/h)	1.61	1.08	1.17	1.22
실적 Data (U/h)	1.60	1.10	1.15	1.20
오차(%)	0.6	1.82	1.74	1.66

3.4 기존 시스템의 분석

3.4.1 성능 평가지수

상기한 바와 같이 스프레이 공정에서 직전에 도장한 차량과 색상이 다른 차량이 유입되면 노즐의 세정 비용이 발생되고 추가적인 셋팅(setting) 시간이 소요된다. 평균적인 의미에서 동일한 색상의 차량이 연속적으로 투입되는 대수를 그룹화율(grouping ratio)이라 하는데, 그 값이 클수록 세정 횟수가 감소되므로 이 지표는 노즐의 세정과 관련된 시스템 평가 척도로 유용하다. 일반적으로 그룹화율은 식 (2)와 같이 정의된다¹⁹⁾.

$$\text{그룹화율(대수/횟수)} = \frac{\text{총통과 차량수}}{\text{총세정 횟수}} \quad (2)$$

또한 이 지표로부터 연간 총 셋팅시간과 총 세정비용을 산출할 수 있다. Table 3을 보면 도색 색상이 바뀔 때 마다 각 스프레이 작업장에서는 60초의 셋팅 시간이 추가적으로 소요되는 것을 알 수 있다. 또, 노즐 세정에 소요되는 비용은 노즐당 약 1000원이지만 10개의 노즐이 함께 사용되므로 약 10,000원의 세정 비용이 소요되는 것으로 간주할 수 있다. 따라서 도색 색상의 1회 변동에 따른 단일 스프레이 공정의 사이

클 타임과 세정비용은 식 (3) 및 식 (4)와 같이 계산한다.

$$T_c = T_{c0} + 60(s) \tag{3}$$

$$\text{세정 비용} = 10000(\text{원}) \tag{4}$$

위 식 (3)에서 T_{c0} 는 노즐세정이 필요하지 않은 경우의 스프레이 작업장의 사이클 타임(식 (1))이다.

3.4.2 기존 시스템의 성능평가

기존 시스템의 그룹화율을 파악하기 위해, 1년간의 주문량 데이터로 시뮬레이션을 수행하고 그 결과로부터 그룹화율을 산출하였다. Table 1에서 볼 수 있듯이, 마을 버스의 경우에는 첫 번째 색상(IT)부터 변동하므로 중형 상도공정의 스프레이 부스에서 그룹화율을 산출하면 된다. 반면, 대형 버스의 경우에는 첫 번째와 두 번째 색상이 항상 동일하므로 세 번째 색상을 도색하는 3번 부스에서만 그룹화율을 산출할 수 있다. 1년간의 주문량을 대상으로 시뮬레이션한 결과, 중형 부스의 그룹화율은 1.19, 대형 부스의 그룹화율은 1.09로 나타났다. 이는 두 경우 모두 거의 매번 도색 색상이 변경됨을 의미한다. 이 그룹화율 값을 사용하여 1년간의 총 세정비용, 총 셋팅시간 및 총 생산량을 산출한 결과가 Table 5에 나타나 있다. Table 5에서 보듯이 도색 색상의 변경으로 인해 많은 시간과 비용이 손실됨을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 손실을 줄이기 위한 개선안을 개발하였다.

Table 5. AS-IS 모델의 연간 성능평가 결과

	총세정횟수	총세정비용	총셋팅시간
중형부스	17,083(번)	170,831,933(원)	245(h)
대형부스3	14,689(번)	146,880,734(원)	285(h)
합계	31,772(번)	317,712,667(원)	530(h)
총 생산량	20,807(대)		

4. TO-BE 모델의 개발

4.1 CSF 시스템의 배치 및 속성

AS-IS 모델을 통해 확인된 색상변경 비용을 줄이기 위해, 본 연구에서는 중도와 상도공정 사이에 승용차 도장공장에서 사용하고 있는 CSF 시스템을 신설하여 그룹화율을 향상시키고자 한다. CSF 시스템은 도장 부스 직전에 동일한 색상의 차량들을 모으는, 즉 그룹화(grouping)하는 저장 창고의 역할을 하는데 물리적으로는 다수의 컨베이어 라인으로 구성되어 있다. 대상 공장에 CSF를 신설함에 있어서, 중도와 상도공정

사이에 CSF를 설치할 수 있는 대지면적을 제약조건으로 고려해야 한다. 대상 공장의 가용 대지면적은 가로 110 m, 세로 70 m이다. 컨베이어의 크기를 고려할 때 최대 7개 까지 설치할 수 있음을 대략적으로 추정하였다. 또한 Table 1에 명시된 중형과 대형 차량의 크기를 근거로 중형 차량이 이송되는 컨베이어의 최대 적재대수는 11대, 대형 차량용 컨베이어의 최대 적재대수는 8대로 가정하였다. 컨베이어의 속도는 라인 밸런싱(line balancing)을 고려하여 전착, 중도, 상도공정의 컨베이어 속도와 같게 설정하였다. CSF 시스템이 도입된 도장공장에 대한 TO-BE 모델의 배치도를 Fig. 6에 나타내었다.

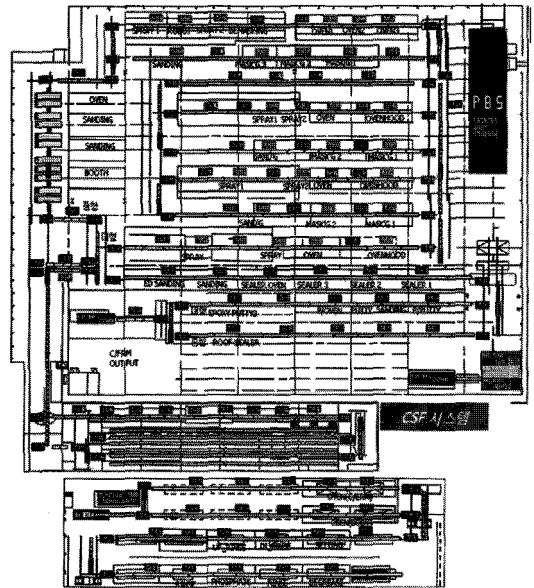


Fig. 6. TO-BE 모델 배치도.

4.2 CSF 시스템의 인입/인출 알고리즘

CSF가 제 역할을 수행하려면 차량이 CSF에 인입될 때와 CSF로부터 인출되어 상도공정으로 투입될 때 그 순서를 결정하는 알고리즘이 중요하다. 인입 및 인출 알고리즘은 우선 승용차 도장공장에서 일반적으로 적용하고 있는 것을 따랐다. 적용한 CSF의 인입 알고리즘은 구체적으로 다음과 같다(Fig. 7 참조).

- ① A지점에서 차량의 종류를 중형 또는 대형으로 구분한다.
- ② 입고될 차량의 색상 정보를 읽는다.
- ③ B지점(중형: B1, 대형: B2)에서 지금 투입하려고 하는 차량의 색상과 각 레인의 마지막 차량의 색상이 일치하는지 판단하여 일치하는 라인아

있으면 그 레인으로 투입한다. 다만, 그런 레인이 여럿 있으면 재공 대수가 가장 적은 레인으로 투입한다.

- ④ 일치하는 레인이 없는 경우 재공 대수가 가장 적은 레인으로 투입한다.

CSF의 인출 알고리즘은 우선 아래와 같이 적용하였다(Fig. 7 참조).

- ① C지점(중형: C1, 대형: C2)에서 출고된 차량의 종류와 색상을 읽는다.
- ② C지점에서 출고된 차량의 색상이 각 레인의 출고 대기 중인 첫 번째 차량의 색상과 일치하는지 판단하여 일치하는 것이 있으면 이를 인출한다. 만일 같은 색상의 차량이 다수의 레인에 있으면 재공 대수가 가장 많은 레인의 차량부터 인출한다.
- ③ 색상이 일치하는 레인이 없는 경우에는 재공 대수가 가장 많은 레인의 차량부터 인출한다.

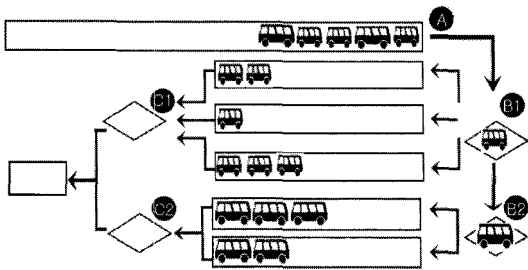


Fig. 7. CSF 시스템의 구조.

4.3 CSF 시스템의 컨베이어 수 결정

상기한 바와 같이 가용한 대지에 설치 가능한 컨베이어의 수는 최대 7개인데, 중도 공장에서 CSF로 차량을 이송시키는데 1개가 필요하므로 CSF 내에 설치 가능한 수는 최대 6개이다. 따라서 총 6개 이내의 컨베이어를 중형과 대형에 각각 몇 개씩 배분할 것인지를 결정해야 한다.

본 연구에서는 중형용과 대형용 CSF 컨베이어의 수를 각각 2개부터 4개까지 변경하면서 Fig. 6의 TO-BE 모델로 시뮬레이션하여, 컨베이어의 적정 개수를 구하고자 하였다. 이 시뮬레이션을 통해 다양한 경우의 컨베이어 수에 따른 그룹화율을 구한 결과가 Table 6에 나타나 있다. Table 6에서 C_M 과 C_L 은 각각 중형 및 대형의 컨베이어 수이다.

Table 6으로부터 중형 및 대형의 경우 모두 컨베이어 개수가 증가함에 따라 그룹화율이 증가하지만 3개 이상이 되면 더 이상 증가하지 않음을 확인할 수 있

Table 6. 컨베이어 수에 따른 그룹화율 비교

C_M	그룹화율	C_L	그룹화율
0	1.19	0	1.09
2	1.66	2	1.18
3	1.90	3	1.21
4	1.90	4	1.21

다. CSF를 도입하는 목적이 그룹화율을 높여 노즐의 세정 횟수를 줄이고자 하는 것이므로, 중형용 컨베이어와 대형용 컨베이어를 모두 3개씩으로 결정하였기로 인해 그룹화율은 중형의 경우 1.19에서 1.90으로, 대형의 경우 1.09에서 1.21로 증가하게 된다.

이와 같이 중형용 컨베이어 3개, 대형용 컨베이어 3개를 설치하는 것이 적절한 선택임을 재차 확인하기 위하여, 시뮬레이션을 통해 다양한 컨베이어 개수에 대한 총생산량과 세정비용을 산출하여 비교해 보았다. 이러한 비교 결과가 Table 7에 나타나 있다. 상기한 컨베이어 개수의 경우(즉, $C_M=C_L=3$), 연간 생산량이 최대가 되고 연간 세정비용도 최소가 되어 최적의 컨베이어 개수임을 확인할 수 있다.

Table 7. 연간 세정비용 및 생산량 비교

C_M	C_L	연간 세정비용(원)	연간 생산량(대)
0	0	₩ 317,712,667	20807
2	2	₩ 258,608,025	20845
3	2	₩ 243,104,728	20845
4	2	₩ 242,543,526	20845
2	3	₩ 249,044,534	20858
3	3	₩ 239,759,722	20861
2	4	₩ 246,985,978	20846

4.4 CSF 시스템의 인입/인출 알고리즘 개선 방향

상기한 바와 같이 CSF의 인입 및 인출 알고리즘은 우선 승용차 도장공장에서 사용되는 것을 적용하였으나, 이는 다양한 색상을 요구하는 버스 도장공장에 부적합하다. 기존의 승용차용 CSF의 인입 및 인출 알고리즘은 대기하고 있는 차량 중 첫 1대의 색상만을 고려하여 차량의 이송 방향을 결정하도록 되어 있다. 다양한 색상을 요구하는 버스 도장공장에 이 알고리즘을 적용하면 컬러 그룹핑 작업이 효과를 내기 어렵다. 이와 같은 문제점을 해결하고 그룹화율을 향상시키기 위해, 대기 중인 차량 중 여러 대의 도색 색상을 고려하도록 알고리즘의 적용범위를 확장하였다(Fig. 8).

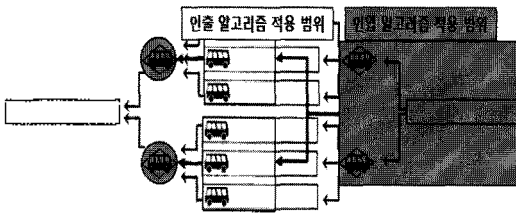


Fig. 8. 인입/인출 알고리즘 개선 방향.

4.5 CSF의 인입 알고리즘 개선

먼저, 대기 중인 차량 중 몇 대까지의 색상을 고려할 지를 판단해야 하는데, 이를 위해 아래와 같이 확률론적인 방법을 사용하였다. 우선 Table 1에 표시된 모든 종류의 차량의 빈도를 토대로 한 랜덤 추출법으로, CSF 인입을 위해 대기 중인 차량 배열을 중형과 대형 각각 100대씩 생성하였다. 즉, 100대의 차량을 랜덤으로 생성하였다. 이렇게 생성된 랜덤 배열로부터 동일한 색상의 차량이 몇 대 간격으로 나타나는지를 분석함으로써 인입 알고리즘에서 고려할 차량의 대수를 결정하고자 한다.

생성된 중형차량의 랜덤배열에서 M1, M4, M5 (Table 1에서 빈도가 가장 높은 세 종류) 차량 각각이 몇 대 간격으로 출현하는 지를 파악하였고, 랜덤추출을 20회 반복하여 이 과정을 반복한 후 평균값을 구한 것이 Fig. 9에 나타나 있다. 즉, 100대의 차량배열에서 M1 차량이 앞뒤로 붙어 나타나는 경우의 수가 평균 9.5회, 한 대 건너 나타나는 경우의 수가 평균 5.8회 등임을 의미한다. Fig. 10은 대형 차량에 대한 결과로서, 빈도가 가장 높은 L2, L9, L17을 기준으로 한 것이다. Fig. 9와 Fig. 10을 비교해 보면, 대형 차

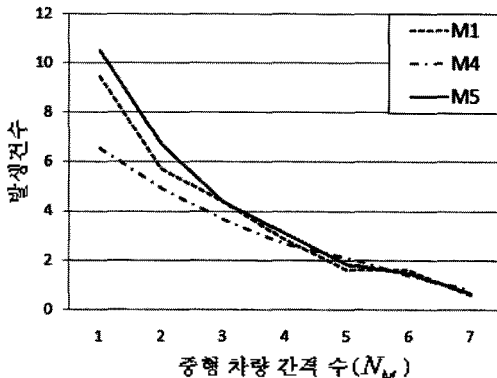


Fig. 9. 중형 차량 랜덤 추출 결과.

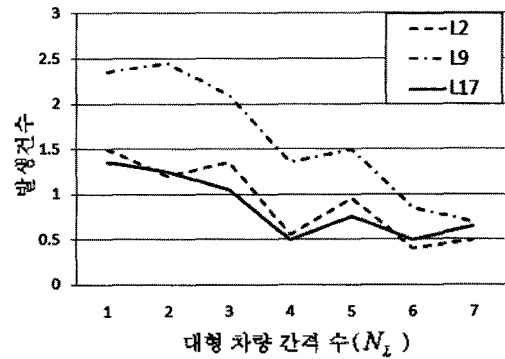


Fig. 10. 대형 차량 랜덤 추출 결과.

량의 경우 동일색상의 차량이 반복되는 건수가 현저히 작을 때, 이는 대형 차량의 종류가 중형 차량의 종류보다 훨씬 많고 상위빈도의 차량이 차지하는 비중이 낮아 L2, L9, L17 차량이 반복되는 경우가 훨씬 적기 때문이다. 이제 인입 알고리즘에서 고려할 대기열의 차량 대수를 결정하고자 한다. 물론 가급적 많은 차량의 색상을 고려하여, 이들을 그룹핑함으로써 CSF의 각 레인에 같은 색상의 차량이 많이 연속해서 인입되도록 하는 것이 좋다. 그러나 4.3절에서 컨베이어수를 중형과 대형 각각 3개씩으로 결정하였으므로, 대기열에서 많은 차량을 고려하더라도 동일색상끼리 그룹핑하는 데는 한계가 있다. 예를 들면, 어느 한 컨베이어의 마지막에 있는 차량과 동일한 색상의 차량이 대기열의 10 번째에 있음을 알게 된 경우, 그 앞에 있는 9대의 차량을 무조건 나머지 2개의 컨베이어 레인에 투입해야 하고 이로 인해 그룹화율이 오히려 크게 떨어지게 된다. 따라서 대기열에서 고려하는 차량의 수를 너무 크게 할 수 없고, 컨베이어 라인 수와 같은 3개 또는 그보다 조금 큰 정도로 하는 것이 적절함을 알 수 있다.

이와 같은 제약조건을 고려하면서 Fig. 9와 Fig. 10으로부터 대기열에서 고려할 차량의 수를 아래와 같이 결정하였다. 대형 차량의 경우(Fig. 10)에는 앞에서 언급한 바와 같이 차량의 종류가 너무 많아 CSF를 적용하여 그룹화율을 높이는 것이 그다지 효과적이지 않으므로 컨베이어 개수와 같은 3대로 결정하였다. 한편 중형 차량의 경우(Fig. 9)에는 CSF의 적용 효과가 상대적으로 클 것이므로 대기열에서 고려할 차량의 수를 6대로 결정하였다. 이는 물론 컨베이어 라인 수인 3보다 크므로, 대기열의 동일색상 차량 사이에 있는 차량들을 임시로 저장할 수 있는 버

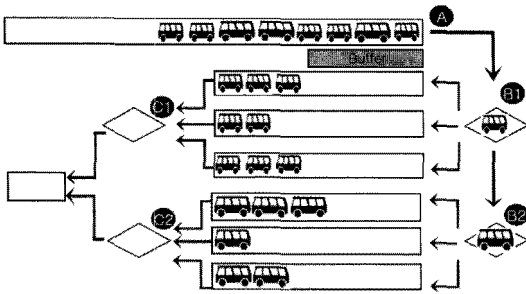


Fig. 11. 개선된 CSF 시스템의 구조.

퍼(buffer)를 3개 설치해야 한다. 이와 같이 결정된 대기열 고려차량 대수(중형 6대, 대형 3대)는 어느 정도 임의적인 것이므로 사용자가 필요에 따라 적절히 조정할 수 있다. 이제 확정된 수의 컨베이어 레인과 버퍼를 포함시킨 CSF 시스템의 구조 개요도를 Fig. 11에 보였다.

이와 같이 대기열에 있는 차량들의 색상을 고려하여 개선된 인입 알고리즘은 Fig. 12(대형 차량) 및 Fig. 13(중형 차량)의 흐름도와 같다. 모든 알고리즘은 대기차량(중형의 경우 B1 지점, 대형의 경우 B2 지점)에 있는 차량의 색상을 고려하는 것으로부터 시작되며, 컨베이어 시스템에 한 대의 차량이 인입되는 것까지를 하나의 사이클로 생각하였다. 여기서, 중형의 경우에는 인입되는 차량이 대기차량일 수도 있고 버퍼에 있던 차량일 수도 있다. 이와 같이 한 대의 차량이 인입되고 나면, 알고리즘의 처음으로 돌아가 새로운 사이클이 시작된다. Fig. 12와 Fig. 13의 알고리즘은 복잡해 보이지만 앞에서 설명한 내용을 논리적으로 정리한 것에 불과하고, 지면상 다음과 같이 간단하게 설명하기로 한다.

먼저 Fig. 12에 보인 대형 차량의 인입 알고리즘을 살펴본다. 일반적인 승용차 인입 알고리즘(4.2절)과 비교하면, 대기 차량과 같은 색상이 각 레인의 마지막에 없는 경우 대기열에서 3대의 차량 색상을 확인한다는 것이 크게 다르다(Fig. 12의 (4.2)). 레인의 마지막 차량과 동일한 색상이 대기열에 있는 경우, 대기차량(B2)을 같은 색상이 없는 레인으로 인입함으로써, 다음 사이클에서 뒤에 입고되는 차량을 같은 색상이 있는 레인으로 인입시킬 수 있다.

Fig. 13의 중형 차량 인입 알고리즘 중 몇 가지 케이스를 먼저 살펴본다. 대기차량(B1)과 색상이 일치하는 차량이 각 레인의 마지막에 없는 경우, 대기열에서 대기하고 있는 차량까지 총 6대의 중형 차량 색상을 확인한다. 각 레인의 마지막 차량과 색상이 일치하

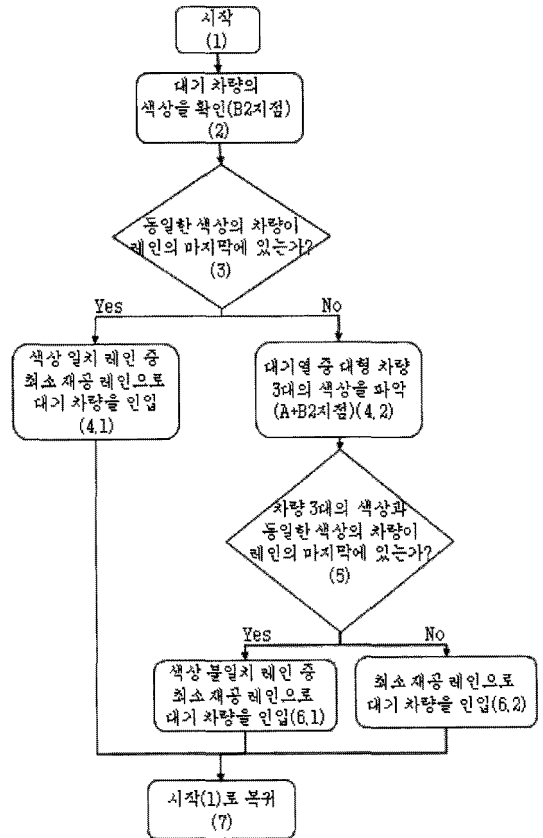


Fig. 12. 대형 차량 인입 알고리즘 흐름도.

는 차량이 6대의 대기열에 3종류만큼 있는 경우는 각 레인의 마지막 차량의 색상과 뒤이어 입고되는 차량의 색상이 일치하는 경우이므로 대기차량(B1)을 버퍼로 이송시켜야 한다. 이때 버퍼에 빈 공간이 없을 수 있고, 그 경우를 고려하여 Fig. 13의 (7.2)이하의 과정을 적용하였다.

대기열에서 색상일치 차량의 종류가 3종류 미만인 경우에는 색상이 불일치하는 레인으로 대기차량을 입고시킬 수 있다. 그러나 버퍼의 재공 대수를 줄이는 것이 원활한 프로세스 수행에 도움이 되므로 버퍼의 차량을 먼저 Fig. 13의 (11.2) 이하의 프로세스를 통해 이송시킨다.

4.6 CSF의 인출 알고리즘 개선

인출 알고리즘은 인입 알고리즘에 의해 그룹화 되어 있는 CSF 컨베이어 레인의 대기 차량을 인출함에 있어서, 다시 한 번 여러 레인의 차량의 색상을 고려하여 그룹화 효과를 증대시키는 역할을 해야 한다. 본

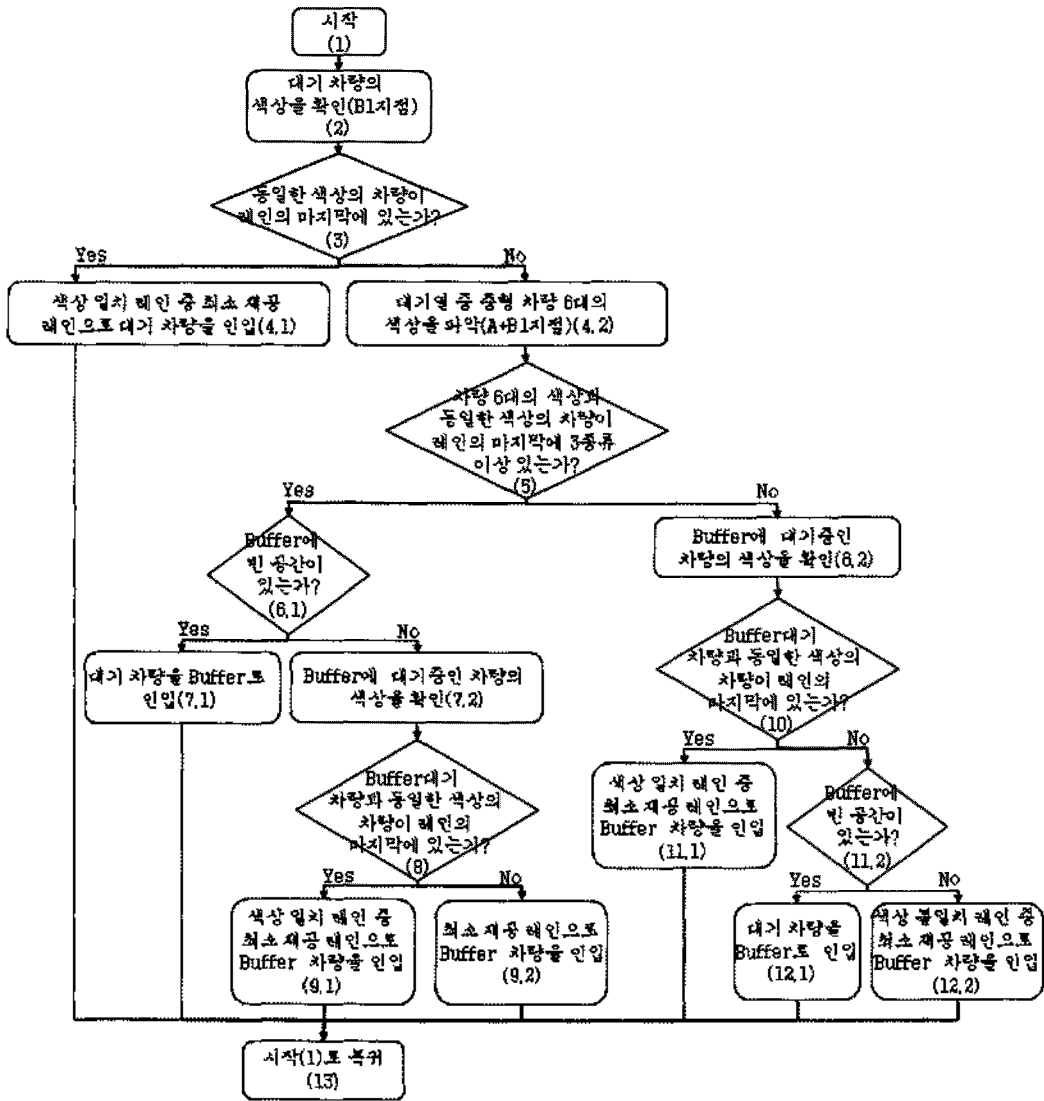


Fig. 13. 중형 차량 인입 알고리즘 흐름도.

연구에서는 이를 위해, 기존 인출 알고리즘에서 각 레인의 첫 번째 차량만을 고려하는 점을 개선하여 두 번째 차량까지를 고려하도록 수정하였다. 개선된 인출 알고리즘은 중형과 대형에 동일하게 적용되었으며, 그 흐름도는 Fig. 14와 같다.

4.7 시뮬레이션 결과 및 개선 효과

CSF 시스템을 도입하고 인입 및 인출 알고리즘을 개선한 효과를 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였고 그 결과를 Table 8에 정리하였다. Table 8에는 기존 도장공장 시스템인 AS-IS 모델, 승용차의 CSF 사

스템을 적용한 TO-BE 모델, 인입 알고리즘을 개선한 TO-BE 모델, 인입 및 인출 알고리즘을 모두 개선한 TO-BE 모델에 대해 중형 및 대형 각각의 그룹화율, 세정비용을 보였고, 중형과 대형을 합한 연간생산량 및 연간 총 세정비용을 비교하였다.

Table 8에서 그룹화율을 비교해보면 인입 알고리즘 수정 후 중형 부스의 그룹화율은 0.22만큼 향상되었고 인출 알고리즘을 수정하면서 0.07만큼 더 향상된 것을 알 수 있다. 또한 대형 부스의 경우에는 인입 알고리즘 수정에 따라 그룹화율이 0.03만큼 향상되었고 인출 알고리즘까지 수정하면서 0.02만큼 더 향

5. 결 론

소비자의 다양한 색상 요구에 따라 버스 도장공장의 프로세스가 점점 복잡해지고 있다. 이에 따른 대표적인 문제는 도색 색상의 변경 횟수가 증가함에 따라 스프레이 노즐의 세정비용과 셋팅시간이 추가로 소요되고 생산량이 감소한다는 것이다.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 CSF(Color Selection Field) 시스템을 도입해 보았다. CSF 시스템은 도색하려는 색상에 따라 차량의 그룹화를 향상시키기 위해 상도 도장공장 앞에 설치하는 일종의 컨베이어 시스템이다. 그룹화율이 증가되면 색상변경 횟수가 감소되어 상기한 문제의 해결에 도움을 줄 수 있다.

이를 위해 먼저 승용차 공장에서 사용하고 있는 CSF 시스템을 그대로 도입하는 경우의 개선 효과를 살펴보기 위해, 디지털 매뉴팩처링 기법인 풀류 시뮬레이션을 수행하였다. 이 경우 그룹화율이 일부 개선되었으나, 승용차에 비해 다양한 색상을 사용하는 버스의 경우에는 개선의 여지가 있었다. 따라서 CSF 시스템에 차량을 인입하는 인입 알고리즘과 CSF 시스템으로부터 차량을 출고하여 상도공장에 투입하는 인출 알고리즘을 개선하여 보았다. 이를 위해 다양한 경우를 고려한 논리 흐름도를 개발하였고 이를 프로그래밍하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과, 본 연구에서 대상으로 한 국내 A자동차회사의 버스 도장공장의 경우, 연간 약 80대의 생산량 증대와 약 1억원 정도의 세정비용 절감 효과를 예측할 수 있었다. 생산량 증대 효과는 연간 총생산량에 비해 미미하지만 세정비용의 절감은 총 세정비용의 30%에 달한다.

CSF 시스템을 적용하기 위해서는 생산 라인의 중도와 상도 사이에 CSF를 신설하여야 하므로 초기 투자비용과 유지보수 비용이 발생한다. 버스 도장 라인에 흔히 사용되는 체인 컨베이어의 시장 가격을 조사하여 추정한 결과, 본 연구에서 제안하는 CSF 시스템

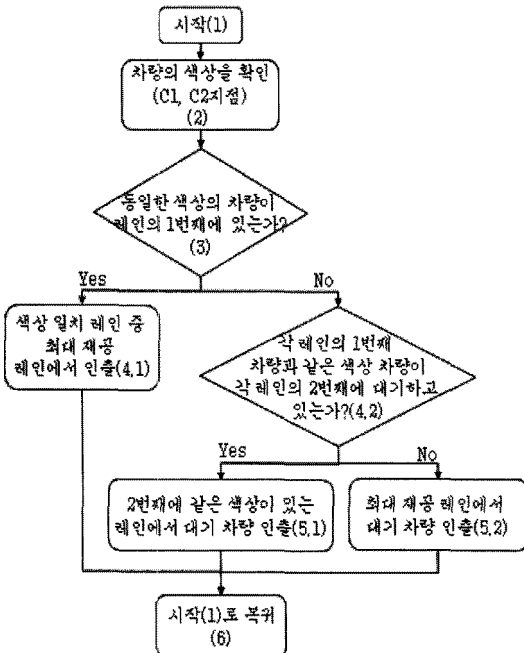


Fig. 14. 증형 및 대형 차량 인출 알고리즘 흐름도.

상되었다.

즉, 전형적인 인입/인출 알고리즘을 적용한 CSF 시스템에 비해 대기 차량의 배열을 고려하기 위해 적용 범위를 확대한 인입/인출 알고리즘이 버스 도장공장의 그룹화율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 향상된 그룹화율이 총 세정비용과 총 생산량에도 당연히 영향을 미친 것을 Table 8에서 알 수 있다. 그룹화율의 증대로 인하여 세정비용이 점차 감소하여 최종적으로 약 30%의 비용이 감소되었고 생산량이 연간 약 80대 정도 증가하였다. 세정비용의 감소에 비하면 생산량의 증대는 그리 크지 않은데, 이는 스프레이 공정의 총 사이클 타임에서 노즐을 세정하는 세팅 시간이 차지하는 비중이 크지 않기 때문이다.

Table 8. 시뮬레이션 종합 결과

구분	항목	AS-IS	CSF 신설	인입알고리즘 수정	인출알고리즘 수정
중형	그룹화율	1.19	1.90	2.12	2.19
	세정비용(원)	₩ 170,831,933	₩ 107,189,474	₩ 96,212,264	₩ 92,899,543
대형	그룹화율	1.09	1.21	1.24	1.26
	세정비용(원)	₩ 146,880,734	₩ 132,570,248	₩ 129,540,323	₩ 127,515,873
전체 (중형+대형)	생산량(대/년)	20807	20861	20882	20889
	세정비용(원)	₩ 317,712,667	₩ 239,759,722	₩ 225,752,587	₩ 220,415,416

의 초기 구축비용은 약 4억원 정도로 예상된다. 따라서 유지보수 비용을 무시하는 경우, 연간 1억원 정도의 세정비용 절감 효과가 경제적인 이득으로 나타나기까지 4년 정도가 소요될 것으로 예상할 수 있다. 그리고 이와 같은 경제적 이득 이외에도 최근 부각되고 있는 청정생산의 관점에서도 큰 효과가 있을 것이다. 또한, 고객의 다양한 색상에 대한 수요가 계속 증가하는 추세이므로, 향후 제안된 시스템의 의미는 더 커질 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. 노상도, 신종계, 지해성, 임현준, "CAD 디지털 가상생산과 PLM", 시그마프레스, pp. 19-23, 2006.
2. Jayaraman, A., Narayanaswamy, R. and Gunal, A. K., "A Sortation System Model", *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, pp. 866-

871, 1997.

3. 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", *Journal of the Korean Production and Operation Management Society*, Vol. 7, No. 3, pp. 67-96, 1996.
4. Kim, Y. M. and Seo, Y. H., "Model Grouping in a Mixed-Model Assembly Line", *IE Interfaces of the Korean Production and Operation Management Society*, Vol. 9, No. 2, pp. 39-45, 1996.
5. 박해규, 최원준, 신현호, "자동차 도장공장의 Color Selection 시스템의 자동화", 대한 산업 공학회 IE Interfaces, 제9권, 제2호, pp. 2019-2037, 1996.
6. 문덕희, 김하석, 송 성, 김경완, "자동차 도장공장의 Color Rescheduling Storage 설치를 위한 시뮬레이션 분석", 대한 산업 공학회 IE Interfaces, 제16권, 제2호, pp. 211-221, 2003.
7. 문덕희, "자동차 공장에서 CRS와 PBS의 전용 라인 설치에 관한 시뮬레이션 연구", 한국 시뮬레이션 학회 춘계학술대회 논문집, pp. 77-82, 2004.
8. Groover, M. P., "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing", Prentice Hall, New York, pp. 21-54, 2007.



박 세 원

2008년 홍익대학교 기계시스템디자인 공학과 졸업
2008년~현재 홍익대학교 기계공학과 석사과정
관심분야: CAD/CAE, Product Data Management, 시뮬레이션, 이산 사건모델링



임 현 준

1984년 서울대학교 공과대학 기계 공학과 학사
1986년 서울대학교 대학원 기계설계 학과 석사
1993년 미국 MIT 대학원 기계공학과 박사
1993년~1995년 미국 MIT 공과대학 기계공학과 Lecturer
1995년~현재 홍익대학교 기계공학과 교수
관심분야: Digital Manufacturing, Tolerance Design, Ultrasonics