

시뮬레이션을 이용한 자동차 부품 공급 시스템 도입 방안 분석: R자동차 사례*

강명훈

부산대학교 경영대학원 박사과정, 제1저자

곽춘중

부산대학교 경영대학원 부교수, 교신저자

논문접수일 2014년 4월 2일; 게재확정일 2014년 4월 16일

요 약

본 논문은 R자동차 공장 사례를 통해 공장 내 물류 개선 방안을 연구하고자 한다. 즉, 유인 견인차로 공급되던 도어 조립체, 후드 조립체, 트렁크 조립체를 AGV를 이용하여 공급하기 위해 무인공급시스템으로의 전환 타당성을 검토한다. 검토 수단으로는 Witness 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 적용한다. 본 실험에서는 우선 AGV의 적정 필요 대수를 산출한다. 또한 AGV 전용 도로를 왕복 1차선으로 적용하는 가능성을 확인한다. 마지막으로 무인공급시스템의 투자타당성 분석을 통해 무인공급시스템으로의 전환이 타당함을 보인다.

핵심주제어 : 공장 물류, AGV, 시뮬레이션

* 본 논문은 한국연구재단과 아태경상저널에서 정한 윤리규정을 준수함.

Simulation Analysis of A Logistics System for Automobile Parts: A Case Study of A Car Manufacturer*

Kang, Myung Hoon

Doctoral Student, Department of Business Administration, Pusan National University

Kwak, Choon Jong

Professor, Department of Business Administration, Pusan National University

Received 2 April 2014; Accepted 16 April 2014

Abstract

This research studies an alternative plan to improve the material flow between two production lines through a case of R motors. That is, this paper investigates the effectiveness of changing manned tow trucks into an unmanned logistics system based on AGVs (Automated Guided Vehicles) to move door, hood, and trunk assemblies. Witness is adopted for this simulation study. The experiment first determines the optimal number of AGVs. In addition, the use of a single line is tested for AGVs. Finally, this research shows that the investment on the unmanned logistics system is effective.

Keyword : Material Handling Systems, Automated Guided Vehicles, Simulation

* This paper complies with the ethical codes set by NRF and AJBC.

1. 서론

최근 완성차 업체들은 치열한 국제 경쟁 시대에 생존하기 위하여 원가 절감, 개발 기간 단축, 품질 향상 등을 통한 제품의 경쟁력 강화에 사활을 걸고 있다. 생산성 향상, 원가 절감이 자동차 업계의 화두로 떠오른 것은 오래 전 이야기이지만 R자동차의 경우 2010년 말부터 시작된 판매량 급락으로 인해 전사적인 화두로 다시 떠오르고 있으며 특히 생산성 향상은 CEO가 직접 진두 지휘할 정도로 전사에서 가장 중요한 부분으로 여겨지고 있다.

AGV(Automated Guided Vehicle)는 특정 작업장에서 처리된 자재를 적재하여, 적재한 자재를 필요로 하는 작업장으로 이동한 뒤 하역시키는 역할을 담당한다 (이재용, 서운호 2008). AGV 시스템은 생산시스템의 유연성과 효율성을 동시에 만족시킬 수 있는 자체취급시스템이다 (Taghaboni-Dutta and Tanchoco 1995, 김재연, 김갑환 1999, 이경재, 서운호 2008). 따라서, AGV 시스템은 전체 생산 시스템의 성능을 향상시키는 매우 중요한 요인이다. 특히, 고정 비용이 소요되는 인건비는 원가를 상승시켜 가격 경쟁력을 약화시키는 주요 원인이므로, 무인 공급을 통해 물류 인력을 감축시킬 수 있다는 것은 AGV의 매우 큰 장점이다.

본 연구에서는 생산성 향상의 일환으로 생산 물류의 효율을 높이는 방안을 검토하고자 한다. 특히, 자동차 부품 중 MIP (Manufactured in Plant)로 생산 중인 도어 조립체, 후드 조립체, 트렁크 조립체를 대상으로 AGV(Automated Guided Vehicle)를 이용한 무인 공급시스템 적용 가능성을 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 적용하여 분석하고자 한다.

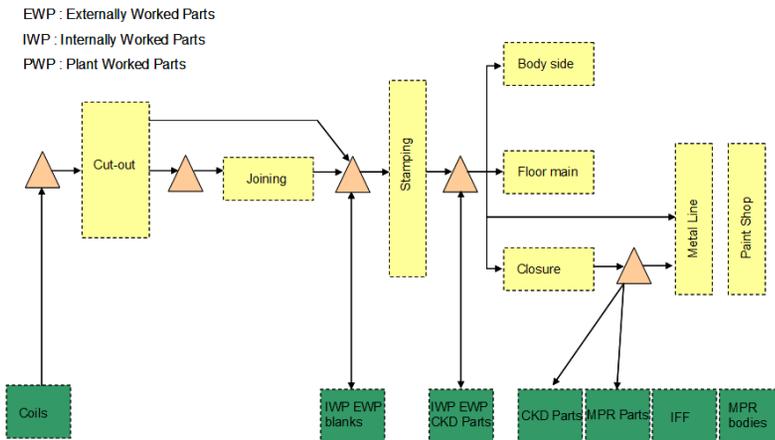
2. 사례 설명 및 문제 정의

R자동차는 하나의 차체 및 조립 라인에서 4-6차종을 생산하는 탄력적인 생산방식을 가진 회사이다. 연간 최대 30만대의 생산 규모를 가지고 있으며, 소형차에서 대형차, 심지어는 SUV까지 동시에 생산 가능한 라인을 구축 운영하고 있다. 2013년 현재, 5가지 차종을 생산하고 있다.

R자동차의 주 생산 흐름은 크게 4개의 공장 순으로 이루어져 있다: 스탬핑 공장 (Stamping shop), 차체 공장(Body shop), 도장 공장(Paint shop), 조립 공장 (Trim & Chassis shop). 먼저, 스탬핑 공장에서는 자동차 외판 및 보강판을 생산하여 차체 공장으로 공급한다. 차체 공장에서는 약 300-400개의 철판을 조립 치구를 이용, 용접하여 차의 외판 형상을 구성하고, 각종 부품을 부착하기 위한 뼈대 역할을 하는 BIW(Body In White)를 만들어 WBS(White Body Storage)로 보내며 WBS에서 다시 도장 공장으로 공급한다. 도장 공장에서는 방청을 목적으로 한 전처리, 전착 공정과 미관을 목적으로 한 중도 및

상도 공정을 거쳐 차체를 PBS(Painted Body Storage)로 보내 대기시킨다. PBS에서 대기하고 있는 차체는 조립 공장의 생산성을 극대화하는 순서로 조립공장에 투입된다. 조립 공장에 투입된 차체는 TRIM, CHASSIS, FINAL, OK 라인을 거치며, 각종 기능품의 부착 및 조립이 대부분 수작업으로 이루어지고, 검차 라인을 거쳐 최종 완성된다.

이러한 공정 중에서 본 연구가 다루게 될 부분은 차체 공장(Body shop)이다. 차체 공장 내에서는 각 하부 라인에서 공급된 차옆면 조립체(body side assembly), 본체바닥 조립체(floor main assembly), 엔진함 조립체(engine compartment assembly) 등을 자동화 된 점용접(spot welding) 공정을 거쳐 한 덩어리의 차체로 만들게 된다. 이 차체에 도어 조립체, 후드 조립체, 트렁크 조립체를 조립하기 위하여 특정 라인으로 필요한 모든 부품을 공급하는데, 이 라인을 메탈 라인(metal line)이라 한다. 부품 공장 무빙라인(moving line)에서 생산된 도어 조립체, 후드 조립체, 트렁크 조립체는 보통 내판과 외판을 용접하여 생산되며, 부품의 특성상 공용라인이 아닌 전용라인에서 생산된다. 본 연구는 차체 공장에서 만들어지는 무빙 부품 조립체(moving part assembly)를 메탈 라인으로 효율적으로 공급하는 방안을 검토 한다. 공급은 로트 공급방식을 따르며, 메탈 라인의 재고 현황을 전산망을 통해 확인 후 공급하게 된다. <그림 1>은 R자동차의 스탬핑 공장과 차체 공장에서의 물자의 흐름을 나타낸 것이다.



<그림 1> 스탬핑 공장과 차체 공장에서의 물자의 흐름

R자동차는 최초에 최대 3가지 차종을 생산하는 기준으로 설계된 공장 구성으로 인해, 추가 차종 생산을 위해 다소 불합리한 라인 배치를 가지고 있다. 가장 대표적인 사례는 무빙라인과 메탈라인이 멀리 떨어져 있는 문제이다. 최초에는 무빙라인이 차체 공장 내에서 생산되어 메탈라인까지 아주 근접한 위치에 있었으므로 적은 물류 인원으로 부품 공급이 가능하였다. 그러나, 생산 차종의 증가로 인해 생산해야 할 무빙부품의 종

류도 증가하게 되었고, 차체 공장 내의 공간 부족으로 인해 모든 무빙라인을 차체 공장 내에 설치할 수 없게 됨에 따라, 다소 원거리에 위치한 부품 공장으로 무빙부품 라인을 이전하게 되었다. 이는 기존 시설을 활용하는 점에서 투자비를 최소화하는 아이디어였지만, 물류적인 측면에서는 과히 좋은 방안은 아니었다. 왜냐하면 최대 64 UPH (unit per hour)로 생산되는 자동차 생산 공장에서 가장 큰 부품 군에 속하는 무빙부품을 왕복 800m 거리를 이동하여 공급하기 위해서는 2 shift 운영 기준 6명 (주간 3명, 야간 3명)의 인원이 필요하며 운송 수단으로 전동차 3대가 필요하기 때문이다. 이를 연간 비용으로 계산해 보면 아래와 같다:

- 인건비(정규직 기준) : 65 백만원/년 (평균급여 기준) * 6명 = 390 백만원/년
- 운송장비 임대료: 7.2 백만원/년 (전동차 기준, 배터리 포함) * 3대 = 21.6 백만원/년
- 합계: 411.6 백만원/년
- 대당 물류비: 1,715원/대(24 만대/년 생산 기준)

본 연구에서는 공장내 물류를 개선하기 위한 방안으로 유인(有人) 견인차로 공급하던 도어 조립체, 후드 조립체, 트렁크 조립체를 AGV(Automated Guided Vehicle)를 이용하여 공급하기 위하여 무인공급시스템의 도입 가능성을 검토한다. AGV의 동력 성능 및 견인 능력은 유인 견인차와 동일하게 개발된다. R자동차에서 고려하는 AGV는 바퀴 달린 대차를 연결하여 이동 운반 구조가 복잡한 이송 화물을 운반 및 견인할 수 있는 야외 이동형 차량 형식의 AGV로 R자동차에서 자체 개발하여 외부 구매 대비 많은 투자비를 절감할 수 있다. 각 견인차는 한번에 대차 3개를 견인하며, 한 대차는 후드 8개, 트렁크 8개, 도어 10개를 적재할 수 있다.

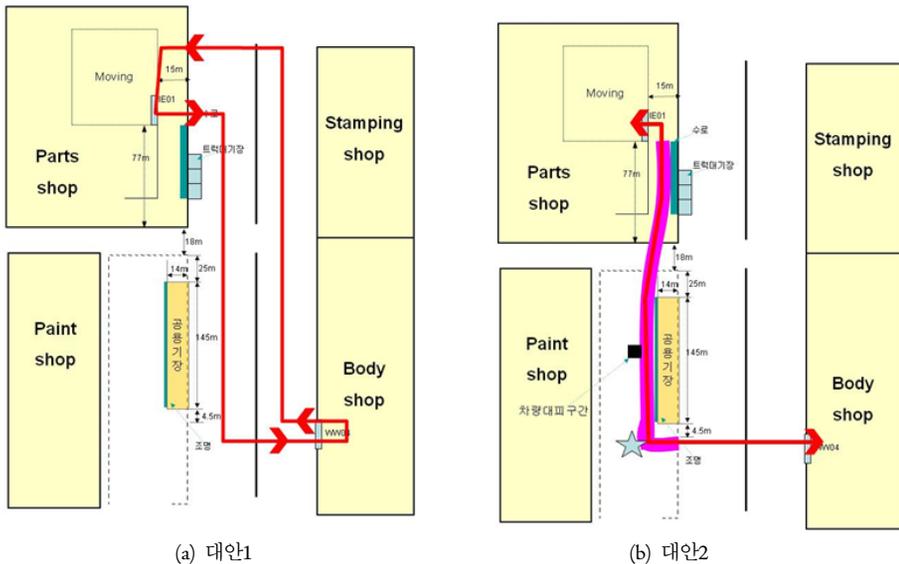
3. 대안 결정

본 연구에서 다루는 첫 번째 문제는 최적의 이동 동선을 결정하는 것이다. 이동 구간은 부품 공장내 무빙부품 적재장에서 차체 공장 메탈 라인까지 왕복 약 800m 정도의 거리이며, 트럭, 지게차 및 견인차 등의 다른 운송 수단이 빈번히 움직이는 구간으로 트럭에서 부품의 상하차를 위해 다른 운송 수단의 대기가 많이 발생하는 지역이다.

검토해야 할 변수는 최단 거리, 안전, 타 이동 차량과의 간섭, 투자비 등이다. 유관 부서와의 사전 검토를 통해, 최종 대안으로 기존의 동선을 유지하는 안과 기존 동선 옆에 별도의 전용 도로를 건설하는 안의 2가지를 <그림 2>와 같이 선정하였다. 대안1은 견인차와 동일한 동선을 유지하는 안으로 최단 거리 유지 및 투자비 최소화 부분에서 우세한 안으로 평가된다. 대안2는 배후 부지에 전용 도로를 건설하는 안으로 안전 문제

최소화 및 타 이동 차량의 간섭 최소화에서 우세한 안으로 평가된다.

- 대안1: 차체 공장과 부품 공장 사이에 있는 4차선 왕복 도로를 사용하는 안으로 차체 공장에 필요한 부품을 공급하는 납품 차량의 빈번한 이동이 있다. 그러나, 기존 도로를 사용하므로, 도로 확보에 들어가는 추가적인 투자비는 없다.
- 대안2: 차체 공장 맞은편에 있는 공용기 보관장 뒤에 AGV 전용도로를 건설하는 안이다. 공용기 보관장 뒤편은 비포장 상태이므로, AGV 이동을 위해 필요한 포장도로 투자비가 발생한다. 그러나, AGV 전용 도로이므로, 다른 납품 차량이나 운반 차량의 간섭을 최소화하여 안전 문제를 최소화한다는 장점이 있다.

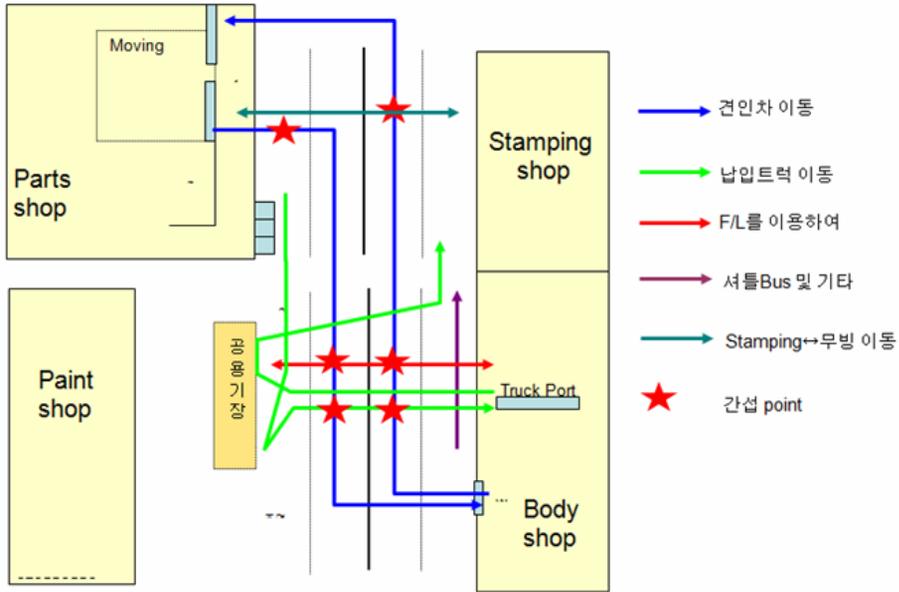


<그림 2> 이동 동선 대안 비교

대안1은 투자비 절감 효과가 있으나, <그림 3>에서 보듯이 기존 공급 동선을 유지할 경우 다른 차량과의 간섭 포인트가 총 6군데 발생하는 것으로 분석되었다. R자동차에서는 결국 관리진의 의사 결정을 통하여 다소 투자비가 발생하더라도 안전과 효율성을 우선하기로 하고 최종적으로 대안2를 선택하였다.

다만, 토목공사 투자비를 최소화하기 위하여 대안2에 대하여 왕복 1차선 전용도로를 적용하는 것을 고려하였다. 통상적으로 AGV를 설치할 경우 왕복 2차로를 적용하여 오고 가는 AGV간의 충돌이나 간섭을 사전에 방지하는 것이 이상적이다. 그러나, 본 연구

에서는 예산상의 제약조건으로 인해 전용도로를 새로이 건설하되 필요한 토목공사 투자비를 최소화하기 위해 왕복 1차선 적용을 우선적으로 고려하기로 하였다. 이 경우, 오고 가는 AGV간의 충돌을 방지하기 위하여 노선 중간에 대기장을 두어 해당 구간에 먼저 진입한 AGV가 지나갈 때까지 대기하고 있다가 다음 AGV가 진입하게 된다.



〈그림 3〉 대안1의 간섭 포인트

4. 실험 결과 및 분석

4.1. 실험 조건

본 연구에서는 공장내 물류를 개선하기 위한 방안으로 유인(有人) 견인차로 공급되던 도어 조립체, 후드 조립체, 트렁크 조립체를 AGV를 이용하여 공급하는 무인공급시스템의 도입 방안을 검토한다. 검토 수단으로는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 채택한다 (Kim et al. 1999).

시중에는 ARENA, ProModel, FlexSim, Witness 등과 같은 다양한 시뮬레이션 소프트웨어가 존재한다 (Ruikar and Telsang 2013). 본 연구에서는 그 중에서도 Witness 시뮬레이션 소프트웨어를 선택하였다. Witness 소프트웨어는 영국의 Lanner Group이 개발한 VISM(Visual Interactive Simulation) 시스템이다 (Ruikar and Telsang 2013). Witness는 사용

자가 단순히 모델을 개발해서 사용하는 것 뿐 아니라 점진적인 단계로 모델을 구축하고 검증하는 유용한 도구를 제공한다.

본 실험에서는 먼저 AGV의 적정 필요 대수를 산출하는 것을 1차 목적으로 한다. AGV는 고가의 장비로서 시물레이션을 통해 적정 대수를 산출하는 것이 중요하다. 본 실험에서는 부가적으로 이동 동선 대안2를 실행하기 위해 왕복 1차전 적용이 가능한지 검토한다.

Witness 시물레이션에 필요한 자료 중에서 노선의 거리는 실제 운영될 노선을 기준으로 하여 실측하였으며, AGV의 속도는 AGV의 스펙과 안전을 감안하여 3.7km/hr 기준으로 하였다. 또한, AGV에서 부품 대차를 탈·부착하는데 소요되는 시간은 현재 전동차로 공급 시 소요되는 탈·부착 평균시간을 적용하였다. 대차 수량 또한 AGV의 견인 능력, 무빙부품의 시간당 소요량 등을 감안하여 회당 3대차로 하였다. 1일 작업 시간은 920분으로 결정하였다. 이는 1일 2 shifts(shift 당 8시간), 즉 960분/일에서 휴식시간 40분을 제외한 값이다.

기타 시물레이션 모델링에서 사용하는 생산조건은 아래와 같다.

- 사이클 타임: Max 64 UPH(unit per hour)
- 일일 생산대수(Unit per day) : Max 1180 대/일
- 가동율 : 97%
- 작업 일수 : 240 days/year

시물레이션 기초 자료로 사용할 일 평균 대차 수는 <표 1>에서 제시된 분석 시점 실제 평균 데이터를 이용하였다. <표 1>에서 제시된 R자동차의 차종 4는 차체 공장에서 바로 생산하여 공장간 물자의 이동이 없으므로 본 연구의 분석 대상이 아니다. 차종 5의 도어 조립체의 경우 외부 공급자가 생산하여 차체 공장으로 바로 납품하므로 역시 본 연구의 분석대상이 아니다. <표 1>에서 도어 조립체는 앞뒤좌우 4개가 한쌍이다.

AGV 무인공급시스템이 생산에 필요한 충분한 생산능력을 제공할 수 있는지 파악하기 위해서는 평균 필요 대차 수만 고려하는 것이 위험하므로 최대 생산 시 대차 수도 고려하는 것이 필요하다. 최대 생산시 필요 대차 수는 아래와 같이 산출하였다.

- 최대 생산 시 대차 수 = UPH * 근무시간 * 가동율 * 부품당 필요대차수량 = 64 UPH * 920min/60min * 97% * (1/8+1/8+4/10) = 595 대/일
- 무빙공장 필요대차수 = 최대 생산시 대차수 * (1 - 차종4 생산비율) = 595 * (1-0.17) = 493 대/일

〈표 1〉 평균 생산량 및 필요 대차수

차종	생산량/일	대차당 부품적립량			필요대차수/일			합계
		트렁크	후드	도어	트렁크	후드	도어	
1	203	8	10	10	25	20	81	126.6
2	304	8	10	10	38	30	121	189.8
3	32.8	8	10	10	4.1	3.3	13	20.5
4	229							
5	184	8	10		23	18		41.3
	952				90	72	216	378

4.2. 실험 결과

시물레이션 모델의 변수는 AGV 필요량으로 AGV 4대 사용시와 5대 사용시 2가지를 대안으로 놓고 공급 가능한 대차 수를 시물레이션하였다. 이동 동선은 왕복 1차선으로서 오고 가는 AGV들이 서로 만나지 않도록 필요 시에 대기장에서 기다리도록 설계하였다. 시물레이션 결과로 도출된 ‘공급 가능 대차 수’는 ‘일 필요 대차 수’와 비교하여 <표 2>에 제시하였다. ‘일 필요 대차 수’는 실제 데이터에 근거한 평균 378대/일와 최대 생산시의 493대/일 2가지를 사용하였다.

<표 2>의 분석 결과, AGV가 4대일 때의 ‘공급 가능 대차 수’는 507대로 평균 일 필요 대차 수인 378대보다는 충분히 크며, 최대 생산 시의 필요 대차 수인 493대보다는 다소 많다. 그러나, 최대 생산 시의 필요 대차 수 대 공급 가능 대차 수의 비율이 약 97.2%로 여유생산능력(capacity cushion)이 3%에도 미치지 못하여 충분한 생산능력을 제공하고 있지 못한 것으로 드러났다. 반면, AGV가 4대일 때의 AGV 대기 시간은 최대 생산 시의 필요 대차 수 기준 일 2.16분 정도로, AGV 대기 시간이 최소이며 이는 극히 효율적으로 AGV가 가동됨을 의미한다.

〈표 2〉 시물레이션 결과 분석

AGV 대수	필요대차수/일 (①)	공급가능대차 (②실험결과)	차이 (②-①)	비율	대기 시간	검토 결과
4	평균 378	507	129	75%	0.21 min	OK
	최대 493		14	97%	+ 1.95 min	NG
5	평균 378	555	177	68%	117 min	OK
	최대 493		62	89%	+ 157 min	OK

AGV가 5대인 경우, 공급 가능한 대차 수는 555대이며 최대 생산 시 필요 대차인 493 대보다 충분히 많다. 최대 생산 시의 필요 대차 수 대 공급 가능 대차 수의 비율은 약 89%이며, 이는 여유생산능력(capacity cushion)이 11%로 충분한 생산능력을 제공하는 것으로 분석된다. 반면, AGV 대기 시간은 최대 생산 시의 필요 대차 수 기준 274분으로도 상에서 상당한 정체 현상이 있음을 알 수 있다. 이는 AGV의 가동 효율은 다소 떨어짐을 의미하는 것이다. 그러나, 가동 효율보다 우선인 생산능력 확보 차원에서 AGV 적정 대수를 5대로 정하는 것이 타당하다.

4.3. 투자 타당성 분석

시뮬레이션 실험을 통하여 AGV 필요 대수와 왕복 1차선 전용도로 적용 가능성을 검증 하였다. 마지막 단계는 시뮬레이션 실험 결과를 바탕으로 AGV 무인공급시스템에 대한 투자 타당성을 검증하는 것이다. <표 3>은 투자 타당성 분석을 위해 필요한 비용 기초 자료를 나타낸다. 현재안은 AGV 무인공급시스템을 도입하기 전, 유인견인차로 공급하는 상황의 비용 내역이다. 반면, AGV 무인공급시스템 안은 시뮬레이션 실험 결과에 따라 5대를 배치하는 경우의 예상 비용 내역이다.

<표 3>을 이용한 비용 분석 결과는 <표 4>와 같다. Discount rate 은 12%이고 검토 기간은 7년으로, R자동차 내부 기준에 준하여 계산하였다. <표 4>의 (a)에서 제시된 현재안의 총 비용 2,881,200,000원을 현재가치(Net Present Value)로 환산한 비용은 2,104,000,000원이다. <표 4>의 (b)는 AGV 무인공급시스템을 도입할 경우의 총 비용을 나타낸다. AGV 투자비와 전용도로 투자비는 첫해에 초기투자비만 투입된다. 총 비용 1,094,800,000원을 현재가로 환산한 비용은 849,000,000원이다. 두기간의 현재가 차이는 약 1,255,000,000원으로, AGV 무인공급시스템안에 투자하는 것이 현재안에 비해 비용 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

<표 3> 투자 타당성 검증 기초 자료

	투자항목	수량	단가(백만원)	금액(백만원)	비고
현재	공급인력	6	65	390	
	전동차 임대료	3	7.2	21.6	배터리 포함
	합계			411.6	
AGV	AGV	5	15	75	부대장비 포함
	전용도로 건설	1	109.8	109.8	토목·전기 공사
	공급인력	2	65	130	정규직 기준
	합계			314.8	

〈표 4〉 비용 분석 (단위: 백만원)

대안	비용 내역	Year1	Year2	Year3	Year4	Year5	Year6	Year7	총합
현재	총비용	411.6	411.6	411.6	411.6	411.6	411.6	411.6	2,881.20
	AGV 투자비	75	0	0	0	0	0	0	75
	전용도로 투자비	109.8	0	0	0	0	0	0	109.8
	공급인력	130	130	130	130	130	130	130	910
	비용 합계	314.8	130	130	130	130	130	130	1,094.80

5. 결 론

현재 자동차 업계는 어느 때보다 치열한 경쟁 속에서 살아남기 위해 어떤 산업군보다도 치열한 원가 절감 노력을 기울이고 있다. 연구개발, 디자인, 생산, 마케팅, 영업 등 모든 부서에서 전사적 차원에서 원가 절감은 진행되고 있으며, 물류 또한 예외가 아니다. 그 중에서 물류는 다른 부분보다 원가 절감의 여지가 많은 곳으로 그 노력에 따라 자동차 생산 원가의 상당 부분을 절감할 수 있을 것으로 판단되어지고 있다.

본 연구에서는 무빙부품의 원거리 유인 공급을 witness를 이용하여 무인 공급으로 변경 가능한지 시물레이션 해 봄으로써 AGV 소요 대수 결정을 통한 물류 개선 방안을 제시하였다. 또한 AGV 전용 도로에 대한 왕복 1차선 적용 가능성을 확인하였다.

향후 다른 부품에 대해서도 시물레이션을 통한 분석으로 무인화 가능성 및 최적의 물류 동선과 물류 장비 적정 수량을 파악하여 물류 비용 절감을 통한 제품의 경쟁력 제고에 기여할 수 있다. 본 연구의 한계점으로는 컴퓨터 시물레이션 실험 및 투자 타당성 분석 과정에서 사용되는 여러 가지 입력 데이터에 대해서 다양한 값을 사용하지 못했다는 점을 들 수 있다. 향후 보다 다양한 상황 변화에 대해 실험이 이루어진다면 좀 더 강건한 결과를 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 김재연, 김갑환. (1999). 무인운반차 시스템에서의 유희차량 대기위치 결정방법에 대한 시물레이션 연구. *대한산업공학회지*, 25(4), 421 - 436.
- 이경재, 서운호. (2008). 일방향 AGV 시스템 설계를 위한 시물레이터 개발. *한국시물레이션학회 논문지*, 17(4), 133 - 142.

- 이재용, 서유희. (2008). 자재 취급 시스템을 위한 다중 에이전트 기반의 교착상태에 자유로운 AGV 시뮬레이터 개발. *한국시뮬레이션학회 논문지*, 17(2), 91 - 103.
- Kim, C. W., Tanchoco, J. M. A., & Koo, P. H. (1999). AGV dispatching based on workload balancing. *International Journal of Production Research*, 37(17), 4053 - 4066.
- Ruikar, N. V., & Telsang, M. T. (2013). Modeling and simulation of manufacturing performance using Witness. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR - JMCE)*, 5, 11 - 17.
- Taghaboni - Dutta, F., & Tanchoco, J. M. A. (1995). Comparison of dynamic routeing techniques for automated guided vehicle system. *International Journal of Production Research*, 33(10), 2653 - 2669.