

속도 추종 스페어 타이어 투입 시스템 개발

박흥석[#], 이규봉^{*}

Development of a synchronous automated system for inserting spare tire

Hong Seok Park[#], Gyu Bong Lee^{*}

ABSTRACT

With a great requirement of innovation caused by severe competition current companies are encouraged to improve bottleneck areas in production procedure. Specially a chassis line in which assembly processes are mainly carried out manually has the large potential to be automated. The putting of spare tire in trunk in chassis line is still dominated by free dropping method. Through that, parts in trunk such as luggage room lamp, jack and so on were damaged and the complaint of assembler in the next process was occurred due to physical strength. To eliminate these, the robot system was in this paper developed to place spare tire on the mounting hole in trunk. The movement of robot was synchronized with the velocity of chassis hanger.

With this automated system the productivity of the chassis line was increased from the benefits such as simplification of the system using only robot without the mechanically synchronized transport, inserting spare tire into the right position with robot, reduction of damaged parts and production of various type of car.

Key Words : Factory Automation(공장 자동화), Robot Teaching(작업교시), Layout design(Layout 설계)
Velocity Tracking System(속도 추종 시스템)

1. 서론

자동차 조립 공장은 차체라인-도장라인-샤시라인으로 구성된 주 라인과 주 라인에 필요한 부품을 공급하는 투입라인으로 크게 구성되어 있다. 자동차 제조분야에서 가공에 비해 낙후된 조립공정의 자동화에 관심이 고조되어 다양한 연구가 이루어지고 있다.¹⁻³ 자동차 조립라인에서 공정자동화를 위해서는 전형적인 3 차원 공간 위치/방향 및

오차 인식과 보정기능을 갖는 고기능 센서지원 지능형 로봇 시스템이 되어야 한다.⁴⁻⁶

자동차의 샤시 조립에는 많은 부분이 아직 사람의 수작업에 의존하고 있다. 그 이유로는 다른 조립제품에 비하여 부품수가 많고, 부품 중량과 크기가 크며, 형상이 복잡하고, 조립방향이 단일하지 않으며, 작업자의 안전 배려가 필요한 등의 여러 가지 문제들이 있다.

이러한 문제점들에도 불구하고 심해지는 경쟁력 때문에 이 분야의 자동화는 지속적으로 추구하고

· 접수일: 2005년 9월 30일; 게재승인일: 2006년 2월 10일

교신저자: 울산대학교 기계·자동차공학부

E-mail phosk@ulsan.ac.kr Tel. (052) 259-2294

* 한국생산기술연구원 디지털시스템 엔지니어링팀

있다. 자유 낙하방식의 기존 스페어타이어 투입 시스템은 트렁크 내의 주변 부품들을 파손시키고, 타이어의 투입 위치 산포로 후 공정에서 작업자가 제 위치에 고정하기 위하여 불합리한 자세로 무거운 물체를 핸들링 하기 때문에 작업자의 근골격계 질환 등을 유발시킨다. 이로 인해 작업자들의 불만이 고조 되고 있다. 이러한 불합리한 점들 때문에 노동 환경 악화, 생산성 저하 및 추가 수리비용 발생의 문제가 야기되고 있다. 이들을 해소하기 위해서는 스페어타이어 투입 공정을 분석하여 공정을 개선하고, 자동화 시스템 구축의 필요성이 절실히 요구 되고 있다. 따라서 본 논문에서 로봇에 의한 스페어타이어 투입 공정 시스템이 개발될 것이다. 유연성을 높이기 위해서 기존의 시스템들에서는 불가능한 다 차종 생산에 적합한 시스템이 되도록 하였다.

2. 개발 시스템의 특성

기존에 응용되고 있는 시스템들의 문제점들과 단점들을 보완할 수 있는 시스템들을 개발 하고자 하였다. 이를 위해 먼저 기존 응용시스템들과 비교를 통하여 개발될 시스템이 가져야 할 특성을 파악하였다 (Fig. 1).




	System following transport	System tracking velocity of hanger (To be developed)	System moving parallel with hanger
System Structure			
Inserting Method	Dedicate machine on transfer following chassis hanger	Following chassis hanger	Robot moving with speed of chassis hanger
Vehicle Transfer	Chassis hanger and transport	Chassis hanger	Chassis hanger
Inserting Machine	Dedicate Machine	Robot	Robot
Flexibility	Fixed	General	Fixed
Inserting Type	Free dropping	Placing	Placing
Tire Clamping	Loading type	Grip	Grip

Fig. 1 Comparison of the system to be developed with the applied systems

대차동기식에서는 대차 위의 전용 투입기가 주행레일을 따라 샴시행거의 뒤를 따라가면서 자유 낙하 방식으로 스페어타이어를 투입한다. 전용기

가 샴시행거의 추종은 행거에 기계적인 클램핑에 의해 이루어진다. 전용기에 의한 투입으로 계획된 차종에만 대응할 수 있어 유연성 측면에서 극히 제한적이다. 트렁크 상부에서 타이어가 자유 낙하로 투입되므로 소음과 트렁크 외부로 이탈이 종종 발생한다. 또한 주변 부품들(jack ass'y, luggage room lamp, clip 등)의 파손을 초래하고, 투입 위치 산포로 후 공정에서 정 위치로 이동 및 뒤집기 등의 불필요한 추가 공정이 요구된다.

차량이 샴시행거에 의해 일정속도로 이동되어지고, 로봇이송장치가 이 속도에 동기화 되어 로봇이 타이어를 투입하는 것을 행거동기방식이라 한다. 연속흐름 생산에 적용되나, 시스템 설계 시 상위 관리시스템과 연동이 고려되지 않아 다 차종 대응 생산 시스템이 되지 못하였다. 동기식 타이어 투입은 가능하지만 시스템의 구조가 복잡하고 설치 공정이 지나치게 많다는 단점이 있다.

이 시스템은 샴시행거라인과 로봇이송라인으로 두 라인이 평행하게 구성되어 있으며, 위치정확도에서는 정도가 떨어진다. 샴시행거가 스테이션에 들어오면 기계적인 클램핑 장치에 의한 걸기를 통해 로봇이송장치는 샴시행거와 같은 방향으로 움직인다. 즉, 샴시행거가 레일위의 로봇이송장치를 끌고간다. 두 라인의 구동은 기계적인 장치에 의해 이루어지므로 실제 로봇과 샴시행거의 이송거리에는 구동부의 미끄러짐 등에 의해 차이가 발생한다. 이와 같은 결과로 차량과 스페어타이어 투입 로봇 사이에 상대적인 위치 엇갈림이 발생하여 스페어 타이어를 정 위치에 투입할 수 없을 뿐만 아니라 상대적인 위치 엇갈림이 클 때에는 차량과 투입 로봇 사이에 간섭이 발생할 수도 있다. 샴시행거가 스테이션을 떠날 때는 걸기가 풀어지고, 로봇이송장치는 모터구동에 의해 원위치로 돌아간다.

기존의 두 시스템이 갖고 있는 위의 문제점들로부터 시스템의 개발 사양을 유도 하였다. 충족조건으로는 정위치 투입, 다 차종 대응 및 연속흐름 공정에 적용 가능하여야 하며 한 라인으로 이루어져야 한다. 실천 방향으로는 샴시행거의 속도를 추종하는 로봇에 의한 투입 시스템으로서 위치 보정 기술을 갖는다. 고정된 로봇이 샴시행거를 추종하기 위해서는 샴시행거의 이송속도를 검출하여 동기화를 이루어야 한다. 이에 근거하여 조립생산성 향상을 기할 수 있는 단순화 된 자동화 시스템

을 개발하고자 하였다.

3. 대차 동기 스페어타이어 투입시스템 개발

3.1 시스템 구성

도출된 설계 사양과 주어진 싸이클타임, 전/후 스테이션과의 호환성에 의한 개발 조건을 고려하여 시스템을 구성 하고자 하였다. 차량에 따른 투입 공정을 분석하여 시스템이 갖춰야 할 기능들을 도출하고, 그들의 수행에 적합한 시스템 구성요소들을 개발하거나 상용제품에서 요구사항들을 충족시킬 수 있는 것을 선정하였다. 이들의 개발이나 선정 시 그들의 신뢰성 및 안전성과 자동화비용 절감방안 등이 고려되었다 (Fig. 2).



Fig. 2 Components of the inserting system to be developed

샤시행거의 이동량 및 속도는 엔코더에 의해 펄스 양을 측정되어 실시간으로 로봇 컨트롤러에 전송된다. 차종, 차량 위치 및 트렁크 개폐상태 파악을 위해 포토 센서가 이용되고, 인지된 상태는 로봇 컨트롤러에 전달된다. 로봇 컨트롤러는 샤시행거 속도 및 차량위치를 산정하고 로봇 이동궤적을 정한다. 로봇은 타이어를 그리프로 핸들링 하고 행거를 추종하여 타이어를 투입한다. 롤러 컨베이어에 의해 스페어타이어가 시스템에 공급된다. 이것은 개발된 위치결정장치의 도움으로 로봇그리프에 의해 클램핑되기 용이한 위치에 놓여진다.

개발될 시스템은 기존 두 시스템에 비해 타이어의 투입 정도와, 안전성을 높이고자 하였다. 또한

설치 공정을 단순화 하여 자동화가 용이하게 이루어지도록 하도록 하고, 설치비용도 최소화 하고자 하였다.

3.2 요소 기술

3.2.1 속도 검출 장치(엔코더)

샤시행거의 속도를 검출하기 위하여 캐터필러 (Caterpillar) 형식의 속도 검출 장치에 엔코더를 삽입하여 구성한다. 설계 사양으로는 1 mm 이동시에 1 펄스를 발생하도록 하였다. 따라서 엔코더는 텐션 조절 및 얼라인(align) 기능을 갖추어야 하며 엔코더의 케이블은 노이즈 방지를 위하여 쉴드 (Shield) 케이블을 사용하여야 한다. 만일 엔코더의 이상시 스페어타이어 투입공정 수행이 불가능하므로 각 유니트는 분해, 조립이 쉬운 구조로 만들어야 한다. 기본적인 구조는 Fig. 3 에 나타내었다.

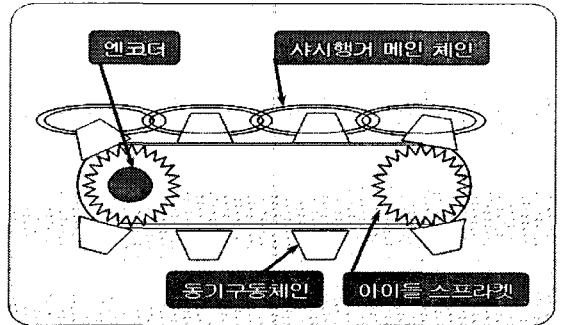


Fig. 3 Structure of the equipment measuring position and velocity of chassis hanger

샤시행거의 이동량 및 속도검출원리는 샤시행거의 구동기어에 의해 피니언이 회전할 때 출력신호가 발생되어진다. 이것이 엔코더의 의해 같은 수의 전기적 펄스로 전환된다. 이들이 인터페이스를 통해 로봇컨트롤러에 전달되어지면 컨트롤러는 펄스의 수와 주파수를 계산하여 샤시행거의 위치와 속도를 결정한다.

3.2.2 Grip 구조 및 기능

그리프의 주요 기능으로는 스페어타이어의 센터홀을 클램핑 하여 좌우로 흔들림이 없이 타이어를 취급하는 것이다. 흔들림 방지를 위해 타이어 휠 내부의 접촉부위에 원판이 형성되어 있다. 그리프는 끝단의 처짐이 없어야 하며 또한 진동에 의한

떨림이 없는 구조가 되어야 투입에 용이하고, 정확한 위치에 타이어를 놓을 수가 있다. 로봇 그리프에 적용되는 케이블은 유연한 움직임이 가능한 무빙 케이블로서 다관절 로봇에 이용될 수 있어야 한다. 케이블 및 에어호스의 고정은 보다 유연하게 움직일 수 있는 방향으로 설치되어야 하며, 로봇 움직임 시 관절에 간섭이 일어나지 않도록 한다. 반복적으로 마찰이 일어나는 곳은 덧담에 의한 보호처리를 해 주어야 한다. 실린더의 동작 감지용 센서 및 파트 감지센서는 외란에 영향이 없는 센서를 적용하며, 간접 센싱 방식을 적용한다.

그리프 설계 시 고려 사항은 그리프 자체 중량 및 가반 중량을 고려하여 가능하면 경량화 되는 것이 좋다. 본 시스템에서는 그리프 중량은 30 kg 을 넘지 않도록 했으며, 가반 중량은 130 kg 이상이 되게 하였다. 로봇의 반복 정밀도는 ± 0.3 mm 인 것으로 선정되어졌다. 이러한 설계 조건들을 고려하여 고안된 그리프의 구조가 Fig. 4 에 나타내어졌다.

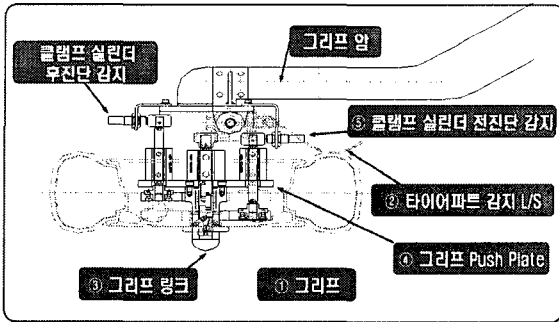


Fig. 4 Structure of the robot grip

작동원리는 먼저 그리프가 휠 허브에 진입하고, 타이어 파트 감지 L/S (Limited Switch) 가 타이어의 존재 및 추락 여부를 감지한다. 존재시 그리프 링크가 벌어지고, 그리프 푸쉬 플레이트 (Push Plate) 가 하강한다. 실린더 전진단 감지에 실린더의 하강이 인지되면 타이어가 완전 클램핑 된 것으로 인정된다. 후진단 감지는 실린더의 상승을 감지하며 타이어는 그리프로부터 이완된다.

3.2.3 차종 감지 장치

자동차 산업에서 조립작업의 자동화가 진행되고 있으나, 그 대부분은 전용기에 의한 것이다. 제품 종류의 변경에 대응 가능한 시스템의 범용화가 과제라 할 수 있을 것이다. 다 차종 생산을 위해서

투수광형으로 외란에 강한 포토센서(Photo Sensor)를 이용하여 차종을 인식하고자 하였다. 이를 위한 센서의 측정점 위치는 Fig. 5 에 나타내었다. sensor 의 부착위치는 별도의 구조물을 설치하여 진동에 영향을 받지 않도록 시스템을 구성하였다.

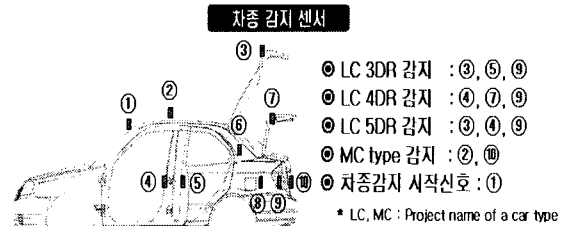


Fig. 5 Detecting positions for identifying car types with photo sensors

행거에 의해 운반되는 차량의 특정 위치를 센서로 감지하여 차종 및 바디타입(3DR, 4DR, 5DR)을 구분할 수 있게 하였다. 감지된 차종 정보는 로봇 컨트롤러에 전달되고 그곳에서 라인 생산관리시스템으로부터 제공된 차종 서열 정보와 비교하여 컨트롤러가 계획된 차종인가를 확인한다. 두 정보가 일치할 경우에만 로봇이 투입공정을 실행한다.

4. 투입시스템 운영 계획

4.1 시스템 Layout

시스템 설계 조건들, 주어진 설계 사양, 구성장비들 특성과 가용면적, 기 생산방식, 사이클 타임 등의 현장 상황을 고려하여 기술적 및 경제적으로 생산 공정이 최적으로 진행 되도록 시스템의 레이아웃을 구성하고자 하였다.⁷⁻⁸ 이를 위해 물류 흐름 및 공정수행 조건들이 분석되고, 기존 생산방식인 연속흐름 생산과의 적합성과 다 차종 생산을 위한 유연성 등이 검토 되었다. 이 해석들에 근거하여 이송거리의 최소화 및 공정 수행의 효율성 관점에서 소개된 요소기술 수행에 적합한 장비들을 최적 배치 하고자 하였다. 이 과정에서 설치비용의 절감을 위한 타이어의 투입위치 및 방향성도 검토되었다. Fig. 6 에서 보인 것처럼 모든 작업점들이 로봇의 작업 공간 내에 놓이도록 하여, 로봇에 의해 정확하게 도달되도록 하였다.

라인생산관리 시스템에서 계획된 차종에 적합한 타이어를 투입하기 위해서 먼저 포토센서에 의해

차종을 감지한다. 또한 정확한 위치(차체의 마운팅 홀)에 타이어를 안착시키기 위해서 차량위치 판단 기준점을 이곳에서 설정한다. 엔코더에 의해 검출된 샤프트행거 속도에 따라 계산된 이송량은 기계적인 구동 장치에 의한 미끄러짐, 백래쉬 등에 의해 실제 이송량과는 많은 차이가 있다. 이 오차를 최소화 하기위해 투입 직전에 차량 위치 판단 기준점을 두어 이 점으로부터 차량 위치를 산정하게 하였다. 이를 통해 로봇의 이송점들에 대한 오차보정이 이루어지도록 하여, 행거의 속도와 동기화 되어 타이어가 투입되도록 하였다.

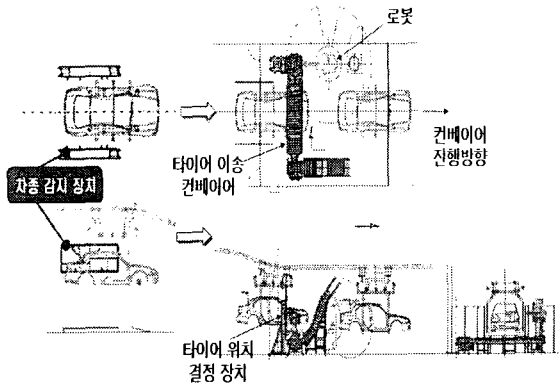


Fig. 6 Layout for inserting spare tire to trunk

타이어가 그리프에 의해 핸들링 되기 위해서는 이송 장치에 의해 운반 되어진 타이어가 정 위치에 고정 되어야 한다. 이 과정은 위치결정장치에 의해 수행 되며 이는 타이어의 센터링을 통해 위치를 고정시킨다. 이후 그리프가 타이어를 용이하게 클램핑하기 위해 위치결정장치의 리프터가 타이어를 들어 올린다.

시스템의 오동작과 차종 및 타이어의 불일치로 타이어투입이 불가능할 경우에는 임시적으로 타이어를 로봇열의 버퍼(Buffer)에 저장하고, 원인 파악에 의한 조치 때까지 전용기에 의한 수동 작업으로 연속 흐름생산이 진행 되게 하였다.

4.2 시스템 구성

연속흐름 생산을 가능하게 하기 위해서는 샤프트행거에 탑재되어 이동하는 차량에 대해 로봇이 투입공정을 수행해야 하며, 이를 위해서는 행거의 이동 속도에 동기 하여 차량과 로봇 그리프 간의 상대적인 위치 및 자세를 유지해야 한다. 행거와의 동기화

를 위해 로봇이 행거상의 기준 위치로부터 차량이 이동한 거리를 구해야 한다. (Fig. 7).

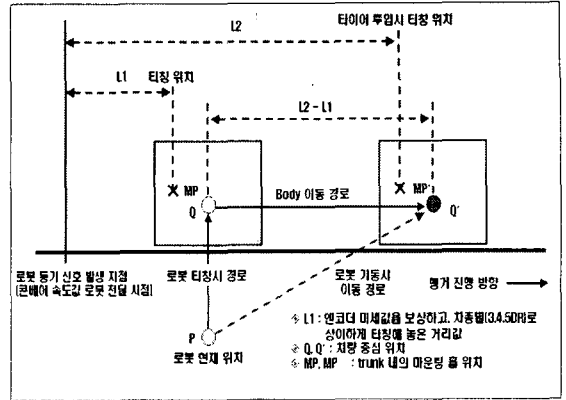


Fig. 7 Synchronous mechanism of robot

공정 수행을 위한 로봇 프로그래밍은 차량의 정지 상태에서 이루어진다. 로봇은 위치 P로부터 MP의 위치로 이동하여 타이어의 안착공정을 수행 후, 다시 원위치 P로 돌아온다. 행거가 이동될 때는 거리 L2-L1 만큼 이동하는 동안, 즉 MP'에서 도달할 때까지 로봇이 프로그래밍에 따라 투입공정을 완료한다. 행거에 있는 차량에서는 마치 로봇이 PQ' 거리를 움직인 것처럼 보인다. 로봇 동기신호 발생 지점에서 비록 짧은 거리이기 는 하지만 티칭 위치까지의 거리 L1 이 구간이송 중에도 샤프트행거 컨베이어의 기계적 구동에 의한 미끄러짐 등의 오차가 발생하므로 이를 보정해야 한다 이를 통해 로봇이 정확한 위치에 타이어를 안착시킬 수 있다. 다 차종 생산을 위해서는 차종 별로 프로그래밍 되고, 차종에 맞는 프로그램이 로봇에 다운로드 된다.

동기를 위한 위치 정보 외에도 로봇 프로그래밍에는 공정수행을 위한 기술적인 정보, 즉 로봇이송속도, 타이어 핸들링을 위한 그리프 운동 메커니즘 등이 포함 되어있다. 공정 수행을 위해 로봇의 이동거리를 가능한 짧게 하였으며, 간섭 체크를 통해 주변 장치들과의 충돌을 회피 하였다.

4.3 시스템 현장 적용 방안

시스템 설계에 의한 프로토타입 시스템의 설치 후 현장 적용을 위해서는 시스템 및 각 구성요소들의 공정수행 능력을 시험을 통해 평가하고 확인해야 한다. 이를 위한 체계적인 절차를 Fig. 8 에

나타내었다.

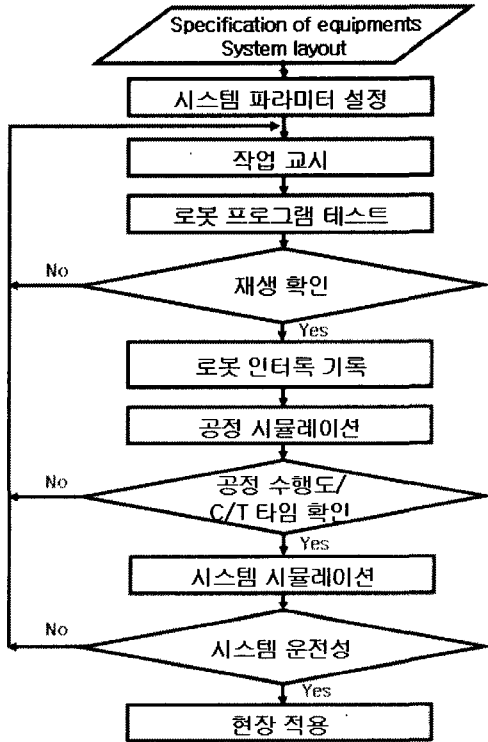


Fig. 8 Systematic procedure for the application of the developed system to practice

시스템 구성 요소들의 사양과 현장 조건들을 고려해 설계된 시스템 레이아웃 정보를 입력 받아 동기 재생작업이 차질 없이 수행되도록 모든 위치 오차들이 보정 되어야 한다. 이를 위한 샤시 행거의 이동 오차, 타이어 피딩장치 위치 정확도, 로봇의 반복 정도 등이 조사되어 시스템 운전 파라미터들이 설정 된다. 이후 차량이 시스템 작업 공간으로 진입하면 원하는 위치에서 정지시키고, 행거 동기 투입 작업을 위한 로봇프로그래밍이 수행된다. 프로그램 생성 후 모의 시험을 통해 충돌과 작업 점에 도달여부가 검증 되고 오류는 정정된다. 이때 로봇의 자세 및 이동 속도와 그리프의 운동 메커니즘 등이 재평가된다. 이들에 대한 확인 재생이 수행 되어 문제가 발생하지 않으면, 이 작업 사이클(Work cycle)을 로봇 인터록(Inter lock)에 기록한다. 이에 의한 행거 동기 투입 공정 시뮬레이션을 통해 로봇이 작업 공간 내에서 주어진

사이클 타임 안에서 공정을 프로그램대로 수행하는지를 검증한다. 공정 수행 상태를 확인 후 레이아웃계획(Layout Planning)에 의해 여러 요소들로 구성된 전체 시스템의 운전성이 시뮬레이션을 통해 검증 된다. 즉, 계획된 공정들이 시스템 구성 요소들의 상호작용하에 원활히 수행되는지를 확인한다. 이 결과에 따라 수정·보완 되어 현장에 응용된다. 위 과정들에 대한 시스템의 성능 검증을 걸쳐 연속 흐름 생산인 자동차 샤시라인의 Fig. 2에 보여준 전용기에 의한 자유낙하 방식의 투입스테이션을 개발된 시스템으로 대체 하였다. Fig. 9에 소개된 시스템 적용 결과에 따르면 개발 목표로 설정되었던 사양들을 충족 시켰음을 알 수 있다.

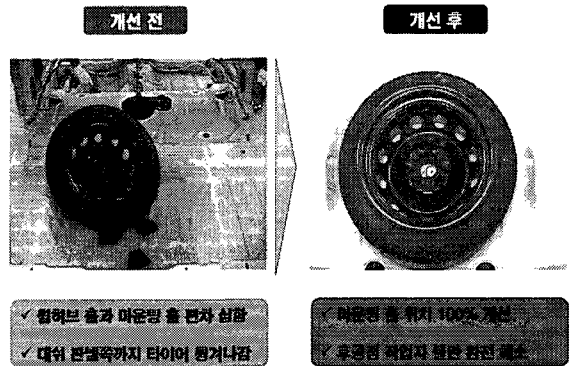


Fig. 9 Result of the application of the developed system

개발된 시스템의 현장 적용으로 기존 시스템들의 문제점으로 지적되었던 많은 사항들이 전부 개선되었다. 이로써 작업자들의 자동화 시스템에 대한 호응도를 향상 시켰다.

5. 결론

심해지는 경쟁력으로 인해 품질에 대한 요구와 가격 저하를 위한 생산성 향상에 대한 요구는 오늘날 생존을 위한 핵심 요소로 부각되고 있다. 이를 위해 많은 기업들이 자동화를 추구하고 있다. 자동차 샤시 조립라인은 특히 이 분야에서 많은 잠재력(Potential)을 갖고 있다. 본 연구를 통해 개발된 연속 흐름 공정에 차량행거 동기 로봇 시스템은 조립라인 자동차 방법에 새로운 전환점을 마련하였다.

기존 스페어타이어투입 시스템은 작업 방법상 많은 문제점들을 갖고 있었다. 품질, 생산성 및 유연성 향상과 작업 환경 개선측면에서 기존 시스템의 문제점을 분석하여 개발 사양을 도출하였다. 이에 기반 하여 시스템이 가져야 할 요소 기술에 대한 요구 사항들을 유도하였다. 이에 따라 요소 기술들을 실현시키기 위한 시스템 구성요소들을 개발하였다. 기존 조립 라인과 호응성(Compatibility)등 주어진 조건들을 고려하여 공정수행 효율성과 이송거리의 최소화 등 레이아웃 전략에 따라 구성 요소들을 최적 배치하여 시스템 레이아웃을 제안 하였다. 개발 목적에 맞는 운영전략에 따라 시스템 운전성을 검증하고 평가하였다. 이 결과에 기반하여 시스템의 오류를 제거하고 불합리성을 수정·보완 하였다. 이렇게 생성된 시스템을 현장 양산 라인에 적용하여 시스템의 운전성 및 효율성을 최종 평가하였다.

기존 투입공정에서 지적 되었던 많은 문제점들이 개발된 시스템의 현장 적용으로 제거됨으로써 자동화에 대한 작업자의 신뢰도 및 만족도를 증강시켰다. 기술적으로는 그리프, 위치 결정 장치 등의 개발로 자동화에 문제가 되는 주변 장치기술과 센서응용에 의한 보정기술 등을 크게 향상시켰다. 이 성과들을 바탕으로 향후 의장 라인 전체에 자동화를 확대 적용하기로 하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 차세대 생산시스템 개발 사업비 지원으로 수행하였으며 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, H. S., "A Knowledge-Based System for Assembly Sequence Planning," KSPE, Vol. 1, No. 2, pp. 35-42, 2000.
2. Feldmann, K., Boiger, M., Bigl, T. and Zolleiss, B., "Innovative Assembly Concepts with Reel-to-Reel Transfer," Annals of the CIRP, Vol. 53, A09, 2004.
3. Park, H. S. and Choi, H. W., "Disassembly Process Planning of End-of-Life Car," KSPE, Vol. 6, No. 1, pp. 42-50, 2005.
4. Boava, C., Gomes, L. A. and Neves, S. R. A., "Study of Manufacturing Optimization of an Electronic Assembly Industry," CIRP, Vol. 38, 2005.
5. Feldmann, K., Junker, S. and Wolf, W., "Innovative Mechatronic Devices for Flexible Automated Assembly Systems," Production Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 213-218, 2005.
6. Fanti, M., Maione, B., Mascolo, S. and Turchiano, B., "Event-Based Feedback Control for Deadlock Avoidance in Flexible Production Systems," IEEE Trans. Robot. Automat., Vol. 13, No. 3, pp. 347-363, 1997.
7. Lehmann, H., "Integrierte MaterialfluB und Layoutplanung durch Kopplung von CAD und Ablaufsimulationssystem," Springer, 1997.
8. Park, H. S., Choi, H. W. and Kang, M. J., "Digital Laser Welding Cell for Car White Body," IMS Forum 2004, No. 1, pp. 617-625, 2004.