

증강현실을 이용한 차체 조립시스템의 재구성

최홍원⁺, 박진우⁺⁺, 정상영⁺⁺, 박홍석^{*}, 고성우⁺⁺⁺

(논문접수일 2010. 07. 12, 심사완료일 2010. 09. 14)

Reconfiguration of Automobile Assembly System using Augmented Reality Technology

Hungwon Choi⁺, Jinwoo Park⁺⁺, Sangyeong Jeong⁺⁺, Hongseok Park^{*}, Sungwoo Ko⁺⁺⁺

Abstract

Nowadays, the global market requires a variety of products and shorter life cycle to fulfill the diverse demands of customers. To survive in the turbulent and competitive markets, automobile assembly companies must design and implement manufacturing systems that respond rapidly to market demands. In this paper, methods for reconfiguring system based on modular concept is proposed using AR(Augmented reality) technologies. First, the relationship matrixes between change drivers and system components are generated to divide existing manufacturing system to each module. And, new change drivers are selected based on required function in new system. Through the modification of relationship matrix, the concept design of new system is proposed and implemented in AR environment.

Finally, according to proposed methods and procedure in this paper, the existing cockpit assembly system is reconfigured to spare tire assembly system as a case study. As the use of the modular-based reconfiguration method in AR environment, the time and cost for reconfiguring manufacturing system will be reduced dramatically.

Key Words : System reconfiguration(시스템 재구성), Relationship matrix between change driver and component(변동인자와 구성요소간의 상관행렬), Modularity(모듈화), Augmented reality(증강현실)

⁺ 울산대학교 기계기술연구소
⁺⁺ 울산대학교 기계자동차공학부
^{*} 교신저자, 울산대학교 기계자동차공학부 (phosk@ulsan.ac.kr)
주소: 680-749 울산광역시 남구 대학로 102
⁺⁺⁺ 한국폴리텍VII대학 울산캠퍼스 자동화시스템과

1. 서론

오늘날과 같은 글로벌한 제조환경은 짧은 제품의 라이프 사이클과 제품의 다양성을 요구하고 있다. 이러한 시장 환경에서 제조업이 꾸준히 시장 경쟁력을 가지기 위해서는 다양한 제품을 신속하게 생산할 수 있는 제조시스템의 신속한 재구성이 요구되고 있다. 이를 위하여 우리나라를 대표하는 제조업체들 중의 하나인 자동차산업에서는 일찍이 VR (Virtual Reality) 기술 기반의 시스템 구성 및 재구성 방법에 대하여 연구하여 왔다⁽¹⁻⁴⁾. 하지만 제조업체들에서 사용되어진 대부분의 VR기반의 방법론들이나 소프트웨어들은 잦은 변경으로 인한 현장의 조건을 정확하게 반영하지 못하여 왔다. 이러한 이유로 VR기술을 사용하기 위해서는 많은 시간과 비용을 투입하여 현장을 다시 모델링하여야 하는 번거로움이 발생하였고, 제조업체들에서는 디지털 제조기술의 이점을 충분히 인식하고 있음에도 불구하고 현장에 적용하지 못하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 시스템의 재구성 단계에서 증강현실기술을 도입하였다. 증강현실기술은 시스템 구성을 위한 실제 제조환경을 직접 시스템 설계과정에서 사용함으로써 가상 환경을 구축하기 위한 모델링 비용 및 시간을 현저하게 감소시켜준다. 또한, 실제 환경과 가상 환경의 정합으로 제조공정을 보다 현실적으로 가시화하고 제조상황에 적합한 기존 지식이나 정보들을 실시간으로 이용하는 것을 가능하게 한다⁽⁵⁻⁷⁾.

또한, 기존 시스템을 새로운 시스템으로 신속하게 변경하기 위해서 시스템 구성요소들의 모듈화가 요구되어진다⁽⁷⁾. 이를 위하여 기존 시스템에 요구되는 기능들을 기반으로 구성요소와 요구기능간의 상관 행렬을 작성하였다. 유사도를 고려한 분석을 통하여 구성요소들의 모듈화를 수행하였다. 이후에 새로운 시스템에 요구되는 기능들을 도출하고 이를 기반으로 상관 행렬을 수정함으로써 새로운 시스템의 구성요소들을 재선정하였다. 변경된 구성요소들은 3D CAD 모델로 생성되어 기존 시스템의 실제 영상 환경과 정합시킴으로써 새로운 시스템을 구성하였다. 증강현실 환경에서 새로운 시스템의 구성 가능성 평가와 운영을 위한 로봇 프로그램을 생성하였다.

본 논문에서는 사례연구로서 로봇 대차와 차체 대차가 속도 동기화로 진행되는 Cockpit 모듈 조립시스템을 고정된 로봇이 차체 대차 속도를 추종하여 스페어 타이어를 조립하는 시스템으로 변경하는 것을 대상으로 신속한 시스템의 재구성을 수행하고자 하였다.

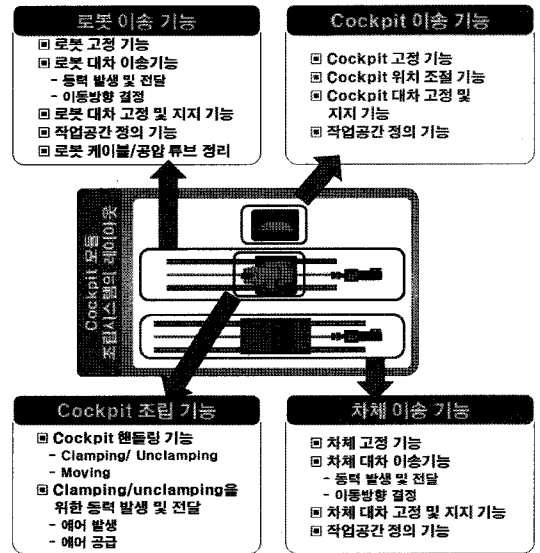


Fig. 1 Required functions of cockpit module assembly system

2. 기존의 Cockpit 모듈 조립시스템 분석

2.1 요구기능 기반의 시스템 구성요소 결정

제조시스템의 주된 기능은 제조자원(Resoure)를 이용하여 제조공정(Process)을 수행함으로써 제품(Product)을 제조하는 것이다. 그러므로 새로운 시스템을 구성하기 위해서는 제조공정에 요구되는 기능들의 분석이 요구되어진다. 일반적으로 차체 조립시스템에서 요구되는 기능은 용접/조립 등을 수행하는 주기능과 대상물의 이송을 수행하는 부기능으로 이루어져 있다. 주/부기능을 기반으로 제조시스템에 요구되는 세부 기능들을 도출하고 이를 기반으로 기존의 Cockpit 모듈 조립시스템의 구성요소들을 모듈화하였다. Cockpit 조립은 로봇이 설치된 대차가 차체 대차와 동기화하여 같은 속도로 이송하면서 조립을 수행하게 된다. 이를 기반으로 Fig. 1에서 보는 것과 같이 Cockpit 모듈 조립시스템에서 요구되는 기능은 크게 Cockpit 이송기능, 차체 이송기능, 로봇 이송기능과 Cockpit 조립기능이 요구된다.

로봇 이송기능을 수행하기 위한 제조시스템을 구성하기 위해서 이송기능을 보다 세분화하고 이를 기반으로 시스템 설계 요구사항을 정의하였다. 요구사항을 충족하기 위한 시스템 구성 주요소와 부요소들을 정의하였다. 그 결과 Fig. 2와 같이 시스템의 구성요소들을 선정하게 되었다.



Fig. 2 Main/auxiliary components for configuration of robot transporting system

2.2 상관 행렬을 이용한 구성요소들의 모듈화

기존 시스템의 구성요소들을 모듈화를 수행하기 위해서 세부 요구사항을 기준으로 시스템 구성요소들을 상관관계를 파악하였다. 이를 기반으로 로봇이송장치 구성요소들의 모듈화를 수행하였다. 로봇이송장치를 수행하기 위한 세부기능들이 모듈화를 위한 기준인 시스템 변동인자들로 선정되었다. 시스템 구성요소들과 시스템 변동인자들을 이용하여 상관 행렬을 생성하였다(Fig. 3).

각각의 시스템 변동인자들에 영향을 받는 구성요소들을 파악하고 행렬의 대각화를 수행하였다. 동일한 시스템 변동인자들로만 구성되어 있는 구성요소들을 모듈로 정의하고 그룹화하였다(1차 모듈화).

생성된 각각의 모듈들은 기능적인 측면에서 서로 포함관계를 가지는 경우도 발생하게 된다. 1차 모듈화 수행 후 볼스크류, 볼스크류 지지대와 볼스크류와 대차 연결부로 구성된 모듈(M4)은 커플링으로 구성된 모듈(M5)의 기능을 모두 포함하게 된다. 이러한 경우에는 모듈 M5가 모듈 M4에 포함되어 서브 모듈 역할을 수행하게 된다. 또한, 모듈 M2의 기능은 모듈 M3과 모듈 M4에 모두 포함되는 것처럼 하나의 모듈이 둘 이상의 모듈에 포함되어지는 경우도 있다. 이러한 경우에는 변동인자를 기준으로 수행된 유사도를 평가하고 보다 높은 유사도를 가지는 모듈에 통합되도록 하였다(2차 모듈화). 모듈간의 유사도를 평가하기 위해서 아래의 식(1)을 사용하였다.

$$\text{모듈간의 유사도} = \frac{\text{작은 모듈이 가지는 변동인자의 수}}{\text{큰 모듈이 가지는 변동인자의 수}} \quad (1)$$

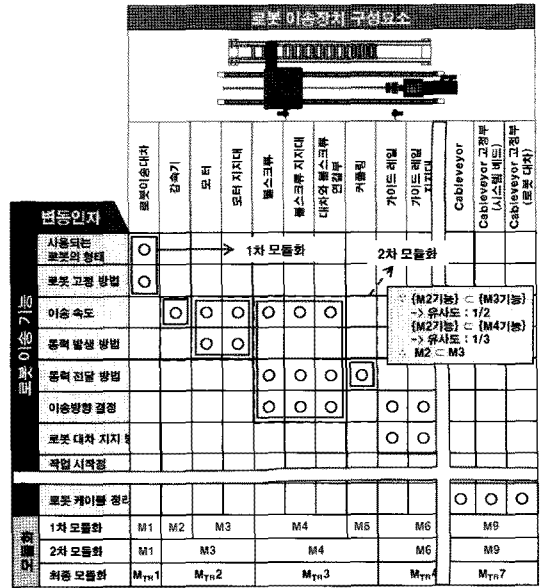


Fig. 3. Modularity of components of robot transporting system

그 결과 모듈 M2와 모듈 M3의 유사도는 1/2(=0.5)이지만 모듈 M2와 모듈 M4의 유사도는 1/3(=0.333)이므로 모듈 M2는 모듈 M3에 포함되어졌다. 이러한 모듈화작업을 통하여 로봇이송시스템은 7개의 모듈들로 구성되어졌다.

3. 새로운 스페어타이어 조립시스템

3.1 시스템 변경에 따른 모듈의 분류

제조업체들의 내외적 변화요인에 따라 시스템의 변경이 요구되어지면 시스템을 구성하고 있는 모듈들의 재구성이 이루어지게 된다. 지속적으로 재사용되어지는 모듈이 있는 반면에 일부 또는 전체가 제거되거나 교환되어질 수 있다. 모듈의 재구성을 효과적으로 수행하기 위해서 본 논문에서는 모듈을 다음과 같이 5가지로 구분하였다(Fig. 4)⁽⁸⁾.

기존 시스템에서 새로운 시스템으로 변경되는 과정에서 불필요한 모듈들은 'To be removed module'로 분류되어 새로운 시스템을 구성할 때 제거되어진다. 새로운 시스템을 구성하기 위해서 요구되어지는 모듈들은 시스템 구성요소들에 대한 정보를 저장하고 있는 라이브러리에 해당 구성요소들의 존재 여부에 따라 나누어진다. 라이브러리에 저장되어 있지 않은 모듈들을 'To be developed module'로 정의하

Cockpit 조립시스템	로봇 이송장치			로봇 이송장치 구성요소		스페이타이어 조립시스템		시스템 사양 변경 여부
	로봇 이송대차	전송기	모터	모터 지지대	블스크류	스페이타이어 (엔코더/엔코더) (엔코더/엔코더)	Cableway	
사용되는 모듈의 형태	○							필수
로봇 고정 방법	○							필수
이송 속도	○	○	○	○	○			
동력 발생 방법			○	○				
동력 전달 방법	○				○			
이송 방향 결정					○			제거
작업 시작을 결정								
작업 위치 이동 방법								
로봇 제어 결정								필수
모듈화	M _{1n1}	M _{1n2}	M _{1n3}		M _{1n6}	M _{1n7}		

- Legend -
 ○ : To be used
 □ : To be changed
 △ : To be modified
 ◇ : To be developed
 ⊖ : To be removed

□ [M_{1n1}] : To be developed (로봇 이송대차 → 로봇 설치대)
 □ [M_{1n2}], [M_{1n3}], [M_{1n4}], [M_{1n5}], [M_{1n6}] : To be removed
 □ [M_{1n7}] : To be used

Fig. 7 Reconfiguration of system for fixing robot

정, 작업위치 이탈 관정)이 불필요하게 된다. 이와 관련된 모듈인 MTR₂, MTR₃, MTR₄, MTR₅와 MTR₆는 불필요하게 된다. 이러한 불필요한 5개의 모듈들은 'To be removed module'로 정의되어 제거되게 된다.

모듈 MTR₁은 사용되는 로봇의 형태와 고정방법에 영향을 받는 모듈이다. 로봇의 형태는 동일하지만 로봇의 이송이 이루어지지 않으므로 로봇대차 대신 로봇 설치대에 고정하기로 하였다. 그러므로 모듈 MTR₁은 'To be developed module'로 정의되고 새로운 로봇 설치대가 설계되어졌다. 동일한 로봇이 사용되므로 로봇 케이블정리를 위한 모듈 MTR₇은 지속적으로 사용되어질 수 있다. 그러므로 모듈 MTR₇은 'To be used module'로 정의되었다.

4. 증강현실 환경에서 시스템의 재구성

4.1 시스템 구성을 위한 구성요소들의 모델링

상관관계 행렬을 이용한 분석을 통하여 기존의 cockpit 조립시스템에서 스페어 타이어 조립시스템으로 변경하기 위해서 요구되는 구성요소들이 결정되어졌다. 증강현실 환경에서 스페어 타이어시스템을 구성하기 위해서 새로운 구성요소들 3D CAD모델로 생성되어야 한다. 스페어 타이어 조립 기능을 수행하는 그리퍼와 에어핑거, 차체 이송을 위한 차체와 차체 고정지그, 속도 추종을 위한 엔코더와 키플링은 구조적으로 연속된 가상물체이며 동일한 기능을 수행하게 된다. 그러므로 이들은 각각 하나의 3D모델로 생성되었다. 그

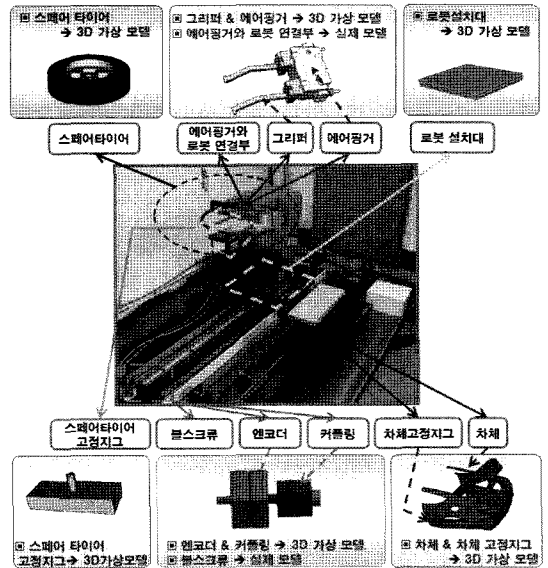


Fig. 8 Generation of 3D models for system reconfiguration

외의 스페어 타이어, 로봇 설치대, 스페어 타이어 고정지그는 각각의 구성요소들로 모델링 되었다(Fig. 8).

주변장치와의 충돌 회피와 스페어 타이어의 정위치 조립을 위해서 조립을 지원하기 위한 보조 도구들을 모델링하였다. 차체의 스페어 타이어 조립부와 스페어 타이어의 중심을 일치시키기 위해서 차체와 스페어 타이어에 각각 중심 기준선을 생성하였다. 또한, 로봇이 스페어 타이어를 투입하는 동안 후면 트렁크와의 충돌을 회피하기 위해서 로봇이 접근 가능한 조립반경을 설정하고 모델링 하였다. 이러한 보조 모델링들을 이용하여 작업자는 로봇 프로그램을 수행하는 과정에서 정확한 작업 위치를 결정하고 구성요소들 사이에 충돌을 회피를 가능하게 한다.

4.2 실제 환경에 가상물체의 정합

생성된 3D 모델들을 실제 환경에 정합하기 위해서는 각 모델들을 생성하기 위한 기준 좌표계를 설정하여야 한다. 생성되는 3D 모델들은 크게 동적 움직임을 가지는 구성요소와 고정되는 구성요소들로 나누어진다.

로봇 첨단부에 부착되어 조립공정을 수행하는 스페어 타이어, 그리퍼 & 에어 핑거는 독립된 하나의 좌표계(좌표계 1)를 필요로 한다. 또한 조립 용이성을 위해 모델링되어진 스페어 타이어 중심 기준선도 좌표계 1번을 기준으로 생성

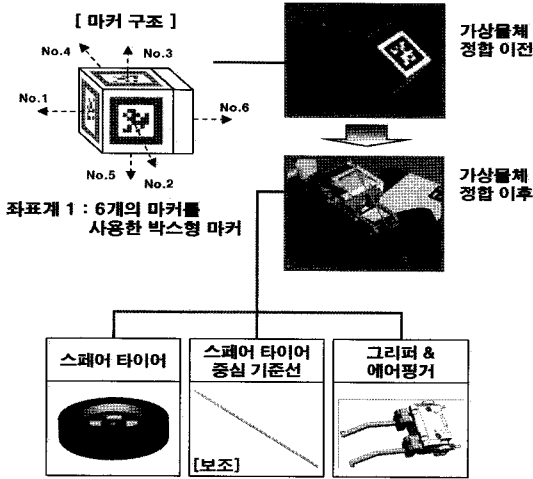


Fig. 9 Superimposition of 3D models on real scene using marker 1

되었다. 고자유도를 가지는 로봇 첨단부에 생성되어져야 하므로 다방면에서 인식 가능한 박스 타입의 마커 구조를 이용하여 좌표계를 생성하였다. 차체대차 위에 위치하여 대차의 이송에 의해 영향을 받게 되는 차체와 차체 고정지그는 독립된 하나의 좌표계(좌표계 2)를 필요로 한다. 또한, 조립 용이성을 위해 모델링되어진 차체 중심 기준선과 조립반경들도 좌표계 2번을 기준으로 생성되었다. 설치되어 있는 카메라의 위치를 고려하여 좌표계 생성을 위해서 하나의 마커가 설치되었다. 엔코더 & 커플링, 로봇 설치대는 조립공정이 수행되는 동안 고정되어 있는 구성요소들이다. 또한 이들은 조립공정을 수행하는 동안 로봇 프로그램 생성, 충돌 및 간섭 등을 유발하지 않는 요소들이다. 이러한 요소들은 모두 하나의 좌표계(좌표계 3)으로 생성하였다. 좌표계 설정을 위해서 하나의 마크를 이용하였다. 스페어 타이어 고정 지그는 조립공정이 수행되는 동안 고정되어 있는 구성요소들이다. 하지만 스페어 타이어를 핸들링하는 과정에서 간섭을 고려하여야 하기 때문에 로봇 설치대와 달리 또 하나의 좌표계를 생성하였다(좌표계 4).

Fig. 9는 스페어 타이어 조립시스템 구성을 위한 가상물체의 생성 좌표계를 설정한 설정하고 이를 기반으로 가상물체들을 실제 환경에 정합하였다.

4.3 시스템 검증 및 로봇 프로그램 생성

카메라를 통하여 획득되는 하나의 영상정보로는 깊이 정

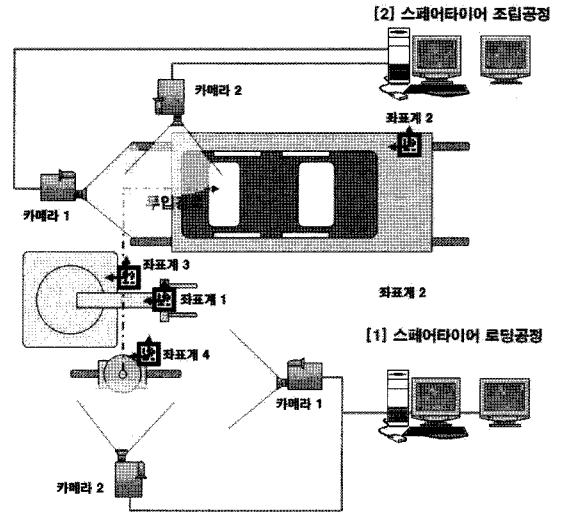


Fig. 10 AR system layout for generating robot program

보를 제공하지 못한다. 이러한 문제점으로 인하여 증강현실 시스템은 둘 이상의 방향에서 획득된 영상정보들을 필요로 한다. 그런 이유로 조립시스템 정/후면과 측면에 각각 한대씩의 카메라가 설치하였다.

카메라의 획득 가능한 영상 영역의 제약에 따라 스페어 타이어 조립공정은 크게 두 단계로 나누어서 수행하였다. 첫 단계에서는 로봇이 스페어 타이어를 로딩하는 공정이고, 다른 하나는 차체에 조립하는 공정이다. 두 공정을 수행하기 위한 로봇 프로그램을 생성하기 위해서 두 대의 카메라를 Fig. 10과 같이 배치하였다.

스페어 타이어 조립을 수행하기 위해서 클리핑 평면과 보조 모델이 사용되었다⁷⁾. 조립 위치를 결정하기 위해서 지그부의 중심과 스페어타이어 중심에 생성된 보조모델을 생성하고 이들이 일치되도록 로봇 프로그램을 생성하였다. 또한 조립 깊이를 파악하기 위해서 조립면에 클리핑 평면을 생성하였다. 조립을 위한 로봇 프로그램생성 도중에 과도한 조립이 수행되어지면 가상의 스페어 타이어의 일부가 사라지게 된다. 이를 통하여 스페어 타이어 로딩을 위한 로봇 프로그램을 생성하였다(Fig. 11).

이와 같이 증강현실기술을 이용함으로써 작업자는 실제 차체와 스페어 타이어가 없는 환경에서 새로운 시스템을 재구성하고 스페어 타이어 조립시스템의 운영을 위한 로봇 프로그램을 생성하였다(Fig. 12).

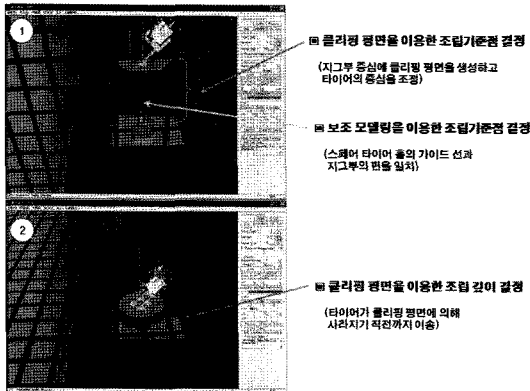


Fig. 11 Generation of robot program for loading spare tire using AR system

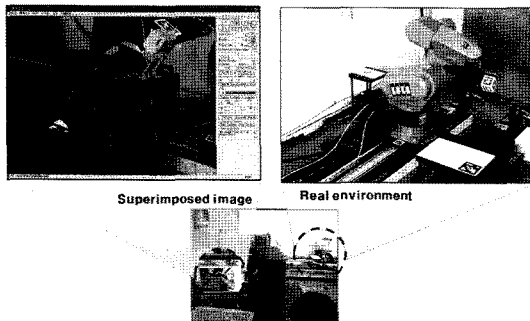


Fig. 12 Implementation of spare tire assembly system in AR environment

5. 결론

본 논문에서는 급속하게 변화는 시장 환경에 신속하게 대응하기 위하여 증강현실기술을 이용한 모듈화 기반의 시스템 재구성 방법을 제안하였다.

- (1) 기능 중심으로 수행되는 자동차 조립시스템의 구성요소들을 모듈화하기 위해서 시스템에 요구되는 기능들을 시스템 변동인자로 정의하였다. 구성요소들을 모듈화하기 위한 시스템에 요구되는 기능과 구성요소간의 상관행렬을 제안하였고, 이를 기반으로 신속한 모듈을 생성 또는 확장 가능하게 하였다.
- (2) 신속한 제조시스템 가시화와 비용의 절감을 위해서 가상 물체를 실제 환경에 접합시키는 증강현실기술을 시스템 구현단계에 도입하였다.

- (3) 본 논문에서 개발되어진 시스템 기능정의 모델, 모듈화 방안, 증강현실기술들을 기반으로 기존의 cockpit 조립 시스템을 스페어 타이어 조립시스템으로 재구성하고 시스템 운영을 위한 로봇 프로그램을 생성하였다.

연구의 결과들을 이용함으로써 자동차 조립업체들은 실제 시스템의 변경 없이 새로운 차체 모델의 조립성 검증을 현장에서 수행하는 것이 가능할 것이다. 이를 통하여 레이아웃 구성 및 로봇 티칭 등과 같은 조립성 검증을 위한 경제적인 시간적인 부담이 크게 절감될 것이다.

참고 문헌

- (1) Park, S. H., Choi, S. I., Jung, Y. S., Song, J. Y., Lee, C. W., Subramaniam, M., Jang, A. H., and Kim, J. W., 2007, "UML Analysis and Digital Model Implementation for Micro-factory," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 3, pp. 44-49.
- (2) Park, S. H., Choi, S. I., Subramaniam, M., Seo, J. H., Song, J. Y., and Park, S. J., 2008, "Digital Assembly Simulation of Micro Factory Constructed with Rectangular Pattern," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 17, No. 5, pp. 64-69.
- (3) Wolfgang, K., 2006, "Digital Factory-Integration of Simulation Enhance the Product and Production Process toward Operative Control and Optimization," *International Journal of Simulation*, Vol. 7, No. 7, pp. 27-39.
- (4) Park, H. S. and Choi, H. W., 2006, "Implementation of an Assembly System for Automobile Side Panel Based on Digital Manufacturing Technologies," *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 23, No. 11, pp. 68-77.
- (5) Ong, S. K. and Nee, A. Y. C., 2004, *Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing*, Springer-Verlag London Limited, pp. 207-236.
- (6) Wolfgang, F., 2004, *ARVIKA : Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service*, Publicis Corporate Publishing, Wiley-VCH Verlag GmbH,

pp. 137-194.

- (7) Park, H. S., Choi, H. W., and Park, J. W., 2008, "Implementation of Automobile Cockpit Module Assembly System using Augmented Reality Technology," *Transactions of North American Manufacturing Research Institution of SME*, Vol 36, pp.

493~500.

- (8) Park, H. S. and Choi, H. W., 2008, "Development of a Modular Structure-based Changeable Manufacturing System with High Adaptability," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 9, No. 3, pp. 7~12.