

# 차체 C/Pad 조립을 위한 증강현실 기반의 조립시스템 구현

박홍석#, 최흥원\*, 박진우\*

## Implementation of AR based Assembly System for Car C/Pad Assembly

Hong Seok Park#, Hung Won Choi\* and Jin Woo Park\*

### ABSTRACT

Nowadays, the increasing global competition forces manufacturer to reduce the cost and time for implementation of manufacturing system. The AR(augmented reality) technology as a new human-machine interface introduces a noteworthy perspective for a new manufacturing system design. Using AR technology, a physically existing production environment can be superimposed with virtual planning objects. Therefore, the planning tasks can be validated without modeling the surrounding environment of the production domain during short process planning time.

In this paper, we introduce the construction of AR browser and determine the optimal environment parameters for field application of AR system through lots of tests. And, many methods such as multi-marker coordinate system, division of virtual objects and so on, are proposed in order to solve the problems suggested from initial field test. Based on these tests and results, the test-bed of C/Pad assembly system is configured and robot program for C/Pad assembly is generated based on AR system.

**Key Words** : Augmented Reality (증강현실), C/Pad assembly system (C/Pad 조립시스템), Robot programming (로봇 프로그래밍), Digital manufacturing (디지털 제조)

### 1. 서론

오늘날의 시장은 다양한 고객의 욕구충족과 새로이 개발되는지는 다양한 기술들로 인하여 짧은 제품의 라이프 사이클과 제품의 다양화를 요구하고 있다. 이러한 극심한 변화를 가지는 시장 조건에서 제조업체들이 경쟁력을 가지기 위해서는 시장의 요구에 신속하게 대응할 수 있는 생산시스템의 설계 및 구성이 요구된다. 이러한 이유로 대부분의 제조업체들은 시스템 구성을 위한 전 단계에

걸쳐서 가상현실(VR; Virtual Reality)기술 기반의 디지털제조 기술들을 도입하여 사용하여왔다.<sup>1,3</sup> 하지만 제조업체에서 주로 사용되어지는 대부분의 VR 기술기반의 방법론이나 소프트웨어들은 계획하는 대상물과 작업환경을 완벽하게 표현하기 위해서 전체 시스템에 대한 완벽한 3D 모델링이 수행되어야 한다. 일반적으로 시스템의 설계도면과 실제 구현 환경과는 정확하게 일치하지 않기 때문에 새로운 모델링 작업이 요구되어지는데 이러한 3D 모델링 작업들은 매우 지루한 일이거나

접수일: 2007년 10월 1일; 게재승인일: 2008년 5월 26일

# 교신저자: 울산대학교 기계자동차공학부  
E-mail: phosk@ulsan.ac.kr Tel. (052) 259-2294

\* 울산대학교 대학원 기계자동차공학부

오랜 시간과 비용을 요구하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 오늘날의 제조업체들은 생산시스템을 구현하는 단계에서 증강현실(AR; Augmented Reality)기술을 도입하고자 많은 연구를 진행하고 있다.<sup>4,5</sup> AR 기술은 시스템 구성을 위한 실제 생산환경을 직접 시스템 설계과정에서 사용함으로써 가상 환경을 구축하기 위한 모델링에 걸리는 시간과 비용을 현저하게 감소시켜준다. 이와 동시에 실제 환경과 가상 환경의 결합으로 제조공정을 보다 현실적으로 가시화하고 생산현장 상황에 적합한 기존의 지식이나 정보들을 실시간으로 이용하는 것을 가능하게 한다. 따라서 AR 기술은 기존 생산 환경에서의 생산성 및 품질 향상을 획기적으로 개선할 것으로 기대되는 기술이다.

자동차산업에서 새로운 차종이 개발되어 현장 시스템에서 양산되기 위해서는 반드시 제조시스템의 구성을 위한 공정계획이 수행되어야만 한다. 차체 C/Pad 조립공정은 조립부의 형상 및 규모로 인하여 차체 의장공정 중 가장 높은 조립 정밀도가 요구되는 공정이다. 그러므로 새로운 차체를 위한 생산시스템의 구성을 위해서는 가장 우선적으로 조립의 가능성이 검증되어야 하는 공정중의 하나이다. C/Pad 조립을 위한 조립공정을 수행하기 위해서는 현장 로봇들의 티칭이 선행되어야 한다. 이를 위해서 현재 자동차업체에서는 기존의 생산라인을 정지하고 생산되고 있던 기존 차체 대신에 새로운 차종의 차체를 대차에 실어 이송함으로써 조립공정을 위한 로봇 티칭을 수행하고 있다. 현장에서 수행되고 있는 기존의 방식은 자동차 제조업체들에게 새로운 차종의 장·탈착을 위한 시간적·경제적 부담을 줄뿐만 아니라 기존 생산제품의 생산량을 저하시킨다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 C/Pad 조립을 위한 AR 기반의 로봇 티칭 방법론을 제안하고자 한다. 무엇보다 우선 AR browser의 기본적인 구성을 소개하고 강건한 영상 정합을 위한 환경변수들을 제안하였다. 초기 현장 실험을 통하여 AR 시스템의 현장 적용시 발생 가능한 문제점들이 도출되었고, 이를 해결하기 위해서 적절한 카메라 위치와 가상물체의 세분화를 통한 가상물체간의 간섭회피, 로봇 고자유도를 고려한 다방면 인식이 가능한 마커 구조 제안 등과 같은 현장적용을 위한 방법들이 제안되었다. 이를 기반으로 AR 기반의 차체 C/Pad 조립을 위한 로봇 티칭 프로그

램이 생성되었다.

## 2. AR(Augmented Reality) 시스템

### 2.1 AR browser의 구성

실제환경에 가상의 물체를 정합하여 실제 환경에 현실감을 강화시키는 AR 시스템은 fig. 1와 같이 영상 및 가상물체의 처리를 위한 3개의 모듈들과 관련장치들의 인터페이스로 구성되어졌다. AR browser의 주된 구성모듈들은 정의된 공간내에서 물체의 움직임을 관측하는 tracking 모듈, 3D 가상물체의 생성 및 렌더링을 위한 rendering 모듈과 생성된 가상물체의 위치 측정 등을 위한 measurement 모듈로 나누어진다.

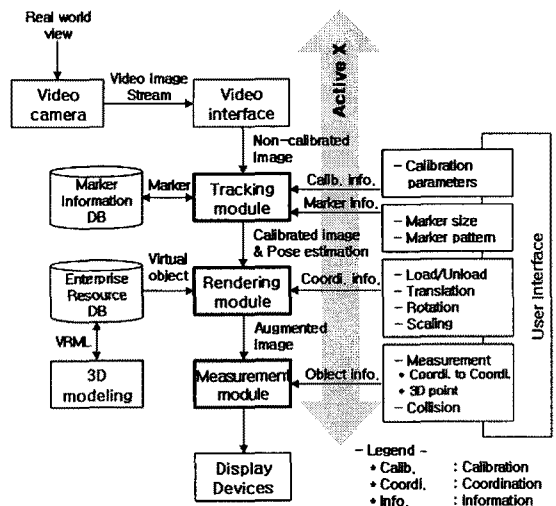


Fig. 1 Architecture for AR browser

Tracking을 수행하기 위하여 기계, 자기, 광학 등의 다양한 원리가 제공되고 있지만 현재 이들 중에서 가장 높은 정밀도를 보이는 것이 광학을 이용하는 방법이다. 이러한 이유로 스퀘어 마커를 이용한 광학 tracking이 AR 시스템의 주류를 이루고 있다. 카메라에 의해 지속적으로 추적되는 마커의 영상정보는 이미지 프로세싱 단계를 거치게 되고, 이를 통하여 AR browser는 마커의 위치를 인식하게 된다. 또한 UI(User Interface)를 통하여 제공되는 마커의 크기 및 패턴 정보와 마커 DB에 저장되어 있는 정보들간의 매칭을 통하여 가상물체를 생성하기 위한 기준 좌표계를 생성하게 된

다. 시스템에 사용되는 좌표계의 방향 결정과 둘 이상의 좌표계 사용을 위한 스캐어 마커의 패턴 정보는 흑백으로 구성된 2 차원 행렬 마커가 사용되었다.<sup>6</sup>

생성된 좌표계를 기반으로 가상물체의 생성 및 제거는 rendering 모듈의 UI를 통해서 수행된다. 또한, 9 개의 입력값(3 개의 translation, 3 개의 rotation, 3 개의 scaling)을 기반으로 가상물체의 정위치 설정을 위한 좌표변환이 이루어진다. 일종의 보조도구인 measurement 모듈은 생성된 가상물체들간의 거리 측정, 생성된 좌표계간의 거리와 방향측정 및 가상물체간의 간섭 여부를 확인하기 위하여 사용되었다.

이러한 3 가지 주요 모듈들은 영상처리를 위한 기본적인 알고리즘과 수학적 연산처리를 수행하기 위한 C++ 기반의 라이브러리로 구성되어졌다. 또한 이들 각각의 모듈들은 Visual software 의 통합 표준인 Active X 를 기반으로 상호 통합되어졌다.

**2.2 Camera calibration**

AR 시스템에서는 주변환경에 대한 이미지 정보를 획득하기 위해서 카메라가 사용된다. 핀 홀 카메라를 제외한 대부분의 카메라들은 렌즈를 사용하기 때문에 렌즈에 의한 영상의 왜곡 현상이 발생한다. 왜곡된 영상 이미지로부터 정확한 3D 영상 정보를 획득하기 위해서는 카메라의 보정이 필수적으로 수행되어야만 한다. 카메라의 왜곡 현상은 주로 렌즈의 불균일한 제조에 의해서 발생되는데 주요 왜곡 원인으로는 Radial distortion 과 Decentering distortion 으로 나누어 볼 수 있다.

Radial distortion 은 렌즈의 원형 형상으로 인하여 발생하는 왜곡 현상으로 보정을 위한 수식이 홀수차 급수전개(Odd-ordered polynomial series)의 형태로 표현된다. 대부분의 머신 비전시스템의 경우에는 2 번째 급수전개항까지를 고려하는 것이 타당한 것으로 알려져 있다(Coefficients of Radial distortion; k1, k2). 또 다른 왜곡원인인 Decentering distortion 은 광학 축과 렌즈의 중심이 일치하지 않는 것에 의하여 발생하는 현상으로 이를 보상하기 위해서는 광학축의 x, y 방향으로 각각 일정 거리를 보상해 주어야 한다(Decentering distortion parameters; c1, c2).<sup>7</sup>

이러한 영상 왜곡을 위해서 fig. 2 와 같이 보정 절차를 수행하였다. 일반적으로 카메라 보정변수들

은 주변 환경조건에 따라 민감하게 반응하게 되므로 각각의 카메라마다 20 회 이상의 보정실험을 수행하였고, 유효한 값들의 평균값을 사용하여 카메라를 보정하였다.

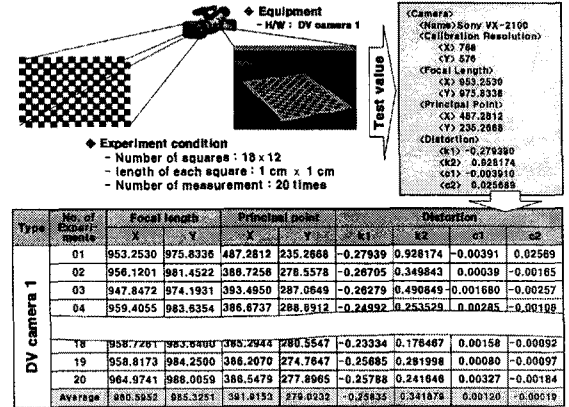


Fig. 2 Procedure for camera calibration to compensate the lens distortion

**3. 가상물체의 강건한 정합을 위한 환경변수**

AR 시스템은 카메라를 통해 획득되는 스캐어 마커 이미지의 4 꼭지점을 이용하여 가상물체의 생성을 위한 좌표계를 설정한다. AR 시스템에서 내부적으로 이미지 프로세싱을 수행하는 동안 AR browser 창에 표현되는 4 점의 픽셀 좌표값은 카메라의 주변환경 조건에 따라서 2-5 픽셀 정도의 오차를 가지게 된다.<sup>8</sup> 시시각각으로 변하는 환경변수들은 가상물체의 생성 좌표계의 원점을 변경시키게 되고 이는 AR 시스템 운영시 가상물체의 떨림 현상으로 나타내게 된다. 현장작업장의 환경에서 AR 시스템을 적용하기 위해서는 이러한 떨림 현상이 발생하지 않는 환경조건을 찾고 유지시켜 주는 것이 중요하다. 적절한 환경변수 값을 결정하기 위해서 카메라와 마커의 각도, 조명 조건 및 마커의 크기와 거리를 변수로 실험을 수행하였다.

**3.1 카메라와 마커간의 각도에 따른 영향**

무엇보다도 우선 마커와 카메라의 각도가 가상물체의 떨림현상에 미치는 영향을 파악하기 위해서  $\theta_{M1}$  과  $\theta_{M2}$  의 두 각을 변수로 가상물체의 떨림 현상을 조사하였다. 여기서  $\theta_{M1}$  은 카메라 렌즈의 중심과 마커의 중심을 연결한 가상선과 카

메라 렌즈 축사이의 각이고  $\theta_{M2}$  는 마커중심에서의 법선과 가상선 사이의 각이다.

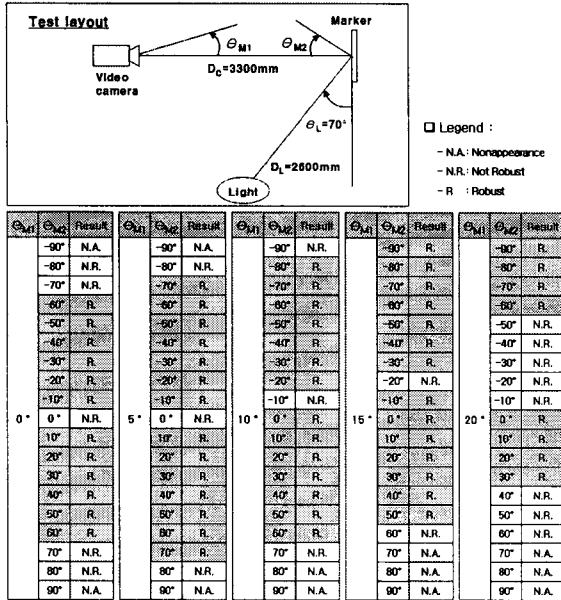


Fig. 3 Robustness according to angle between marker and camera

Fig. 3 에서와 같이 마커가 카메라에서 획득되는 영상의 중심부 ( $-15^\circ \leq \theta_{M1} \leq 15^\circ$  인 구간)에 위치할 경우에는 카메라와 마커의 상대적인 각도( $\theta_{M1} + \theta_{M2}$ )가  $10^\circ \sim 60^\circ$  와  $-60^\circ \sim -10^\circ$  사이에서 강건한 결과를 제공함을 확인할 수 있었다. 반면에 상대적인 각도가  $-90^\circ \sim -70^\circ$  와  $70^\circ \sim 90^\circ$  구간에서는 마커 인식이 용이하지 못하여 가상물체의 떨림 현상이 심하거나 가상물체가 생성되지 못하였다.

이미지 프로세싱을 수행하는 과정에서 카메라가 마커를 수직으로 마주하는 경우에는 영상 처리를 위한 완벽한 수식을 제공하지 못한 것으로 알려져 있다.<sup>8</sup> 본 연구의 실험에서도 마커와 카메라의 각도가 수직인 경우에는 떨림 현상이 심하게 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 화면의 가장자리에 마커가 존재하는 경우( $\theta_{M1} > 20^\circ$  또는  $\theta_{M1} < -20^\circ$  인 경우)에는 획득되는 마커 이미지의 일부가 손실되거나 카메라의 자동초점 기능에 의하여 뚜렷한 마커 영상을 획득하는 것이 어려워 떨림 현상이 심하게 나타났다.

실험을 통하여 가상물체의 떨림이 없는 강건한

영상정보를 획득하기 위한 마커와 카메라간의 상대적인 각도가 결정되었다.

### 3.2 조명에 의한 영향

마커의 인식을 위해서 AR 시스템은 획득된 이미지의 이진화 처리를 수행한다. 이 과정에서 효과적인 마커인식을 위해서는 적절한 광원이 요구된다. 하지만 일반적인 공장 내부의 작업장은 AR 시스템을 적용하기 위한 충분한 광원을 제공하지 못하고 있다. 조명의 영향을 조사하기 위해서 조명을 마커의 좌측부터 우측까지  $10^\circ$  간격으로 이동시키면서 실험을 수행하였다(Fig. 4). 초기의 실험조건으로 마커와 카메라간의 각도는  $45^\circ$  를 유지함으로써 마커와 카메라간의 각도에 의한 영향을 받지 않도록 하였다.

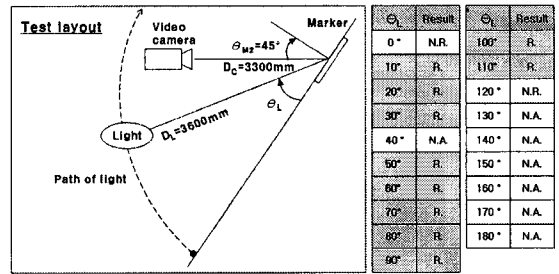


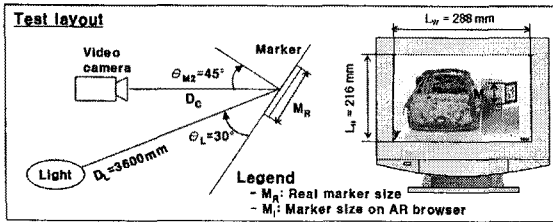
Fig. 4 Robustness according to angle between marker and light

실험의 결과,  $40^\circ$  구간처럼 조명과 마커 사이에 카메라와 같은 다른 물체가 존재하게 되는 경우에는 물체에 의해 생기는 그림자에 의하여 마커 인식이 불가능하게 되었다. 또한  $120^\circ \sim 180^\circ$  구간에서는 조명으로부터 입사되는 빛이  $45^\circ$  기울어져 있는 마커에 반사되고, 그 반사광의 일부가 카메라의 렌즈로 들어가게 됨으로써 마커의 인식률이 현저히 떨어지게 되었다. 이러한 이유로 가상물체가 생성되지 않거나 떨림 현상이 심하게 발생하였다. 실험을 통하여 적절한 조명의 위치가 결정되었다.

### 3.3 마커의 크기와 거리

가상물체의 강건한 정합은 인식되는 마커의 정도에 영향을 받게 되므로 AR browser 창에 나타나는 마커의 크기는 강건한 정합을 위한 중요 영향인자가 된다. 일반적으로 AR browser 창에 마커

가 크게 나타나면 스퀘어 마크의 꼭지점의 픽셀 좌표의 오차가 커지게 되므로 떨림 현상이 심해지며, 반면에 마커가 너무 작게 되면 마커의 패턴 인식이 어렵게 된다. AR browser 창에 나타나는 마커의 크기는 실제 마커의 크기와 마커와 카메라의 거리에 의해 결정되어진다. 가상물체의 강건한 정합을 위한 마커의 크기를 제안하기 위하여 fig. 5 와 같은 실험을 수행하였다. 실험에 사용되어진 실제 마커의 크기( $M_R$ )는 300mm, 150mm 와 50mm 이고 AR browser 에 나타나는 마커의 크기를 조절하기 위해서 카메라의 위치를 변경시키는 방법과 카메라의 줌 기능을 사용하였다.



$M_R = 300\text{ mm}$			$M_R = 150\text{ mm}$			$M_R = 50\text{ mm}$		
$M_B$	$D_C$	Result	$D_C$	Result	$D_C$	Result	$D_C$	Result
115	1140	N.R.	N.R.	600	N.R.	N.R.	-	-
105	1240	N.R.	N.R.	650	N.R.	N.R.	-	-
95	1340	N.R.	N.R.	700	N.R.	290	N.R.	-
85	1440	N.R.	N.R.	800	N.R.	340	N.R.	-
75	1590	R.	N.R.	850	N.R.	N.R.	N.R.	-
85	1790	R.	N.R.	950	N.R.	N.R.	390	N.R.
55	2090	R.	R.	1100	N.R.	N.R.	-	-
60	2290	R.	R.	1200	R.	440	R.	3300
45	2490	R.	R.	1350	R.	490	R.	N.R.
40	2890	R.	R.	1500	R.	570	R.	R.
35	3090	R.	R.	1800	R.	590	R.	R.
30	3300	R.	-	1800	R.	640	R.	R.
25	-	-	-	2150	R.	740	R.	R.
20	-	-	-	2800	R.	N.R.	840	R.
15	-	-	-	3300	N.R.	N.R.	890	N.R.

Fig. 5 Robustness according to marker size

실험의 결과로서 마커의 크기가 클수록 보다 강건한 영상을 획득할 수 있었으며, 카메라로 거리를 조절하는 경우가 카메라의 줌 기능을 사용하는 경우보다 강건한 영상을 획득할 수 있었다. 본 실험에서 사용된 DV camera 01(resolution 768 x 567)은 AR browser 창에 나타나는 마커의 크기( $M_B$ )가 35-45mm 일 때 실험에서 사용되어진 다양한 크기의 마커에 무관하게 강건한 정합결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 차체 C/Pad 조립시스템

#### 4.1 AR 적용을 위한 C/Pad 조립시스템 분석

일반적인 차체 조립시스템이 가지는 성질과 같이 C/Pad 조립시스템도 대량생산을 위한 transfer line 형태의 구조를 가지고 있다. 이와 동시에 다양한 차체의 혼류 생산과 신차종에 대한 ramp-up 시간을 단축하기 위해서 생산도구 및 장비의 범용화가 고려되어진 구조로 이루어져 있다. 본 논문의 연구 대상인 C/Pad 조립공정의 경우에도 시스템을 잇는 행거, 대차, 로봇 등과 같은 주요 구성요소들은 조립 차체의 변경과 무관하게 지속적으로 사용되어진다. C/Pad 의 핸들링을 위한 그리퍼의 경우에는 세부적인 구성은 다소 변경되지만 전반적인 크기와 메커니즘은 그대로 유지된다. 또한 C/Pad 조립이 수행되는 차체 사이드의 A 필러와 B 필러 사이의 형상은 차종에 무관하게 유사한 형상을 가지고 있다. 그러므로 기존에 조립이 수행되어지는 실제 차체(A type)의 A 필러와 B 필러 사이의 공간을 기준으로 가상차체(B type)를 생성하였다. 가상 C/Pad 는 로봇의 그리퍼를 기준으로 생성되었다 (Fig. 6).

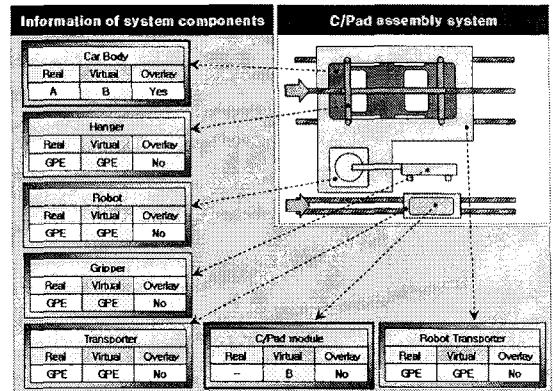


Fig. 6 Strategy for overlay of virtual objects and real environment

#### 4.2 AR 시스템 적용시 발생 가능한 문제점 도출과 해결방안

AR 시스템을 현장에 직접 적용하기 위해서는 가상물체의 강건한 정합을 위한 환경조건 이외에도 많은 제약조건과 문제점을 가지고 있다. AR 시스템의 초기 현장 적용 사례를 기반으로 발생 가능한 문제점을 기술하였다(Fig. 7).

문제점 1: 카메라가 제공하는 2 차원영상 이미지로 인한 조립의 위치와 정도에 관한 문제점

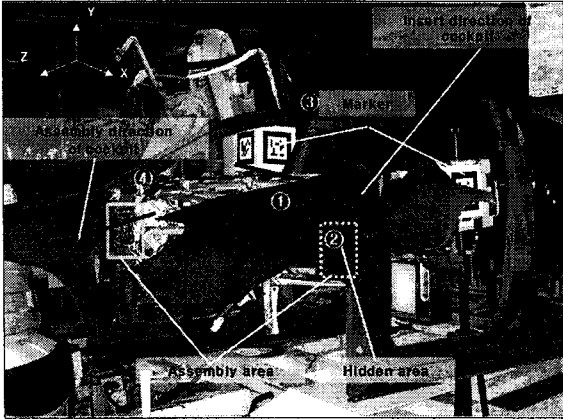


Fig. 7 Problems for field application of AR system

기존의 로봇 티칭을 수행하는 작업자들의 시야와 달리 카메라를 통해 획득되는 영상 이미지는 여러 가지 측면에서 제약을 받는다. 무엇보다도 우선 카메라를 통해 획득되는 영상은 2 차원이므로 조립을 위하여 가상물체의 정위치에 도달여부를 하나의 파악하는 것은 용이하지 못하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 2 곳 이상의 장소에서 획득한 영상정보가 요구된다. 대부분의 고해상도의 DV 카메라는 이동이 용이하지 못하기 때문에 새로운 카메라를 추가하여 설치하여야 한다. 또한, 본 논문의 연구 대상인 C/Pad 조립시스템의 경우에는 로봇 그림퍼를 이용하여 C/Pad 를 조립하는 과정에서 C/Pad 가 차체 내부로 투입되는 방향과 C/Pad 와 차체가 조립되는 방향이 서로 수직이므로 1 대의 카메라로는 두 과정을 모두 관측하면서 정확한 조립 티칭을 수행하는 것이 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 투입과정의 수행을 검증하기 위한 측면과 조립작업의 검증을 위한 정면에 각각 한대씩의 카메라를 설치하였다. 이와 같이 2 개 이상의 카메라를 통한 영상정보를 이용함으로써 작업자는 자리의 이동 없이 로봇 티칭 작업을 수행하는 것이 가능하다.

문제점 2: 조립부분이 사이드패널에 가려져 보이지 않는 문제점

가상물체는 실제영상 위에 생성되어지기 때문

에 AR 시스템을 이용하면 실차에 가려져 보이지 않는 부분에 대해서도 정확한 로봇 티칭을 수행하는 것이 가능하다. 하지만 생성된 가상차체에 의해서 조립부분이 가려지는 경우에는 조립부의 형상을 파악하는 것이 불가능하기 때문에 로봇 티칭 작업을 수행할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 기존에 각각 1 개 파트로 생성되었던 차체와 C/Pad 조립군을 세부 파트로 분류하였다. C/Pad 투입과정에서 차체와 C/Pad 간의 간섭이 발생 가능한 A 필러와 B 필러사이의 공간을 보유한 side panel, C/Pad 와 직접 조립이 수행되는 마스터 핀 홀을 보유한 bracket 부분과 그 외의 under body frame 부분으로 나누었다. C/Pad 도 투입공정시 발생가능한 간섭 검사를 위한 C/Pad skin 부분과 조립이 수행되는 마스터 핀이 있는 C/Pad cross bar 부분으로 나누었다. 또한 조립 위치의 정도 향상을 목적으로 마스터 핀과 핀 홀의 조립라인 정렬을 위한 가이드 핀과 C/Pad 간섭체크를 용이하게 수행하기 위한 A 필러와 B 필러사이의 가상공간을 추가적으로 모델링하였다(Fig 8).

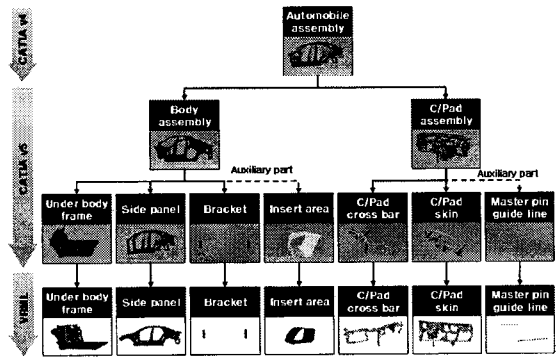


Fig. 8 Partition of virtual objects

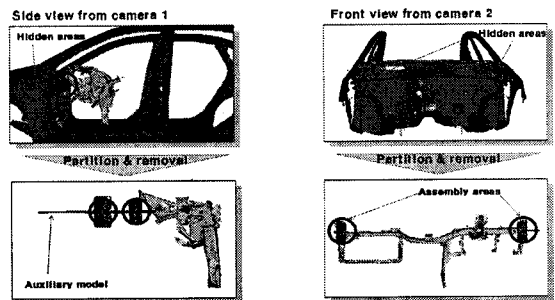


Fig. 9 Generation and removal of virtual objects to discover assembly area

각각 세분화된 가상물체들은 조립검증과 간섭 체크를 수행하는 과정에서 필요에 따라 선택되어 AR browser 창에 생성되었다(Fig. 9).

**문제점 3: 다방면 인식을 위한 마커의 생성**

C/Pad 조립시스템을 위한 가상물체의 조립군은 크게 차체와 C/Pad 로 나누어지므로 두 개의 좌표계가 요구된다. 가상의 차체를 생성하기 위한 좌표계의 마커는 로봇 티칭이 수행되는 동안 차체가 정지된 상태로 유지되므로 설치되는 카메라들의 방향만을 고려하여 생성되었다. 하지만 로봇의 그리퍼에 장착되어 C/Pad 를 생성하기 위한 좌표계의 마커는 로봇의 고자유도를 극복할 수 있어야 하므로 다방면에서 카메라에 관측될 수 있는 정육면체 구조로 제작되었다. 또한 C/Pad 조립을 위한 로봇 티칭을 수행하는 동안 그리퍼가 실제 차체 내부로 들어가게 되므로 마커의 인식을 위한 조명조건을 맞추는 것이 용이하지 못하다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 C/Pad 좌표계 마커는 정육면체 마커 내부에 조명을 설치함으로써 조명문제를 해결하였다. Fig. 10 은 차체 C/Pad 조립을 위한 테스트 베드의 가상차체와 가상 C/Pad 를 생성하기 위한

마커의 조합과 생성된 좌표계를 기반으로 가상물체의 정합 상태를 나타낸 것이다.

**문제점 4: 2D 영상에서 가상물체간의 간섭 검사**

C/Pad 를 투입하는 과정에서 C/Pad 와 차체의 간섭을 체크하기 위해서 차체의 측면에 설치된 카메라의 영상을 이용한다. 투입 초기에는 C/Pad skin 이 사이드패널의 A 필러와 B 필러사이의 공간보다 크기가 작아서 간섭의 여부를 용이하게 파악할 수 있다. 하지만 C/Pad 가 차체 내부로 들어오게 되면 C/Pad 의 스킨이 점점 커지게 되어 실제 간섭부분의 확인이 어렵거나 불가능하게 된다. 이를 해결하기 위해서 AR browser 상에서 2 개의 가상 평면을 생성하고 생성된 평면들 사이의 공간에서만 가상물체의 정보를 표현함으로써 A 필러 부분의 간섭 여부를 확인하였다(Fig. 11).

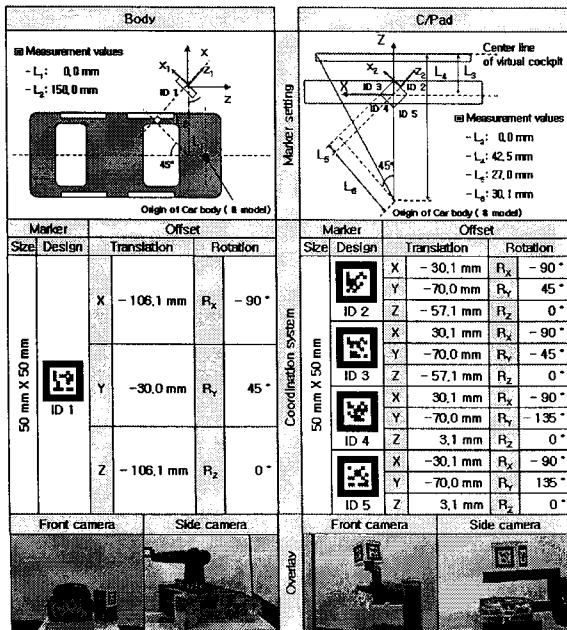


Fig. 10 Coordination systems for generation of virtual objects using multi markers

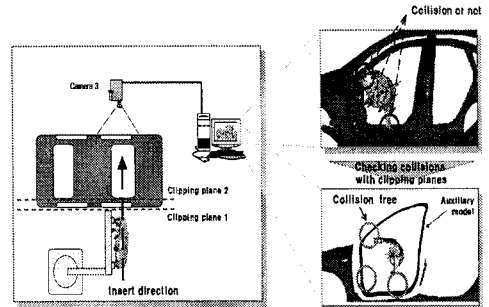


Fig. 11 Method for collision detection

**4.3 Test-bed 를 통한 C/Pad 조립시스템 구현**

문제점들의 해결방안들을 기반으로 AR 시스템의 현장적용을 위한 레이아웃이 제안되었다. 또한, 레이아웃의 현장 적용성을 평가하기 위해서 C/Pad 조립시스템의 test-bed 가 제작되었다(Fig. 12).

Test-bed 는 차체 기준으로 1:12 규모로 제작되었으며 가상물체의 생성을 위한 마커들은 50mm 의 크기로 제작되었다. 차체와 C/Pad 의 조립성 검토를 위해서 시스템의 정면과 측면에 각각 1 대의 카메라가 설치되었으며 투입 공정시 차체와 C/Pad 의 간섭을 검토하기 위해서 측면에 1 대의 카메라가 설치되었다. 로봇 티칭 작업자는 3 대의 카메라를 통해 획득되는 영상들을 기반으로 C/Pad 조립을 위한 로봇 프로그램을 생성하였다.

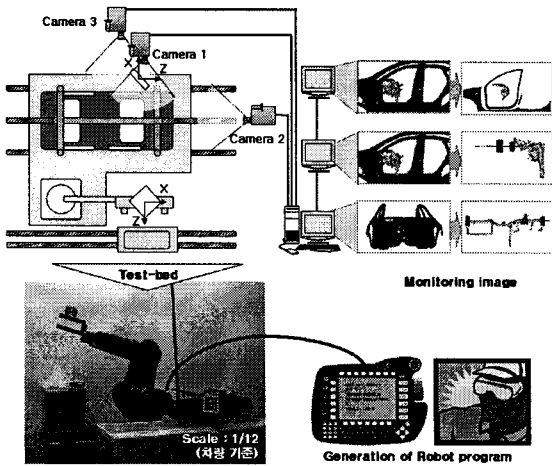


Fig. 12 Generation of robot program

### 5. 결론

제조비용의 절감을 위해서 차체 조립업체들은 AR 기술을 기반으로 제조시스템의 구성과 로봇티칭을 수행하고자 노력하고 있다. 이러한 AR 시스템을 현장에 적용하기 위해서 가상물체의 강건한 정합을 수행할 수 있는 환경변수들이 제안되었다. 또한 가상물체들간의 시각적인 간섭을 피하기 위해서 가상물체들을 세분화하여 생성하였으며 간섭부분을 확인할 수 있는 가상 평판을 생성하였다. 멀티 마커 구조를 이용하여 로봇의 고자유도를 극복할 수 있는 마커 구조가 제안되었다. 이들을 기반으로 C/Pad 조립을 위한 AR 시스템의 레이아웃이 제안되었으며 test-bed 를 기반으로 로봇 프로그램을 개발하였다.

본 논문은 높은 정밀도를 요구하는 로봇 기반의 조립시스템에도 AR 시스템을 적용하는 것이 가능함을 보여준다. 연구의 결과들을 이용함으로써 자동차 조립업체들은 실제 시스템의 변경 없이 새로운 차체 모델의 조립성 검증은 현장에서 수행하는 것이 가능할 것이다. 이를 통하여 레이아웃 구성 및 로봇 티칭 등과 같은 조립성 검증을 위한 경제적·시간적인 부담이 크게 절감될 것이다.

### 후 기

본 연구는 산업자원부에서 추진하는 차세대 신기술 개발사업의 하나로 수행되고 있는 ‘글로벌 정

보공유 및 지식기반의 차세대생산시스템 개발’ 과제의 지원을 받아 수행하였으며 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. Park, H. S. and Choi, H. W., "Implementation of an Assembly System for Automobile Side Panel Based on Digital Manufacturing Technologies," Journal of KSPE, Vol. 23, No. 11, pp. 68-77, 2006.
2. Günter, W. and Emmerich, S., "Digital Planning Validation in Automotive Industry," Computers in Industry, Vol. 56, Issue 4, pp. 393-405, 2005.
3. Wolfgang, K., "Digital Factory-Intergration of Simulation Enhance the Product and Production Process toward Operative Control and Optimisation," International Journal of Simulation, Vol. 7, No. 7, pp. 27-39, 2006.
4. Ong, S. K. and Nee, A. Y. C., "Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing," Springer-Verlag London Limited, pp. 207-236, 2004.
5. Wolfgang, F., "ARVIKA: Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service," Publicis Corporate Publishing, pp. 137-194, 2004.
6. Jun, R. and Yuji, A., "CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags," Proceedings of Designing Augmented Reality Environments 2000, pp. 1-10, 2000.
7. Gruen, A. and Huang, T. S., "Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision," Springer Series in Information Sciences, pp. 95-121, 2001.
8. Roger, Y. T., "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 6, pp. 323-344, 1987.