

# 자동차 프런트 샤시 모듈 측정을 위한 머신 비전 시스템 개발

이동목\*, 이광일\*, 양승한\*\*

(논문접수일 2003. 11. 15, 심사완료일 2004. 2. 23)

## Development of the Machine Vision System for Inspection the Front-Chassis Module of an Automobile

Dong-Mok Lee\*, Kwang-Il Lee\*, Seung-Han Yang\*\*

### Abstract

Today, automobile world market is highly competitive. In order to strengthen the competitiveness, quality of automobile is recognized as important and efforts are being made to improve the quality of manufactured components. The directional ability of automobile has influence on driver directly and hence it must be solved on the preferential basis. In the present research, an automated vision system has been developed to inspect the front chassis module. To interpret the inspection data obtained for front chassis module, new interpreting algorithm have been developed. Previously the control of tolerance of front chassis module was done manually. With the help of the new algorithm developed, the dimension is calculated automatically to check whether the front chassis module is within the tolerance limit or not.

**Key Words :** Machine Vision(머신 비전), Front Chassis Module( 프런트 샤시 모듈), Inspection of Automobile(자동차 측정), Best-Fit (최적 맞춤), Dimensional Analysis(좌표 해석)

## 1. 서론

세계 자동차 산업은 90년대 중반 남미와 동아시아 시장을 겨냥한 생산 확대로 유휴 설비가 늘어남에 등 공급과잉이 발생하였고 90년대 중반 이후 세계시장에서 심각한 공급과잉상태가 지속되고 있다. 2000년을 기준으로 세계 자

동차 생산 능력은 30%의 이상의 공급과잉이 발생하였으며 자동차 시장에서의 경쟁은 날이 치열해지고 있는 상황이다<sup>1)</sup>. 치열한 경쟁에서 유리한 위치를 점하기 위하여 최근 자동차의 품질이 가장 큰 문제로 부각되고 있으며, 소비자 역시 자동차 구입시 자동차 품질에 따른 자동차의 신뢰성, 즉 그에 따른 브랜드 이미지에 더 많은 무게를 두

\* 경북대학교 기계공학과 마이크로지능생산시스템  
교신저자, 경북대학교 기계공학부 (syang@knu.ac.kr)  
주소: 702-701 대구광역시 북구 산격동

고 있는 추세이다.

하나의 완성된 자동차에는 약 2만여 개의 부품들이 유기적으로 조립되어 있다. 현재 국내 자동차 부품 생산 업체들은 아직 많은 부분에서 영세성을 띄고 있으며 정밀한 부품 생산에 많은 한계를 가지고 있다. 제작 후에 이루어지는 제품 검사에서 많은 부분을 경험에 의한 수동적인 측정에 의존하고 있으며 기술적인 공차 관리 또한 제대로 이루어지지 못하는 상황이다. 또한 각 부품의 설계시 부품들 간의 기구학적 연계성, 조립시 발생하는 문제 등을 정확히 기술적으로 고려하지 못하는 까닭으로 자동차의 품질에 악영향을 가져오고 있다. 그러한 예상하지 못한 요소로 인해 인력 및 재일 등의 낭비를 가져오고 또한 고정밀, 고품질의 부품 생산에 많은 한계를 가지고 있다.

특히 주행시 운전자에게 직접적인 영향을 미치는 조향 성능에 관한 문제는 우선적으로 해결되어야 하지만 현재까지 관련 컴포넌트의 품질 및 공차 관리가 제대로 이루어지지 않고 있다. 자동차의 조향 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 자동차 프런트 샤시 모듈(Front Chassis Module)이며 현재 완성된 자동차의 시험 주행을 통하여 조향 성능을 평가하고 그 관련 컴포넌트들의 합적 여부를 판단하고 있다. 프런트 샤시 모듈의 정확한 기술적 해석의 부족으로 생기는 시간과 재원 및 인력의 낭비는 조립회사와 관련부품 생산회사에 많은 경제력 손실과 경쟁력 약화를 가져다준다.

자동차의 조향에 관련된 요소는 캠버, 캐스트 및 토우 등의 얼라인먼트 요소이며 그 요소는 자동차 서브 프레임(Sub Frame), 프런트 로우어암(Front Lower Arm), 스트럿 모듈(Strut Module) 및 액슬 모듈(Axle Module)등의 유기적인 연결에 의해 결정된다. 로우어암의 끝단에 위치하는 킹핀(King Pin)의 위치에 따라 킹핀각이 결정되며 다른 얼라인먼트 요소에 영향<sup>2)</sup>을 주게 된다.

모듈의 조립 형상을 알기 위해서는 킹핀의 하단부에 위치한 볼조인트 중심부의 거동을 파악해야하며 현재 자동차 부품 생산 업체에서는 이 볼조인트 중심의 정확한 위치와 공차 관리가 이루어지지 못하고 있다.

본 연구에서는 자동차의 조향에 영향을 끼치는 킹핀 하단부의 볼조인트 중심점과 킹핀이 그리는 회전 거동을 구할 수 있는 자동화된 3차원 비전 시스템을 개발하였다. 자동화된 측정 시스템은 킹핀의 볼조인트가 회전하는 원의 계산뿐만 아니라 서브 프레임의 플랜지(Flange)를 측정<sup>3)</sup>함으로써 그동안 수동으로 이루어져 오던 서브프레임에 대한 검사를 자동화시키는 자동 품질 검사 시스템으로도 확장시킬 수 있다. 시스템을 구성함에 있어 고가의 측정 장비 사용을 자제

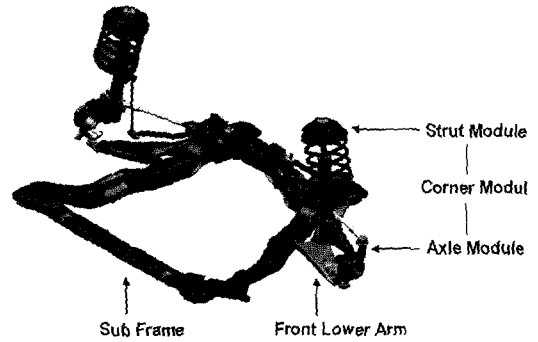


Fig. 1 Front Chassis Module

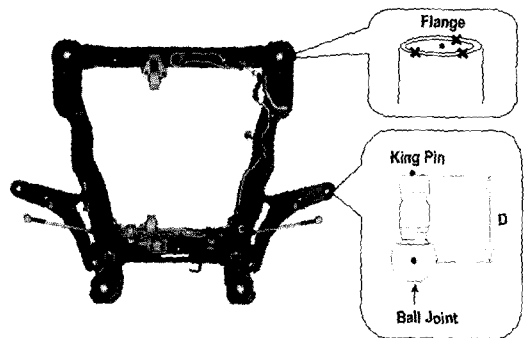


Fig. 2 Sub Frame and Front Lower Arm

하여 저렴하고 정확도 높은 시스템을 구성하기 위해 다축의 이송로봇 시스템<sup>4,5)</sup>을 사용하여 구현하였다.

## 2. 프런트 샤시 모듈 구성도 및 측정 원리

자동차 프런트 샤시 모듈은 Fig. 1에 보이는 것처럼 서브 프레임의 측면에 프런트 로우어암이 부착되며 프런트 로우어암의 끝단에 위치하고 있는 킹핀에 코너 모듈이 조립된다. 코너 모듈은 액슬 모듈과 스트럿 모듈이 결합되어 있다. 이 모듈들의 조립 형상 및 자세에 의해 캠버, 캐스트, 토우 및 킹핀각이 결정되고 자동차의 조향성능에 영향을 미친다.

볼조인트의 중심점을 구하기 위해 우선 측정 기준을 정해야 하므로 플랜지의 네 점을 이용해 기준 평면을 설정한다. 그리고 킹핀의 회전 거동을 파악하기 위해 상·중·하 자세를 가지는 세 볼조인트 중심점을 이용하여 회전원을 설정한다.

Fig. 2에 나타나듯이 플랜지와 킹핀의 윗면은 원 형상을

이루고 있으며 CAD 설계에 나타난 점은 각 부분에서의 중심점이므로 실제 제품에 존재하지 않는다. 따라서 직접적인 측정이 불가능하므로 플랜지와 킹핀의 각 부분에 세 점씩을 측정하여 원을 구하고 그 원의 중심점을 구한다.

Fig. 1에서 보이듯 킹핀 볼조인트 중심은 볼조인트 부분이 정확한 구로 제조되지 못하며 그 내부에 위치하기 때문에 외부에서 직접적으로 측정을 할 수가 없다. 따라서 킹핀 윗면과 볼조인트 중심점까지의 길이(이하 킹핀 읍셋거리)를 유추함으로써 계산해 낼 수 있다. 즉 Fig. 3과 같이 같은 중심점을 가지는 고정된 점에서 킹핀 윗면을 두 번 자세를 취하여 측정함으로써 구할 수 있다. 킹핀 윗면을 각각 세 점씩 측정하여 원을 구한 후, 두 원의 법선 방향으로의 직선을 각각 구하여 그 두 직선이 만나는 점이 볼조인트의 중심이 되고 원 중심점으로부터의 거리가 바로 킹핀 읍셋거리(D)가 된다.

로우어암의 회전 거동을 알아보기 위해 볼조인트 중심점을 좌우 양방향으로 상·중·하 자세의 각각 세 점씩 측정하여 원의 식을 구해낸다. 원의 중심축은 로우어암의 회전 중심축이 되며 원의 반지름은 로우어암의 회전 길이를 나타낸다(Fig. 4).

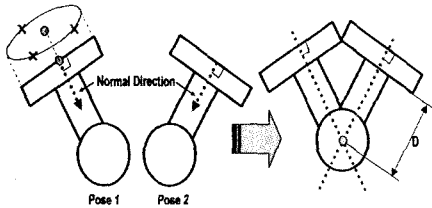


Fig. 3 Method to find King-pin-offset distance

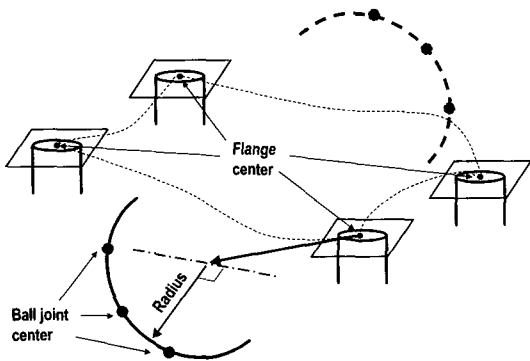


Fig. 4 Rotating circle of the Front Lower Arm

### 3. 영상 시스템 구성 및 좌표 변환

#### 3.1 영상 시스템 구성

서보 프레임의 플랜지와 킹핀의 윗면의 형상은 원통형상을 이루고 있으므로 반경 방향으로 측정하는 것이 보다 정밀한 측정을 가능하게 한다. 따라서 1개의 회전축을 가지도록 비전 시스템을 구성하였고 Fig. 5와 같이 8개의 LED와 Laser, Camera 각각 1개씩 구성하였다.

저렴하고 빠른 측정이 가능한 비전 시스템을 구성하기 위해 슬릿 빔 타입의 레이저로 측정부위 전체를 스캔하는 방식을 사용하지 않고, 각 부분의 세 점만을 측정하는 방식을 사용한다. LED로 플랜지와 킹핀 상단면의 윤곽선을 얻고 Laser와 만나는 점을 추출한다. 단시간에 한 점을 추출하고 광 삼각법을 적용하여 점의 위치를 구할 수 있다.

광 삼각법은 가장 보편적인 측정 방법으로 슬릿광을 주사하고 카메라와 변형된 슬릿광 영상사이의 기하학적 관계를 이용하여 3차원 형상을 측정하는 방법이다.

Fig. 6에서 X값은 서보 로봇 시스템의 레이저 위치와 같

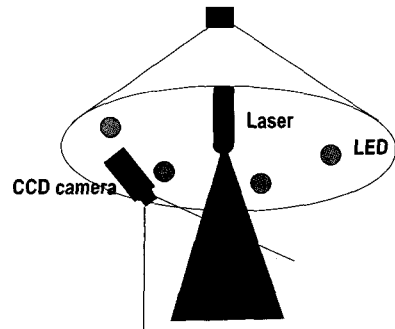


Fig. 5 Composition of a vision system

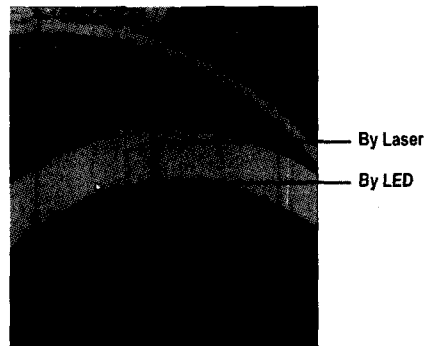


Fig. 6 Display taken by laser and LED at the flange

으며 Y, Z에 대한 값은 CCD array에 맺힌 영상에서의 거리(u, v)를 이용하여 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$Y = \frac{-bv}{\lambda \sin \theta_s + u \cos \theta_s} \quad (1)$$

$$Z = \frac{-b(\lambda \cos \theta_s - u \sin \theta_s)}{\lambda \sin \theta_s + u \cos \theta_s}$$

where,

X, Y, Z: 측정 대상의 위치 데이터

u, v: 측정 대상의 영상 데이터

b,  $\theta_s$ : 레이저와 카메라 사이의 거리와 각도

### 3.2 좌표 변환

측정된 좌표값의 월드 좌표, 즉 설계 도면상의 좌표로의 변환이 필요하다. 측정된 좌표값과 월드 좌표값 사이에는 3차원적 자세에 대한 변환(Fig. 7)이 요구되는데 측정값은 항상 제작상의 오차와 측정상의 오차 등의 요소로 인해 항상 오차를 포함하게 된다.

변환에 필요한 기준점은 서브프레임의 네 플랜지 점을 사용하였으며 오차요소를 최소화하도록 하기 위해 최적 맞춤(Best-fitting) 문제<sup>(6,7)</sup>에 대한 해법이 필요하다. 즉 변환을 위한 최적의 기준 좌표계 설정이 요구된다.

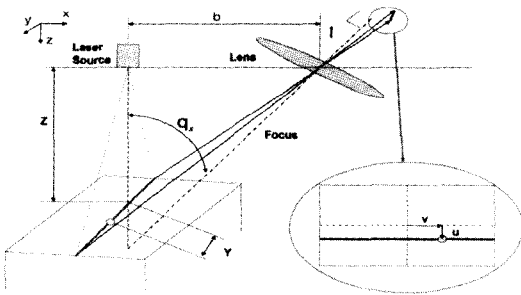


Fig. 7 Optical triangulation

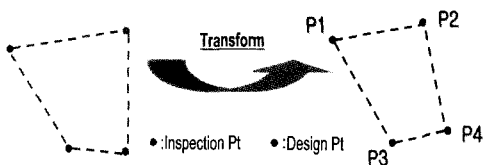


Fig. 8 Transformation to CAD model

측정 좌표와 월드 좌표로의 변환을 나타내는, 즉 자세를 나타내는 두 좌표사이의 변환은 Fig. 9에 나타나 있다. 좌표 변환 행렬은 각 좌표의 기본 벡터의 관계를 이용해 구할 수 있으며 최종 변환 행렬은 다음과 같다.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Q_x \\ 0 & 1 & 0 & Q_y \\ 0 & 0 & 1 & Q_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{x2} & V_{x2} & W_{x2} & 0 \\ U_{y2} & V_{y2} & W_{y2} & 0 \\ U_{z2} & V_{z2} & W_{z2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{x1} & U_{y1} & U_{z1} & 0 \\ V_{x1} & V_{y1} & V_{z1} & 0 \\ W_{x1} & W_{y1} & W_{z1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -R_x \\ 0 & 1 & 0 & -R_y \\ 0 & 0 & 1 & -R_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

where,

$$e_{x1} = [U_{x1}, U_{y1}, U_{z1}], \quad e_{y1} = [V_{x1}, V_{y1}, V_{z1}], \quad e_{z1} = [W_{x1}, W_{y1}, W_{z1}]$$

$$e_{x2} = [U_{x2}, U_{y2}, U_{z2}], \quad e_{y2} = [V_{x2}, V_{y2}, V_{z2}], \quad e_{z2} = [W_{x2}, W_{y2}, W_{z2}]$$

$\{e_{x1}, e_{y1}, e_{z1}\}, \{e_{x2}, e_{y2}, e_{z2}\}$ : 좌표 1과 좌표 2의 방향벡터  
 $[R_x, R_y, R_z], [Q_x, Q_y, Q_z]$ : 좌표 1과 좌표 2의 위치벡터

## 4. 실험

### 4.1 전체 시스템 구성 및 실험 장치

전체 시스템은 3축의 직선 이송 스테이지와 1개의 회전

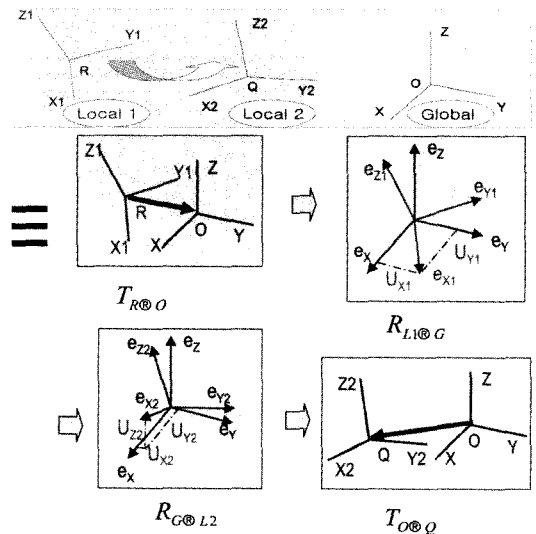


Fig. 9 Transformation between two local coordinates

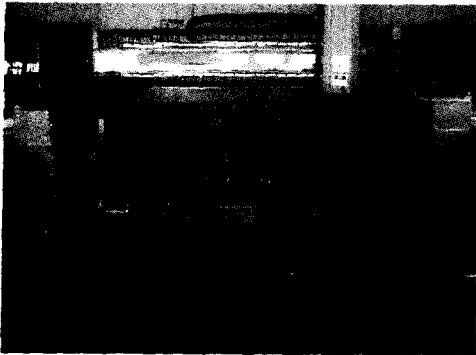


Fig. 10 Overall formation of the inspection System

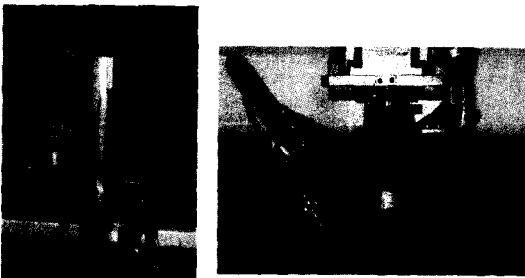


Fig. 11 SCARA robot and vision system

축을 가진 비전시스템의 스테이지를 가지며, 이는 Fig. 10에 나타나 있다. 그리고 좌·우 프린트 로우어암의 킵핀을 클램프하고 상·하로 이동하기 위한 2대의 5축 스카라 로봇을 사용하였으며 CCD 카메라와 Laser, LED로 이루어진 비전 시스템을 부착하여 서브프레임의 플랜지와 프린트로우어암의 킵핀 윗면을 측정하였다. 이는 Fig. 11에 나타나 있다.

3축 이상 스테이지는 각 축마다 1.1kW의 용량과 최대 속도 1500RPM을 가진 문형의 로봇시스템으로 구성된다. 그리고 스카라 로봇은 0.4kW의 용량과 1000RPM의 최대 속도를 가지며 비전시스템의 서보 모터는 0.4kW의 용량과 2000RPM의 최대 속도를 가진다. 5mW 용량의 Laser 발진 장치와 12V, 350mA 사양의 LED illumination, 그리고 XC-ES50 모델(sony사)의 CCD Camera를 사용하여 비전 시스템을 구성하였다.

전체 시스템의 크기는 2400×4200×2200(mm)이다.

#### 4.2 실험 방법

Table 1과 같은 사양을 가진 프린트 로우어암이 조립된 서브프레임을 선정하여 측정을 하였다. 각 측정점으로부터

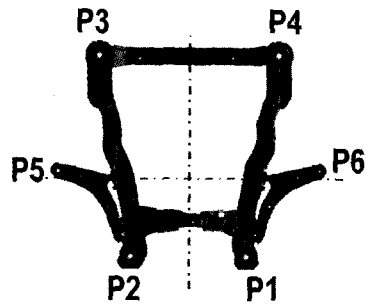


Fig. 12 Index of inspection point

Table 1 Specification of inspection points

Point	x	y	z
P1	438	318	-3
P2	438	318	-3
P3	-622	494	93
P4	-622	494	93
P5	-15.3	-723.9	-70.6
P6	-15.3	-723.9	-70.6

터 얻어진 원의 중심점에 대한 인덱스는 Fig. 12에 나타나 있다.

프린트 로우어암의 회전 거동을 나타내는 볼조인트의 회전원은 점 P5와 P6에 의해서 주어지며 볼조인트 중심이 이루는 회전원상에서 Z축 값이 -70.6일 때의 좌표값을 구하여 실제 규격과의 차이를 비교하였다. 시스템의 구동 흐름도는 Fig. 13과 같다.

#### 4.3 실험 결과

측정은 5회 실시하였으며 그 결과는 Table 2와 같이 나왔다. 각 측정에 대한 표준편차가 매우 작은 값을 나타내므로 측정 시스템이 높은 반복 정밀도를 가진다.

서브프레임의 뒤쪽 부분(P3, P4)의 가로방향(Y방향) 길이가 규격보다 상대적으로 길다는 것을 알 수 있는 것처럼 평균과 설계 도면상의 규격과의 오차로써 서브프레임과 로우어암의 합격 여부 판단을 할 수 있게 된다. 또한 일련의 제조 공정에서의 연속적인 측정을 통해 통계적 기법에 의한 관리도를 작성할 수 있으며 제조 공정상의 경향 파악 및 품질 관리가 가능하다.

또한 킵핀의 볼조인트 중심점(P5, P6)을 구하고 그 회전

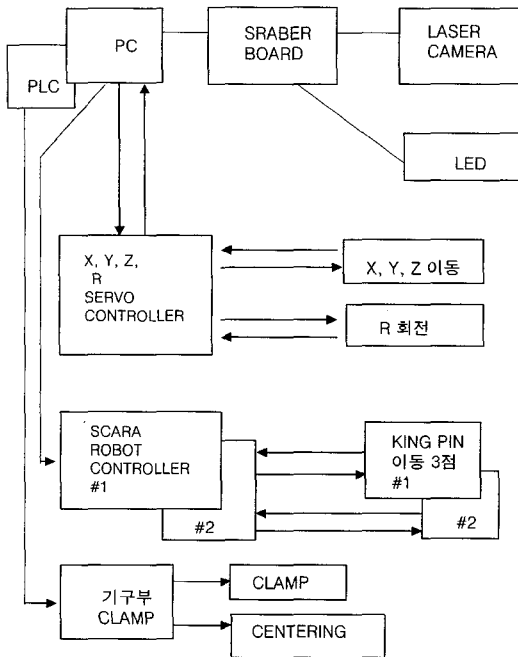


Fig. 13 Flow chart about the inspection system

원의 특성을 파악함으로써 서브프레임과 프런트 로우어암에 대한 새로운 공차 기준을 제시할 수 있으며, 킹핀의 볼조인트 중심점의 거동에 따라 자동차의 조향에 영향을 미치는 얼라인먼트 요소들을 파악할 수 있는 수치를 제시할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 자동차의 조향성에 중요한 영향을 미치는 자동차의 프런트 샤시 모듈의 서브 프레임과 프런트 로우어암을 측정하기 위한 자동화된 머신비전 시스템을 개발하였다.

저가의 자동화 측정 시스템을 구성함으로써 수동에 의해 측정되어지던 서브프레임의 플랜지를 자동화된 시스템으로 측정할 수 있으며 그동안 측정이 불가능했던 킹핀의 볼조인트 중심점과 옵셋거리를 측정할 수 있었다. 또한 킹핀의 3차원 좌표값 및 회전 거동을 파악할 수 있게 됨으로써 자동차 조향에 영향을 미치는 여러 얼라인먼트 요소들과의 관계를 수치적으로 분석이 가능하다.

완성차 조립이 이루어지기 전 측정을 통하여 서브 프레임

Table 2 The result of 5 experiment trials(unit: mm)

		설계치	평균	표준편차	오차
P1	X	438	437.3376	1.72E-05	-0.6624
	Y	318	318.6368	6.8E-06	0.6368
	Z	-3	-2.9779	3.595E-05	0.0221
P2	X	438	437.8894	5.2E-06	-0.1106
	Y	-318	-318.6368	6.8E-06	-0.6368
	Z	-3	-2.9521	3.149E-05	0.0479
P3	X	-622	-621.3776	5.12E-05	0.6224
	Y	-494	-492.9910	1.6E-05	1.0090
	Z	93	92.9023	3.351E-05	-0.0977
P4	X	-622	-621.5242	8E-07	0.4758
	Y	494	492.9910	1.6E-05	-1.0090
	Z	93	92.9982	3.853E-05	-0.0018
P5	X	-15.3	-15.0970	0.0008976	0.2030
	Y	-723.9	-724.4810	0.000294	-0.5810
	Z	-70.6	-70.6000	0	0.0000
P6	X	-15.6	-16.0042	0.0003226	-0.4042
	Y	723.9	723.8942	0.0001868	-0.0058
	Z	-70.6	-70.6000	0	0.0000

과 킹핀의 위치를 파악함으로써 미리 적·부의 판단을 할 수 있게 됨으로써 불량품의 조립 방지와 불필요한 재원의 낭비를 조기에 방지할 수 있게 되어 조립회사와 컴포넌트 제조회사에 많은 이익을 줄 수 있다.

### 참고 문헌

- (1) Hwang, Y. S, 2002, *An oversupply and korea economy*, Samsung economy research institute, pp. 17.
- (2) Song, Y. S, 1997, *Automotive Chassis*, Kihanjae, pp. 318~322.
- (3) Kosmopoulos, D., and Varvarigou, T., 2001, "Automated inspection of gaps on the automobile production line through stereo vision and specular reflection," *Computers in Industry*, Vol. 46, No. 1, pp. 49~63.
- (4) Liu, L., Sawada, T., and Sakamoto, M., 2000, "Evaluation of the surface deflections in pressed

- automobile panels by an optical reflection method," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 103, No. 2, pp. 280~287.
- (5) Golnabi, H., 2003, "Role of laser sensor systems in automation and flexible manufacturing," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 19, No. 1~2, pp. 201~210.
- (6) Horn, B. K. P., 1987, "Closed-form solution of absolute orientation using orthonormal matrices," *J. Opt. Soc. Am. Ser.A*, Vol. 5, No. 7, pp. 1127~1135.
- (7) Arun, K. S., Huang, T. S., and Blostein, S. D., 1987, "Least-squares fitting of two 3-D point sets," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. PAMI-9, pp. 698~700.