

자동차 프런트 샤시 모듈 측정을 위한 머신 비전 시스템 개발

이동목*, 이광일*, 양승한**

The development of the machine vision system to inspect 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), Reverse Engineering(역공학), Chassis Module Inspection System(샤시 모듈 측정 시스템)

1. 서론

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

자동차 생산 능력은 6,700만대, 수요는 5,100만대로 31.4%의 공급과잉이 발생하였으며 자동차 시장에서의 경쟁은 날이 치열해지고 있는 상황이다. 치열한 경쟁에서 유리한 위치를 점하기 위하여 최근 자동차의 품질이 가장 큰 문제로 부각되고 있으며, 소비자 역시 자동차 구입시 자동차 품질에 따른 자동차의 신뢰성, 즉 그

* 경북대학교 기계공학과 마이크로지능생산시스템

주소: 702-701 대구광역시 북구 산격동 1370

** 경북대학교 기계공학부

에 따른 브랜드 이미지에 더 많은 무게를 두고 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 부품들간의 기구학적 연계성, 조립시 발생하는 문제 등을 정확히 기술적으로 고려하지 못하는 까닭으로 자동차의 품질에 악영향을 가져오고 있다. 그러한 예상하지 못한 요소로 인해 인력 및 자원 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 프론트 샤시 모듈(Front Chassis Module)이며 현재 완성된 자동차의 시험 주행을 통하여 조향 성능을 평가하고 그 관련 컴포넌트들의 적·부를 판단하고 있다. 프론트 샤시 모듈의 정확한 기술적 해석의 부족으로 생기는 시간과 자원 및 인력의 낭비는 조립회사와 관련부품 생산회사에 많은 경제력 손실과 경쟁력 약화를 가져다 준다.

자동차의 조향에 관련된 요소는 캠버, 캐스트 및 토우 등이며 그 요소는 자동차 서브 프레임(Sub Frame). 프론트 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 또한 캠버, 캐스트 등 자동차의 얼라인먼트에 영향을 주게 된다.

이번 연구에서 자동차의 조향에 영향을 끼치는 킹핀 하단부의

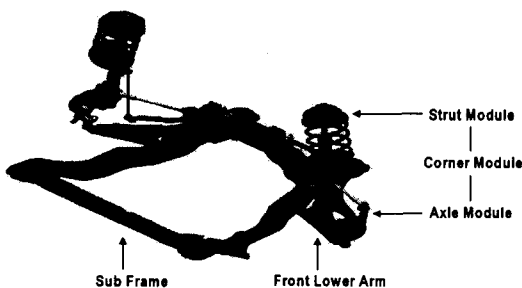


Fig. 1. Front Chassis Module

볼조인트 중심점과 킹핀이 그리는 회전원의 거동을 구할 수 있는 자동화된 3차원 비전 시스템을 개발했다. 자동화된 측정 시스템은 킹핀의 볼조인트가 회전하는 원의 계산뿐만 아니라 서브 프레임의 플랜지(Flange)를 측정함으로써 그동안 수동으로 이루어져 오던 서브프레임에 대한 검사를 자동화시키는 자동 품질 검사 시스템으로도 확장시킬 수 있다.

시스템을 구성함에 있어 고가의 측정 장비가 이용하지 않으며 저렴하고 정확도 높은 시스템을 구성하기 위해, 다축의 이송로봇 시스템과 비전 시스템으로 구성하여 측정하고 3차원 해석을 통해 정밀한 시스템을 구현하였다.

2. 프론트 샤시 모듈 구성도 및 측정 원리

2.1 프론트 샤시모듈의 구성

자동차 프론트 샤시 모듈은 Fig. 1.에 보이는 것처럼 서브 프레임의 측면에 프론트 로우어암이 부착되며 프론트 로우어암의 끝단에 위치하고 있는 킹핀의 볼조인트에 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.

현재 자동차 부품 생산 업체에서는 볼조인트 중심의 정확한 위치와 공차 관리가 이루어지지 못하고 있으며 따라서 이번 연구를 통한 비전 시스템을 구성함으로써 그 문제를 해결할 수 있다.

2.2 측정 방법 및 계산 원리

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.

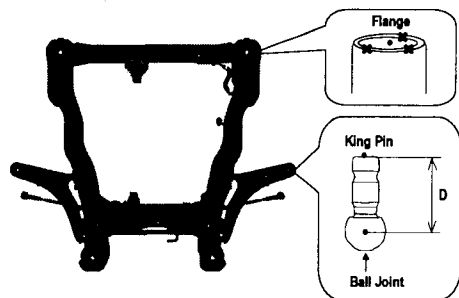


Fig. 2. Sub Frame and Front Lower Arm

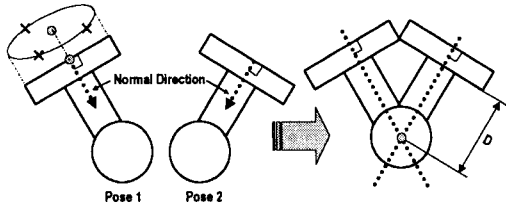


Fig. 3. Method to find King-pin-offset distance

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. 플랜지와 킹핀의 윗면은 원 형상을 이루고 있으므로 각 점을 구하기 위해 세 점씩을 측정하여 원을 구하고 그 원의 중심점을 구한다.

킹핀 윗면과 볼조인트 중심점까지의 길이(이하 킹핀 옵셋거리)는 볼조인트의 중심점을 외부에서 측정할 수 없는 관계로 이제까지 정확한 공차관리가 이루어지지 않았다. 따라서 Fig. 3.과 같이 고정된 점에서 킹핀 윗면을 두 번 자세를 취하여 측정하므로써 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 중심점으로 부터의 거리가 바로 킹핀 옵셋거리(D)가 된다.

로우어 암의 회전 거동을 알아보기 위해 볼 조인트 중심점을 좌우 양방향으로 상·중·하 자세의 각각 세 점씩 측정하여 원의 식을 구해낸다. 원의 중심축은 로우어 암의 회전 중심축이 되며 원의 반지름은 로우어 암의 회전 길이를 나타낸다.

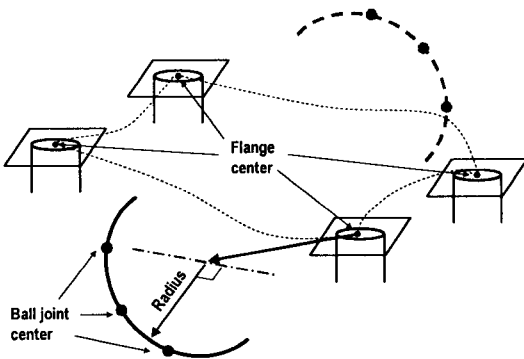


Fig. 4. Rotating circle of the Front Lower Arm

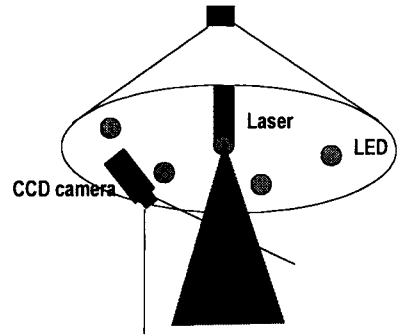


Fig. 5. Composition of a vision system

3. 영상 시스템 구성 및 좌표 변환

3.1 영상 시스템 구성

서브 프레임의 플랜지와 킹핀의 윗면의 형상은 원통형상을 이루고 있으므로 형상에 따른 보다 정밀한 측정을 위해 회전축을 가지도록 비전 시스템을 구성하였고 Fig. 5.와 같이 8개의 LED와 Laser, Camera 각각 1개씩 구성하였다.

저가의 비전 시스템을 구성하기 위해 슬릿 빔 타입의 레이저로 측정부위 전체를 스캔하는 방식을 사용하지 않고, 세 점만을 측정하여 기하학적 원의 식을 구하고 원의 중심점을 구하는 방식을 사용한다. 따라서 LED로 원의 윤곽선을 얻고 다시 Laser와 만나는 점을 추출하는 방법으로 단시간에 한 점을 추출하고 광삼각법을 적용하여 점의 위치를 구할 수 있다.

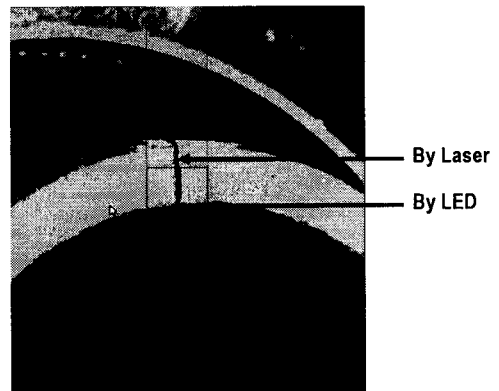


Fig. 6. Display taken by laser and LED at the flange

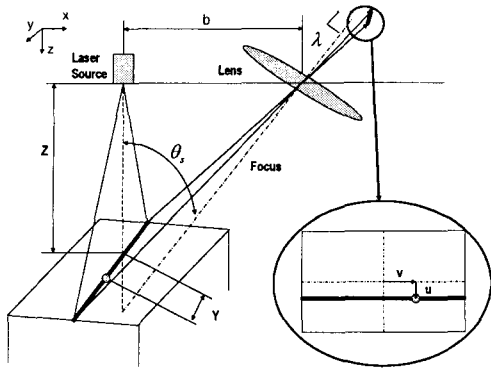


Fig. 7. Optical triangulation

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

Fig. 6.에서 X값은 서보 시스템의 레이저 위치와 같으며 Y,Z에 대한 값은 CCD array에 맞힌 영상의 픽셀수(u,v)를 이용하여 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

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

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

3.3 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 오차 및 측정상의 오차요소로 인해 항상 오차를 포함하게 된다. 이 오차요소를 최소화하도록 하는 변환이 필요하며 서브프레임과 프런트 로우암의 주요 특징 비율을 이용해 변환하는 방법을 사용한다.

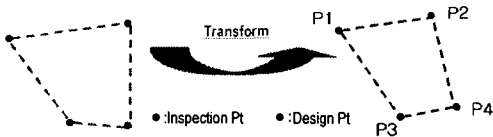


Fig. 7. Transformation to design

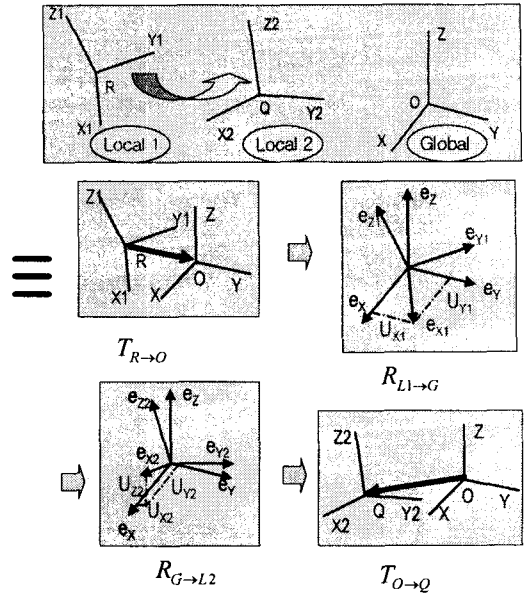


Fig. 8. Transformation between two local coordinates

측정 좌표와 월드 좌표로의 변환을 나타내는, 즉 자세를 나타내는 두 좌표사이의 변환은 Fig. 8.에 나타나 있다. 좌표 변환 행렬은 각 좌표의 기본 벡터의 관계를 이용해 구할 수 있으며 최종 변환 행렬은 다음과 같다.

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

where

$$\mathbf{e}_{x1} = [U_{x1}, U_{y1}, U_{z1}] \quad \mathbf{e}_{y1} = [V_{x1}, V_{y1}, V_{z1}] \quad \mathbf{e}_{z1} = [W_{x1}, W_{y1}, W_{z1}]$$

$$\mathbf{e}_{x2} = [U_{x2}, U_{y2}, U_{z2}] \quad \mathbf{e}_{y2} = [V_{x2}, V_{y2}, V_{z2}] \quad \mathbf{e}_{z2} = [W_{x2}, W_{y2}, W_{z2}]$$

$\{\mathbf{e}_{x1}, \mathbf{e}_{y1}, \mathbf{e}_{z1}\}, \{\mathbf{e}_{x2}, \mathbf{e}_{y2}, \mathbf{e}_{z2}\}$ are unit vectors of the local 1 and 2 coordinates respectively.

$[R_x, R_y, R_z], [Q_x, Q_y, Q_z]$ are position vectors of the the local 1 and 2 coordinates respectively.

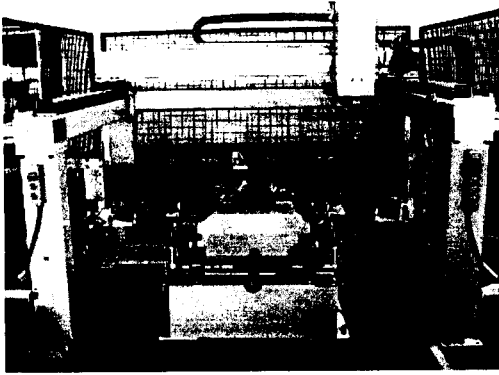


Fig. 9. Overall formation of the inspection System

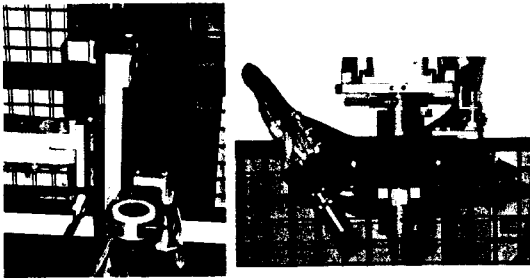


Fig. 10. SCARA robot and vision system

4. 실험

4.1 전체 시스템 구성 및 실험 장치

3축의 직선 이송 스테이지와 1개의 회전축을 가진 비전시스템의 스테이지를 가진다. 그리고 좌·우 프런트 로우어암의 킹핀을 클램프하고 상·하로 이동하기 위한 2대의 5축 스카라 로봇을 사용하였다. 또한 CCD 카메라와 Laser, LED로 이루어진 영상장치를 부착하여 서브프레임의 플랜지와 프런트 로우어암의 킹핀 윗면을 측정하였다.

3축 이송 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.

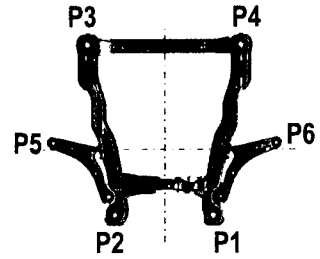


Fig. 11. Index of points

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

Table. 1. Specification of inspection points

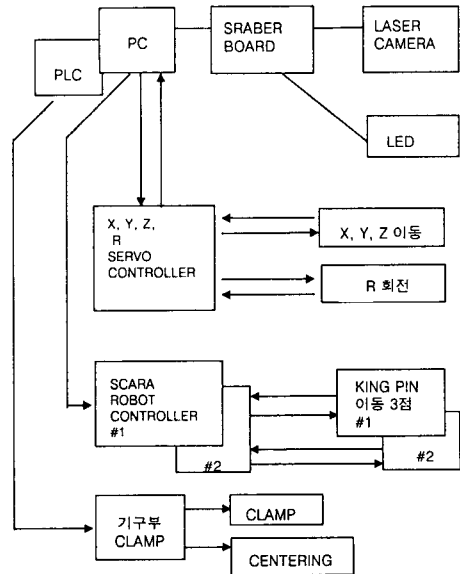


Fig. 12. Flow chart about the inspection system

4.2 실험 방법

Table. 1.과 같은 사양을 가진 프런트 로우어 암이 조립된 서브프레임을 선정하여 측정을 하였다. 각 측정점으로부터 얻어진 원의

		spec	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	3.6E-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	3.15E-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	3.35E-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	3.85E-05	-0.0018
P5	X	-15.3	-15.0970	0.000898	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	0.000323	-0.4042
	Y	723.9	723.8942	0.000187	-0.0058
	Z	-70.6	-70.6000	0	0.0000

Table 2. The result of 5 experiment trials

중심점에 대한 인덱스는 Fig. 12.에 나타나 있다.

점 P5와 P6는 볼조인트 중심이 이루는 회전원상에서 Z축 값이 -70.6일 때의 좌표값을 구하여 실제 규격과의 차이를 비교하였다. 시스템의 구동 흐름도는 Fig. 13.과 같다.

4.3 실험 결과

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

서브프레임의 뒤쪽 부분(P3,P4)의 가로방향(Y방향) 길이가 규격보다 길다는 것을 알 수 있듯이 평균과 설계 도면상의 규격과의 오차로써 서브프레임과 로우어 암의 적·부 판단을 할 수 있게 되며 일련의 제작 과정에서 통계적 기법에 의한 관리도를 작성하여 제작 공정상의 경향 파악 및 품질 관리가 가능하다.

또한 킹핀의 볼조인트 중심점(P5,P6)을 구하고 그 회전원의 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

이번 연구에서는 자동차의 조향성에 중요한 영향을 미치는 자동차의 프런트 샤시 모듈의 서브 프레임과 프런트 로우어 암을 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 옵셋 거리를 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 프레임과 킹핀의 위치를 파악함으로써 미리 적·부의 판단을 할 수 있게 됨으로써 불량품의 조립 방지와 불필요한 재원의 낭비를 조기에 방지함으로써 조립회사와 컴포넌트 제작회사에 많은 이익을 줄 수 있다. 또한 서브 프레임을 자동으로 측정 가능하게 됨으로써 자동 품질 관리의 용도로 활용할 수 있고 관련 컴포넌트의 품질 향상에 큰 도움을 줄 수 있다. 나아가 자동차를 이루는 많은 조립 컴포넌트에 이 시스템을 확장 개발하고 적용함으로써 그동안 제대로 이루어지지 못했던 자동품질관리와 기술적인 해석을 할 수 있으며 국내 자동차 산업의 경쟁력 향상과 발전에 큰 기대를 할 수 있다.

참고 문헌

- (1) L. Liu, T. Sawada, M. Sakamoto, 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.
- (2) Hossein Goinabi, 2003, "Role of laser sensor systems in automation and flexible manufacturing", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 19, No. 1~2, pp. 201~210
- (3) Dimitrios Kosmopoulos, Theodora Varvarigou, 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) Laszlo, Michael Jay, 1996, *computational geometry and computer graphics in C++*, Prentice Hall, pp. 69~201.
- (5) Angel, Edward, 2000, *Interactive computer graphics: a top-down approach with OpenGL*, Addison Wesley Longman, pp. 35~237