

## 자동차 허브 내·외경 측정 시스템 개발

윤규택\*, 이동주\*\*, 최만용\*\*\*, 박해원\*\*\*, 박정학\*\*\*

### Development of a system for measuring inside & outside diameters of automobile hub

Kyu-Tek Yun\*, Dong-Ju Lee\*\*, Man-Young Choi\*\*\*, Hae-Won Park\*\*\*, Jeong-Hak Park\*\*\*

\*충남대학교 기계공학과 대학원, \*\*충남대학교 기계공학과, \*\*\*한국표준과학연구원

#### Abstract

An automobile hub is composed of a hollow cylindrical part with inner and outer diameters. These hub diameters must be precise, as any irregularities in them (diameters) can influence/degrade the motion of an automobile with this problem. Highly accurate and reliable hub inner and outer diameters measurement systems are therefore required for inspection of the diameters. In this research, an automobile hub inner and outer diameters measurement system has been developed and tested. The system consists of measuring heads with LVDT sensors, and associated software for automatic measurement and calibration of the diameters and the sensors respectively. The system has been evaluated in comparison with an existing measurement system, and the following outcomes have been achieved;

- Improved and guaranteed quality and reliability
- Increased productivity and cost reduction

These results prove the system developed in this research to be suitable for automobile hub inspection.

**Key Words :** Hub(허브), Measuring head(측정헤드), LVDT, Calibration(교정), Defective unit(불량품)

#### 1. 서론

리어허브는 승용차의 바퀴에 동력을 전달하는 자동차의 요소부품중 하나이며, 자동차 운행시에

많은 하중을 받으면서 회전하고 있는 차륜을 고정된 차축과 베어링을 통하여 고정시키는 역할을 하고 차륜이 안전하게 회전할 수 있도록 한다 (Fig. 1). 가공 방법은 주물로 초기 모양을 만들고 NC선반에 의해 휠과 연결되는 볼트구멍과 차축과 연결되는 베어링 하우징을 가공한다.<sup>[1-2]</sup>

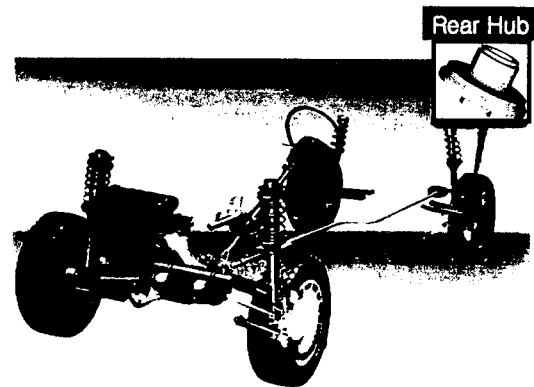


Fig. 1 Position of hub in an automobile

가공된 여러 가지 부분은 자동차의 안전운행과 흔들림에 지대한 영향을 미치기 때문에 가공된 부분은 허용공차 내에 있는지 전량검사를 해야 하며 기준면이 되는 하부면이 각 내·외경에 대하여 직각도가 허용범위 내에 있어야 한다.

그러나, 현재까지는 이러한 측정이나 검사들을 작업자가 수동으로 일일이 작업하다 보니 불량품이 출하되는 경우가 있으며, 이러한 경우 자동차 제조회사에서는 각종 부품들을 조립하는 조립공정에서 불량품이 발생되면 해당 부품들에 대해

전량 재검사를 하게된다. 만일 불량품이 조립공정에서 발견되지 못하고 자동차를 전부 조립하고 현지에서 운행하다가 불량부품이 발견되면 불량부품이 발생한 곳드 단위로 조립된 자동차에 대해 일일이 추적하여 분해하고 재검사해야 함으로 막대한 시간과 경비가 투입되는 손해를 보게 된다.

따라서, 리어허브의 불량품이 출하되는 현상을 막기 위한 것이 본 연구의 연구목적이다.

## 2. Hub 내·외경 측정방법

리어허브는 상부 내경과 하부 내/외경 및 동심도를 측정하여 이를 허용범위 내에 있는지 검사한다. 이렇게 상부와 하부의 내경 또는 외경 측정용 상·하의 2개 측정헤드에 의해 측정되며 측정 결과를 데이터 파일로 저장하고 또한 허용공차와 비교하여 양부 판정하여 불량품과 양품을 분리하게 된다.

또한, 측정센서의 오차를 보정하기 위해 Standard Hub를 설치하여 일정한 주기마다 교정을 행하는 시스템으로 개발하였다.

### 2.1 Hub 내경 구하는 방법

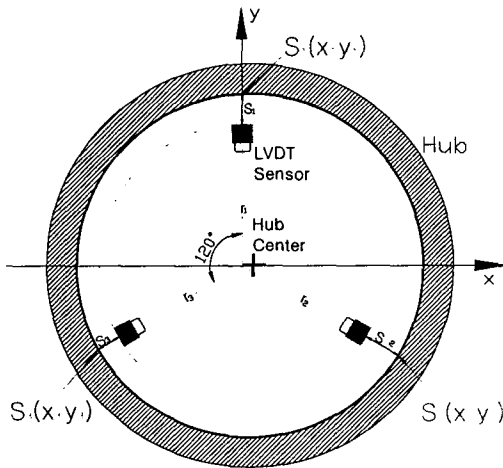


Fig. 2 Principle of measurement(inner diameter)

3개의 센서로 측정되는 세 점  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  과 식 (1)으로부터 Hub의 중심점  $C$ 와 반지름  $R$ 을 구할 수 있다(Fig. 2).

$$x^2 + y^2 + ax + by + c = 0 \quad (1)$$

$$x_1 \text{ of } S_1 = 0 \quad (2)$$

$$y_1 \text{ of } S_1 = r_1 + s_1 \quad (3)$$

$$x_2 \text{ of } S_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times (r_2 + S_2) \quad (4)$$

$$y_2 \text{ of } S_2 = -\frac{1}{2} \times (r_2 + S_2) \quad (5)$$

$$x_2 \text{ of } S_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times (r_2 + S_2) \quad (6)$$

$$y_2 \text{ of } S_2 = -\frac{1}{2} \times (r_2 + S_2) \quad (7)$$

식(1)~(7)을 아래 다항식으로 나타내고  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 를 구한다.

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) \\ -(x_2^2 + y_2^2) \\ -(x_3^2 + y_3^2) \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$A = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$a = \frac{\det \begin{pmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) & y_1 & 1 \\ -(x_2^2 + y_2^2) & y_2 & 1 \\ -(x_3^2 + y_3^2) & y_3 & 1 \end{pmatrix}}{\det A} \quad (10)$$

$$b = \frac{\det \begin{pmatrix} x_1 - (x_1^2 + y_1^2) & y_1 & 1 \\ x_2 - (x_2^2 + y_2^2) & y_2 & 1 \\ x_3 - (x_3^2 + y_3^2) & y_3 & 1 \end{pmatrix}}{\det A} \quad (11)$$

$$c = \frac{\det \begin{pmatrix} x_1 y_1 - (x_1^2 + y_1^2) \\ x_2 y_2 - (x_2^2 + y_2^2) \\ x_3 y_3 - (x_3^2 + y_3^2) \end{pmatrix}}{\det A} \quad (12)$$

식(10)~(12)에 의해서 구해지는  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 로부터 디스크 중심점과 Hub의 반지름을 구할 수 있다.

$$\text{Hub의 중심점의 좌표 : } C = \left( \frac{a}{2}, \frac{b}{2} \right)$$

$$\text{Hub의 내경 : } R = \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{b^2}{4} - c}$$

### 2.2 Hub 외경 구하는 방법

하부 메저링헤드 내·외경의 센터는 동일하므로 하부내경 센서에 의해서 측정된 중심점 ( $C_x$ ,  $C_y$ )을 적용하여서 외경을 구할 수 있다(Fig. 3).

$$K = \sqrt{C_x^2 + (r_1 + C_y)^2}$$

$$(K - S_1) = R$$

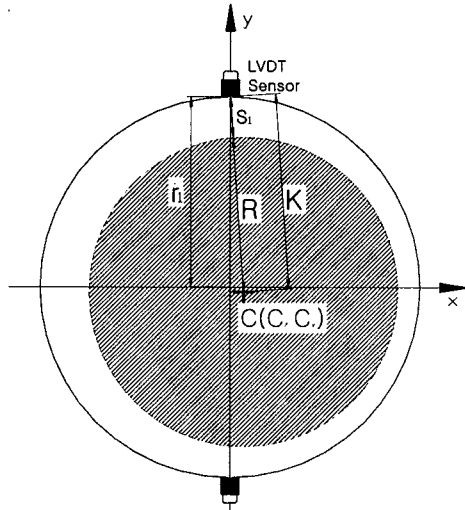


Fig. 3 Principle of measurement(outer diameter)

### 3. Measuring Head 제작

허브의 상부 내경을 측정하기 위해 상부 측정헤드를 제작하고 여기에 3개의 길이 측정센서(LVDT)를 120도 간격으로 설치하였다. 허브의 하부 내경과 외경을 측정하기 위해 하부 측정헤드를 제작하고 이 측정헤드에 내경 측정용으로 3개의 길이 측정센서와 외경 측정용으로 2개의 길이 측정센서를 설치하였다.

#### 3.1 상부 Measuring Head 제작

허브의 상부 내경을 측정하기 위해 Fig. 4와 같은 측정헤드를 제작하였다.

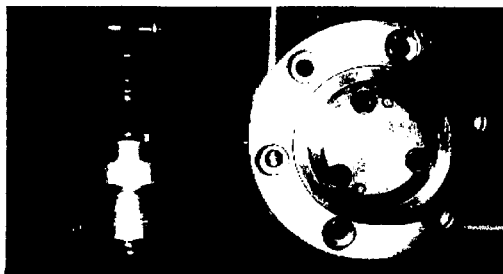


Fig. 4 Front & top views of lower measuring head

허브의 상부에 측정헤드를 넣어 이것으로부터 상부 내경을 측정할 수 있도록 한다.

#### 3.2 하부 Measuring Head 제작

허브의 하부 내경과 외경을 측정하기 위해 Fig. 5와 같은 측정헤드를 제작하여 허브의 하부에 측정헤드를 넣어 이것으로부터 하부 내경과 외경을 측정할 수 있도록 한다.

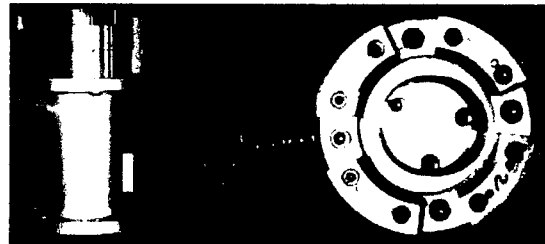


Fig. 5 Front & top views of upper measuring head

### 4. LVDT 센서 제작

길이측정용 LVDT센서는 0.5mm 에나멜코일로 권선 하였으며, 권선은 1차 코일(Fig. 6)의 보빈(bobbin) 구조에서와 같이 보빈을 2등분하여 각각 350회씩 같은 방향으로 권선 하였으며 2차 코일은 700회씩 역방향으로 권선 하였다. LVDT 양단의 언밸런스(unbalance)에 따른 2차 코일에 유기되는 전압이 다름으로 인하여 출력전압이 발생하는 원리를 이용한 것이다.<sup>[4]</sup>

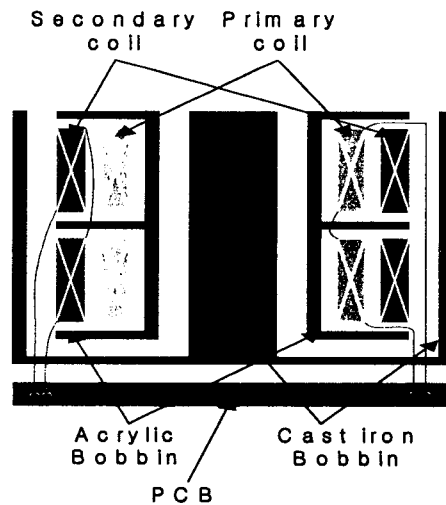


Fig. 6 LVDT coil arrangement

Fig. 6의 모형도에 따라 LVDT를 만들어 각각에 대한 특성을 조사하였다. 1차적으로 주파수특성은 약10kHz에서 가장 안정적으로 동작이 되었으며 외부자기에 대한 특성은 캡을 선철로 하였을 때 가장 영향이 적었다.

또한 설치장소가 협소하고 원의 내/외경을 측정해야 함으로 보빈의 단면적을 최소화 해야 한다..

상기와 같이 여러 시험과 시행착오를 통하여 개발된 길이센서의 치수는 Fig. 7과 같으며, 실물사진은 Fig. 8과 같다.

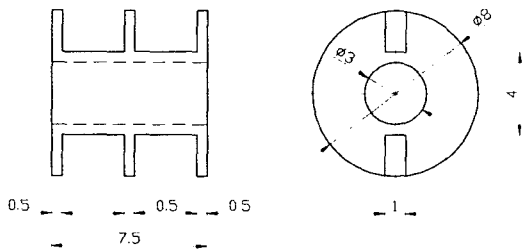


Fig. 7 Schematic of LVDT bobbin

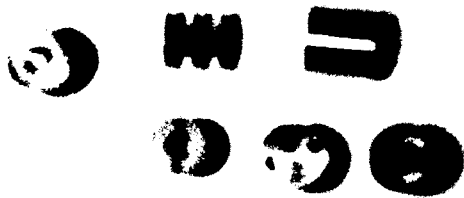


Fig. 8 Elements of LVDT

#### 4.1 센서 교정장치

길이감지 센서인 LVDT는 거리에 따라 출력전압이 증가한다.

따라서, 거리에 따라 센서의 출력전압에 대한 특성표를 작성하여 센서출력전압을 알면 거리로 환산할 수 있게 된다.

정밀도를 높이기 위해 20 $\mu$ m 간격으로 디스크를 이동시키며 전압을 측정하여 테이블을 작성하였다.

측정방법은 캘리브레이터(Fig. 9)에 상부 및 하부 측정헤드를 장착하고 측정헤드와 앰프 유니트와 결선하고 앰프(amplifier) 출력을 컴퓨터의 A/D 보드와 연결한다.

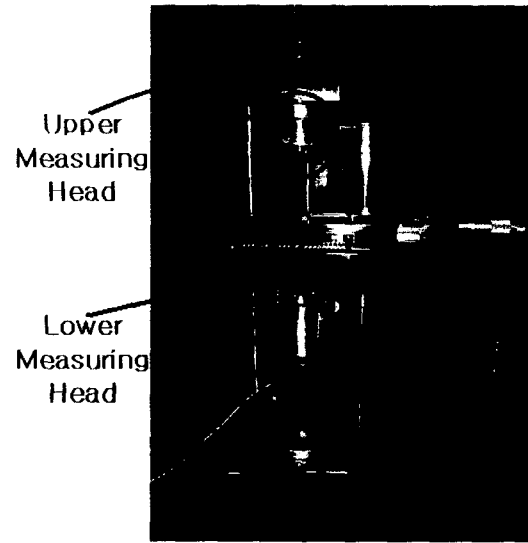


Fig. 9 Calibrator of upper & lower measuring head

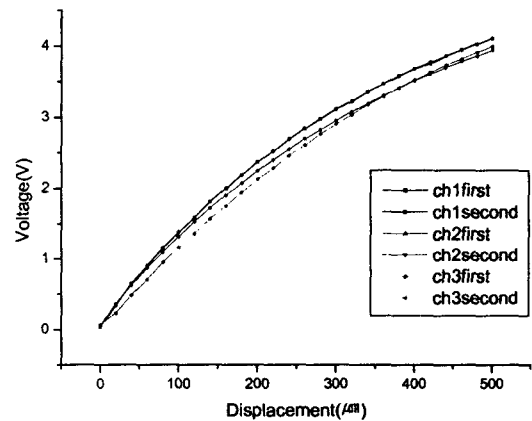


Fig. 10 Sensor repeatability response on upper inner diameter measurement

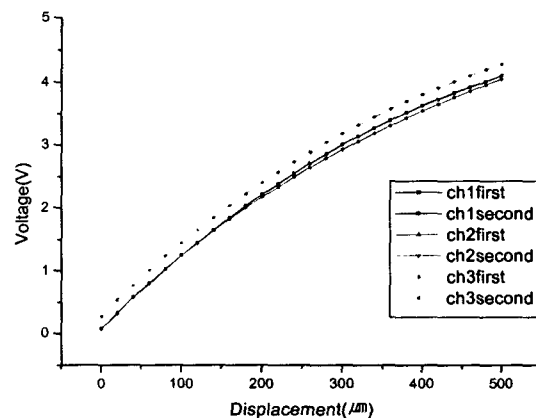


Fig. 11 Sensor repeatability response on lower inner diameter measurement

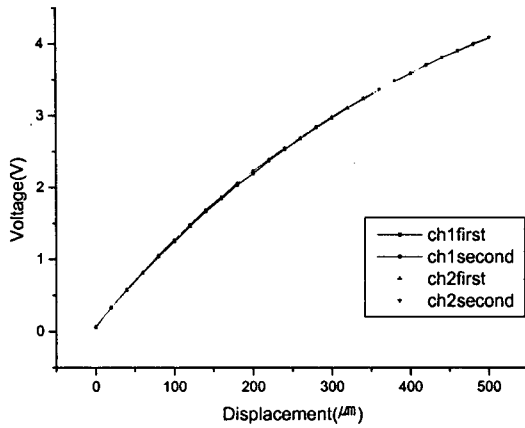


Fig. 12 Sensor repeatability response on lower outer diameter measurement

Fig. 10, 11, 12는 허브 외경용 각 센서의 반복성(repeatability)을 알아보기 위해서 실험한 결과이며, 반복성이 좋음을 알 수 있었다.

### 5. 자동 검사장치

자동 측정의 컴퓨터 운용시스템은 자동차 브레이크디스크의 자동측정 및 검사장치의 핵심부가 되며 컴퓨터에 의해 측정된 값을 길이로 변환하고 또한 디스크의 내/외경을 구하며 이 값들이 허용공차에 있는지 비교하고 마킹(marking)장치(Fig. 13)에 마킹명령을 주는 등 본 장치의 운용에 관계되는 전반적인 시스템 소프트웨어가 포함되어 있다.

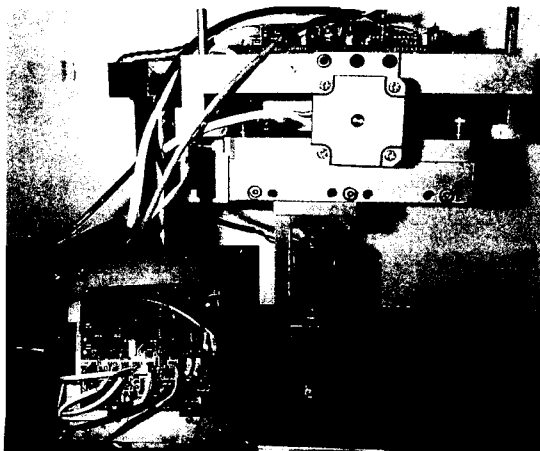


Fig. 13 Hub marking system

Fig. 14은 측정하는 디스크의 공차를 기록하는 테이블이다. 공차는 작업용 디스크의 공차를 기록하며 표준디스크도 차종에 따라 3가지를 기록할 수 있게 하였다.

공차설정 테이블에서 교정주기도 설정하며, 교정주기는 시간 또는 작업횟수에 의해 설정되며 임시로 2시간 또는 1000개의 작업마다 교정을 실시하도록 하였다.

공차설정 (차종설정)				
차종	상부내경	하부내경	하부외경	직진도
상한값	50.261	39.660	56.510	0.070
하한값	50.235	39.835	56.444	0.000
차종	상부내경	하부내경	하부외경	직진도
상한값	0.000	0.000	0.000	0.000
하한값	0.000	0.000	0.000	0.000
차종	상부내경	하부내경	하부외경	직진도
상한값	0.000	0.000	0.000	0.000
하한값	0.000	0.000	0.000	0.000

STD 설정				
번호	상부내경	하부내경	하부외경	직진도
1	50.253	39.938	56.450	0.007
2	50.258	39.876	56.401	0.010
3	0.000	0.000	0.000	0.000
공차(+/-)	0.003	0.003	0.005	0.070

교정주기 설정	
시간	20 분
작업횟수	1000 개

Fig. 14 Measurement tolerance table

시간이나 작업횟수에 의해 자동교정이 되었다면 그때부터 다시 2시간 또는 1000개의 작업마다 교정하게 된다.

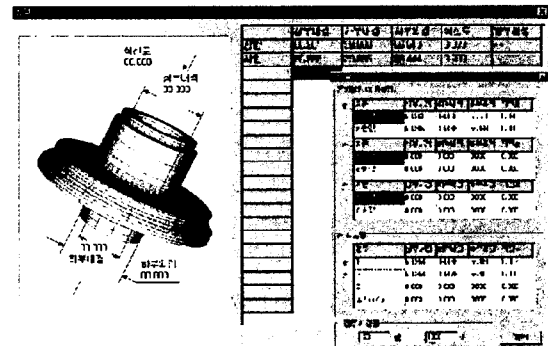


Fig. 15 The display of measurement details

Fig. 15는 정상 조업시 모니터링 하는 측정화면으로서 작업하고 있는 디스크의 내/외경과 직진도에 대한 상한과 하한값을 표기하고 측정값을 기록하여 허용공차 범위 내에 있는지 그 결과를 양·부로 표기하는 화면이다. 상한값과 하한값 표기는 공차설정에서 차종을 선택하면 그 값이 자동으로 해당란에 기입되며, 판정결과가 불량인 경우는 한번 더 측정하여 재확인한다.

자동운전모드로 동작할 때는 컴퓨터에 의한 운전체제로 되며 시스템의 안정을 위해 2시간마다 또는 매 100회 디스크검사마다 자동으로 교정루틴이 동작하여 측정값이 표준디스크의 값이 되도록 보정하여 시스템의 안정도를 높였다.

정상적인 자동운전에서 측정결과가 허용공차 범위 내에 있을 때는 각인장치에 양호신호를 보내면 각인장치는 디스크표면에 검사일자를 기록하고 다음 공정으로 이송하고 양호 카운트 값을 증가시킨다.

그러나 허용공차 범위를 넘으면 한번 더 측정하고 양호하면 상기방식으로 처리하고 불량하면 각인장치에 불량신호를 보내고 디스크를 배출라인으로 이송하여 불량 처리한다. 이러한 일련의 허브 측정 시스템을 Fig. 16에 나타내었다.

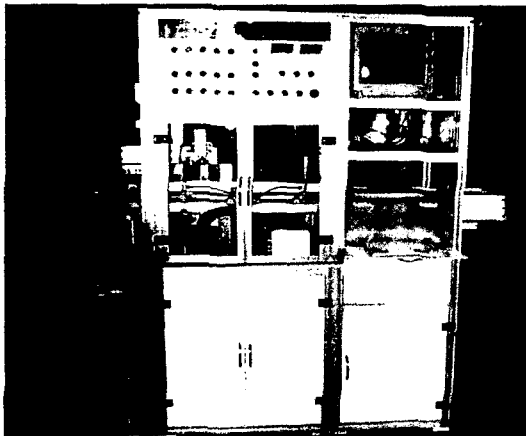


Fig. 16 Hub measurement system

## 6. 결론

본 연구에서는 자동차의 바퀴에 동력을 전달하는 자동차의 요소부품중 하나인 허브의 내·외경

을 측정하는 시스템을 구축하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 허브 내·외경을 측정하는 방법을 수학적으로 입증하였으며, 이를 바탕으로 허브 내·외경 측정 시스템의 핵심인 매저링헤드(measuring head)를 개발하였다.
- 2) 자동 측정시스템을 구축하여 품질향상 시킬 수 있었으며, 인건비를 절감하여서 생산성을 증가시킬 수 있었다.
- 3) 불량품은 배출라인으로 보내고 허용공차 범위 내에 있는 것은 출측으로 보내어지므로 불량률의 감소로 공정재고를 감소시킬 수 있었으며, 신뢰성을 향상시킬 수 있었다.
- 4) 본 연구를 기반으로 해서 파이프의 내·외경 측정장치, 면의 평탄도 측정장치 등 기타 다른 분야에도 적용할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] Ralf Späth, "Instrumented Wheel for the Measurement of Rear Axle Wheel Forces", Agrartechnische Forschung, 2001, E86-E91
- [2] 김영규, 이명섭, 최무성, "밀폐단조 기술을 이용한 자동차용 허브 개발", 과학기술부, 99-J-MP-01-C-10
- [3] 박해원, "자동차 브레이크디스크의 자동측정 및 검사장치개발", 과학기술부, 중소기업 수탁연구지원사업
- [4] Jacob Fraden, "Handbook of Modern Sensors", AIP PRESS, 1996, pp.242-244
- [5] Herman Schaevitz, "The Linear Variable Differential Transformer", Proceedings of the SASE, Volume IV, No.2, 1946