

Thompson-Lampard 정리를 적용한 마이크로미터 변위 측정을 위한 비접촉식 전기용량 센서 개발

論 文
55B-9-2

Development of a Non-contacting Capacitive Sensor Based on Thompson-Lampard Theorem for Measurement of μm -order Displacements

金 漢 俊[†] · 姜 銓 洪^{*} · 韓 相 玉^{**}
(Han Jun Kim · Jeon Hong Kang · Sang Ok Han)

Abstract - Non-contacting capacitive sensor based on Thompson-Lampard theorem have been fabricated and characterized for measuring of μm order displacements. To overcome disadvantages of the existed capacitive sensors of parallel plate type with 2-electrodes and 3-electrodes, the developed new sensor was designed to have 4-electrodes with a constant gap of 0.2 mm between the electrodes. Two of the electrodes were used as a high potential electrode and a low one, the other two electrodes were used as guard electrodes. These electrodes were made from copper using RF sputtering system on a sapphire plate with diameter 17 mm and thickness 0.7 mm. This sensor can be used for measuring the distance not only between the sensor and metallic target connected to ground potential but also non-metallic target without ground connection.

Key Words : Capacitive Sensor, Capacitance, Electrode, Parallel Plate, Guard.

1. 서 론

변위를 측정할 수 있는 센서는 접촉식과 비접촉식으로 구분할 수가 있다. 그러나 접촉식의 경우는 피 측정체의 표면이 손상이 될 염려가 있거나 작은 접촉 압력에 의해서도 변형이 일어날 염려가 있는 경우에는 사용할 수가 없다. 미소의 변위를 비접촉식으로 정확하게 측정할 수 있는 센서의 종류는 와전류, 초음파, 광, 레이저, 적외선, 자기저항, 전기용량 등을 이용한 것이 있다^[1-3]. 이 중에서 전기용량을 이용한 비접촉식 센서는 비교적 구조가 간단하고, 소형경량으로 제작이 가능하기 때문에 미소진동, 미소의 간격, 미소의 두께, 회전변위, 표면분석, 압력변동 등의 측정에 널리 이용되고 있다^[4-6]. 일반적으로 전기용량을 이용한 변위측정센서는 2전극 및 3전극을 이용한 급속 평행판 전기용량기의 원리를 이용한 대향전극 방법이 대부분 사용되어 왔다. 이때의 전기용량은

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

의 방정식으로 표현되고, 이를 이용하여 어떤 물리량을 측정하기 위해서는 유전체의 유전상수(ϵ_r), 전극의 유효면적(A), 그리고 대향전극간의 간격(d)을 변화시키는 방법들을 이용할 수가 있다. 대향전극과의 간격변화에 의한 전기용량

변화의 경우 변위의 감도는 미소변위 δd 에 대응되는 전기용량 δC 의 비로 식(2)처럼 표현된다.

$$\frac{\delta C}{\delta d} = -\frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d^2} \quad (2)$$

즉 간격 d 가 가까울수록 감도가 좋고 전기용량이 증가되는 특성 즉 거리의 증가와 전기용량과의 사이에는 반비례관계를 보이고 거리가 멀수록 전기용량의 감도도 감소한다. 따라서 이러한 비선형적인 특성을 보완하기 위하여 전기용량-전압 혹은 전기용량-전류의 변환회로로 구성되는 신호변환기를 사용하여 실제 측정하고자 하는 변위와 동일한 값으로 표시되도록 하고 있다. 또한 2전극 및 3전극을 이용한 평행판 구조의 센서에서는 피 측정물이 반드시 하나의 대향전극으로 작용해야만 하고 접지 되어져야만 된다. 본 연구에서는 기존의 2전극 및 3전극을 이용한 평행판 구조의 비접촉식 전기용량 센서가 지니는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 Thompson-Lampard 정리를 적용한 cross capacitor 구조^[7]의 새로운 센서를 설계제작하고 그 특성을 분석하고 실제 측정에 적용하였다.

2. 센서의 제작 및 특성

2.1 Thompson-Lampard 정리를 적용한 cross capacitance 전극이론

그림 1과 같이 진공 중에서 닫혀진 임의의 단면이 4개의 좁은 절연 틈으로 나누어지는 무한길이의 전극구조에서 a, c 의 전극을 접지 하였을 때 전극 b, d 사이에서 단위 길이 당 유도되는 전기용량을 C_1 , 전극 b, d 를 접지 하였을 때 전극 a, c 에서 단위 길이 당 유도되는 전기용량을 C_2 이라면 SI

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國標準科學研究院 基盤標準部 先任研究員

E-mail : hanjun@kriss.re.kr

^{*} 正會員 : 韓國標準科學研究院 基盤標準部 先任研究員

^{**} 正會員 : 忠南大學校 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2006年 5月 25日

最終完了 : 2006年 8月 4日

단위계에서 C_1 및 C_2 의 사이에는

$$\exp(-\frac{\pi}{\epsilon_0} C_1) + \exp(-\frac{\pi}{\epsilon_0} C_2) = 1 \quad (2)$$

의 관계가 성립하는데 이를 Thompson-Lampard 정리라고 한다[7]. 일반적으로 자연의 세계에서는 길이가 유한하고, 절연 틈의 두께가 있을 수밖에 없어, $C_1 \neq C_2$ 이므로 $\Delta C = C_1 - C_2$ 라고하고 평균값을 $C_m = (C_1 + C_2)/2$ 라고 하면

$$C_1 = C_m + \Delta C/2, \quad C_2 = C_m - \Delta C/2 \quad (3)$$

으로 표현할 수 있다. 식(3)을 식(2)에 대입하여 Taylor series로 전개를 하면

$$C_m = \frac{\epsilon_0}{\pi} [\ln 2 + \frac{1}{2} (\frac{\pi \Delta C}{\epsilon_0})^2 - \frac{1}{12} (\frac{\pi \Delta C}{\epsilon_0})^4 + \dots] \quad (4)$$

$$\approx \frac{\epsilon_0 \ln 2}{\pi} \text{ (F/m)}$$

이 된다. 즉 전극의 길이 L 에 의해서 유도되는 전기용량 C 는 $C = \frac{\epsilon_0 \ln 2}{\pi} \cdot L$ (F) 가 된다. 여기서 L 은 전극의 길이이고 단위는 m이다.

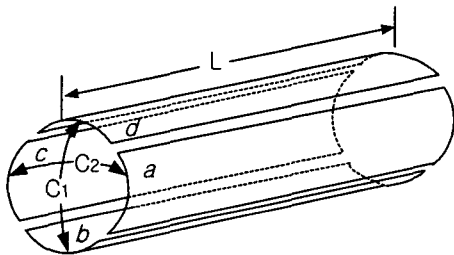


그림 1. Thompson-Lampard 정리의 원리.
Fig. 1. Principle of the Thompson-Lampard theorem.

한편 그림 1의 4개 전극을 하나의 절연 틈을 기준으로 평면 전극으로 펼친다면 그림 2와 같이 되고 이것을 L 전극의 중간 부분에 표시된 중심선을 기준으로 하여 원형모양의 전극으로 바꾸면 그림 3처럼 되어 종래의 2-전극 혹은 3-전극의 대향전극 방식과는 전혀 다른 4-전극형의 전극이 한 개의 평면에 만들어 진다. 이 경우 식(4)는

$$C = \frac{\epsilon_0 \ln 2}{\pi} \cdot \pi R(1+\alpha) = R \cdot \epsilon_0 \ln 2(1+\alpha) \text{ (F)} \quad (5)$$

로 쓸 수가 있다. 여기서 R 은 그림 4에서 L_0 전극의 외경과 H_i 전극의 내경을 각각 R_1 과 R_2 라고하면

$R = \frac{R_1 + R_2}{2}$ 이고, α 는 전극구조의 차이로 인한 보상계수이다. 보상계수 α 는 L_0 , H_i 전극들의 직경, G 전극의 두께, 그리고 전극과 피 측정체와의 거리, 피 측정체의 구조적 모양 등에 복합적으로 작용하는 대단히 복잡한 수식으로 정리가 되어 진다. 본 논문에서 대상으로 삼은 센서는 상기 언급한 여러 항목 중에서 단지 피 측정체와의 거리만이 가변적인 것이고 나머지는 불변의 구조적인 것이다. 따라서 센서와 피 측정물과의 간격변화에 따라 유도되는 전기용량의

선형성에 대한 것이 주요 논의의 대상으로 센서의 특성에서 고찰한다.

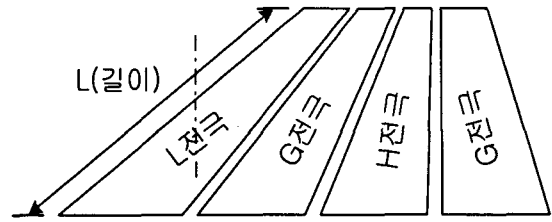


그림 2. Thompson-Lampard 정리를 평면전극에 적용한 그림.
Fig. 2. Plate type electrode based on the Thompson-Lampard theorem.

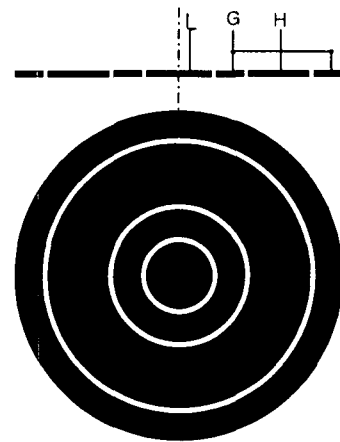


그림 3. Thompson-Lampard 정리를 원형전극에 적용한 그림.
Fig. 3. A round type electrode based on Thompson-Lampard theorem.

2.2 Cross capacitor 전극의 센서 제작

상기 서론에서 언급한 2-전극 혹은 3-전극형 평행판 전극센서에서의 변위와 전기용량간의 비 선형성의 문제점을 해결하기 위하여 새로이 본 연구에서 제안된 방법으로 그림 4와 같은 치수의 4-전극의 크로스 커패시터형 전기용량 센서의 감지부를 설계제작 하였다.

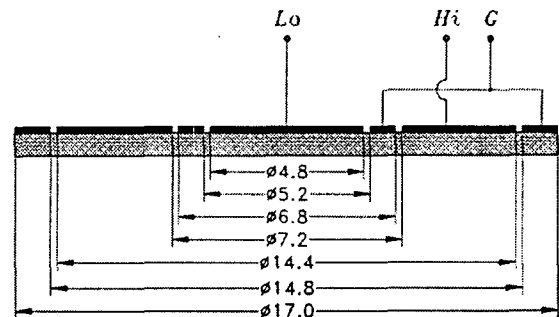


그림 4. 4-전극 크로스 커패시터형 전기용량 센서의 감지부.
Fig. 4. Sensing part of the 4-electrodes sensor.

상기한 바와 같이 이 구조는 종래의 평행판 전기용량기의 원리와는 전혀 다른 Thompson-Lampard 정리[7]에 의한 크

로스 커패시턴스 측정원리를 적용시킨 것이다. 상기와 같이 한 개의 면에 4개의 전극을 만들었을 때의 전기용량은 전극면의 산화, 흡습, 기름층과 같은 유전체 박막에 대하여 보상 관계가 있어서 대단히 안정되고, 정확한 측정이 가능하게 된다. 그림 4와 같이 중심으로부터 Low전극(L_0), guard(G), High전극(H_1), guard(G)의 순서로 구성되어, L_0 전극과 H_1 전극 사이에 유도되는 전기용량을 측정하게 된다. 한편 측정대상체가 전극으로부터 가깝고 멀고에 따라서 L_0 전극과 H_1 전극사이에 유도되는 전기력선에 변형을 일으키고 이것이 전기용량의 변화로 측정이 된다. 따라서 측정 대상체의 재질 및 전극으로서의 사용여부에 관계없이 간격 및 미소변위를 $\Delta C = \Delta d$ 의 관계로 측정할 수 있도록 된다. 각각의 전극과 전극사이의 틈을 금속과 절연체를 사용하여 기계적으로 가공을 할 때에는 틈의 일정한 간격유지가 어렵고, 전극의 표면상태도 나빠질 뿐 만 아니라 크기도 일정이상 작게 제작하기가 어렵다. 본 연구에서는 이러한 결점들을 극복하고자 직경 17 mm, 두께 0.7 mm의 사파이어 평평한 한쪽 위에 RF 스퍼터링 시스템을 이용하여 구리로서 두께 0.3 μm 의 전극을 그림 4처럼 형성하였다. 따라서 각 전극사이의 틈을 0.2 mm로 균일하게 유지할 수 있었고 완전한 대칭유지가 가능하였다. 또 형성된 전극을 센서로 조립 시 사파이어의 뒷면 즉 전극이 형성된 면이 센서의 내부쪽으로 놓여 지게 함으로서 센서 사용 시 전극표면의 손상도 방지할 수가 있었다.

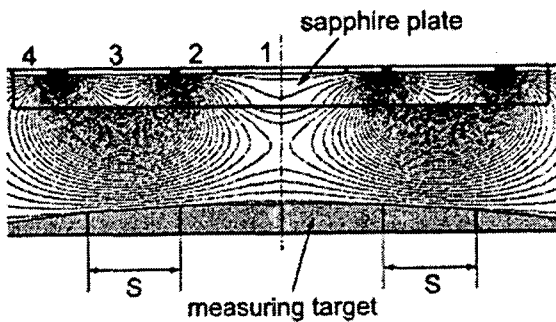


그림 5. 개발된 센서 전극면의 등전위 분포.
Fig. 5. Distribution of equipotential surfaces on new sensor.

그림 5는 직경 70 mm의 원통 스테인레스 스틸 피 측정물의 진원도 (roundness) 및 직진도 (straightness)를 이 센서를 사용하여 측정할 경우를 가상하여 2D Field FEM 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 한 것이다. 피 측정물을 직경 70 mm의 스테인레스 스틸 원통으로 선택한 것은 본 센서를 개발한 이유가 전기용량 단위를 실현하기위한 전기용량표준의 원기인 cross capacitor를 개발[8]하는 연구과정에서 핵심 부품인 길이 700 mm, 직경 70 mm의 원통형 전극을 가공해야하고 이 과정에서 가공상태를 비 접촉으로 정밀측정하기 위한 것으로 실제 사용 시 전극과 피 측정물 사이의 전계분포를 분석하기위해서 시뮬레이션을 하였다. 한편 시뮬레이션의 경계조건은 사파이어 판의 유전율은 측정에 의한 값인 9.7을, 구리전극과 피 측정체인 스테인레스 스틸은 완전도체, 전극과 피 측정체사이의 공간은 공기로 하였다. 또한 그림 5에서의 전극 1의 전압은 0 V(low)로, 전극 3

의 전압은 1 V(high), 전극 2와 4를 guard, 피 측정체인 스테인레스 스틸 봉은 접지한 것으로 설정하였다. 그림에서 그려진 선들은 등전위면이고, 전기력선은 등전위면에 직각방향으로 그려지므로, 전극 3과 전극 1사이 전기용량이 유도가 됨을 알 수 있다. 한편 피 측정물이 스테인레스 봉으로 접지되어 있으므로 피 측정체와 전극의 거리가 가까워짐에 따라 등전위면의 밀도가 비례하여 증가하게 되어 전기용량의 값이 증가하게 된다. 이것은 전극표면과 피 측정체와의 거리변화 즉 변위는 $\Delta d \approx \Delta C$ 로 되어 비례관계로 나타나며, 종래의 2-전극, 3전극의 $\Delta d \approx \frac{1}{\Delta C}$ 과는 완전히 다른 것이다. 또한 전극 3에서 전극 1로 가는 전기력선이 피 측정체에 의해서 차단이 되고 차단되는 대부분의 양은 선풍이 "S"정도인 고리모양으로 피 측정체의 표면에 밀집되고 있음을 알 수 있다. 이것은 측정결과를 나타내는 데이터들이 센서의 실제단면 전체에서 주어지는 것이 아니라 얇은 폭을 지닌 고리부분에서 집중적으로 얻어짐을 의미한다. 이것은 기존의 2전극 3전극센서에 비해 피 측정체의 표면을 미세하게 분석할 수 있음을 의미할 뿐만 아니라 전기용량이 전극의 면적 크기에 비례하여 나타나지 않고 크로스 커패시터 원리인 전극길이에 의해서 유도됨을 알 수 있어 상기 수식 (4)가 어느 정도의 보상항을 갖는 정도로 성립함을 알 수가 있다.

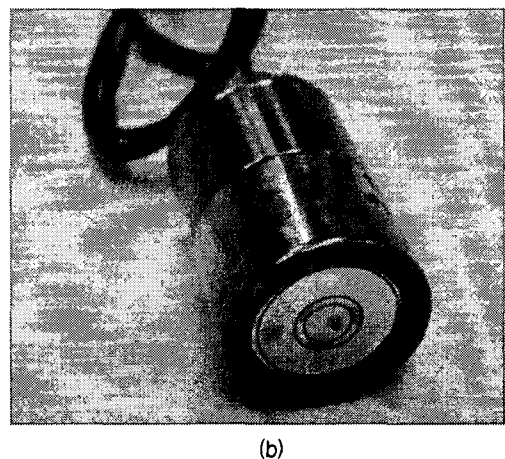
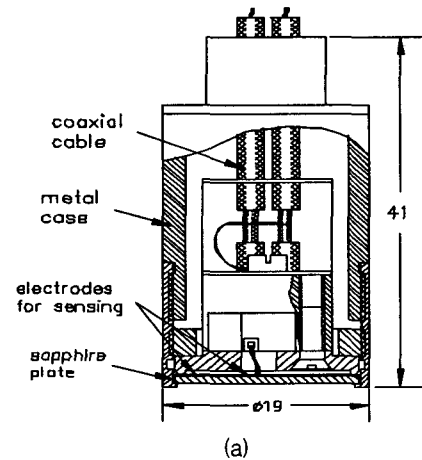


그림 6. 조립된 센서의 모양 및 내부구조(a), 사진(b)
Fig. 6. Configuration of the assembled sensor(a), picture(b)

그림6은 조립 완성된 전기용량 센서의 모양을 보인 것이다. 감지부인 사파이어 원판이 금속 원통상자의 측과 수직을 유지하고, 원통상자내부에서 부유전기용량 발생을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 조립의 편의성을 고려한 구조로 제작하였다.

2.3 제작된 센서의 교정

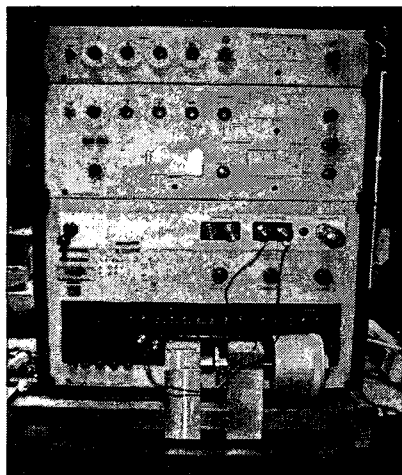
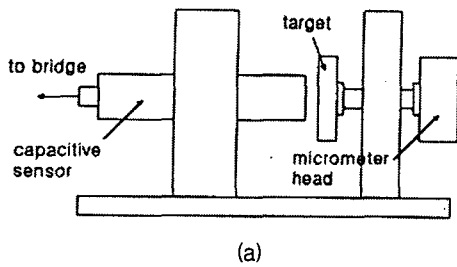


그림 7. 센서교정을 위한 장치(a)와 정밀 전기용량측정브리지를 이용한 교정사진(b).
 Fig. 7. Equipment for calibration of the new sensor(a) and a picture of calibration using a precise capacitance measurement bridge(b).

제작된 센서의 선형성과 실제 간격과의 관계성을 교정하기 위하여 그림 7과 같이 분해능이 0.5 μm인 마이크로미터 헤드를 이용하여 교정장치를 제작하였다. 즉 센서의 위치를 고정시키고 피 측정체를 마이크로미터 헤드의 스피들 끝 부분에 고정시킨 후 헤드를 돌려서 피 측정체를 50 μm씩 일정하게 이동시키면서 전기용량을 측정하였다. 측정결과 센서 전극 표면에서 측정대상물까지의 간격을 1.95 mm 정도로 유지한 상태에서 전후의 변위를 측정하는 것이 선형도와 측정분해능과의 상관관계상 최적으로 판단되었다. 이 영역에서의 전기용량 변화는 10 aF/μm으로 분석이 되었으며, 측정범위 (1.95 ± 0.5) mm의 상관계수(correlation coefficient)는 0.9987, 측정범위 (1.95 ± 0.25) mm에서의 상관계수는 0.9995이었다. 한편 실제 측정된 전기용량 값을 변위 값으로 환산해 본 결과 측정범위 (1.95 ± 0.5) mm 전범위에서의 불확도는 0.65 %, 측정범위 (1.95 ± 0.25) mm 전범위에서의

불확도는 0.05 %이하로 분석되었다. 이 결과로 판단할 때 수십 μm의 미소변위를 측정시의 불확도는 거의 0에 가까운 것으로 판단할 수 있다.

그림 8의 (a)는 측정 대상물을 금속으로, (b)는 비금속인 PTFE를 대상으로 하여 (1.95 ± 0.5) mm에서 측정한 것을 나타내었다. 이 결과는 변위와 전기용량의 관계가 반비례 관계로 그려지는 2전극, 3-전극의 대향전극구조의 센서와는 완전히 다른 구조임을 다시 보여주고 있다.

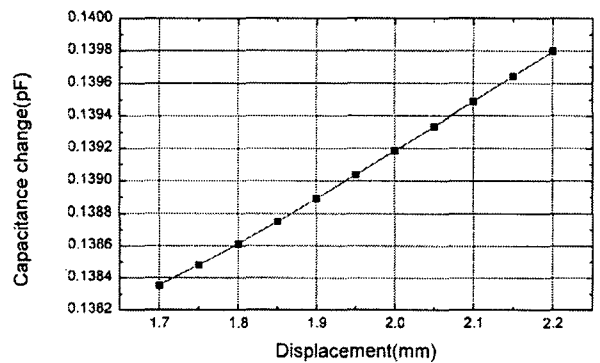
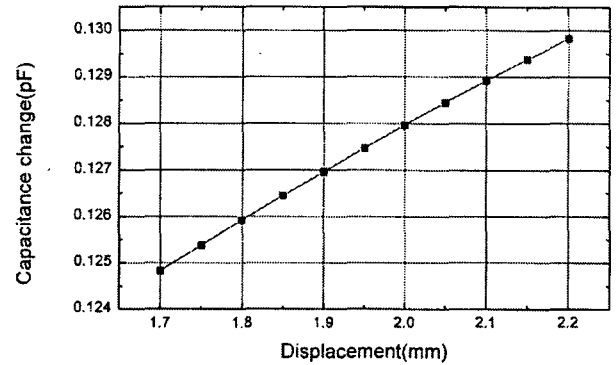


그림 8. 개발된 센서의 미소변위에 따른 전기용량값의 변화, (a) 금속대상물(stainless steel), (b) 비금속 대상물 (PTFE)

Fig. 8. Capacitance change with displacement of the sensor, (a) for metallic target (b) for non-metallic target.

2.4 실장 측정 실험

개발된 센서를 사용하여 전기용량 원기인 vertical cross capacitor의 전극봉으로 사용되는 직경 70 mm, 길이 700 mm 스테인리스 스틸 봉을, 진원도 (roundness) 1 μm, 직진도 (straightness) 1 μm 이내를 목표로 정밀기계가공 하는 과정에서 측정에 사용하였으며, 그림 9에 측정에 사용된 측정 시스템을 보였다.

그림 9에서와 같이 2개의 측정용 센서를 선반에서 가공 중인 봉의 힘이 발생하더라도 힘에 관계없이 봉의 직경변화를 측정하고자 봉의 상하에 봉과 센서면사이의 간격을 1.95 mm 유지하여 설치하였으며, 기준용 센서(reference sensor) 2개는 고정된 봉에 1.95 mm의 간격을 유지하도록 jig를 사용하여 고정하였다. 측정용 센서 2개와 기준용 센서 2개는 각

각 병렬로 연결을 하였으며, 비례변성기(ratio transformer)형 정밀 전기용량 측정 브리지의 1:1 비례 팔(ratio arm)에 각각 연결을 하였다. 측정용 센서에서는 피 측정물의 상태에 따라 전기용량이 변화하지만 기준용 센서에서는 피 측정체가 고정되어 있으므로 전기용량의 변화가 없다. 따라서 측정용 센서와 기준용 센서에서 유도되는 전기용량의 차이가 브리지에서 직류전압 크기로 출력이 되고 이를 레코더에서 기록하는 방법으로 측정을 하였다.

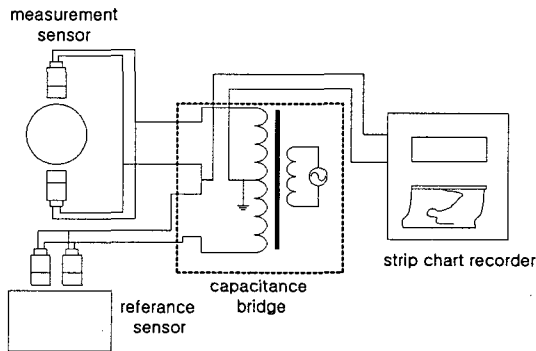


그림 9. 개발된 센서를 사용하여 직경 70 mm, 700 mm 스테인리스 스틸봉의 가공 상태를 측정하는 시스템.

Fig. 9. A measurement system of 70 diameter, 700 mm length stainless steel rod using the developed sensors.

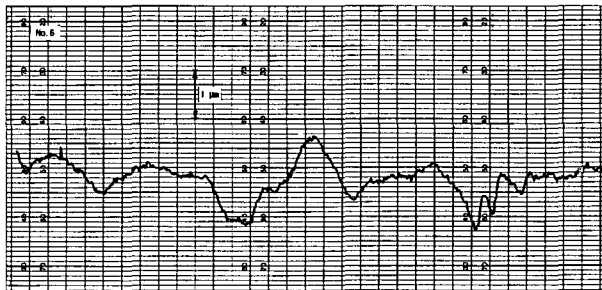


그림 10. 측정된 직경 70 mm, 700 mm stainless steel봉의 직경변화 그래프.

Fig. 10. A measured linearity of a 70 mm diameter, 700 mm length stainless steel rod.

그림 10은 선반 축에 고정된 봉을 회전 없이 직선 이동시킴으로서 봉의 전체 길이에 대하여 지름의 변화를 측정된 것이고, 그림 11은 선반 축에 고정된 봉을 회전시키면서 봉의 전체길이 700 mm를 7등분하여 각 등분에서의 단면적이 얼마나 진원에 가까운가를 그린 그래프이다. 그래프로부터 직진도는 약 $1.8 \mu\text{m}$ (peak-peak) 진원도는 약 $2 \mu\text{m}$ 정도임을 알 수가 있다. 또한 개발된 센서의 특성은 해상도가 $0.1 \mu\text{m}$ 정도로 μm 급의 변위를 측정하기에 충분한 성능을 갖추고 있음을 알 수가 있다. 또한 그림 10과 그림 11의 측정결과로부터 작업자는 봉의 형태를 3차원적으로 이해 할 수가 있으며, 선반에서 가공물을 분리하지 않고 비접촉식이면서 선형적으로 측정함으로써 분리하여 측정 후 재 설치로 인한 오차를 완전히 배제할 수 있는 장점이 있다.

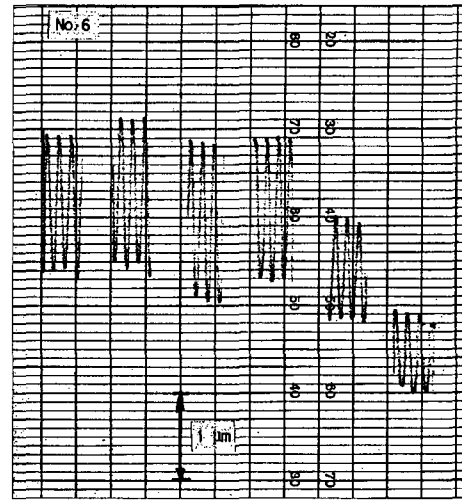


그림 11. 측정된 직경 70 mm, 700 mm stainless steel 봉의 진원도 그래프.

Fig. 11. A measured roundness of a 70 mm diameter, 700 mm length stainless steel rod.

3. 결 론

사파이어 평행판 위에 Thompson-Lampard 정리를 적용한 크로스 커패시터 원리를 이용하여 제작된 4-전극형 비접촉 전기용량센서를 사파이어 평행판 위에 RF 스퍼터링 시스템을 사용하여 L_0 와 H 전극을 같은 면에 구리를 사용하여 형성함으로써 측정 대상체의 재질 및 전극으로서의 사용여부, 접지여부에 관계없이 간격 및 미소변위를 $\Delta C = \Delta d$ 의 관계로 측정할 수 있도록 되었다. 측정범위 (1.95 ± 0.25) mm에서의 상관계수가 0.9995로 분석이 되었으며, 이 결과로 판단할 때 수십 μm 의 미소변위를 측정시의 상관관계는 1에 가까워 거의 완벽한 직선특성을 지니게 된다. 새로운 원리로 개발된 본 센서는 전기용량 원기인 vertical cross capacitor의 전극봉으로 사용되는 직경 70 mm, 길이 700 mm 스테인리스 스틸 봉을, 진원도 $1 \mu\text{m}$, 전체 길이에 대한 봉의 직경변화를 $1 \mu\text{m}$ 이내가 되도록 목표로 하여 정밀기계 가공 하는 과정에서 측정에 사용되어 그 우수성을 확인하였다. 또한 현재 개발 완성이 되어 전기용량 분야의 국가원기로 사용중인 크로스 커패시터의 원형 전극봉과 전극봉이 설치된 실린더사이에 장착이 되어 전극의 변형여부를 실시간으로 감지하는 센서로 계속 사용되고 있다. 한편 본 센서로 단순한 변위 측정은 물론, 미소진동의 측정, 두께의 미소변화 측정, 회전수 측정, 편심도 측정 등에 적절히 응용할 수가 있다.

참 고 문 헌

[1] P. H. Mansfield, "Electrical Transducers for Industrial Measurement", London, Butterworths, 1973.
 [2] Hermann K. P. Neubert, "Instrument Transducers", Oxford, Claren Press, pp. 68-290, 1975.
 [3] P. H. Sydenham, "Microdisplacement Transducers", J.

Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 5, pp. 721-733, 1972.

- [4] F. N. Toch, D. Bertels, G. C. M. Meijer, "A low-cost, highly stable reference capacitor for capacitive sensor system", IEEE I&M Conf. IMTC Proceedings, pp. 412-415. 1995.
- [5] R. Nerino, "Capacitive sensor arrays in dimensional analysis of surfaces," IEEE I&M Vol. 44(4), pp. 875-880, 1995.
- [6] Zang Yan-Fen, Liu-Xiang-Yang, Zhang Guo-Xiong, "Method for the Straightness measurement of vertical guideways of machine tools using capacitive and inductive sensors," Proceedings of the SPIE, Vol. 2101(2), pp. 843-847, 1993.
- [7] D. G. Lampard, "A New Theorem in Electrostatics with Applications to Calculable Standards of Capacitance", Inst. of Elect. Engr. Monograph no. 216M, pp. 271-280 .1957.
- [8] Rae Duk Lee, Han Jun Kim et al, "Development of a Vertical Cross Capacitor as a National Standard of Capacitances at KRISS", *submitted at CPEM 2006*, Torino, Italy, 2006.

저 자 소 개



김한준 (金漢俊)

1959년 1월 10일생. 1984년 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2006 현재: 충남대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 1987~2006 현재: 한국표준과학연구원. 전자기표준부 전기·자기그룹, 선임연구원.

Tel : 042-868-5283

Fax : 042-868-5018

E-mail : hanjun@kriss.re.kr



강전홍 (姜鎭洪)

1963년 2월 8일생, 1998년 대전한밭대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 2006년 충남대학교 전기공학과 박사과정, 1988년~2006년 현재: 한국표준과학연구원 전자기표준부 전기·자기그룹, 선임기술원.

Tel : 042-868-5152

Fax : 042-868-5018

E-mail : jhkang@kriss.re.kr



한상옥 (韓相玉)

1974년 충남대학교 공업교육과(전기)졸업. 1986년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학박). 1985년 독일 하노버대 객원교수, 1989년 일본 나고야대 객원교수, 현 충남대학교 전기공학과 교수.

Tel : 042-821-5655

E-mail : sohan@cnu.ac.kr