

주파수 변화에 따른 지적센서의 대상물 인식능력 분석

황성연*(전북대 정밀기계대학원), 홍동표** (전북대 기계공학부, 자동차신기술연구소)
 강희용** (전북대 기계공학부), 박준홍*** (전북대 정밀기계대학원)

Analysis of the Ability of Recognize Objects for Smart Sensor According to Frequency Changing

S. Y. Hwang (Precise Mechanical Eng. Graduate school. CBNU), D. P. Hong(Mechanical Eng. Faculty. CBNU)
 H. Y. Kang(Mechanical Eng. Faculty. CBNU) J. H. Park (Precise Mechanical Eng. Graduate school. CBNU)

ABSTRACT

This paper describes our primary study for a new method of recognizing materials, which is need for precision work system. This is a study of dynamic characteristics of sensor, new method (R_{SAI}) has the sensing ability of distinguishing materials. Experiment and analysis are executed for proper dynamic sensing condition. First, we developed advanced smart sensor Second, we develop new methods that have a sensing ability of distinguish materials

According to frequency changing, influence of smart sensor are evaluated through new recognition index (R_{SAI}) that ratio of sensing ability index. Distinguish of object is executed with R_{SAI} method relatively according to frequency changing. We can use the R_{SAI} for finding materials. Applications of this method are finding abnormal condition of object (auto-manufacturing), feeling of object (medical product), robotics, safety diagnosis of structure, etc

Key Words : Key Words : Smart Sensor(지적 센서), Sensing Ability Index(센싱능력지수), Auto-Correlation Function(자기 상관함수), Weighting Function (가중함수), R_{CAI} Index(인식지수)

1. 서론

지적센서를 이용하는 분야가 현재는 공장이나 산업현장뿐만 아니라 의료분야, 통신분야 등으로 넓어져 일반인들의 생활 가까이에서 많이 볼 수 있다. 이에 따라 지적 센서의 형상 및 재료, 그리고 신호 처리 방법도 다양하게 연구되어지고 있고, 지적센서의 성능향상 또한 중요한 연구 과제가 되고 있다.

본 논문에서는 재료에 대한 인식능력을 향상시키기 위하여 새로운 지적센서를 개발하였고 대상물 인식능력을 향상시키기 위한 새로운 인식지수를 제안하였다. 새로운 인식지수(R_{SAI})를 이용하여 주파수 변화에 대상물인식능력을 상대적으로 평가하였다. 지적센서의 재료로는 PVDF(polyvinylidene fluoride) 필름과 초탄성재료를 선택하였다. PVDF 필름은 최근 개발된 압전 소재로서 탁막의 공학용 필름이다. 이는 그 가공이 다른 센서소재에 비해

우 간단하고 가벼울 뿐만 아니라 사용 주파수 영역과 동작 범위가 넓다는 등의 여러 가지 장점을 지니고 있어 많은 분야에서 응용되어 사용되어지고 있고 확대될 전망이다. 로봇관절 강도나 손상정도를 파악하기 위한 비파괴 센서나 반구형 실리콘 고무에 PVDF 필름을 매트릭스 형태로 분포시켜 접촉 위치와 특성을 파악할 수 있는 지적센서로 제안되어진바 있다.

Chonan⁽¹⁾는 인간의 피부와 같이 부드러운 지적센서에 관하여 연구하였고 그 실험의 결과를 단순히 출력 전압에 의한 분석을 시도하였다. 또 다른 연구에서는 최대 신호 강도, 신호의 오목한 부분과 볼록한 부분의 전체 수, 평균 신호강도와 교차점수 등을 이용하여 신호 분석을 시도하였다. 그리고 각각의 조건에 대한 신호 데이터 처리를 뉴럴네트워크 기법을 이용하여 처리하여 대상물에 대한 인식을 할 수 있는 지적센서 시스템에 관하여 연구하였다.

위에 언급한 많은 연구에서 보듯이 그 지적 센

서의 응용범위는 시스템의 이상유무 검출에 많은 부분을 할애하고 있고 데이터 처리에 있어 많은 해석 기법이 제안되어져 왔다. 이번 연구에서는 대상물을 인식할 수 있는 지적센서의 개발과 대상물을 인식할 수 있는 신호처리시스템을 개발하였다. 실험을 위하여 HH(Hard-Hard)타입의 지적센서를 개발하여 사용하였다.⁽²⁾ 이 지적센서는 대상물 인식용으로 사용되는 센서이다. 본 논문에서는 새로운 평가 기법(R_{SAI})을 이용하여 가속도와 주파수 변화에 따른 지적센서들의 대상물 센싱능력을 상대적으로 평가할 수 있음을 실험적으로 증명하고자 한다. 또한 지적 센서의 최적의 센싱조건을 찾고자 할 때 이 새로운 인식지수(R_{SAI})을 이용하여 대상물을 상대적으로 평가할 수 있는지를 연구하고자 한다.

2. 이론적 배경과 새로운 인식지수(R_{SAI}) 제안

진동시 인간이 느낄 수 있는 진동의 양을 정량적으로 표현하려는 노력이 많은 연구자들에 의해 제시되고 있다. 그 중에서도 ISO 2631⁽³⁾은 진동에 대해 인간이 주관적으로 느낄 수 있는 지각변수(Perception Variable)를 K_s 라는 지수로 표현하였다. 이것을 센싱능력(Sensing Ability)에 적용시켰을 때 센싱능력은 K_s 에 비례하여 증가한다. ISO 2631⁽³⁾ 에 기초한 VDI 2057⁽¹⁾에 따르면 단일축 진동에서의 지각변수는 식(1)과 같이 정의된다.

$$K_s = \alpha a, \quad (1)$$

여기서 $\alpha = 20$, a_s 는 인체가 주관적으로 느끼는 진동 가속도의 평균 제곱근값(Root Mean Square Value)을 나타낸다. 식(1)은 평균값이 영일 때 표준 편차가 평균 제곱근값과 같다는 분산의 성질을 이용하여 인체가 주관적으로 느끼는 가속도 성분의 분산(σ_{h_s})로 나타낼 수 있다

$$K_s = \alpha \sqrt{\sigma_{h_s}^2} = \alpha \sigma_{h_s} \quad (2)$$

분산(σ_{h_s})은 인간이 느끼는 가속도 $H_s(t)$ 의 자기상관함수 R_{h_s} 로 나타낼 수 있고 자기상관함수는 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수의 푸리에 변환이므로 K_s 는 식(5)와 같이 센서에 실제로 전달된 진동가속도의 파워 스펙트럼 밀도 $S_{ph}(\omega)$ 로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{h_s}^2 = E[H_s^2(t)] = R_{h_s}(0) \quad (3)$$

$$S_{h_s}(\omega) = |f(\omega)|^2 S_{ph}(\omega) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} K_s &= \alpha \sqrt{\sigma_{h_s}^2} = \alpha \sqrt{R_{h_s}(0)} \\ &= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_{h_s}(\omega) e^{i\omega(0)} d\omega} \\ &= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_{h_s}(\omega) d\omega} \\ &= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |f(\omega)|^2 S_{ph}(\omega) d\omega} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $S_{h_s}(\omega)$ 는 인간이 느낄 수 있는 진동가속도의 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density)이며, $f(\omega)$ 는 인체의 역활을 전달함수로 나타낸 것으로 식(5)에서 K_s 를 계산하려면 먼저 전달함수 $f(\omega)$ 를 구해야 한다. 한편 BS 6841⁽⁵⁾에서는 ISO 2631⁽³⁾을 더욱 발전시켜 전달함수 $f(\omega)$ 와 같은 개념으로 가중함수(weighting function) W_b 를 제안하였다. 먼저 식(5)를 변환해서 일반 센싱능력지수를 정의하였다. 먼저, 본 연구에서는 주관적인 인간이 아닌 객관적인 센서에서의 감도를 나타내고자 하므로 $\alpha = 1$ 로 놓고 식(5)를 재검토했다. $f(\omega)$ 는 BS 6841⁽⁵⁾의 가중함수와 같기 때문에 $f(\omega)$ 대신에 BS6841⁽⁵⁾의 가중함수 W_b 를 대입하여 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} SAI_K &= \left(1 \cdot \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |f(\omega)|^2 S_{ph}(\omega) d\omega} \right)^2 \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \left| W_b \left(\frac{\omega}{2\pi} \right) \right|^2 S_{ph}(\omega) d\omega \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 가중함수 W_b 는 인간의 인식능력에 주로 영향을 받는 주파수 영역인 5Hz에서 100Hz까지는 1로 정의하였다. 따라서 식(21)은 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$\begin{aligned} SAI_K &= \int_{2\pi A}^{2\pi B} S_{ph}(\omega) d\omega \\ &= \sum_A^B S_{ph}(f) \end{aligned} \quad (8)$$

이 때 인간이 지각할 수 있는 주된 주파수 영역에서 센싱능력을 평가하고자 하므로 $A=5$, $B=100$ 로 주파수 대역을 한정하였다. 새로운 센싱능력지수는

일반적 센싱능력지수인 식(8)에서 S_{pb} 의 절대값을 취해 정해진 구간에 대하여 평균한 값으로 수정해서 다음과 같이 센싱능력지수(Sensing Ability Index, SAI)를 정의하였다

$$SAI = \frac{1}{B-A} \sum_A^B |S_{pb}(f)| \quad (9)$$

$$(A=5, B=100)$$

SAI 한 개의 값으로 대상물을 인식하는 데는 한계가 있다. 따라서 센서의 서로 다른 부분에서 획득한 두 개의 SAI 값의 비를 이용하여 새로운 대상물 인식 지수(R_{SAI})를 다음과 같이 정의하였다.

$$R_{SAI} = \frac{SAI_1}{SAI_2} \quad (10)$$

아랫첨자 1, 2는 센싱포인트를 의미한다. 아랫첨자 1은 1층(HH1) SAI 값을 의미하고 아랫첨자 2는 2층(HH2)의 SAI 값을 의미한다.

3. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 지적센서의 동특성은 센서의 베이스(base) 부분과 표면의 형상 및 특성에 의해 크게 영향을 받을 수 있다.^(14, 15, 16) 따라서 실험을 위하여 HH(Hard-Hard)Type 지적센서를 제작하여 사용하였다. 지적센서에 삽입할 압전 소자는 탄성적 유연성이 높아서 입력에 대한 출력이 정확한 PVDF 필름을 이용하였다. PVDF 필름은 필름의 두께 및 형상 등에 따라 독특한 응답 특성을 갖는다.

본 연구에서 사용되어진 지적센서의 규격은 Table 1에 나타내었다. Fig.1은 센서의 개략도이다. Fig.2는 실험장치의 개략도를 보여주고 있다

Table 1. Specification of HH smart sensor

Base1 material	Base2 material	Surface material (thickness)	Sensor Type
Hard	Hard	0.5 mm	HH
PVDF film symbol			
PVDF1, PVDF2			HH1
PVDF3, PVDF4			HH2

실험 장치는 크게 지적센서를 제어 할 수 있는 입력 제어시스템, 제작된 지적센서를 고정시킬 수 있도록 제작된 지적센서 고정시스템 및 입력시스템, 센서에서 발생하는 신호를 획득하여 변환시켜주는 데이터 획득 및 변환 시스템, 컴퓨터 프로그래밍을 통한 신호 처리 및 분석시스템으로 나눌 수 있다.

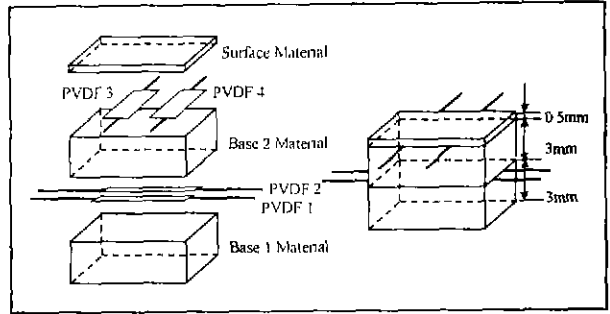


Fig 1 Schematic 1 of smart sensor

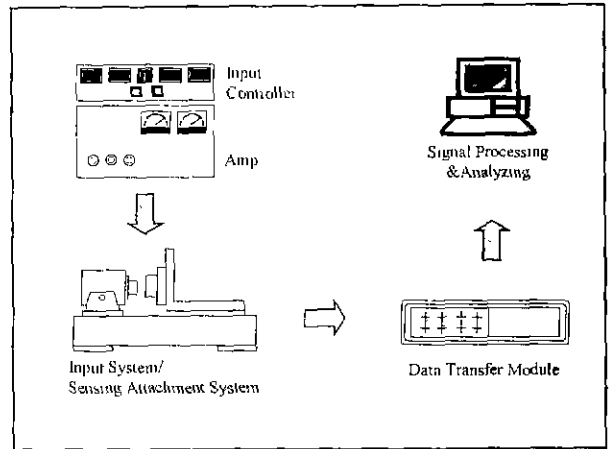


Fig 2. Schematic of the experimental set-up

우리는 실험을 위하여 대상물을 준비하였고 이 4 종류의 대상물은 다른 강도를 가지고 있는 철(Fe), 알루미늄(Al), 나무(Wo), 스펀지 (Sp)이다. 대상물의 두께는 3mm 이고 원형으로 제작하였다. 본 연구에서는 지적센서의 동특성 해석을 위해 가속도 (g)와 주파수를 변화시켜 그에 대한 동적인 응답 특성에 관하여 실험하였다. Table.2는 실험에 사용된 입력변수 값이다.

Table 2. Input Variables for Experiment

Changing variable	Changing value
Acceleration	1g, 5g, 10g
Frequency	10Hz, 20Hz, 30Hz
Displacement	0.5mm

4. 실험결과 및 결론

HH-type 지적센서를 이용하여 주파수 변화에 따른 지적센서의 대상물의 인식능력을 새로운 인식지수(R_{SAI})방법으로 평가하여 보았다.

a) Fig.3-5에서 보면 각각의 대상물에 대한 R_{SAI} 값의 변화를 통해 대상물을 인식할 수 있음을 알 수 있다. 즉 대상물의 경도차이에 의한 에너지 전달에 차이가 있음을 알 수 있고 이러한 개념의

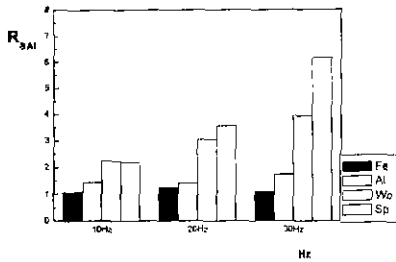


Fig 3 The R_{SAI} Value According to frequency Changing (1g - 0.5mm)

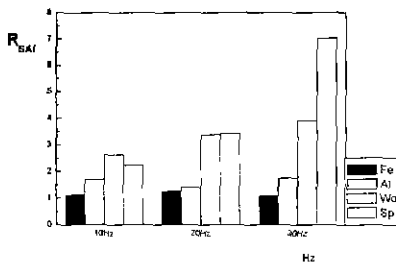


Fig 4. The R_{SAI} Value According to frequency Changing (5g - 0.5mm)

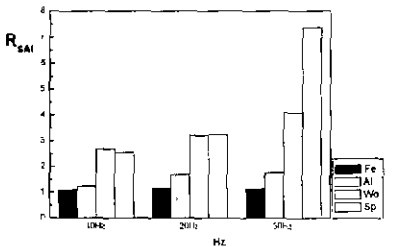


Fig 5. The R_{SAI} Value According to frequency Changing (10g - 0.5mm)

새로운 인식지수 (R_{SAI})가 대상물을 변별해 낼수 있음을 알 수 있다

b) Fig.3-5 에서 비교하여 보면 R_{SAI} 값이 10Hz-20Hz 에서는 거의 대상물인식에 변별력이 없음을 알 수 있다. 즉 새로운 인식지수(R_{SAI})를 통하여 지적센서의 최적의 대상물인식조건을 찾아낼 수 있음을 알 수 있고 또한 평가 할 수 있다

c) Fig.3-5 에서 30Hz 에서 R_{SAI} 값은 경향은 $Sp > Wo > Al > Fe$ 순으로 정도가 약한 대상물일수록 R_{SAI} 값은 크게 나타남을 알 수 있다. 즉 대상물에 의해 발생하는 에너지가 2층 PVDF 에서 직접적으로 전달되고 1층 PVDF 까지는 에너지가 전달되지 않는다는 결론에 도달한다. 즉 대상물에 대한 에너지 전달비에 의해 대상물을 판별할 수 있음을 알 수 있다.

e) Fig.3-5 에서 30Hz 에서 살펴보면 10Hz, 20Hz 보다 더욱 대상물에 대한 변별능력이 뛰어남을 알 수 있다. 즉 지적센서의 설계 시 용도에 맞는 적절한 센싱조건을 새로운 인식지수인(R_{SAI})를 통하여 선정할 수 있음을 보여주고 있다.

본 논문에서는 대상물을 인식할 수 있는 지적센서를 개발하였고 여러 종류의 정도가 다른 대상물을 판별할 수 있는 신호처리시스템을 개발하였다. 대상물을 객관적으로 평가할 수 있는 새로운 인식지수인(R_{SAI})를 제시하여 주파수 변화에 따른 지적센서의 대상물에 대한 변별능력이 뛰어남을 실험적으로 증명할 수 있었다.

새로운 인식지수인 R_{SAI} 가 주파수 변화에 따른 지적센서의 센싱능력을 평가하고 최적의 지적센서를 설계하는데 유용한 평가 방법임을 증명하였다. 이러한 평가 방법을 이용하여 좀더 진보적인 센서들의 응용범위와 최적의 센서 조건을 찾아내는데 응용할 수 있으리라 사료된다.

후 기

This research was supported by Mechatronics Research Center(MRC) in Chonbuk national University. MRC is designed as a Regional Research Center appointed by KOSEF, Chollabukdo Provincial and Chonbuk National University

참고문헌

1. Seiji Chonan, Zhong-Wei Jiang, Jun Ibayashi and Mesayuki Sato, 1994, "Development of Soft Tactile Sensor (1st Report, Fundamental Structure and Characteristics of the Sensor)" Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, vol. 60 no. 580., pp 4203-4210
2. Dong Pyo Hong, Seong Youn Hwang, et al 1999, "Dynamic Characteristics Analysis of Sensor for Enhance Sensing Ability ", Proceeding of the 3rd IWAM December 1999 pp 366-371.
3. International Organization for Standardization, 1985, Evaluation of Human exposure to whole-body vibration - part I General Requirements (ISO 2631/1), International Organization for Standardization
4. Association of German Engineers, 1987, Effect of Mechanical vibrations on Human beings (VDI 2057), Association of German Engineers
5. British Standards Institution, 1987, British Standard Guide to Measurement and Evaluation of Human Expose to Whole-body Mechanical Vibration and Repeated Shock (BS 6841), British Standards Institution, 1987.