

지적센서 형태에 따른 센싱능력 분석기법 개발

Development of Estimation Method of Sensing Ability According to Smart Sensor Types

황성연* • 홍동표** • 강희용** • 박준홍*** • 홍진후****

Seong Youn Hwang, Dong Pyo Hong, Hee Young Kang,
Jun Hong Park, Jin Who Hong

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

ABSTRACT

This paper deals with sensing ability of smart sensor that has a sensing ability of distinguish materials. We have developed new signal processing method that have distinguish different materials. We made the two type of smart sensors for experiment. The first type of smart sensor is H2 type. The second type of smart sensor is HH type. The smart sensor was developed for recognition of material. And then we developed estimation method of sensing ability of smart sensors. The first method (Sensing Ability Index) is developed for H2 smart sensor. The second method (R_{SAI} Index) is developed for HH smart sensor. We estimated sensing ability of smart sensor with new SAI and R_{SAI} method.

This paper describes our primary study for a new method of estimate sensing ability of smart sensor, which is need for precision work system. This is a study of dynamic characteristics of smart sensor according to frequency and displacement changing with new SAI and R_{SAI} method. Experiment and analysis are executed for proper dynamic sensing condition. First, we developed advanced smart sensors. Second, we develop new SAI and R_{SAI} methods that have a sensing ability of distinguish materials. Dynamic characteristics of smart sensor are evaluated through new SAI and R_{SAI} method relatively. We can use the new SAI and R_{SAI} method 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.

1. 서 론

지적센서를 이용하는 분야가 공장이나 산업현장 뿐만 아니라 의료분야, 통신분야 등에서 넓어지고 있다. 그래서 일반인들의 생활 가까이에 서도 많이 볼 수 있는 상황이다. 이에 따라 지적 센서의 형상 및 재료, 그리고 신호 처리 방법도 다양하게 연구되어지고 있고, 지적센서의 성능 향상 및 평가 방법 또한 중요한 연구 과제가 되고 있다.

본 논문에서는 재료에 대한 인식능력을 향상시키기 위하여 새로운 두 종류의 지적센서를 개발하였고 대상물 인식능력을 향상시키기 위한 지적 센서에 따라 새로운 인식지수 두 종류를 제안하였다. 두 종류의 지적센서의 센싱능력 평가를 위해 주파수와 변위의 동특성 환경 변화에 따른 영향성을 새로운 평가방법 두 가지를 이용하여 상대적

으로 평가하였다. 지적센서의 재료로는 PVDF(polyvinylidene fluoride) 필름과 초탄성재료를 선택하였다. PVDF 필름은 최근 개발된 압전 소재로서 박막의 공학용 필름이다. 이는 그 가공이 다른 센서소재에 비해 매우 간단하고 가벼울 뿐만 아니라 사용 주파수 영역과 동적 범위가 넓은 등의 여러 가지 장점을 지니고 있어 많은 분야에서 응용되어 사용되어지고 있고 확대될 전망이다.

Chonan⁽¹⁾는 인간의 피부와 같이 부드러운 지적 센서에 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 뉴럴 네트워크 기법을 이용하여 처리하여 대상물에 대한 인식을 할 수 있는 지적센서 시스템에 관하여 연구 하였다.

위에 언급한 많은 연구에서 보듯이 그 지적 센서의 응용범위는 시스템의 이상유무 검출에 많은 부분을 할애하고 있고 데이터 처리에 있어 많은 해석 기법이 제안되어져 왔다. 이번 연구에서는

* 정희원, 전북대학교 정밀기계대학원

E-mail:hwangsy@joy.hosanna.net

Tel:063-270-2374, Fax:063-270-2368

** 정희원, 전북대학교기계공학과,

자동차신기술연구소

*** 전북대학교 정밀기계대학원

**** 조선대학교 화학교분자공학부

대상물을 인식할 수 있는 두 종류의 지적센서의 개발과 이 지적센서들에 따른 신호처리시스템을 개발하였다. 실험을 위하여 H2(Hard-2)타입과 HH(Hard-Hard)타입의 두 종류의 지적센서를 개발하여 사용하였다.⁽²⁾ 이 지적센서는 대상물 인식용으로 사용되는 센서이다. 본 논문에서는 가속도와 주파수 변화에 따른 지적센서들의 대상물 센싱능력을 새로운 평가 기법들을(SAI 와 R_{SAI}) 이용하여 상대적으로 센싱능력을 평가할 수 있음을 실험적으로 증명하고자 한다. 또한 지적 센서의 최적의 센싱조건을 찾고자 할 때 이 새로운 평가 기법들이(SAI 와 R_{SAI}) 센싱능력을 상대적으로 평가할 수 있는지를 연구하고자 한다.

2. 이론적 배경과

새로운 평가기법(SAI 와 R_{SAI}) 제안

2.1 새로운 센싱능력지수(SAI) 기법 제안

광범위한 랜덤 데이터의 공학적 해석에서는 여러 자료들 사이에서 선형적인 특성을 결정하는 것이 중요한 연구 쟁점이 되고 있다. 이러한 선형적인 관계식들은 신호 처리 기법 중의 하나인 상관함수(Correlation Function)나 스펙트럼(Spectrum)이라 불리는 푸리에 변환(Fourier Transform)으로 표현할 수 있다. 입력과 출력 사이의 자료의 연관성을 평가하는 이러한 방법은 공학문제의 해결에 있어서 매우 중요한 도구가 되고 있다.

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⁽⁴⁾에 따르면 단일축 진동에서의 지각변수는 식(1)과 같이 정의된다.

$$Ks = \alpha a_s \quad (1)$$

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 표준편차가 평균 제곱근값과 같다는 분산의 성질을 이용하여 인체가 주관적으로 느끼는 가속도 성분의 분산(σ_{hs})로 나타낼 수 있다

$$Ks = \alpha \sqrt{\sigma_{hs}^2} = \alpha \sigma_{hs} \quad (2)$$

분산(σ_{hs})는 인간이 느끼는 가속도 $Hs(t)$ 의 자기상관함수 R_{hs} 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 $S_{pb}(\omega)$ 로 나타낼 수 있다.

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

$$S_{hs}(\omega) = |f(\omega)|^2 S_{pb}(\omega) \quad (4)$$

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

여기서 $S_{hs}(\omega)$ 는 인간이 느낄 수 있는 진동가속도의 파워 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density)이며, $f(\omega)$ 는 인체의 역할을 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 지적센서의 센싱 능력을 평가하고 비교하는 일을 편리하게 하기 위해 새로운 일반적 센싱능력지수(SAI_b)를 제안하고자 한다. 실제 측정된 데이터로 일반 센싱능력지수(SAI_b)를 이용해 계산하여 다른 값들과 상대 비교하여 센서의 센싱능력을 향상시킬 수 있다. 또한 데이터를 축적해 데이터베이스를 구축함으로써 센서의 최적설계에 이용할 수도 있다. 그러면 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 적용하였다. $f(\omega)$ 는 BS 6841⁽⁵⁾의 가중함수와 같기 때문에 $f(\omega)$ 대신에 BS6841⁽⁵⁾의 가중함수 W_b 를 대입하여 다음과 같이 정의하였다.

$$SAI_g = \left(1 \cdot \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |f(\omega)|^2 S_{pb}(\omega) d\omega} \right)^2 \quad (6)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \left| W_b \left(\frac{\omega}{2\pi} \right) \right|^2 S_{pb}(\omega) d\omega \quad (7)$$

여기서 가중함수 W_b 는 인간의 인식능력에 주로 영향을 받는 주파수 영역인 5Hz 에서 100Hz 까지 1 로 정의하였다. 따라서 식(7)은 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$SAI_g = \int_{2\pi A}^{2\pi B} S_{pb}(\omega) d\omega \quad (8)$$

$$= \sum_A^B S_{pb}(f)$$

여기서 H2 타입의 지적센서의 동적 환경변화에 따른 상대적 인식능력을 평가하기 위하여 새로운 센싱능력지수(SAI)를 제안하고자 한다.

식(8)에서 인간이 지각할 수 있는 주된 주파수 영역에서 센싱능력을 평가하고자 하므로 A-5, B-100 로 주파수 대역을 한정하여 새로운 센싱능력지수(SAI)는 일반적 센싱능력지수인 식(8)에서 S_{pb} 의 절대값을 취해 정해진 구간에 대하여 평균한 값으로 수정해서 식(9)와 같이 센싱능력지수(Sensing Ability Index, SAI)를 정의하였다.

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

($A = 5, B = 100$)

2.2 새로운 인식 지수(R_{SAI}) 제안

현재까지 딱딱한 재료로 만들어진 대상물에 대한 이상유무를 검출하기 위한 지적센서가 개발되었고 유연한 대상물에 대한 이상유무를 판별할 수 있는 지적센서는 아직 개발 중에 있다. 또한 동적인 환경 중에서 지적센서를 이용하여 대상물을 평가하고 이를 향상시키기 위한 기법은 아직 개발 단계에 있다. 그러므로 본 논문에서는 동적인 상태에 놓여 있는 대상물의 인식하기 위해서 HH 타입의 지적센서를 이용하여 동특성 실험을 하고자 하며 이러한 동적인 환경 하에서 HH 타입의 지적센서의 센싱능력을 평가하고자 새로운 인식지수(R_{SAI})를 이용해서 대상물의 동특성에 따른 상대적인 인식능력 평가하고자 한다. 그러므로 대상물을 인식능력을 향상시키기 위해 센서의 서로 다

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

3. 실험 장치 및 실험방법

3.1 지적센서 개발

본 연구에서는 지적센서의 동특성은 센서의 베이스(base) 부분과 표면의 형상 및 특성에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

따라서 실험을 위하여 H2 지적센서와 HH(Hard-Hard)타입의 지적센서를 제작하여 사용하였다.

본 연구에서 사용되어진 H2 지적센서의 규격은 Table.1 에 나타내었다. Fig.1 은 H2 센서의 개략도이고, Table.2 는 HH 타입의 지적센서의 규격을 나타내고, Fig.2 는 HH 센서의 개략도이다. Fig.3 는 H2 타입의 PVDF 필름의 배열과 HH 타입센서의 1 층의 PVDF 필름의 배열을 나타내고 있으며 Fig. 4 는 HH 타입센서의 2 층의 PVDF 필름의 배열을 보여주고 있다.

Table.1 Specification of H2 smart sensor

Base Material(t2)	Surface Material (t1)	Sensor Type
Hard(3mm)	Hard(0.5 m)	H2

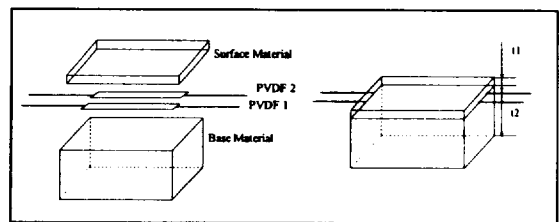


Fig.1 Schematic 1 of H2 smart sensor

3.2 실험 장치 시스템

본 연구의 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 분석시스템로 나눌 수 있다. Fig.5 는 실험장치의 개략도를 보여

Table. 2 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

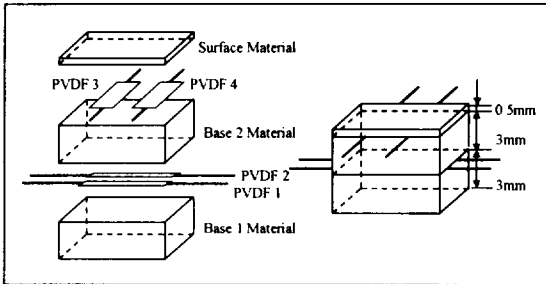


Fig.2 Schematic 1 of HH Type Smart Sensor

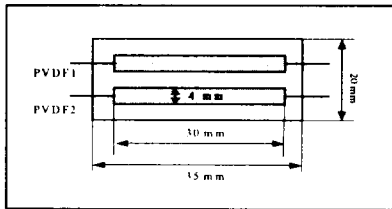


Fig.3 Schematic of H2 Type Smart Sensor and the first floor HH Type Smart sensor

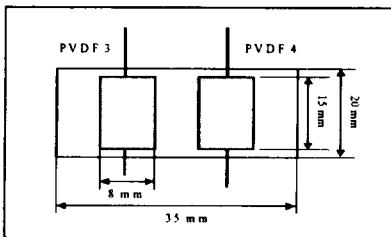


Fig.4 Schematic of on the second floor HH Type Smart sensor

주고 있다. 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 해

석을 위해 가속도(g)와 주파수를 변화시켜 그에 대한 동적인 응답 특성에 관하여 실험하였다. Table.3는 실험에 사용된 입력변수 값이다.

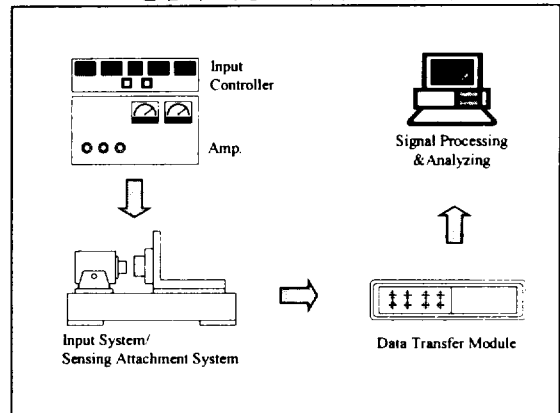


Fig.5 Schematic of the experimental set-up

Table.3 Input Variables for Experiment

Changing variable	Changing value
Acceleration	5g
Frequency	10Hz, 20Hz, 30Hz
Displacement	0.5, 0.7, 0.9mm

3.3 실험과 해석 절차

본 연구에서는 지적센서의 동특성 해석을 위해 가속도는 5g 로 고정하였고 주파수와 변위를 변화시켜 그에 대한 지적센서의 센싱능력을 상대적으로 비교 평가하였다.

H2 센서는 철(Fe)에 관하여 변위와 주파수 변화에 따른 센서의 센싱능력에 어떠한 영향을 미치는지에 관하여 실험하였고, HH 센서는 4 종류의 대상물에 대한 변별능력을 변위와 주파수 변화에 대하여 실험하여 이지적센서의 능력을 평가하였다. Fig.6 는 분석 프로그램의 데이터 처리 방법에 대한 개략도를 보여주고 있다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 센싱능력지수(SAI)를 이용한 H2 지적센서의 센싱능력 비교

a) Fig.7-9 에서 보면 H2 타입 지적센서는 변위가 변함에 따라 센싱능력지수(SAI) 값의 변화가 있음을 알 수 있다. 즉 동적특성의 변화에 따른 지적센서의 센싱능력을 새로운 센싱능력지수를 통하여 평가할 수 있음을 알 수 있다.

b) Fig.7-9 에서 보면 주파수 변화에 따라서도 센

상능력지수가 변화함을 알 수 있다. 이러한 실험의 결과로 센싱능력지수(SAI)를 이용하여 어떠한 센싱조건이 대상물에 대한 최적의

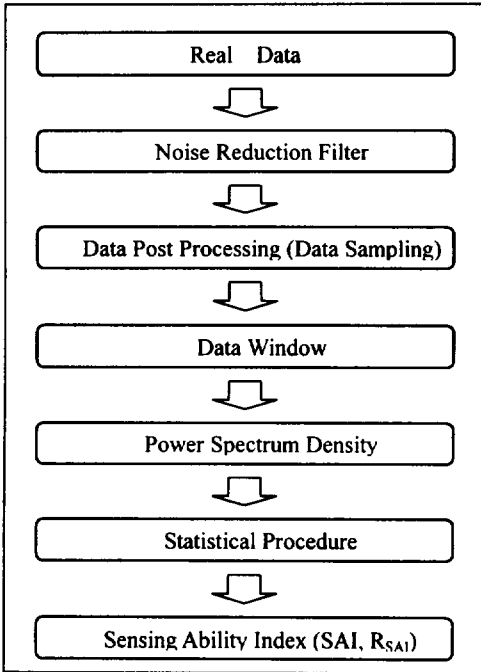


Fig 6. Schematic of Analysis Program

센싱조건을 찾아낼 수 있음을 알 수 있었다.

- c) H2 지적센서는 가진 진폭변위와 주파수 변화에 따라 센싱능력에 있어 큰 차이가 있음을 새로운 센싱능력지수(SAI)를 통하여 평가할 수 있고 SAI 를 이용하여 센서의 성능을 개선할 수 있음을 알 수 있다.
- d) H2 지적센서는 주파수 변화에 따른 영향성보다 가진 진폭변위의 영향성이 훨씬 큼을 Fig7-9 를 통하여 상대적으로 SAI 를 이용하여 평가할 수 있다.

그러므로 1 차적인 지적센서인 H2 지적센서의 동특성 변화에 따른 영향성을 새로운 센싱능력지수(SAI)를 통하여 상대적으로 평가하고 최적의 센싱조건과 이 지적센서를 개선할 수 있음을 실험결과로 알 수 있다.

4.2 새로운 인식지수(R_{SAI})를 이용한 HH 지적센서의 센싱능력 비교

HH-type 지적센서를 이용하여 가속도 변화에 따른 대상물의 인식능력을 새로운 인식지수(R_{SAI}) 방법으로 평가하여 보았다.(Fig.10-12)

a) Fig.10-12 에서 보면 각각의 대상물에 대한 R_{SAI}

값의 변화를 통해 대상물을 인식할 수 있음을 알 수 있다. 즉 대상물의 경도차이에 의한

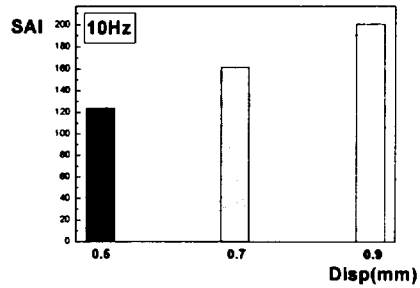


Fig.7 The SAI Value According to Displacement (mm)Changing (10 Hz - 5g)

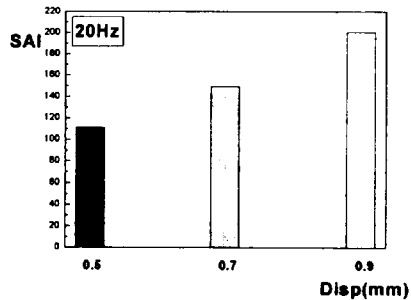


Fig.8 The SAI Value According to Displacement (mm)Changing (20 Hz - 5g)

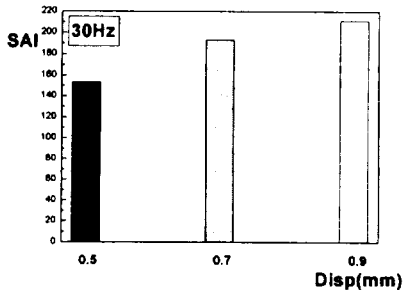


Fig.9 The SAI Value According to Displacement (mm)Changing (30 Hz - 5g)

에너지 전달에 차이가 있음을 알 수 있고 이러한 개념의 새로운 인식지수(R_{SAI})가 대상물을 변별해 낼 수 있음을 알 수 있다.

b) Fig.10-12 에서 보면 R_{SAI} 값은 경향은 $Sp > Wo > Al > Fe$ 순으로 경도가 약한 대상물일수록 R_{SAI} 값은 크게 나타남을 알 수 있다. 즉 대상물에 의해 발생하는 에너지가 2 층

PVDF 에서 거의 전달되고 1 층 PVDF 까지는 에너지가 전달되지 않는다는 결론에 도달한다. 즉 대상물에 대한 에너지 전달비에 의해 대상물을 판별할 수 있음을 알 수 있다.

- c) Fig.10-12 에서 보면 30Hz 에서 10Hz, 20Hz 보다 더욱 대상물에 대한 변별능력이 뛰어난을 알 수 있다. 즉 지적센서의 설계 시 용도에 맞는 적절한 센싱조건을 새로운 인식지수인 (R_{SAI})를 통하여 선정할 수 있음을 보여주고 있다.

5. 결론

- a) 본 논문에서는 대상물을 인식할 수 있는 두가지 종류의(H2,HH)지적센서를 개발하였고 경도가 다른 여러 종류의 대상물을 판별할 수 있는 신호처리시스템을 개발하였다. 대상물을 객관적으로 평가할 수 있는 새로운 센싱능력지수(SAI)와 새로운 인식지수인(R_{SAI})를 제시하여 대상물에 대한 변별능력이 뛰어난을 실험적으로 증명할 수 있었다.
- b) 새로운 센싱능력지수(SAI)와 새로운 인식지수(R_{SAI})를 통하여 가진 진폭변위와 가속도 변화에 따른 지적센서의 영향성도 평가할 수 있음을 알 수 있다. 즉 지적센서에 있어서 가장 센싱능력이 우수함을 판단할 수 있고 최적의 지적센서의 센싱 조건을 새로운 센싱능력지수(SAI)와 새로운 인식지수(R_{SAI})를 통하여 제시할 수 있음을 알 수 있다.
- c) 본 논문에서는 새로운 센싱능력지수(SAI)와 새로운 인식지수(R_{SAI})를 통하여 지적센서들의 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.

후기

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

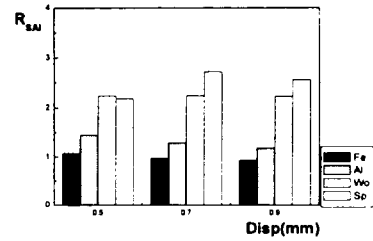


Fig.10 The R_{SAI} Value According to Displacement (mm)Changing (10 Hz - 5g)

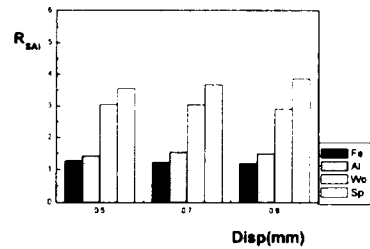


Fig.11 The R_{SAI} Value According to Displacement (mm)Changing (20 Hz - 5g)

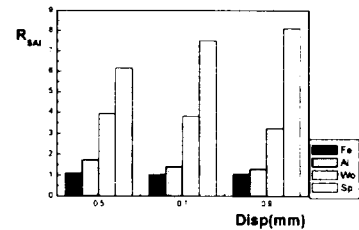


Fig.12 The R_{SAI} Value According to Displacement (mm)Changing (30 Hz - 5g)

- 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 - part1: 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.