

## 대상물 인식을 위한 지능센서 및 평가기법 개발

황성연\*, 홍동표<sup>+</sup>, 정태진<sup>++</sup>, 김영문<sup>+++</sup>

(논문접수일 2006. 1. 13, 심사완료일 2006. 3. 15)

### Development Smart Sensor & Estimation Method to Recognize Materials

Seong-Youn Hwang\*, Dong-Pyo Hong<sup>+</sup>, Tae-Jin Chung<sup>++</sup>, Young-Moon Kim<sup>+++</sup>

#### 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 smart sensors, new method( $R_{SAI}$ ) has the sensing ability of distinguishing materials. Experiment and analysis are executed for finding the proper dynamic sensing condition. First, we developed advanced smart sensor. We made smart sensors for experiment. The type of smart sensor is HH type. The smart sensor was developed for recognition of material. Second, we develop new estimation methods that have a sensing ability of distinguish materials. Dynamic characteristics of 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. We can use the  $R_{SAI}$  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.

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

## 1. 서론

현재는 공장이나 산업현장뿐만 아니라 의료분야, 통신분

야 등에서 지능센서를 이용하는 분야가 넓어져 일반인들의 생활 가까이에 서도 많이 볼 수 있다. 이에 따라 지능 센서의 형상 및 재료, 그리고 신호 처리 방법도 다양하게 연구되어

\* 전주대학교 객원교수  
전북대학교 정밀기계대학원 (hwangsy37@chol.com)  
주소: 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14  
+ 전북대학교 기계항공시스템 공학부  
++ 군산대학교 기계공학부  
+++ 전북대학교 건축기계공학과

지고 있고, 지능센서의 성능 향상 또한 중요한 연구 과제가 되고 있다.

본 논문에서는 재료에 대한 인식능력을 향상시키기 위하여 새로운 지능센서를 개발하였고 대상물 인식능력을 향상시키기 위한 새로운 인식지수를 제안하였다. 지능센서의 센싱 능력 평가를 위해 센서의 동특성을 새로운 인식지수( $R_{SAI}$ )를 이용하여 상대적으로 평가하였다. 지능센서의 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 동작 범위가 넓다는 등의 여러 가지 장점을 지니고 있어 많은 분야에서 응용되어 사용되어지고 있고 확대될 전망이다.

Royston<sup>(1)</sup>은 금속 파이프에 물이 통과할 때 평면파를 검출하기 위한 경험적 비파괴 지능센서로서 PVDF 센서를 이용하였다. 대부분 지능센서는 정적인 상태에서 대상물의 형태나 특성을 파악하기 위한 센싱 기법이 연구되었다.

Howe<sup>(2)</sup>는 동적인 상황에서 공간과 순간적인 주파수를 센싱할 수 있는 지능센서에 관한 연구를 수행하였다. Li<sup>(3)</sup>는 밀링 표면의 파괴, 칩핑(chipping), 마모를 자동적으로 검출하기 위한 지능 센서에 관한 연구를 하였다. 그 외 로봇관절 강도나 손상정도를 파악하기 위한 비파괴 센서나 반구형 실리콘 고무에 PVDF 필름을 매트릭스 형태로 분포시켜 접촉 위치와 특성을 파악할 수 있는 지능센서로 제안되어진바 있다<sup>(4,5)</sup>.

Chonan<sup>(6)</sup>은 인간의 피부와 같이 부드러운 지능센서에 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 지능센서 시스템에 관하여 연구 하였다<sup>(7)</sup>.

위에 언급한 많은 연구에서 보듯이 그 지능 센서의 응용범위는 시스템의 이상유무 검출에 많은 부분을 할애하고 있고 데이터 처리에 있어 많은 해석 기법이 제안되어져 왔다. 본 실험은 실제적인 응용분야인 유방암 진단용 지능센서 시스템 개발을 위한 기초실험의 일부이다. 즉 이러한 기초실험을 통하여 데이터베이스를 이변 연구에서는 대상물을 인식할 수 있는 지능센서의 개발과 대상물을 인식할 수 있는 신호처리시스템을 개발하였다. 실험을 위하여 HH(Hard-Hard)타입의 지능센서를 개발하여 사용하였다<sup>(9-11)</sup>. HH 타입의 지능센서는 대상물

인식용으로 사용되는 센서이다. 본 논문에서는 새로운 평가 기법( $R_{SAI}$ )을 이용하여 가속도와 주파수 변화에 따른 지능센서들의 대상물 센싱능력을 상대적으로 평가할 수 있음을 실험적으로 증명하고자 한다. 또한 지능 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

### 2.1 주파수 분석을 이용한 신호처리 기법

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. 여기서는 단일 선형 입출력관계를 통하여 주파수 분석을 설명 하려 한다. 먼저 시간에 관한 입력을  $x(t)$ , 출력을  $y(t)$ , 전달함수를  $H(f)$ , 시간지연을  $\tau$ 라 할 때 시간  $t$ 에서  $t+\tau$  사이의 자료의 평균곱을 시간지연  $\tau$ 에서 자기상관함수(autocorrelation function)라 정의하고 식 (1)과 같이 주어진다.

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt \quad (1)$$

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (2)$$

자기상관함수(autocorrelation function) 식 (1)은 아래와 같은 성질을 만족한다.

$$R_{xx}(-\tau) = R_{xx}(\tau) \quad (3)$$

상호상관함수(crosscorrelation function) 식 (2)는 우함수도 기함수도 아니지만 다음과 같은 성질을 만족한다.

$$R_{xy}(-\tau) = R_{yx}(\tau) \quad (4)$$

자기상관함수 식 (1)과 상호상관함수 식 (2)를 푸리에 변환하면 자기스펙트럼 함수와 상호스펙트럼 함수가 다음과 같이 각각 정의된다.

$$S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega \quad (5)$$

$$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)의 스펙트럼함수는 모든 주파수 영역( $-\infty, \infty$ )에서 정의된다. 그러나 실제 스펙트럼을 구하는 것은 0에서  $\infty$ 까지 한정하여 구하는 것이 편리하다. 또한 스펙트럼함수도 식 (3)과 (4)에서와 같이 다음과 같은 성질을 가지고 있다.

$$S_{xx}(-f) = S_{xx}(f) \quad (7)$$

$$S_{xy}(-f) = S_{yx}(f) \quad (8)$$

그러므로 정의구역을 주파수의 양의 범위에 한정하여 표현하면 스펙트럼 함수를 식 (9)와 식 (10)과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$G_{xx}(f) = \begin{cases} 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega & (f \geq 0) \\ 0 & (f < 0) \end{cases} \quad (9)$$

$$G_{xy}(f) = \begin{cases} 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega & (f \geq 0) \\ 0 & (f < 0) \end{cases} \quad (10)$$

식 (1)과 (2)를 푸리에 변환시켜 주파수영역으로 변환하면 다음과 같은 관계식이 구하여진다.

$$S_{yy}(f) = |H(f)|^2 S_{xx}(f) \quad (11)$$

$$S_{xy}(f) = H(f) S_{xx}(f) \quad (12)$$

위 두 관계식을 주파수가  $f \geq 0$ 에 관하여 정의한 식 (9), (10)을 이용하여 표현하면 식 (13), 식 (14)와 같다.

$$G_{yy}(f) = |H(f)|^2 G_{xx}(f) \quad (13)$$

$$G_{xy}(f) = H(f) G_{xx}(f) \quad (14)$$

## 2.2 새로운 인식 지수(R<sub>SAI</sub>) 제안

진동시 인간이 느낄 수 있는 진동의 양을 정량적으로 표현하려는 노력이 많은 연구자들에 의해 제시되고 있다. 그 중에서도 ISO 2631<sup>(11)</sup>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<sup>(10)</sup>에

기초한 VDI 2057<sup>(12)</sup>에 따르면 단일축 진동에서의 지각변수는 식 (15)와 같이 정의된다.

$$K_s = \alpha a_s \quad (15)$$

여기서  $\alpha = 20$ ,  $a_s$ 는 인체가 주관적으로 느끼는 진동 가속도의 평균 제곱근값(Root Mean Square Value)을 나타낸다. 식 (15)는 평균값이 영일 때 표준 편차가 평균 제곱근 값과 같다는 분산의 성질을 이용하여 인체가 주관적으로 느끼는 가속도 성분 분산( $\sigma_{hs}$ )로 나타낼 수 있다.

$$K_s = \alpha \sqrt{\sigma_{hs}^2} = \alpha \sigma_{hs} \quad (16)$$

분산( $\sigma_{hs}$ )는 인간이 느끼는 가속도  $H_s(t)$ 의 자기상관함수  $R_{hs}$ 로 나타낼 수 있고 자기상관함수는 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density) 함수의 푸리에 변환이므로  $K_s$ 는 식 (19)와 같이 센서에 실제로 전달된 진동가속도의 파워 스펙트럼 밀도  $S_{pb}(\omega)$ 로 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{hs}^2 = E[H_s^2(t)] = R_{hs}(0) \quad (17)$$

$$S_{hs}(\omega) = |f(\omega)|^2 S_{pb}(\omega) \quad (18)$$

$$\begin{aligned} K_s &= \alpha \sqrt{\sigma_{hs}^2} = \alpha \sqrt{R_{hs}(0)} \\ &= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_{hs}(\omega) e^{i\omega(0)} d\omega} \\ &= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_{hs}(\omega) d\omega} \\ &= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |f(\omega)|^2 S_{pb}(\omega) d\omega} \end{aligned} \quad (19)$$

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 (19)에서  $K_s$ 를 계산하려면 먼저 전달함수  $f(\omega)$ 를 구해야 한다. 한편 BS 6841<sup>(13)</sup>에서는 ISO 2631<sup>(11)</sup>을 더욱 발전시켜 전달함수  $f(\omega)$ 와 같은 개념으로 가중함수(weighting function)  $W_b$ 를 제안하였다.

현재까지 딱딱한 재료로 만들어진 대상물에 대한 이상유무를 검출하기 위한 지능센서가 개발되었고 유연한 대상물에 대한 이상유무를 판별할 수 있는 지능센서는 아직 개발중에 있다. 또한 동적인 환경 중에서 지능센서를 이용하여 대상물을 평가하고 이를 향상시키기 위한 기법은 아직 개발 단계에 있다. 그러므로 본 논문에서는 정적인 상태에 놓여 있는 대상물의 인식하기 위해서 지능센서의 특성 실험을 하

고자 하며 이러한 정적인 환경하에서 지능센서의 센싱능력을 평가하고 새로운 인식지수( $R_{SAI}$ )를 이용해서 대상물의 특성에 따른 인식능력 비교하고자 한다. 먼저 지능센서들의 센싱 능력을 평가하고 비교하는 일을 편리하게 하기 위해 새로운 일반적 센싱능력지수( $SAI_g$ )를 제안하고자 한다. 실제 측정된 데이터로 일반 센싱능력지수( $SAI_g$ )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 (19)를 변환해서 일반 센싱능력지수를 정의하였다. 먼저, 본 연구에서는 주관적인 인간이 아닌 객관적인 센서에서의 감도를 나타내고자 하므로  $\alpha=1$ 로 놓고 식 (19)를 제공하였다.  $f(\omega)$ 는 BS 6841<sup>(13)</sup>의 가중함수와 같기 때문에  $f(\omega)$ 대신에 BS6841<sup>(13)</sup>의 가중함수  $W_b$ 를 대입하여 다음과 같이 정의하였다.

$$SAI_g = \left( 1 \cdot \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |f(\omega)|^2 S_{pb}(\omega) d\omega} \right)^2 \quad (20)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \left| W_b\left(\frac{\omega}{2\pi}\right) \right|^2 S_{pb}(\omega) d\omega \quad (21)$$

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.

$$SAI_g = \int_{\frac{2\pi A}{2\pi A}}^{\frac{2\pi B}{2\pi A}} S_{pb}(\omega) d\omega \quad (22)$$

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

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 (22)에서  $S_{pb}$ 의 절대값을 취해 정해진 구간에 대하여 평균한 값으로 수정해서 다음과 같이 센싱능력지수(Sensing Ability Index, SAI)를 정의하였다.

$$SAI = \frac{1}{B-A} \sum_A^B |S_{pb}(f)| \quad (23)$$

( $A=5, B=100$ )

SAI 한 개의 값으로 대상물을 인식하는 데는 한계가 있다. 따라서 센서의 서로 다른 부분에서 획득한 두 개의 SAI값의

비를 이용하여 새로운 대상물 인식 지수( $R_{SAI}$ )를 다음과 같이 정의하였다.

$$R_{SAI} = \frac{SAI_1}{SAI_2} \quad (24)$$

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

### 3. 실험 장치 및 실험방법

#### 3.1 지능센서 개발

본 연구에서는 지능센서의 동특성은 센서의 베이스(base) 부분과 표면의 형상 및 특성에 의해 크게 영향을 받을 수 있다<sup>(15-18)</sup>. 따라서 실험을 위하여 HH(Hard-Hard)Type 지능센서를 제작하여 사용하였다. 지능센서에 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 지능센서의 규격은 Table 1에 나타내었다. Fig. 1은 센서의 개략도 이고, Fig. 2에는 1층의 PVDF 필름의 배열을 Fig. 3은 2층의 PVDF 필름의 배열을 보여주고 있다.

#### 3.2 실험 장치 시스템

본 연구의 실험 장치는 크게 지능센서를 제어 할 수 있는 입력 제어시스템, 제작된 지능센서를 고정시킬 수 있도록 제작된 지능센서 고정시스템 및 입력시스템, 센서에서 발생하는 신호를 획득하여 변환시켜주는 데이터 획득 및 변환 시스템, 컴퓨터 프로그래밍을 통한 신호 처리 및 분석시스템로 나눌 수 있다. Fig. 4는 실험장치의 개략도를 보여주고 있다.

우리는 실험을 위하여 4종류의 대상물을 준비하였고 이 4종류의 대상물은 다른 강도를 가지고 있는 대상물을 선정하였다. 대상물은 철(Fe), 알루미늄(Al), 나무(Wo), 스폰지(Sp) 이상 4종류이다. 대상물의 두께는 3mm 이고 대상물의 개략도는 아래 Fig. 5와 같다.

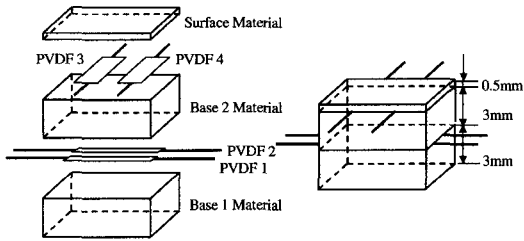
#### 3.3 실험과 해석 절차

본 연구에서는 지능센서의 동특성 해석을 위해 가속도(g)와 주파수를 변화시켜 그에 대한 동적인 응답 특성에 관하여 실험하였다.

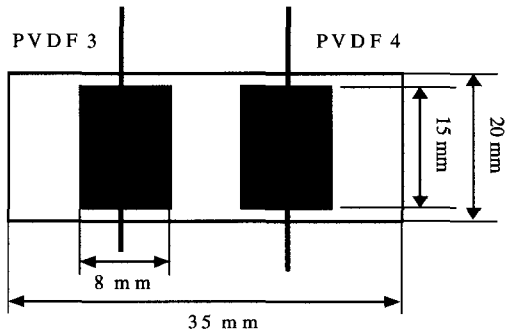
가속도 값과 주파수의 실험 영역은 지능센서의 크기 및

**Table 1 Specification of HH smart sensor**

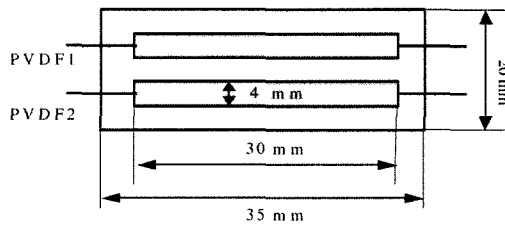
Base1 material	Base2 material	Surface material (thickness)	Sensor Type
Hard	Hard	0.5mm	HH
PVDF film symbol			
PVDF1, PVDF2			HH1
PVDF3, PVDF4			HH2



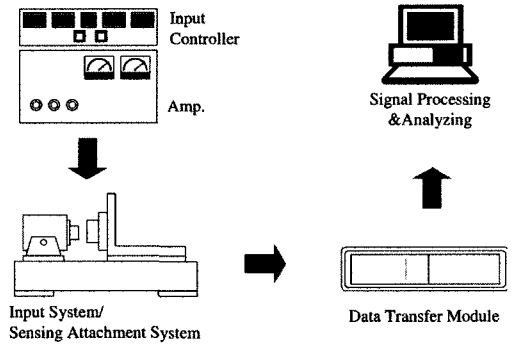
**Fig. 1 Schematic of smart sensor**



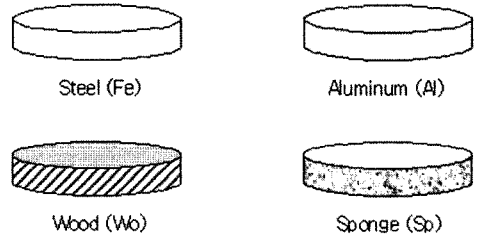
**Fig. 2 Schematic of Array of PVDF film on the first floor**



**Fig. 3 Schematic of Array of PVDF film on the second floor**



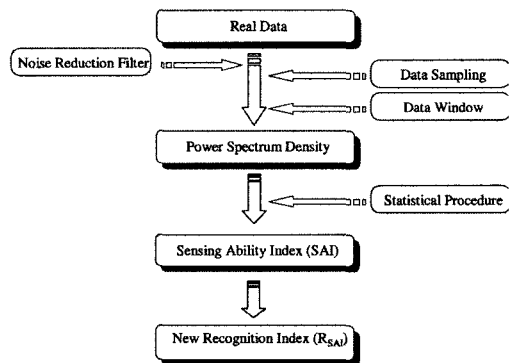
**Fig. 4 Schematic of the experimental set-up**



**Fig. 5 Schematic of Object**

**Table 2 Input Variables for Experiment**

Changing variable	Changing value
Acceleration	1g, 5g, 10g
Frequency	10Hz, 20Hz, 30Hz
Displacement	0.7mm



**Fig. 6 Schematic of Analysis Program**

형상을 고려하여 선택하였다. 가속도 값은 1g, 5g, 10g에 대하여 실험을 하였고 진폭변위는 센서의 두께가 6.5mm이므로 0.7mm가진하여 그 응답특성을 분석하였다. Table 2는 실험에 사용된 입력변수 값이다. Fig. 6은 분석 프로그램의 데이터 처리 방법에 대한 개략도를 보여주고 있다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 새로운인식지수 $R_{SAI}$ 를 이용한 가속도(g) 변화에 따른 대상물인식 비교

HH-Type 지능센서를 이용하여 가속도 변화에 따른 대상물의 인식능력을 새로운 인식지수( $R_{SAI}$ )방법으로 평가하여 보았다.

Fig. 7 (a-c)에서 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 새로운 인식지수( $R_{SAI}$ )가 대상물을 변별해 낼 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 7 (a-c)에서 보면 역시 각각의 대상물에 대한  $R_{SAI}$ 값의 변화를 통해 대상물을 인식할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 7과 8에서 살펴보면 g값의 변화에 따른  $R_{SAI}$ 값의 변화는 거의 없다고 볼 수 있다. 즉 10Hz에서 HH-Type의 지능센서는 대상물에 대한 변별능력은 g값의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Fig. 7 (a, b, c)에서 철(Fe)를 살펴보면, Fig. 7 (c)의 철의  $R_{SAI}$  값이 푹 떨어짐을 복수 있다. 즉 변곡점이 있음을 판단할 수 있다. 즉 새로운 인식지수( $R_{SAI}$ )를 통하여 지능센서의 최적의 대상물 인식영역을 찾아낼 수 있음을 알 수 있고 또한 평가 할 수 있다.

$R_{SAI}$  값은 경향은  $Sp > Wo > Al > Fe$  순으로 경도가 약한 대상물일수록  $R_{SAI}$  값은 크게 나타남을 알 수 있다. 즉 대상물에 의해 발생하는 에너지가 2층 PVDF에서 거의 전달되고 1층 PVDF까지는 에너지가 전달되지 않는다는 결론에 도달한다. 즉 대상물에 대한 에너지 전달비에 의해 대상물을 판별할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 7과 8에서 살펴보면 10Hz보다 20Hz에서 대상물에 대한 변별능력이 모든 가속도 조건에서 좋아짐을 새로운 인식지수인( $R_{SAI}$ )를 통하여 살펴볼 수 있다. 여기서도 마찬가지로  $R_{SAI}$  값은 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 즉 가속도 변화량에는 HH-Type 지능센서는 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Fig. 9에서는 10Hz, 20Hz 보다 더욱 대상물에 대한 변별능력이 뛰어남을 알 수 있다. 즉 지능센서의 설계 시 용도에 맞는 적절한 센싱조건을 새로운 인식지수인( $R_{SAI}$ )를 통하여 선정할 수 있음을 보여주고 있다.

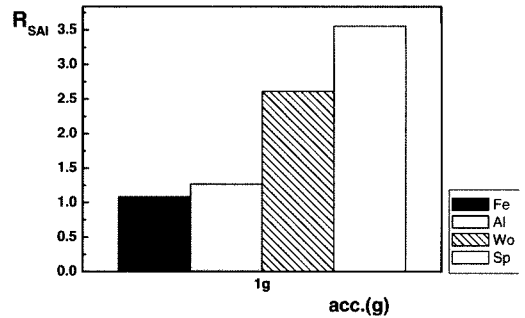


Fig. 7 (a) The  $R_{SAI}$  Value According to Acceleration (g) Changing(10Hz - 0.7mm-1g)

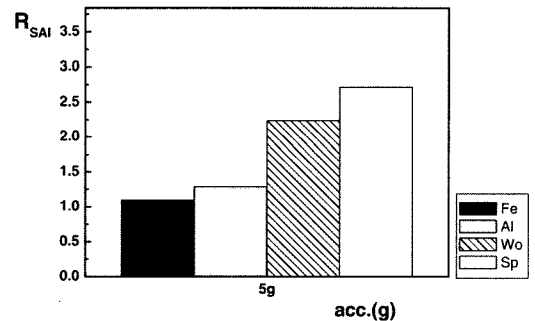


Fig. 7 (b) The  $R_{SAI}$  Value According to Acceleration(g) Changing(10Hz - 0.7mm-5g)

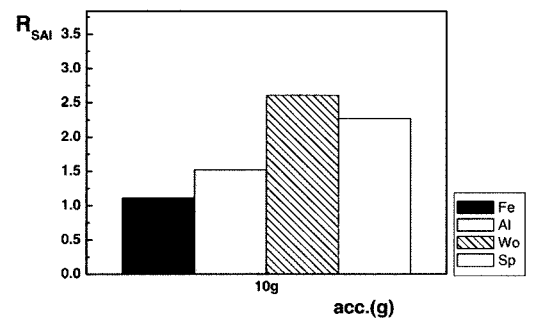


Fig. 7 (c) The  $R_{SAI}$  Value According to Acceleration(g) Changing(10Hz - 0.7mm-10g)

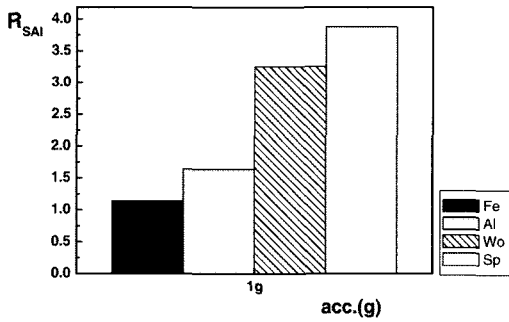


Fig. 8 (a) The R<sub>SAI</sub> Value According to Acceleration(g) Changing(20Hz - 0.7mm-1g)

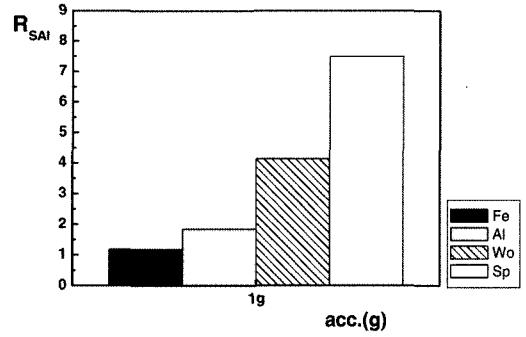


Fig. 9 (a) The R<sub>SAI</sub> Value According to Acceleration(g) Changing(30Hz - 0.7mm-1g)

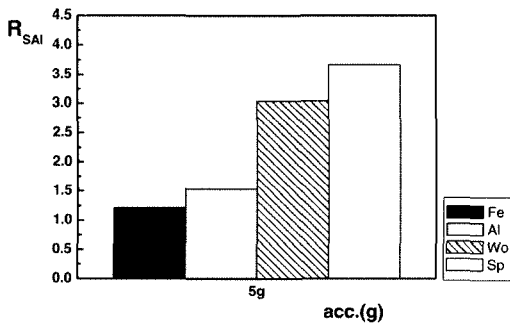


Fig. 8 (b) The R<sub>SAI</sub> Value According to Acceleration(g) Changing(20Hz - 0.7mm-5g)

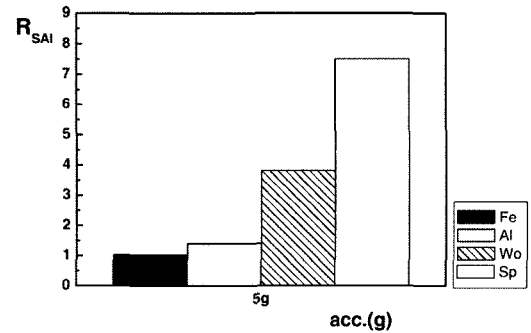


Fig. 9 (b) The R<sub>SAI</sub> Value According to Acceleration(g) Changing(30Hz - 0.7mm-5g)

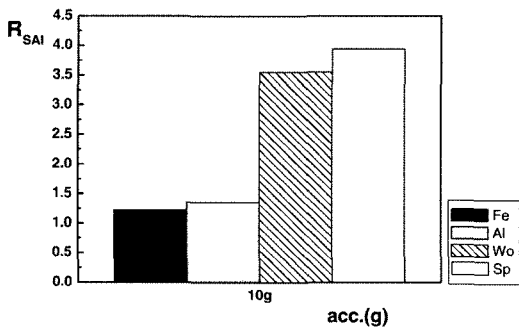


Fig. 8 (c) The R<sub>SAI</sub> Value According to Acceleration(g) Changing(20Hz - 0.7mm-10g)

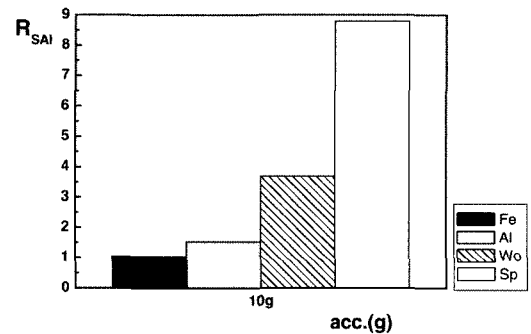


Fig. 9 (c) The R<sub>SAI</sub> Value According to Acceleration(g) Changing(30Hz - 0.7mm-10g)

새로운 인식지수인( $R_{SAI}$ )를 통하여 모든 가속도 변화에 따른 지능센서의 영향성도 평가할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 실험결과로 30Hz-1g 조건이 HH-Type 지능센서에 있어서 가장 센싱능력이 우수함을 판단할 수 있고 최적의 지능센서의 센싱 조건을 제시할 수 있음을 살펴보았다.

## 5. 결론

본 실험은 실제적인 응용분야인 유방암 진단용 지능센서 시스템 개발을 위한 기초실험의 일부이다. 즉 이러한 기초실험을 통하여 데이터베이스를 구축하여 좀더 신뢰성 있는 지능센서의 센싱능력의 범위와 센싱능력의 한계를 평가하기 위한 기초실험 중 일부이었다. 본 논문에서는 대상물을 인식할 수 있는 지능센서를 개발하였고 여러 종류의 경도가 다른 대상물을 판별할 수 있는 신호처리시스템을 개발하였다. 대상물을 객관적으로 평가할 수 있는 새로운 인식지수인( $R_{SAI}$ )를 제시하여 대상물에 대한 변별능력이 뛰어난 것을 실험적으로 증명할 수 있었다.

- (1) 경도가 다른 대상물을 인식할 수 있는 HH-Type의 지능센서를 개발하여 실험적으로 대상물을 성공적으로 판별할 수 있음을 실험적으로 증명하였다.
- (2) 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 새로운 인식지수( $R_{SAI}$ )가 대상물을 변별해 낼 수 있음을 알 수 있다.
- (3) HH-Type의 지능센서는 g값의 변화에 따른  $R_{SAI}$ 값의 변화는 거의 없다고 볼 수 있다. 즉 HH-Type의 지능센서는 대상물에 대한 변별능력은 가속도g 값의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.
- (4)  $R_{SAI}$ 값은 경향은  $Sp > W6 > Al > Fe$  순으로 경도가 약한 대상물일수록  $R_{SAI}$ 값은 크게 나타남을 알 수 있다.
- (5) 새로운 인식지수인( $R_{SAI}$ )를 통하여 모든 가속도 변화에 따른 지능센서의 영향성도 평가할 수 있음을 알 수 있다. 즉 지능센서에 있어서 가장 센싱능력이 우수함을 판단할 수 있고 최적의 지능센서의 센싱 조건을 새로운 인식지수인( $R_{SAI}$ )를 통하여 제시할 수 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 새로운 인식지수인( $R_{SAI}$ )가 이 지능센서의 센싱능력을 평가하고 최적의 지능센서를 설계하는데 유용한

평가 방법임을 증명하였다. 이러한 평가 방법을 이용하여 좀더 진보적인 센서들의 응용범위와 최적의 센서 조건을 찾아내는데 응용할 수 있으리라 사료된다. 또한 이보다 좀더 센싱능력이 우수한 지능센서를 개발하여 좀더 경도차이가 적은 대상물에서도 변별능력이 우수한 지능센서를 개발하여 실험 중에 있다.

## 후 기

이 논문은 국제공동연구개발 사업비 및 NRL 사업과정에 의해 지원을 받아 작성되었습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Thomas, J. R., 1995, "Technical Note: Shaped polyvinylidene fluoride(PVDF) sensors for intelligent measurement of plant-wave acoustic pressure on liquid-filled pipes," *Noise Control Engineering Journal*, Vol. 43, No. 1, pp. 15~20.
- (2) Robert, D. H. and Cutkosky, R., 1993, "Dynamic Tactile Sensing: Perception of Fine Surface Features with Stress Rate Sensing," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 9, No. 2.
- (3) Li, C. J. and Li, S. Y., 1993, "A New Sensor for Real-Time Milling Tool Condition Monitoring," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol. 115, No. 2A, pp. 285~290.
- (4) Tang, B., Mommaerts, J., Duncan, R. K., Duke, J. C. Jr. and Dillard, D. A., 1993, "Nondestructive Evaluation of Modal Adhesive Joints by PVDF Piezoelectric Film Sensors," *Experimental Mechanics Journal*, Vol. 33, No. 2, pp. 102~109.
- (5) Hiroyuki, S., 1994, "Ultrasonic Emission Tactile Sensor for Contact Location and Characterization," *IEEE*, pp. 2536~2543.
- (6) Chonan, S. J., Jiang, Z. W., Ibayashi, J. and Sato, M., 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.



- (7) Chonan, S. J., 1994, "Development of Tribosensor system Using Neural Networks (Tribosensor Using Piezoelectric Ceramics)," *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers*, Vol. 61, No. 587C, pp. 354~361.
- (8) Hong, D. P., Hwang, S. Y. and Park, J. H., 1999, "Dynamic Characteristics Analysis of Sensor for Enhance Sensing Ability," *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> IWAM*, December 1999, pp. 366~371.
- (9) Hwang, S. Y., Hong, D. P. and Park, J. H., 2002, "Analysis of the Recognition Ability of Objects for the Smart Sensor According to the Input Condition Changing(1)," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19, No. 1, January 2002, pp. 48~55.
- (10) Hwang, S. Y., Hong, D. P., Kang, H. Y. and Park, J. H., 2000, "Development of Estimation Method of Sensing Ability According to Smart Sensor Types," *Proceeding of the Korean Society for Noisy and Vibration Engineering*, November 2000, pp. 330-335.
- (11) International Organization for Standardization, 1985, *Evaluation of Human exposure to whole-body vibration-part1: General Requirements(ISO 2631/1)*, International Organization for Standardization.
- (12) Association of German Engineers, 1987, *Effect of Mechanical vibrations on Human beings(VDI 2057)*, Association of German Engineers.
- (13) 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.
- (14) Griffin, M. J., 1990, *Handbook of Human Vibration*, Academic Press Inc.
- (15) Lim, Y. H., 1996, *Finite Element for the Transient Response of Smart Structures Mathematics and Control in Smart Structures*, Vol. 2715, pp. 233~242.
- (16) Ronald, S. F. and John, M. H., 1985, "Basic Solid Mechanics for Tactile Sensing," *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 4, No. 3, pp. 212~217.
- (17) Chonan, S. and Jiang, Z. W., 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.
- (18) Hwang, W. S., Go, S. H. and Park, H. C., 2003, "Development of Sell Department included PZT Actuator and Sensor," *Journal of the Korean Society for Noisy and Vibration Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 225~231.