

지능센서의 센싱능력 평가를 위한 평가기법 개발

황성연*, 홍동표⁺, 마사히코 무루조노⁺⁺, 김영문⁺⁺⁺

(논문접수일 2006. 1. 6, 심사완료일 2006. 2. 13)

Development Estimation Method to Estimate Sensing Ability of Smart Sensors

Seong Youn Hwang*, Dong Pyo Hong⁺, Masahiko Murozono⁺⁺, Kim Young Moon⁺⁺⁺

Abstract

In this paper, the new method that estimates a sensing ability of smart sensor will be proposed. A study is estimation method that evaluates sensing ability about smart sensor respectively. According to acceleration(g) and displacement changing, we estimated sensing ability of smart sensor using SAI(Sensing Ability Index) method respectively. Smart sensors was made for experiment. The types of smart sensor are two types(hard and soft smart sensor). Smart sensors developed for recognition of material. Experiment and analysis are executed for estimate the SAI method. In develop a smart sensor, the SAI method will be useful for finding optical design condition of smart sensor that can sense a material. And then dynamic characteristics of smart sensors(frequency changing, acceleration changing, critical point, etc.) are evaluated respectively through new method(SAI) that use the power spectrum density. Dynamic characteristic of sensor is evaluated with SAI method relatively. We can use the SAI for finding critical point of smart sensor, too.

Key Words : Smart Sensor(지능 센서), Sensing Ability Index(센싱능력지수), Auto-Correlation Function(자기 상관함수), Weighting Function(가중함수)

1. 서론

산업이 급격히 발전되어감에 따라 점차 공장 자동화가 추진되어 인간을 대신하여 단순 반복작업이나 위험부담이 큰

현장, 오염된 지역에서 작업을 수행하는 로봇의 역할이 증대되어 왔다. 그리고 현재는 공장이나 산업현장뿐만 아니라 의료분야, 통신분야 등 지능센서를 이용하는 분야가 넓어져 일반인들의 생활 가까이에 서도 많이 볼 수 있다. 이에 따라

* 전북대학교 정밀기계대학원
+ 교신저자, 전북대학교 기계공학부 (hongdp@chonbuk.ac.kr)
주소: 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14
++ Dept. of Aeronautics and Astronautics Kyushu Univ.
+++ 전북대학교 건축공학부

지능 센서의 형상 및 재료, 그리고 신호 처리 방법도 다양하게 연구되어지고 있고, 지능센서의 성능 향상 또한 중요한 연구 과제가 되고 있다.

본 논문에서는 지능센서의 센싱 능력 평가를 위해 센서의 동특성을 새로운 센싱능력지수를 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 동적 범위가 넓다는 등의 여러 가지 장점을 지니고 있어 많은 분야에서 응용되어 사용되어지고 있고 확대될 전망이다.

Royston⁽¹⁾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. 반면에 Howe⁽²⁾는 동적인 상황에서 공간과 순간적인 주파수를 센싱할 수 있는 지능센서에 관한 연구를 수행하였다. Li⁽³⁾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⁽⁴⁻⁶⁾.

Chonan⁽⁷⁾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⁽¹¹⁾.

위에 언급한 많은 연구에서 보듯이 그 지능 센서의 데이터 처리에 있어 많은 해석 기법이 제안되어져 왔다. 지능센서의 성능 비교와 그 목적에 비추어 보아 그 해석 기법의 효율성은 아직은 신뢰할만한 수준의 것이 되지 못한다. 그래서 본 연구에서는 지능센서중 촉각센서에 관하여 그 성능을 객관적으로 평가하고 지능센서의 성능을 개선 할 수 있는 새로운 평가 기법에 관하여 제시하고 그 타당성을 증명하고자 한다. 실험을 위하여 하드타입(Hard type)과 소프트 타입(Soft type)의 지능센서를 각각 3종류씩 개발하여 사용하였다⁽⁹⁾. 이 지능센서는 대상물 인식용으로 사용되는 센서이다. 본 논문에서는 새로운 평가 기법을 이용하여 가속도 변화에 따른

지능센서들의 센싱능력을 상대적으로 평가할 수 있음을 실험적으로 증명하고자 한다. 또한 지능 센서의 최적의 센싱조건을 찾고자 할 때 이 새로운 평가 방법을 이용하여 지능 센서의 센싱능력을 상대적으로 평가할 수 있는지를 연구하고자 한다.

2. 이론적 배경과 새로운 센싱능력지수(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 하려한다. 먼저 시간에 관한 입력을 $x(t)$, 출력을 $y(t)$, 전달함수를 $H(f)$, 시간지연을 τ 라 할 때 시간 t 에서 $t+\tau$ 사이의 자료의 평균곱을 시간지연 τ 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 아래와 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)과 식 (6)의 스펙트럼함수는 모든 주파수 영역 $(-\infty, \infty)$ 에서 정의 된다. 그러나 실제 스펙트럼을 구하는 것은 0에서 ∞ 까지 한정하여 구하는 것이 편리하다. 또한 스펙트럼 함수도 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.

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

$$= 0 \quad (f < 0) \quad (9)$$

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

$$= 0 \quad (f < 0) \quad (10)$$

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 ω 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 센싱능력지수(SAI) 제안

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

초한 VDI 2057⁽¹¹⁾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 제곱근값과 같다는 분산의 성질을 이용하여 인체가 주관적으로 느끼는 가속도 성분의 분산(σ_{hs})로 나타낼 수 있다.

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

분산(σ_{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.

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

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

$$K_s = \alpha \sqrt{\sigma_{hs}^2} = \alpha \sqrt{R_{hs}(0)}$$

$$= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_{hs}(\omega) e^{i\omega(0)} d\omega}$$

$$= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_{hs}(\omega) d\omega}$$

$$= \alpha \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |f(\omega)|^2 S_{pb}(\omega) d\omega} \quad (19)$$

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⁽¹²⁾에서는 ISO 2631⁽¹⁰⁾을 더욱 발전시켜 전달함수와 같은 개념으로 가중함수(Weighting function) W_b 를 제안하였다.

현재까지 지능센서의 센싱 능력은 정적인 상태에서 평가되어지고 있고 동적인 환경 중에서 지능센서의 센싱능력을 평가하고 이를 향상시키기 위한 기법은 아직 개발 단계에 있다. 그러므로 본 논문에서는 동적인 상태에 놓여 있는 지능센서의 센싱능력(Sensing ability)을 평가하기 위해서는 지능센서의 동특성 실험을 하고자 하며 이러한 동적인 환경하에서 지능센서의 센싱능력을 평가하고 비교하고자 한

다. 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⁽¹²⁾의 가중함수와 같기 때문에 $f(\omega)$ 대신에 BS6841⁽¹²⁾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.

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

이 때 인간이 지각할 수 있는 주된 주파수 영역에서 센싱 능력을 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.

$$SAI = \frac{1}{B-A} \sum_A^B |S_{pb}(f)| \quad (A=5, B=100) \quad (23)$$

3. 실험 장치 및 실험방법

3.1 지능센서 개발

본 연구에서는 지능센서의 동특성은 센서의 베이스(Base) 부분과 표면의 형상 및 특성에 의해 크게 영향을 받음을 알

수 있다⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

따라서 지능센서의 설계를 위해 1차 지능센서로서 경한 정도(Hardness)가 다른 베이스와 두께가 다른 표면을 선택하여 6가지 종류의 1차 지능센서를 제작하였다.

지능센서의 베이스 부분은 경질(Hard type)과 연질(Soft type)의 2 종류를 이용하였다. 이러한 경질 지능센서와 연질 지능센서의 표면으로는 0.3mm, 0.5mm, 1mm로 두께를 달리한 3종류를 선택하였다.

지능센서에 삽입할 압전 소자는 탄성적 유연성이 높아서 압력에 대한 출력이 정확한 PVDF 필름을 이용하였다. PVDF 필름은 필름의 두께 및 형상 등에 따라 독특한 응답 특성을 갖는다.

본 연구에서 사용되어진 지능센서의 종류는 Table 1에 나타내었다. Fig. 1과 2는 센서의 개략도이다.

Table 1 Specification of sensor

Base Material	Surface Material (t1)	Sensor Type
Hard (H)	1mm	H1
	0.5mm	H2
	0.3mm	H3
Soft (S)	1mm	S1
	0.5mm	S2
	0.3mm	S3

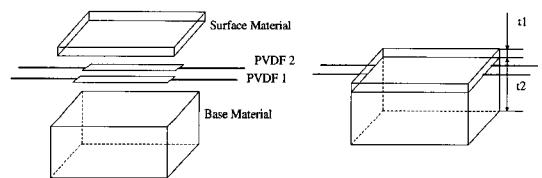


Fig. 1 Schematic 1 of sensor

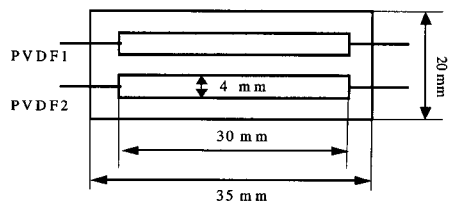


Fig. 2 Schematic 2 of sensor

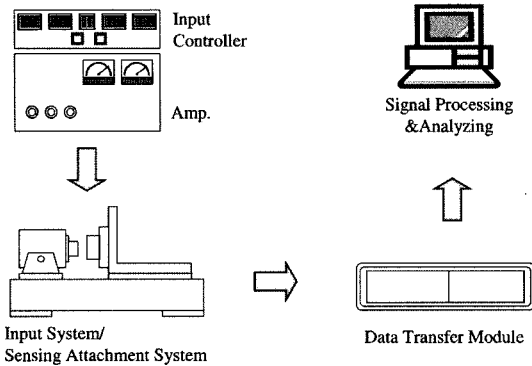


Fig. 3 Schematic of the experimental set-up

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. 3은 실험장치의 개략도를 보여주고 있다.

3.3 실험과 해석 절차

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

인간이 지각할 수 있는 주된 주파수 영역은 저주파 영역이므로 본 연구에서는 10Hz에 대하여 실험을 하였다. 가속도 값과 진폭변위의 실험 영역은 지능센서의 크기 및 형상을 고려하여 선택하였다. 가속도 값은 1g, 5g, 10g에 대하여 실험을 하였고 진폭변위는 센서의 두께가 5mm 이므로 지능센서의 두께에 비해 너무 큰 값은 제외하고 최대값을 1.3mm, 최소값은 0.1mm로 하여 0.2mm씩 변화시켜가며 7가지 변위에 대하여 그 응답특성을 실험하였다. Fig. 4는 분석 프로그램의 데이터 처리 방법에 대한 개략도를 보여주고 있다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1질 지능센서의 센싱능력 비교

경질 지능센서에서 표면의 두께변화와 가속도 변화에 따

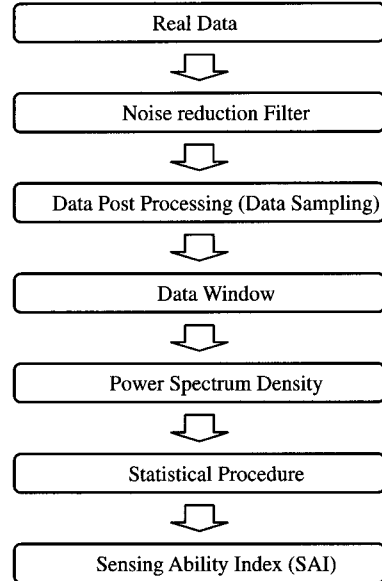
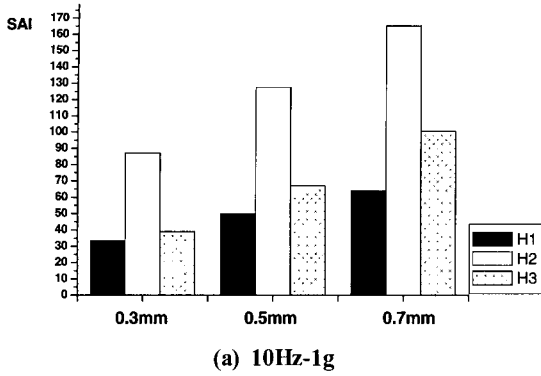


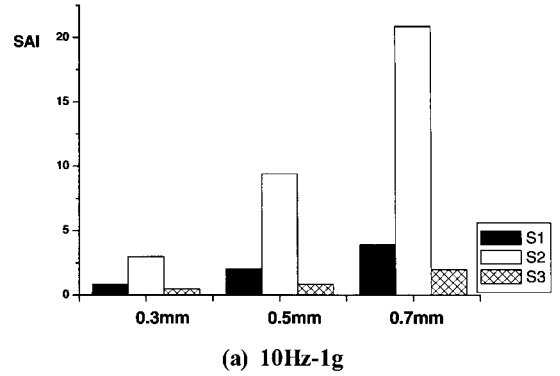
Fig. 4 Schematic of Analysis Program

른 센서의 센싱능력을 새로운 SAI 방법으로 평가하여 보았다(Fig. 5).

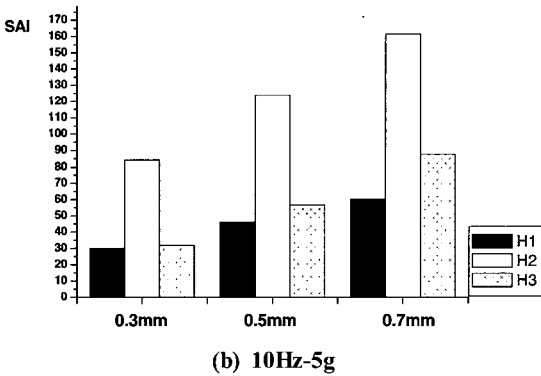
- (a) Fig. 5에서 보는 바와 같이 지능센서의 표면의 두께에 따른 센서의 센싱능력에 차이가 있음을 알 수 있다. 표면두께가 0.5mm인 H2 센서가 다른 지능센서보다 센싱능력에 있어서 가장 우수함을 새로운 센싱능력지수(SAI)로서 변별해 낼 수 있음을 실험적으로 증명하였다.
- (b) 즉, 이 지능센서에 있어서 표면 두께가 센싱능력에 큰 영향 인자임을 SAI 를 통해서 알아낼 수 있고 또한 이 지능센서에서 최적의 센싱능력을 낼 수 있는 표면 두께에 대한 평가를 할 수 있음을 알 수 있다.
- (c) 이 새로운 센싱능력지수(SAI)를 가지고 가진 진폭 변위에 따른 지능센서의 영향성도 평가할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 실험결과로 H2 센서가 가장 센싱능력이 우수함을 판단할 수 있고 최적의 지능센서의 센싱 조건을 제시할 수 있음을 살펴보았다.
- (d) 경질 지능센서는 가진 진폭변위와 센서의 표면 두께에 따라 센싱능력에 있어 큰 차이가 있음을 새로운 센싱능력지수(SAI)를 통하여 평가할 수 있고 경질지능센서를 개선할 수 있음을 알 수 있다.



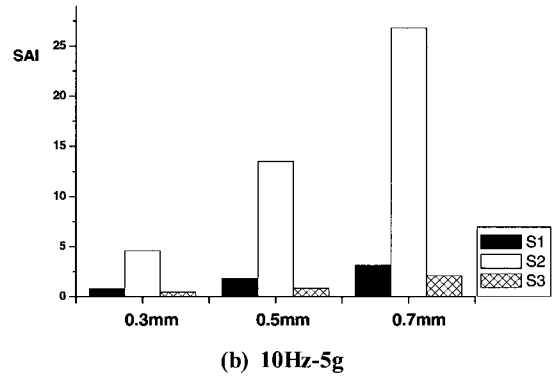
(a) 10Hz-1g



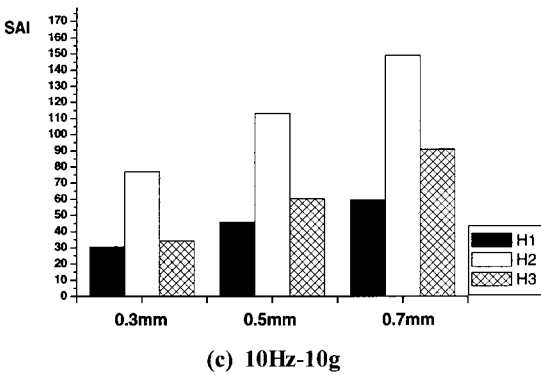
(a) 10Hz-1g



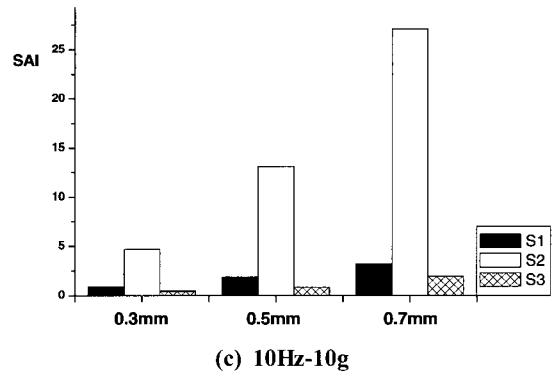
(b) 10Hz-5g



(b) 10Hz-5g



(c) 10Hz-10g



(c) 10Hz-10g

Fig. 5 Hard Type Smart Sensor

Fig. 6 Soft Type Smart Sensor

4.2 연질 지능센서의 센싱능력 비교

연질 지능센서에서 표면의 두께변화와 가속도 변화에 따른 센서의 센싱능력을 새로운 SAI 방법으로 평가 하여 보았다(Fig. 6).

(a) 경질 지능센서와는 달리 연질 지능센서에서는 센서의 센싱능력 즉 감도가 1/8 수준으로 현저히 감소함을 보여주고 있다. 즉 이 지능센서의 모재로서는 연질 재료

보다는 경질 재료가 센싱능력을 향상시키는 데에 매우 효과적임을 새로운 센싱능력지수(SAI)로 평가하여 확인하였다.

(b) 연질 지능센서에서는 또한 표면두께 변화에 따른 영향성은 경질 지능센서에서와 같이 비슷한 경향을 나타내고 있다. 즉, 이 지능센서의 센싱능력은 역시 표면두께에 크게 영향을 받고 있음을 새로운 센싱인식

지수(SAI)로서 상대적으로 평가할 수 있음을 알 수 있다. 역시 표면두께가 0.5mm인 S2 지능센서가 센싱 능력이 가장 우수함을 알 수 있다.

- (c) 연질 지능센서에도 마찬가지로 가진 진폭변위에 따른 영향성을 이 새로운 센싱능력지수(SAI)로서 상대적인 평가를 실시할 수 있으며 가진 진폭 변위가 클수록 이 지능센서에서는 센싱능력이 커짐을 알 수 있었다. S2센서가 가장 센싱 능력이 우수함을 새로운 센싱인식지수(SAI)를 통해 평가할 수 있으며 최적의 지능센서의 설계조건을 파악할 수 있음을 알 수 있다.
- (d) 연질 지능센서도 마찬가지로 가진 진폭변위와 센서의 표면 두께에 따라 센싱능력에 있어 큰 차이가 있음을 새로운 센싱능력지수(SAI)를 통하여 평가할 수 있고 연질 지능센서를 센싱능력을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

4.3 가속도 변화에 따른 센싱능력 비교

- (a) 경질 지능센서에서 가속도 변화에 따른 센싱능력을

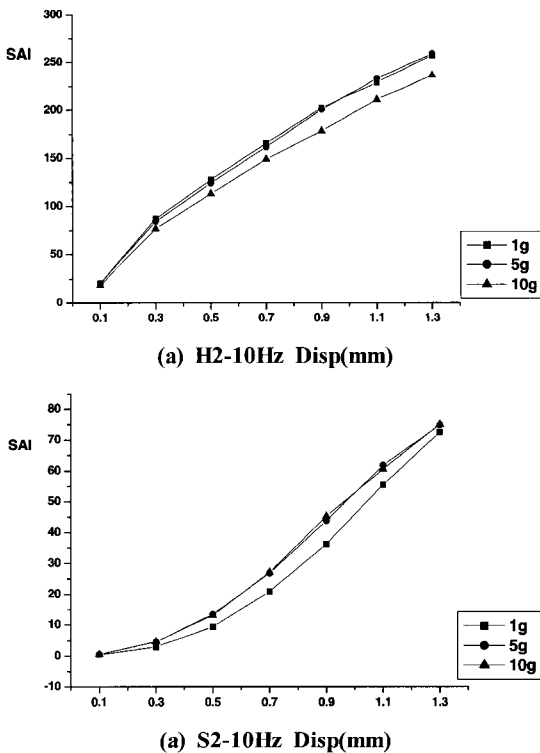


Fig. 7 SAI According to Acceleration(g) Changing

새로운 센싱능력지수로서 평가하여 보면 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 즉 가속도 변화보다 이 지능센서에서는 표면 두께와 가진 진폭변위에 따른 영향성이 센싱능력에 크게 좌우함을 알 수 있다(Fig. 7 (a)).

- (b) 연질 지능센서에서도 경질 지능센서와 같이 가속도 변화에 따른 센싱능력을 새로운 센싱능력지수로서 평가하여 보면 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 이 지능센서에서는 표면 두께와 가진 진폭변위에 따른 영향성이 가속도의 영향성에 비해 큼을 알 수 있다(Fig. 7 (b)).

5. 결론

본 논문에서는 지능센서의 센싱능력을 객관적으로 평가할 수 있는 새로운 센싱능력지수(SAI)를 개발하였고 이 새로운 센싱능력지수(SAI)를 이용하여 지능센서의 미세한 동특성 변화에 따른 센싱능력을 상대적으로 평가할 수 있음을 증명하였다.

- (a) 경질 지능센서에서는 센서의 두께와 가진 진폭의 변화에 따른 지능센서의 센싱능력의 변화를 이 새로운 센싱능력지수(SAI)를 통하여 상대적으로 평가할 수 있었고 또한 최적의 센싱조건이 찾아낼 수 있음을 증명하였다.
- (b) 연질 지능센서에서도 마찬가지로 센싱능력은 가속도(g) 값의 변화보다 센서의 표면두께와 가진 진폭의 영향성이 큼을 알 수 있었고 미세한 표면 두께 변화에 따른 센싱능력을 새로운 센싱능력지수(SAI)를 이용하여 그 차이로 변별력있게 평가할 수 있음을 알 수 있었다.
- (c) 새로운 센싱능력지수(SAI)를 이용하여 가속도(g) 값의 변화에 따른 이 지능센서의 영향성은 거의 없는 것으로 밝혀졌고 표면 두께가 0.5mm인 지능센서가 경질과 연질의 지능센서에 우수한 센싱능력을 가지고 있음을 알 수 있었다. 본 논문에서는 새로운 센싱능력 평가법이 지능센서의 센싱능력을 평가하고 최적의 지능센서를 설계하는데 유용한 평가 방법임을 증명하였다. 이러한 평가 방법을 이용하여 좀 더 진보적인 센서들의 응용범위와 최적의 센서 조건을 찾아내는데 응용할 수 있으리라 사료된다.

후기

이 논문은 전북대학교 연구비 및 MOCIF/ITEP에서 지원하는 특정연구 개발사업에 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) James, L. C. 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.
- (3) Tang, B., Mommaerts, J., Duncan, R. K., Duke, J. C. 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.
- (4) Hiroyuki, S. et al, 1994, "Ultrasonic Emission Tactile Sensor for Contact Location and Characterization," *IEEE*, pp. 2536~2543.
- (5) Chonan, S., 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.
- (6) Hong, D. P. and Hwang, S. Y., et al. 1999, "Dynamic Characteristics Analysis of Sensor for Enhance Sensing Ability," *Proceeding of the 3rd IWAM*, December 1999, pp. 366~371.
- (7) International Organization for Standardization, 1985, *Evaluation of Human exposure to whole-body vibration - part1: General Requirements(ISO 2631/1)*, International Organization for Standardization.
- (8) Association of German Engineers, 1987, *Effect of Mechanical vibrations on Human beings(VDI 2057)*, Association of German Engineers.
- (9) 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.
- (10) Griffin, M. J., 1990, *Handbook of Human Vibration*, Academic Press Inc.
- (11) Lim, Y. H., 1996, "Finite Element for the Transient Response of Smart Structures," *Mathematics and Control in Smart Structures*, Vol. 2715, pp. 233~242.
- (12) 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.