

논문 2000-9-5-05

## 소산파를 이용한 다채널 광섬유형 미각센서의 제작 및 기본 맛에 대한 패턴분석

이수미\*, 강신원\*\*

## Pattern recognition and characteristics of basic taste substances using the evanescent wave in multichannel optical fiber sensor

Su-Mi Lee\*, Shin-Won Kang\*\*

## 요 약

소산장 흡수를 이용한 다채널 광섬유형 미각센서를 제작하여 인간이 느끼는 다섯 가지의 기본 맛 및 혼합 맛에 대한 센서의 특성을 평가하고 그에 대한 패턴을 분석하였다. 센서소자는 광섬유의 클래드 층을 제거하고 그 대신 실리콘 폴리머내에 6가지의 색소를 고정화한 감지막을 각각 코팅하여 다채널로 제작하였으며, 측정하고자 하는 미물질의 농도변화에 따른 감지막내로의 소산장의 흡수량 변화를 측정하는 방법을 이용하였다. 제작된 센서로부터 얻어진 출력값에 대한 응답패턴을 제작한 결과, 5가지의 기본 맛 즉, 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛 및 우마미를 내는 대표 물질들에 대해 각기 다른 패턴을 얻을 수 있었으며 센서의 감도는 인간이 느낄 수 있는 역가 이상의 넓은 범위에서 선형적인 측정이 가능하였다.

## Abstract

In this study, a multichannel taste sensor using the evanescent field absorption in fiber optic was developed, and evaluated its characteristics for several basic taste substances. This sensor is based on the change of evanescent field absorption at the surface of optical fiber core layer. The sensor device was made of a plastic-clad-silica fiber (3M Co., FP-400-UHT, core diameter 400  $\mu\text{m}$ ) and a middle portion of cladding layer was removed and the surface of stripped fiber core was dip-coated with a sensing membrane. And then, it was determined the difference of evanescent field absorption into the sensing membrane, according to various taste substances and its concentrations variance. The sensing membranes were prepared with six kinds of dyes, were known as potential sensitive dye together with silicone polymer the same refractive index of cladding. Each output patterns were obtained from the sensor devices could be distinguished not only five kinds of basic taste substances such as sweetness, saltiness, sourness, bitterness and umami, but also various mixed taste substances.

## 1. 서 론

맛은 일반적으로 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛 및 우마미의 5가지 기본 맛으로 구분되며, 그 외 기본 맛의 혼합에 의해 나타나는 hot (매운맛), astringent (떫은맛),

palatable (감칠맛), acrid (아린맛), metallic (금속맛), colloidal (교질맛) 등이 있다. 그러나 실제 인간이 맛을 느끼는 행위는 단지 미각만의 효과 뿐만 아니라 후각, 시각 및 촉각 등의 다양한 감각기관에 의해 느껴지는 총체적인 느낌이라 할 수 있다. 이것을 일반적으로 풍미(flavor)라 한다. 현재까지 인간의 오감의 재현을 위한 많은 노력이 이루어져 왔으나, 그 중 주관적인 감각으로 알려진 후각 및 미각의 재현에 있어서는 다른 감각 기관에 비해 그 발전이 늦어져 있는 것이 현실이다.

\* 경북대학교 센서공학과 (Dept. of Sensor Engineering, Kyungpook National University)

\*\* 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook National University)  
<접수일자 : 2000년 8월 23일>

특히 미각센서 분야에 있어서 현재까지는 맛의 분석을 위해 수십 명의 표본집단을 통해 맛을 본 후 통계적으로 맛을 평가하는 방법 및 미각이 민감한 검사자에 의해 직접 맛을 보는 원시적 관능법(sensory evaluation)에 의존해 오고 있다. 이러한 방법은 검사자의 신체적, 정신적인 컨디션에 많은 영향을 받을 뿐만 아니라, 같은 맛을 계속적으로 접하게 되면 혀의 느낌이 둔해져 맛을 느끼지 못하게 되거나, 물로 씻어주어야 하는 등의 많은 문제점이 있다. 이러한 문제점들은 맛의 분석에 있어 정량적인 측정이 곤란할 뿐만 아니라 그 분석 과정이 매우 복잡하고 장시간의 분석시간이 요구되며, 객관적인 재현성을 기대하기 어렵다. 따라서 객관적으로 손쉽게 식품의 맛을 정성 및 정량적으로 분석할 필요성의 대두로 최근 일본 및 유럽 등지에서는 기존의 전극형 센서를 이용한 미각센서에 관한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 포텐셜을 측정하는 원리를 이용하는 전기적인 소자<sup>12,31</sup> 및 측정방법에 비해 제작이 간편하고, 측정 시스템이 간단할 뿐만 아니라 비용 또한 적은 등의 장점을 가지며 광 감도가 높은 광학적인 측정법의 하나인 다채널 광섬유 센서소자에서의 소산파<sup>16,71</sup>를 이용한 미각센서를 제작하였다. 소산파를 이용한 센서소자는 기하학적인 구조개선을 통하여 소산파의 침투 깊이를 조절함으로써 감도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 소산파의 침투깊이는 대개 1 $\mu$ m이하이므로, 감지막의 두께를 그 이상으로 형성한다면, 측정하고자 하는 용액의 색깔이나, 점도등의 상태에 전혀 영향을 받지 않는 장점을 가지고 있다. 특히 이러한 장점은 실제적인 음식물에 대해 사용시 큰 장점으로 부각 될 것이다.

제작 되어진 미각센서를 통해 기본 맛에 대한 특성을 평가하여 그 각각의 맛에 대한 패턴을 얻었으며, 기본 맛의 혼합에 따른 효과 및 패턴을 비교 분석하였으며 여러 가지의 맛들의 혼합체인 실제 식품 중 간장을 브랜드별로 선택하여 각각의 맛에 대한 패턴을 얻었으며, 실제적인 식품산업에서 직, 간접적으로 응용 및 식품의 발효, 숙성 및 변성에 대한 실시간 모니터링에 사용이 가능하다.

## II. 광섬유의 소산장 형성 및 측정 원리

광섬유는 일종의 광 도파로(optical waveguide)로써

코어 층 내를 도파하는 광파는 층의 경계면에서 파의 진행방향으로 파동의 형태를 취하고, 그 경계면의 수직방향으로는 그 방향으로의 진폭이 지수 함수적으로 감소하는 연속적인 정제파, 즉 소산장(evanescent field)이 형성된다<sup>20,21</sup>.

굴절률이 각각  $n_1$ ,  $n_2$  인( $n_1 > n_2$ ) 코어와 클래드 층의 경계면에서 입사광의 광각도  $\alpha$ 가  $\alpha_c$  이상일 때, 광의 내부 전반사(total internal reflection)가 일어나며, 이때  $\alpha_c$  를 임계각이라 하고 다음과 같이 주어진다.

$$\alpha_c = \sin^{-1}(n_2/n_1) \quad (1)$$

두 유전체 매질 사이의 계면에서 입사광의 전반사가 일어날 때, 그 계면에서 소산장이라 불리는 전장(electromagnetic field)은 굴절률이 낮은 매질( $n_2$ ) 쪽으로 가시광 영역의 경우, 통상 50~1000 nm 거리를 침투하며, 거리에 대한 전장의 세기는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E = E_0 \exp[-x/d_p] \quad (2)$$

여기서  $E_0$  는 계면에서의 전장의 세기이고  $E$  는 거리  $x$  에서의 전장의 세기이다.  $d_p$  는 소산파의 침투거리(penetration depth)로, 거리  $x$  에 따라 전장의 세기가 지수함수적으로 감소하며,  $1/e$  지점을  $d_p$  로 정의한다.

소산파의 침투거리  $d_p$  는 식 (3)과 같다.

$$d_p = \lambda_0 / \{2\pi n_2 [\sin^2 \alpha - (n_2/n_1)^2]\}^{1/2} \quad (3)$$

여기서,  $\lambda_0$  는 입사광의 파장이며, 백색광원을 사용하였으므로 400 nm~700 nm이며,  $n_1$ ,  $n_2$  는 각각 1.457, 1.40이며, 입사각은 90° 이다. 식 (3)에 의해 소산장의 침투깊이는 약 0.4 $\mu$ m이며, 이는 감지막의 두께인 4 $\mu$ m에 비해 아주 작은 깊이로서 감지막 밖에 채워지는 측정하고자 하는 샘플 용액의 색깔이나, 점도 등의 상태에 전혀 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 그림 1에 본 실험에서 사용되어진 광섬유 센서소자의 모식도를 나타내었다.

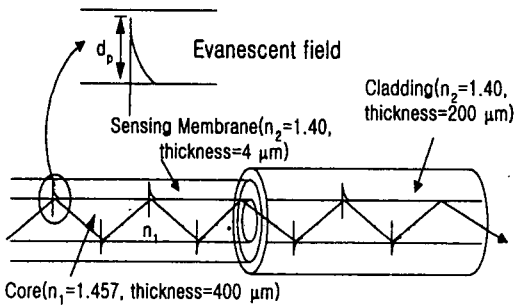


그림 1. 광섬유형 미각센서 소자의 모식도  
Fig. 1. Schematic diagram of sensor device.

본 연구에서는 광섬유의 코어 층 표면에 클래드 층 대신 색소 감지막을 코팅하여 특정 미물질과 감지막의 상호작용에 따른 소산장의 흡수량이 변화하는 원리를 이용하여 각 미용액의 종류 및 농도 변화를 측정하였다. 그림 1에서 나타낸 바와 같이 광섬유의 코어층 위에 코팅된 감지막에서 소산장이 형성되고, 미용액과 색소/폴리머막 사이에서의 상호작용은 감지막의 변화를 가져온다. 즉, 감지막의 굴절률 변화, 감지물질과의 상호작용에 의한 감지막 내에 고정화된 색소의 흡광도 변화 및 수용액 중에 녹아 있는 미물질의 흡착 및 침투에 의한 감지막의 기하학적 구조 변화 등에 따라 소산장의 흡수량 및 침투거리가 변화하여, 광섬유 코어층의 도파광은 미용액의 종류 및 농도에 따라 전파와 동시에 감쇠한다.

다음 (4)식에서 감지막의 길이가  $l$ 인 광섬유 센서에서 소산장 흡수로 인한 광의 손실 즉, 흡광도는  $A$ 값으로 나타내어진다<sup>[8]</sup>.

$$A = -(\log P/P_0) = \alpha Cl \quad (4)$$

여기서  $P$ 는 시료가 있을 때의 출력광 세기이고  $P_0$ 는 기준용액인 증류수에서의 출력광세기이다.  $C$ 는 분석물의 몰농도,  $\alpha$ 는 몰흡광 계수(Beer's law molar absorptivity)이다.

### III. 실험

#### 3.1 샘플용액 준비

맛을 측정하기 위해 대표적인 미물질로서 단맛을 내는 글루코스, 짠맛을 내는 염화나트륨, 신맛을 내는 염산,

쓴맛을 내는 quinine HCl, 우마미를 내는 MSG를 각각  $1 \times 10^{-7}$  M에서  $1 \times 10^{-2}$  M까지의 농도로 증류수에 녹여 준비하였다. 실험에 사용된 농도의 범위는 인간이 느낄 수 있는 역가 (Threshold Taste Values)를 포함하는 범위로 선택하였다. 또한 2가지 맛의 혼합에 대한 효과를 측정하기 위하여, 각각 2가지의 미 물질을 농도별로 증류수에서 녹여 준비하였다. 참조용액으로서 증류수를 이용하였다.

#### 3.2 감지막 제조

본 연구에서는 약 10종의 색소에 대한 기본 실험을 통해 특성이 우수한 6가지의 색소를 각각 실리콘 폴리머에 고정화하여 감지막을 제조하였다. 이때 사용된 실리콘 폴리머는 본 실험에서 사용된 광섬유의 클래드층과 동일한 굴절률의 재료를 선택하였으며, 색소는 채널 1 : Rhodamine B (Sigma-Aldrich Co.), 채널 2 : NK1939 [9], 채널 3 : NK2272[9], 채널 4 : NK2606 [9] (Nippon Kankoh-Shikisho Co.), 채널 5 : TMX (tetramethyl murexide), 채널 6 : 6TF (DOJINDO Co.)이다. 그림 2에 각 색소의 분자 구조식을 나타내었다.

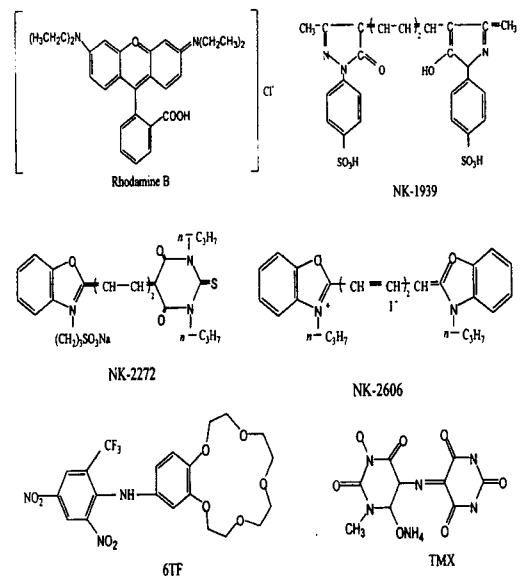


그림 2. 각 채널별 감지막 제조에 사용된 색소들의 분자 구조식

Fig. 2. Molecular structures of six kinds of dyes.

감응막 제조를 위해 silicon polymer (RTV3140)

50wt%와 각각의 색소  $1 \times 10^{-3}$  M을 함께 톨루엔에 녹여 균일하게 섞은 다음, 클래딩을 제거한 광섬유의 측면에 dip 코팅법으로 코팅속도를 조절하여 감지막을 균일하게 코팅하였다. 감지막을 코팅하기 위하여 클래드가 제거된 부분은 아세톤으로 깨끗하게 씻어내고 광섬유의 양끝 단면은 광의 결합을 용이하게 하기 위하여 fiber polisher(model : LAKE MLUFF, ILLINOIS USA)를 이용하여 연마하였다. 막의 두께는 전자주사현미경으로 측정된 결과 약  $4 \mu\text{m}$ 의 균일한 막을 얻었음을 확인하였다. 제조된 감지막은 약 5시간 이상 실온에서 건조 후 증류수에서 평형상태에 대한 기준 값을 측정 후 실험에 사용하였다.

### 3.3 측정장치

본 센서 시스템은 광섬유의 클래드 층 대신 코팅된 감지막에서의 측정 용액의 농도변화에 따른 소산장 흡수량 변화를 이용하였다. 우선 전체 10cm의 광섬유를 준비하여, 중간부분 3cm의 클래드 층을 제거하고 대신 준비된 감지막 재료를 dip 코팅법으로 막의 두께를 균일하게 코팅한다.

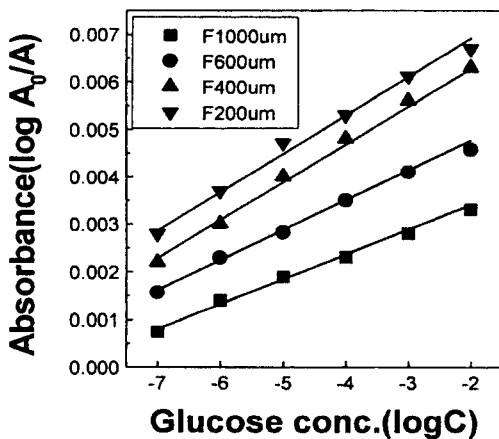


그림 3. 광섬유의 코어 직경에 따른 센서의 글루코스 샘플용액에 대한 상대 광강도 비교

Fig. 3. Absorbance of sensor change according to the optical fiber core diameter.

광섬유는 코어 직경이 각각  $1000 \mu\text{m}$ ,  $600 \mu\text{m}$ ,  $400 \mu\text{m}$  및  $200 \mu\text{m}$ 를 준비하여 각각의 감도를 측정된 결과  $200 \mu\text{m}$ 의 광섬유가 가장 좋은 감도를 나타내었으나  $200 \mu\text{m}$ 의 광섬유의 경우는 다소 다루기가 곤란하여 소자 제작이

손쉽고, 감도 특성이 좋은  $400 \mu\text{m}$  코어직경을 가지는 광섬유를 선택하였다. 선택된 광섬유는 Plastic-Clad-Silica Fiber (3M, FP-400-UHT)로 코어의 직경은  $400 \pm 8 \mu\text{m}$ , 굴절률은 1.457 이고 클래드의 직경은  $600 \pm 30 \mu\text{m}$ , 굴절률은 1.401 이다.

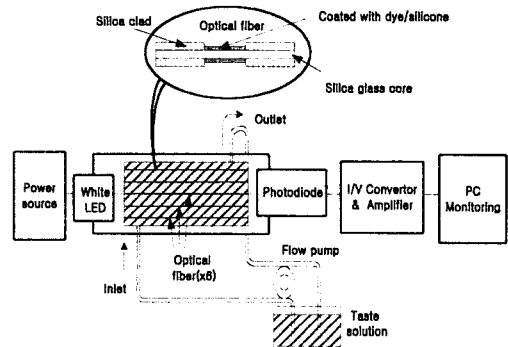


그림 4. 미각센서의 측정시스템 모식도

Fig. 4. Schematic diagram of taste sensor system.

그림 3에 광섬유의 코어 직경에 따른 Rhodamine B/silicon채널에 대한 글루코스의 농도 변화에 따른 센서의 감도 그래프를 나타내었다. 측정장치로서 광원은 백색 LED를 사용하였으며, 광검출기는 실리콘 포토다이오드를 사용하였다. 출력신호는 I-V변환기를 통해 전압값으로 변환하고, 증폭 후 PC로 신호를 출력하였다. 증류수에 대한 센서의 출력을 기준값  $V_0$ 로, 샘플용액에 대한 출력값을  $V$ 로 하여 센서의 상대 감도(Relative Intensity) RI는  $V/V_0$ 로 정의하였다. 그림 4는 본 센서의 측정 장치 모식도를 나타내었다.

## IV. 결 과

6종의 색소를 선택하여 기본 맛을 나타내는 대표 물질인 글루코스(단맛), 염화나트륨(짠맛), HCl(신맛), Quinine HCl(쓴맛) 및 MSG(우마미)에 대한 색소와의 반응에 따른 감응특성을 UV visible 분광분석기를 이용하여 측정하였다.  $1 \times 10^{-7}$  M 부터  $1 \times 10^{-2}$  M까지의 각각의 미물질과 색소와의 반응에 의한 각 채널의 흡광 특성을 측정된 결과 선형적인 응답특성을 얻을 수 있었으며, 각 채널에 따른 미물질에 대한 각각의 반응 특성을 얻을 수 있었다. 그림 5는  $1 \times 10^{-2}$  M 농도에서의 각 색소의 최고 흡광 파장에 대한 각각의 미물질에

대한 각 농도별 각 채널별에 대한 상대 흡광도 비를 나타내었으며, 그림 6은 특히 최고농도의 샘플용액에 대한 응답 패턴을 나타내었다.

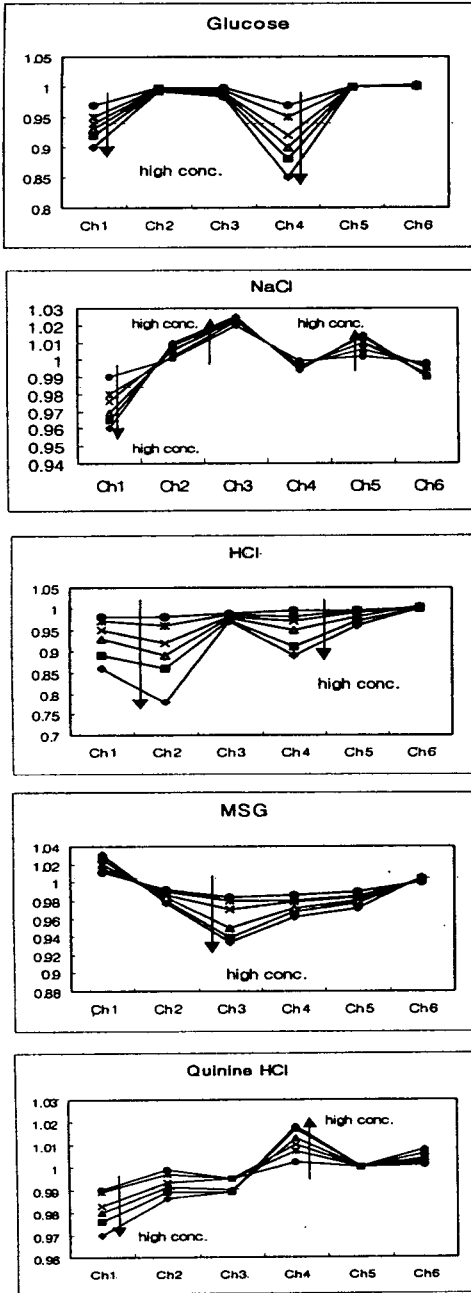


그림 5. 각 미물질의 농도 ( $1 \times 10^{-7}$  M~ $1 \times 10^{-2}$  M)별 색소/실리콘 폴리머막을 이용한 미각 센서의 응답 패턴  
 Fig. 5. Response patterns of basic taste substances for various concentration from  $1 \times 10^{-7}$  M to  $1 \times 10^{-2}$  M.

그림에서 보는 바와 같이 각 농도에 대해 선형적인 결과를 보여주고 있다. 글루코스는 채널 1, 4와 흡광도가 크게 감소하는 경향을 나타내었으며, 염화나트륨은 채널 2, 3 및 5에 대해 흡광도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 채널 1에 대해서는 흡광도가 감소하는 경향을 나타내었다. HCl은 채널 3 및 6에 대해서는 거의 감응하지 않았으나 그 외 채널에 대해서 가장 큰 반응성을 나타내었다. MSG는 채널 1에서 흡광도가 증가하는 특성과 채널 3에서 흡광도가 가장 많이 감소하는 특성을 나타내고 있고, quinine HCl은 전체적으로 감도가 낮은 편이나, 채널 4에 대해 흡광도가 증가하는 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 전체적으로 아래의 그래프로 나타낼 수 있으며, 이 결과는 본 연구에서 채택한 6가지의 색소로 구성된 미각센서 시스템이 각각의 기본 맛들에 대해 다른 반응 특성 패턴을 나타내어 줌으로서 각기 다른 맛에 대한 구별 능력을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 6은 그림 5에서 보여진 각각의 미물질의 농도 변화에 따른 센서의 응답특성 중 가장 고농도의 샘플용액에 대한 측정값을 바탕으로 각 맛에 대한 6각형의 패턴을 나타내었다. 이를 통해 각각의 기본 맛에 대한 센서의 응답 패턴의 차이를 명확히 확인할 수 있다.

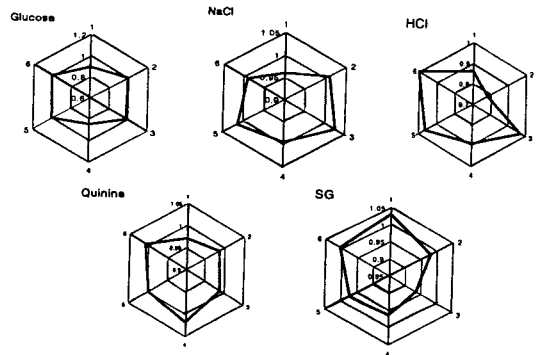


그림 6. 최고농도의 기본 맛을 내는 미물질들에 대한 센서(색소/실리콘 폴리머)의 응답특성  
 Fig. 6. Optical response patterns for the basic taste substances of maximum concentration with dye/silicone membranes.

그림 7은 글루코스, 염화나트륨, MSG 및 Quinine HCl을 2가지씩 적당한 농도로 섞은 후 혼합맛에 대한 센서의 특성을 측정할 결과이다. 여러 가지 맛이 적당한 농도로 혼합되어질 때는 여러가지 현상 및 상호작용

용이 일어날 수 있으며, 이러한 결과로 나타나는 맛들 또한 독특한 특성의 맛 및 패턴을 나타내며, 그 중 대표적인 효과는 맛의 상승, 가감, 맛의 대비, 억제, 상쇄, 순응, 변조등을 들 수 있다.

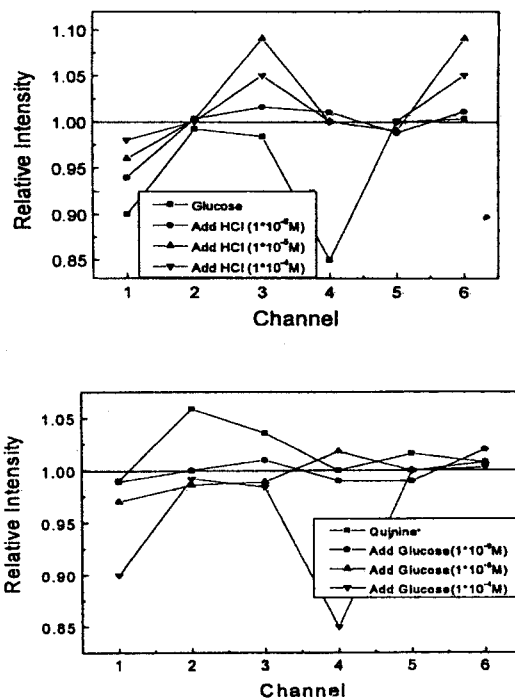
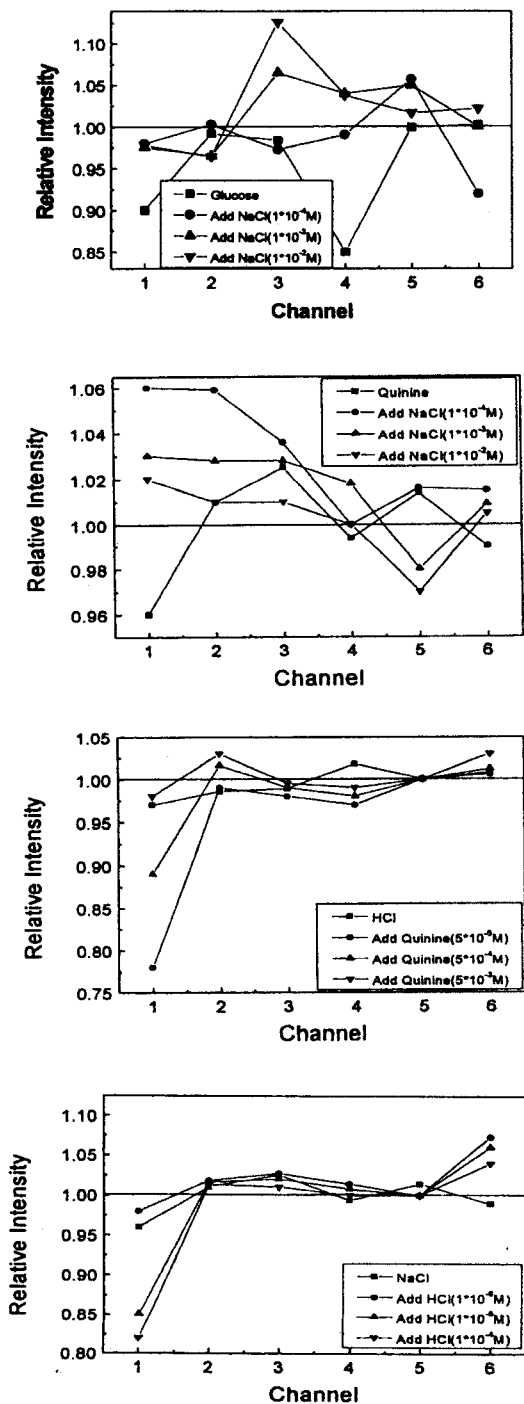


그림 7. 2가지의 기본 미물질의 농도별 혼합에 따른 센서의 응답특성; 글루코스+염화나트륨, Quinine HCl+염화나트륨 HCl+Quinine HCl, 염화나트륨 +HCl, 글루코스+HCl, and 글루코스+Quinine HCl

Fig. 7 Optical response patterns of the mixed taste substances ; Glucose + NaCl, Quinine HCl+NaCl, HCl+Quinine HCl, NaCl+HCl, glucose+HCl, and glucose +Quinine HCl.

일반적으로 상승효과는 단맛에 대해서 짠맛에 신맛을 첨가할 경우 일어나는 것으로 알려져 있으며, 소금을 함유하는 간장이나 된장이 그리 짜지 않은 이유는 가감효과에 의한 것으로 알려져 있다. 또한 소금, 설탕, 퀴닌, 염산등을 적당한 농도로 혼합할 경우, 본래의 맛은 사라지고, 서로 조화된 맛을 나타내게 되는 현상을 맛의 상쇄효과라고 한다. 그 외에도 알려지지 않은 여러 가지 맛들의 혼합에 의한 미묘한 많은 상호작용들이 나타날 수 있다. 그림 7은 이러한 효과를 좀 더 명확하게 나타내기 위해 통계학 한 분석방법인 PCA (Principle Component Analysis)[10]를 이용하여 그림 7을 그림 8의 한 그래프에 나타내었다. 그림 8은 각각의 기본 맛과 혼합맛들을 한 좌표에 나타낸 그래프로써 좌표 3→5는 글루코오스에 적당량의 HCl의 농도를 점

차 증가시킴에 따른 경향을 나타내었다. 또한 7→9은 글루코오스에 염화나트륨을, 11→13은 Quinine에 HCl을, 14→16은 염화나트륨에 HCl을, 17→19는 Quinine에 글루코오스를 20→22는 염화나트륨에 Quinine을 각각 점점 고농도로 첨가함에 따른 경향을 나타내었다. 그 중 7→9, 11→13, 14→15, 20→22의 경우는 각각 농도 증가에 따라 일정한 경향을 띠며 맛이 강해짐을 나타내고, 그외의 경우는 일정농도 이상에서 맛이 다소 변화되어 다른 경향의 맛으로 전이됨을 보여주고 있다. 또한 맛의 혼합에 따라 몇가지의 결과값, 즉 5, 13, 19, 22 등은 좌표축 (0, 0) 부근에 모여 맛의 상쇄 효과를 보여주는 것으로 생각된다. 이러한 결과를 바탕으로 좀더 세분화된 농도 변화에 따른 맛의 변화 또한 검증 가능할 것으로 기대된다.

다채널 미각센서를 제작하였으며, 이를 이용하여 5가지의 기본 맛 및 기본 맛의 혼합에 다른 맛의 상호작용에 의한 효과를 PCA패턴을 통해 살펴보았다. 본 센서는 인간이 느끼는 인식 역가의 범위를 포함하는  $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-2} M$ 의 넓은 농도 범위에서 측정 가능하였으며, 색소 고정화를 위하여 실리콘 폴리머를 이용함으로써 기존의 지질 막을 이용한 센서의 단점인 수용액에서의 막의 안정성 문제를 극복할 수 있었다. 또한 실제적인 식품에의 응용에 있어서 음료 및 곡식, 채소 등의 식품에도 적용 가능하며 이러한 각 식품의 독특한 패턴을 제작할 수 있을 뿐만 아니라 식품생산 공정 및 식품의 숙성, 변성정도등을 모니터링 등에 효율적으로 이용되어질 수 있으리라 기대된다.

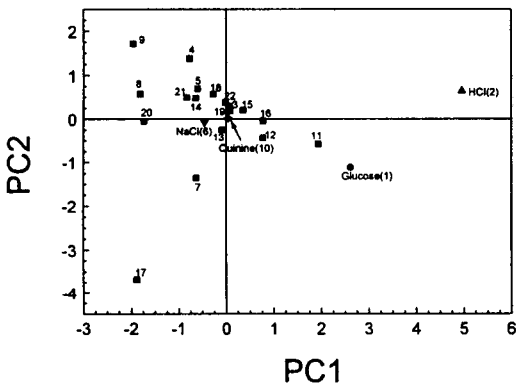


그림 8 혼합 맛의 출력 값에 대한 PCA (Principle component analysis) projection. (3, 4, 5: 글루코오스+HCl, 7, 8, 9 : 글루코오스+염화나트륨, 11, 12, 13 : Quinine HCl+HCl, 14, 15, 16: 염화나트륨+HCl, 17, 18, 19: Quinine HCl+Glucose, 20, 21, 22 : 염화나트륨+Quinine HCl)

Fig. 8 Results of the PCA applied to the data set from taste sensor of mixture taste solution substances (3, 4, 5 : Glucose+HCl, 7, 8, 9 : Glucose+NaCl, 11, 12, 13 : Quinine HCl+HCl, 14, 15, 16 : NaCl+HCl, 17, 18, 19: Quinine HCl+Glucose, 20, 21, 22 : NaCl+Quinine HCl).

V. 결 론

본 연구에서는 광섬유에서의 소산장 흡수를 이용한

참 고 문 헌

- [1] 李瑞來, 新孝善, “最新食品工學”, 1997, pp. 335-338.
- [2] K. Toko, et. al., “Detection of taste substances using impedance change in Lipid/Polymer membranes”, Sensors and Materials, 1997, vol. 9, No. 5, pp. 321-329.
- [3] T. Murata, et. al., “Quantification of sourness and saltiness using a multichannel sensor with lipid membranes” Sensors and Materials, 1992, vol. 4, No. 2, pp. 081-088.
- [4] Akiyama H. et al, “Detection of taste substances using impedance change of phospholipid Langmuir-Blodgett membrane”, Jpn. J. Appl., 1996, 35, 5516-5521.
- [5] Watanabe M. et al, “Charged impurities of plasticizer used for ion-selected electrode and taste sensor”, Sensors and Materials, 1998, 10 (2), 103-112
- [6] 이수미, 고평락, 강신원, “소산장 흡수를 이용한 박막 광도파로형 칼륨이온 센서”, 센서학회지, 1997, 제6권, 제3호, pp. 43-39.
- [7] Shin-Won Kang et. al. “Sensitivity analysis of a thin-film optical waveguide biochemical sensor using evanescent field absorption”, Applied Optics, 1993, vol. 32, No. 19, pp. 3544-3549.

- [8] Michael D. DeGrandpre and Lloyd W. Burgess, "Long Path Fibr-Optic Sensor for Evanescent Field Absorbance Measurements", *Anal.Chem.* 1998, 60, pp. 2582-2586.
- [9] Shinzo Yamakawa and Akihumi Yamaguchi, "Optical Responses of Potential-Sensitive Dye/PMMA Coatings to Taste Solutions", *Sensors and Materials*, 1995, vol. 7, No. 4, pp. 271-280.
- [10] Arikawa Y. et al., "Analysis of sake taste using multielectrode taste sensor", *Sensors and Materials*, 1995, 7 (4), pp. 261-270.

---

 著 者 紹 介
 

---

## 이 수 미

『센서학회지 제6권 제3호』 논문 97-6-3-07 pp.220 참조  
 경북대 센서공학과 박사과정

## 강 신 원

『센서학회지 제4권 제1호』 논문 95-4-1-05 pp.34 참조  
 현재 경북대 전자전기공학부 부교수