

# Thema | 미각센서의 특성과 응용

## 1. 서론

**이호식** 교수  
(동신대 병원의료공학과)

**박용필** 교수  
(동신대 병원의료공학과)

**송민중** 교수  
(광주보건대학 의료공학과)

**유성미** 교수  
(광주보건대학 간호과)

**천민우** 박사  
(조선대 의학과)

세균 등의 단세포 생물에서부터 고등 생물과 같은 다세포 생물에 이르기 까지 각각의 생체계는 각종 자극물에 대한 감각 기관을 갖고 있다. 특히 이들 감각 기관은 생체 내에서 작용하는 것과 생체 외에서 작용하는 것으로 대변된다. 또한 외계로부터의 자극에 대하여 생체 외부에 감각 기관이 존재한다. 예를 들면, 우리의 오감은 대표적인 감각기관이다. 오감(五感)은 널리 알려진 시각(視覺), 청각(聽覺), 미각(味覺), 촉각(觸覺), 후각(嗅覺)이 있으며, 이 외에도 통각(痛覺), 온도 감각 등도 있다.

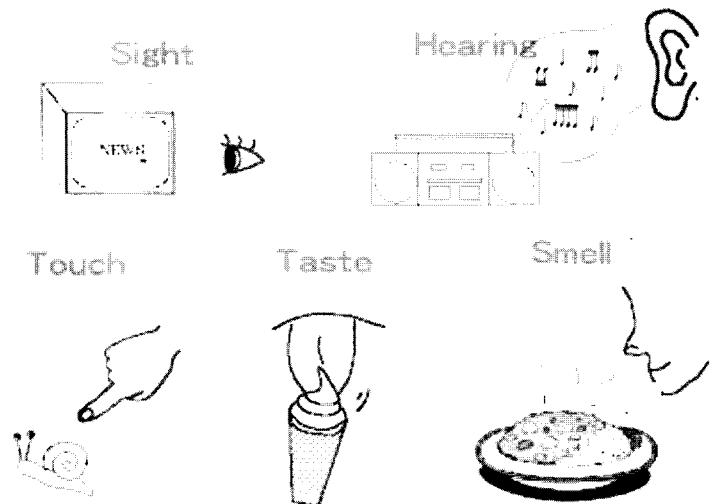


그림 1. 오감의 종류 모식도[출처:<http://ultrabio.ed.kyushu-u.ac.jp>].



이런 감각 기관 중에, 특히 화학 물질을 감지하는 감각기를 화학 수용기라 하며, 미각과 후각이 그 대표적인 감각이다. 최근 화학 물질의 계측이 의료 분야를 비롯한 여러 분야에서 요망되고 있다. 특정한 화학 물질을 계측 가능한 센서로 개발하기 위해서는, 이들 화학 물질에 대하여 선택적으로 응답하는 소자를 이용하지 않으면 안된다. 이미 몇 가지 화학 센서가 실용화되고 있으나, 이들 센서의 분자 인식 기능, 즉 분자식별 기능은 충분하지 않다. 화학 물질의 엄밀한 식별이 가능한 센서를 제작하기 위해서는, 생체로부터 많은 것을 모방하지 않으면 안된다.

따라서 본 기술해설에서는 미각의 메커니즘에 대하여 서술하고, 또한 이들 감각기관에서 중요한 작용을 하고 있는 화학 수용부위와 이를 모델로 한 바이오센서의 개발, 전망에 대하여 서술하고자 한다.

## 2. 혀의 구조

미각(Taste) 세포의 뚜렷한 구조는 구강점막의 일부에 분포하는 미뢰(Taste Bud)이며 다른 감각기의 주요성분과 같이 감각상피로 되어있다. 미뢰는 성인 계는 주로 유곽유두(Circumvallate Papillae)와 엽상유두(Foliate Papillae)의 측벽에 있으나 태생기에는 그 분포가 넓어서 심상유두(Fungiform Papillae)와 연구개 부근 및 후두개 후면의 점막에도 산재하게 된다. 이러한 분포는 인두에서는 하등포유류보다 적으며 태생기보다 생후에 위축하는 경향이 있다. 1개의 유곽유두에 있는 미뢰의 수는 평균 200개 전후이다. 미뢰는 길이 70-80  $\mu\text{m}$ , 중앙부의 지름 약 40  $\mu\text{m}$  정도의 방추상으로 된 미소기관으로서 꽃망울 모양이다. 그 외단은 상피 표면에 미공(Taste Pore)으로 개구하며 그곳에서 내부로 짧은 미관(Taste Canal)을 이루고 있다.

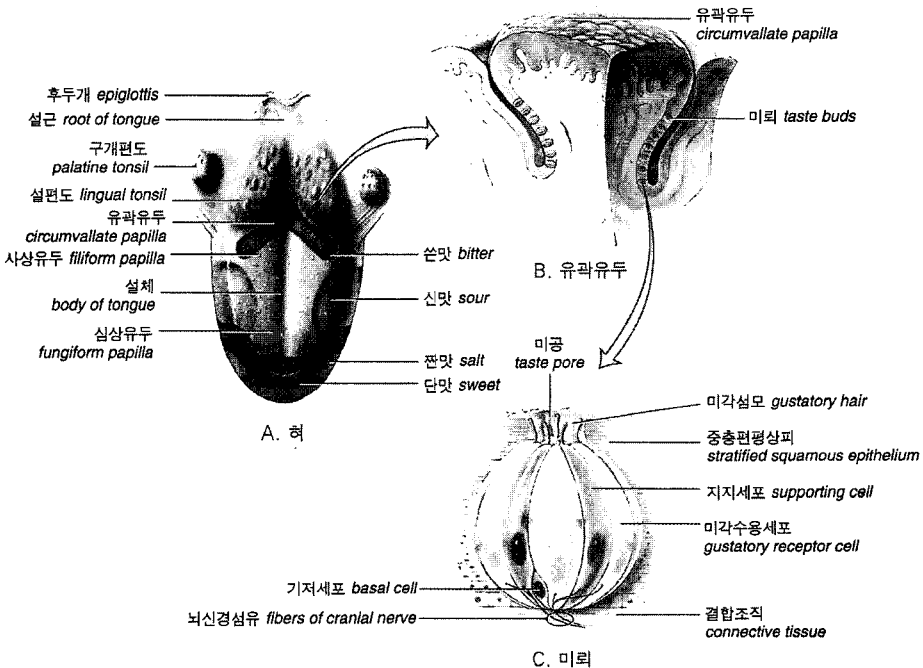


그림 2. 혀의 미뢰[출처 : 한국해부생리학편, 인체해부학, p 478].

미세포(Taste Cell)는 감각상피세포이며 방추상으로 미뢰 내에 미세하고 어둡게 염색되어 있다. 중앙부에서 핵이 팽대하며 상단에서는 하나의 광택이 있는 소돌기를 미공으로 내보내고 있으므로 이를 미소모 또는 미소경(Taste Hair)이라 한다. 미세포의 하단은 가늘고 기저막에 부착되어 있다. 지지세포(Supporting Cell) 또는 피개세포(Cover Cell)는 주로 미뢰 주변을 싸고 있으며 내부에서는 미세포 사이에도 존재한다. 이것은 긴 방추상으로 미뢰의 전 길이를 차지하고 상단은 뾰족하며 하단은 가늘고 2-3 갈래로 나누어져서 기저 막에 부착한다. 핵은 중앙 또는 하단 가까이 위치하고 주변에 있는 세포는 활모양으로 구부러져 있다.

기저세포(Based Cell)는 기저 막에 접해 있으며 부정형으로 핵은 둥글고 돌기 형상으로 서로 결합한다. 신경 지배를 보면 혀의 앞 2/3 위치에 있는 미뢰는 삼차신경에 합쳐 있는 고삭신경으로, 뒤 1/3의 것은 설인신경으로, 또 후두개의 미뢰는 미주신경으로 각각 지배된다. 일반 감각은 앞 2/3의 부분은 삼차신경의 설신경으로, 뒤 1/3 부위는 설인신경으로 지배된다. 이들 신경 섬유는 미뢰의 내부에서 끝나고 일부는 미뢰 밖의 상피 내에서 끝난다.

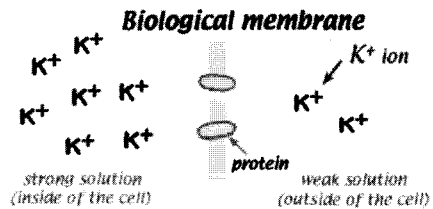
### 3. 미각이란?

미각의 특징은 직접 피부의 감각을 통해 접촉한다는 데 있다. 보고, 듣고, 맡고는 직접 피부에 와 닿는 것은 아니다. 맛을 본다는 것, 다시 말해서 어떤 음식의 맛을 본다는 것은 우선 구별을 한다는 것이다. 달고, 짠고, 맵고, 쓰고, 시고, 텃고 ... 등등, 가장 인체와의 접촉이 확실한 것이 미각이다. 이러한 구별의 특성이 혀에 의해 이루어지는 것은 아닐 것이다. 이러한 구별 역시 뇌에서 이루어진다. 그것을 다만 “미각”의 특징을 빌려 설명하고 있을 뿐이다.

### 4. 미각의 메커니즘

미각 세포는 화학 물질을 수용하는 세포로서 화

학 감각기의 하나이다. 이는 수용성의 화학 물질을 수용한다. 맛은 짠맛, 신맛, 쓴맛, 단맛 등의 기본적인 네 가지 맛과 맛있는 맛으로 분류할 수 있다. 혀 표면의 돌기 속에는 미각 세포가 수십 개 꽃봉오리 모양으로 모여 있는 기관이다. 미각 세포의 첨단에는 섬모가 있어, 이 부분이 화학 물질을 수용하고 있다. 화학 물질이 수용되면, 수용 막에 탈분극 현상이 발생하여 이 전위 변화가 시냅스로 전달된다. 즉 수용막에서 시냅스 영역으로 전류가 흐르게 된다. 여기서 다시 시냅스에 탈분극 현상이 일어나게 되면, 이 부분에 존재하고 있는 칼슘 채널이 열려, 칼슘이 세포 간 액으로부터 세포내로 흘러든다. 이 결과, 미



(a)



(b)

그림 3. 인체의 미각인식 메커니즘[출처 : <http://ultrabio.ed.kyushu-u.ac.jp>].

각 세포로부터 노르아드레날린이 방출되어 이것이 미각 세포 말단에 작용하여 자극을 발생하게 된다.

맛을 나타내는 화학물질은 신맛, 짠맛, 단맛 물질과 아미노산 등으로 분류된다. 이 중에서 단맛 물질과 아미노산은 단백질에 의해 수용되고, 신맛, 짠맛, 쓴맛 물질은 지질에 의해 수용되어 응답된다고 보고되어 있다. 당에 대한 수용 단백질은 한 종류만이 아니라, 각각의 당에 대하여 다수 존재하는 것으로 알려져 있다. 아미노산의 경우도 마찬가지로, 수용 단백질은 각각의 아미노산에 대응하여 다수 존재한다고 보고되어 있다.

산에 대한 응답은, 수용액 중의 양성자가 생체막

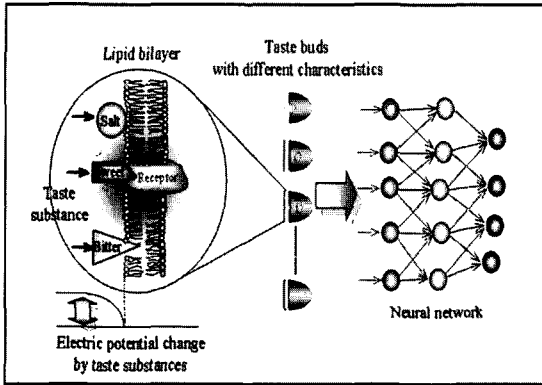


그림 4. 생체에서의 미각인식 메커니즘[출처 : <http://www.insent.co.jp>].

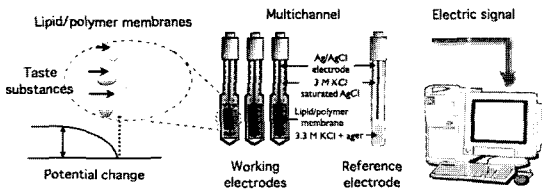


그림 5. 미각인지 시스템의 반응원리[출처 : <http://www.insent.co.jp>].

중 음전하를 띤 부위에 결합하여 일어난다고 보고되어 있다. 염에 대한 응답은 염의 양이온 혹은 음이온에 의해 발생한다. 이들 이온은 각각 수용막의 음전하 또는 양전하를 띤 부위와 결합한다. 따라서 이들 쓴맛 물질은 수용막의 소수성 부분에 흡착하여 응답된다고 보고되어 있다. 일반적으로 세포에서, 막 전위의 변화는 이온의 투과성의 변화에 의해 일어나며, 따라서 막 전위의 변화에 따른 막의 저항 값의 변화가 알려져 있다. 그러나 미각 세포의 경우는 막 저항이 거의 변화하지 않음에도 불구하고 상당한 탈분극 현상이 일어나게 된다. 즉 미각 세포에 있어서 수용기의 전위는 이온 투과성의 변화를 수반하지 않고 일어난다고 추정된다. 미각 세포나 수용기의 전위는 자극 물질이 수용막에 흡착하면 변화한다. 예를 들면 산이나 염, 특히 다가(多價)의 양이온 혹은 쓴맛 물질 등이 세포막에 흡착하면, 전위 변화가 일어난다. 즉, 계면 전위의 변화에 의해 막전위가 변화한다. 양성자와 다가의 양이온 등이 흡착한 경우에는 표면의 전위가 변화하여 막전위의 변화가 일어난다고 알려져 있다.

그리고 쓴맛 물질의 경우에는 막층 내의 전위 기울기, 즉 계면 퍼텐셜이 변화하여 막 전위 변화가 일어난다고 지적되고 있다. 쓴맛 물질이 생체막의 소수성 부분에 흡착하면, 막의 구조가 변화되고, 계면 영역의 하전 상태가 변화하여 결과적으로 막 전위가 변화하게 되는 것이다. 수용 단백질 혹은 그 주위의 구조가 변화하여 그 부위의 하전 상태가 변화한다. 이와 같이 하여 막 전위의 변화가 발생한다고 지적되고 있다. 그리고 동물의 종류에 따라라도 막 전위 변화에 차이가 있다고 밝혀져 있다.

미각에는 전술한 것 같이 기본적인 맛이 존재하지만, 하나의 미각 세포가 한 종류의 기본 물질에 대해서만 응답하는 것이 아니라, 몇 종류의 기본적인 맛 물질에 대해 응답한다는 것은 주지의 사실이다. 그러나 각각의 미각 세포가 여러 가지 물질에 대하여 같은 응답을 나타내는 것은 아니다. 예를 들면 어느 세포는 당에 잘 응답하지만, 염이나 쓴맛 물질에는 그다지 응답하지 않는다. 그리고 다른 세포는 염이나 쓴맛 물질에는 잘 응답하지만, 당에는 그다지 응답하지 않는 성질을 나타낸다는 것은 잘 알려진

사실이다. 이들 미각 세포에 수용된 자극 정보는 각각 미각 세포에 접속되어 있는 미각 신경을 통해 대뇌에 전달되어 대뇌에서 맛이 인식된다. 그러나 대뇌에서 맛의 수용은 더욱 복잡하여, 현재의 단계에서는 거의 알려지지 않은 상태이다.

## 5. 미각인식 기술의 현재

니각 인식 기술의 현재는 실용화 단계에 있을 정도로 급속히 발전되었고 여러 기사들을 통해 현재의 기술 수준을 알 수 있다.

### 5.1 해외기술 동향

코네티컷대 그레그리 소칭 교수는 자신이 개발한 인공 혀가 앞으로 식품검사와 환경감시, 마약탐지, 혈액내 병원체 확인, 지뢰탐지 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다고 말했다. 소칭 교수는 "인간의 혀도 인공 혀와 유사하게 기능 한다"면서 미각이라는 것은 식품재료나 다른 물질들의 전기적 신호 형태들을 예전에 경험한 신호패턴과 비교, 기억을 되살리는 것에 불과하다고 밝혔다. 다시 말해 무수한 탐지 장치들(사람의 혀로 치면 미세한 미각돌기들, 인공 혀의 경우엔 초소형 중합체로 된 미세관(管)들)이 수백 만 종류의 액체성분 특징을 가려내 신경(또는 전선)을 통해 전기적 반응을 보내는 것이라는 설명이다. 그는, 소금이 짠맛이 난다거나 사탕이 달다거나 하는 사실을 인식하고 표현하는 것은 경험을 통해 학습해야 하는 일이라면서 인공 혀의 경우 두 개의 전도성 중합체가 보내는 전기적 신호가 그래프 상에 일정한 형태로 구분, 표시된다고 덧붙였다. 인간의 미각은 쓴 맛과 매운 맛, 신 맛, 단 맛과 그리고 글루타민산나트륨(MSG)과 관련이 있는 맛인 감칠맛 등 5 가지의 주요 맛을 서로 다른 맛의 형태로 구분해낸다.

이 5 가지 맛은 그 성분의 농도와 관계없이 동일한 패턴으로 구분되는데 예컨대 순수한 설탕 성분이나 희석된 설탕이나 똑같이 단맛으로 느껴진다. 이 같은 맛의 패턴이 축적된 데이터베이스가 사람들이 경험을 통해 학습한 서로 다른 성분들을 구별해내도록

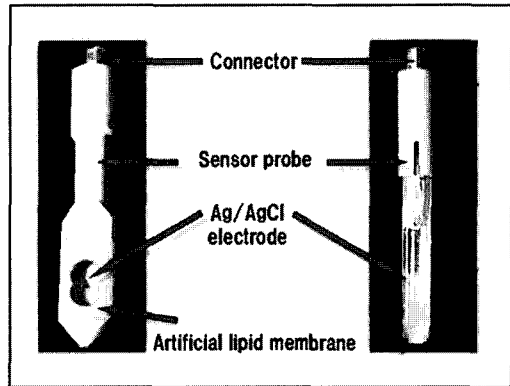


그림 6. 미각센서[출처 : <http://www.insent.co.jp>].

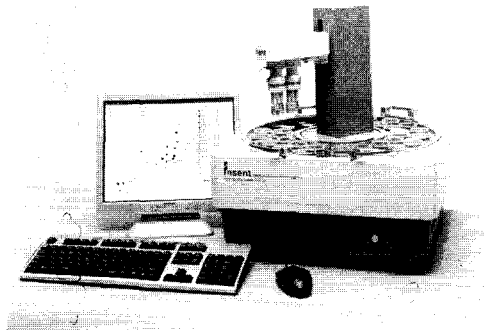


그림 7. Insent 사의 미각 검지 시스템[출처 : <http://www.insent.co.jp>].

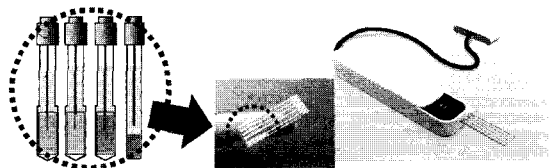


그림 8. 전극 패턴 공법의 미각센[출처 : <http://ultrabio.ed.kyushu-u.ac.jp>].

해준다. 기존의 화학 및 생물학적 센서들은 특정 성분들만 감지하거나 감별시간이 오래 걸리고 부피가 크다는 단점이 있었으나 이 인공 혀는 소형이며 거의 무제한의 성분을 즉각적으로 쉽게 감별해내는 능력을 갖추게 될 것이라고 소칭 교수는 주장했다.

또한 일본의 경우에는 오감 센서 기술 분야를 중심으로 연구가 전개되고 있다. 오감 정보 통신이 활용될 분야로 일본 경제 산업성에서 2006년 발표한 인간생활기술 전략에서 앞으로의 미래 응용성을 가늠할 수 있다.

인간생활기술 전략에서는 현재의 이들 기술보다 인간 중심의 미래 기술로 전개되고 있고, 이들 기술 가운데 인체의 감성 인지, 가상현실 등 분야에서 주목 받는 오감 정보통신 기술이 부각되고 있다.

결국 인간생활기술 전략에서 미래의 사회상으로 선정하고 있는 4개의 테마는 건강한 사회실현, 즐겁고 편안한 생활 실현, 안심 쾌적한 이동성 실현, 안전 안심할 수 있는 환경실현으로 요약될 수 있다.

### 5.2 국내 기술 동향

계측기 전문업체인 맥사이언스와 광운대 벤처 기업 아이센스는 음식의 맛을 결정하는 20여 가지 화학성분을 동시에 분석할 수 있는 전자 혀를 개발했다고 발표하였다. 전자 혀는 모든 음식에서 단맛과 짠맛, 신맛 등을 구성하는 이온과 유기 화학 성분의 구성비를 2분 안에 패턴 분석할 수 있으며 극 소형 어레이형 센서로 구성된다. 맥사이언스는 이 전자 혀의 맛 분해 능력이 매우 정교하여, 동일한 상표의 맥주라 할지라도 지역별 생산 공정의 수질에 따라 조금씩 다른 맛의 차이까지 구별할 수 있다고 밝혔다.

## 6. 그 외의 바이오센서

### 6.1 바이오센서의 역사

바이오센서라는 용어가 자리를 잡은 것은 1970년대 후반에서 1980년대 초에 걸쳐서이다. 1960년대 후반에 글루코스 산화효소를 고분자 겔 속에 채워 넣고 산소를 측정하는 전극을 효소전극이라 불렀다.

이 효소전극이 바로 글루코스를 선택적으로 선택할 수 있는 바이오센서의 원형이다. 효소 전극은 효소 고정화 기술과 전기화학 계측기술이 융합해서 탄생된 새로운 기술로 만들어진 것이다.

효소에는 수많은 종류가 알려져 있다. 생체세포 내에서만 생성되는 유기촉매인 효소는 일정한 기질에만 작용되는 특이성이 있다. 즉, 효소는 작용하는 기질이 일정해서 효소기질 복합체를 만들고 이것이 생성물로 변하는 과정을 거친다. 따라서 효소기질 반응에 의하여 전극표면에 생성되는 물질의 변화를 전기신호로 측정할 수 있도록 만들어져 있다.

### 6.2 바이오센서의 원리

바이오센서는 분자식별 소자에 따라 효소 센서, 면역 센서, 효소 면역 센서, 소기관 센서, 미생물 센서, 조직 센서 등으로 분류한다. 또한 쓰여 지고 있는 신호 변환기에 의해서도 바이오센서는 분류된다.

효소를 이용하면 화학 물질을 선택적으로 식별할 수가 있다. 이 식별결과를 전기 신호로 변환시키는 것이 물리화학 소자다. 각종 물리화학 소자가 센서의 신호변환기로 이용되고 있으며 그 중에서 가장 많이 이용되는 것은 전극이다.

효소의 촉매 기능을 이용하여 화학 물질을 식별하는 경우에는 이들의 반응에서 생성, 혹은 소비되는 화학 물질을 측정하기 위해 전극이 사용된다.

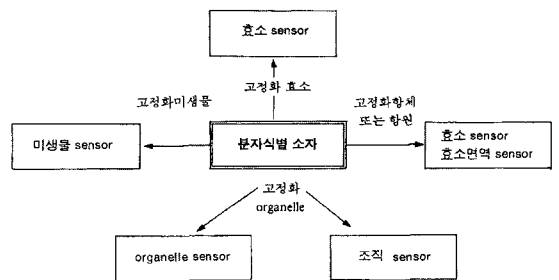


그림 9. 바이오센서의 분류[출처 : 정윤수, 바이오센서, p.2].

(1) 물리화학 소자로 전극을 이용하는 바이오센서를 전극형 바이오센서라고 한다. 전극을 이용할 경우 전기신호로 변환하는 방식으로는 전위 측정형과 전류측정형의 두 가지 방법으로 대별된다.

전위측정형(Potentiometry)이란 각각의 이온 선택성 감응 막에 생기는 막전위차로 효소 반응에 관여하는 각종 이온의 농도 등을 측정하는 방식으로, 전극으로는 수소 이온 전극, 암모늄 이온 전극, 혹은 암모니아 가스 전극, 이산화탄소 전극 등이 사용된다.

한편, 전류 측정형(Amperometry)이란 전극에서 효소 반응에 의해 소비 혹은 생성되는 물질, 즉 전극에서 쉽게 반응하는 물질 혹은 감응하는 물질의 전극 반응에서 얻어지는 전류 값을 측정하는 방식으로, 전극으로는 산소 전극, 연료 전지 등이 사용된다. 전류 측정형의 경우에는 전류 값이, 전위 측정형의 경우에는 전위 값이 얻어진다. 효소를 고정화한 전극을 기질이 포함된 용액에 담그면 그 때 얻어지는 전류값 혹은 전위 값은 어느 정상 값에 도달한다.

이것은 효소막으로의 화학 물질, 즉 기질의 확산량 및 소자위에서 생성 혹은 소비되는 기질 혹은 생성물 사이에 평형이 성립하기 때문이다. 따라서 정상 전류값 혹은 정상 전위 값을 측정하여 화학 물질 농도와의 검량선을 구하여 두고, 이 검량선을 기준으로 미지 농도의 화학 물질 농도를 측정하는 것이 정상법으로 자주 이용된다. 한편, 전류 혹은 전위의 증가 내지 감소 속도와 화학 물질 농도와의 관계로부터 미지 농도의 기질을 측정하는 속도법도 잘 이용된다. 일반적으로 바이오센서를 플로 셀(Flow Cell) 속에 삽입하여 여기에 완충액 등을 연속적으로 흘려보내면서 연속적으로 측정할 수 있도록 되어 있다. 이 경우에는 일정량의 시료를 일정 시간 안에 시스템에 주입하기 때문에 극대의 전위값 혹은 전류값이 얻어진다. 이것은 이미 설명한 속도법의 일종으로 생각할 수 있다.

(2) 반도체 기술을 이용해서도 효소반응에서 소비되는 화학 물질 혹은 생성되는 화학 물질을 측정할 수 있다. 예를 들면 이온 감응성 전계 효과형 트랜지스터(Ion Selective Field Effect Transistor, ISFET)는

수소 이온 농도를 측정하기 위해 개발된 트랜지스터이다. 이 트랜지스터의 구체적인 내용에 대해서는 뒤에서 설명하겠지만 게이트 표면에 PH변화를 일으키는 효소를 고정화하면 바이오센서로 이용할 수 있다. 이 센서의 원리는 효소 반응에서 생성되는 수소 이온 혹은 수산 이온을 트랜지스터로 측정하는 것이다.

(3) 화학 반응에는 열의 변화가 반드시 수반되기 때문에 이것을 서미스터로 측정하는 센서도 개발되어 있다. 고정화 효소를 채운 반응기와 서미스터를 조합한 바이오센서를 플로 시스템에 채용하여 시료를 주입하면 극대의 온도 변화가 측정된다. 이 극대 온도 변화 값과 화학 물질의 농도 사이의 상관관계를 이용하여 미지의 화학 물질 농도를 구할 수 있다.

(4) 효소 반응은 화학 발광 반응과도 관련되어 있다. 즉, 효소 반응에서 생성되는 화학 물질이 화학 발광 반응을 일으키는 것은 주지의 사실이다. 예를 들면 루미놀(Luminol)-과산화수소계에 페로옥시다아제를 첨가하면 발광하므로, 이 발광을 광증배(Photon Counter)관 혹은 포토 다이오드(Photodiode)로 측정할 수 있다. 즉 고정화 효소와 발광 계측 디바이스를 이용하면 센서를 제작할 수 있다. 이 센서 시스템의 경우에도 배치(Batch)방식과 플로(Flow)방식이 있지만 일반적으로 플로방식이 많이 이용된다. 그 밖에 효소 반응을 음파, 마이크로파, 레이저 광선 등을 이용하여 측정할 수도 있다.

뿐만 아니라 우리 인간의 화학 수용기와 같이 자극 물질에 의해 막전위가 직접 변화할 수 있는 인공막을 구성하는 것도 가능하다. 한편 이용하는 생체 재료의 종류에 의해서도 각종 바이오센서를 제작할 수 있다. 생체 내에는 효소 이외에도 화학 물질을 식별할 수 있는 물질이 많이 존재한다. 예를 들면, 항체 혹은 항원, 리셉터도 특정한 화학 물질을 인식하는 기능을 가지고 있다. 뿐만 아니라 세포 소기관, 미생물, 동·식물 세포, 동·식물 조직 등 각종 생체 재료가 알려져 있다. 이들은 모두 이미 설명한 각종 전극과 트랜스듀서와 조합함으로써 센서를 구성할 수 있다. 이미 이런 원리에 기초한 각종 센서가 개발되어



있다. 예를 들면 리셉터를 이용하는 리셉터센서, 항원·항체반응을 이용하는 면역 센서, 세포 소기관을 이용하는 세포 소기관 센서, 미생물을 이용하는 미생물 센서, 동·식물 세포를 이용하는 세포 센서 및 동·식물 조직을 이용하는 조직 센서 등이다. 따라서 특정 화학 물질에 선택성을 가지는 생체 재료를 찾아 이것을 사용하여 센서를 구성할 수 있다. 또 이들 생체 재료의 대부분은 수용성이고 이들을 센서의 소자로 사용하기 위해서는 효소의 경우와 마찬가지로 고정화할 필요가 있다.

### 6.3 바이오센서의 구성

화학센서의 인식 부위에 생체 물질의 우수한 분자 인식 기능을 이용하려는 발상은 바이오센서의 기본으로 되어있다. 분자인식 기능을 갖는 주된 생체 물질을 다음 표 1에 나타냈다. 많은 생체 물질은 단독으로 분자인식 능력을 발현하지만 생체 내에서는 분자 인식이 여러 가지 제어계에 연계되어 있는 경우가 많다. 따라서 분자 단독 뿐 만 아니라 분자집합체 혹은 세포 그 자체를 센서 재료로 이용하는 것도 유효하다.

생체 물질을 센서 재료로 이용하게 된 주된 요인은 생체 물질을 개체의 매체에 고정화하는 기술이 확립된데 있다. 효소를 시작으로 항체, 결합단백질 등의 생체 뿐 만 아니고, 세포 내 소기관의 분자 집합체라든가 세포에 이르기까지 본래의 기능을 잃지 않고, 용존 상태의 것을 고체화한 것은 획기적인 것이었다. 고정화 생체 물질을 분자인식부위에 적용하는데 따라 여러 가지 바이오센서를 만들 수가 있다.

다음은 화학 변화를 전기신호로 변환하는 방법에

표 1. 분자인식을 갖는 생체물질.

생체물질	인식되는 생체물질
효소	기질, 기질 Analogue, Inhibitor, 조효소
항체	항원, 항원 Analogue
결합단백질	Biotin, Retinal 등
Lectin	당을 포함하는 단백질 또는 세포
Hormone-receptor	Hormone

대한 간단한 예를 들고자 한다. 효소가 분자인식을

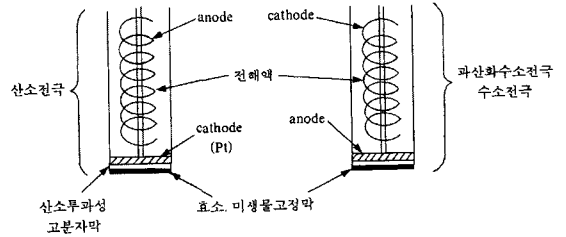


그림 10. 화학 변화를 전기 신호로 변환하는 방식의 바이오센서(1)[출처: 정윤수, 바이오센서, p.7].

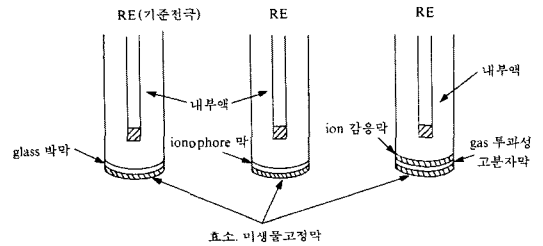


그림 11. 화학 변화를 전기 신호로 변환하는 방식의 바이오센서(2)[출처: 정윤수, 바이오센서, p.7].

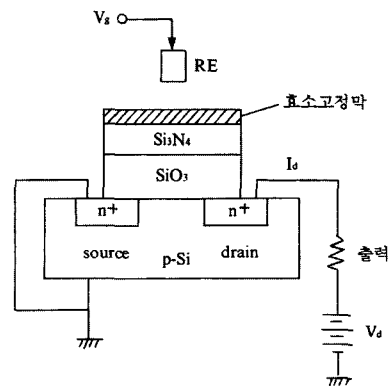


그림 12. 화학 변화를 전기 신호로 변환하는 방식의 바이오센서(3)[출처: 정윤수, 바이오센서, p.8].



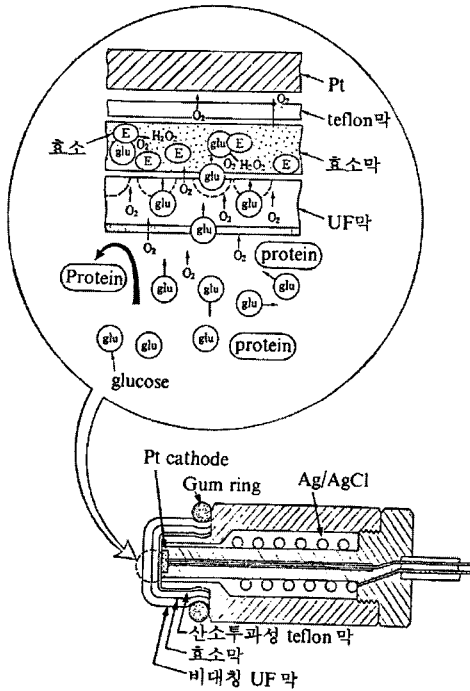


그림 13. 효소 센서의 한 가지 예(Glucose Sensor)[출처 : 정윤수, 바이오센서, p.8].

하여 따라 특정 물질이 되고, 이 물질의 증감을 전기 신호로 바꿀 수 있는 소자가 있으면 바이오센서의 제작이 가능하다. 이 역할을 해주는 소자로서 Clark형 효소 전극, 과산화수소 전극, 이온 선택형 FET 전극 등을 들 수 있다.

세포 내에는 소기관이라든가 복합효소계가 더러 있는데, 복합 효소계에는 많은 효소가 계통적으로 배열하여 특정의 반응을 촉매 한다. 고정화 소기관, 고정화 세포 (특히 미생물세포) 등을 활용한 바이오센서도 가능한 것이다. 이들은 각기 소기관 센서, 미생물 센서라고 한다. 이 센서의 원리는 기본적으로 효소 센서와 닮았으며 이들을 종합한 것이 그림 7이다.

#### 6.4 바이오센서의 종류

바이오센서는 크게 반응식, 수용물질, 변환기에 따라 분류되어지지만, 여기서는 수용물질에 따라 바이오센서를 분류한다.

##### 6.4.1 효소센서

효소센서는 바이오센서 중에서도 가장 먼저 연구되기 시작하였고, 실용화 단계에 이른 것도 매우 빨랐다. 효소를 고분자막에 고정화하는 시술이 출현한 것을 계기로 하여, 1970년 초기에 고안되었다.

##### ※ 효소바이오센서의 기본동작

1. 기질이 효소가 고정되어 있는 생체 기능성막 속으로 확산된다.
2. 기질이 효소의 촉매작용으로 반응하고 분해된다.
3. 반응생성물이 변환기의 감지막 표면까지 확산된다.
4. 변환기는 이 생성물을 감지하여 대응되는 전기신호를 발생한다.

##### 6.4.2 미생물센서

효소센서는 고감도 고 선택적 특성을 지니고 있으나 자체가 단백질이기 때문에 불안하고 활성을 나타내기 위해 조효소 등이 필요한 경우가 적지 않

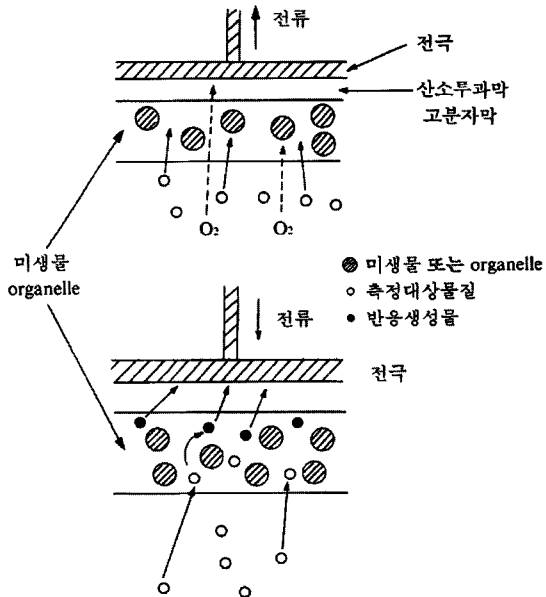


그림 14. 미생물 센서, Organelle(소포기관) 센서의 원리[출처 : 정윤수, 바이오센서, p.9].

다. 따라서 효소대신 복합 효소계라 불리는 다수의 효소가 계열적으로 배열하고, 특정 반응을 촉매 하는 것으로 알려져 있는 미생물을 전극에 부착한 센서가 고안되었다. 원리는 기본적으로 효소센서와 유사하다.

미생물세포에는 각종 효소가 들어있으며, 에너지 재생계, 보효소 재생계, 호흡, 대사 등의 생리기 등이 집약되어 있다. 세포내 효소는 안정하므로 미생물센서는 효소센서보다 수명이 길다는 장점과, 여러 효소가 미생물속에 포함되어 있어 선택성의 신뢰도가 떨어지는 단점이 있다.

발효공업공정계측에는 포도당, 자화당, 아세트산, 암모니아, 메탄올 등의 발효원료를 측정하는 센서와, 에탄올, 항생물질, 비타민, 아미노산, 유기산 등의 발효 대상물을 측정하는 센서가 있고, 환경계측에는 BOD(생화학적 산소요구량), 폐수 중 암모니아 아세트산이온 메탄가스를 계측하는 미생물센서가 있다.

미생물센서는 효소센서에 비하면 값이 저렴하며 기능이 복잡하고 교묘하여 이러한 기능을 이용한 새로운 센서가 개발될 것이 기대되고 있다.

#### 6.4.3 오르가넬라센서

세포 안에 있는 Organelle(소포기관)는 효소의 집합체로서 고도의 기능이 집약되어 있어 이를 이용한 센서를 제작하면 종래의 단일 또는 복합효소로 측정 불가능한 물질들을 측정할 수 있다. 그 예로서 호흡기 등을 가진 미토콘드리아의 전자전달 입자 고정화 막을 이용한 조효소 NADH의 측정용 센서, 고정화 간미크로솜을 이용한 센서, 엽록체를 이용한 인산이온센서 등이 연구되어져 있다.

#### 6.4.4 조직센서

효소 활성을 가진 동식물 조직의 절편을 기능소자로 이용한다. 예로는 돼지의 지라조직과 암모니아 전극으로 된 글루타민(Glutamine) 센서, 개구리 상피조직을 이용한 Sodium이온센서, 쥐의 신장조직과 암모니아전극으로 구성된 글루타민센서, 감조조직절편과 산소전극을 조합한 인산, 불소이온센서 등이 개발되었다. 그러나 이들은 고도의 조직배양 기

술이 요구된다.

#### 6.4.5 면역센서

효소, 미생물, Organelle(소포기관) 센서는 주로 저분자 유기 화합물을 측정대상으로 하는데 단백질 등 고분자의 미소 구조의 차이를 구별하는 센서가 면역센서이다.

면역센서는 항체 분자 식별기능을 이용하여 항원 또는 항체를 검지한다. 즉 고분자막 등의 고체 표면에 결합한 항체를 사용하고 막 표면에서 항원 항체 반응을 행한다.

#### 6.4.6 반도체형 바이오센서

FET센서는 대체로 반도체 집적회로 제조공정기법을 이용하여 제조하며 매우 정교하여 극소형 및 초경량으로 일시에 대량생산이 가능하다. 그리고 감지소자의 입력임피던스는 대단히 크고, 출력임피던스는 비교적 작으며 매우 작고 정교하며 감지반응이 빨라서 생체 내외 생체의 측정에 대단히 유리한 조건을 갖추고 있다.

ISFET(Ion Sensitive FET)는 수용액 중에 담가서 사용하며, 수용액내 이온 농도의 변화에 대해 이온 감응 막의 계면 전위가 변화하고, 이 값을 FET로 검출함으로써 이온 농도를 측정할 수 있다. 이러한 FET 센서에는 기체, 이온, 압력, 습도, 온도, 등을 감지하는 센서 뿐만 아니라 포도당, 요소 등 중요한 생체물질을 감지하는 ENFET(Enzyme FET)와 면역반응을 검지하는 IMFET(Immunological FET)가 있다. 이들은 ISFET형 전기화학적 소자의 감지막 위에 효소 또는 항원(항체) 고정화 막을 형성시킨 것으로 동작원리는 효소센서와 유사하다.

#### 6.4.7 바이오어피니티 센서

결합 단백질이나 각종 리셉터는 항체와 마찬가지로 특정 물질(리간드)에 대해 선택적 친화성을 나타낸다. 구조가 미세하게 변하면 리간드 유사 물질에 대한 친화성이 현저히 감소한다. 이러한 친화성 차이를 이용하여 센서로 사용하며 비오틴(비타민 H), 갑상선 호르몬 티록신, 인슐린 등을 측정대상으로

한다.

### 6.4.8 포토타이오 센서

페르옥시다제(Glutathione Peroxidase) 등의 효소는 루미놀 등의 발광반응을 촉매 한다. 이를 이용하여 여러 가지 바이오센서를 만들 수 있다. 효소를 광섬유 끝에 고정화한 바이오센서는 를 광계측 할 수 있다. 페르옥시다제를 표식 효소로 이용하면, 광검지 방식의 효소 면역센서가 된다. 페르옥시다제 대신에 저분자의 헤민(Hemin)을 표식제로 쓸 수 있다.

## 7. 결론

미각 센서 등을 포함한 바이오 센서기술은 현대 사회에서 다양한 활용뿐만 아니라 인간 중심의 미래 사회에서도 중요한 기술로 부각될 것으로 기대된다.

특히 바이오센서 기술은 IT-BT-NT의 융합 기술의 하나로서 매우 유용한 연구테마로 자리매김할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] 박현식, "일본의 미각 센서 개발 동향 및 응용 분야", 전자부품 연구원, 2006.
- [2] 서인호, "미각센서의 메커니즘", 제어계측, 2005.
- [3] 장상목, 이수미, "바이오센서", 전파과학사, 1996.
- [4] 정운수, "바이오센서", 고려의학, 1994.
- [5] 김한근, 박선국, "센서공학 개론", 기전연구사, 2007.
- [6] 한국해부생리학 교수협의회, "인체해부학", 현문사, 2007.

### 저자|약력



성 명 : 이호식

◆ 학 력

- 1992년 광운대 전기공학과 공학사
- 1994년 광운대 대학원 전기공학과 공학 석사
- 2002년 홍익대 대학원 전기공학과 공학 박사

◆ 경 력

- 2005년 - 2006년 일본 동경공업대 객원연구원
- 2007년 - 현재 동신대 병원의료공학과 전임강사



성 명 : 박용필

◆ 학 력

- 1981년 광운대 전기공학과 공학사
- 1983년 광운대 대학원 전기공학과 공학 석사
- 1992년 광운대 대학원 전기공학과 공학 박사

◆ 경 력

- 1995년 - 1996년 Osaka 대학 공학부 전기공학과 객원교수
- 1992년 - 현재 동신대 병원의료공학과 정교수



성 명 : 송민중

◆ 학 력

- 1989년 원광대 전기공학과 공학사
- 1991년 원광대 대학원 전기공학과 공학 석사
- 1995년 홍익대 대학원 전기공학과 공학 박사

◆ 경 력

- 1997년 - 현재 광주보건대학 의료공학과 교수
- 2007년 - 현재 한국전기전자재료학회 학술이사



성명 : 유성미

◆ 학력

- 1989년  
경상대 간호학과 간호학사
- 1998년  
경상대 대학원 간호학과 간호학 석사
- 2006년  
부산대 대학원 간호학과 간호학 박사

◆ 경력

- 1989년 - 2007년 인제대학교 부속부산백병원 감염관리실 팀장
- 2007년 - 현재 광주보건대학 간호과 교수



성명 : 천민우

◆ 학력

- 2001년  
동신대 전기전자공학과 공학사
- 2003년  
동신대 대학원 전기전자공학과 공학석사
- 2006년  
동신대 대학원 전기전자공학과 공학박사
- 현재  
조선대 대학원 의학과 박사과정

◆ 경력

- 2006년 - 현재 (주)바이오아테코 인공장기연구소 연구소장

