

## 바이오·센서 (Bio-Sensor)

洪 勝 弘

仁荷大學校 工科學部 電子工學科 教授

### I. 序 言

最近, 컴퓨터의 눈부신 發達에 수반하여 센서 技術의 進步와 高度化가 요구되고 있다. 이는 컴퓨터가 人間의 頭腦에 해당된다면 센서는 人體의 五感機能에 해당되므로 아무리 頭腦가 발달되어도 情報의 入力部인 感覺機能이 불충분하면 시스템으로서의 價値는 없기 때문이다.

센서는 對象에 따라 여러 種類로 分類되지만, 크게 나누어 物理量센서와 化學量센서로 大別할 수 있다. 바이오·센서(bio-sensor)는 化學量센서에 해당되는 것으로 生體物質이나 生體反應을 교묘하게 이용하여 分子를 確認하는 센서이다.

人間의 五感中에서 視覺, 聽覺, 觸覺에 상당하는 物理量센서는 半導體를 주축으로 하여 IC化, 高性能化되어 應用되고 있으며 嗅覺, 味覺에 대응하는 化學量센서는 가스센서, 이온센서등 몇 종류를 제외하고는 실용화 되고 있지 않다. 物理量센서는 人間機能을 능가하는 것도 있으나 化學量센서는 아직은 불만족한 상태에 있으므로 더 많은 研究가 進行되어야 할 분야이다.

우리들 人體內에는 여러가지 종류의 化學量센서, 즉 化學受容器가 있다. 味覺器, 嗅覺器, 內分泌系에 대한 激素受容器, 抗原-抗體反應系, 神經興奮傳達系의 시냅스(synapse)에 대한 化學物質(주로 아세틸 콜린: acetylcholine)의 放出과 受容등 全身이 化學受容器의 集合體라고 해도 과언은 아니다. 즉 人間은 정교한 化學工場이라고 할 수 있다. 이와 같은 현상들을 구비하고 있는 生體物質은 測定對象에 대한 選擇性이 높고 感도가 예민하고, 常溫, 常壓에 동작하는 특성을 가지고 있어서, 生體가 가진 우수한 化學物質 檢知能力을 센서에 이용하던가 그렇지 않으면 生物을 直接 센서에 利用한 것이 바이오·센서이다.

### II. 바이오 센서의 原理

바이오·센서는 그림 1과 같이 分子를 認識하는 生體機能膜 즉 리셉터(receptor部)부와 이 分子에 따라서 리셉터의 構造, 物性變化, 發熱, 吸熱, 化學物質의 生成과 消滅을 電氣信號로 變換하는 變換器(transducer)로 구성된다. 이 生體機能膜에는 酵素, 微生物, 抗體 또는 抗原, 細胞內 小器官(organelle)등의 生體關連物質을 사용하여 分子認識機能을 갖도록 한다. 容液中의 測定對象이 이들 分子認識物質에 吸着하여 複合體를 형성하여 物理的 變化, 化學反應, 電氣化學現象등이 일어나는데 이를 다시 電極이나 變換器를 사용하여 電流 혹은 電位형태의 電氣信號로 檢出하게 된다. 그러므로 리셉터에 이용하는 生體關連物質에 따라 酵素센서, 微生物센서, 免疫센서, 올가넬(organelle) 센서로 分類하기도 한다.<sup>1)</sup> 또한 單機能, 多機能 센서등으로 機能別로 분류하기도 한다.

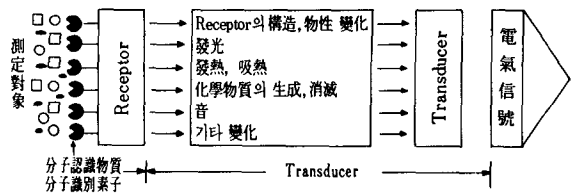
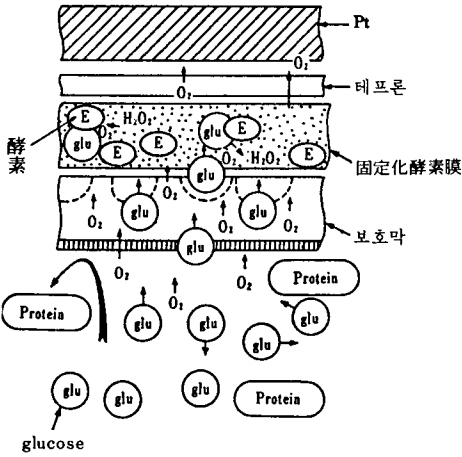


그림 1. 바이오·센서의 原理

그림 2는 生體素子로부터 바이오·센서를 分類한 것이고 표 1은 트랜스듀서(transducer)에 따른 분류방식이다. 그림 2의 固定化라는 것은 生體關連物質을 물에 녹지 않는 高分子膜등에 結合시키는 것을 말한다. 이는 1970年代에 確立된 것으로 보통의 酵素는 대개 물에 녹지만 酵素를 固體担體에 결합하면 固體와 같이 취급할 수 있는데 이와 같은 不動化된 酵素를 固定化 酵素라고 한다.





(a) 클라크형 (酸素電極使用)

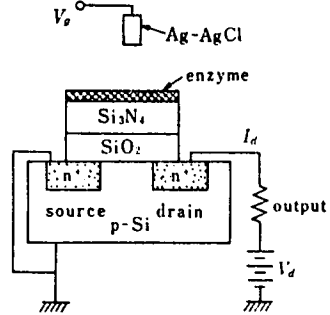
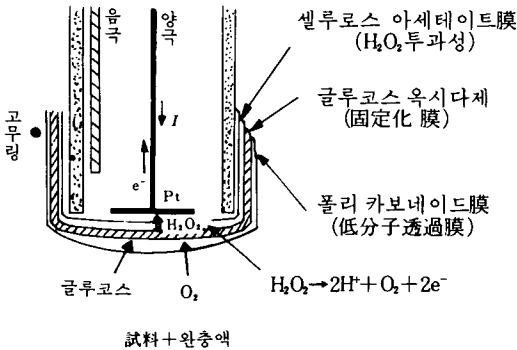


그림 5. 酵素FET의 基本 構成



(b) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>電極使用

그림 3. 글루코스 센서의 基本 構成

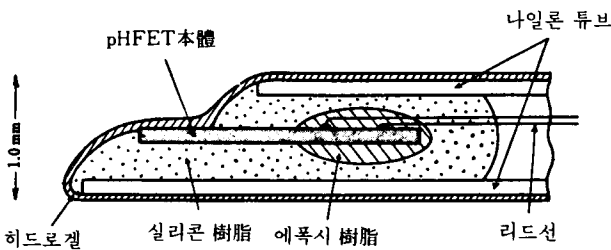


그림 4. 生體內 插入用 pH FET

낸 것이다. Janata 등<sup>[5]</sup>은 페니실리나제라고 하는 효소에 의해 페니실린이加水分解되어 強酸이 발생하는 것을 이용한 페니실린 檢出用 FET를 만들었다.

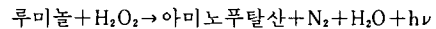
3. 酵素트랜지스터

파라디움을 사용하여 水素가스 感應性的인 트랜지스터를 만들 수 있는데, 이는 水素가스에 응답하여 트랜지스터의 出力이 變化된다. 그러므로 水素가스를 높은 感度로 檢출할 수 있다.<sup>[6]</sup>

4. 酵素 더어미스터  
 固定化 酵素와 더어미스터 (thermistor)를 組合하여 酵素反應에 의한 熱變化를 더어미스터로 檢출한다. 이 센서는 미소한 熱變化를 측정하게 되므로 기준용의 더어미스터와 差動方式으로 測定하고 있다.

5. 酵素 光다이오드

페루 옥시다제등의 酵素는 루미놀 (luminol)의 發光反應을 觸媒한다.



이 반응은 定量的으로 일어나는 것으로 루미놀 濃度 一定의 조건으로 光子를 計數하면 過酸化水素를 測定할 수 있다. 페루·옥시다제를 光화이버나 투명 플라스틱 플레이트 表面에 固定化하여 光子計數器 (photon counter)에 의해 過酸化水素를 高感度로 計測할 수 있다. 光다이오드의 素子表面에 페루옥시다제를 固定化한 酵素 光다이오드가 제작되어 過酸化水素 檢出用에 사용한다.

6. 多機能 酵素電極

複數 酵素를 組合 固定化하여 多機能 酵素센서를 구성할 수 있다. 이 複合酵素系를 적극적으로 활용하여 魚肉의 鮮度를 計測하는 방법이 제안되어 있다.<sup>[1]</sup>

IV. 微生物센서

微生物센서의 原理 및 基本 構成은 酵素센서와 비슷하지만 分子認識部位는 固定化 微生物에 의해 만들어진다. 酵素는 주로 微生物을 起源으로 하고 있고 微生物은 多數의 酵素로 구성된다고 생각할 수 있다. (1개의 微生物 中에는 약 2000의 酵素가 존재한다). 微生物

물은 多孔性의 高分子膜에 吸差시키던가 高分子膜 中에 포괄시켜 이를 電極上에 裝着하면 微生物센서가 만들어 진다.

微生物센서는 原理적으로 두 가지 형태로 나누어진다. 微生物의 呼吸活性을 指標로 化學物質을 計測하는 센서와 微生物이 化學物質을 섭취(資化)하여 生成하는 代謝產物中에서 電極反應을 일으켜 이 전극에 感應되는 物質을 指標로 하는 센서로 분류된다. 前者를 呼吸活性 測定型센서라 하고 後者를 電極活 測定型센서라 한다. 이들의 原理圖를 그림 6에 표시했다.

好氣性 微生物은 酸素를 흡수해서 有機物을 섭취·산화하는데 이 微生物을 코라진膜이나 아세틸·셀룰로이드膜등으로 固定化하고 이 膜을 클라크형 酸素電極 위 에 띄워 센서를 구성한다. 이 센서를 緩衝液에 넣고 液 中에 공기를 불어 넣어 산소로 포화시킨다. 酸素는 固定化膜을 확산하여 일부는 微生物의 呼吸에 의해 消費되고 나머지가 테프론膜을 통해 酸素電極에 도달하여 정상적인 陰極電流가 된다. 測定對象의 有機物이 緩衝液 中에 주입되면 微生物은 그 有機物을 섭취·산화하여 微生物의 呼吸이 활발하게 되어 電極에 도달하는 酸素量을 감소시킨다. 결국 산소량의 감소로 음극전류를 감소되므로 이 음극전류를 측정하여 주입한 有機物의 濃度를 측정할 수 있다.

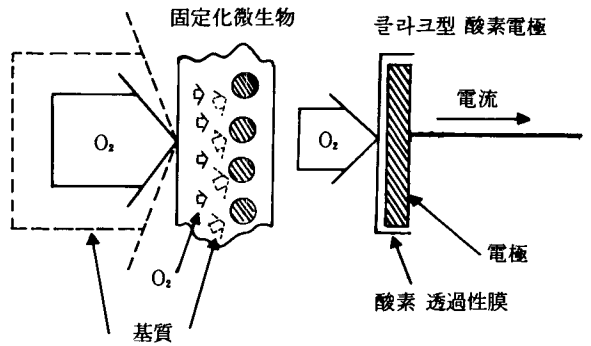
電極活物質 測定型센서는 그림 6(b)와 같다. 菌의 固定化膜에 의해 有機物을 섭취하여 水素를 만들어 내는데, 生成된 水素는 膜을 통과하여 白金電極表面에 확산, 산화되어 電流가 흐른다. 용액으로 부터의 有機物 확산속도와 미생물에 의한 水素 生成 速度가 평형한 상태에서 定常電流가 흐르는데 이 電流값과 有機物 濃度와 직접적인 관계가 있으면 이 電流값으로 부터 濃度가 測定된다.

이와 같은 微生物 센서는 河川, 廢水中에서의 有機物 汚染의 指標인 BOD (Biochemical Oxygen Demand, 生物化學的 酸素消費量) 測定量으로 이용된다.

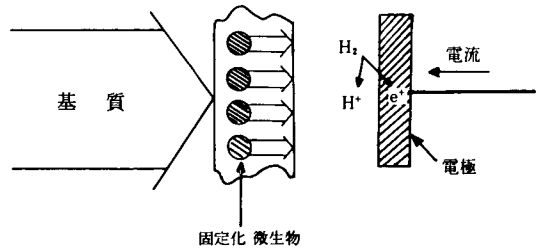
이와 같은 環境計測외에도 發酵프로세서, 糖센서, 알콜센서, 有機酸센서등을 이용한 프로세서計測, 醫療計測등에도 많이 이용된다.

V. 免疫센서

生體에 異物이 침입했을때 방어기구로 알려져 있는 免疫反應은 抗原(異物)에 대해서 抗體(단백질)가 生體內에서 生産되어 抗原과 複合體를 형성하는 것을 말한다. 이와 같은 反應을 이용하여 抗原이나 抗體의 어느 한쪽을 사용하면 다른쪽을 선택적으로 식별할 수 있어서



(a) 呼吸活性 測定型



(b) 電極活物質 測定型

그림 6. 微生物센서의 原理圖

센서로 이용된다. 즉 抗原을 固定化한 膜에다 抗體를 포함하는 血清과 접촉시키면 血清中的 抗體가 膜에 결합한다. 이때 膜의 負荷狀態가 변화하여 膜電位가 變化한다. 이 膜電位의 變化量이 抗體量에 의존하므로, 電極으로 膜電位를 測定하여 抗體量을 알 수 있다. 이와 같은 원리에 따라 梅毒血清 診斷이나 血液型을 判定하는 센서가 開發되어 있다.<sup>17)</sup> 또 抗原 혹은 抗體를 酵素로 標識하여 抗原抗體反應을 일으킨 후 結合한 抗原 혹은 抗體量을 酵素活性 測定으로 구하는 酵素免疫 센서도 開發되어 있다.

VI. 結 言

지금까지 記述한 바이오·센서는 實用 段階에 있는 것들로 醫療用, 釀酵工業등에 특히 기대되는 것이다. 이 외에도 바이오 센서는 여러 종류의 것이 研究開發되고 있다. 앞으로의 개발목표는 高感度化, 多機能, 微少化, 인텔리전스(intelligence)化등에 주력할 것이다. 그러므로 電子工學, 醫學, 生物工學, 化學工學등 相關 학문분야와의 연계협력에 의해 더욱 발전되어져야 할 것이며 生體의 sensing機能 해명에도 더욱 정진해야 하겠다.

參 考 文 獻

[1] 相澤, “特集バイオセンサー,” 化學, 36, 1981.

[2] 鈴木周一, “生物電氣化學의 分子識別,” 電氣化學, 50(特集化學センサー), 17, 1982.

[3] 相澤 益男, “固定化酵素電極,” 日本ME學會雜誌, vol. 21, no. 7, December, 1983.

[4] 高橋 清, “センサーエレクトロニクス,” 昭晁堂, 304, 1984.

[5] S. Caras and J. Janta: Anal. Chem. 52, December, 1980.

[6] B. Danielsson, F. Winquist, K. Mosbach & I. Lundström, “Chemical Sensors,” Kodansha, 507, Elsevier 1983.

[7] 森泉 豊榮, “バトオセンサ,” センサ活用技術, 工業調査會編, 1984.\* \*

◆ 用 語 解 說 ◆

**공동현상 (Cavitation)**

액체에 초음파를 방사할 때, 액체에 국부적인 압력 감소가 생기고, 그곳에 공동이 생기는 현상이다. 이 공동이 파괴될 때 수 100기압 이상의 충격력이 국부적으로 작용하기 때문에 금속등을 부식시키는 원인이 된다.

**접화 마이크로폰 (Close-talking microphone)**

주위의 소음이 큰 장소에서 아나운서의 음성을 뚜렷하고 양호한 음질로 수음하기 위해 만들어진 마이크로폰으로서 스포츠 중계등에 쓰인다.

**열전대**

두 종류의 이종 금속선의 접촉점을 가열할 때 발생하는 열기전력 현상(지이백 효과)을 온도 센서로 이용한 것이 열전대이다.

**픽업 (pick up)**

기계 전기 변환부의 카트리지와 그것을 지지하는 아암으로 구성되어 있으며, 레코우드에 기록되어 있는 상하·좌우의 진동을 검출하는 센서이다.

**지향성**

음원의 방향에 따른 마이크의 감도차를 말하며, 무지향성, 단일지향성, 쌍지향성이 있다.

**glass 전극**

pH의 센서로서 glass박막의 양측에 pH가 다른 두 종류의 용액이 접촉할 때 양측 pH의 차에 비례한 기전력이 발생하는 성질을 이용한 센서이다.

**연속 스펙트럼 (continuous spectrum)**

음을 주파수 분석하여 결과로 얻어진 성분이 순음만으로 이루어진 경우 이산적 스펙트럼이라 하지만, 순음 성분을 포함하지 않는 스펙트럼을 연속 스펙트럼이라 한다.

**백색 잡음 (white noise)**

주파수 성분을 균등하게 포함한 음향 또는 전기 신호, 즉, 1Hz폭의 band level의 시간 평균치가 일정한 잡음.

**이상음 (abnormal sound)**

일반적으로 어떤 기계등에서 정상 운반시에는 나타나지 않는 음을 말한다.