

가스센서에 의한 냄새와 맛 검출 기술



장 경 욱
(경원전문대학 자동차과 교수)

1. 서 론

공기 중에 포함되어 있는 특정한 가스에 감응하고 그 농도에 반응한 전기신호(또는 광신호)를 나타내는 디바이스가 가스센서이다. 최근에는 냄새와 같이 가스 복합체를 복수의 센서를 사용하여 패턴인식하는 연구도 진행되고 있다. 오늘날 우리들은 여러 종류의 가스에 노출되어 살고 있으며, 또한 다양한 가스를 소비·발생시키고 있다. 이러한 가스 중에는 산소, 수증기와 같이 직접 생명의 유지에 필요한 것, 도시가스, 가솔린 등 사회 생활에 필요한 것, 일산화 탄소, 질소 산화물 등 환경과 생명에 유해한 것, 냄새 성분가스와 같이 식품의 숙성, 조리, 부패에 의해서 발생하는 것 등이 있다.

센서의 용도도 방재·안전, 환경 보전, 에너지 절약, 공정관리, 품질관리, amenity(생활의 쾌적도, 도시생활의 환경, 거주성 등에 필요한), 과학 계측등 다양하다. 이같이 다양한 대상가스와 용도에 대응하기 위해서 다양한 센서의 연구 개발이 이루어지고 있다.

센서를 실용화하려면 성능과 장점 및 사회적 배경도 중요하다. 가스센서는 다음의 3종류의 센서의 시장화에 의해서 사회적으로 인지되었다. 금속 산화물 반도체를 사용한 가스센서가 가연성 가스 검지용으로서 최초로 제안된 것은 1962년이였다. 이것은 도시가스와 LP가스용 가스 누출 경보기로서

1969년에 일본에 처음 상품화되었고, 그후 성능향상이 되어 세계적으로 보급되어 왔다. 가정에서 많은 가스의 사용으로 인해 가스 사고가 많아진 것이 이러한 센서가 나오게 된 배경이고 또한 많은 사고의 교훈으로 보급이 가속화되었다. 아무리 안전 대책을 강구하여도 앞으로 일어날 만일의 이상에 대비하기 위해서는 이러한 방재용 센서가 필요하다는 것을 많이 인식했기 때문이다. 1960년대 후반 미국에서 자동차 배출가스 정화를 의무화하는 법안이 제정되고, 이것이 산소센서를 탄생시키게 되었다. 즉, 이 센서의 사용으로 엔진의 공기/연료비를 피드백 제어함에 의해서 비로소 3원 촉매에 의한 배출가스 정화를 달성할 수 있는 것을 나타냈고, 1970년대에 들어서 일본을 선두로 차츰 산소센서를 사용한 정화 시스템이 채용되기에 이르렀다. 화학 프로세스의 제어에 화학 센서를 빼뜨려서는 안된다는 것을 실증한 최초의 예였다. 1970년대의 말에는 세라믹 습도 센서를 장착하여 자동조리 기능을 갖는 전자렌지가 상품화 되었다. 이것은 가스에 의한 가전 제품의 자동화, 에너지 절약화의 선구가 되었다.[1]

이 3종류의 가스센서는 기능이나 용도도 크게 다르지만 모두 그 탄생과 성장에는 사회 정세가 크게 반영되어 있다는 것을 알 수 있다. 이 같은 면에서 현대 사회를 바라보면 환경 문제와 에너지 문제가 점점 심각화 되고 있는데 그것은 거의가 화학물질이며, 이러한 점에서 환경 보전과 에너지 절약을 위

한 가스센서가 더욱 요구된다. 한편, 정보화 사회의 전반적 심각함 속에, 기상 분자 정보의 취급 방법으로서 가스센서의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 이와 같이 가스센서가 더욱 더 성장하는 사회적 배경은 정돈되고 있다. 이하에서는 가스센서를 이용하여 냄새와 맛을 검출하는 현상과 전망을 간단히 설명하고자 한다.

2. 냄새 센서

바이오 센서는 단백질의 분자 인식 기능을 사용하여 선택성(특이성)이 높고 검지 대상을 검출하는 것으로 한다. 이것에 대해서, 아래에 설명한 냄새와 맛의 센서는 하나의 센서의 선택성은 낮지만 조금씩 특성의 차이가 있는 센서를 다수 사용하고 그 출력패턴에 의해 대상 물질을 검출한다.

실은 생체의 화학 감각으로 어떤 미각과 후각은 이 방법에 의해 맛, 냄새를 인식하고 있다. 그 의미에서 이들의 센서를 생체 흉내낸 (biomimetic) 센서라고 말하는 것도 가능하다.

또한, 이들의 센서를 포함하여 바이오 센서라고 총칭하는 것도 있다. 어느 것이나, 냄새 센서 및 맛 센서는 최신의 화학 센서이고, 정보공학, 감성공학의 관점으로부터도 주목을 모으고 있다.

2.1 후각의 기능

냄새에 대해서는 기본적인 냄새(기본냄새)가 밝혀져 있지 않다. 1960년대에는 7개의 기본냄새와 수용사이트의 분자 형성에 관계된 설명이 있었지만, 확정된 이론은 없었다.[2] 한편, 냄새의 분자 종류는 20 만종이 있고, 일상의 냄새도 다수의 분자종(예를들면, 커피향에는 400종이상의 분자 종류를 포함)으로 되어 있다. 이 같이 분자의 집단인 냄새를 생체는 어떤 기구로 수용하고 인식하고 있는 것이 있을까?

그림 1에 표시한 바와 같이 우리 코중에는 후상피가 있고, 그 점막 중에 후세포가 106에서 107개가 있다. 후점막은 점액층으로 덮혀 있고, 냄새 분자는 기체상태로부터 점액층을 통과하고, 후세포의 섬모 표면 및 그 뿌리의 부분에 흡착한다. 이 결과 후세포 내부에 아나로그적인 전위 변화가 발생하고, 그 전위가 어떤 값 이상으로 되면 후세포의 뿌리에서 임펄스가 발생하고 그것이 뇌로 보내진다. 뇌에서는 후각구에서 시작하는 몇 단계의 처리가 행해지고, 냄새가 인식된다. 일반적으로 세포는 적은 지질의 2분자 막으로 되는 세포막으로 덮혀져 있다. 냄새 분자는 냄새막을 구성하는 적은 지질 분자의 소수기 부분, 또는 수용 단백질에 흡착된다. 수용 단백질에 대해서는 낮은 값의 수용을 분담하고 있다고 생각되고, 그 아미노산의 해명이 유전자학적 수법에 의해 행해지고 있다.

냄새 분자의 수용에 따라서 후세포의 흥분에 대해서는 생리학적인 연구가 행해지고 있다. 전극을 사용하여 다수 후세포의 복수종류의 냄새에 대한 응답을 기록하면, 하나의 후세포

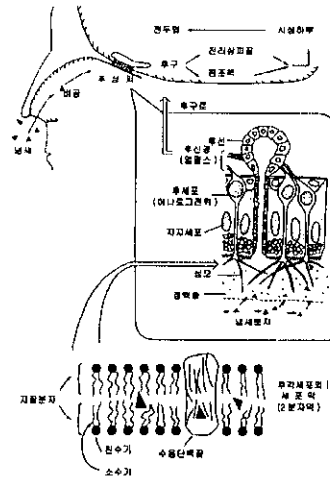


그림 1. 후각의 냄새 수용, 인식 구조.

는 복수의 냄새에 전부 응답하지만, 그 응답의 정도는 다르다. 결국 냄새의 식별은 다수의 후세포의 집단적 흥분 패턴, 바꿔 말하면 출력 패턴의 인식에 의해 행해지는 것이라고 생각되어진다.[3]

이 같은 후각에 있어서는 수용세포에 강한 특성은 없고, 다수 세포의 출력 패턴으로부터 냄새의 인식이 행해지고 있는 것 같다. 따라서, 후각을 모방한 냄새 센서의 실현에 있어서는 이 방법을 모방하는 것이 생각되고 있다. 냄새 물질의 다양성을 고려하면, 이 방법은 공학적으로도 이용 가능하다. 정해진 수의 센서를 사용하고, 그 출력 패턴을 알고리즘에 따라서(학습)분석하기 때문에 유연한 동시에 비용이 들어가지 않는다.

2.2 냄새 센서의 필요성

냄새와 맛은 주관성, 직관적인 정보라고 말할 수 있고, 현재까지 그 양을 객관적으로 표현하는 척도 및 계측수단이 존재하지 않았다. 그 때문에 사람에 의한 판능검사가 넓게 행해지고 있지만, 건강 상태에 따라서 결과가 변동한다. 피로 때문에 장시간의 검사가 가능하지 않는 등의 결점이 있고, 객관적인 계측 수단의 개발이 기대되고 있다. 만약, 냄새 센서가 실용화 되면, 표 1과 같은 응용분야가 기대될 수 있다.

식료, 음료수, 화장품 등의 공업에 있어서는 공정관리, 제품 개발에 넓게 사용될 수 있다. 환경계측에 있어서는 나쁜 냄새의 계측과 빌딩의 공조 관리 등이 중요하다.

이 가운데 +표시를 붙은 3분야에 있어서는 현재, 판능검사가 넓게 행해지고 있다. 냄새는 기류에 따라서 운반되기 때문에 원격정보전달능력도 높다. 예를 들면 방재 관계에 있어서

표 1. 냄새 센서의 응용분야.

분야	적용예
식품 및 음료*	공정관리, 제품개발, 검사
화장품*	공정관리, 제품개발, 검사
환경계측*	유해냄새검사, 검물의 분위기 관리
방재	방재(가스폭발, 화재의 검지), 유독가스의 검지
범죄수사	마약검사(경찰견 대응)
의용 및 건강관리	입냄새, 체냄새의 테스트, 호흡기내의 성분 테스트, 배설물의 냄새 검사

사고에 따르는 냄새의 정보를 떨어진 장소에서 검출하는 것이 고려될 수 있고, 가스 폭발과 화재의 조기 검출에 사용될 수 있는 가능성이 높다. 냄새 센서는 이외에 범죄수사, 의료, 건강 관리 등에도 사용될 수 있다. 예를 들면, 마약 냄새의 센서가 개발되면, 마약의 불법소지를 적발하는 검사기기의 개발이 가능하다.

2.3 냄새 센싱 시스템의 개발

표 2는 현재까지에 개발되고 있는 인식시스템 및 성능의 비교를 표시하였다. 통상, 냄새 인식 시스템은 작은 선택성의 차이로 10종류 내외의 센서 군이 사용되고 있다.

즉, 금속 반도체 가스센서, 흡착제를 갖는 수정진동자(QCM, Quartz Crystal Microbalance, 미소질량 변화를 측정할 수 있기 때문에 저울이라고 부른 수 있다.[4]와 SAW 소자.[5] 도전성 고분자,[6] 및 MOS 가스센서 등이 있다.

가스센서의 선택성을 제어하는 것은 냄새센서의 식별능력을 결정하는 중요한 인자이다. 반도체 가스센서의 경우 촉매

금속, 사용되는 금속 반도체의 종류, 센서의 온도(통상 300℃ 정도)등에 의해 선택성이 제어 될 수 있다. 도전성 고분자의 경우에는 폴리피롤, 폴리아닐린 등이 사용되고 있지만, 이들의 분자의 종류에 덧붙여 촉매에 의해서도 선택성이 변화한다. 수정 진동자를 사용하는 가스센서에 있어서는 사용되는 흡착막을 변화하는 것에 의해서 선택성이 자유롭게 제어될 수 있다. MOS 가스센서에 대해서는 사용되는 금속과 온도가 선택성을 변화하는 큰 인자이다.

표 2의 4종류의 가스센서의 이점 및 결점을 설명하였다. 반도체 가스센서는 1 ppm 정도의 고감도를 표시한다. 또한, 습도에 관해서 둔감하고, 상업적으로도 긴역사를 갖고 있다. 그러나, 선택성을 제어하는 것은 대체로 어렵고, 동작 온도는 고온이기 때문에 안정성에 결함이 있다. 도전성 고분자의 가스센서는 다수 센서의 집적화가 가장 용이하고 실온에서 작동한다. 그러나, 개발의 역사가 짧기 때문에 학문적으로 잘 정립되어 있지 않다. 습도에 영향을 받는등의 결점이 있다. 수정진동자의 가스센서는 선택성의 제어가 가장 용이 하지만, 습도에 민감하다는 점이 결점이다. 통상 10 ppm 이상의 가스 농도에 응답하지만, 최근 1 ppm 크기의 농도에 대해서 감도도 보고되고 있다. MOS 타입의 가스센서는 고감도이고 집적도 용이 하지만, 100℃정도의 동작 온도가 필요하고 선택성의 제어가 어렵다.

다음에 수정진동자를 사용한 냄새 센싱 시스템에 대해서 상세히 설명한다.

2.4 시스템의 실제

수정진동자는 안정한 발진주파수를 얻기 위해서 사용하고, 통상 온도특성이 좋은 AT컷이 사용되고 있다. 그림 2에 표시한 바와 같이, 진동자의 전극상에 대상가스를 흡착하는 막을

표 2. 개발된 냄새센서의 종류.

센서	선택성부여방법	장소	단점
산화물반도체가스센서	· 촉매(Pt, Ir, Pd) · 반도체 SnO ₂ , ZnO, CuO · 온도	· 온도에 비교적 둔감 · 오래전에 실용화 · 저농도에 민감	· 선택성의 자유도가 작다 · 고온 · 안정성, 내구성이 나쁘다(고동도)
QCM* 흡착막 SAW* 흡착막	· 흡착막재료	· 선택성자유도 크다 · 상온	· 습도에 민감하다 · 감도가 낮다(10~100ppm) · 고주파화가 필요
도전성포리마	· 포리마재료 · 촉매원자단	· 복합화, 집적화용이 · 상온	· 기술축적 미약 · 습도에 민감하다
MOS 가스센서	· 금속 종류(Pt, Ir, Pd) · 온도분포	· 집적화용이	· 고온 · 선택성 자유도 작다 · 측정계 복잡

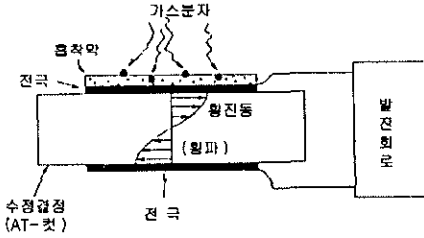


그림 2. 수정진동자 가스센서의 원리.

도포하면, 흡착에 의해 막의 질량이 증가한다. 진동자의 공진 주파수는 질량증가분 ΔM 에 비례하여 저하하지만 이 현상을 질량 부하 효과라고 부른다. 공진 주파수의 변화분 ΔF 는

$$\Delta F = -2.3 \times 10^6 \cdot F^2 \Delta M/A$$

로 된다. 여기서, F는 진동자의 공진 주파수, A는 전극 면적이 다.

F를 10 MHz로서 1 Hz의 주파수 변화를 측정할 수 있으면 가스 분자 흡착에 따라서 10ng 정도의 질량 변화를 관측하는 것이 가능하다.

시스템의 개념도를 그림 3에 표시하였다. 유기막을 8종 정도 선택하고, 각각을 수정 진동자의 전극상에 도포한다. 예를 들면, 술의 향이 각각의 막에 흡착되면 질량 부하 효과 때문에 수정진동자의 공진 주파수가 저하하고 df_1, df_2, \dots, df_n 으로 주파수 변화가 나타난다. 이들의 변화는 유기막의 종류에 의존하는 출력의 패턴 정보이고, 이 패턴이 술, 와인 및 위스키에 의해 미묘하게 변한다. 그래서, 컴퓨터에 측정값을 넣어 ANN(Artificial Neural Network, 인공 신경회로망)의 소프트웨어로 출력 패턴을 해석하고 향의 차이(여기서는 술의 차이)를 판별한다. 또한, 다변량 해석의 소프트웨어도 출력 패턴의 해석에 사용될 수 있다.

여기서는 ANN 중에서 가장 잘 알려져 있는 BP(Back Propagation, 역전파)학습법에 대해서 간단히 설명한다. 그림 3에 표시한 바와 같이 중간층 및 출력층에 인공적인 뉴런(○ 표시)이 각각 7개 및 5개정도 배치되어 있고, 각 뉴런의 반복학습 계수(실선부분)는 학습 알고리즘에 따라서 점차 변경되고, 소정의 냄새 샘플일 때만 출력단자에 큰 값이 나타나게 된다. 예를 들면, 위스키 향의 경우에는 1번 출력단자만이 1로서 출력되고, 그 이외의 단자는 0이고, 소주인 경우에는 2단자만이 출력이 1이고 다른 단자는 0이고, 이상과 같은 학습에 의해 반복학습 계수를 변경한다. 학습회수는 통상 수 천회에서 2만회 정도 행하고, 각각의 냄새를 보내고 난 후 학습 종료

후에는 곧 출력 단자가 응답하고, 냄새의 종류가 표시된다.

수정진동자의 구체적인 응답을 표시한다. 그림 4는 8종의 흡착 막을 갖는 수정 진동자 센서의 시간 응답 파형이다. ON 시점에서 냄새가스(벨카모 : 천연물질에서 유출하는 향의 원료)의 하나가 센서 표면에 공급되면 수 kHz에서 수백 Hz의 주파수 변화가 일어난다. OFF의 시점에서 가스의 공급이 정지되고 건조 공기가 센서 표면에 보내지면, 냄새분자가 탈착되고 발진 주파수는 원래 수준으로 돌아간다. 이 같은 냄새 분자의 공급, 흡착, 건조 공기에 의해서 탈착을 반복하여 측정된다.

냄새 센서의 개요를 그림 5에 보였다.[7]

이 시스템은 가스계, 전자계 및 수계에 의해 구성되어 있다. 가스계는 건조공기를 공급하는 고압 볼베, 유량을 일정하게 유지하는 유량조절기 및 냄새 샘플을 수납하는 시험관, 솔레

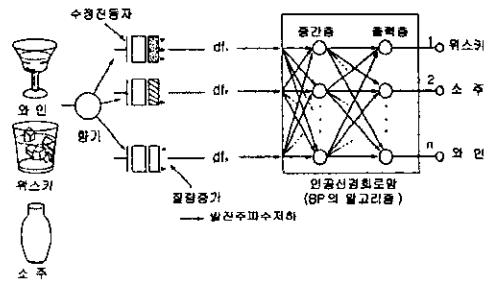


그림 3. 냄새 센싱 시스템의 구성도.

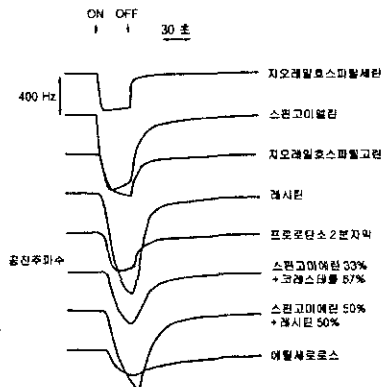


그림 4. 벨카모에 대응한 8종의 흡착 막을 갖는 수정 진동자 응답 패턴.

표 3. 위스키 향의 식별결과.

		식별 번호				
		0	1	2	3	4
샘플 번호	0	10	0	0	0	0
	1	0	9	1	0	0
	2	0	1	9	0	0
	3	0	0	0	10	0
	4	0	0	0	1	9

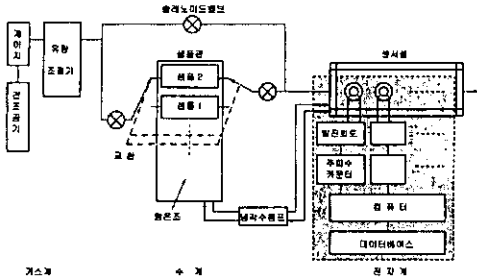


그림 5. 냄새 센싱 시스템의 구성. (10)

노이드 밸브, 유량 절환기구 및 센서셀(여기서 8종의 가스센서가 수납)로 되어 있다. 솔레노이드 밸브의 개폐와 절환 동작을 컴퓨터에 의해 제어하고, 그림 4에서 설명한 바와 같이 냄새 샘플과 건조공기를 교대로 센서 셀에 흐르게하고, 또한 동시에 다양한 종류의 냄새 샘플을 측정하는 것으로 되어 있다. 센서는 각각 발진회로에 접속시키고, 발진 주파수의 변화만이 주파수 카운트에 의해 측정되고, 결과는 모두 병렬적으로 컴퓨터에 입력시킨다. 입력된 센서 출력은 필요에 따라서 알고리즘에 따라서 연산처리가 가해진다. 냄새 샘플의 시험관 및 센서 셀의 온도는 냄새 증기의 발생 및 흡착량을 지배한다. 이 때문에 이들 온도는 향온수를 순환하여 일정하게 유지한다.

2.5 식별성능

표 3에 냄새 샘플로서, 5종의 위스키(보통사람은 알기 어렵다)를 선택한 경우 식별 결과를 표시한다. 센서 신호를 10 회 취하여 학습한 후 특별히 측정된 10회의 데이터를 사용하여 식별한 결과를 표 3에 보였다. 표의 행은 샘플의 번호, 열은 식별된 종류의 번호이다. 10회의 실험을 행하였기 때문에 대각선 상에 10의 문자가 배치되었으면 100%의 정확도이지만, 이 경우는 94%의 정확율도 되었다. 이제 CV(Coefficient of Variation)값이란 표준편차/평균값이고, 데이터의 오차 범위를 표시한다. 0.4%의 CV값은 우수한 값이고, 온도제어, 유량 계통의 세정 등 처리에 의해 의존한다.

실제의 향에 대해서 식별 실험 결과를 그림 6에 보였다. 여기서는 센서에 의해 8차원 데이터를 정보량이 많은 2개의 축을 선택하고, 이 2차원 평면위에 투영한다. 즉, 좌표 변환에 의해 정보를 압축하여 나누고, 주성분 분석의 산포도라고 부른다.

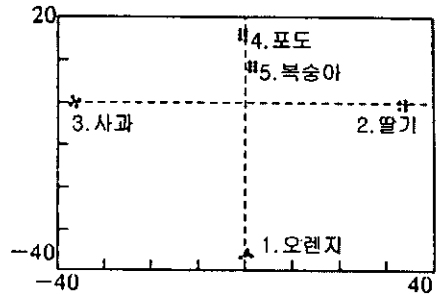


그림 6. 과일 향의 주성분 분석도.

사과, 오렌지등 5종의 향의 데이터 점이 분산도 작고 확실하게 종류를 분리하는 것이 가능하였다.

흡착막의 선택은 식별성능을 결정하는 위해 중요하다. 막의 재료는 지질막, 셀로로스 막, 가스크로마토 그래피로 사용되는 재료등 여러 가지가 사용되고 있다. 그 선택성은 식별해야 하는 냄새 샘플이 주어지면 다변량 해석을 사용하여 다수의 막재료의 식별 기여를 평가하고, 이 값이 큰 막재료를 선택한다. 그림 4의 막 재료에는 6종의 지질막 재료, 및 1종의 셀로로스가 보여진다. 이들 대부분이 생체막에 존재하는 재료와 유사한 것을 사용한다.

3. 맛 센서

냄새 센서와 같은 방식에 따라서 맛 센서의 개발이 행해지고 있다. 여기서는 미각기구를 설명한 후 맛 센서의 개요를 설명한다.

3.1 미각의 기구

미각의 메카니즘에 대해서는 넓게는 다음과 같이 이해 될 수 있다. 미각의 기본 맛은 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛, 매운 맛으로

생각되고 있다. 단맛에는 당, 짠맛에는 NaCl 등의 소금, 신맛은 H⁺, 쓴맛은 알칼로이드, 매운 맛은 아미노산과 핵산, 이상이 대표적인 맛 물질이다. 그러나, 이것들은 어디까지나 "대표적"인 것은 아니다. 맛 물질은 다양하고, 얼마 안되는 화학구조의 변화에 의해 맛은 상당히 변화한다. 예를들면, NaCl은 짠맛 물질이지만 KCl은 짠맛과 동시에 쓴맛을 가진다. 즉, 같은 계열의 화학 물질은 넓은 맛의 유사성을 갖는다. 미각의 규명은 혀 표면에 여러 가지의 맛 물질을 주고 맛 세포의 응답이 조사되고 있다. 그림 7(a)에 그 실험계와 결과를 보이고 있다. [8] 혀에는 맛을 저장하는 장소(미축)라고 불리는 미세포가 모여있다. 미세포 한 개에 미소전극을 자극하고 내부의 전위를 측정한다. 정상으로부터 50~90 mV의 부전위를 보이지만, 맛 물질의 자극이 더해지면 정의 전위 변화가 나타난다. 맛 물질로서 식염, 키닌(쓴맛), 초당, 염산(짠맛)을 주고 맛 물질을 변화시킬 때는 물로 혀 표면을 세정한다. 그림과 같은 실험에서는 식염에 가장 잘 응답하는 것이 다른 맛 물질에도 응답하고, 필요로 하는 맛 세포에는 강한 선택성(특이성)이 없는 것을 알았다. 맛 세포에 있어서 이들의 맛을 수용하는 장소는 그림 7(b)와 같이 생각되고 있다.

즉, 단맛과 쓴맛이 수용단백질, 짠맛과 신맛이 맛 세포 2분자막의 친수기 표면, 쓴맛이 2분자막의 소수기 부분에 놓여져 있다. [9]

이같이 미각에 있어서도 수용세포에 강한 특이성은 없고 다수세포의 출력 패턴으로부터 맛의 인식이 행해지고 있다. 따라서, 맛센서의 연구에 대해서도 이 방법을 쓰는 것이 시험되고 있고, 개발 실용화에 성공하고 있다. [11]

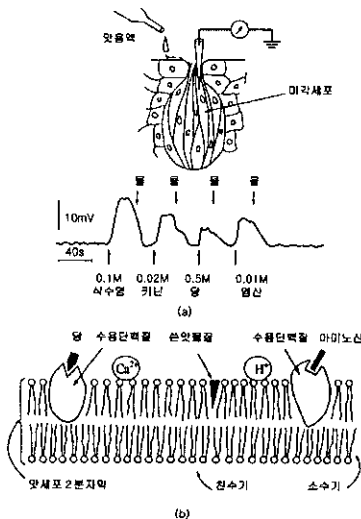


그림 7. 맛 세포의 맛응답 (a) 및 그 수용 장소(b)

3.2 맛 센서의 개발

각종의 지질막을 피복한 복수전극을 사용하는 맛 센서가 개발되었다. 그림 8에 전극의 구조를 표시하고 있다.

두께 2mm의 아크릴판에 직경 1.5mm의 Ag선을 넣고, 리드선과 함께 에폭시계 접착제로 고정한다. 지질막은 지질과 고정제로서 폴리염화비닐(400mg), 가스제로서 디옥틸페닐폴스파네이드(0.5ml)를 테트라바이토르프란(10ml)에 녹이고 샬렛 위에서 30℃로 건조 성막(약 200 μm)한 것이다. 테트라바이토르프란을 Ag선에 조금 도포하고 이 막을 압착하여 장착한다. 전극은 8채널로서 하고 표 8에 보인 8종의 지질을 표시한 양만큼 혼입하고, 성막한 후 장착한다. 막의 하전 상태를 변화하는 것에 의해서 재료를 선택하지만, 표 4의 1, 2, 3의 막은 수소 이온이 해리되면 부로 하전하고, 4는 중성, 5~8은 정으로 하전한다. (Cl⁻, Br⁻ 이온의 해리 때문에, 6은 낮은 pH시) 하전 상태에 의해 막이 맛 물질을 검지하는 능력을 갖도록 할 수 있다. 또한, 지질소수부의 탄소수, 탄소쇄의 수 등을 변화하고, 소수성의 맛 물질의 흡착에 변화를 준다.

비이커에 1mmol/l의 KCl 수용액을 넣고, 이것에 상기의 멀티채널 전극과 참조전극(포화 KCl+1% 차거운 분위기에서 Ag-AgCl선을 봉입)을 넣고, 그림 9의 측정계에 의해 각 전극의 전위를 측정(포텐시오메트릭 측정)한다. 이제 전극은 수시간 KCl 용액에 넣으면 맛 물질에 감응하게 되지만 이것은 그림 10과 같이 지질분자가 친수기를 물에 접촉시켜 배향하고 막 표면이 친수화하는것 때문이라고 생각한다. 배향한 지질분자가 이온을 해리하면 표면전하가 발생하고, 이것과 역극성의 이온이 수용액중에 모여 그림과 같이 전위 분포가 나타나고 확산 2중층 전위가 나타난다.

맛 물질을 수용액에 가하면 2중층 전위의 변화에 의해 A, B 점의 전위차가 변화하고 이것을 고압력 임피던스의 증폭기를 통하여 기록한다.

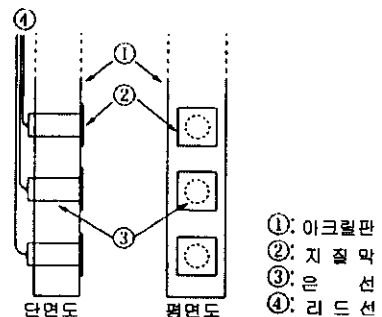


그림 8. 복수전극을 사용한 맛 센서.

표 4. 맛 센서에 사용되는 지질.

채널	지질	흡입량
1	디옥틸폴스페이드	0.2ml
2	코레스테롤	10ml
3	오레인산	0.2ml
4	테시알코올	0.2ml
5	트리옥틸메틸암모늄염화물	0.2ml
6	오레일아미노	0.025ml
7	디스테아릴디메틸암모늄	5mg
8	트리메틸스테아릴암모늄	2mg

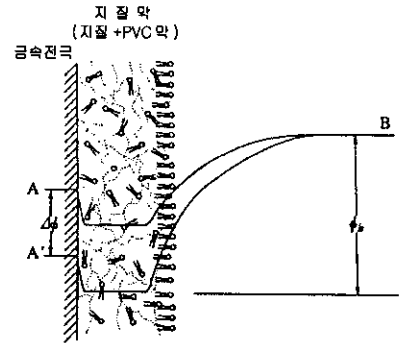
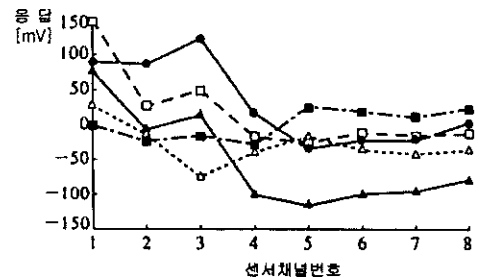


그림 10. 지질 막전극 표면의 모델.

기본 맛에 대하여 각 전극의 응답을 조사하였다. HCl(신맛), NaCl(짠맛), 키닌(쓴맛), 당(단맛), 구루타민산소다(MSG, 매운맛)의 농도를 가변하고 전극전위의 변화를 그렸다. 채널 1, 2, 3번의 전극은 HCl과 키닌에 민감하고, NaCl에 대해서는 1, 3번과 4~8번의 응답이 크지만, 서로 역극성이다. 당에는 모든 전극도 둔감하다. MSG에는 3번의 전극이 둔감하는 등의 것을 알았다. 특정 농도에 있어서 기본 맛의 전극을 각 채널에 대해서 그림 11에 그렸다. 기본 맛에 있어서 기본 맛의 전위를 각 채널에 대해서 그림 11에 그렸다. 기본 맛에 대해서 응답 패턴에 차이가 나기 때문에 맛의 인식이 가능하다.

막 표면 가까이의 내부에 침입한 이온에 의해 생긴 확산 전위, 및 맛 용액 중에서는 막 표면 고정 전하에 붙은 이온에 의해 확산 2중층 전위가 있고, 이 합이 ϕ_b 이다. ϕ_b 의 변화분이 막전위 변화의 출력 Δb 이다.

전극전위의 재현성 및 안정성은 중요하다. 본래 포텐시오메트릭 측정은 고임피던스의 측정이기 때문에 전기적 유도를 취하기 쉽다. 덧붙여, 그림 10과 같이 단분자 막을 표면에 갖는 전극의 계면전위 측정을 행하면, 오염물의 흡착, 지질분자의



- : 3 mmol/l HCl(신맛)
- ▲: 300 mmol/l NaCl(짠맛)
- : 3 mmol/l 키닌(쓴맛)
- : 1 mol/l 당(단맛)
- △: 100 mol/l 구루타민산소다(매운맛)

그림 11. 각 채널의 5기본 맛의 응답 패턴.

탈리 등에 의해 전위가 변동하기 쉽다. 이점에 관해서 측정 사이클중에 기준 용액에 전극을 수회 침입하여 전위 변화를 측정하는 과도적 측정법에 의해 변동폭을 1 mV이하로 억제하고 있다. 이것에 대해서 정상전위를 측정하도록 하려면 전극을 기준 용액과 시료 용액사이에서 변환할 때에 모든 전극의 전위 출력이 안정하게 될 때까지(변조폭 1mV이내) 장시간(수분 이내) 기다려야하므로 실용적이지 않다.

실제의 식품에 대해서 멀티채널전극의 응답은 음료를 중심으로 하여 조사하였다. 그림 12에 커피, 맥주, 청량 음료의 응답 패턴을 보였다. [11]

각각의 음료에 대해서 응답은 특징적인 패턴을 갖고있고, 음료의 차이를 인식할 수 있었다. 또한, 음료에 있어서 미묘한 맛의 차이(상품명의 차이)도, 커피, 맥주등에 대해서 인식할 수 있다.

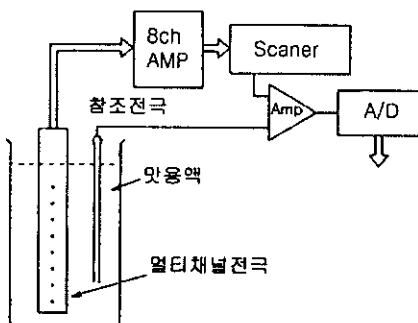


그림 9. 맛 센서용 멀티 채널 전극의 측정계.

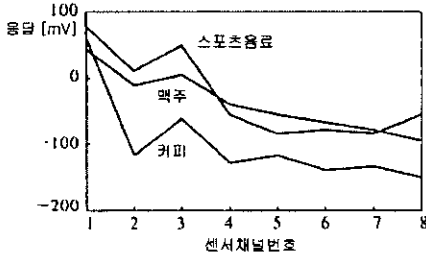


그림 12. 3종류 식품의 응답 패턴.

4. 금후의 전망

감성의 시대가 도래하고 있는 지금, 냄새와 맛은 생활에 밀착한 정보이고, 우리 생활의 베이스이고 기본등에 광범위한 영향을 주고 있다. 냄새 및 맛을 우리의 생활 정보로서 파악하고, 제어하는 것이 요망되고 있고, 이 때문에 간편한 평가 수단으로서 냄새 및 맛 센서가 필요하다. 또한, 장래, 냄새 및 맛을 전기적으로 기록하기도 하고 멀리 전달하는 것도(즉, 냄새 및 맛의 통신) 생각 할 수 있다. 또한, 냄새 및 맛 센서가 각종의 분야에서 사용될 수 있고, 응용이 넓게되고 있다. 예를 들면, 술, 된장 등의 양조과정의 측정, 미네랄 워터의 구별, 우유, 토마토의 평가 및 쌀의 냄새 및 맛 평가 등이 있다. 금후, 단맛, 향기롭고 기분을 좋게하는 맛 센서 및 냄새 센서의 감도가 향상되면, 더욱 쉽게 실생활에 사용할 수 있는 시스템도 고려해 볼 수 있다.

참고 문헌

- [1] Noboru Yamazoe, "Gas Sensor", T. IEE Japan, Vol. 115-E, No. 1, pp.30-33, 1995.
- [2] 栗原 堅三, "味覺, 嗅覺", p.143, 化學同人, 1990
- [3] 栗岡 豊, 外池光雄: "いの應用工學", 森 憲作 pp.14-23, 朝倉書店, 1993.
- [4] T. Moriizumi et al, "Sensors and Sensory Systems for an Electronic Nose", Kluwer Academic Publishers, pp.217-236, 1992.
- [5] Michihiro Ohnishi et al, "Fundamental Properties and Characteristics of a Gas Sensitive Device" JJAP, Vol. 33, pp.5987-5994, 1994.
- [6] K. C. Persaud et al, "Intelligent Instrument & Computers", Elsevier Science Publishing, pp.147-154, 1991.
- [7] 森泉: 'いセンシングシステム', 電氣 化學, Vol. 62, No. 3, pp. 207-211, 1994.

- [8] 鈴木, 田崎, 中浜: "生理學通論Ⅰ", p.18, 共立全書, 1972
- [9] 栗原, "味覺, 嗅覺", p.39, 化學同人, 1990.
- [10] K. U. Jang et al, "A Study on the Sensing and Degradation Properties of QCM Gas Sensor Coated with the Lipid", Trans. KIEE. Vol. 49P, No. 2, pp.60-65, 2000.
- [11] 都甲 潔, "味覺センサ", 朝倉書店, 1993.

저 자 약 력

성명 : 장 경 욱

◆학력

- 1986년 광운대 전기공학과(학사)
- 1988년 광운대 전기공학과(석사)
- 1993년 광운대 전기공학과(박사)

◆경력

- 1999년-2000년 일본 동경공업대학(Post-Doc.)
- 1995년-현재 경원전문대학 자동차과 조교수