

고분자 지질막 전극 센서의 맛 반응 평가

Taste Response of Electrodes Coated with Polymeric Lipid Membrane

조용진 박인선 김남수
정회원
Y. J. Cho I. S. Park N. S. Kim

ABSTRACT

The fourteen different electrodes coated with polymeric lipid membrane were evaluated to selectively monitor the sweet, salty, sour and bitter tastes, and umami. The polymeric lipid membrane consisted of the three components, or polymer matrix, plasticizer and electroactive material, the compositional ratio of which was 1:1.25:1. Herein, the 14 different electroactive materials were used. Sucrose, NaCl, citric acid, caffeine and MSG were used as standard materials of sweet, salty, sour and bitter tastes, and umami. The linear responses of each electrode regarding 5 tastes were analyzed by means of the correlation coefficient between electric potential difference and concentration of a taste material when the linearity was based on a linear model and a thermodynamic model, respectively. As for salty taste, the electrode coated with valinomycin had a selective linearity at the significance level of 0.01. For monitoring sweet taste, the electrode with oleylamine and the electrode with the mixture of tri-*n*-octylmethylammonium chloride and dioctylphosphate (2:8) showed the significant linearities at the levels of 0.05 and 0.10, respectively.

Keywords : Taste response, Polymeric lipid membrane, Electrode.

1. 서 론

전통적으로 맛의 평가는 숙련된 패널(panel)에 의해 관능적으로 이루어지고 있다. 사람이 인식할 수 있는 4대 맛 성분은 단맛(sweet taste), 짠맛(salty taste), 신맛(sour taste), 쓴맛(bitter taste)으로 구분하고 있다. 또한 감칠맛(umami)을 별도로 규정하여 5대 맛 성분으로 구분하기도 한다. 식품의 맛에 대한 관능평가는 외관상 주관적 판단에 의존하는 듯이 보일지라도 사실은 맛의 인식에 대한 과학적 원리에 기초하고 있다. 그러나 4대 또는 5

대 기본 맛들의 조합에 의해 나타나는 식품의 맛을 인간이 인식하는 과정은 매우 복잡하기 때문에 맛의 인식에 대한 과학적 이해는 아직 간단명료하게 이해되고 있지 못한 형편이다.

사람이 맛을 인식하는 기본적인 메커니즘은 혀 세포막의 맛 수용기가 맛 성분과 고유한 반응을 가지기 때문으로 이해되고 있다. 이때의 화학적 결합력은 수소결합, 정전기적 결합, 친유성 결합 등에 의해 나타난다. 신맛은 수소 이온과 맛 수용기 사이의 비대칭성 반응에 의해 발생되며, 짠맛은 Na⁺ 이온과 Cl⁻ 이온이 맛 수용기와의 대칭적

This study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea. The article was submitted for publication in April 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2002. The authors are Y. J. Cho, Senior Researcher, I. S. Park, Post-doctoral Research Associate, and N. S. Kim, Principal Researcher, Korea Food Research Institute, Songnam, Korea. The corresponding author is Y. J. Cho, Senior Researcher, Korea Food Research Institute, Songnam, Korea. E-mail: <yjcho@kfri.re.kr>

인 정전기적 결합에 의해 나타난다고 보고하고 있다. 쓴맛의 경우, 원자의 입체거리(steric distance)가 주요 인자로 작용하며, 단맛의 경우, AH-B 개념이 제시되고 있다(Shallenberger, 1993, 1996; Ishibashi et al., 1988; Fennema, 1985).

이러한 맛 성분의 인식 메커니즘에 근거하여 맛 센서의 개발에 대한 관심이 이어져 오고 있다. 외국의 경우, 이미 맛 센서 개발에 관하여 많은 연구 사례가 보고되어 있다. Iiyama 등(1992)은 octadecyl mercaptan 지질 단분자막을 금 전극 위에 화학적 흡착법에 의해 고정시켜 퀴논(quinone), 카페인(caffeine) 등의 맛 성분에 대한 환식 전기량계(cyclic voltammogram) 특성을 비교한 결과, 최고 전류의 강도와 위치가 맛 성분에 따라 다르게 나타났다고 보고하였다. Hayashi 등(1990)은 여러 종류의 지질막을 은 전극에 고정시켜 다채널을 구성한 후 기본 맛 성분들에 대한 반응을 전위차로 측정한 결과, 실험에 사용된 맛을 잘 구분할 수 있었을 뿐만 아니라 재현성도 우수하였다고 보고하였다. Akiyama 등(1996), Oohira와 Toko(1996), Toko 등(1997)과 같은 연구자들도 지질막과 맛 성분 사이의 반응을 이용하여 맛 전극을 개발하여 제시하고 있다. 이와 같이 맛 센서의 개발에 있어 대부분 지질 전극을 이용하는 이유는 사람의 혀 세포막이 인지질을 포함하는 지질 성분이 주성분을 이루고 있기 때문이다. 외국의 경우, 이미 이 분야에서의 연구 성과는 부분적으로 상당한 수준까지 이르고 있다. 그럼에도 불구하고 보다 성능이 탁월한 맛 센서의 개발을 위해 지속적으로 연구가 수행되고 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이 맛 수용기는 지질이 최대 구성 성분임에는 틀림이 없으나, 혀 세포막은 지질의 구조, 단백질과 같은 다른 성분의 존재 및 상호작용 등 매우 복잡한 구조와 그에 따른 기능을 보이는 생체막(biomembrane)의 특성을 가지고 있어 맛 센서로 적합한 인공 지질막을 개발하기 위해서는 맛과 지질막의 반응 특성에 관한 연구가 계속 요구되고 있다.

본 연구에서는 우리나라의 전통 음료 및 주류의 맛 평가 시스템 개발을 위한 선행 연구로서 맛 센서용 지질 전극을 개발하고자 한 바, 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다. 첫째, 여러 가지 고분자 지질을 백금선에 흡착시켜 지질막 전극을 제조

하고, 둘째, 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛 및 감칠맛의 5대 맛 성분에 대한 지질막 전극의 반응을 분석하여 5대 맛 성분에 선택적으로 반응하는 전극을 선발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 고분자 지질막 전극 제조

고분자 지질막은 지지체(polymer matrix), 가소제(plasticizer) 및 전기활성물질(electroactive material)을 1:1.25:1로 혼합하여 구성하였다. 고분자 지지체로는 고분자 폴리염화비닐(high molecular weight polyvinyl chloride) (Sigma, USA)를 사용하였으며, 가소제로는 디-*n*-옥틸페닐포스포네이트(di-*n*-octylphenylphosphonate) (Aldrich, USA)를 사용하였다. 전기활성물질은 고분자막이 수용액 속의 전해질 물질과 전기화학반응을 일으키는 주성분으로서 이 물질의 종류에 따라 맛 성분에 대한 전기화학반응이 다르게 나타난다. 본 연구에서는 혀 세포막의 맛 수용기가 맛 성분에 대해서 가지는 선택성과 비선택성을 고려하여 지질 물질과 이온담체(ionophore)로 구성된 14종의 전기활성물질을 선발하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 14종의 전기활성물질을 나타낸 것이다.

표 1과 같은 14종의 전기활성물질을 각각 지지체와 가소제에 혼합하여 혼합용액을 만든 후, 직경이 0.5 mm인 백금선에 도포하여 침상형 고분자 지질막 전극(needle-type electrode coated with polymeric lipid)을 제조하였다. 한편, 지질막 전극을 작용극(working electrode)으로 사용할 때에 대해서 0.5 mm 직경의 은선을 기준전극(reference electrode)으로 사용하였다. 이때 은선은 0.1 M HCl에서 20 μ A로 2시간 동안 전기분해하여 염화은의 막이 형성되도록 하여 은/염화은 전극을 제조하여 기준전극으로 사용하였다.

나. 지질막 전극의 맛 반응 평가

침상형 고분자 지질막 전극의 맛 성분에 대한 반응을 평가하기 위해 그림 1과 같이 장치를 구성하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 지질막 전극을

Table 1 Fourteen different electroactive materials

Electrode no.	Electroactive material	Supplier of electroactive material
1	Oleylamine	Aldrich (USA)
2	Decyl alcohol	Aldrich (USA)
3	tri- <i>n</i> -octylmethylammonium chloride (TOMA)	Dosindo (Japan)
4	dioctylphosphate (DOP)	Aldrich (USA)
5	DL- α -phosphatidylcholine dipalmitoyl	Sigma (USA)
6	TOMA:DOP=7:3	-
7	TOMA:DOP=5:5	-
8	TOMA:DOP=2:8	-
9	cholesterol	Sigma (USA)
10	tridodecylmethylammonium chloride	Fluka (Switzerland)
11	valinomycin	Sigma (USA)
12	nonactin	Sigma (USA)
13	monensin decyl ester	Fluka (Switzerland)
14	tridodecylamine	Sigma (USA)

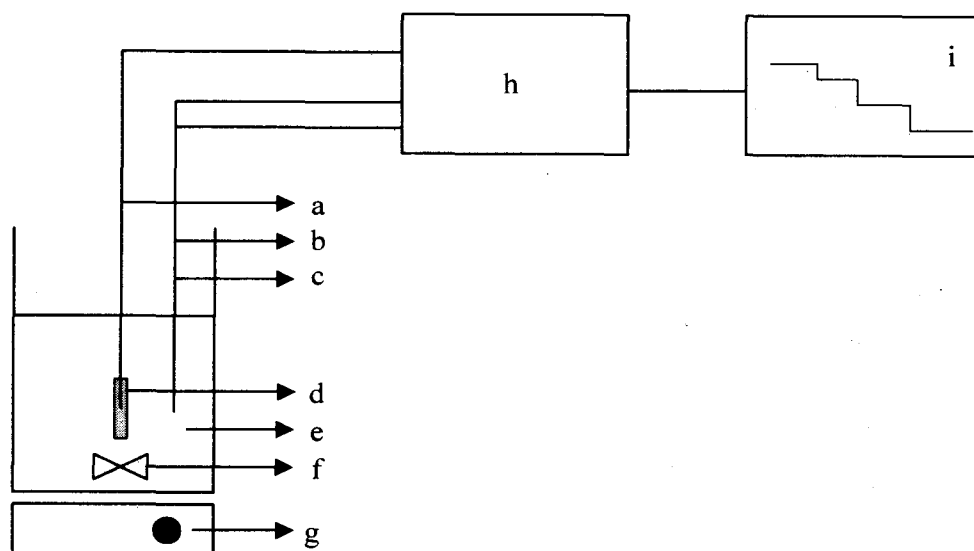


Fig. 1 Taste sensing system including the needle-type electrode coated with polymeric lipid. (a: working electrode; b: reference electrode; c: counter electrode; d: lipid membrane; e: 1 mM KCl solution; f: stirring bar; g: stirrer; h: potentiostat; i: recorder)

맛 변환기로 사용하였고, 검출기로는 전위차계 (Model 283, EG & G, USA)를 사용하였으며, 전위차의 값은 기록계(Model EPR 3511, TOA, Japan)로 기록하였다. 전위차계의 결선법은 2점식으로 하여 기준전극(reference electrode)과 카운터전극(counter electrode)을 한 점으로 연결하여 결선하였다.

이와 같이 구성된 장치에서, 전극이 작동할 수 있도록 1 mM KCl 용액을 바탕용액으로 사용하였다. 여기에 표 2와 같이 선정된 표준 맛 물질을 투입하여 전극의 맛 성분에 대한 반응을 측정하였다. 측정은 각 표준 맛 용액 25 mL을 취하여 실온의 일정한 온도에서 2반복으로 실시하였다.

본 연구에서는 표 2에 표시한 맛 성분의 농도별 반응에 대해서 다음의 식 (1) 및 (2)에 근거하여 농도와 전위차 사이의 상관분석을 실시하였다. 즉, 첫째, 식 (1)의 경우 어떤 물질의 농도가 매우 희박할 때 농도와 전위차 사이에는 선형적 모형이 지배한다는 가설에 기초하는 것이며, 둘째, 식 (2)의 경우는 이상적인 열역학 시스템에서 전기화학적 퍼텐셜(electrochemical potential)은 화학적 농도의 자연로그값에 비례한다는 이론(Atkins, 1982)에 근거를 두고 있다.

선형모형

$$\Delta E_A = \alpha + \beta c_A \quad (1)$$

여기서, ΔE_A : 물질 A에 의해 나타나는 전위차

c_A : 물질 A의 농도

α, β : 상수

열역학 모형

$$\mu_A = \mu_A^0(P, T) + RT \ln(c_A) \quad (2)$$

여기서, μ_A : 온도 T에서의 물질 A의 전기화학적 퍼텐셜

$\mu_A^0(P, T)$: 기준 조건에서의 물질 A의 전기화학적 퍼텐셜

c_A : 물질 A의 농도

R : 기체상수

T : 온도

3. 결과 및 고찰

가. 선형모형에 의한 반응 분석

표 3에서 7은 각각 짠맛(NaCl), 단맛(sucrose), 신맛(citric acid), 감칠맛(MSG) 및 쓴맛(caffeine) 성분 에 대해서 농도에 따른 전위차를 선형 모형으로 취급하였을 때 전위차와 농도 사이의 상관계수 및 유의확률을 나타낸 것이다.

표 3에서 보는바와 같이, 짠맛에 대한 선형성이 유의수준 0.05에서 나타난 고분자 지질막 전극은 전극 2, 전극 5 및 전극 12이었고 이때의 상관계수는 각각 0.93, 0.89 및 0.91로 나타났으며, 전극 13은 유의수준 0.10에서 상관계수가 0.83인 선형성을 보였다.

표 4는 단맛에 대한 전극들의 선형성을 분석한 결과인데, 원값의 농도에 따른 전위차는 대부분 선형적 반응을 보이지 않았으며, 전극 8만이 유의수준 0.10에서 선형적 반응을 보인바, 상관계수는 0.82로 나타났다.

표 5는 신맛에 대한 전극들의 반응을 분석한 것으로서, 전극 2만이 상관계수가 0.82로서 유의수준 0.10에서 선형성을 보였다.

표 6은 감칠맛에 대한 전극들의 반응을 나타낸 것으로, 전극 7은 유의수준 0.05에서, 전극 5와 전극 10은 유의수준 0.10에서 선형성을 보였다. 농도

Table 2 Standard taste materials and their concentrations

Taste	Standard material	Concentrations (M)
Sweet	Sucrose	0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001
Salty	NaCl	0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001
Sour	Citric acid	0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001
Bitter	Caffeine	0.001, 0.0001, 0.00001, 0.000001
Umami	Monosodium glutamate	0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001

Table 3 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and NaCl concentration in a linear model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
-0.56 (0.3265)	0.93* (0.0225)	0.50 (0.3911)	0.43 (0.4676)	0.89* (0.0456)	0.45 (0.4518)	0.44 (0.4634)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
0.29 (0.6393)	0.58 (0.3031)	0.37 (0.5380)	0.63 (0.2502)	0.91* (0.0296)	0.83* (0.0800)	0.57 (0.3167)

Notes 1) *: Significant at level of 0.05.

2) *: Significant at level of 0.10.

3) Values in parentheses designate significance probabilities.

Table 4 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and sucrose concentration in a linear model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
0.57 (0.3198)	-0.11 (0.8620)	-0.67 (0.2144)	0.16 (0.7964)	0.79 (0.1140)	0.53 (0.3581)	0.55 (0.3352)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
0.82* (0.0900)	0.65 (0.2373)	0.16 (0.7966)	0.38 (0.5324)	0.52 (0.3701)	0.69 (0.1959)	0.51 (0.3773)

Notes 1) *: Significant at level of 0.10.

2) Values in parentheses designate significance probabilities.

Table 5 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and citric acid concentration in a linear model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
-0.02 (0.9770)	0.82* (0.0898)	0.17 (0.7875)	-0.71 (0.1816)	0.74 (0.1511)	0.07 (0.9143)	0.80 (0.1039)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
-0.14 (0.8272)	-0.42 (0.4812)	-0.08 (0.8951)	-0.49 (0.3972)	-0.50 (0.3952)	0.04 (0.9553)	-0.22 (0.7166)

Notes 1) *: Significant at level of 0.10.

2) Values in parentheses designate significance probabilities.

와 전위차 사이의 상관계수를 살펴보면, 전극 7의 경우 0.93이었으며, 전극 5와 전극 10의 경우는 각각 0.83과 0.85이었다.

표 7은 쓴맛에 대해서 지질막 전극들의 선형성을 분석한 결과를 나타낸 것으로, 유의수준 0.01에서 선형성을 보인 전극은 전극 13으로서 농도와

전위차 사이의 상관계수가 0.99나 되었다. 유의수준 0.05에서 선형성을 보인 전극들은 전극 7, 전극 9 및 전극 12로서 농도와 전위차 사이의 상관계수가 각각 0.99, -0.99 및 0.96으로 나타났다. 전극 4의 경우 상관계수는 0.93으로서 유의수준 0.10에서 선형성을 보이는 것으로 나타났다.

Table 6 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and MSG concentration in a linear model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
0.76 (0.1341)	0.76 (0.1350)	0.79 (0.1132)	0.50 (0.3917)	0.83* (0.0822)	-0.53 (0.3607)	-0.93* (0.0207)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
0.22 (0.7235)	0.65 (0.2336)	0.85 (0.0658)	0.60 (0.2849)	0.78 (0.1189)	0.07 (0.9073)	0.58 (0.3092)

Notes 1) *: Significant at level of 0.05.
 2) †: Significant at level of 0.10.
 3) Values in parentheses designate significance probabilities.

Table 7 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and caffeine concentration in a linear model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
0.03 (0.9703)	0.57 (0.4294)	-0.05 (0.9454)	0.93* (0.0652)	0.79 (0.2107)	-0.50 (0.4988)	0.99* (0.0134)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
-0.10 (0.8960)	-0.99 (0.0130)	0.70 (0.3018)	0.37 (0.6273)	0.96* (0.0388)	0.99** (0.0038)	-0.01 (0.9857)

Notes 1) **: Significant at level of 0.01.
 2) *: Significant at level of 0.05.
 3) †: Significant at level of 0.10.
 4) Values in parentheses designate significance probabilities.

나. 열역학 모형에 의한 반응 분석

표 8에서 12는 각각 짠맛(NaCl), 단맛(sucrose), 신맛(citric acid), 감칠맛(MSG) 및 쓴맛(caffeine) 성분에 대해서 농도에 따른 전위차를 열역학 모형으로 취급하였을 때 전위차와 자연로그 변환 농도 사이의 상관계수 및 유의확률을 나타낸 것이다.

표 8은 짠맛에 대한 전극들의 반응을 분석한 것으로서, 전극 5, 전극 11 및 전극 13에서 NaCl의 로그변환 농도와 전위차 사이의 상관계수는 각각 0.97, 0.96 및 0.97로 나타나 유의수준 0.01에서 선형성을 보였다. 전극 2, 전극 3, 전극 9, 전극 12 및 전극 14의 경우 상관계수가 각각 0.92, 0.92, 0.92, 0.92 및 0.90으로 나타났으며, 이러한 수준은 유의수준 0.05에서 선형성을 가지는 것이다. 전극 4, 전극 7 및 전극 10은 유의수준 0.10에서 선형성

을 보였으며, 이때의 로그변환 농도와 전위차 사이의 상관계수는 각각 0.83, 0.81 및 0.81로 나타났다.

표 9는 단맛에 대한 전극들의 반응을 분석한 결과이다. 유의수준 0.05에서 4종의 전극들이 선형성을 보인 바, 전극 1, 전극 5, 전극 12 및 전극 13이 해당하여 자당(sucrose)의 로그변환 농도와 전위차 사이의 상관계수가 각각 0.95, 0.89, 0.91 및 0.90으로 나타났다. 전극 7의 경우 상관계수가 0.83으로 나타나 0.10의 유의수준을 보였다.

표 10은 신맛에 대한 전극들의 선형성을 분석한 결과이다. 전극 5의 경우 구연산(citric acid)의 로그변환 농도와 전위차 사이의 상관계수가 0.98로서 유의수준 0.01의 유의성을 보였다. 전극 2와 전극 7의 경우 상관계수는 각각 0.94와 0.90으로서는 0.05의 유의수준에 포함되는 것이다.

Table 8 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and log-scaled concentration of NaCl in a thermodynamic model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
-0.67 (0.2160)	0.92* (0.0252)	0.92* (0.0270)	0.83* (0.0791)	0.97** (0.0054)	0.73 (0.1576)	0.81* (0.0937)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
0.71 (0.1798)	0.92* (0.0246)	0.81* (0.0950)	0.96** (0.0096)	0.92* (0.0245)	0.97** (0.0055)	0.90* (0.0385)

Notes 1) **: Significant at level of 0.01.
 2) *: Significant at level of 0.05.
 3) †: Significant at level of 0.10.
 4) Values in parentheses designate significance probabilities.

Table 9 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and log-scaled concentration of sucrose in a thermodynamic model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
0.95* (0.0116)	0.50 (0.3907)	-0.04 (0.9509)	-0.49 (0.4058)	0.89* (0.0403)	0.70 (0.1867)	0.83* (0.0832)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
0.78 (0.1200)	0.44 (0.4622)	-0.41 (0.4899)	-0.26 (0.6690)	0.91* (0.0345)	0.90* (0.0354)	0.66 (0.2282)

Notes 1) *: Significant at level of 0.05.
 2) †: Significant at level of 0.10.
 3) Values in parentheses designate significance probabilities.

Table 10 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and log-scaled concentration of citric acid in a thermodynamic model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
0.15 (0.8069)	0.94* (0.0164)	0.36 (0.5538)	-0.40 (0.5063)	0.98** (0.0046)	0.48 (0.4095)	0.90* (0.0392)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
-0.03 (0.9583)	-0.09 (0.8802)	0.15 (0.8128)	-0.29 (0.6323)	-0.10 (0.8774)	0.60 (0.2868)	-0.24 (0.7019)

Notes 1) **: Significant at level of 0.01.
 2) *: Significant at level of 0.05.
 3) Values in parentheses designate significance probabilities.

표 11은 감칠맛에 대한 지질막 전극들의 반응을 나타낸 것이다. 전극 3에서 MSG의 로그변환 농도와 전위차 사이의 상관계수는 0.88이며, 전극 5와 전극 7의 경우 상관계수는 각각 0.86와 0.88로 나타났다. 이러한 수준은 전극 3의 유의수준이 0.05

이며, 전극 5와 전극 7의 유의수준이 0.10에 해당하는 것이다.

표 12는 쓴맛에 대한 전극들의 반응을 나타낸 것이다. 전극 5의 경우 카페인의 로그변환 농도와 전위차 사이의 상관계수는 0.99로서 유의수준 0.01

Table 11 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and log-scaled concentration of MSG in a thermodynamic model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
0.62 (0.2631)	0.75 (0.1417)	0.88* (0.0464)	0.45 (0.4523)	0.86* (0.0584)	-0.80 (0.1033)	0.88* (0.0506)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
-0.46 (0.4332)	0.51 (0.3778)	0.69 (0.1941)	0.26 (0.6750)	0.68 (0.2042)	-0.46 (0.4361)	0.06 (0.9199)

Notes 1) *: Significant at level of 0.05.
 2) †: Significant at level of 0.10.
 3) Values in parentheses designate significance probabilities.

Table 12 Correlation coefficients and significance probabilities between electric potential difference and log-scaled concentration of caffeine in a thermodynamic model

Electrode 1	Electrode 2	Electrode 3	Electrode 4	Electrode 5	Electrode 6	Electrode 7
0.19 (0.8052)	0.17 (0.8333)	-0.53 (0.4742)	0.57 (0.4256)	0.99** (0.0053)	-0.15 (0.8454)	0.88 (0.1160)
Electrode 8	Electrode 9	Electrode 10	Electrode 11	Electrode 12	Electrode 13	Electrode 14
0.08 (0.9189)	-0.90* (0.0957)	0.49 (0.5137)	0.26 (0.7435)	0.67 (0.3255)	0.87 (0.1336)	-0.54 (0.4588)

Notes 1) **: Significant at level of 0.01.
 2) †: Significant at level of 0.10.
 3) Values in parentheses designate significance probabilities.

에서 유의한 선형성을 보였다. 전극 9의 경우 상관계수는 -0.90으로서 0.10의 유의수준에 해당하는 것으로 나타났다.

다. 전극 센서의 맛 반응 평가

표 13은 5종의 기본 맛 즉, 짠맛, 단맛, 신맛, 감칠맛 및 쓴맛에 대해서 맛 성분의 원값 농도 및 자연로그 변환 농도에 따라 통계적으로 유의한 전위차를 보인 전극들을 총괄하여 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제작한 14종의 고분자 지질막 전극들은 맛 성분의 종류에 따라서 다양한 반응을 보임을 알 수 있다.

식품에 대한 맛을 효과적으로 평가하기 위해서는 식품의 맛이 5종의 기본 맛으로 구성되어 있다는 이론에 근거하여 각각의 기본 맛에 대해서만 선택적으로 선형성을 보이는 지질막 전극들을 선

발하여 다전극 맛 센서를 개발해야 한다. 이러한 관점에서 표 13을 토대로 각각의 맛 성분을 선택적으로 감지할 수 있는 지질막 전극들을 선별하면 다음과 같다.

짠맛 감지용 전극으로서 짠맛에 대해서는 선형성이 탁월하면서 다른 맛 성분에 대해서는 비선택적 반응을 보이는 전극들이 바람직할 것이다. 전극 5, 전극 11 및 전극 13은 짠맛에 대한 선형성이 탁월한 것으로 분류되었다. 그러나 전극 5는 신맛과 쓴맛에 대해서도 선형적 반응을 보였으며, 전극 13 또한 쓴맛에 대해서 0.01의 유의수준에서 고도로 유의한 반응을 보였다. 따라서 발리노마이신(valinomycin)이 도포된 전극 11이 5종의 기본 맛 중에서 짠맛을 선택적으로 잘 감지할 것으로 기대된다.

또한, 올레일아민(oleylamine)이 도포된 전극 1과 트리-n-옥틸메틸염화암모니아(tri-n-octylmethylammo

Table 13 Electrodes linear-responded regarding taste substances

Taste substance	Linear-responded electrode	
	Based on original concentration	Based on log-scaled concentration
NaCl	Electrode 2* Electrode 5* Electrode 12* Electrode 13*	Electrode 2* Electrode 3* Electrode 4* Electrode 5** Electrode 7* Electrode 9* Electrode 10* Electrode 11** Electrode 12* Electrode 13** Electrode 14*
Sucrose	Electrode 8*	Electrode 1* Electrode 5* Electrode 7* Electrode 12* Electrode 13*
Citric acid	Electrode 2*	Electrode 2* Electrode 5** Electrode 7*
MSG	Electrode 5* Electrode 7* Electrode 10*	Electrode 3* Electrode 5* Electrode 7*
Caffeine	Electrode 4* Electrode 7* Electrode 9* Electrode 12* Electrode 13**	Electrode 5** Electrode 9*

Notes 1) **: Significant at level of 0.01.
 2) *: Significant at level of 0.05.
 3) †: Significant at level of 0.10.

nium chloride)와 디옥틸인산(dioctylphosphate)이 2:8로 혼합되어 도포된 전극 8은 단맛에 대해서 각각 0.05 및 0.10의 유의수준에서 선택적 선형성을 보인 반면에 다른 맛 성분들에 대해서는 유의한 선형성을 보이지 않아 단맛 감지용 전극으로 활용할

수 있을 것으로 기대된다.

이와 같이 유의수준 0.10 이하에서 유의한 선택성을 보인 전극들은 향후 맛 센서 배열을 구성할 때 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 한편, 전극 5는 5종의 기본 맛에 대해 모두 선형적 반응을 보여 기본 맛에 대한 선택적 감지용 전극으로는 효용성이 불량한 것으로 나타났지만, 향후 맛 센서 배열을 구성할 때 전체 맛 성분의 농도를 감지하는 전극으로는 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

그러나, 나머지 맛 성분들에 대해서 유의한 선택적 선형성을 보이는 전극들은 발견되지 않았다. 신맛, 감칠맛, 쓴맛에 대해서 선택적으로 선형성을 가지는 전극들이 선발을 위해서는 앞으로 지속적인 연구가 요구된다.

4. 요약 및 결론

단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛 및 감칠맛의 기본 맛에 대한 14종의 고분자 지질막 전극들의 효용을 평가하고자 하였다. 고분자 지질막은 지지체, 가소제, 전기활성물질을 1:1.25:1로 혼합하여 제조하였으며, 이 용액을 백금선에 도포하여 14종의 고분자 지질막 전극들을 자체 제작하였다. 5가지 기본 맛은 자당, 구연산, 식염, MSG를 이용하여 각각 10^{-5} ~ 10^{-1} M의 농도로, 그리고 카페인을 이용하여 10^{-6} ~ 10^{-3} M의 농도로 조절하여 표준 맛으로 사용하였다. 14종의 전극들이 각 맛 성분에 대해서 나타내는 반응을 선형 모형과 열역학 모형에 근거하여 선형성을 분석한 결과, 다양한 반응 특성을 보였다. 그 중에서 발리노마이신이 도포된 전극 11은 5종의 기본 맛 중에서 짠맛에 대해서는 유의수준 0.01에서 높은 선형성을 보이면서 다른 맛 성분에 대해서는 비선택적 반응을 보이는 것으로 나타났다. 또한, 올레일아민이 도포된 전극 1과 트리-*n*-옥틸메틸염화암모니아와 디옥틸인산이 2:8로 혼합되어 도포된 전극 8은 단맛에 대해서 각각 0.05 및 0.10의 유의수준에서 선택적 선형성을 보인 반면에 다른 맛 성분들에 대해서는 유의한 선형성을 보이지 않아 단맛 감지용 전극으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 신맛, 감칠맛 및 쓴맛에 대해서 선택적으로 선형성을 가지는 전극들을 개발하기 위해서는 앞으로 지속적인 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

1. Akiyama, H., K. Toko and K. Yamafuji. 1996. Detection of taste substances using impedance change of phospholipid Langmuir Blodgett membrane. *Japanese J. Appl. Phys.* 35:5516-5521.
2. Atkins, P. W. 1982. *Physical Chemistry*, 2nd ed. W. H. Freeman and Company, San Francisco, USA.
3. Fennema, O. R. (ed.). 1985. *Food Chemistry*, 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
4. Hayashi, K., M. Yamanaka, K. Toko and K. Yamafuji. 1990. Multichannel taste sensor using lipid membranes. *Sensors Actuators B* 2:205-213.
5. Iiyama, S., Y. Miyazaki, K. Hayashi, K. Toko, K. Yamafuji, H. Ikezaki and K. Sato. 1992. Highly sensitive detection of taste substances using monolayer lipid membrane. *Sensors Materials* 4(1):21-27.
6. Ishibashi, N., K. Kouge, I. Shinida, H. Kanehisa and H. Okai. 1988. A mechanism for bitter taste sensibility in peptides. *Agric. Biol. Chem.* 52(3): 819-827.
7. Oohira, K. and K. Toko. 1996. Theory of electric characteristics of the lipid/PVC/DOPP membrane and PVC/DOPP membrane in response to taste stimuli. *Biophys. Chem.* 61:29-35.
8. Shallenberger, R. S. 1993. *Taste Chemistry*. Blackie Academic, Glasgow, UK.
9. Shallenberger, R. S. 1996. The AH and B glycophores and general taste chemistry. *Food Chem.* 56(3):209-214.
10. Toko, K., H. Akiyama, K. Chishaki, S. Ezaki, T. Iyota and K. Yamafuji. 1997. Detection of taste substance using impedance change in lipid/polymer membranes. *Sensors Materials* 9(5): 321-329.