

식습관 개선을 위한 음식 짠맛센서 개발

양길모 서인호 김기영 이강진 손재룡 모창연 김용훈 박셋별

Development of a Salt Taste Sensor for Improvement on Meal HabitDirection Method

G. Yang I. Seo G. Kim K. Lee J. Son C. Mo Y. Kim S. Park

Abstract

The amount of salt intake of Korean people is 11.4 grams per a day, which is 2.3 times of the recommended daily salt intake by WHO - 5 grams of salt a day. The relationship between high salt consumption and increased risk of high blood pressure, observed not only in hypertensive but also in normotensive patients. High salt intake is also associated with an increased risk of heart attack, cerebral ischemia and osteoporosis. Therefore, this research is for developing a salt taste sensor to reduce sodium consumption and improve meal habits for the perception of a more bland taste of most foods. When the sensor was put into food sample, current intensity achieved with distribution cables. Current intensity was correlate with a simple equivalent of salt taste stimulus intensity. The salt taste sensor consists of salinity & temperature measuring probe, signal processing circuit and LCD display & LED warning light. When salinity is going over a set point, LCD displayer indicate salt taste on LCD panel by percent value (%), and at the same time, blue LED light change to red LED light. So we could know the grade of salt taste in soup before meals conveniently and objectively. The results show that operating range of 10 to 80°C and accuracy of $\pm 0.1\%$ were achieved with an analysis time of about 2 or 3 sec. Moderate reductions in salt intake can help to avert adult diseases and lead a healthy life.

Keywords : Taste sensor, Salt taste, Meal habit, Salinometer, Low salt diet

1. 서론

세계보건기구(WHO)는 1일 소금섭취량을 5 g(나트륨 2,000 mg) 이하로 섭취할 것을 권장하고 있다. 건강을 유지하는데 필요한 성인의 하루 나트륨 최소 필요량은 500 mg에 불과하다(Choi, 2000; Park, 2008). 이에 각국에서는 성인의 1일 권장 소금 섭취량을 제한하고 있는데 미국, 캐나다 6 g(나트륨 2,300 mg), 일본 10 g(나트륨 3,900 mg), 한국 5.1 g(나트륨 2,000 mg)을 제시하고 있다. 그러나 2008년 국민건강영양조사에 의하면 한국인의 1일 소금 섭취량은 11.4 g으로 2001년 12.5 g, 2005년 13.5 g에 비해 다소 감소하였으나 세계보건기구 권장량의 2.3배로 매우 많은 양을 섭취하고 있다.

짜게 먹는 식습관은 그 나라의 식문화와 관련이 깊다. 한국

인이 맛있게 느끼는 국물의 염도는 1% (1 g 소금/100 mL 물) 정도라고 한다. 국물 한 그릇이 300 mL라고 한다면 한 끼 식사로 3 g의 소금을 섭취하게 되는 것인데, 이렇게 하루 3번의 식사를 한다면 하루 9 g의 소금을 섭취하게 되므로 1일 권장 소금 섭취량을 초과하게 된다. 또한 국외에도 반찬, 찌개, 각종 인스턴트 식품을 통해 섭취하는 소금의 양까지 고려한다면 더 많은 소금을 섭취하게 되는 것이다. 한식은 김치와 장류, 젓갈 등 식염 함량이 높은 음식이 많고 실제 많이 즐긴다. 하루 중 나트륨 섭취량을 100%로 가정하면 배추김치 20.3%, 소금 20.1%, 간장 8.7%, 된장 6.4%, 라면 4.4%, 고추장 4.1%, 총각김치 3.7%, 백미 2.9%, 국수 1.9%, 기타 패스트푸드, 스낵 등의 가공식품에서 공급된다고 분석되었다(KNHANES, 2008).

This study was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration of South Korea. The article was submitted for publication on 2010-09-02, reviewed on 2010-09-30, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-10-14. The authors are Gilmo Yang, Giyoung Kim, Kangjin Lee, Jae-yong Son, Chang-yeon Mo, Yong-hoon Kim and Saetbyoul Park, Agricultural Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, In-Ho Seo, President, Daeyoon Scale Industrial Co., LTD. Corresponding author: G. Yang, Agricultural Researcher, KSAM member, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-857, Korea; Fax: +82-31-293-9623; E-mail: <gmyang@korea.kr>.

소금(나트륨)은 공기, 물과 함께 사람의 생명을 유지하는데 필수적인 물질로서 신진대사 촉진, 해독과 살균작용, 해열과 지열작용, 세포생산 등의 역할을 하지만 과잉섭취 할 경우 고혈압, 위암, 뇌졸중, 뇌혈관질환, 골다공증 등 다양한 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다. (Joossens and Gebores, 1987; Blaustein and Hamlyn, 1983). 혈관에 나트륨이 많으면 지나친 수분 흡수로 혈관이 팽창하고 압력을 상승시켜 고혈압의 진행을 촉진시키고(Blaustein and Hamlyn, 1983) 위점막에 상처가 생겨서 출혈이 일어나며 이로 인하여 세포가 죽고 다시 재생하는 과정에서 암의 싹이 자라 위암의 발생에도 관여한다. 이뿐만 아니라 신장에서 나트륨을 배설할 때 칼슘과 결합하여 배설함으로써 혈중칼슘레벨을 떨어뜨리며 칼슘의 흡수를 방해함으로써 골다공증도 초래하게 된다(Antonios and MacGregor, 1995).

따라서 우리 국민들이 음식을 조금이라도 싱겁게 먹을 수 있도록 식습관을 개선하는 것은 국민 건강증진을 위해서도 매우 중요한 문제라 할 수 있다. 그러나 아직까지 우리의 실생활에서 음식의 짠 정도를 손쉽게 알려주는 지표나 수단이 마땅하지 않기 때문에 나 자신이 음식을 얼마나 짜게 먹고 있는지 객관적으로 인지하기가 어려웠다.

짠맛을 측정하는 기술로는 나트륨 이온성분에 대한 맥동 전류를 증폭하여 전기전도도를 측정하는 센싱 방법 (Khireddine et al., 1997), 미세전극봉에 기질과 폴리머 막을 형성하여 이온들을 측정하는 전기화학센싱방법 (Robert et al., 2009), 광섬유를 이용 빛의 굴절률 변화를 이용하여 나트륨 이온을 측정하는 방법 (Yong and Yanbiao, 2002) 등 다양한 방법들이 연구되고 있다. 그러나 대부분이 실험실 수준에서 연구가 진행되고 있으며 일부 상용화된 제품의 경우 정밀도와 사용의 편리성이 부족한 것으로 평가되어지고 있다. 짠맛센서 개발 이전에 사용된 염도계를 응용한 연구로는 식습관에 따른 소금섭취량 모니터링 연구 (Park, 2008), 환경모니터링 연구 (Yong and Yanbiao, 2002) 등이 수행되어졌다.

본 연구에서는 우리 국민이 음식을 조리하거나 먹을 때 얼마나 짠지를 먹어보지 않고 손쉽게 알려주는 음식 짠맛센서를 개발하고 언제 어디서나 사용할 수 있는 휴대형 센서를 개발하였다.

2. 재료 및 방법

가. 짠맛측정 원리

음식 짠맛센서는 국물류의 음식에 녹아있는 염분농도를 전기전도도와 주파수 변환을 이용하여 측정한다. 그림 1의 센서 회로도에서처럼, 용액에 흐르는 전류의 변화량은 염분농도에 따라 차이가 있으며, 전류의 변화량은 염분농도에 비례한다. 즉, 음식에 녹아있는 소금 특히 나트륨 농도의 높고 낮

음에 따라 전류의 변화량을 단위시간당 진동횟수로 계산하여 염분농도로 환산하였다. 그림 2는 1%의 염분을 갖는 시료를 측정된 전위차 신호로 그림 2(b)의 파형으로 전원을 인가하여 그림 2(a) 파형의 전기전도도 출력값을 얻게 된다. 짠맛센서가 국물에 닿게 되면 나트륨 이온 농도에 따라 저항 R1이 변하게 되고 이어서 시간상수의 변화에 따라 주파수의 변화를 가져오게 된다. 즉, 짠맛센서를 통해 흐르는 맥동 전류를 증폭하여 적분 콘덴서에 충전하고, 적분된 콘덴서의 전류를 비교기의 일측 단자에 일정한 시간동안 인가한다. 비교기의 타측 단자에는 증폭시킨 온도센서의 검출 전류를 인가하여, 비교기의 출력단에서 온도 보상 짠맛 전류를 얻게된다. 최종적으로 비교기 출력을 버퍼를 통해 A/D변환기에서 디지털 값으로 변환하고, 디지털 값을 LCD모듈에 디지털(digit) 값으로 표시하게 된다.

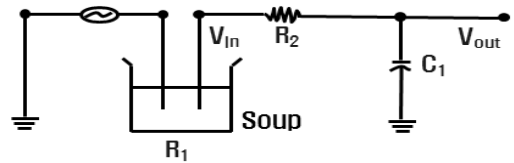


Fig. 1 Circuit diagram for salt taste sensor measuring current change of food sample.

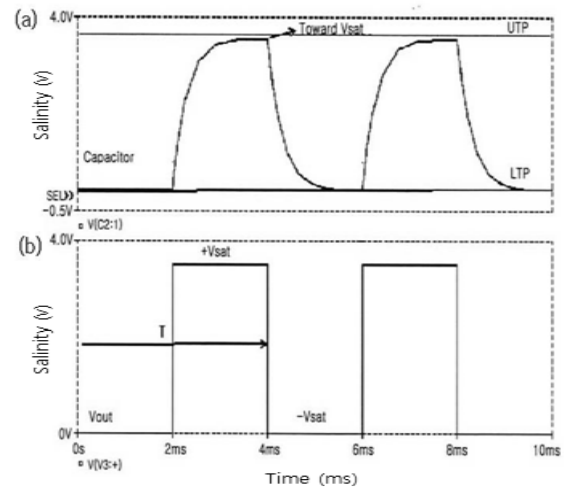


Fig. 2 Sample plots of (a) capacitor voltage vs. time and (b) applied voltage vs. time using oscilloscope respectively.

$$R_x = R_1 + R_2, \quad C = C_1$$

$$R_x = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$f = \frac{1}{2\pi R_x C}$$

$$E(x) f = \frac{1}{2\pi \times 1,050k\Omega \times 0.1\mu F} = 16.49kHz$$

그림 3은 짠맛을 측정하는 전체적인 알고리즘을 설명한 그림이다. 먼저 전극을 이용하여 용액의 전도도를 측정하고 이를 디지털 신호로 변환시킨다. 변환된 디지털 신호는 다시 주파수로 변환되고 동시에 국물의 온도를 측정하여 그림 2의 예와 같은 방법으로 구한 기준 테이블과의 비교연산 후 염분 농도를 보정해 주었다. 국물의 온도에 따라 염분농도 측정값에 미미한 오차가 발생하기 때문에 국물은 기준온도 23°C로 설정하여 온도에 따른 염분농도 오차를 보정해 주는 기준 테이블을 만들었다. 다음으로 비교연산부는 설정값에 대한 측정값을 서로 비교하여 서로 다른 색깔의 LED 광으로 사용자에게 경고신호를 보내준다. 최종적으로 국물의 짠맛정도는 100ml물에 녹아있는 나트륨량(g)을 퍼센트(%)값으로 보여주고 온도는 섭씨(°C)로 LCD 모니터에 나타내 준다.

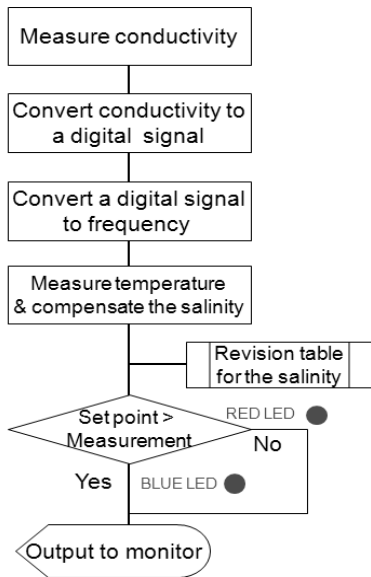


Fig. 3 Block diagram.

나. 짠맛센서 설계

짠맛센서는 그림 4(a), 그림 4(b)에서처럼 짠맛측정부, 온도측정부, LCD 패널, 설정부, LED 광 그리고 전원스위치로 구성이 되어있다. 짠맛측정부는 측정감도와 식품에 대한 안전성을 높이기 위해 금으로 도금이 되어있으며 온도측정부는 백금센서를 적용하였다. LCD 패널에는 국물의 짠맛정도와 온도를 순차적으로 보여주며 짠맛 설정값을 입력할 수 있다. 이때 그림 4(c)에서처럼 염분농도 설정값이 측정값보다 클 경우에는 파란색 LED가 발광을 하고 그렇지 않을 경우 빨간색 LED가 발광을 하도록 설계를 하여 사용자에게 경고신호를 보내주는 기능도 포함하고 있다. 센서는 염분농도 0~2.5%까지 측정할 수 있다. 전원은 센서 커버를 LED 광 쪽에 끼우면 켜지며 커버를 제거하면 꺼지도록 하여 불필요한 배터리 소모를 방지할 수 있도록 하였다. 짠맛센서의 전체적인 크기

는 길이 12 cm, 폭 2.2 cm, 두께 1.2 cm로 휴대하기 간편한 포켓형으로 가정에서 일반적으로 볼 수 있는 체온계 정도의 크기이다.

다. 성능실험

짠맛센서의 성능실험을 위해 0~2.5% 범위의 염화나트륨에 대한 주파수 변화와 염도(%)를 5회 반복 실험하여 측정 정확도와 재현성을 각각 실험하였다. 온도에 대한 짠맛측정값 보정을 위해 5~90°C 범위의 나트륨 용액에서 짠맛센서의 성능을 실험하였다. 짠맛센서가 나트륨(Na) 이온이외에 칼슘(Ca), 칼륨(K), 마그네슘(Mg)이 혼합되어 있을 때 어떤 간섭반응을 보이는가를 알아보기 위해 농도별로 혼합하여 비교 실험하였다. 각 이온물질은 Sigma(USA)에서 구입하였다. 시중에서 판매되고 있는 미역국, 북어국, 곰탕, 육개장, 라면에 대한 짠맛정도를 이온크레마토그래피(IC, ion chromatography, DIONEX 500)의 나트륨, 칼슘, 칼륨, 마그네슘 분석 결과값과 서로 비교하여 정확도를 비교 분석하였다. 그리고 한국인이 즐겨먹는 된장과 고추장을 대상으로 농도별 염분변화를 측정하여 그 실용성을 실험하였다.

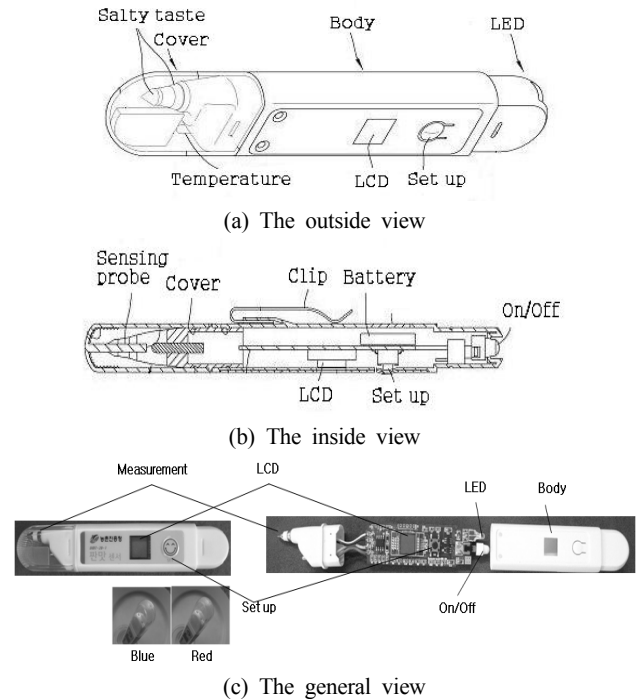


Fig. 4 Images of developed salt taste sensor.

라. 시료 전처리

짠맛센서의 성능실험을 위해 이온크레마토그래피(IC)와 비교 평가를 하였다. 이온크레마토그래피에는 미역국, 북어국, 곰탕, 육개장, 라면에 포함되어 있는 나트륨 성분을 측정

하기 위해 우선 0.45 μm 의 셀룰로오즈 멤브레인 필터(cellulose membrane filter)를 이용하여 부유물질을 제거하고, 0.5 g을 각각 채수하여 분석시 1,000배씩 희석하여 측정하였다. 전처리하는 식품공전 2008의 프로토콜을 따라 진행하였다. 환경조건은 온도 22~23 $^{\circ}\text{C}$, 습도 55~59%이었으며 분석칼럼은 이온팩(IonPac ICE-AS1)을 유속은 2.0 mL/min, 시료 주입량은 10 μL 를 각각 적용하였다. 이온교환수지를 채운 칼럼에서 음이온 또는 양이온을 분리하고 컬럼을 통과한 시료는 전도도측정기로 정량화시켰다.

3. 결과 및 고찰

가. 염화나트륨 농도에 따른 주파수 변화량 측정

염화나트륨(NaCl, Sigma #S7653, USA)을 0에서 5%(w/w)까지 희석을 하여 주파수와 상관계수를 분석한 결과 그림 5와 같이 5차 다항식에 결정계수(R^2)가 1로 나타났다. 그림 6은 주파수 변화를 다시 % 염분농도로 측정값을 환산하여 선형식으로 표현한 것이다. 전기전도도는 물에 녹아있는 이온들의 농도에 따라 변화하며 특히 소금의 주성분이며 이온성분의 대부분을 차지하는 나트륨이온의 농도 변화에 따라 민감하게 반응하였다. 이때 전기전도도 값을 주파수 값으로 변환하여 나타내었으며 고농도로 갈수록 수렴하는 그래프를 얻을 수 있었으며 평균오차는 $\pm 0.01\%$ 를 보였다.

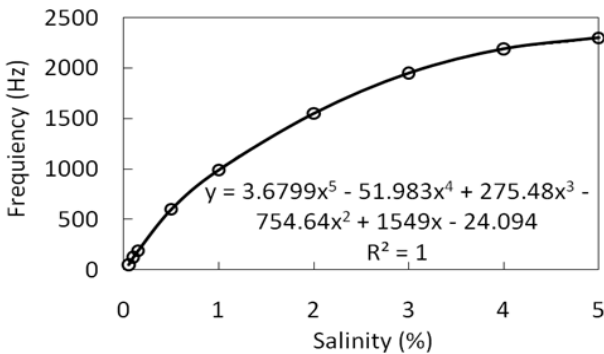


Fig. 5 Changes of frequency by salinities.

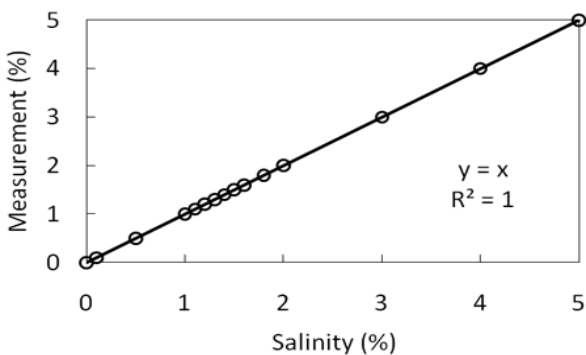
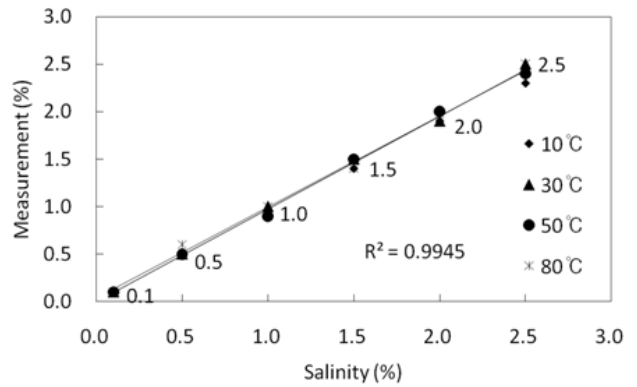


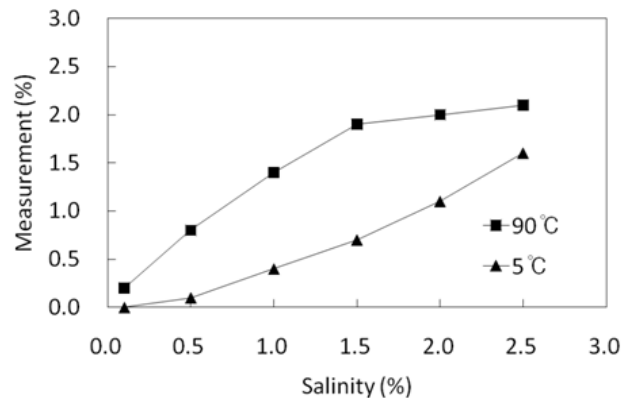
Fig. 6 Changes of measurement by salinities.

나. 온도에 따른 성능시험

그림 7은 5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 90 $^{\circ}\text{C}$ 까지 염화나트륨 농도별로 염분농도를 측정된 결과이다. 실험결과 그림 7(a)에서처럼 10 $^{\circ}\text{C}$ 에서 80 $^{\circ}\text{C}$ 범위에서 측정 정확도가 결정계수(R^2) 0.9945로 양호한 결과를 가져왔다. 그러나 그림 7(b)에서처럼 10 $^{\circ}\text{C}$ 이하 저온에서는 용액 속에 녹아 있는 나트륨 이온들의 활성이 매우 낮아 측정 정확도가 떨어졌으며 이때 염화나트륨 농도에 대한 오차는 염분농도 2.0%와 2.5% 고농도에서 0.9%로 크게 나타났으며 평균오차는 -0.61%이었다. 반대로 80 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 뜨거운 물에 녹아있는 나트륨 이온들은 매우 활발하게 운동을 하는 관계로 역시 정확한 염분농도를 측정하기 어려운 것으로 나타났다. 이때 염분농도에 대한 평균오차는 0.26%로 나타났다. 따라서 짠맛센서의 적용온도는 10~80 $^{\circ}\text{C}$ 범위로 설정하였다.



(a) Temperature range from 10 $^{\circ}\text{C}$ to 80 $^{\circ}\text{C}$



(b) Temperature 5 $^{\circ}\text{C}$ and 90 $^{\circ}\text{C}$

Fig. 7 Measurement changes by salinities and temperatures.

다. 이온성분에 따른 간섭반응 실험

짠맛센서로 국물음식에 녹아있는 나트륨이온을 측정할 경우 칼슘, 칼륨, 마그네슘과 같은 미량 이온에 의해 간섭현상이 생길 수 있다. 그래서 본 연구에서는 그림 8에서처럼 나트륨이온만 녹아있을 경우, 칼슘, 칼륨, 마그네슘 4가지 이온

이 모두 혼합되어 있을 경우로 나누어서 이온 간섭반응 실험을 실시하였다. 이때 이온 농도는 0.5%(w/w), 1.0%(w/w), 1.5%(w/w), 2.0%(w/w) 그리고 2.5%(w/w), 5수준으로 나누어서 적용하였다. 실험결과 나트륨 이온만 있을 경우 각각의 농도에서 정확한 측정치를 보였으나 4가지 이온이 모두 농도별로 혼합되어 있을 경우 $\pm 0.1\%$ 의 측정오차를 가지고 간섭반응을 보이는 것으로 나타났다.

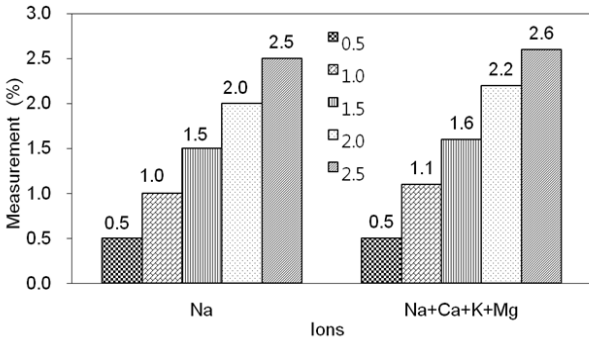


Fig. 8 Interference reactions among Na, Ca, K and Mg ions using salt taste sensor.

라. 국물을 이용한 짠맛측정 시험

시중에서 판매되고 있는 미역국, 북어국, 곰탕, 육개장, 라면을 대상으로 그림 9에서처럼 짠맛센서와 이온크레마토그래피(IC)의 성능을 서로 비교하였다. 실험결과 짠맛센서와 이온크레마토그래피의 오차범위는 $\pm 0.1\%$ 로 나타났다. 조리하는 사람에 따라 조리방법이 다를 수 있지만 매뉴얼에 따라 조리를 했을 경우 실험에 사용된 식품의 경우 짠맛정도는 곰탕을 제외하고 1.0~1.3% 염분농도를 가지고 있었다. 실험은 짠맛센서 탐침부를 국물에 직접 담가서 각각 측정하였다. 라면의 경우 컵라면을 대상으로 실험하였으며 물 400 ml에 염분농도는 1.0%로 소금의 총량은 4 g으로 계산되었다. 이는 라면을 국물까지 모두 섭취 할 경우 WHO 1일 권장 소금섭취량 5 g에 근접하는 양을 섭취하게 되는 것으로 라면 등 국물류 음식을 먹을 경우 국물은 남기고 가끔적 건더기 위주로 먹는 식습관 개선 노력이 필요할 것으로 사료된다.

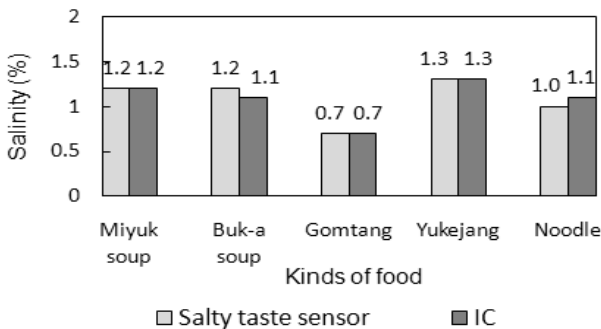


Fig. 9 Comparison between salt taste sensor and IC on soup kinds.

마. 된장과 고추장을 이용한 염분 농도 측정

그림 10와 그림 11은 한국인이 즐겨먹는 된장과 고추장을 이용하여 짠맛센서를 이온크레마토그래피와 성능을 비교하였다. 된장과 고추장을 24°C 100 mL 3차 증류수에 4 g, 8 g, 12 g, 16 g, 20 g 씩 5수준으로 희석을 한 후에 이온크레마토그래피 측정값에 대해 짠맛센서의 측정값을 각각 3반복 비교한 결과 된장의 경우 1.2%이하 염분농도에서 모두 일치한 반면 그 외 고농축에서는 염분농도 $\pm 0.1\%$ 의 오차를 보였다. 고추장의 경우 대부분의 농도에서는 모두 일치한 반면 1% 이상의 염분농도에서는 +0.1%의 오차를 보였다. 따라서 여러 가지 국물과 이온크레마토그래피와의 비교실험에서 짠맛센서의 측정오차는 $\pm 0.1\%$ 로 나타났다.

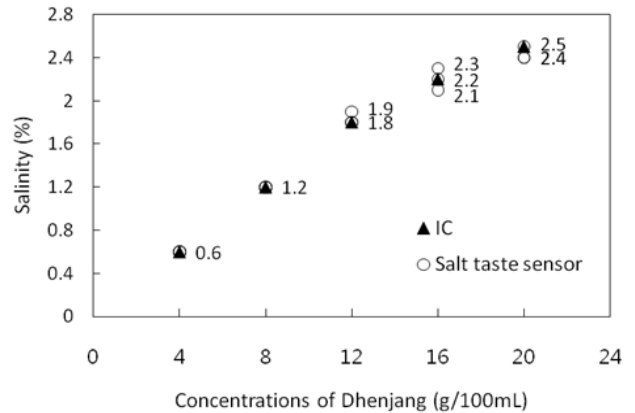


Fig. 10 Salinity of Dhenjang compared between salt taste sensor and IC.

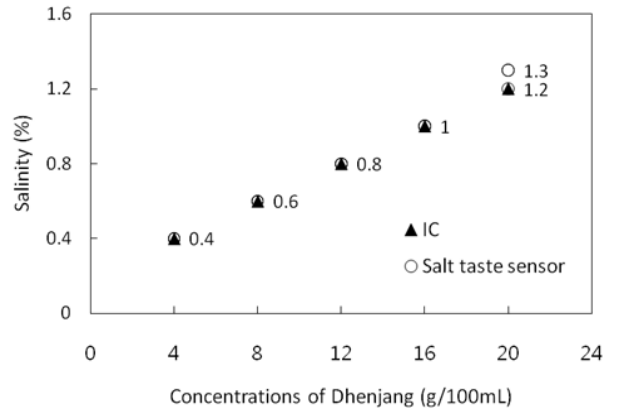


Fig. 11 Salinity of Gochujang compared between salt taste sensor and IC.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 식습관 개선을 위한 음식 짠맛센서를 개발하고 그 성능을 검증하였다. 성능실험 결과 음식 짠맛센서의

측정범위는 10℃에서 80℃로 국물류 음식의 짠맛정도를 $\pm 0.1\%$ 의 오차로 측정할 수 있었다. 측정시간은 2~3초 정도로 빠른 동특성을 보였으며 포켓에 쉽게 휴대할 수 있도록 설계를 하여 언제 어디서나 활용할 수 있는 편리성을 겸비하였다. 금후에는 고혈압과 메니에르씨병 환자를 대상으로 음식 짠맛센서의 이용효과 실험을 통하여 짠맛센서의 효용성과 성능개선, 보급증진을 위해 연구를 수행할 계획이다.

한국의 침구사협회에서는 10년을 더 짧게 살기 위해 소염다초(少鹽多醋)의 식습관을 권하고 있다. 소금은 적게 먹고 식초는 많이 섭취하라는 이야기다. 본 연구에서 개발된 짠맛센서는 국민 건강 증진을 위해 음식을 짜게 먹는 잘못된 식습관을 개선하고 보다 건강한 삶을 영위할 수 있는 기회를 제공하는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 처음부터 소금의 양을 대폭적으로 줄이게 되면 음식의 맛이 떨어져 수용하기 어려울 것이다. 하지만 짠맛 센서로 음식의 소금량을 측정하여 조금씩 줄여간다면 소금의 과잉 섭취에 따른 질병을 예방할 수 있어서 국민 건강 증진에 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Antonios, T. F., and G. A. MacGregor. 1995. Deleterious effect of salt intake other than effects on blood pressure. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 22(3):180-184.
2. Blaustein, M. P., and J. M. Hamlyn. 1983. Role of natriuretic factor in essential hypertension: an hypothesis. *Annals of Internal Medicine* 98:785-791.
3. Choi, H. M. 2000. *Nutrition*, pp. 301, Kyomunsa Co., Seoul. (In Korean)
4. Joossens, J. V., and J. Gebores. 1987. Dietary salt and risks to health. *American Journal of Clinical Nutrition* 45:1277-1288.
5. Khireddine, H., P. Fabry, A. Caneiro, and B. Bochu. 1997. Optimization of NASICON composition for Na⁺ recognition. *Sensors and Actuators B: Chemical* 40(2):223-230.
6. Korean National Health & Nutrition Examination Survey (KNHANES). 2008. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea national health and nutrition examination survey. (In Korean)
7. Park, Y. S. 2008. Comparison of dietary behaviors related to sodium intake by gender and age. *Korean Journal of Community Nutrition* 13(1):1-12. (In Korean)
8. Robert, D. G., Z. Anhong, and A. Z. Nephi. 2009. Development of a microelectrode array sensing platform for combination electrochemical and spectrochemical aqueous ion testing. *Sensors and Actuators B: Chemical* 136(1): 177-185.
9. Yong, Z., and L. Yanbiao. 2002. Novel optical fiber sensor for simultaneous measurement of temperature and salinity. *Sensors and Actuators B: Chemical* 86(1):63-67.