

Fuzzy C-Means Algorithm을 이용한 휴대용 전자혀 시스템 설계

김정도[†] · 김동진 · 함유경* · 정영창 · 윤철오*

Design of a Portable Electronic Tongue System using Fuzzy C-Means Algorithm

Jeong-Do Kim[†], Dong-Jin Kim, Yu-Kyung Ham*, Young-Chang Jung, and Chul-Oh Yoon*

Abstract

A portable electronic tongue (E-Tongue) system using an array of ion-selective electrode (ISE) and personal digital assistants (PDA) for recognizing and analyzing food and drink have been designed. By the employment of PDA, the complex algorithm such as fuzzy c-means algorithm (FCMA) could be used in E-Tongue, FCMA could iteratively solve the cluster centers of pre-determined standard patterns. And the membership between the standard patterns and unknown pattern could be analyzed easily by the present E-Tongue combined with PDA.

Key Words : ISE, E-Tongue, PDA, FCMA

1. 서 론

인간은 오감을 이용하여 사물을 감지하고 상황을 대처한다. 즉 인간은 눈으로 사물을 보고 머리로 생각을 하여 그 사물이 무엇인지를 인식하고 맛과 향을 코와 입을 통해 감지하는 연속적인 과정을 통해서 지식을 얻는다. 이러한 인간의 오감에서 맛을 느끼는 미각은 감지 대상 물질의 성분들이 얼마나 되는가 하는 정량적인 데이터가 아니라 혀에서 느끼는 미뢰(味蕾)에 어느 정도 영향을 주는가에 따라 감지 대상 물질을 혀에서 분석하는 결과이다.

현재 이러한 인간의 오감을 컴퓨터에 부가하여 인간과 컴퓨터 사이의 자연스러운 인터페이스를 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 인간의 미각기능을 모방하기 위해 전자혀(electronic tongue)의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 전자혀는 서로 다른 이온 선택성 전극(ion-selective electrode : ISE)을 가진 센서들을 어레이화하여 사용하는 것으로 센서 어레이를 통해 측정된 데이터는 감지대상 물질의 화학적인 성분을 정량적으

로 분석하게 된다. 이는 인간의 미각과 후각 기관인 혀와 코를 대신하여 음식의 맛과 향을 판단하거나, 음식의 종류, 변질의 유무 등을 직접 맛을 보지 않고 향을 맡지 않아도 분석이 가능하여 식품, 음료의 생산 공정이나 식음료 등의 신개발 연구 및 질병을 진단하는 의료용 등 우리 실생활에 유용하게 활용 할 수 있다.

일반적으로 식음료의 맛이나 향은 관능검사를 통해서 비교 판단 되지만 그 정확성에 있어서는 수치화 되지 않기 때문에 그 맛과 향을 수치화 하고 정량화하기 위해서 많은 노력을 기울여 왔다. 종래의 전기적 맛 측정 방법은 다수의 이온 선택성 전극을 이용하여 많은 측정치를 해석하거나 실리콘 칩을 이용하여 색의 변화를 구분하는 등의 기술을 이용해 왔다.

전자혀에서 이온 선택성 전극을 어레이화하여 사용하기 시작한 1960년 중반부터 최근까지 40년간 지속적인 이온 선택성 전극의 개발로 응용분야가 급속히 발전하였다. 그러나 기존에 설계된 전자혀 시스템은 일종의 장비의 개념으로, 휴대가 쉽지 않으며, 센서가 크고 고가이기에 식음료 공장의 모니터링 장비로, 품질 유지를 위해 사용되는 계측 시스템에 가까운 형태라 할 수 있었다. 하지만 현재의 사용자들은 쉽게 휴대가 가능하며, 어떤 장소에서든 측정을 할 수 있는 시스템을 원한다.

본 논문에서 설계된 전자혀는 모듈화된 센서를 이용 소형화 하여, 야외(field)에서도 측정과 분석이 용이하

호서대학교 전기정보통신공학부(Div. of Electrical Information and Communication Eng., Hoseo University)

*주택사이언스 (McScience Incorporation)

[†]Corresponding author: jdkim@office.hoseo.ac.kr

(Received : August 12, 2004, Accepted : October 25, 2004)

도록 PDA(personal digital assistants)를 이용하였다. 또한 PDA가 사용됨에 따라 데이터 취득과 사용자 인터페이스의 편리성이 증대하였다.

전자혀에서 이용되고 있는 이온 선택성 전극은 단일 이온에 대해서만 선택적으로 반응하지 않고 다른 이온에 대해서도 부분적으로 반응한다. 따라서 다수의 이온 선택성 전극을 어레이화하여 신호를 측정하고, 측정된 신호를 적절한 알고리즘을 이용하여 분석하는 방법이 채용되고 있다. 보통 신호를 분석하기 위해서 사용되는 알고리즘은 PCA(principal component analysis) 방법이 사용되고 있다. PCA방법은 다중 센서가 사용된 다차원의 데이터를 인간이 시각적으로 분석 가능한 2차원이나 3차원으로 축소 매핑하는 방법으로 측정된 신호의 특징을 추출할 수 있는 표준 방법으로 사용되고 있다. 하지만, PCA방법은 시각적 분석 방법이기 때문에 측정된 데이터를 클러스터링 할 수 없다. 실제 데이터를 정량적으로 표현하거나 성질을 표현하기 위해서는 별도의 방법을 사용해야 한다. 따라서 본 논문에서는 측정된 입력 패턴을 분석하기 위해 FCMA(fuzzy c-means algorithm)를 사용하였다. FCMA는 비지도 학습(unsupervised learning) 방법에 의해 클러스터링 작업이 이루어질 뿐만 아니라, PCA와는 달리 차원을 축소하는 것이 아니라 차원을 그대로 가지고 클러스터의 센터와 각 패턴들의 소속도를 구할 수 있다.

본 논문에서는 이온 선택성 전극을 어레이하고, 휴대용 용이하도록 하기 위해 PDA를 연결하여 측정된 신호를 분석할 수 있도록 휴대용 전자혀 시스템을 설계하였다. 정밀 측정을 하기 위해 고분해능의 ADC(analog to digital converter)를 사용하였으며, FCMA를 이용하여 표준 패턴의 중심과 표준 패턴 클러스터의 소속도를 구하고 미지의 샘플 패턴의 소속도를 구해 휴대용 전자혀 시스템의 성능을 평가하였다.

2. 이온 선택성 전극(ISE)

2.1. 이온 선택성 전극의 원리

전자혀에서는 다중 선택성 화학센서 어레이로 사용되어지는 이온 선택성 전극은 주어진 이온이나 이온들에 선택적인 막(membrane)전위를 가지는 막전극으로 단지 한 종류의 이온에만 선택적으로 반응하지는 않지만 주어진 이온이나 다른 이온 이온들에 대해 명백한 선택성의 정도로 나타난다. 이들은 고분자(polymer) 물질을 전극 막의 지지체(matrix)로 사용하며, 특징이온에 선택성을 주는 전극물질(ionophore)과 함께 비 휘발성 유기용매인 가소제(plasticizer)의 경우에 따라 친유

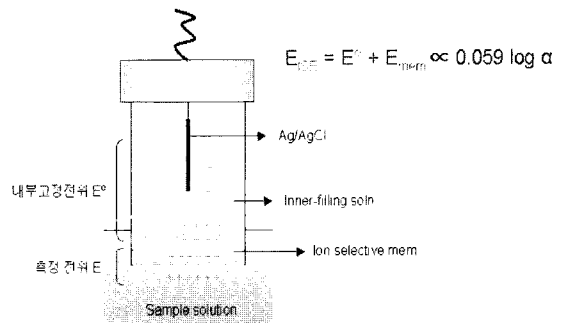


그림 1. 이온 선택성 전극 원리
Fig. 1. Principles of ISE.

기성 첨가제(lipophilic additive)를 포함한다. 고분자막형 이온 선택성 전극이 감응하는 원리는 보통 상경계 전위차(phase boundary potential)이론으로 설명한다. 그림 1은 이온 선택성 전극을 나타낸 모형도이다. 여기서 이온 선택성 전극의 신호는 정상적으로는 시료 경계면에 형성되는 이중막(double layer)의 커패시터의 변화에 의하여 나타난다고 설명할 수 있다. 정량적으로는 시료의 화학 포텐셜과 유기상(막)의 화학 포텐셜이 평형을 이루기 위하여 형성된다고 설명할 수 있다. 상경계면에 이중층의 형성에 의한 커패시터 전위차는 유기상의 막과 시료용액의 화학 포텐셜이 평형을 이루는 조건에 의하여 계산할 수 있다.

유기상이온 선택성 막에 대한 화학 포텐셜에 대한 식은 아래 식(1)과 같이 나타내며

$$\mu_{mem} = \mu_{mem}^{\circ} + RT \ln a_{I,mem} + zF \phi_{mem} \quad (1)$$

시료용액의 화학 포텐셜은 다음의 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\mu_{sam} = \mu_{sam}^{\circ} + RT \ln a_{I,sam} + zF \phi_{sam} \quad (2)$$

식(1)과 (2)에서 z 는 이온가를 나타내며, F 는 패러데이 상수를 나타낸다. 또한 R 은 기체상수, T 는 절대온도, $a_{I,mem}$ 는 유기상막의 이온 I^+ 의 활성도이며 $a_{I,sam}$ 은 시료의 이온 I^+ 의 활성도를 나타낸다. 위의 식(1)과 (2)를 이용하여 평형상태($\mu_{mem} = \mu_{sam}$)에서의 상경계 전위차 $\Delta\phi$ 를 구하면 식(3)과 같은 네른스트 방정식의 형태로 나타난다^{1,2)}.

$$E_{PB} = \Delta\phi = -\frac{\mu_{mem}^{\circ} - \mu_{sam}^{\circ}}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{I,sam}}{a_{I,mem}} \quad (3)$$

where : $\Delta\phi = \phi_{mem} - \phi_{sam}$

이때 유기상 막의 이온 I^+ 의 활동도($a_{I,mem}$)는 거의

상수이므로 상경계전위차는 시료 중 이온 농도의 로그에 비례하는 값으로 나타난다. 전자 혀는 여러 종류의 이온 선택성 전극의 이온 농도에 비례하는 전위차를 측정하여 이들의 감응 패턴으로 시료의 맛과 종류를 구분하게 된다.

2.2. 이온 선택성 전극의 다중 배열 센서(MACS) 구조

이온 선택성 전극막을 이용한 전극은 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 이온 선택성 전극막과 내부금속 전극(internal reference metal electrode) 사이에 내부기준용액(internal reference filling solution)을 필요로 하는 재래식 이온 선택성 전극과 이를 필요로 하지 않는 고체상(solid-state)전극이다(그림 2). 이들 두 전극형태의 차이점은 재래식 이온 선택성 막전극은 전극체에서 막을 고정시켜 전극막의 이탈을 막아 줄 수 있으나, 고체상(solid-state)전극의 경우 이온 선택성 전극막이 전극표면에 아무 고정체도 없이 노출되어 있으므로 전극막의 전극표면에 대한 접착력이 전극의 전기화학적 특

성을 결정짓는 중요한 요인으로 작용한다는 것이다.

이온 선택성 전극은 단 한 종류의 이온에만 선택적으로 반응하지 않는다. 즉 하나의 이온에 대해서만 선택적으로 반응하지 못한다는 이야기이다. 따라서 본 논문에서는 이온 선택성 전극을 모듈화하고, 어레이화한 MACS(multi array chemical sensor : 다중 배열센서)를 사용하였다. 그림 2는 종래의 전극과 MACS를 나타내었다.

MACS는 Cl, Na, K, NH₄, Mg, NO₃, pH의 7종의 이온 선택성 전극을 이용하여 구성하였으며, 초기화 및 교정과정과 완충용액에 의한 안정화 과정을 거친 후 MACS로 시료에 대한 각각의 이온 선택성 전극의 변화를 측정한다. 이온 선택성 전극은 시료 측정 후 다음 시료를 측정하기 위해 전극 표면을 증류수로 세척하여 항상 전극을 깨끗하게 유지시켜야 한다. 이렇게 각 전극으로부터 측정된 데이터를 이용하여 패턴 분류 알고리즘인 FCMA로 측정된 시료의 맛과 종류를 구분할 수 있다.

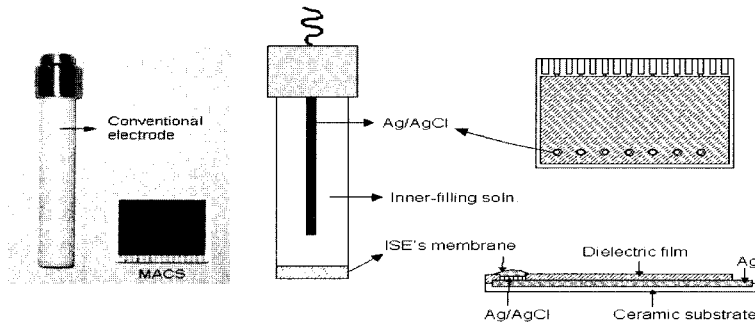


그림 2. 재래식 전극과 MACS
Fig. 2. Conventional Electrode and MACS.

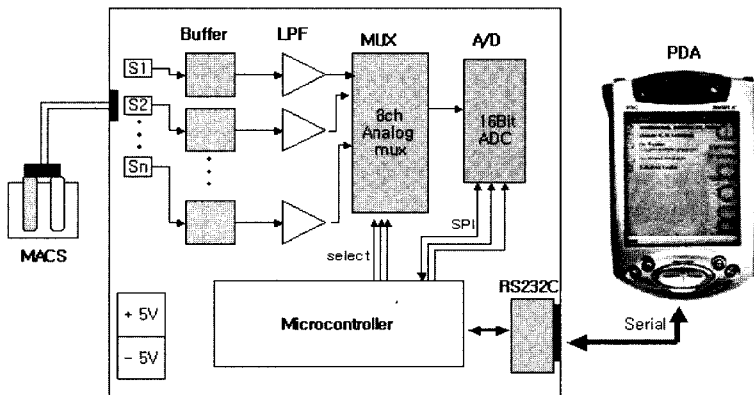


그림 3. 전자 혀 시스템의 구성도
Fig. 3. Block Diagram of E-Tongue system.

3. PDA를 이용한 전자혀 시스템

전자혀 시스템은 크게 샘플 시료로부터 측정된 아날로그 값을 디지털로 변환하여 PDA로 전송하는 기능을 담당하는 데이터 획득(data acquisition)부와 전송된 데이터를 시각적으로 보여줄 수 있으며, 샘플 시료가 무엇인지 판단하고, 분류하는 소프트웨어(FCMA)를 지닌 PDA로 나눌 수 있다. 아래의 그림 3은 설계된 전자혀 시스템의 전체 구성도이다.

데이터 획득(data acquisition)부는 MACS로부터 측정된 신호를 PDA로 전달하기 위해 버퍼(buffer), LPF(low pass filter), Multiplexer, ADC, 전원부로 구성되어 있다.

1) 버퍼 및 필터

버퍼는 MACS와 측정회로 사이의 임피던스 매칭을 하기 위해서 사용하였다. 전자혀의 MACS는 높은 임피던스를 가지고 있기 때문에 출력되는 전류가 미약하다. 또한, MACS로부터 출력되는 신호는 수mV~수백 mV 정도로 매우 낮다. 따라서 측정회로 입력단에 버퍼(Buffer)를 구성하여 측정회로가 신호원(MACS 출력신호)에 영향을 주지 않도록 하였고, MACS의 연결 라인을 타고 들어오는 외부 잡음의 영향을 줄였다. 또한, 측정 신호에 포함되어 입력될 수 있는 고주파 잡음을 제거하기 위하여 2차 LPF를 두어서 잡음을 제거하도록 하였다.

사용된 버퍼는 입력 임피던스가 크고($10^{12} \Omega$ 이상), 출력 임피던스가 작은 Op-Amp를 사용하여 이득이 1인 전압 플로워(voltage follower)를 구성하였다. 필터는 2차 LPF로 차단주파수 f_c 는 다음 아래의 공식으로 구할 수 있다.

$$f_c = \frac{1}{2} \pi \sqrt{R1C1R2C2} \text{ if } R1 = R2, C1 = C2 \text{ 이면,}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

여기서 f_c 는 차단주파수로 32 Hz로 설계하여 전원잡음 및 외부 고주파 노이즈를 제거한다.

2) 다중화기(multiplexer) 및 ADC

다중화기는 CMOS 8 채널로 아날로그 입력, 출력이 가능한 것을 사용하였다. 다중화기는 MACS의 입력을 순차적으로 선택하여 출력하게 되며 제어는 마이크로 컨트롤러에서 담당한다. 출력되는 신호는 또 한번의 버퍼(buffer)를 거쳐서 ADC로 입력되게 된다.

ADC는 16 bit의 고 분해능을 가진 것을 사용하였다. MACS에서 출력되는 전압은 평균 ± 300 mV 이하로 출력한다. 설계된 ADC는 기준전압(± 3.3 V)을 조정하여 $102 \mu\text{V}/1\text{LSB}$ 의 분해능을 가지도록 설계하였다. 마이크로 컨트롤러와는 SPI(serial port interface)을 통하여 데이터를 전송하게 된다.

3) 마이크로 컨트롤러

8비트 워칩 마이크로 컨트롤러로 내부에 8 K 워드의 플래쉬 프로그램 메모리와 368바이트의 데이터 메모리, 256바이트의 내부 EEPROM을 가지고 있다. 주변기능으로 MSSP(master synchronous serial port)와 USART(universal synchronous asynchronous receiver transmitter)가 내장되어 있다. 여기서는 MSSP의 SPI모드를 이용하여 ADC를 제어하고, PDA와는 USART의 비동기 모드를 이용하여 데이터를 주고받으며, MACS를 선택적으로 받아들일 수 있도록 8채널 Multiplexer를 제어한다.

4) 전원부

시스템의 전원은 +3V를 입력받아 ± 5 V의 양(+전압)과 음(-전압)을 얻도록 설계하였다. 또한 분해능이 높은 ADC를 사용하게 되면 기준 전원의 적은 변동(Ripple)에도 영향을 받을 수 있기 때문에 오차를 줄이기 위해 기준전원의 변동을 0.1% 이하의 변동률을 가지는 정밀한 것을 사용하여 구성하였다.

PDA부는 데이터를 분류하며 마이크로 컨트롤러로부터 전송받은 데이터를 분석하여 현재 측정된 샘플의 종류가 무엇인지를 판단한다. PDA의 메인화면은 그림 4와 같고, 그림 5는 실시간으로 측정하고 모니터링을 하는 화면이다.

PDA를 통해 MACS의 측정된 데이터의 결과, 즉 분석을 해야 할 데이터를 그림 6과 같이 표로 나타내며, 측정된 데이터를 FCMA를 통해 분석된 결과는 그림 7과 같이 사용자에게 보여준다.

4. FCMA (Fuzzy C-Means Algorithm)

본 논문에서는 전자혀를 이용해서 직접 맛을 보지 않고 향을 맡지 않아도 장치가 측정할 수치나 그래프상의 수치 좌표로 식음료의 종류를 판단하기 위해서 FCMA를 이용하였다. FCMA는 하나의 클러스터에 속해져 있는 각각의 데이터 점을 소속정도에 의해서 클러스터에 대한 데이터의 소속정도를 일일이 열거한 데이터 분류 알고리즘이다. FCMA는 식(5)와 같이 n 개의 입력 패턴들을 식(6)와 같이 c 개의 클러스터로 분할한다.

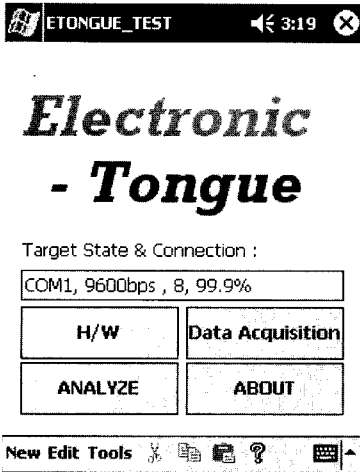


그림 4. PDA 메인 화면
Fig. 4. User interface.

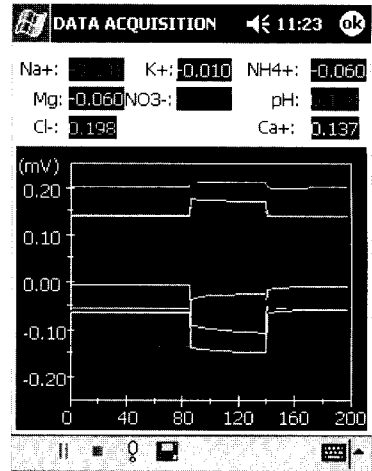


그림 5. 측정 모니터링
Fig. 5. Monitoring of E-Tongue.

Standard Data:

NAME	Na+	K+	NH4+	M
1 STD_1	214.11	-46.25	-5.87	49
2 STD_2	148.53	-74.26	10.52	75
3 STD_3	170.96	-69.58	34.83	75
4 STD_4	204.98	-51.42	-4.94	44

Sample Data:

NAME	Na+	K+	NH4+
1 Cafri	125.00	214.11	-46.25
2 Hite	100.00	148.53	-74.26
3 OBlag...	95.00	170.96	-69.58
4 Cass	89.20	204.98	-51.42

그림 6. 분석 데이터
Fig. 6. Analysis Data.

FCM Result(%)

NAME	STD-1	STD-2	STD-3
Cafri	60.50	20.10	19.10
Hite	92.00	3.40	4.60
OBlager	82.40	12.40	5.20
Cass	89.20	7.30	3.50
Budw...	50.10	10.00	39.90

그림 7. FCMA 분석 결과
Fig. 7. Result of FCMA.

$$X_i = [x_1, x_2, \dots, x_n] : X_i \quad i \quad (5)$$

$$Z_j = [z_1, z_2, \dots, z_c] : Z_j \quad j \quad (6)$$

이렇게 찾아진 클러스터 중심과 각각의 입력 패턴의 Euclidean distance를 구하며, i 번째 입력 패턴이 j 번째 클러스터 중심과의 소속도(W_{ij})는 다음과 같다.

$$W_{ij} \in [0, 1]; \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq c \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^c W_{ij} = 1; \quad 1 \leq i \leq n \quad (8)$$

$$0 < \sum_{i=1}^n W_{ij} < 1; \quad 1 \leq j \leq c \quad (9)$$

위에서 각각의 패턴들은 서로 다른 소속도와 클러스터를 가질 수 있다. 그리고 식(8)과 (9)에서와 같이 하나의 패턴에 대한 소속도는 0과 1사이의 실수로 전체 소속도의 총합은 1로 표준화되고, 각각의 패턴 소속도는 목적함수 J_m 이 최소가 되는 클러스터의 패턴을 찾는다.

$$J_m(W, Z) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c W_{ij} d_{ij}^2 : d_{ij} = |X_i - Z_j| : \quad (10)$$

Euclidean distance

목적함수 J_m 에서 d_{ij} 는 입력패턴과 클러스터 중심 사

이의 유클리드 거리(euclidean distance)이다. 이것은 각각의 패턴에 대한 유사성을 측정한다. 여기서 m 은 소속 가중치 지수(membership weighting exponent)이고 이 값의 선택에 대한 이론적이고 정당화된 법칙이 존재하지 않기 때문에 일반적으로 $m = 2$ 로 선택한다.

FCMA는 식(10)의 목적함수의 최소가 되는 퍼지 그룹의 중심을 찾는 데 목적함수의 해를 구하려면 다음 식(11)와 (12)을 이용하여 찾을 수 있다.

$$W_{ij} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{d_{ij}}{d_{i1}} \right]^{(m-1)}} \quad (11)$$

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}^m X_i}{\sum_{i=1}^n W_{ij}^m} \quad (12)$$

FCMA는 식(11)와 식(12)에 의해 분석적으로 해결되어 지지는 않는다. 식(10)의 목적함수를 최소화하기 위해 반복적으로 식(11)와 식(12)을 수행하여 최적의 값을 얻을 수 있다. 이러한 최적의 값을 얻기 위해 다음과 같은 학습과정을 통해서 각 클러스터들의 중심과 소속도를 구할 수 있다.

1. 클러스터의 개수를 정하고 지수의 가중을 선택하고 초기 소속함수를 결정한다.
2. 식(11)을 이용하여 새로운 소속도를 계산한다.
3. 식(12)를 이용하여 클러스터의 중심을 계산한다.
4. 새로 구해진 클러스터의 중심을 이용해서 $\|Z(k) - Z(k+1)\|$ 을 구한다.

만일 $\|Z(k) - Z(k+1)\| > \epsilon$ 면 $k = k + 1$ 로 하고 다시 처음으로 돌아가고 그렇지 않다면 알고리즘을 종료한다.

이러한 과정을 통해 미리 얻어진 표준 패턴들에 대

한 클러스터의 중심과 각 표준 패턴들의 클러스터 소속도를 구할 수 있다. 여기서 구해진 클러스터 중심들은 미리 컴퓨터에 저장되어 미지의 샘플이 입력되었을 경우에 미지의 샘플에 대한 소속도를 구하기 위해 사용된다.

$$d_j = \|S - Z_j\| \quad (13)$$

여기서 S 는 미지의 샘플 벡터이며 $j = 1, 2, \dots, c$ 이며 표준 패턴의 중심과 샘플 패턴과의 소속도는 다음 식(14)에 의해서 구할 수 있다.

$$V_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{d_{ij}}{d_{i1}} \right]^2} \quad (14)$$

식(14)에서 V_j 는 j 번째 클러스터의 대한 샘플 벡터의 소속도를 나타낸다.

5. 실험 및 결과

본 논문에서 설계된 휴대용 미각 시스템을 이용하여 식음료를 분류 하였다. 식음료 중 녹차, 우롱차, 홍차에 대해 각각 3회를 측정하여 표준 패턴을 얻었고, 얻어진 표준 패턴을 이용하여 미지의 샘플을 분류하기 위해 표준 패턴의 중심과 소속도를 구하였다. 아래 표 1은 휴대용 전자혀 시스템의 MACS를 통해 측정한 녹차, 우롱차, 홍차의 표준패턴을 나타내었다.

휴대용 미각 시스템을 통해 얻어진 표준 패턴을 FCMA 학습과정을 통해 표준 패턴의 중심과 표준 패턴의 클러스터 중심을 구했다. FCMA의 학습과정 통해서 표 2와 같이 각각의 표준 패턴의 클러스터 중심을 찾았다.

표 1. 표준 패턴
Table 1. Standard pattern

	Cl	Na	K	NH ₄	Mg	NO ₃	PH
Green-Tea 1	14.94	88.07	61.39	69.13	8.42	21.27	27.70
Green-Tea 2	18.47	100.13	61.04	69.42	9.51	14.04	27.52
Green-Tea 3	20.00	109.81	69.45	73.68	12.03	13.50	27.62
Urong-Tea 1	-56.26	68.44	74.76	99.58	22.13	10.20	17.45
Urong-Tea 2	-47.25	73.86	77.91	99.37	22.19	11.34	22.46
Urong-Tea 3	-39.09	64.12	75.80	94.25	20.11	14.42	22.14
Red-Tea 1	-34.15	79.85	99.39	100.15	19.48	14.22	38.97
Red-Tea 2	-26.32	79.25	100.71	99.93	16.75	19.02	38.91
Red-Tea 3	-20.86	70.34	90.45	89.18	12.77	21.90	36.86

표 2. 표준 패턴의 클러스터 중심

Table 2. Cluster center of standard pattern

	Cl	Na	K	NH ₄	Mg	NO ₃	PH
Green-Tea	17.80	99.43	63.92	70.74	9.99	16.15	27.62
Urong-Tea	-47.67	69.16	76.34	97.85	21.48	11.94	20.80
Red-Tea	-27.54	77.00	97.33	97.06	16.62	18.14	38.27

표 3. 표준 패턴의 소속도

Table 3. Membership grade of standard pattern

	Green-Tea	Urong-Tea	Red-Tea
Green-Tea 1	0.93	0.03	0.04
Green-Tea 2	0.99	0.00	0.00
Green-Tea 3	0.95	0.02	0.03
Urong-Tea 1	0.01	0.94	0.05
Urong-Tea 2	0.00	0.97	0.03
Urong-Tea 3	0.02	0.88	0.10
Red-Tea 1	0.02	0.07	0.92
Red-Tea 2	0.01	0.02	0.98
Red-Tea 3	0.05	0.13	0.82

표 2의 표준 패턴의 클러스터 중심과 표준 패턴 사이의 소속도는 표 3과 같이 찾았다. 표준 패턴의 소속도를 보면 녹차의 패턴 1, 2, 3을 각각 93%, 99%, 95% 녹차라고 인정했으며, 우롱차 패턴 1, 2, 3을 각각 94%, 97%, 88% 우롱차로 인정했다. 마지막으로 홍차 패턴 1, 2, 3도 각각 92%, 98%, 82% 인정하였다.

위와 같이 구해진 표준 패턴의 클러스터 중심을 PDA에 저장하고 미지의 샘플 패턴을 측정하였다. 측정된 샘플 패턴은 표 4와 같이 얻을 수 있었다. 그런데 실험 중에 MACS의 센서 하나(NO₃ 센서)가 이상동작을 하였고, 센서가 파손 되었다는 것을 알았다. 정상적인 동작을 하는 MACS의 출력 패턴과 하나의 센서가 파손된 MACS의 출력 패턴을 가지고 식(13)을 이용하여 소속도를 구해 보았다.

이렇게 미지의 샘플 패턴 두개를 표준 패턴 클러스터의 중심과의 소속도를 구해보면 아래 표 5와 같은 결과를 얻을 수 있다. 실험 결과 정상적인 미지의 샘플 패턴은 96% 우롱차로 분류되어 FCMA에 의해 학습된 표준 패턴을 분류한 것과 완벽하게 일치하였다. 또

표 4. 미지의 샘플 패턴

Table 4. Unknown sample pattern

	Cl	Na	K	NH ₄	Mg	NO ₃	PH
Sample Pattern 1	-42.53	66.32	75.24	98.81	21.02	10.94	21.87
Sample Pattern 2	-38.73	64.90	77.56	100.61	22.32	0.00	23.25

표 5. 미지의 샘플 패턴의 소속도

Table 5. Membership grade of unknown sample pattern

	Green-Tea	Urong-Tea	Red-Tea
Sample pattern 1	0.006	0.96	0.03
Sample pattern 2	0.034	0.80	0.16

한 센서 하나가 이상 동작한 패턴을 이용해서 소속도를 구한 결과 80% 우롱차로 분류하였다. 이는 표준 패턴에 대한 학습이 잘 되었고, 센서의 오동작에도 샘플 패턴을 정상적으로 분류해 낼 수 있다는 것을 의미한다. 설계된 휴대용 전자혀 시스템의 성능에 있어 측정 및 분류가 완벽하게 구현되었고 휴대용 전자혀 시스템의 안정성이 입증되었다.

6. 결 론

기준에 설계된 전자혀 시스템이 일종의 장비 개념으로 휴대가 쉽지 않으며, 계측기로서 사용되어졌다. 이는 현재의 사용자의 요구에 부합하지 않는다. 현재 사용자는 휴대가 가능하고, 장소에 구애 받지 않으며, 언제든지 측정을 할 수 있는 휴대용을 요구한다.

본 논문은 이온 선택성 전극을 모듈화한 MACS를 사용하여 시스템의 크기를 축소시켰고, PDA를 이용하여 측정된 데이터를 분석할 수 있는 휴대용 전자혀 시스템을 설계하였다. 또한 FCMA를 통해 표준 패턴(녹차, 우롱차, 홍차)을 학습시켜 표준 패턴에 대한 클러스터의 중심과 소속도를 구해 PDA에 저장하고, 미지의 샘플 패턴에 대해서 어떤 종류의 음료인지를 결정했다.

설계된 휴대용 전자혀 시스템과 사용된 알고리즘은 실험 결과에서 알 수 있듯이 미지의 샘플 데이터에 대해 정확하게 분류하였고, 설계된 시스템의 성능이 우수

하다는 것을 입증했다. 그러나, 설계된 전자혀 시스템을 이용하여 모든 식음료에 대해서 실험을 해 본 것은 아니므로, 향후 다양한 연구와 실험을 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 모든 식음료에 적용해야 할 것이다. 또한 시스템의 크기도 현재의 PDA보다는 더 작아져야 하며, 맛에 대해 정성적인 표현을 표준화 할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

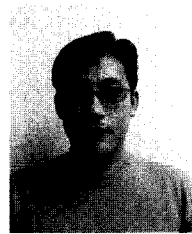
참고 문헌

- [1] R. W. Catrall, "Chemical Sensors", *Oxford University Press*, pp. 4-23, 1997.
- [2] D. T. Sawyer, A. Sobkowiak, and J. L. Robert Jr., "Electrochemistry for Chemists", John Wiley & Sons inc., pp. 24-52, 1995.
- [3] J. W. Gardner and Philip N. Bartlett, "Electronic Noses Principles and Applications", *Oxford Science Publications*, 1991.
- [4] A. V. Legin, A. M. Rudnitskaya, Yu. G. Vlasov, Di Natale C., and D'Amico A., "The Features of the Electronictongue in Comparison with Characteristics of the Discrete Ion-Selective Sensors", *Sensors and Actuator B*, Vol. 58, pp. 464-468, 1999.
- [5] L. Lvova, S. S. Kim, A. Legin, Yu. Vlasov, G. S. Chaa, and H. Nam, "All-Solid-State Electronic Tongue Its Application for Beverage Analysis", *Analytica Chimica Acta*, Vol. 468 Iss. 2, pp. 303-314, 2002.



김 정 도

- 1990. 2 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994. 2 성균관대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1995. 3 ~ 2004. 2 삼척대학교 컴퓨터 응용제어공학과 교수
- 2004. 3 ~ 현재 호서대학교 전기정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 센서 응용 및 로보틱스, 시스템 제어



김 동 진

- 2000. 8 호서대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000. 1 ~ 2004. 6 (주)제니스테크 기술연구소 선임연구원
- 2001. 3 ~ 현재 호서대학교 전자공학과 박사과정 재학중
- 주관심분야 : 센서 응용 및 로보틱스



함 유 경

- 2003. 2 삼척대학교 컴퓨터응용제어공학과 (공학석사)
- 2002. 10 ~ 2004. 3 (주)화동인터네셔널 연구소 연구원
- 2004. 5 ~ 현재 (주)맥사이언스 연구소 연구원
- 주관심분야 : 센서 응용 및 로보틱스

정 영 창

- 1986. 2 숭실대학교 전자공학과(공학박사)
- 1982. 3 ~ 현재 호서대학교 전기정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 시스템 제어, 센서 응용

윤 철 오

- 1988. 3 서울대학교 물리학과(이학박사)
- 1992. 2 ~ 1994. 12 University of California Santa Barbara 고분자 연구소 연구원
- 1994. 12 ~ 2004. 4 (주)남호석유화학 연구소
- 2000. 5 ~ 현재 (주)맥사이언스 대표이사