

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.6.921>

JCCT 2022-11-114

전자혀를 이용한 객관적 상대 단맛 측정

Objective and Relative Sweetness Measurement by Electronic-Tongue

박소연*, 나선영**, 오창환***

So Yeon Park*, Sun Young Na**, Chang-Hwan Oh***

요약 Astree사의 E-Tongue을 이용한 상대적 단맛 평가를 위하여 검토한 7개의 센서 중 PKS 및 NMS 센서가 1차로 선정되었다. PKS 및 NMS 센서를 이용해 설탕을 비롯한, 과당, 포도당 및 자일리톨, 5%, 10% 및 15% 용액을 분석한 결과, 자일리톨 및 과당의 농도 증가에 따른 PKS 센서 감응도의 변화가 미미하여, 최종적으로 NMS 센서를 단맛 측정 센서로 선정하였다. 이들 감미료의 농도 중 5% 용액을 모든 센서를 활용한 PCA(주성분 분석) 통계 방법으로 처리한 결과에서는 DI (식별지수)값이 -0.1로 감미료 상호 간 구분이 힘들었으나, NMS 센서만을 이용한 상대적 센서 감응도는 농도에 관계없이 일정한 수치를 나타내었다. 과당 및 자일리톨의 상대적 센서 감응도는 각각 1.08 및 1.00으로 사람의 미각으로 측정된 문헌상 관능검사의 상대적 감미도 범위에 포함되었으나, 포도당의 경우는 0.99로 문헌상 상대감미도 0.5~0.75보다 높게 나타났다. 5%~15% 농도 범위에서 설탕 대비 3종 감미료에 대한 NMS 단일 센서를 이용한 E-Tongue의 우수한 정밀성 (%RSD, 1.53~3.64%)을 고려할 때 향후 가당 음료 등에 대한 신제품 개발 및 품질관리 등에 관능검사를 대체할 수 있는 가능성을 확인하였다.

주요어 : 전자혀, 센서, 감미료, 설탕, 맛(미각)

Abstract Sugar solutions (5%, 10%, 15% and 20%) were tested by seven sensors of Astree E-Tongue for selecting a sensor for sweetness. NMS sensor was chosen as a sensor for sweetness among two sensors (PKS and NMS sensors selected in first stage) by considering precision, linearity and accuracy. Sugar, fructose, glucose and xylitol (5%, 10% and 15%) were tested by E-tongue. The principal component analysis (PCA) result by E-Tongue with seven sensors at 5% concentration level of four sweeteners was not satisfactory (Discrimination index was -0.1). On the other hand, the relative NMS sensor response values were derived as 1.08 (fructose), 0.99 (glucose) and 1.00 (xylitol) comparing to sugar. Only the E-Tongue relative glucose response 0.99 was different from 0.5~0.75 of the relative sweetness range reported as the human sensory test results. Considering the excellent precision (%RSD, 1.53~3.64%) of E-Tongue using NMS single sensor for three types of sweeteners compared to sugar in the concentration range of 5% to 15%, replacing sensory test of sweetened beverages by E-Tongue might be possible for new product development and quality control.

Key words : E-Tongue, Sensor, Sweetness, Sugar, Taste

*준회원, 세명대학교 바이오식품산업학부 학사과정 (제1저자) Received: October 31, 2022 / Revised: November 6, 2022
**준회원, 세명대학교 바이오식품산업학부 학사과정 (참여저자) Accepted: November 9, 2022
***정회원, 세명대학교 바이오식품산업학부 교수 (교신저자) ***Corresponding Author: och35@semyung.ac.kr
접수일: 2022년 10월 31일, 수정완료일: 2022년 11월 6일 Bio Food and Nutrition Science, Semyung Univ., Korea
게재확정일: 2022년 11월 9일

I. 서 론

당의 맛 또는 감미(甘味)라고도 표현하는 단맛은 인간이 가장 선호하는 맛 중의 하나이다. 사탕수수, 사탕무 등에서 추출하는 설탕이 대중화되기 전에는 벌꿀 및 맥아당으로 이루어진 조충, 엿 등이 단맛의 소재로 한정되어 있었다. 최근에는 설탕의 수백 배에 이르는 다양한 인공 감미료를 이용하여 칼로리는 낮추면서, 단맛을 내는 식품들이 대중화되어 있다 [1]. “달다”라는 표현이 맛뿐만 아니라, “좋다”라는 의미로 통용되는 것처럼, 단맛은 가공식품에 대한 소비자의 선호도를 결정하는 식품산업의 중요한 요소이다. 따라서 가공식품의 신제품 개발 및 품질관리에 있어, 사람이 측정하는 단맛 관련 평가는 제품의 매출을 좌우하는 요인이다. 단맛은 물에 용해되어야 느낄 수 있으므로 수용성 여부가 관건이 되며, 설탕을 비롯한 감미료들의 서로 다른 단맛은 가까이 위치한 수산기 상호 간 수소 결합의 용이성에 따라 달라진다 [2]. 우리 혀의 단맛 수용체에 단맛 성분이 결합하면 세포 내부의 G-단백질을 활성화 시켜 신호전달을 유도한다 [3]. 맛은 개인의 기분, 환경 및 섭취 등 다양한 요인에 의하여 영향을 받을 수 있으며, 심지어는 개인의 유전자 변이에 의해서도 영향을 받을 수 있다. Fushan 등이 160명의 백인, 동양인 및 흑인을 대상으로 단맛에 대한 민감도와 유전자 변이 사이의 관계를 연구한 결과 참가자의 미각 역치와 상한 민감도가 α -gustducin을 인코딩하는 GNAT3 유전자와 밀접한 연관성을 가지며, 해당 유전자의 다양성이 약 13%의 단맛 지각 능력 차이를 설명할 수 있다고 보고한 바 있다 [4]. 이러한 개인 별 차이는 사람의 관능 평가 결과를 통한 객관적 단맛 평가에 차이를 유발할 수 있다. 반면, 맛의 감응도를 센서로 측정하여 수치를 패턴화시키는 Electric-Tongue (E-Tongue; 전자혀)은 시료 맛 특성의 객관적 데이터 산출이 가능한 기기로 소개되었다. E-Tongue은 용액 중 다른 성분에 대한 높은 안정성과 교차 감도를 지닌 비특이적이고 선택성이 낮은 화학 센서 어레이와 데이터 처리를 위한 패턴 인식 및/또는 다변수 보정 등의 통계 프로그램으로 구성되어 있다 [5]. E-Tongue은 사람에 의한 관능검사가 불가능하거나, 산업체에서 자동화가 필요한 경우 및 경제적 측면에서 관능검사를 대체하기 위한 기기로 그 가치가 있다 [6]. 본 연구에서 사용한 Astree E-Tongue (그림 1)은

3개의 맛을 대표하는 센서 AHS (신맛), CPS (짠맛) 및 NMS (감칠맛)와 4개의 보정 표준센서 (CTS, SCS, PKS 및 ANS)가 장착된 센서 어레이 및 패턴인식 시스템으로 구성된다. Beullens 등은 토마토의 맛 프로필을 Astree E-Tongue으로 분석하여, 토마토 품종 구분에 성공한 바 있으며, 이때 맛 프로필의 주요 성분으로 포도당과 과당을 지목한 바 있어 Astree E-Tongue이 단맛 성분 차별화에 성공적으로 적용된 것으로 추정된다 [7]. 그러나 최근 출시된 Astree E-Tongue은 단맛에 대하여 별도의 표준센서가 지정되어 있지 않고 전체 센서의 감응도 수치로 통계 처리하여 시료 간 차별화 결과를 산출한다. 때문에, Astree E-Tongue을 이용한 상대적 단맛 평가를 위해서는 단맛 표준물질 (설탕)에 대하여 정밀하고 정확한 감응을 나타내는 센서를 파악하고, 파악된 최대 한계 농도 이내에서 시료 용액의 농도 변화에 따른 센서 감응도의 비례 직선성 파악이 필요하다. 본 연구에서는 감미료 4종 (설탕, 과당, 포도당 및 자일리톨)의 상대적 감미도 측정을 위하여 E-Tongue의 단맛 최적 센서를 선정하고, 설탕 대비 상대적 센서 감응도 수치를 도출하였다.



그림 1. 본 연구에 사용된 Astree E-Tongue
Figure 1. Astree E-Tongue used in this Research

II. 연구 방법

1. 실험 재료

설탕 (백설탕 하얀 설탕, 한국), 식용수 (담사수, 세종시, 한국) 및 정제수 (대한약품공업 주식회사, 안산시)는 충북 제천시 마트 및 약국에서 구매하였다. 정제 포도당 ((주)이에스 기술연구소, 한국), 결정과당 (이스라엘, (주)이에스 기술연구소, 군포시) 및 자일리톨 (핀란드, (주)이에스 기술연구소, 군포시)은 이에스 식품 원료

온라인 구매사이트에서 구입하였다. E-Tongue은 2021년 도입된 Alpha MOS사 (Toulouse, France)의 ASTREE Electronic Tongue V5 (48 position의 autosampler carousel 장착)를 사용하였다. 기기의 센서 안정화 단계에 사용되는 conditioning, calibration, diagnostic 및 rinsing 용 시약, HCl 0.1M & 1M, 및 NaCl 0.1M 등은 Alpha MOS사에서 구입하였으며, mono sodium glutamate (MSG)는 Glentham life sciences (Corsham, UK)에서 구입하였다.

2. 실험 방법

1) 센서 안정화 및 측정 준비

E-Tongue을 사용하기 전 센서의 안정화를 위해 상온 (22℃, 습도 약 73%)에서 conditioning (1시간 30분), calibration (1시간), diagnostic (20분) 과정을 진행하였다. Conditioning 및 calibration 단계는 '정제수 99mL + HCl (1M) 1mL' 그리고 diagnostic 단계는 '정제수 90mL + HCl (0.1M) 10mL', '정제수 90mL + NaCl (0.1M) 10mL' 및 '정제수 100mL + powder MSG 187mg'을 제조하여 진행하였다. 각 시료 당 120초씩 5회 반복 측정하였으며, 단일 시료 분석 후에는 센서 평균 과정을 시행하였다. 모든 분석은 센서가 충분히 안정화된 후 수행하였다. 센서의 안정화는 기기의 Alphasoft (Alpha MOS) 프로그램 자체의 안정화 단계 통과 여부로 판단하였다.

2) 단맛 최대 측정 한계 설정 및 센서 선정

단맛의 검량곡선은 설탕을 정제수로 희석하여 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% 및 35%로 각 100mL씩 제조하여 표준시료로 사용하였다. 분석의 신뢰성 확인을 위해서는 설탕의 최적 최대농도 범위 내에서 검량곡선을 작성한 후 임의의 조제한 시료 (18%)로 반복 측정하였다. 단맛 최적 센서 선정을 위해서는 각 센서의 측정 감응도 평균값을 검량곡선에 대입하여 산출한 회수율 (정확성) 및 정밀도를 고려하였다.

3) 감미료의 농도별 센서값 분석

과당, 자일리톨, 설탕 및 포도당을 각각 5g, 10g, 15g씩 정확히 칭량하여 100mL 사이즈의 개별 정용플라스크에 넣은 후 정제수로 표 선까지 채워 세 가지 농도의 시료를 제조하였다. 분석은 각 시료 당 120초씩 5회 반복

분석하였으며, 시료 분석 후에는 평균 과정을 수행하였다 [8].

4) 통계처리

통계처리는 기기에 장착된 'Alpha MOS'를 사용하였다. 7종 센서와 해당 물질의 센서 감응도 값을 그룹 간의 거리로 상대적 차이점 및 경향성을 나타내는 주성분 분석법 (principal component analysis; PCA)을 이용하여 통계 처리하고 구분효율은 discrimination index (DI)로 나타내었다 [9]. DI는 그룹의 차이가 뚜렷할 때는 $\{1 - [(\text{각 시료 면적의 합}) / (\text{총면적})] \times 100\}$, 그리고 그룹이 겹칠 때는 $-(\sum \text{교집합 면적} / \text{총면적}) \times 100$ 식으로 계산되었다. 센서의 상대적 감응도 평균 및 상대 표준편차 (relative standard deviation; RSD%) 수치 계산은 SigmaPlot (ver. 13, Systat Software Inc., San Jose, CA, USA) 프로그램을 사용하였다.

III. 연구 결과

1. 단맛 최대 측정 한계 설정 및 센서 선정

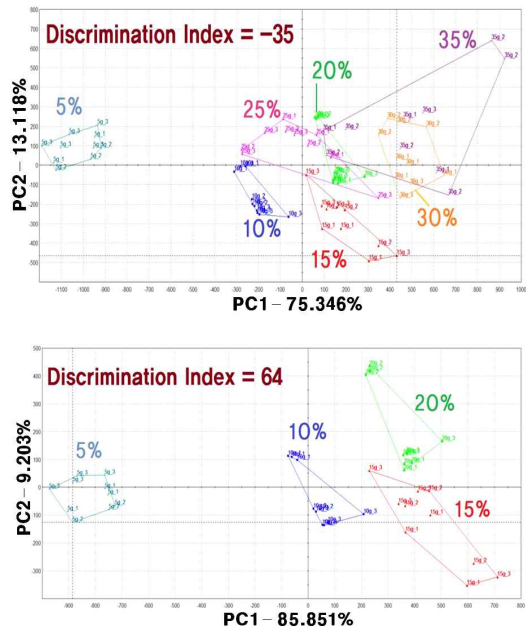


그림 2. E-tongue을 이용한 다양한 농도의 설탕용액 측정 감응도값의 PCA 통계처리 결과 (위) 5%~35% 및 (아래) 5%~20%
 Figure 2. PCA results of E-Tongue sensors' responses for (Above) 5~35% and (Below) 5~20% sugar standard solutions

모든 센서 측정치 (감응도)의 설탕 표준 시료 측정 데이터값을 PCA로 분석한 결과, 그림 2에서와 같이 30% 및 35% 시료가 포함된 설탕 표준시료의 경우 DI가 35로 나타나, 농도 별 시료 그룹 간 구분이 어려웠다 (DI는 100에 가까울수록 구분이 용이함). 반면, 설탕 표준시료 5~20% 범위에서는 DI 64로 상대적 구분 효율이 높게 나타나 정량 곡선의 설탕 농도는 5%, 10%, 15% 및 20%로 설정하였다. 정량 곡선의 직선성 (R^2)이 0.9823~0.9986으로 우수한 NMS, PKS, CPS, AHS 및 SCS 센서로 작성한 정량 곡선을 이용하여 18% 설탕 용액의 분석 정확도를 검증한 결과, CTS 및 ANS 센서의 18% 설탕 용액에 대한 센서 감응도 값이 정량 곡선의 범위를 벗어난다는 것을 확인하였다 (표 1). AHS, CPS 및 SCS 센서의 정량 곡선으로 계산한 18% 설탕 용액의 회수율은 각각 183.0%, 25.5% 및 200.8%로 정확성에 문제가 있는 것으로 평가되어 감미 측정 센서에서 제외했다. 반면 PKS와 NMS 센서의 경우, 각각 97.6% 및 102.7%의 높은 회수율로 정확성이 확인되어 두 센서를 감미 측정용 센서로 선정하였다.

표 1. 18% 설탕 용액의 센서 별 회수율 (정확성)

Table 1. Recovery (accuracy) of 18% sugar solution measured by each sensor

	Formula	R^2	Recovery (18%=100)
AHS	$y = -4.9306x + 1040.6$	0.9895	183.0
PKS	$y = -28.253x + 964.67$	0.9929	97.6
CTS	$y = -0.632x + 3150.5$	0.1090	Ext ¹⁾
NMS	$y = -32.333x + 2766.5$	0.9986	102.67
CPS	$y = -15.612x + 2960.5$	0.9906	25.5
ANS	$y = -0.4482x + 3020$	0.2653	Ext ¹⁾
SCS	$y = 3.872x + 4016$	0.9823	200.8

1) "Ext" means the sensor response was extrapolated.

2. 감미료의 농도별 센서값 분석

각 감미료 (5%, 10% 및 15%)에 대한 PKS 및 NMS 센서 데이터값의 RSD% 평균은 각각 10.59% 및 8.55%의 정밀도를 나타내었다 (표 2). 설탕, 과당, 포도당 및 자일리톨의 농도 증가에 따른 PKS 및 NMS센서의 감응도 증가 추세를 확인하기 위해, 4종 감미료 5%, 10% 및 15%를 분석한 결과는 그림 3에 나타내었다. PKS 센서에서 측정한 자일리톨과 과당의 R^2 값은 각각 0.3796 및 0.1633으로 낮게 나타나 농도에 따른 센서 감응도와의 연관성이 낮았다. 또한 기울기도 매우 완만하여

표 2. 각 감미료 5%, 10% 및 15%에 대한 PKS 및 NMS센서의 평균 감응도 및 RSD%

Table 2. PKS & NMS Sensor response mean value and % RSD for each sweetener with 5%, 10%, and 15% concentration

	PKS		NMS	
	Mean	RSD%	Mean	RSD%
Fructose 5%	1984.26	12.48	3804.96	8.80
Fructose 10%	1933.94	13.58	3709.89	10.00
Fructose 15%	1963.48	13.45	3748.39	9.86
Xylitol 5%	2018.10	12.69	3642.85	10.56
Xylitol 10%	2045.86	12.17	3501.13	10.41
Xylitol 15%	1972.38	11.47	3311.20	10.11
Sugar 5%	1583.86	10.20	3582.52	7.91
Sugar 10%	1394.22	8.10	3470.56	6.24
Sugar 15%	1243.90	5.86	3351.48	5.57
Glucose 5%	1905.83	9.65	3672.77	7.01
Glucose 10%	1814.56	8.80	3420.01	8.04
Glucose 15%	1736.69	8.60	3222.13	8.05
Average		10.59		8.55

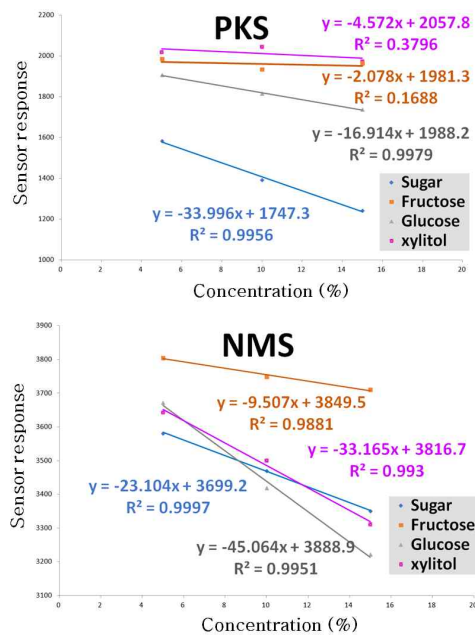


그림 3. 5%, 10% 및 15% 농도의 4종 감미료에 대한 PKS 및 NMS센서의 감응도 곡선

Figure 3. Response Curves for four sweetener (5%, 10% and 15%) measured by PKS and NMS sensors

농도별 변별 효율 또한 낮은 것으로 확인되어 감미 측정용 센서에서 제외시켰다. 반면에, NMS센서는 각 감미료에 대한 R^2 값이 0.9881~0.9997로 높게 나타나 농도에

따른 센서 감응도의 연관성이 높은 것으로 확인되었다. 10%와 15% 시료들에 대한 모든 센서 감응도를 PCA로 분석한 결과 DI값은 74~76으로 감미료 간 구별이 가능하였으나, 5% 시료의 경우, DI가 -0.1로 감미료 간 구분이 어려운 것으로 나타났다. 반면, 5%, 10% 및 15% 농도에서 측정된, 설탕의 NMS 센서 단독 감응도를 1로 설정하고, 기타 감미료들의 상대 감응도를 계산한 평균은 비교적 우수한 정밀도를 나타내었다 (표 3). 설탕 대비 세가지 당의 정밀성은 RSD% 1.53%~3.64%로 5%~15% 농도 범위에서는 농도에 상관없이 과당, 포도당 및 자일리톨의 설탕 대비 상대 수치가 일정함을 확인할 수 있었다. 문헌상에 관능검사 결과로 기술되어 있는 설탕에 대한 상대 감미도는 과당 1.1~1.8, 포도당 0.5~0.75 및 자일리톨 0.8~1.1로 포도당을 제외한 과당 및 자일리톨은 본 연구에서 도출한 상대 감응도와 유사한 수준을 확인할 수 있었다 [10, 11]. 포도당의 경우, 본 연구에서 얻어진 상대 수치는 문헌상의 수치보다 높은 0.99로 설탕과 유사한 단맛 강도로 측정되었다. 이는 사람이 측정하는 단맛의 상대적 강도와 E-Tongue이 측정하는 상대적 단맛 강도가 일치하지는 않을 수 있다는 것을 의미한다. 과당, 포도당 및 자일리톨의 설탕 대비 상대적 감미도의 우수한 정밀성을 고려할 때 다양한 심인적, 육체적 요인으로 인한 객관성 결여가 가능한 관능검사에 비하여, 반복 분석이 요구되는 품질검사의 업무에 효율적 적용이 가능할 것으로 생각된다.

표 3. E-Tongue NMS sensor로 측정한 4종 감미료의 상대적 감미도 (설탕 1 기준)

Table 3. Relative sweetness of four sweeteners measured by E-tongue NMS sensor (sugar is assigned as 1)

	Relative sweetness	%RSD
Sugar	1.00	0.00
Fructose	1.08	2.32
Glucose	0.99	3.64
Xylitol	1.00	1.53

IV. 결론

Astree사 E-Tongue의 7개의 센서 중 설탕에 대한 정량적 연관성 및 정밀성과 정확성을 고려한 후 설탕을 비롯한, 과당, 포도당 및 자일리톨, 5%, 10% 및 15% 용액을 E-Tongue으로 분석하여 센서 감응도를 검토한

결과 최종적으로 NMS 센서가 단맛 측정 센서로 선정되었다. NMS 센서를 이용한 상대적 센서 감응도를 이용하여 과당, 포도당 및 자일리톨의 설탕 대비 상대적 감미 측정이 가능한 것으로 평가되었다. 본 연구에서 단맛 측정 용으로 선정된 NMS 센서는 이미 감칠맛 센서로 지정되어 있어, 향후 해당 센서를 이용한 단맛 분석 시 감칠맛 성분으로 인한 분석 특이성 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

- [1] H. S. Im, "The Functional Effects for the Prevention and Treatment on Hair Loss from Astringent Persimmon Fruit Extracts", *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol. 4, No. 3, pp. 253-259, 2018. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2018.4.3.253>
- [2] B. Y. Lee, "Theoretical background of sweet taste and its application to the food industry", *Bulletin of Food Technology*, Vol. 11, No. 4, pp. 93-100, 1998. <https://koreascience.kr/article/JAKO199869838710865.pdf>
- [3] J. W. Shim, "Molecular Biological Evaluation of Taste", *Food Industry and Nutrition*, Vol. 21, No. 1, pp. 1-4, 2016. <https://koreascience.kr/article/JAKO201623558080608.pdf>
- [4] A. A. Fushan, C. T. Christopher, T. Simons, J. P. Slack, D. Drayna, "Association between Common Variation in Genes Encoding Sweet Taste Signaling Components and Human Sucrose Perception", *Chemical Senses*, Vol. 35, No. 7, pp. 579-592, 2010. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjq063>
- [5] Y. Vlasov, A. Legin, A. Rudnitskaya, C. D. Natale, A. D'Amico, "Nonspecific Sensor Arrays ("Electronic Tongue") for Chemical Analysis of Liquids (IUPAC Technical Report)", *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 77, No. 11, pp. 1965-1983, 2005. DOI:10.1351/PAC200577111965
- [6] M. Podraz'ka, E. Ba'czyn'ska, M. Kundys, P. S. Jelen', E. W. Nery, "Electronic Tongue - A Tool for All Tastes?", *Biosensors*, Vol 8, No. 3, 1-24, 2018. <https://doi.org/10.1351/pac200577111965>
- [7] K. Beullens, S. Vermeir, D. Kirsanov, A. Legin, S. Buysens, N. Cap, B. M. Nicolai, J. Lammertyn, "Analysis of tomato taste using two types of electronic tongues", *Sensors and Actuators B:*

- Chemical, Vol. 131, pp. 10-17, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.12.024>
- [8] H. M. Dong, J. Y. Moon, S. H. Lee, “Discrimination of geographical origins of raw ginseng using the electronic tongue”, Korean Journal of Food Science and Technology, Vol. 49, No. 4, pp. 349-354, 2017. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2017.49.4.349>
- [9] M. A. Kang, “Object Recognition Using the Edge Orientation Histogram and Improved Multi-Layer Neural Network”, International Journal of Advanced Culture Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 142-150, 2018. DOI : 10.17703/IJACT2018.6.3.142
- [10] Y. Mao, S. Tian, Y. Qin, J. Han, “A new sensory sweetness definition and sweetness conversion method of five natural sugars, based on the Weber-Fechner Law”, Food Chemistry, Vol. 281, pp. 78-84, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.049>
- [11] M. J. Gwak, S. J. Chung, Y. J. Kim, C. S. Lim, “Relative Sweetness and Sensory Characteristics of Bulk and Intense Sweeteners”, Food Science and Biotechnology, Vol. 21, No. 3, pp. 889-894, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0115-0>

※ 이 논문은 2022학년도 세명대학교 대학혁신지원사업에 의한 연구입니다. 실험에 도움을 준 오승현군에게 감사드립니다.