



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

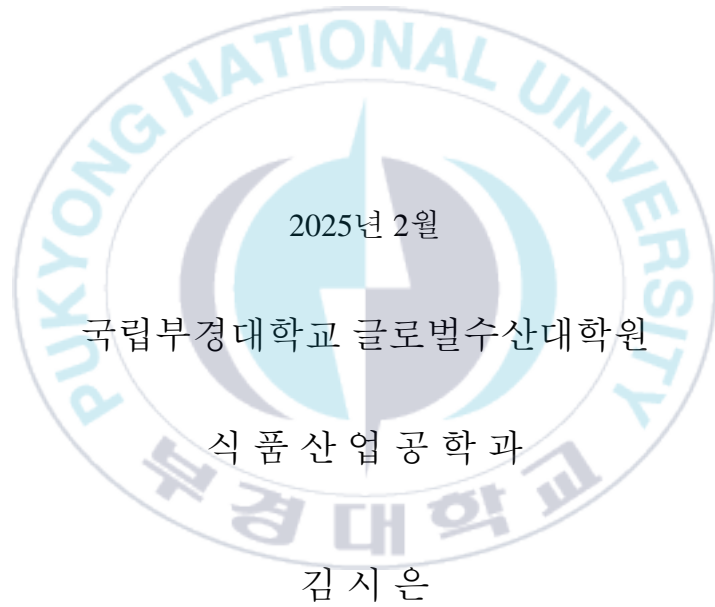
저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

FT-IR을 이용한 탁주의 인공감미료  
신속 검출법 연구



2025년 2월

국립부경대학교 글로벌수산대학원

식품산업공학과

김시은

공학석사학위논문

# FT-IR을 이용한 탁주의 인공감미료 신속 검출법 연구

지도교수 심길보

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2025년 2월

국립부경대학교 글로벌수산대학원

식품산업공학과

김시은

김시은의 공학석사 학위논문을 인준함.

2025년 2월 21일



위원장      농학박사      양지영      (인)

위원      공학박사      목진홍      (인)

위원      공학박사      심길보      (인)

## 목차

List of Tables.....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	v
I. 서론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	5
1. 실험 재료.....	5
2. 표준품 및 시약.....	5
3. 표준 용액 제조.....	1 2
4. HPLC 분석법 검증 방법 .....	1 2
4.1. 직선성.....	1 2
4.2. 검출한계 및 정량한계.....	1 3
4.3. 회수율 및 정확도.....	1 3
5. 당류 HPLC 분석 방법 .....	1 4
5.1. 시료 전처리 .....	1 4
5.2. 기기분석 조건 .....	1 4
6. 인공감미료 HPLC 분석 방법 .....	1 6
6.1. 시료 전처리.....	1 6
6.2. 기기분석 조건.....	1 6

7. 당류와 인공감미료 FT-IR 분석 방법 .....	1 7
8. 상관분석 .....	1 7
III. 결과 및 고찰.....	2 0
1. HPLC 분석법 검증 .....	2 0
1.1. 직선성.....	2 0
1.2. 검출한계 및 정량한계.....	2 0
1.3. 회수율 및 정확도.....	2 1
2. 당류 HPLC 분석 결과.....	3 6
3. 인공감미료 HPLC 분석 결과.....	3 9
4. 당류와 인공감미료의 상관분석 결과.....	4 0
5. 당류와 인공감미료 FT-IR 분석결과 .....	4 4
6. 탁주의 인공감미료에 대한 안전성 평가 .....	5 1
IV. 요약.....	5 4
V. 참고문헌 .....	5 6

## List of Tables

Table 1. Descriptive information on *Takju* with artificial sweetener collected at the market

Table 2. Descriptive information on *Takju* with no artificial sweetener collected at the market

Table 3. HPLC conditions used in the determination of sugars

Table 4. HPLC conditions used in the determination of sweeteners

Table 5. Linearity data of sugars from standard

Table 6. Linearity data of artificial sweeteners from standard

Table 7. The limit of detection (LOD) and limit quantification (LOQ) values of each sugar for standard

Table 8. The limit of detection (LOD) and limit quantification (LOQ) values of each artificial sweetener for standard

Table 9. Recovery of sugars (mg/L) in spiking samples

Table 10. Recovery of artificial sweeteners (mg/L) in spiking samples

Table 11. Detection results of sugar in *Takju* with artificial sweetener

Table 12. Detection results of sugar in *Takju* with no artificial sweetener

Table 13. Detection results of sweetener in *Takju* with artificial sweetener

Table 14. Detection results of sweetener in *Takju* with no artificial sweetener

## List of Figures

- Fig. 1. Calibration curves for determination of fructose as standard.
- Fig. 2. Calibration curves for determination of glucose as standard.
- Fig. 3. Calibration curves for determination of sucrose as standard.
- Fig. 4. Calibration curves for determination of lactose as standard.
- Fig. 5. Calibration curves for determination of maltose as standard.
- Fig. 6. Calibration curves for determination of acesulfame K as standard.
- Fig. 7. Calibration curves for determination of sodium saccharin as standard.
- Fig. 8. Calibration curves for determination of aspartame as standard.
- Fig. 9. Results of correlation analysis of sugars and artificial sweeteners added to *Takju*.
- Fig.10. FT-IR analysis results of *Takju* according to sweetener concentration.
- Fig. 11. FT-IR analysis results of sugars and artificial sweeteners.
- Fig.12. FT-IR analysis results of 10 types of *Takju* with artificial sweeteners.
- Fig.13. FT-IR analysis results of 10 types of *Takju* with no artificial sweeteners

**Study on Rapid Detection Method for Artificial Sweeteners in *Takju*  
Using FT-IR Spectroscopy**

Sieun Kim

Department of Food Science and Engineering

Graduate School of Global Fisheries

Pukyong National University

**Abstract**

*Takju* is made by adding artificial sweeteners to *Takju* to maintain consistent quality and reduce production costs. However, with the recent classification of aspartame as a possible carcinogen and the ongoing controversy over the safety of artificial sweeteners, the release and consumption of expensive premium *makgeolli* with minimal artificial sweeteners are on the rise. Therefore, this study quantitatively analyzed artificial sweeteners and sugars in 20 types of *Takju* distributed domestically to use them as basis for evaluating the safety of *Takju* and developed an FT-IR analysis method for qualitatively examining

artificial sweeteners contained in large quantities of *Takju*. As a result of analyzing sugars and artificial sweeteners in *Takju* using HPLC according to the presence or absence of artificial sweeteners, most *Takjus* with added artificial sweeteners did not have any sugars, but all *Takju* without added sugars had an average content of 82.02 mg/g, confirming that glucose, acesulfame potassium, and aspartame showed a clear negative correlation. In the case of *Takju*, the standards and specifications for sweeteners in Korea have established standards for the use of sweeteners, but even though the average detection content of aspartame was the highest, the standards for use were not restricted, so it seems that a reevaluation of the standards and regulations is necessary.

The analysis of sugars and artificial sweeteners in *Takju* using FT-IR has highlighted some limitations of the HPLC analysis method, which is often complicated and time-consuming. It was determined that specific peaks in the FT-IR spectrum can help identify the addition of artificial sweeteners. For example, the N-H bond of artificial sweeteners typically appears around 1,600  $\text{cm}^{-1}$ , while the C-H bond of sugars is observed around 2,800  $\text{cm}^{-1}$ .

However, when attempting to qualitatively analyze artificial sweeteners in *Takju* with FT-IR, it becomes challenging to identify specific types and conduct accurate quantitative analyses. This difficulty arises due to the presence of various physicochemical components in *Takju*. Additionally, it seems that the qualitative analysis of artificial sweeteners below the detection limit of 50 ppm might be problematic, indicating a need for further research.

# I. 서론

막걸리라고도 불리우는 전통 병행복발효주 탁주는 주원료인 쌀 등의 전분 질재료와 국(누룩,입국)과 물 등을 섞어 발효시켜 제조한다(Oh, 2022). 탁주 중 누룩의 효소는 전분을 분해하여 당분을 만들고 효모는 생성된 포도당을 발효시켜 알코올화한다(Jeon et al, 2014). 탁주는 발효 공정의 표준화가 이루어져 있지 않아 발효 균주, 원료 곡물의 종류, 및 발효 환경에 따라 독특한 풍미를 나타내기 때문에 (Jeon et al, 2013) 품질의 균일화가 어렵다는 문제점이 있다(Jeon and Lee, 2011). 일정한 맛을 유지하기 위해 생막걸리에서 효모가 에너지원으로 사용하기 좋은 설탕이나 액상과당 같은 감미료를 쓸 경우 용기 내에서 알코올 발효가 지속되어 도수가 상승하고 탄산가스가 분비된다(Kim and Kim, 2011). 이러한 문제들을 피하기 위해 효모가 쉽게 분해되지 않는 인공감미료를 첨가하여 생산 비용을 줄이고 품질과 제품의 감미도를 유지하는 방식을 많이 사용한다(Jung et al, 2012). 당류 섭취로 인한 충치, 비만, 당뇨병 등 만성질환이 생길 수 있다는 우려와 함께(Cho et al, 2004) 전반적으로 사용되는 대체 감미료들 중 사카린나트륨(sodium saccharin), 아세설팜칼륨(acesulfame K), 아스파탐(aspartame), 스테비오사이드(stevioside), 수크랄로스(sucralose), 에리스리톨(erythritol), 자일리톨(xylitol) 등이 식품첨가물공전에서 규정하고 있는 주류에 허용되는 대체 감미료들이다(MFDS, 2024).

Aspartame은 설탕의 약 200배의 단맛을 내는 인공감미료로서, 최근 세계보건기구(WHO) 산하 국제 암연구소(International agency for research on

cancer, IARC)와 국제연합식량농업기구(Food and agriculture organization of the United Nations, UN FAO) 공동 산하기구인 식품 첨가물 전문가 위원회(Joint FAO/WHO expert committee on food additives, JECFA)는 aspartame을 발암 가능 물질 등급인 2B등급으로 분류하였다(Kho YL, 2023). Acesulfame K과 sodium saccharin은 각각 설탕의 약 200배, 300배의 단맛을 가지고 칼로리가 없는 인공감미료이고 (Ju DL, 2015) sucralose는 설탕의 약 600배의 단맛을 내는 인공감미료로써 다른 감미료의 단점인 쓴 맛이 적고 산이나 고열에 안정적이기 때문에 식품 및 음료에 널리 사용되고 있다(Cho et al, 2024).

우리나라에서는 인공감미료를 식품첨가물로써 식품첨가물공전에서 사용 대상 식품과 사용량을 규제하고 있으며(MFDS, 2024) 국제기관 JECFA가 설정한 1일 섭취허용량(ADI, acceptable daily intake)는 acesulfame K 15 mg/kg·bw/day, sodium saccharin 5 mg/kg·bw/day, aspartame 40 mg/kg·bw/day이다 (Ju DL, 2015). 인공감미료의 부정적인 영향에 대한 문제는 끊임없이 제기되고 있는데 코호트의 연구결과에서는 인공감미료의 소비 증가와 심혈관 질환 위험 증가 사이에 직접적인 연관성이 있다고 한 바있으며 인공감미료 총 섭취는 심혈관 질환 위험 증가하고 aspartame 섭취는 뇌혈관 질환 위험 증가, acesulfame K 은 관상동맥, 심장질환 위험 증가와 관련이 있다고 시사하였다(Debras et al, 2022).

이러한 인공감미료의 논란과 더불어 탁주의 저렴한 술 이미지로 인한 품질에 대한 불신, 제품의 다양화, 국내산 쌀 소비 촉진 등의 이유로 무감미료 막걸리, 프리미엄 막걸리의 출시와 소비가 늘고있다. 전문가 조사에서 프리미엄 막걸리의 정의는 ‘소비자가 신뢰하는 품질을 갖춘 전통과 현대가 접목된

막걸리'이고 분류기준은 '국내산 원료 100%, 첨가물(인공감미료) 최소 사용, 매년 정기적 위생점검, 소비자가 품질을 인식할 수 있는 정보표시' 로써 정하고있다(RDA, 2017).

한국농수산식품유통공사(aT)에 따르면 최근 탁주의 출고 수량은 2020년 388,291 KL 2021년 372,759 KL 2022년 341,437 KL으로 하락하고 있으나 탁주의 출고금액은 2020년 4,529억원 2021년 4,896억원 2022년 4,982억원 으로 상승하고있다(aT, 2024). 출고량은 줄었으나 출고액이 올랐다는 통계를 통해서 값비싼 프리미엄 막걸리의 수요가 증가했음을 확인할 수 있다. 또한 소비자의 프리미엄 막걸리 지불의사금액(평균)이 2017년 2,432원 2023년 4,593원 으로 2023년도의 물가상승률 18.5%를 감안한다고 보더라도 2017년대비 2023년의 프리미엄 막걸리 지불의사금액이 약 1.6배가 증가한 것을 통해서 프리미엄 막걸리의 인기를 확인할 수 있다.

따라서 본 논문은 최근 논란의 여지가 많은 인공감미료를 첨가한 탁주와 인공감미료를 첨가하지 않은 무감미료 막걸리, 값비싼 프리미엄막걸리의 당류와 인공감미료의 사용실태를 조사하여 소비자의 알권리를 보장하고 탁주 안전성 평가의 근거 자료로 활용하고자 하였다.

현재 당류와 인공감미료의 검사에 사용되고 있는 HPLC 분석법은 전처리 과정이 복잡하며, 시료가 많아질수록 분석 시간이 많이 소요되고 시약 사용으로 인한 인체 유해성의 문제가 있는데(Yuan et al, 2013) 이러한 문제를 보완하기 위하여 스펙트럼이 가지고있는 다양한 정보를 이용하여 신속하고 정확하게 성

분을 구분할 수 있는 FT-IR(Fourier transform infrared ,푸리에변환적외선)법을 개발·적용하고자 하였다(Gallardo-Velázquez et al, 2009).

따라서 본 논문에서는 탁주의 인공감미료의 사용 여부를 FT-IR을 이용하여 신속, 정확하게 정성분석하고 FT-IR로부터 인공감미료가 검출된 시료를 HPLC로 정량분석을 실시하여 시중 유통 탁주의 인공감미료 사용 실태 및 안전성을 평가하고자 하였다.



## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 시험에 사용한 시료는 현재 우리나라에 유통되고 있는 탁주를 오프라인 (대형마트, 슈퍼, 편의점)과 온라인 구매 등을 통하여 구매하였다. 표시 사항에 표시된 식품 유형은 탁주 17건, 살균 탁주 3건으로 총 20건이었다.

그 중 원재료명 표시에 따라 인공감미료가 첨가된 탁주 10건, 첨가되지 않은 탁주 10건을 구분하여 실험하였다(Table 1, Table 2).

시료는 식품공전 제7. ‘검체의 채취 및 취급 방법’에 따라 채취 및 전처리를 수행하였으며 균질화한 액체 시료를 50 mL conical tube에 각각 소분하여 밀봉 보관하고 이를 분석에 사용하였다

### 2. 표준품 및 시약

시료 전처리에 사용된 용매인 methanol, acetonitrile, water (LC-MS Grade) 용액은 Merck (Darmstadt, Germany) 제품을 사용하였다. 이외 이동상 조제에 사용된 10% TPA-OH (tetrapropyl ammonium hydroxide), phosphoric acid 용액은 각각 TCI (Tokyo, Japan), Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) 제품을 사용하였다.

당류 표준품은 Sigma-Aldrich의 표준당 5종 mix (fructose, glucose, sucrose, maltose, lactose)을 사용하였으며 10°C 이하의 온도에서 보관하였다. 인공감미료 표준품은 Sigma-Aldrich의 인공감미료 3종 mix (acesulfame K, sodium saccharin, aspartame)를 사용하였으며 10°C 이하의 온도에서 보관하였다. 표준용액 및

Table 1. Descriptive information on *Takju* with artificial sweetener collected at the market

Category	Sample number	Manufacturer	Product name	Alcohol(%)	Constituent
<i>Takju</i>	1	<i>Juro</i>	<i>Golmok makgeolli original</i> (골목 막걸리 오리지날)	6	Purified water, puffed rice, rice, koji, starch syrup, crude enzyme, purified enzyme, yeast, acesulfame K, aspartame (contains phenylalanine)
	2	<i>Busanhabdong- yangjo</i>	<i>Our new rice saengtak</i> (우리 햅쌀 생탁)	7	Purified water, white rice, flour, citric acid, koji starter, starch syrup, acesulfame K, aspartame (contains phenylalanine)
	3	<i>Namdotakju</i>	<i>Jeonggojib-yesnal Saengdongdongju</i> (정고집 옛날 생동동주)	6	Water, rice, rice flour, yeast, prepared koji, purified enzyme, lactic acid, acesulfame K, aspartame (contains phenylalanine)
	4	<i>Mungyeongjujo</i>	<i>Guleumeul beossam-a</i> (구름을 벗삼아)	6	Purified water, glutinous rice, white rice, yeast, koji, purified enzyme, malt, oligosaccharide, acesulfame K, aspartame (contains phenylalanine)

(Continued)

Category	Sample number	Manufacturer	Product name	Alcohol(%)	Constituent
Takju	5	Guksoondang	Guksoondang saengmakgeolli (국순당 생막걸리)	6	Purified water, rice, yeast, koji, lactic acid, glucose, acesulfame K, aspartame(contains phenylalanine)
	6	Suncheonjujo	Haneuldam6 (하늘담6)	6	Purified water, white rice, lactic acid, koji, purified enzyme, steviol glycosides, yeast, starch syrup, xylitol, glucose, acesulfame K,
	7	Seouljangsu	Jangsu Saengmakgeolli (장수 생막걸리)	6	Purified water, white rice, puffed rice, koji, wheat, Boulardi yeast, citric acid, malto oligosaccharide, aspartame(contains phenylalanine)
	8	Geumjeongsanseong tosanju	Geumjeongsanseong Makgeolli (금정산성막걸리)	8	Purified water, white rice, koji, aspartame(contains phenylalanine)

(Continued)

Category	Sample number	Manufacturer	Product name	Alcohol(%)	Constituent
<i>Takju</i>	9	<i>Gimpogeumssal takju</i>	<i>Misaeng saengmakgeolli</i> (미생 생막걸리)	6	Purified water, rice, yeast, enzyme, citric acid, koji oligosaccharide, saccharin sodium
<i>Sterilized Takju</i>	10	<i>Seouljangsu</i>	<i>Wolmae rice makgeolli</i> (월매 쌀막걸리)	6	Purified water, white rice(9.938%), koji, wheat, mixed preparation, carbon dioxide, citric acid, malto oligosaccharide, aspartame(contains phenylalanine)

Table 2. Descriptive information on *Takju* with no artificial sweetener collected at the market

Category	Sample number	Manufacturer	Product name	Alcohol(%)	Constituent
<i>Takju</i>	11	<i>Baesangmyeonjuga</i>	<i>Neulinmaeul makgeolli</i> <i>bangultog</i> (느린마을 막걸리 방울톡)	6	Purified water, rice, coenzyme, koji, carbon dioxide, dried yeast, lactic acid, other fructose,
	12	<i>Baeksuldoga</i>	<i>Baekgeolli</i> (백걸리)	6.5	Purified water, rice, malt, koji, enzyme, yeast
	13	<i>Palpal yangjojang</i>	<i>Palpal makgeolli</i> (팔팔 막걸리)	6	Purified water, rice(Gimpo 100%), coenzyme, koji, carbon dioxide, dried yeast, lactic acid, other fructose,
	14	<i>Gaya yangjojang</i>	<i>Gaya premium makgeolli</i> (가야 프리미엄 막걸리)	6.5	Purified water, buckwheatrice(Gimhae), glutinous rice(Gimhae), malt, yeast

(Continued)

Category	Sample number	Manufacturer	Product name	Alcohol(%)	Constituent
Takju	15	Joro	<i>Golmokmakgeolli</i> <i>premium 12°</i> (골목막걸리 프리미엄 12°)	12	Purified water, rice, koji, yeast
	16	Baehyejeong doga	<i>Ugogsaengju</i> (우곡생주)	10	Water, rice, malt, lactic acid, koji, yeast
	17	Haechangjujojang	<i>Haechang 9do</i> <i>chabssalsaengmakeolli</i> (해창9도 잡쌀생막걸리)	9	Purified water, glutinous rice(10.2%), buckwheatrice, koji, grains, yeast
	18	J1	<i>Gyeong takju 12do</i> (경 탁주 12도)	12	Rice, purified water, koji, yeast, acidity regulator

(Continued)

Category	Sample number	Manufacturer	Product name	Alcohol(%)	Constituent
Sterilized Takju	19	<i>Baesangmyeonjuga</i>	<i>Neulinmaeul neulbom makgeolli</i> (느린마을 늘봄막걸리)	6	Purified water, rice, coenzyme, koji, carbon dioxide, dried yeast, lactic acid, other fructose,
	20	<i>Guksoondang</i>	<i>Guksoondang rice makgeolli</i> (국순당 쌀막걸리)	5.8	Purified water, rice(14.00%), koji, citric acid, lactic acid, carbon dioxide, other fructose

실험에 사용된 증류수는 초순수 제조장치(Fistream Cyclon Ultrapure Water Stills, Fistream, Cambridge, UK)로 제조한 18.2 $\Omega$  이상의 것을 사용하였다.

### 3. 표준 용액 제조

당류 표준용액은 표준당 5종(50000 mg/L each in D.W)을 증류수로 희석하여 fructose, glucose, sucrose (157, 313, 625, 1250, 2500, 5000 mg/L), lactose (297, 594, 1188, 2375, 4750, 9500 mg/L), maltose (281, 563, 1125, 2250, 4500, 9000 mg/L) 의 농도로 조제하여 사용하였다.

인공감미료 표준용액은 인공감미료 3종 (1200, 1100, 1000 mg/L each in D.W)을 증류수로 희석하여 acesulfame K (2, 4, 8, 15, 30 mg/L), sodium saccharin(1.7, 3.5, 7, 14, 28 mg/L), aspartame(8, 16, 32, 63, 125 mg/L)의 농도로 조제하여 사용하였다.

### 4. HPLC 분석법 검증 방법

시험법의 유효성 검증 (method validation)을 위해 CODEX에서 제시하는 가이드 라인(CAC/GL 40, 2003)과 식품의약품안전평가원 ‘식품 등 시험법 마련 표준 절차에 관한 가이드라인(2016)에 준하여 직선성(linearity), 검출한계(limit of detection), 그리고 정량한계(limit of quantification), 정확도(accuracy) 등으로 시험법의 신뢰성 및 적합성 여부를 검토하였다.

#### 4.1. 직선성

검량선 작성을 위해 농도별로 표준용액을 제조하였다. 당류 혼합표준용액을 fructose, glucose, sucrose는 157, 313, 625, 1250, 2500, 5000 mg/L 의 농도에서 lactose는 297, 594, 1188, 2375, 4750, 9500 mg/L 의 농도에서 maltose는 281, 563, 1125, 2250, 4500, 9000 mg/L 의 농도에서 희석하여 총 3회 검량선을 작성하여 진행하였다. 인공감미료 혼합표준용액을 acesulfame K은 2, 4, 8, 15, 30 mg/L 의 농도에서 sodium saccharin은 1.7, 3.5, 7, 14, 28 mg/L 의 농도에서 aspartame은 8, 16, 32, 63, 125 mg/L 의 농도에서 희석하여 총 3회 검량선을 작성하여 진행하였다.

#### 4.2. 검출한계 및 정량한계

검출한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantification, LOQ)를 측정하기 위해 LOD, LOQ를 측정하기 위해 당류와 인공감미료가 검출되지 않은 시료에 각각 표준혼합용액을 소량 첨가 후 분석하였다.

그 측정 결과로 검량선 기울기 표준편차( $\sigma$ )와 검량선의 기울기(S)를 사용하여 검출한계( $3 \times \sigma$ )/S 와 정량한계( $10 \times \sigma$ )/S 를 식에 대입하여 결과값을 산출하였다.

#### 4.3. 회수율 및 정확도

회수율을 시험하기 위해 AOAC 시험법 가이드라인을 참고하여 유효성을 검증하였다(AOAC, 2002). 당류 회수율 시험은 매질을 대표하여 fructose, glucose, sucrose, lactose, maltose 가 검출되지 않은 정고집 옛날 생동동주, 미생 생막걸리에 각각 정량한계의 약 10배 수준이 되도록 표준용액을 첨가하여 동일한 조건

으로 3회 반복 시험하여 회수율을 구하였다. 인공감미료 회수율 시험은 매질을 대표하여 인공감미료가 검출되지 않은 느린마을 막걸리 방울톡, 백걸리에 각각 정량한계의 약 10배 수준이 되도록 표준용액을 첨가하여 동일한 조건으로 3회 반복 시험하여 회수율을 구하였다.

## 5. 당류 HPLC 분석 방법

### 5.1. 시료 전처리

식품공전 제 8. 일반시험법 2. 식품성분시험법 중 '2.1.4.1.4 기기분석법에 의한 당류의 정량 시험법'에 따라 실험하였다. 균질화한 탁주 5g을 저울(XS1003SV, Mettler Toledo, Greifensee, Swiss)로 칭량하고 증류수 25mL 용액을 가한 다음, 10분간 흔들고 이를 85°C 수조에서 25분간 가온하여 당류를 추출하고 증류수를 가하여 50mL로 정용하였다. 이를 2,028g(RCF)에서 10분간 원심분리기(DE/3-18K, Sigma Laborzentrifugen, Osterode am Harz, Germany)로 원심 분리한 다음 이 액을 0.45 µm 멤브레인 필터로 여과한 후 시험 용액으로 하였다.

### 5.2. 기기분석 조건

당류 분석을 위해 HPLC(Nanospace SI-2, Osaka soda, Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였다. 검출기는 시차굴절계(RI-501, Shodex, Tokyo, Japan), 분석용 컬럼은 Asahipak NH2 50 4E (4.6 mm x 250 mm, 5 µm, Shodex, Tokyo, Japan)

Table 3. HPLC conditions used in the determination of sugars

---

Instrument	HPLC (Nanospace SI-2, Osaka soda, Osaka, Japan)
Column	Asahipak NH2 50 4E (4.6 mm x 250 mm, 5 $\mu$ m, Shodex, Tokyo, Japan)
Mobile phase	75% Acetonitrile
Flow rate	1.0 mL/min
Detector	RI-501 (Shodex, Tokyo, Japan)

---



을 사용하였으며 표준당 5종을 분석하기 위한 기기 조건을 설정하였다 (Table 3).

## 6. 인공감미료 HPLC 분석 방법

### 6.1. 시료 전처리

식품공전 제 8. 일반시험법 3. 식품 중 식품첨가물시험법 중 ‘3.2.2 아세설팜칼륨 (acesulfame K), 사카린나트륨 및 아스파탐 동시분석법’에 따라 실험하였다. 균질화한 탁주 20g을 저울(XS1003SV, Mettler Toledo, Greifensee, Swiss)에 달아 증류수를 가하여 50ml로 정용하였다. 이를 10분간 초음파 처리하여 탄산가스를 제거하여주고 70°C의 수욕상에서 15분간 가온하여 알코올을 증발시켜 검체를 취해주었다. 시료 용액을 2.028g(RCF)에서 10분간 원심분리기(DE/3-18K, Sigma Laborzentrifugen, Osterode am Harz, Germany)로 원심 분리한 다음 0.45 µm 멤브레인 필터로 여과한 후 시험 용액으로 하였다.

### 6.2. 기기분석 조건

Acesulfame K, sodium saccharin 및 aspartame 동시분석을 위해 HPLC (Nanospace SI-2, Osaka soda, Osaka, Japan), 자외선흡광검출기(UV photometric detector, 210 nm)를 사용하였다. 분석용 컬럼은 capcell-pak UG120 C18 (4.6 mm x 250 mm, 5 µm, Shiseido, Tokyo, Japan)을 사용하였으며

acesulfame K, sodium saccharin 및 aspartame을 분석하기 위한 기기 조건을 설정하였다(Table 4).

## 7. 당류와 인공감미료 FT-IR 분석 방법

탁주 20종의 시료와 당류와 인공감미료 표준용액을 glass microfiber filter (Whatman Inc., Maidstone, UK)에 20 mL씩 투과시키고 filter에 잔류한 액을 FT-IR 스펙트럼 측정 시료로 하였다.

탁주에 첨가된 인공감미료의 정성한계를 검토하기 위하여 acesulfame K (AK), sodium saccharin (SS), aspartame (AS)의 표준품을 대조구인 인공감미료가 검출되지 않은 탁주(*Guksoondang rice makgeolli*)에 각각 50 ppm 및 100 ppm 가하고 위와 동일한 분석 방법을 적용하여 FT-IR 스펙트럼을 촬영하였다.

탁주 20종의 당과 인공감미료의 비파괴적 검출을 하기 위하여 FT-IR 스펙트럼(FT-IR spectroscopy (Spectrum 3, PerkinElmer Inc., Waltham, MA, USA))을 이용하였다. 각 시료의 스펙트럼은 총 650-4,000  $\text{cm}^{-1}$ 범위에서  $1\text{cm}^{-1}$ 간격으로 총 3350회씩 4번 반복 측정된 평균 스펙트럼을 분석에 사용하였다.

## 8. 상관분석

탁주에 첨가되는 당류 및 감미료의 상관성을 분석하기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였으며, 각 요인 간 상관성의 유의확률은  $p < 0.05$

Table 4. HPLC conditions used in the determination of artificial sweeteners

---

Instrument	HPLC (Nanospace SI-2, Osaka soda, Osaka, Japan)
Column	Capcell-pak UG120 C18 (4.6 mm x 250 mm, 5 $\mu$ m, Shiseido, Tokyo, Japan)
Mobile phase	Methanol : water (20:80)(0.01M TPA-OH)(pH 4.0)
Flow rate	1.0 mL/min
Detector	UV photometric detector 210 nm

---



범위에서 검토되었다. Pearson 상관분석은 SPSS 프로그램 v. 27( SPSS Inc., NewYork, USA)을 이용하여 실시하였다.



### III. 결과 및 고찰

#### 1. HPLC 분석법 검증

##### 1.1. 직선성

직선성은 실험 방법이 일정 범위에 있는 검체 중 분석 대상 물질의 농도에 대하여 직선적인 측정값을 얻어낼 수 있는 능력을 말한다.

당류 기기분석 결과, fructose, glucose, sucrose, lactose, maltose 각각에 대한 HPLC 상관계수( $R^2$ )가 0.9970 ~ 0.9998 로 나타났으며 CODEX에서 요구하는  $R^2$ 의 범위( $\geq 0.99$ ) 이상으로 높은 직선성을 유지하였다(Table5, Fig. 1, Fig.2, Fig.3, Fig.4, Fig.5).

인공감미료 기기분석 결과, acesulfame K, sodium saccharin 및 aspartame 각각에 대한 HPLC 상관계수( $R^2$ )가 0.9993 ~ 0.9999 로 나타났으며 CODEX에서 요구하는  $R^2$ 의 범위( $\geq 0.99$ ) 이상으로 높은 직선성을 유지하였다(Table6, Fig. 6, Fig.7, Fig.8).

##### 1.2. 검출한계 및 정량한계

검출한계(limit of detection, LOD)란 검체 중에 존재하는 분석 대상물질의 검출 가능한 최소량 또는 최소농도를 말하며, 정량한계(limit of quantitation, LOQ)란 적절한 정밀도와 정확도를 가진 정량값으로 표현할 수 있는 검체 중 분석 대상 물질의 최소량 또는 최소 농도를 말한다.

당류 기기분석 결과, fructose, glucose, sucrose, lactose, maltose 의 검출한계는 각각 92.0605 mg/L, 69.7977 mg/L, 57.1662 mg/L, 111.5982 mg/L, 23.6385 mg/L 였다. Fructose, glucose, sucrose, lactose, maltose의 정량한계는 각각 278.9713 mg/L, 211.5083 mg/L, 173.2311 mg/L, 338.1763 mg/L, 71.6319 mg/L 였다(Table 7).

인공감미료 기기분석 결과, acesulfame K, sodium saccharin, aspartame 의 검출한계는 각각 0.39757 mg/L, 0.20608 mg/L, 3.17745 mg/L 였다. Acesulfame K, sodium saccharin, aspartame 의 정량한계는 각각 1.20476 mg/L, 0.62449 mg/L, 9.62863 mg/L 였다(Table 8).

### 1.3. 회수율 및 정확도

정확도는 시험결과의 품질을 측정하는 것으로 시험 결과인 측정값이 표준값에 대하여 얼마나 근접하는가에 대한 것이고 일반적으로 회수율 결과에 따라 판단이 가능하다.

당류 기기분석 결과, 회수율은 fructose 92~95%, glucose 88~104%, sucrose 94~101%, lactose 88~94%, maltose 80~97%로 이는 AOAC에서 제시하는 기준 규격인 80~120%범위 안에서 만족하는 결과로 유효성을 검증할 수 있었다(Table 9).

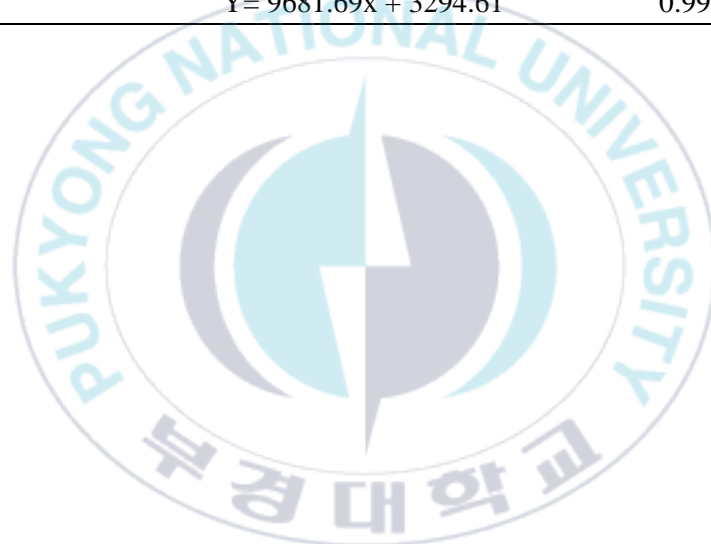
인공감미료 기기분석 결과, 회수율은 acesulfame K 90~97%, sodium saccharin 89~116%, aspartame 104~110% 였으며, 이는 AOAC에서 제시하는 기준 규격인 80~120%범위 안에서 만족하는 결과로 유효성을 검증할 수 있었다(Table 10).

Table 5. Linearity data of sugars from standard

Compound name	Linearity	r <sup>2</sup>
Fructose	Y= 33665.9 x+2020834.4	0.9992
	Y= 33594.1 x+2634257.9	0.9994
	Y= 33708.1x + 790529.3	0.9993
Glucose	Y= 27063.9x + 2225422.8	0.9970
	Y= 27436.3x + 1464987.5	0.9984
	Y= 25302.9x + 2563519.8	0.9991
Sucrose	Y= 34208.8x + 2164492.0	0.9994
	Y= 33979.1x + 3174269.3	0.9994
	Y= 34657.1x + 3210941.3	0.9990
Lactose	Y= 17294.5x + 1559689.5	0.9997
	Y= 17223.0+ 484307.7	0.9996
	Y= 186112.6x -565105.7	0.9980
Maltose	Y= 24116.7x + 1883655.2	0.9998
	Y= 24390.5+ 1522681.3	0.9991
	Y= 27637.2x + 1741117.8	0.9998

Table 6. Linearity data of artificial sweeteners from standard

Compound name	Linearity	r <sup>2</sup>
Acesulfame K	Y= 25294.0x + 3984.69	0.9994
	Y= 24202.1+ 931.125	0.9995
Sodium saccharin	Y= 23596.4x + 6800.10	0.9995
	Y= 44226.3x + 21577.9	0.9996
	Y= 41840.9x + 17144.0	0.9996
Aspartame	Y= 41251.9x + 21876.5	0.9995
	Y= 9487.53x + 6114.94	0.9998
	Y= 9211.72x + 20291.8	0.9993
	Y= 9681.69x + 3294.61	0.9999



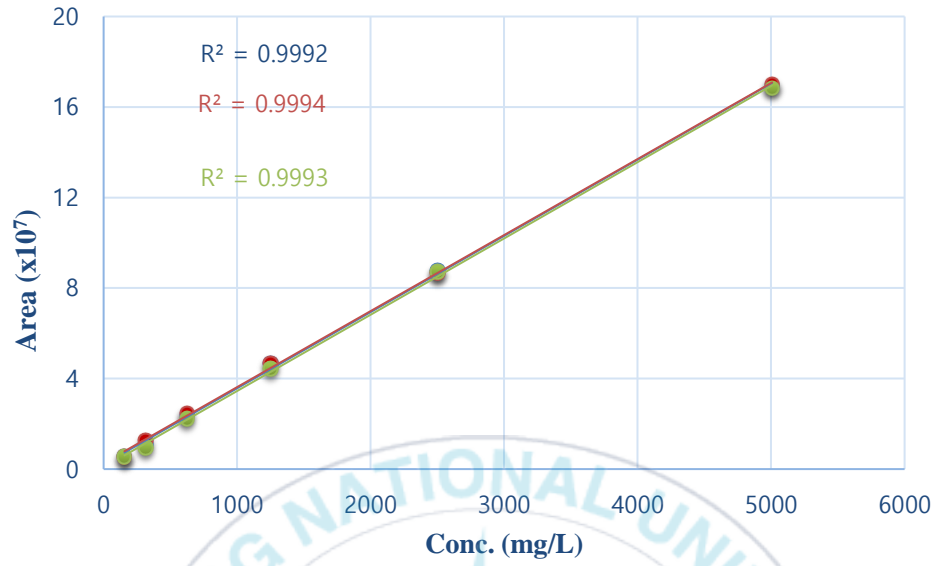
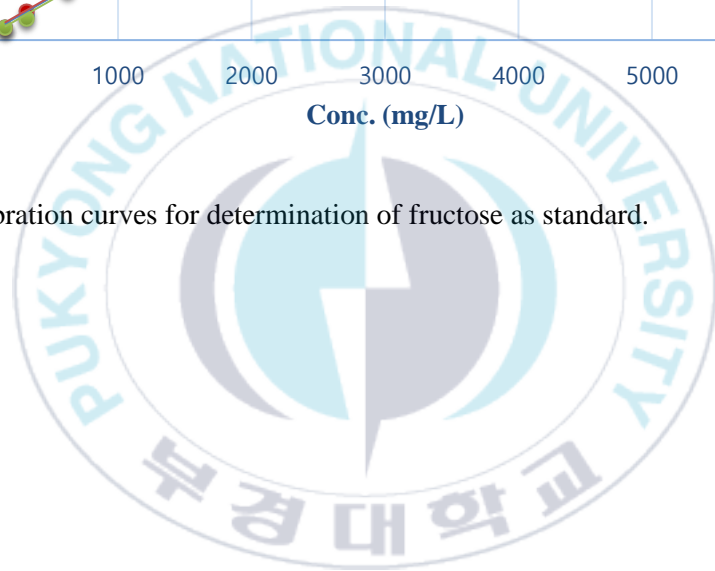


Fig. 1. Calibration curves for determination of fructose as standard.



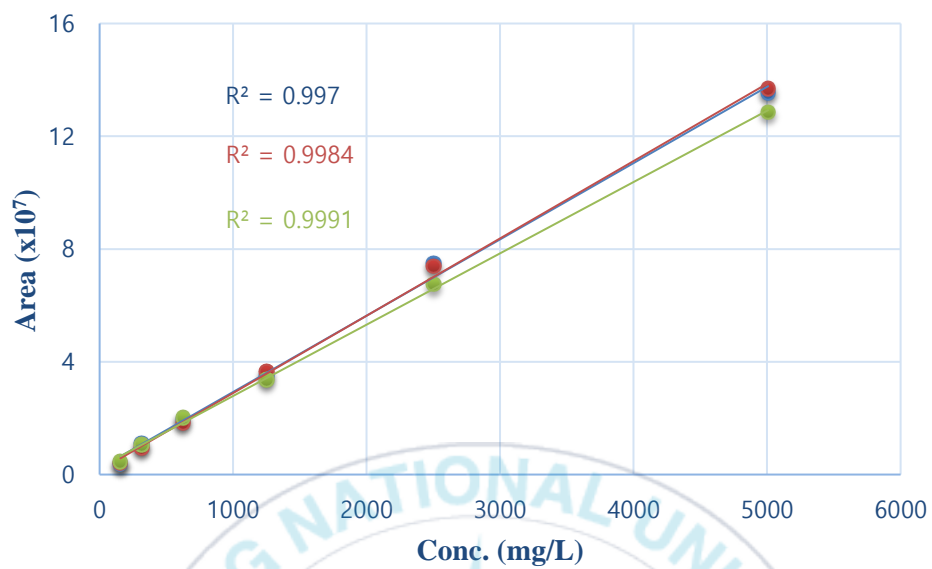


Fig. 2. Calibration curves for determination of glucose as standard.

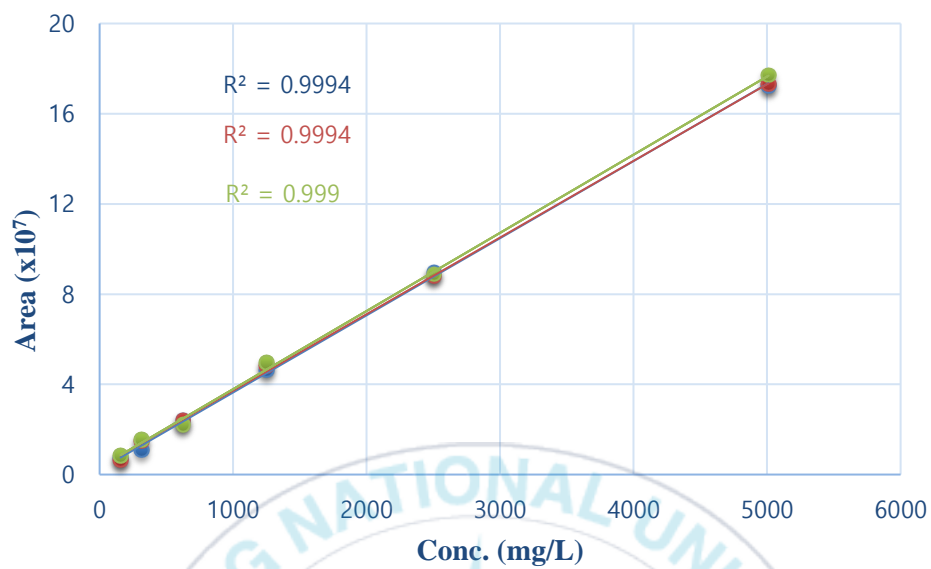
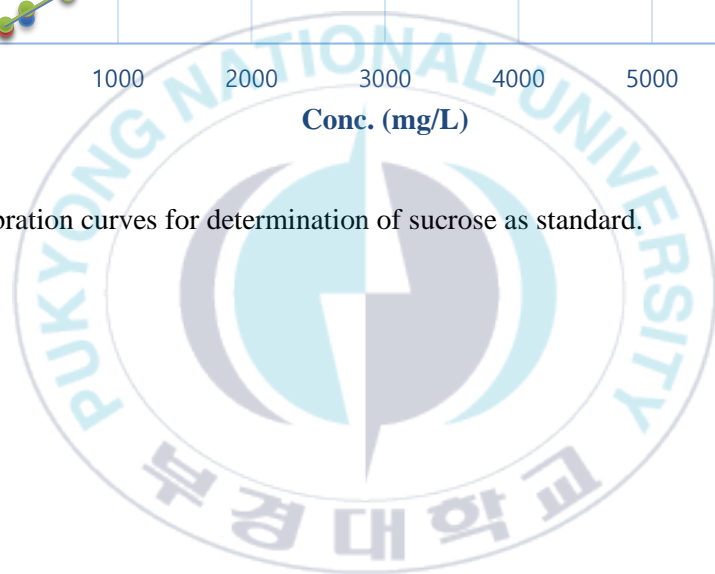


Fig. 3. Calibration curves for determination of sucrose as standard.



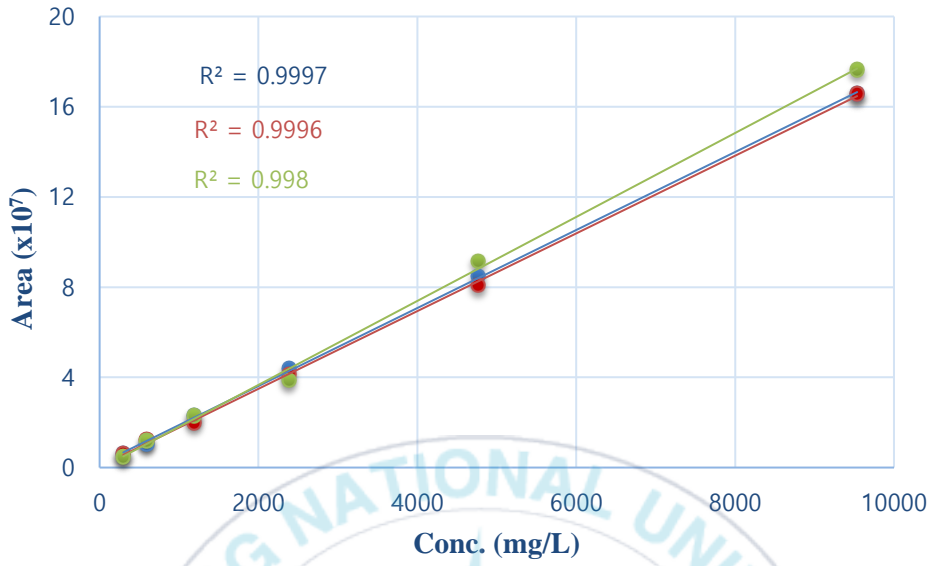
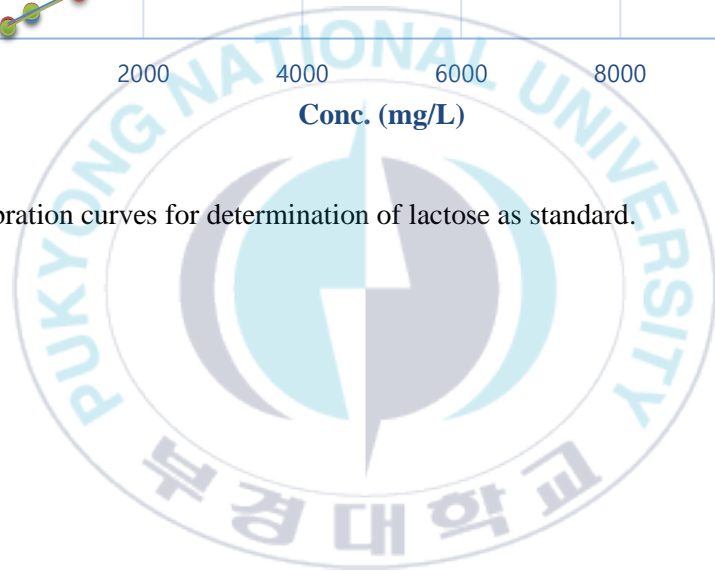


Fig. 4. Calibration curves for determination of lactose as standard.



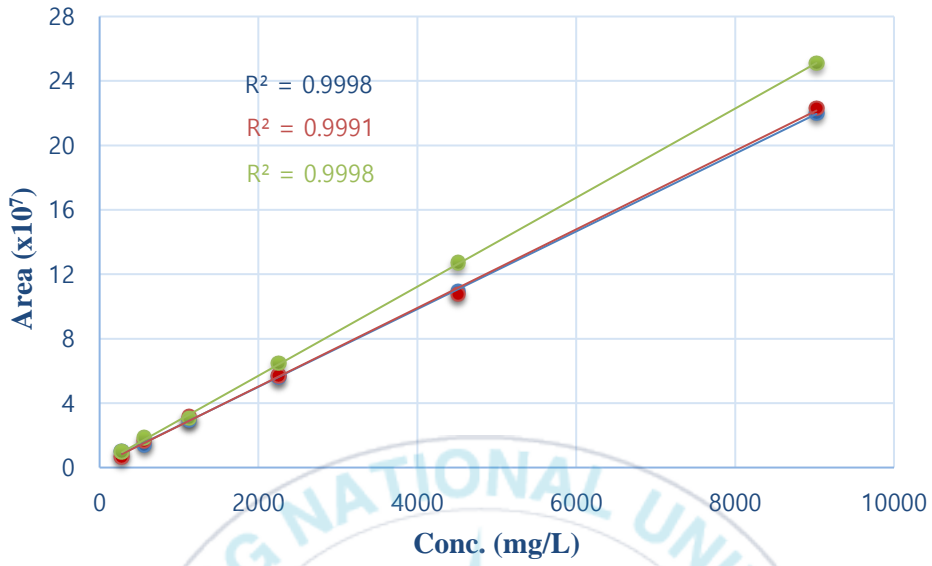
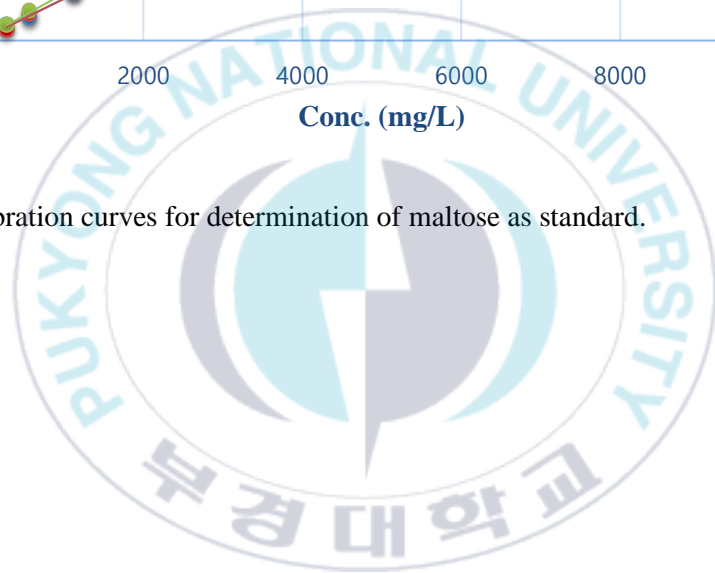


Fig. 5. Calibration curves for determination of maltose as standard.



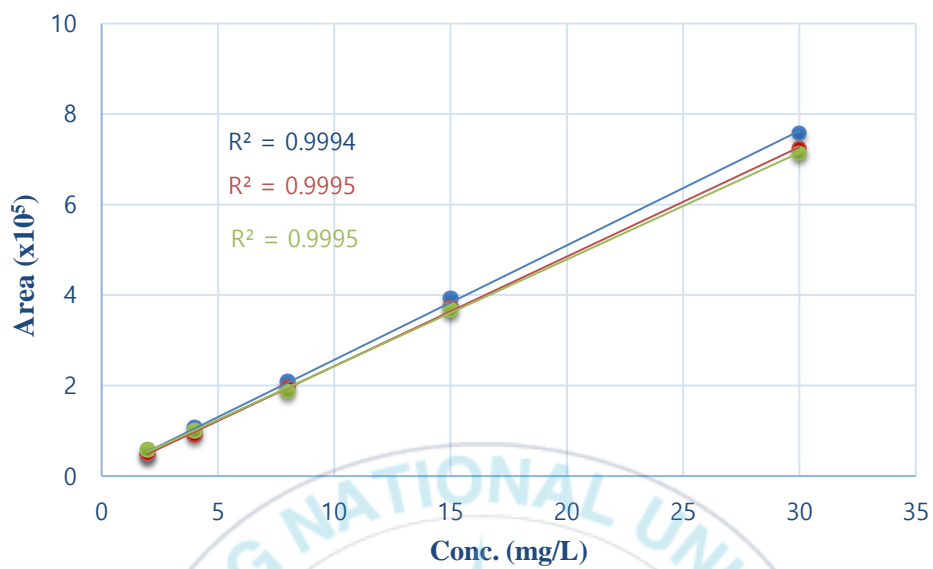


Fig. 6. Calibration curves for determination of acesulfame K as standard.

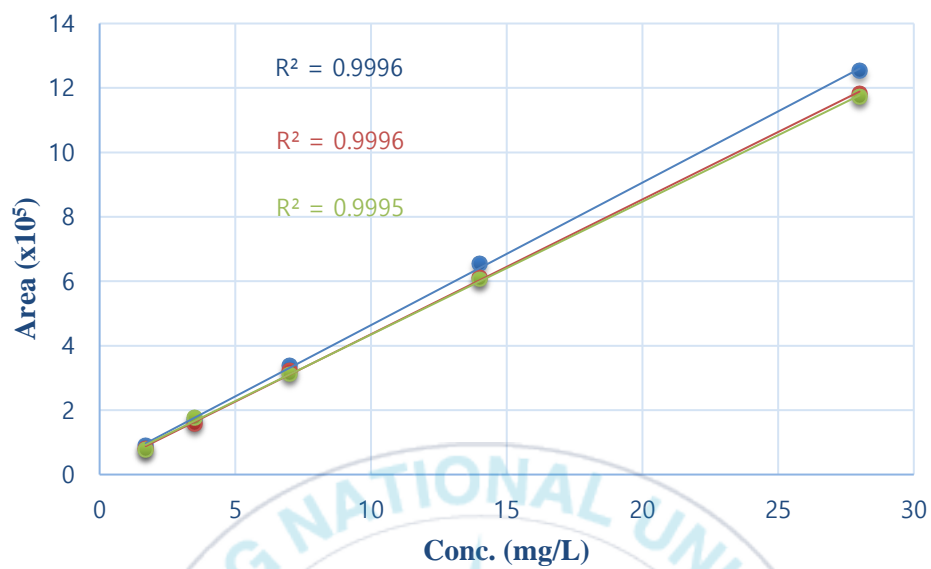
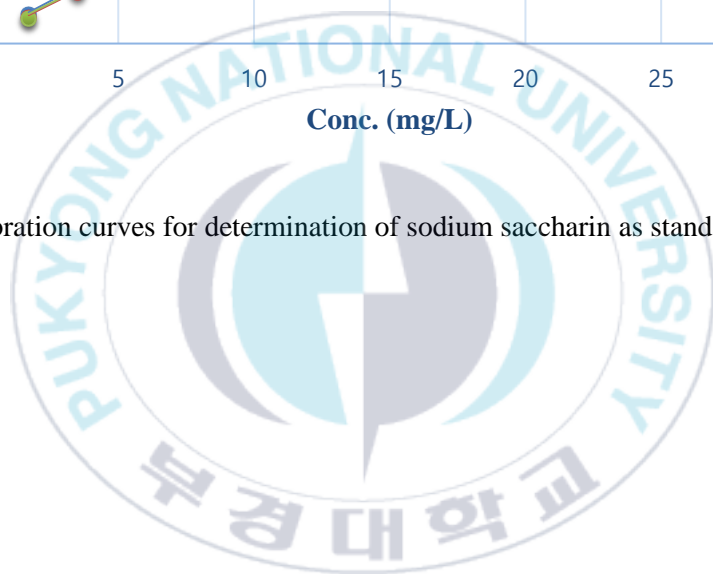


Fig. 7. Calibration curves for determination of sodium saccharin as standard.



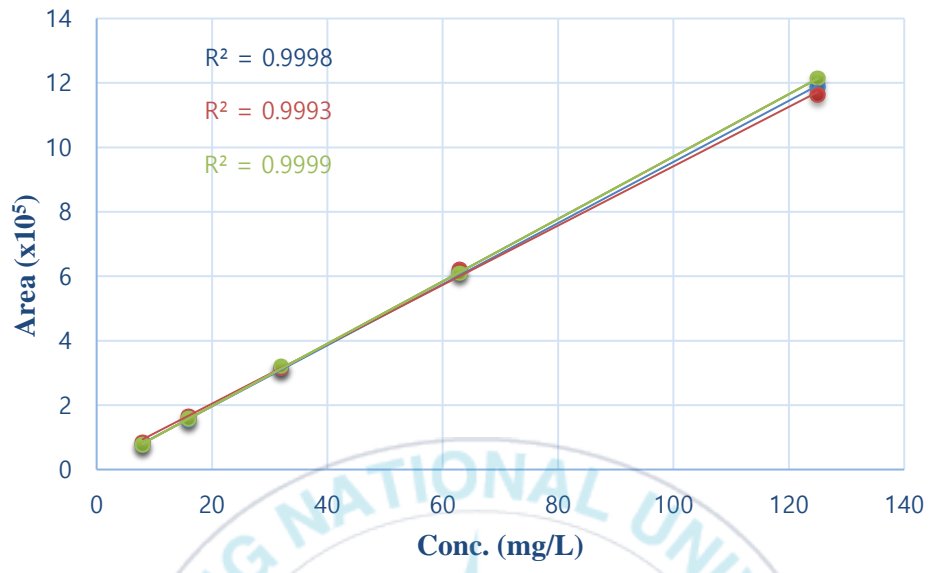


Fig. 8. Calibration curves for determination of aspartame as standard.

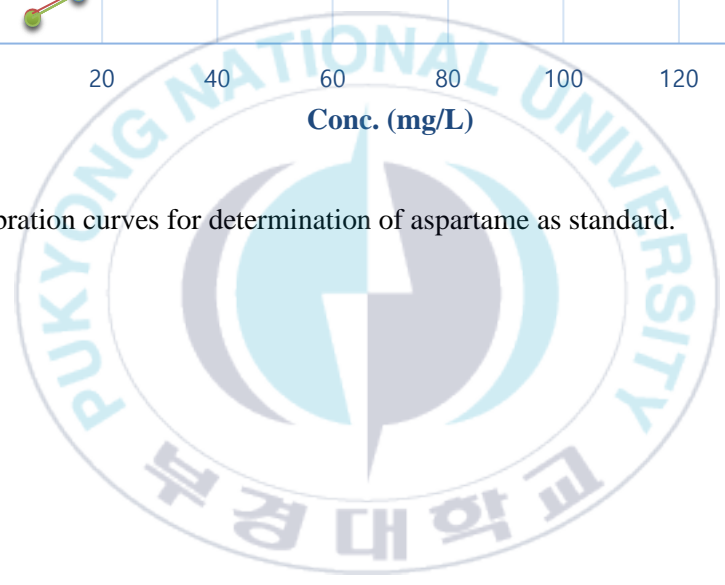


Table 7. The limit of detection (LOD) and limit quantification (LOQ) values of each sugar for standard

Compound name	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
Fructose	92.0605	278.9713
Glucose	69.7977	211.5083
Sucrose	57.1662	173.2311
Lactose	111.5982	338.1763
Maltose	23.6385	71.6319



Table 8. The limit of detection (LOD) and limit quantification (LOQ) values of each artificial sweetener for standard

Compound name	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
Acesulfame K	0.39757	1.20476
Sodium saccharin	0.20608	0.62449
Aspartame	3.17745	9.62863



Table 9. Recovery of sugars (mg/L) in spiking samples

Sample	Fructose	Glucose	Sucrose	Lactose	Maltose
(n=3)	2790	2115	1732	3382	716
<i>Jeonggojib-yesnal saengdongdongju</i>	94.34±0.86	89.70±0.97	97.90±3.68	90.05±1.64	86.37±6.32
<i>Misaeng saengmakgeolli</i>	92.97±0.16	96.39±8.49	98.13±2.24	92.1±2.65	91.29±6.75

1) Average recovery (%) ± standard deviation (n =3)

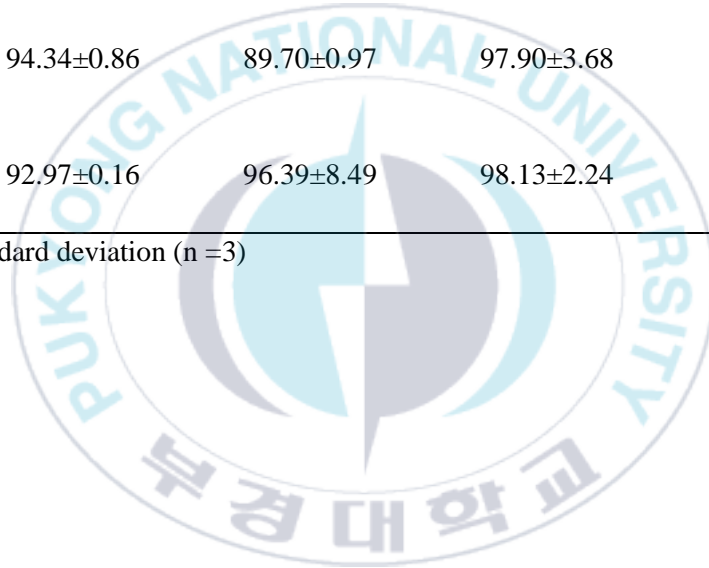


Table 10. Recovery of artificial sweeteners (mg/L) in spiking samples

Sample	Acesulfame K	Sodium saccharin	Aspartame
(n=3)	12	6	96
<i>Neulinmaeul makgeolli bang-ultog</i>	95.27±2.48	107.47±8.72	105.63±1.18
<i>Baekgeolli</i>	92.97±2.68	94.23±4.55	107.73±2.29

1) Average recovery (%) ± standard deviation (n =3)



## 2. 당류 HPLC 분석 결과

전국에 유통되고 있는 탁주를 대상으로 인공감미료의 첨가 유무에 따라 나누어 20건에 대하여 당류를 HPLC-RI로 분석하였다. 그 결과 13종의 탁주에서 당류가 검출되었다(Table 11, Table 12).

인공감미료가 첨가된 탁주의 경우 10건 중 1건이 검출되었고 검출 함량은 glucose 9.382 mg/g 이었고 fructose, sucrose, lactose, maltose는 검출 되지 않았다. 인공감미료가 첨가되지 않은 탁주의 경우 10건 모두 검출되었고 검출 평균 함량은 fructose 28.7 mg/g, glucose 82.02 mg/g, maltose 4.56 mg/g 이었고 sucrose, lactose는 검출되지 않았다. 시료에서 모두 검출된 glucose의 가장 높은 함량은 157.04 mg/g 이었고 가장 낮은 함량은 21.47 mg/g 를 나타내었다.

인공감미료가 첨가되지 않은 탁주에서 glucose가 많이 검출되는 이유는 인공감미료의 첨가 없이 자연스러운 단맛을 조성하기 위하여 발효과정에서 당화력을 높여 더 많은 glucose를 생성시킨 것으로 판단된다. 또한 인공감미료를 첨가하지 않은 탁주 사이에서도 당류의 함량에 차이를 보이는 이유는 사용하는 원료와 발효제 종류, 담금 방법, 배합 비율에 따라서 차이를 보이기 때문인 것으로 판단된다(Park et al, 2017).

주류는 주류의 자율 영양표시 가이드라인에 따라 영양성분을 표기하고 있기때문에 당류에 대한 기준 규격이 따로 없어 허용기준치를 초과하는 탁주는 없었다(MFDS, 2024).

Table 11. Detection results of sugar in the *Takju* with artificial sweetener

		Unit (mg/g)				
Category	Sample	Fructose	Glucose	Sucrose	Lactose	Maltose
<i>Takju</i>	<i>Golmokmakgeolli original</i>	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Our new rice saengtak</i>	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Jeonggojib-yesnal saengdongdongju</i>	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Guleumeul beossam-a</i>	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Guksundang saengmakgeolli</i>	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Haneuldam6</i>	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Jangsu saengmakgeolli</i>	ND	ND	ND	ND	ND
	<i>Geumjeongsanseong makgeolli</i>	ND	9.38±0.24	ND	ND	ND
	<i>Misaeng saengmakgeolli</i>	ND	ND	ND	ND	ND
Sterilized <i>Takju</i>	<i>Wolmae rice makgeolli</i>	ND	ND	ND	ND	ND

1) ND: not detected

Table 12. Detection results of sugar in the *Takju* with no artificial sweetener

						Unit (mg/g)
Category	Sample	Fructose	Glucose	Sucrose	Lactose	Maltose
<i>Takju</i>	<i>Neulinmaeul makgeolli bangultog</i>	28.24±0.32	21.56±0.20	ND	ND	ND
	<i>Baekgeolli</i>	ND	88.72±0.44	ND	ND	ND
	<i>Palpal makgeolli</i>	ND	69.79±0.11	ND	ND	ND
	<i>Gaya premium makgeolli</i>	ND	79.58±0.57	ND	ND	ND
	<i>Golmokmakgeolli premium 12°</i>	ND	135.14±5.30	ND	ND	ND
	<i>Ugoksaengju</i>	ND	134.07±0.71	ND	ND	4.56±0.31
	<i>Haechang 9do chabssalsaengmakeolli</i>	ND	88.53±0.41	ND	ND	ND
	<i>Gyeong takju 12do</i>	ND	157.04±1.05	ND	ND	ND
	Sterilized	<i>Neulinmaeul neulbom makgeolli</i>	27.88±0.03	21.47±1.70	ND	ND
<i>Takju</i>	<i>Guksoondang rice makgeolli</i>	29.88±0.45	24.29±0.22	ND	ND	ND

1) ND: not detected

### 3. 인공감미료 HPLC 분석 결과

전국에 유통되고 있는 탁주를 대상으로 인공감미료의 첨가 유무에 따라 나누어 20건에 대하여 인공감미료 (acesulfame K, sodium saccharin, aspartame)를 HPLC-UV로 분석하였다. 그 결과 10건의 탁주에서 인공감미료가 검출되었다 (Table 13, Table 14).

인공감미료가 첨가된 탁주의 검출 평균 함량은 acesulfame K 0.046 g/kg, sodium saccharin 0.065 g/kg, aspartame 0.090 g/kg이었다. 시료에서 검출된 acesulfame K의 가장 높은 함량은 0.08 g/kg 이었고 aspartame의 가장 높은 함량은 0.132 g/kg 이었다. 인공감미료가 첨가되지 않은 탁주의 경우 10건 모두 검출되지 않았다.

식품첨가물의 기준 및 규격에서 탁주의 감미료 사용기준은 acesulfame K 0.35 g/kg이하, sodium saccharin 0.08 g/kg이하이고 aspartame은 제한받지않는다. 식품첨가물은 함량표시의 대상은 아니지만(MFDS, 2024), 본 논문에서 각각의 감미료 허용 기준치를 초과하는 탁주는 없었다.

Sodium saccharin이 방광암을 유발한다는 연구 결과가 발표된 1974년 이후, 캐나다 및 미국에서는 안전성을 이유로 사용을 금지하였다. 이후, sodium saccharin의 발암성에 대하여 많은 연구가 수행되어 국제암연구소(IRAC), 미국 국립독성학프로그램(NTP)에서 sodium saccharin을 유해물질 목록에서 삭제시켰고 현재는 sodium saccharin이 인간에게 암을 일으키지 않는다는 사실이 인정되어 전세계 곳곳에서 사용되고있다. 우리나라에서는 1992년 sodium saccharin의 유해성 논란으로 인해 9개의 식품군에 한해 적용되어 대부분의 제품에서 사용

을 금지하였다(Kim and Baek, 2011). 그 이후 사용 허용 범위가 확대되어 여러 식품에서 사용되지만 다른 감미료에 비해 사용 기준에 제한을 많이 두고있다. 따라서, 국내 감미료의 사용 기준의 이유로 본 논문에서 탁주에서의 sodium saccharin의 사용 건수가 가장 낮은 것으로 보여지고 aspartame의 사용량이 가장 높은 것으로 보여진다.

Aspartame은 수용액 중에서 온도, pH등의 조건에 따라 영향을 받아 pH 3이하이거나 6이상일 경우에는 분해되기도 하는데(KCA, 1997) 주세법상 탁주의 적정 pH범위는 보통 3.8-4.7로써 분석과정에서 탁주에 첨가된 aspartame의 분해로 인한 영향은 받지 않을 것으로 판단된다(Kim et al, 2017).

대부분의 인공감미료를 첨가한 탁주는 주로 acesulfame K과 aspartame을 혼합하여 사용하였는데 그 이유는 aspartame에서 나타나는 감미료 특유의 화학적인 뒷맛을 완화하기 위하여 acesulfame K과 혼합 사용하며 감미질을 높이고 균형 잡힌 단맛을 제공하기 위함으로 판단된다(Lim, 2004). 또한 감미료의 사용량을 조절하여 각각의 감미료의 허용기준치를 초과하지 않기 위함으로 예상된다.

#### 4. 당류와 인공감미료의 상관분석 결과

탁주에 포함된 당류 및 인공감미료 함량에 따른 상관분석 결과를 SPSS 프로그램을 이용하여 실시하였다(Fig.9). Glucose함량은 acesulfame K, aspartame과 각각 -0.47, -0.56의 음의 상관성을 나타내었다( $p < 0.05$ ). 각 인자 간 상관성이 -0.7 ~ -0.3 수준이면 뚜렷한 음의 상관성을 의미한다(Cha and Kim, 2018).

Table 13. Detection results of sweetener in the *Takju* with artificial sweetener

Category	Sample	Unit (g/kg)		
		Acesulfame K	Saccharin sodium	Aspartame
<i>Takju</i>	<i>Golmokmakgeolli original</i>	0.08±0.001	ND	0.024±0.009
	<i>Our new rice saengtak</i>	0.038±0.006	ND	0.07±0.003
	<i>Jeonggojib-yesnal saengdongdongju</i>	0.027±0.003	ND	0.132±0.001
	<i>Guleumeul beossam-a</i>	0.052±0.002	ND	0.060±0.007
	<i>Guksundang saengmakgeolli</i>	0.033±0.01	ND	0.111±0.002
	<i>Haneuldam6</i>	0.043±0.002	ND	ND
	<i>Jangsu saengmakgeolli</i>	ND	ND	0.109±0.002
	<i>Geumjeongsanseong makgeolli</i>	ND	ND	0.109±0.008
	<i>Misaeng saengmakgeolli</i>	ND	0.065±0.007	ND
Sterilized <i>Takju</i>	<i>Wolmae rice makgeolli</i>	ND	ND	0.107±0.006

1) ND: not detected

Table 14. Detection results of sweetener in the *Takju* with no artificial sweetener

				Unit (g/kg)
Category	Sample	Acesulfame K	Saccharin sodium	Aspartame
<i>Takju</i>	<i>Neulinmaeul makgeolli bangultog</i>	ND	ND	ND
	<i>Baekgeolli</i>	ND	ND	ND
	<i>Palpal makgeolli</i>	ND	ND	ND
	<i>Gaya premium makgeolli</i>	ND	ND	ND
	<i>Golmokmakgeolli premium 12°</i>	ND	ND	ND
	<i>Ugoksaengju</i>	ND	ND	ND
	<i>Haechang 9do</i>	ND	ND	ND
	<i>chabssalsaengmakeolli</i>	ND	ND	ND
	<i>Gyeong takju 12do</i>	ND	ND	ND
Sterilized	<i>Neulinmaeul neulbom makgeolli</i>	ND	ND	ND
<i>Takju</i>	<i>Guksoondang rice makgeolli</i>	ND	ND	ND

1) ND: not detected

	Glucose	Fructose	Maltose	Acesulfame K	Aspartame	Sodium saccharin
Glucose	1					
Fructose	-0.15	1				
Maltose	0.40	-0.10	1			
Acesulfame K	-0.47*	-0.25	-0.14	1		
Aspartame	-0.56**	-0.31	-0.17	0.23	1	
Sodium saccharin	-0.18	-0.11	-0.05	-0.13	-0.16	1

Fig.9. Results of correlation analysis of sugars and artificial sweeteners added to *Takju*.

따라서 탁주의 제조 과정에서 glucose를 많이 생성시킨 경우, 인공감미료의 사용이 낮아진다는 것을 Pearson 상관분석을 통해 확인하였다.

## 5. 당류와 인공감미료 FT-IR 분석결과

HPLC와 FT-IR을 이용한 탁주의 인공감미료 분석 결과, HPLC 분석법의 전처리 과정이 비교적 까다롭고 이동상과 시약 사용으로 인한 인체 유해의 우려가 있었으며 (Gallardo et al, 2009) 시료당 분석 시간이 30분 이상 소요된다는 단점이 있었으나 FT-IR 분석법은 시약 사용 없이 다량의 수분으로 인한 간섭을 피하기 위한 정제와 건조의 단순한 전처리 과정과 시료당 8초의 분석 시간이 소요된다는 장점이 있었다. 따라서 다량의 시료를 신속하게 분석하기 위한 방법으로 FT-IR 분석법이 HPLC 분석법의 문제점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

탁주 속 인공감미료 함량에 따른 정성한계 분석을 위한 FT-IR 스펙트럼을 650-4,000  $\text{cm}^{-1}$ 의 전체 범위와 1,600  $\text{cm}^{-1}$ 부근의 주요 범위에서 나타내었다 (Figure 10.). 대조구와 비교하여 인공감미료를 첨가한 시료 모두 공통적으로 3,300  $\text{cm}^{-1}$ , 2,800  $\text{cm}^{-1}$ , 그리고 1,600  $\text{cm}^{-1}$ 부근에서 피크가 나타났으나, 전반적으로 유사한 스펙트럼을 나타내었고 대조구 대비 인공감미료를 첨가한 시료에서 더 뚜렷한 피크를 나타냈다. 이러한 차이는 각각 인공감미료의 O-H기, methoxy기( $\text{CH}_3$ ), 그리고 N-H기에 의한 차이로 판단된다. Acesulfame K의 경우, 1,600  $\text{cm}^{-1}$  부근에서 농도의 증가에 따른 대조구와의 피크 구분이 가능했지만 sodium saccharin과 aspartame의 경우, 각각의 인공감미료를 50 ppm 첨가한 시료와 대조

구간의 구분이 불가능하였다. 특히 aspartame의 경우, 50 ppm 첨가한 시료보다 대조구가 더 약한 피크를 나타내었다. 이러한 차이는 FT-IR 과장 촬영 시, 각각의 인공감미료에 의한 과장 투과율이 FT-IR의 검출한계 (LOD, limits of detection) 보다 낮아 전처리에 이용된 glass filter의 노이즈와 구분되지 않는 것으로 판단된다. FT-IR 스펙트럼의 경우, 구성 성분 및 잔류물의 특징에 따라 노이즈가 발생할 수 있으며 FT-IR 스펙트럼을 보정하기 위한 반복 촬영 과정에서 과장 투과율이 낮은 경우, 피크의 분류 성능이 저하된다(Farrar et al, 2015). 본 논문에서 분석한 탁주의 복합적인 인공감미료 함량은 58 ~ 163 mg/kg 으로 FT-IR 정성한계 이상으로 나타났다(Table13, Table14).

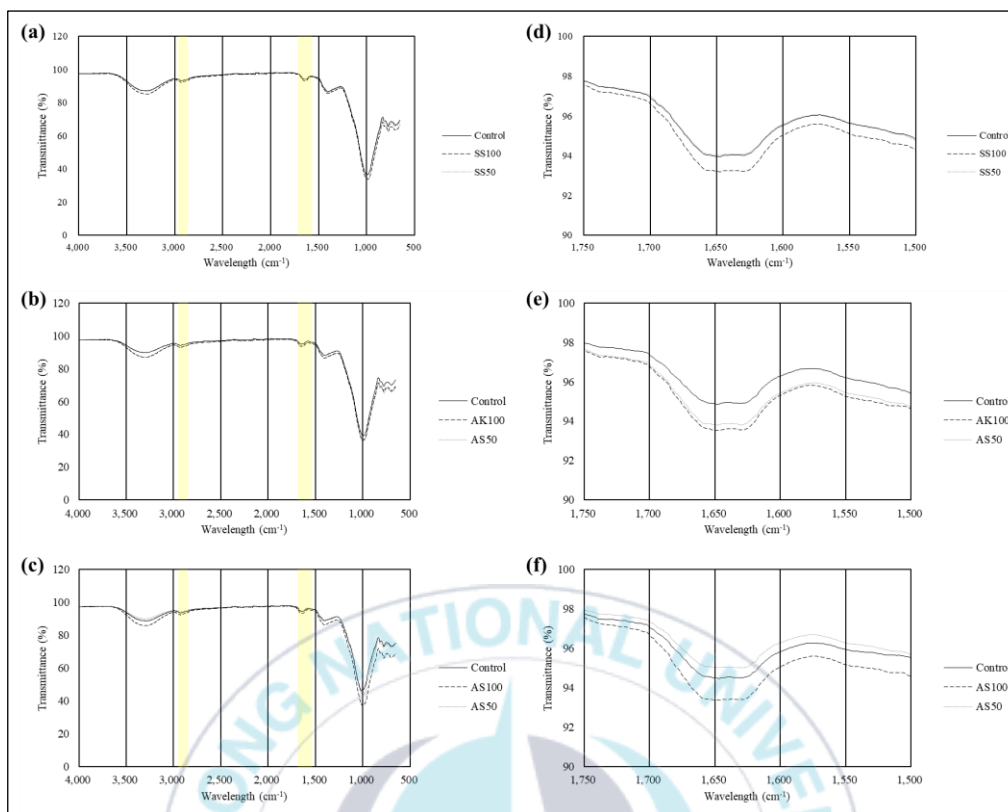
각각의 당류와 인공감미료 표준품에 대한 FT-IR 스펙트럼을 650-4,000  $\text{cm}^{-1}$  범위에서 나타내었다(Fig.11.). 전체 스펙트럼 중 1,400 및 3,300  $\text{cm}^{-1}$ 에서 나타나는 피크는 각각 C 공유결합과 hydroxy group의 O-H 결합과 관련되어 있다. 1,600  $\text{cm}^{-1}$ 부근 및 2,800  $\text{cm}^{-1}$ 부근에서 나타나는 피크는 각각 인공감미료와 당류의 특징적인 피크이다. 인공감미료(acesulfame K, sodium saccharin, aspartame)는 1,600  $\text{cm}^{-1}$ 부근에서 뚜렷한 피크를 나타냈지만, 2,800  $\text{cm}^{-1}$  부근에서는 피크를 나타내지 않았다. 반면 당류(fructose, glucose, sucrose, lactose, maltose)의 경우 2,800  $\text{cm}^{-1}$ 부근에서는 뚜렷한 피크를 나타냈지만 1600  $\text{cm}^{-1}$ 부근에서는 피크를 나타내지 않았다.

인공감미료가 특징적으로 나타내는 1,600  $\text{cm}^{-1}$ 부근 피크는 N-H 결합과 관련이 있으며, 당류가 특징적으로 나타내는 2,800  $\text{cm}^{-1}$  부근의 피크는 methoxy기의 C-H 결합과 관련있고 이는 산소 원자와 이어진 methoxy기( $\text{CH}_3$ )에서 특징적으

로 나타나는 것으로 보고되고 있다(Coates, 2000). 따라서 인공감미료가 가진 N-H 결합과 당류가 가진 C-H 결합에 의해 당류 및 인공감미료는 분광학적 분류가 가능함을 나타낸다.

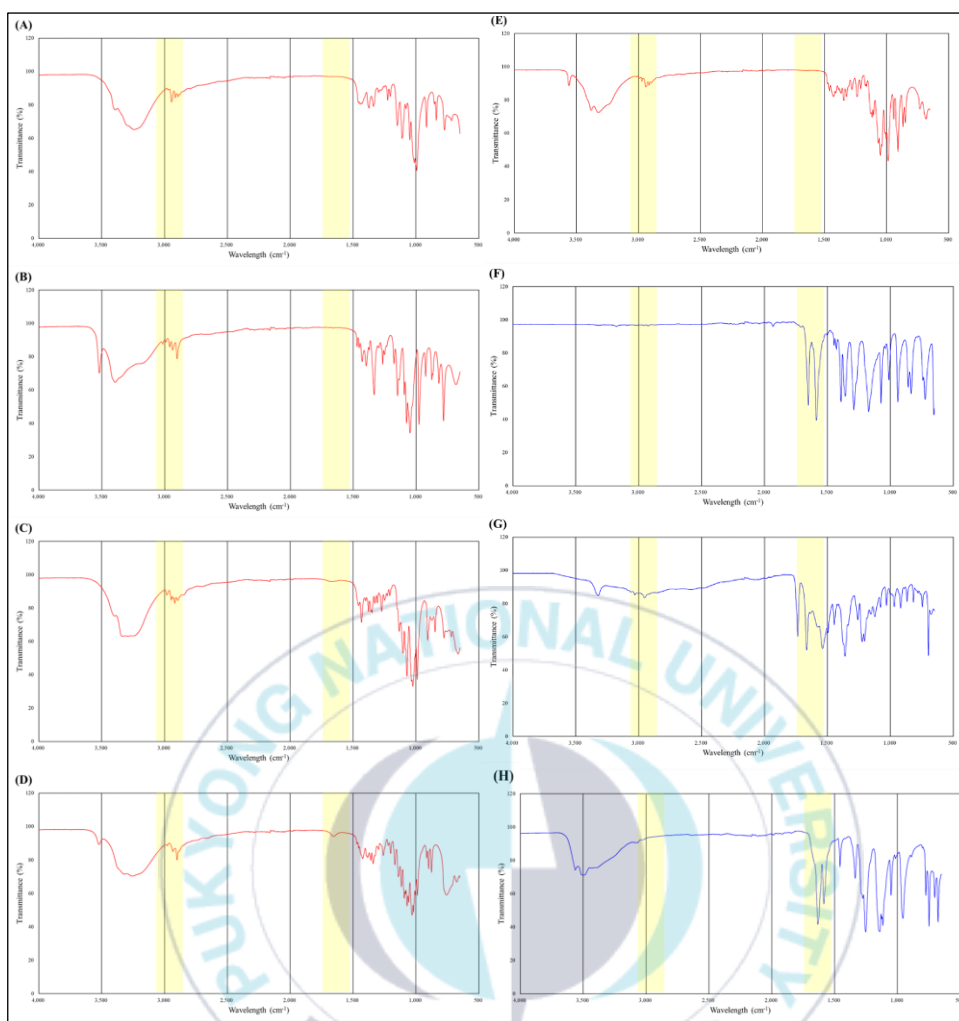
탁주 시료 20 종에 대한 FT-IR 분석 결과에서도  $2,800\text{ cm}^{-1}$  부근에서 동일하게 당류를 가진 시료는 특징적인 피크를 나타냈다(Table 11, Table 12, Fig. 12., Fig. 13.). 당류와 인공감미료의 상관분석 결과에 의하면 인공감미료를 함유한 탁주는 대부분 당류를 가지고 있지 않기 때문에 인공감미료를 함유한 탁주는 모두  $2,800\text{ cm}^{-1}$  부근에서 뚜렷한 피크를 나타내지 않았으나 인공감미료를 함유하지 않은 탁주들은 대부분 뚜렷한 피크를 나타냈다. 반면,  $1,600\text{ cm}^{-1}$  부근에서는 인공감미료가 함유된 시료가 더 약한 피크를 나타냈다. 그 이유는 탁주 속 단백질 함량은  $1.0\text{-}1.5\text{ g}/100\text{ g}$  수준으로 높은 단백질 함량을 나타내기 때문에(Kim et al, 2017) 모든 시료가  $1,600\text{ cm}^{-1}$  부근에서 단백질 및 인공감미료에 의한 복합적인 피크가 나타난 것으로 판단된다.

따라서 FT-IR 을 이용하여 탁주의 인공감미료를 정성분석하는 경우, 탁주 내 다양한 이화학적 성분의 함량에 의해 복합적인 인공감미료의 특정 종류 판별과 정확한 정량분석은 어렵고 50ppm 농도 이하의 인공감미료 정성분석은 어려울 것으로 보여져 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.



**Fig.10. FT-IR analysis results of *Takju* according to sweetener concentration.**

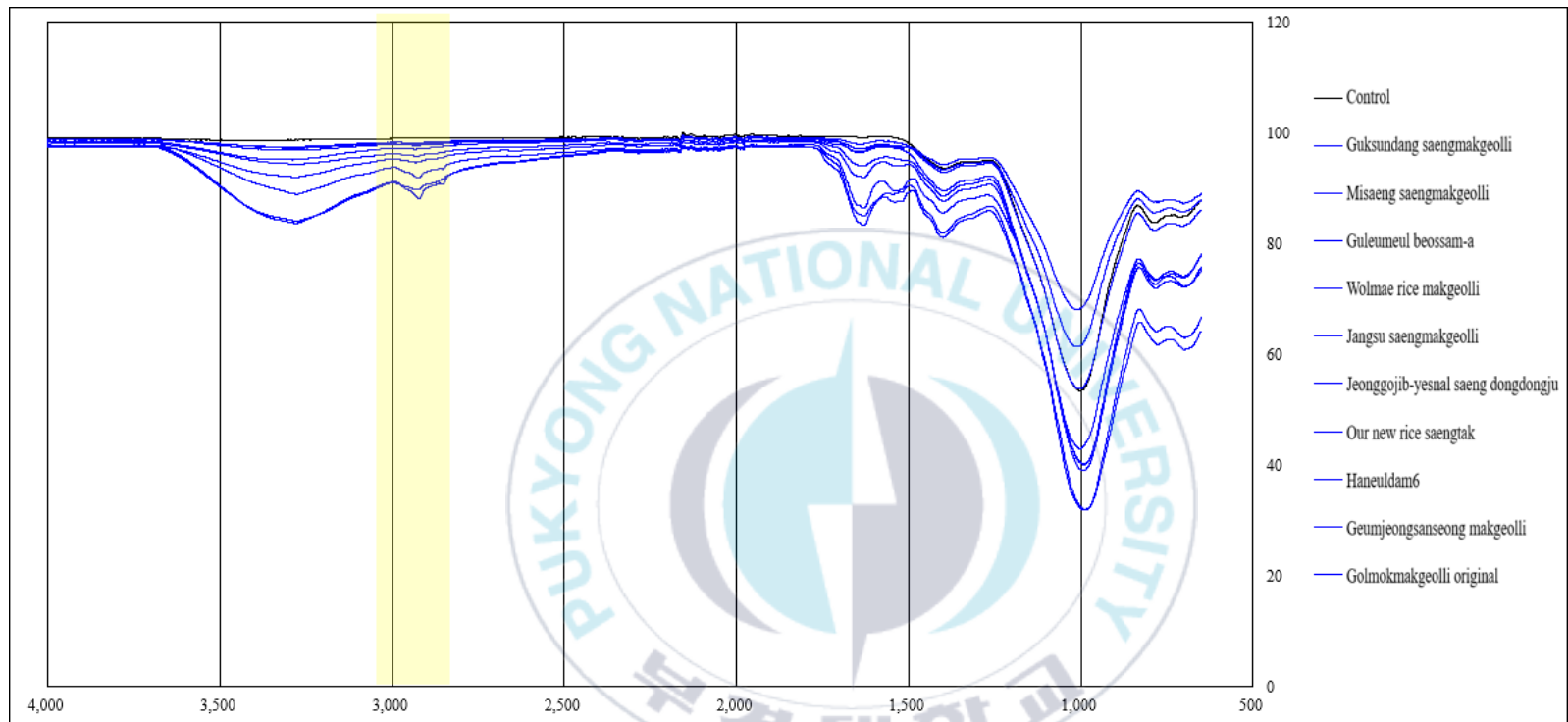
(a)sodium saccharin (b)acesulfame K (c)aspartame (d)sodium saccharin in the main scope (e)acesulfame K in the main scope (f)aspartame in the main scope



**Fig.11. FT-IR analysis results of sugars and artificial sweeteners.**

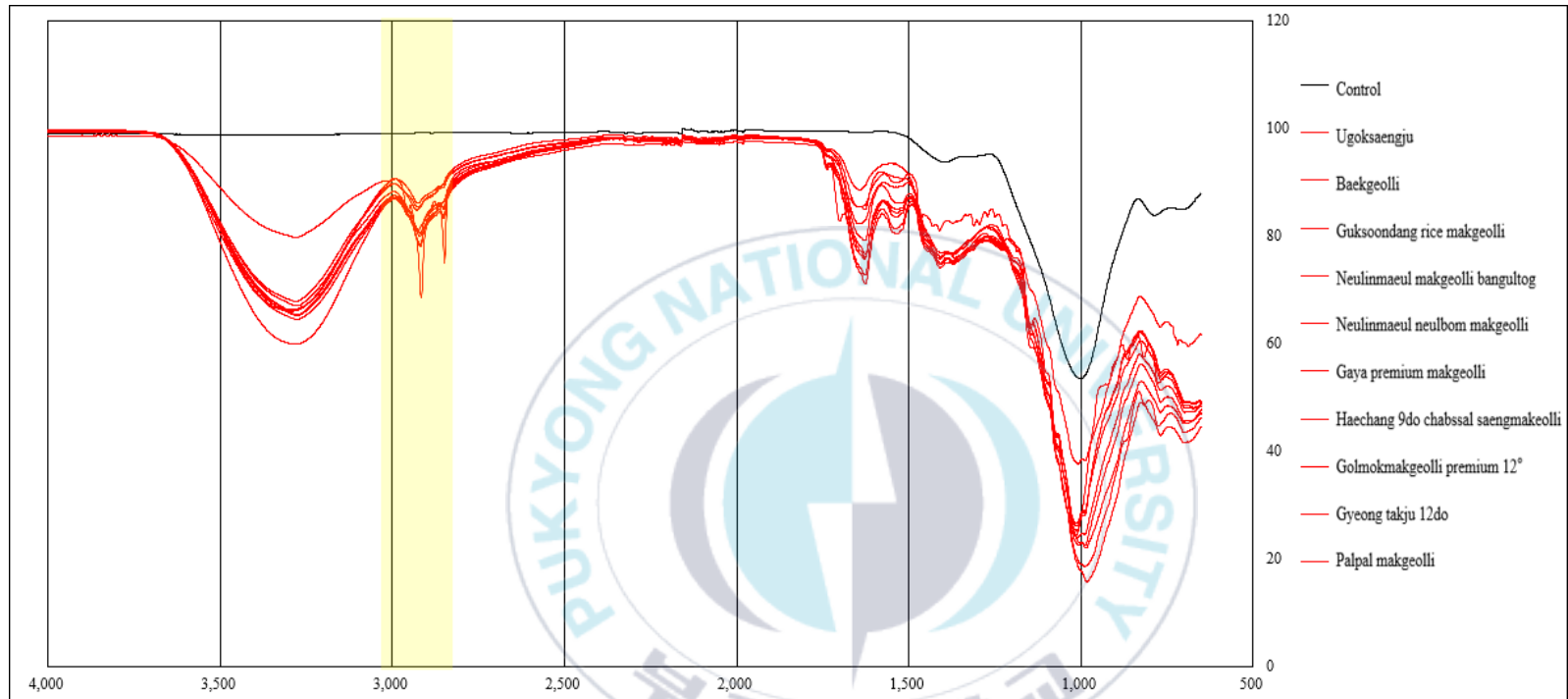
(A)glucose (B)fructose (C)maltose (D)lactose (E)sucrose (F)acesulfame K

(G)aspartame (H)sodium saccharin



**Fig.12. FT-IR analysis results of 10 types of *Takju* with artificial sweeteners.**

<sup>1)</sup> The sample names appear in the same order as on the graph.



**Fig.13. FT-IR analysis results of 10 types of *Takju* with no artificial sweeteners.**

<sup>1)</sup> The sample names appear in the same order as on the graph.

## 6. 탁주의 인공감미료에 대한 안전성 평가

세계보건기구(WHO) 산하 기관인 국제 암연구소에서는 탁주의 성분이 되는 alcohol을 발암물질 1군, aspartame을 발암물질 2B군으로 발표하였고 비만, 당뇨 등의 당으로 인한 만성질환을 예방하기 위해 대체적으로 사용되는 인공감미료에 대하여 2023년 대한당뇨병학회 진료지침에서 인공감미료의 위해에 대한 보고가 증가하고있어 이에 대한 고려가 필요하며 인공감미료의 사용이 혈당개선 효과를 보여주지 못했고, 체중감량 효과에서도 일관된 결과를 보여주지 못하였다고 발표하였다(Lee, 2023). 또한 코호트의 연구에서는 인공감미료의 소비 증가와 심혈관 질환 위험 증가 사이에 직접적인 연관성이 있다고 보고한바 있다(Debras C,2022).

한국인의 인공감미료 일일추정섭취량을 평가한 자료에서 aspartame의 식품유형별 검출률은 약주 및 탁주에서 60%로 가장 높게 나와 타 시료에 비해 높은 결과를 보이고있었고(Choi et al, 2011) 본 논문에서도 인공감미료를 함유한 탁주 10건 중 8건은 aspartame을 함유하고있었다(Table13). 그러나 식품첨가물 기준 및 규격에 따르면 탁주의 aspartame 사용량에 제한을 두지않고 있어(MFDS, 2024) 탁주의 인공감미료 기준 및 규정의 재평가가 필요로 보인다.

19세 이상 성인 평균체중(남성: 73.7 kg, 여성: 58.7 kg)을 고려 하여 JECFA에서 제시한 일일섭취허용량(ADI,acceptable daily intake)을 기준으로 탁주의 최대 허용량을 계산하였다(Shin et al, 2023). Acesulfame K의 ADI는 15 mg/kg · bw/day으로 최고 농도인 0.08 g/kg기준 탁주(750 mL)를 남성은 19명, 여성은 15명 국민전체 17명이상 섭취하게 되면 허용량을 초과한다. Sodium saccharin의

ADI는  $5 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ 으로 최고농도인  $0.065 \text{ g/kg}$  탁주를 남성은 8명, 여성은 6명 국민전체 7명 이상 섭취하면 허용량을 초과한다. Aspartame의 ADI는  $40 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ 으로 본 연구에서 최고 농도인  $0.132 \text{ g/kg}$  기준 탁주(750 mL)를 남성은 30명, 여성은 24명 국민전체 27명 이상 섭취하면 허용량을 초과한다.

본 논문에서 검출된 인공감미료 최고 분석 검출량과 한국보건산업진흥원에서 실시한 2021년 국민건강영양조사의 식품별 섭취량 분포 자료의 탁주 1일 섭취량을 곱한 후, 19세 이상 평균체중(남성:  $73.7 \text{ kg}$ , 여성:  $58.7 \text{ kg}$ )으로 나누어 계산하였다(Shin et al, 2023). 탁주 섭취자와 비섭취자를 포함한 1일 섭취추정량(EDI, estimated daily intake)를 산출한 결과, 국민전체 acesulfame K  $0.009 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ , sodium saccharin  $0.007 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ , aspartame  $0.015 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ 이며, 남성은 acesulfame K  $0.014 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$  sodium saccharin  $0.012 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$  aspartame  $0.024 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ 이며, 여성은 acesulfame K  $0.003 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ , sodium saccharin  $0.002 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ , aspartame  $0.005 \text{ mg/kg} \cdot \text{bw/day}$ 으로 여성에 비해 남성이 5배 가량 높은 섭취량을 보였다. 이처럼 성별, 연령 등에 따른 섭취패턴을 고려하면 고령자나 기저질환자의 경우 건강에 대한 유해를 야기할 수 있기 때문에 지속적인 주의가 필요하다. 또한 각각의 EDI값을 ADI값과 비교하여 백분율(%)로 계산해보았을때 국민전체 acesulfame K 0.06%, sodium saccharin 0.14%, aspartame 0.04%이며, 남성은 acesulfame K 0.09% sodium saccharin 0.24% aspartame 0.06%이며, 여성은 acesulfame K 0.02%, sodium saccharin 0.04%, aspartame 0.013%으로 인체 건강의 위해에 대한 기여도가 낮은 편이었다. 그러나 식약처에서 시행한 합성 감미료 섭취량 평가자료

에서 추잉껌에서 검출된 acesulfame K의 평균값은 414.2 mg/kg, 조미액젓에서 검출된 sodium saccharin의 평균값은 543.5 mg/kg ,코코아가공품류에서 검출된 aspartame의 평균값은 1776.8 mg/kg으로(MFDS, 2016) 다른 식품군에서 비교적 검출량이 높은 것으로 보아 탁주와 다른 인공감미료가 함유된 식품을 함께 섭취했을 경우(Shin et al, 2023) ADI에 도달할 수 있으므로 탁주의 인공감미료 첨가 여부와 함량에 대한 안전성 평가가 계속하여 필요할 것으로 판단된다(Shin et al, 2023).



## IV. 요약

본 논문에서 aspartame의 검출 평균 함량이 가장 높았음에도 불구하고 국내 식품첨가물의 기준 및 규격에서 탁주의 aspartame 사용 기준이 제한받지 않기 때문에 사용실태 조사 및 안전성 평가가 필요하다.

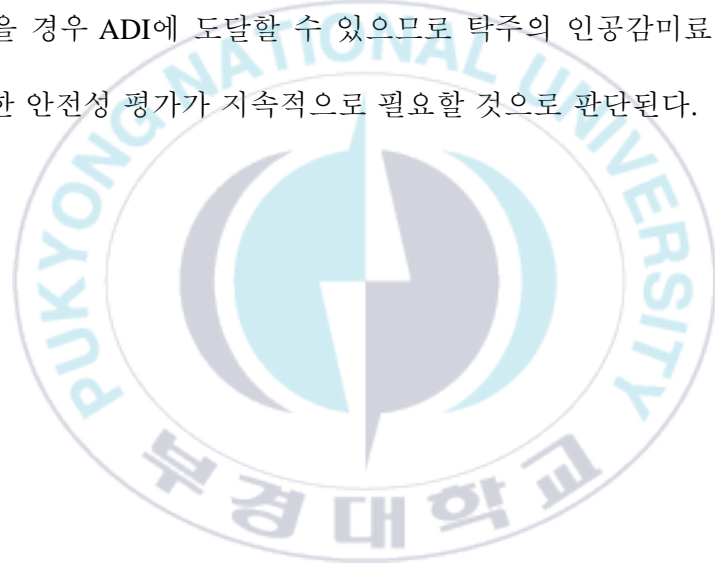
따라서 본 논문에서는 국내 유통중인 탁주 20종을 인공감미료의 첨가 유무에 따라 HPLC를 이용하여 인공감미료와 당류를 정량분석하고 다량의 탁주에 함유된 인공감미료를 정성 검사하기 위하여 FT-IR을 이용한 분석법을 개발하였다.

인공감미료를 첨가한 탁주는 대부분 당류가 검출되지 않았으나 첨가되지 않은 탁주에서는 모두 glucose가 평균 함량 82.02 mg/g으로 검출되어 glucose와 acesulfame K, aspartame이 뚜렷한 음의 상관성을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 첨가한 인공감미료의 검출 평균 함량은 acesulfame K 0.046 g/kg, sodium saccharin 0.065 g/kg, aspartame 0.90g/kg이었다.

FT-IR을 이용한 탁주의 당과 인공감미료를 분석한 결과, HPLC 분석법의 과정이 까다롭고 오래 걸린다는 단점을 보완할 수 있었고 인공감미료 첨가 여부는 전체 스펙트럼 중  $1,600\text{ cm}^{-1}$ 부근에서 나타내는 인공감미료의 N-H 결합과  $2,800\text{ cm}^{-1}$ 부근에서 나타내는 당류의 C-H 결합으로 인한 특정 피크 여부를 통해 분류할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 탁주 내 다양한 이화학적 성분의 함량에 의해 특정 종류 판별과 정확한 정량 분석은 어렵고 정성한계인 50ppm

농도 이하의 인공감미료 정성분석은 어려울 것으로 보여져 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acesulfame K, sodium saccharin, aspartame 의 최고 농도 기준으로 각각의 일일 섭취허용량(ADI)을 도달하기 위한 탁주(750mL)의 섭취량을 계산해보았을 때 17명, 7명, 27명 이상 섭취하게 되면 허용량을 초과한다. 따라서 인체 건강의 위해에 대한 기여도는 낮은 편이었으나 다른 인공감미료가 함유된 식품군과 함께 섭취했을 경우 ADI에 도달할 수 있으므로 탁주의 인공감미료 첨가여부와 함량에 대한 안전성 평가가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.



## V. 참고문헌

aT (Korea Agro-Fisheries & Food Corporation.). 2024. Alcohol market trends report 2023. Korea Agro-Fisheries & Food Corporation. Retrieved from <https://thesool.com/front/publication/M000000110/view.do?bbsId=A000000046&publicationId=C000003028&page=&searchKey=&searchString=&searchCategory=> on December 20.

Cha JW and Kim JY. 2018. Analysis of fine dust correlation between air quality and meteorological factors using SPSS. *J Korea Inst Inf Commun Eng*, 22:5, 722-727.

Cho YS, Jeong JA, Kwon HJ, Kim HT, Lee JY, Lim HW, Lee EB, Kim HJ, Lee WJ and Lee MJ. 2024. Monitoring of sugar and low-calorie sweetener content in alcoholic beverages. *J Food Hyg Saf*, 39:3, 281-287.

Choi SH, Lee MS, Park EY, Won J, Kim SH, Park SG and Lim HS. 2011. Assessment of estimated daily intake of sweeteners in the Korean population. *Korean J Food Sci Technol*, 43:3, 387-395.

Coates J. 2000. Interpretation of infrared spectra, A practical approach. *Encycl Anal Chem*, 12, 10815-10837.

Debras C, Chazelas E, Sellem L, Porcher R, Druesne-Pecollo N, Esseddik Y, Edelenyi FS, Agaësse C, Sa A, Lutchia R, Fezeu LK, Julia C, Kesse-Guyot E, Allès B, Galan P,

Hercberg S, Deschasaux-Tanguy M, Huybrechts I, Srour B and Touvier M. 2022. Artificial sweeteners and risk of cardiovascular diseases: results from the prospective NutriNet-Santé cohort. *BMJ*, 2022:378.

Farrar M, Loveridge JL and Rovani J. 2015. The limit of detection (LOD) method: An FTIR screening tool for evaluating solvent remaining after extraction. Western Research Institute, Laramie, WY, USA. 5-16.

Gallardo-Velázquez TG, Osorio-Revilla G, Zuñiga de Loa M and Rivera-Espinoza Y. 2009. Application of FTIR-HATR spectroscopy and multivariate analysis to the quantification of adulterants in mexican honeys. *Food Res*, 42:3, 313–318.

Jeon HJ, Yu JC, Kim GY, Yu JC and Kong HS. 2014. Quality characteristics of *Takju* by yeast strain type. *Korean J Food Nutr*, 27:5, 971-978.

Jeon MH and Lee WJ. 2011. Characteristics of blueberry added *Makgeolli*. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 40:3, 444-449.

Jeon MJ, Jang MK, Lee SJ, Park SH, Kim MH, Sohn JH, Lee HS, Lee DG and Lee SH. 2013. Variations of properties and microbial community during fermentation of *Makgeolli*s by isolated yeasts from traditional *Makgeolli*s. *J Life Sci*, 23:6, 796-803.

Ju DL. 2015. The efficacy and safety of non-nutritive sweeteners. *J Korean Diabetes*, 16:4, 281-286.

Jung SJ, Shin TS and Kim JM. 2012. Improvement of *Takju* quality by a ripening-fermentation process using honey and extension of shelf life by control of *Takju* mash sediment. *J Life Sci*, 22:1, 80-86.

KCA. 1997. Results of a review on the safety of the artificial sweetener aspartame. KCA Safety Report, 77-90.

Kim JW and Baek HH. 2011. Safety of saccharin and its current status of regulation in the world. *Korean J Food Sci Technol*, 43:6, 659-674.

Kim JW, Kang JE, Choi HS, Kim CW and Jeon ST. 2017. Analysis of the physicochemical characteristics and sensory properties in *Makgeolli*. *J East Asian Soc Diet Life*, 27:5, 491-499.

Kim YT and Kim MS. 2011. *Makgeolli's* character for the globalization. *J Tourism Leisure Res*, 23:6, 333-349.

Lim JG. 2004. The sugar industry. *Korea Food Ind Assoc*, 181, 38-67.

Lee JS. 2023. Diabetes and non-nutritive sweeteners. *J Korean Diabetes*, 24:4, 221-226.

MFDS. 2016. Intake assessment of artificial sweeteners. MFDS Report, 1-86.

MFDS. 2024. Standards and Specifications of Food Additives. Full Text of the Notice  
Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FA> on Oct 2.

MFDS. 2024. Standards and Specifications of Food Additives, Full Text of the Notice  
Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FA> on July 10.

Oh CH. 2022. Alcohol content analysis for *Takju*, a representative traditional liquor in  
Korea J Convergence Cult Technol, 8:6, 631-636.

Park YD, Bae EJ, Choi JS, Kim HS, Kim CW, Jeong ST and Choi HS. 2017. Quality  
characteristics of sterilized *Makgeollies* brewed with different materials. J East Asian  
Soc Diet, 27:6, 658-667.

RDA. 2017. A study on how to implement premium *Makgeolli*. RDA Report, 1-22.

Shin HY, Kim MS, Kim YJ, Park NY and Kho YL. 2023. Investigation of artificial  
sweeteners in *Makgeolli* distributed in south korea using HPLC. J Environ Health Sci,  
49:6, 289-294.

Yuan J, Wang C, Chen H, Zhou H and Ye J. 2013. Prediction of fatty acid composition  
in *Camellia oleifera* oil by near infrared transmittance spectroscopy (NITS). Food  
Chemi, 138:2-3, 1657-1662.