

Box-Behnken Design을 활용한 불갈비 소스 배합비 기반 맛 프로파일 예측

최진서, 박건우, 신학종, 주승세, 조성균, 최원규*

한국전자통신연구원

choijinseo@etri.re.kr, geonwoo0992@etri.re.kr, hakjong@etri.re.kr,
wntmdtp01@etri.re.kr, skjo@etri.re.kr, *wkchoi@etri.re.kr

Taste Profile Prediction Based on the Formulation of Spicy Galbi Sauce Using Box-Behnken Design

Choi Jinseo, Park Geonwoo, Shin Hakjong, Joo Seungsae, Jo Sengkyoun, Choi Wonkyu
Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

불갈비 소스의 맛 품질 예측을 위해 Box-Behnken Design과 식품성분표 기반 수치화를 적용하고, 도출된 배합비 조합의 맛 특성을 부분최소제곱회귀(PLS) 기반 시각화를 통해 2차원 공간상에 표현하였다. BBD와 PLS 기반 접근은 최소 실험으로 주요 변수의 영향을 체계적으로 분석하고 조합 간 맛 특성의 시각적 비교를 가능하게 한다. 이를 통해 제한된 데이터 기반에서 배합비와 맛 품질 간의 관계를 이해하고 목표 맛 프로파일에 접근할 수 있는 방법론을 제안하였다.

I. 서론

소스의 맛 특성은 다양한 재료 배합에 따라 복합적으로 형성되기 때문에 배합비에 따른 맛 품질 예측은 매우 어렵다. 재료 수 증가에 따라 가능한 조합 수가 기하급수적으로 늘어나므로 모든 경우를 실험으로 검증하는 것은 현실적으로 불가능하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 최소 실험으로 주요 변수 영향 분석을 가능하게 하는 실험계획법(Design of Experiment, DoE)이 필요하다.

본 연구는 배합비에 따른 실험 데이터 부재 상황에서 맛 품질 예측을 목적으로 한다. 재료별 식품성분표 기반 수치화 방안을 수립하고, 오픈소스 레시피 데이터를 활용하여 실험 수준을 설정하였다. 실험 설계는 Box-Behnken Design(BBD)을 적용하여 구성하였으며 도출된 배합 조합에 대해 맛 품질을 추론하고, 부분최소제곱회귀(PLS, Partial Least Squares) 분석을 통해 2차원 공간상에서 시각화하였다.

II. 본론

1. 레시피 데이터 수집

본 연구에서는 레시피 데이터를 기준 레시피와 오픈소스 레시피로 구분하여 수집하였다. 기준 레시피는 간장, 고추장, 물엿 등을 포함한 24개 재료로 구성된 ‘불갈비 소스’ 레시피이다. 오픈소스 레시피는 농식품 빅데이터 거래소(KADX)에서 수집한 온라인 레시피 공유 플랫폼 데이터 중 조리 방법이 ‘찜’ 또는 ‘조림’에 해당하고 주재료로 육류를 사용하는 경우 및 ‘갈비’ 또는 ‘갈비찜’ 키워드를 포함하고 양념 재료가 3개 이상 명시된 레시피 529건만 선별하여 분석에 활용하였다.

수집된 오픈소스 레시피 데이터의 재료 표기는 국가표준식품성분표를 기준으로 정리하였다. 또한, 다양한 단위(컵, 테이블스푼, 티스푼 등)로 기록된 레시피를 모두 g 단위로 환산하여 100g 기준으로 정규화하였다.

2. Box-Behnken Design을 이용한 실험 설계

실험 설계에는 반응표면 분석법(Response Surface Methodology, RSM)의 일종인 Box-Behnken Design(BBD)을 적용하였다. BBD는 각 요인에 대해 3수준(-1, 0, +1)을 설정하여 실험을 수행하며, 극단 조합(모든 요인이 동시에 극대/극소)이 배제되어 실험 안정성과 효율성을 동시에 확보할 수 있다. 기준 레시피의 24개 재료 중 배합비가 5% 이상인 재료는 설탕, 정제수, 고춧가루, 고추장, 물엿, 마늘 죠핑, 양파 죠핑, 배 퓨레, 고추 맛 기름의 9개이며 전체 레시피의 87.45%를 차지한다. 이 중 오픈소스 레시피에 포함되지 않은 고추맛 기름을 제외한 8개 재료를 요인으로 선정하였다. 기준 레시피를 0수준으로 설정하고, 오픈소스 레시피 기반 재료별 표준편차를 활용하여 -1 및 +1 수준을 결정하였다.

Table 1. 실험 요인 및 수준

Factor	Level		
	-1	0	+1
Sugar	3.5	5	6.5
Purified Water	23	30	37
Red Pepper Powder	3	5	7
Red Pepper Paste	6	9	12
Starch Syrup	5	7.5	10
Puree of Pear	7	12	17
Garlic	3.5	4.5	6
Onion	6	9	12

단위 : %

완전 요인 배치법(Full Factorial Design)에서는

$$N^k \quad (N: 수준의 수, k: 요인의 수)$$

회의 실험이 필요하다. 반면, BBD의 경우 실험 수는

$$2k(k-1) + C_0 \quad (k: 요인의 수, C_0: 중심점의 수)$$

회이다. 8개 요인을 각 3수준으로 설정하고 중심점을 1회 포함할 경우, 완전 요인 배치법에서는 6,561회의 실험이 요구되나, BBD 방식으로는 113회로 실험의 횟수를 줄일 수 있다.

3. 식품 성분을 이용한 상대적 맛 품질 예측

재료 배합비 변화에 따른 맛 품질을 측정한 실험 데이터는 비용 및 시간 제약뿐 아니라 제품의 조성 정보가 기업의 핵심 자산으로 간주되는 특성상 확보가 어렵다. 이에 본 연구에서는 국가표준식품성분표에서 제공하는 재료별 영양성분 데이터를 기반으로 각 재료가 맛 품질(단맛, 짠맛, 매운맛)에 기여하는 정도를 수치화하였다.

단맛은 당류의 구성 성분과 상대적 감미도(Sweetness index)를 이용하여 계산하였다. 국가표준식품성분표에서는 당류를 자당, 포도당, 과당, 유당, 맥아당, 갈락토오스의 여섯 가지로 세분화하고 각각의 100g당 함량 정보를 제공한다. 자당(Sucrose)의 감미도를 기준값 100으로 설정하였을 때 상대적 감미도는 포도당 70, 과당 150, 유당 20, 맥아당 45 갈락토오스 30으로 보고된다. 본 연구에서는 감미도 계수를 각 성분에 적용하여 재료별 감미도를 산출하고 레시피 내 각 재료의 비율과 곱한 후 이를 합산하여 단맛 지수를 계산하였다.

$$\text{단맛 지수} = \sum_{i=1}^k R_i \times S_i \times D_i$$

R_i : 각 재료의 배합비,

S_i : 각 재료의 1g 당 당 함량(g),

D_i : 재료의 감미도

짠맛은 국가표준식품성분표의 식염 상당량 수치로 나타낸다. 식염 상당량은 영양 지도상의 편의를 도모하기 위해 나트륨에 환산계수 2.54를 곱한 수치이다. 재료 1g당 식염 상당량을 재료의 배합비와 곱하여 합산함으로써 짠맛 지수를 계산하였다.

매운맛은 캡사이신, 알리신 등 다양한 자극성 화합물에 의해 형성되지만, 본 연구에서는 매운맛에 기여하는 재료를 고춧가루와 고추장으로 한정한 후 캡사이신 농도를 기준으로 매운맛 지수를 정량화하였다. 고춧가루와 고추장의 매운맛은 각각 KS 산업 표준인 'KS H 2157'과 'KS H 2120'에 따라 정의되며 고속액체크로마토그래피(HPLC)를 이용하여 캡사이신과 디하이드로 캡사이신의 농도를 정량한 후 그 합산 값(mg/kg)을 기준으로 5단계 등급으로 구분된다. 고춧가루와 고추장의 매운맛을 3단계로 가정하고, 3단계 농도의 중간값에 재료 배합비를 곱한 후 합산하여 매운맛 지수를 계산하였다.

Table 2. 고춧가루와 고추장의 매운맛 등급

단계	고춧가루	고추장
1단계 (순한맛)	~ 149	~38
2단계 (덜 매운맛)	150 ~ 299	39 ~ 57
3단계 (보통 매운맛)	300 ~ 499	58 ~ 96
4단계 (매운맛)	500 ~ 999	97 ~ 129
5단계 (매우 매운맛)	1,000 ~	130 ~

단위 : mg/kg, ppm

4. 설계 조합에 따른 맛 품질 예측 및 시각화

각 조합 간 재료의 상대적 비율은 유지하면서, 전체 배합비 기준의 일관성을 확보하기 위해 BBD를 기반으로 -1, 0, +1의 수준에서 설계된 113개의 조합을 실제 함량으로 환산한 후 조합의 총합이 기준 레시피 내 재료의 총합인 87.45%가 되도록 정규화하였다. 이후, 정규화된 각 조합의 배합비를 이용하여 앞서 정의한 맛별 수치화 방법에 따라 단맛, 짠맛, 매운맛 지수를 산출하였다.

산출한 맛 지수는 Figure 1에서 맛 속성별로 시각화하였으며, Figure 2에서는 세 가지 맛 속성을 RGB 색상으로 변환하여 2차원 공간에 대응시킴으로써 각 조합의 종합적 맛 품질을 하나의 색상과 점으로 표현하였다.

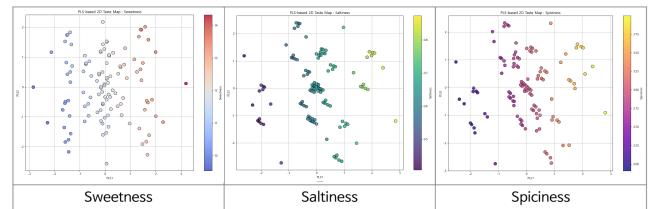


Figure 1. PLS 성분에 따른 개별 맛 특성 시각화

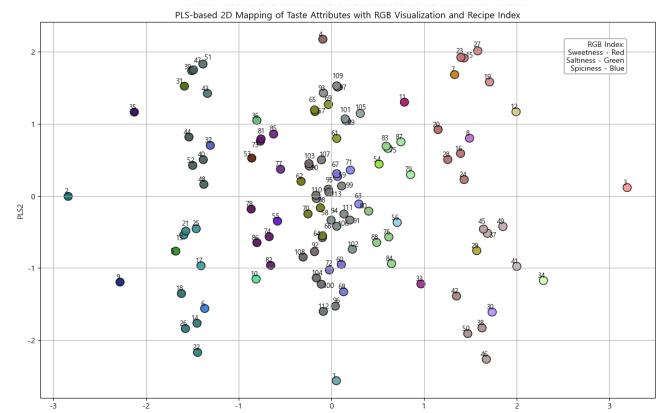


Figure 2. PLS 기반 맛 특성 통합 시각화(RGB)

Figure 2에서 좌표 공간상의 극점에 해당하는 1, 2, 3, 4번 점의 조합은 정제수와 설탕을 제외한 다른 재료는 기준값(0) 수준으로 고정하고, 두 재료의 배합비만 변화시킨 조합으로 단일 요인의 변화가 다차원적인 맛 프로파일에 미치는 영향을 극대화된 결과로 해석된다. 각 조합의 맛 특성을 2차원 공간상의 점으로 시각화함으로써 목표하는 맛에 직관적으로 접근할 수 있는 기반을 제공

III. 결론

본 연구는 배합비와 맛 품질 간의 관계를 시각적으로 이해하고 목표 맛 프로파일에 접근할 수 있는 기초적 분석 체계를 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 Box-Behnken Design, 식품성분표 기반 수치화, PLS 시각화를 결합함으로써 데이터가 제한된 환경에서 최소한의 실험으로 개별 변수의 영향과 조합 간 맛 특성을 파악하고 이를 배합비 설계에 활용 가능한 정보로 전환할 수 있었다. 실제 맛 품질 평가 데이터를 확보하여 예측 모델을 개선·고도화하고, 이를 기반으로 설계 범위 내 임의의 배합비 조합에 대한 맛 품질 예측과 목표 맛 특성에 대응하는 배합비 추론 알고리즘 개발로 확장할 필요성이 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신산업진흥원, 전북특별자치도 및 익산시의 지원으로 수행중인 '농식품 메타버스 기반 기술실증 지원사업(R1201-25-1001)'의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Riham K. Ahmed, Engy M. Saad, Hussein M. Fahmy, Rasha M. El Nashar, "Multivariate experimental design: towards more reliable electrochemical detection," Current Opinion in Electrochemistry, Vol. 31, 2022, 100880
- [2] 한국산업표준, "고추장", KS H 2120, 2021
- [3] 한국산업표준, "고춧가루", KS H 2157, 2021