

혼합실험계획법에 의한 율무와 밀가루의 압출성형 최적 배합 조건 설정

조석철 · 강병선^{1*}

서원대학교 식품영양학과, ¹천안연암대학 친환경원예과

Determination of the Optimal Mixture Ratio for Extrudates of Job's-tear and Wheat Flour by Mixture Design Analysis

Seok-Cheol Cho and Byung-Sun Kang^{1*}

Department of Food and Nutrition, Seowon University

¹Department of Eco-Friendly Horticulture, Cheonan Yonam College

Abstract The aim of this study was to identify the optimal ingredient-mixing ratio of Job's-tear and wheat flour subjected to extrusion. A modified distance-based mixture design analysis was chosen for the experimental design. The results showed that the bending failure force, the a-value, and the water absorption index (WAI) value had no correlation with the mixture ratio of Job's-tear and wheat flour. However, the diameter of the extrudates, the L- and b-values, and the water solubility index (WSI) value were all found to be correlated to the mixture ratio. While the first three values were determined using a linear model, the WSI value was determined using a quadratic model. The diameter and color had an inverse correlation to the mixture ratio: the higher the ratio of Job's-tear to wheat flour, the lower the diameter and darker the color. The L- and b-values were found to change in accordance with the mixture ratio of Job's-tear to wheat flour. The lowest WSI value was obtained at a 40:60 ratio of Job's-tear to wheat.

Keywords: Job's-tear, mixture design, water solubility index (WSI), extrusion, wheat flour

서 론

율무(*Coix lachryma-jobi*)는 화분과에 속하는 1년 초로 다른 곡류에 비해 단백질과 지질함량이 높고, 탄수화물 중 당질의 함량은 낮고 섬유소의 함량은 높은 것으로 알려져 있어서 영양적으로 우수하고 건강보조식품이나 대체 식량 자원으로 적합하다고 하였다(1,2). 율무는 한의학에서 의이인(薏苡仁)이며, 율무는 우리나라에서 약용으로 자양강장제, 이뇨제, 건위제, 진통제, 소염제 등에 효력이 있다고 알려져 있으며, 혈장 콜레스테롤 및 중성지방 함량을 저하시키고 조직과 혈장간의 콜레스테롤 재분배를 담당하는 HDL-콜레스테롤 함량을 증가시켜 전체적인 지질대사에 관여한다고 보고하였다(3). 또한 면역계의 조절 기전에 작용하여 면역 활성화에도 효과적으로도 작용한다고 보고되어 있다(4). 율무를 이용한 가공품에 대한 연구로서는 율무 첨가 식빵의 품질 특성(2), 율무첨가 죽의 특성(5), 율무 flake 제조시의 가열 조건에 따른 특성(6), 율무 첨가 탁주의 성분 특성(7) 등이 있다.

곡류의 물리화학적 특성변화를 이용한 제품 개발을 위해 압출성형공정이 활발히 이용되고 있다. 압출성형공정은 연속공정으로

시간, 에너지, 비용 등을 최소화할 수 있고, 고온에서 단시간에 처리하기 때문에 스낵이나 후레이크 등의 제조(8,9) 등에 관한 보고가 있다. 압출성형을 통한 연구는 주식으로 사용되는 쌀, 밀, 옥수수를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 율무를 이용하여 압출성형 연구가 진행되어 있다(10).

식품은 대부분이 혼합물로 이루어져 있으나 혼합물 제품의 특성은 각 성분의 개별 혼합량이 아니라 상대적인 혼합비율에 의해 영향을 받으며, 성분비율의 합이 항상 일정하다는 제약조건을 가진다. 식품에서 각 조성물의 성분은 설비나 인력과 같은 다른 고정적인 요인에 비해 상대적으로 큰 비중을 차지하며, 효과적으로 조절되어질 수 있다. 이와 같이 혼합물의 성분비율이 인자가 되고, 반응변수는 각 성분비율의 함수이며, 반응변수를 최적화하는 혼합비율을 찾기 위한 실험을 혼합물 실험이라고 한다(11). 혼합물의 최적 비율 결정을 위한 실험으로 지금까지 많은 연구가 이루어졌는데, 비타민의 최대 혼합 및 흡수를 위한 빵제조를 위해 반응표면분석을 이용하여 유청, 효모 추출물, 저지방 치즈의 배합비율에 대한 연구(12), 현미, 보리쌀, 밀 등과 같은 여러가지 곡류를 혼합하여 압출성형에 의한 재성형 혼합곡을 생산에 관한 연구 등이 있다(13). 식품에서는 식품이 지니고 있는 복합성으로 인해 이론적, 수학적인 모델식보다는 통계적인 모형의 도입이 바람직한데, 통계적인 모형은 적절한 실험계획법 내에서 진행된 실험의 결과에 의해 형성될 때 그 모형의 타당성과 적용성을 가질 수 있다. 본 연구에서는 혼합실험 계획법(mixture design)에 의해서 율무와 밀가루를 extruder를 이용하여 압출성형하고 스낵류 및 cereal류 제품에 적합한 조직형성을 위해 배합비에 따른 압출성형물의 조직 특성과 각각의 반응특성을 살펴보았다.

*Corresponding author: Byung-Sun Kang, Department of Eco-Friendly Horticulture, Cheonan Yonam College, Cheonan, Chungnam 330-709, Korea

Tel: 82-41-580-1063

Fax: 82-41-580-1187

E-mail: dottekang@naver.com

Received June 26, 2013; revised July 31, 2013;

accepted July 31, 2013

Table 1. Proximate compositions of Job's-tear powder (% dry matter basis)

Composition	Job's-tear	Wheat
Carbohydrate	65.5±0.26	78.96±0.51
Crude lipid	3.8±0.12	1.46±0.37
Crude protein	16.5±0.05	8.90±0.38
Crude Ash	3.6±0.11	0.48±0.08
Moisture	12.8±0.57	9.30±0.41

재료 및 방법

재료

울무가루는 경기도 연천군에서 구입하여 도정한 후 분쇄하여 600 µm 이하의 것을 사용하였으며 일반 성분은 Table 1과 같다. 밀가루는 일반 박력분(Daehan Flour Mills Co., Seoul, Korea)을 시중에서 구입하여 사용하였다.

압출성형조건

본 연구에 사용한 압출성형 장치는 자체 제작한 실험용 동방향 쌍축 압출성형기(THK31T, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로서 스크류는 완전 맞물림형이며, 스크류 직경은 31.0 mm, L/D 비율은 20, 모터 용량은 7.5 HP이었다. Barrel은 3개로 구성되어 있으며, 토출구의 직경은 3.0 mm이었다. 원료 투입 속도는 원료투입기의 쌍축 스크류의 회전 속도를 조절하여 0.075 kg/min로 유지하였다. 원료 수분함량 조절은 20.5%로 사전에 수분을 조절하여 밀봉하여 24시간 방치 후 직접 barrel의 사입구로 주입하였다. 울무의 압출성형에 영향을 미치는 여러가지 변수들 중에서 예비실험을 통하여 압출성형온도는 3개 barrel의 온도를 125°C로 고정시킨 뒤 barrel screw speed를 290 rpm과 시료의 수분함량을 20.5%로 설정하였다.

압출성형물의 물성 측정

압출성형물의 bending force 측정은 rheometer (Sun Scientific Co., CD-200D, Tokyo, Japan)로 하였다. 원통형의 압출성형물을 6 cm로 절단한 후 각각의 시료의 직경을 측정 후, cross-head speed 200 mm로 절단파손강도를 측정하였다.

압출성형물의 색도 측정

압출물의 색도 측정을 위하여 waring blender (Dynamic Corp., USA)로 600 µm 이하의 가루로 분쇄한 후, 색차계(Color Techno System Co., JC-801, Tokyo, Japan)로 L, a, b값을 측정하였다.

수분흡수지수(WAI)와 수분용해지수(WSI)

수분용해지수(WSI)는 Anderson(14)의 방법에 의하여 측정하였다. 분쇄한 시료 2.5 g에 물 30 mL를 가하여 혼합한 후 상온(25°C)에서 30분 후 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하였다. 상등액 10 mL를 취하여 수분칭량병에 넣은 후 105°C에서 4시간 동안 건조하여 고형분함량을 측정 후 WSI를 다음 식으로 결정하였다. 상등액을 분리하고 남은 압출 성형물 분말에 포함된 수분 함량과 원래의 압출성형물의 무게비를 수분흡수지수(WAI)로 하였다.

혼합 압출성형 조건 설정 및 통계분석

혼합물의 실험 디자인, data 분석 및 요인 간의 상호작용에 대해 Design Expert (Stat-Easy Co., Minneapolis, MN, USA)를 이용

Table 2. Mixture design to extrude the mixture of Job's-tear powder and wheat flour

Run No.	Actual factor level		Job's-tear (%)	Wheat (%)	Water (%)
	Job's-tear (%)	Wheat (%)			
1	40.0	60.0	46.37	33.13	20.50
2	75.0	25.0	41.46	38.09	20.45
3	57.5	42.5	60.12	19.38	20.50
4	5.0	95.0	32.09	47.36	20.55
5	5.0	95.0	4.10	75.40	20.50
6	22.5	77.5	32.45	47.05	20.50
7	40.0	60.0	18.13	61.40	20.47
8	75.0	25.0	18.19	61.31	20.50

하여 modified distance based design에 의한 단일 block으로 실험 계획을 설정하였다. 혼합물의 배합영역은 울무, 밀가루, 수분의 합을 100%로 설정하였으며, 울무는 5-75%, 밀가루는 25-95% 영역을 조건으로 설정하였다. 울무와 밀가루의 혼합비는 혼합디자인에 의해 8개의 실험점으로 선택되었으며, 총 수분함량을 전체 제약 조건으로 정하였다. Regression model을 나타내는 coefficient 값들은 polynomial form에 근거를 두고 계산되었으며 model과 coefficient 값들은 ANOVA table을 이용한 F-test 및 유의차, correlation coefficient에 의해 유의성을 검증하였다. 이와 같은 조건 하에서 각각의 함량비율에 따라 밀가루를 첨가한 울무 가루의 압출성형 조건을 Table 2와 같이 혼합설계(mixture design)하였다.

결과 및 고찰

압출성형물의 조직특성

Mixture design에 의해 압출성형된 울무와 밀가루의 혼합물에 대한 특성은 Table 3과 같이 나타났다. 울무의 함량이 많아질수록 외관적으로 팽창되어지는 정도가 적어졌으며, 색상도 어두워지는 것으로 나타났다. 이는 밀가루에 비해 울무 자체의 색상이 어둡고 단백질 함량이 높기 때문인 것으로 추정되어진다. 울무와 밀의 복합면 제조에서 울무가 30% 이상 혼합되어졌을 때 관능적 색도의 유의차가 나타났다는 보고(15)와 유사한 결과가 나타났다. 일반적으로 압출성형 중 압출물은 원료 구성물질의 특성, 스크류 회전속도, 원료입자의 크기 등에 따라 압출물의 특성이 변한다고 하였다(16). 이는 울무의 전분이 거의 amylopectin으로 이루어져 있으며(17), 높은 amylopectin 함량 때문에 압출성형기 내의 고온고압 환경하에서 점착성과 호화도가 급격히 증가하여 압출성형에 부정적인 영향을 주게 되었기 때문으로 여겨진다.

파손강도 범위는 720-1258 g이었으나 밀가루와 울무가루의 혼합비율과 bending 파손 강도는 상관성이 없는 것으로 나타났다 ($R^2=0.1845$). 팽화 정도를 나타내는 압출성형물의 직경은 울무함량이 5%에서 75%로 증가함에 따라 11.55 mm에서 6.68 mm로 감소하는 것으로 나타났다. 압출성형에서 팽화는 screw와 barrel 내부의 작용에 의해 형성된 탄성구조에서 고온고압의 수분이 순간적으로 저온저압 상태로 되면서 발생하는 기화에 의해 발생한다고 하였다(18). 또한 대두박과 옥분을 혼합한 압출성형에 있어서 대두박 함량이 증가하면 시리얼의 팽화율은 감소하고 용적 밀도가 커지지만, 옥분의 증가에 의해 팽화율이 커지고 용적밀도가 낮아지는 결과와 유사하였는데, 이는 단백질과 지질의 함량이 증가하면 팽화율이 감소하기 때문이라고 하였다(19).

Table 3. Texture analysis for the extruded cereal made from mixture of Job's-tear powder and wheat flour at screw speed 290 rpm, moisture content 20.5% and barrel temperature 125°C

Run No.	Bending failure force (g _f)	Diameter (mm)	Water solubility index (WSI)	Water absorption index (WAI)	Color		
					L*	a*	b*
1	1258.59±341.23	11.42±0.94	10.31±1.11	2.75±0.42	73.51±0.21	1.02±0.11	17.65±0.50
2	1272.03±270.14	6.68±0.51	30.62±3.12	2.20±0.32	74.90±0.15	1.13±0.09	16.55±0.37
3	920.24±126.87	9.57±0.87	23.21±5.40	2.19±0.53	72.42±0.21	1.49±0.13	18.58±0.48
4	1128.47±201.43	11.47±0.60	24.55±5.32	2.06±0.29	77.84±0.19	1.37±0.20	19.31±0.23
5	1157.43±222.24	11.55±0.72	25.74±5.40	2.09±0.47	78.16±0.25	1.53±0.18	19.42±0.85
6	818.82±160.48	9.60±0.52	12.54±0.52	1.95±0.31	77.42±0.30	1.57±0.22	18.43±0.73
7	720.51±124.79	9.51±0.69	13.54±0.61	1.66±0.28	75.79±0.14	1.75±0.26	18.55±0.64
8	907.65±186.28	7.57±0.43	33.68±4.06	1.78±0.15	72.73±0.22	1.77±0.14	17.64±0.58

압출성형물의 색도

압출성형물의 색도를 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다. 울무의 함량이 증가할수록 77.84에서 72.73으로 명도는 어두워지는 것으로 나타났다. 적색과 녹색의 관계를 나타내는 a값은 1.37에서 1.77로 적색 성분이 증가하였으며 황색과 청색의 관계를 나타내는 b값은 19.42에서 17.64로 청색방향으로 이동되는 것으로 나타났다. 울무와 밀가루의 복합분 제조에서와 유사하게 울무의 함량이 증가함에 따라 전체적으로 어두운 색감을 나타내게 되었다(15).

높은 팽화온도와 팽화시간의 증가는 곡물류를 팽화하였을 때 갈변을 촉진하여 L값을 감소시킨다. 또한 당류의 갈변반응은 각종 휘발성 물질들이 생성됨으로써 특이한 풍미의 변화가 따른다고 하였다(20).

압출성형물의 수분흡수지수(WAI)와 수분용해도(WSI)

수분용해지수와 수분흡착지수는 호화도와 팽화율에 영향을 받으며 스택제품으로써 이들 수치는 높을수록 좋은 품질로 인정된다. 현미, 보리, 옥수수 등에 포함된 전분이 압출 성형 공정을 거치면서 부분적인 호화와 스크류의 회전을 통해 배럴 내부물질에 가해지는 전단력에 의한 전분사슬의 절단과 함께 아밀로펙틴의 분획화를 통해 아밀로오스 함량이 증가하여 수분용해지수와 수분흡착지수가 증가한다고 하였으며, 스택제품으로 가공 시 수분용해지수와 수분흡착지수가 높을수록 좋은 품질로 인정된다고 하였다(21,22).

또한 수분흡착지수는 전분과 단백질의 수화를 나타내는 지표로서 이용되며, 옥수수전분 압출성형물의 수분흡착지수의 증가 요인은 전분 용용물이 기계적 전단력에 취약해져 수분을 흡수하기 쉬운 기공이 많은 조직으로 변화되었기 때문이라고 보고한 바 있다(23,24).

수분흡수지수는 곡물 등의 분말이 수분을 흡수하고 팽윤하여 식품에서 점도를 향상시킬 수 있는 능력을 의미하며, 수분용해도는 수분에 용해되는 정도를 의미함과 동시에 열이나 기계적 에너지의 투입량과 밀접한 관계가 있고 전분의 분해 정도를 나타낸다. 에너지의 투입량이 증가할수록 전분분자의 수소결합이 끊어져서 수분용해도가 증가하며, 전분 입자로부터 유리된 다량류의 함량이 증가한다. 또한 에너지 투입량이 증가하여 호화도가 증가할수록 수분용해지수도 증가한다고 하였다(25-28).

울무 압출성형물의 수화상태를 알기 위하여 수분흡수지수와 수분용해지수를 Table 3에 나타내었다. 수분용해지수(WSI)는 울무와 밀가루가 40%:60%(w/w)로 혼합되어 압출성형되었을 때 10.314로 가장 낮게 나타났다. 그러나 순수한 울무와 밀가루의 함량이 증가하면 WSI는 다시 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 울무와

Table 4. Probability and correlation coefficient of linear and quadratic model for the physical properties of extruded Job's-tear, wheat and water mixture by modified distance design

Physical properties	Model	Prob>F	R ²	Lack of fit
Bending failure force (g _f)	Linear	0.911	0.0023	0.43
	Quadratic	0.339	0.1845	0.26
Diameter (mm)	Linear	0.006	0.7384	1.73
	Quadratic	0.289	0.7958	1.70
WAI	Linear	0.956	0.0005	0.11
	Quadratic	0.676	0.0383	0.10
WSI	Linear	0.331	0.1570	14.07
	Quadratic	0.001	0.9295	3.78
L	Linear	0.009	0.6981	1.27
	Quadratic	0.278	0.7670	1.13
a	Linear	0.950	0.0007	0.05
	Quadratic	0.997	0.0014	0.07
b	Linear	0.009	0.6984	0.90
	Quadratic	0.975	0.6984	1.36

WSI: water solubility index, WAI: water absorption index

밀가루 간의 상호작용에 의해 울무와 밀가루가 적절히 혼합되면 물에 녹는 고형분이 감소하는 것으로 고려되었으며, 적절한 혼합 비율에 의해서 물에서의 용해성을 조절할 수 있다고 예측할 수 있었다. 수분흡수지수(WAI)는 울무와 밀가루 함량 변화와는 유의성이 없는 것으로 나타났다.

혼합 압출성형 조건 설정 및 통계분석

울무와 밀가루의 적정 혼합비를 결정하기 위하여 modified distance design에 의한 quadratic 모형으로서 분석한 결과를 Table 4에 나타내었다. Bending 파손강도, WAI, a값 등은 유의성이 없는 것으로 나타났으나, 팽화물의 직경, WSI, L값, b값은 울무와 밀가루의 혼합에 의해 유의성이 존재하는 것으로 나타났다. 팽화물의 직경, L값, b값은 선형 모델로 분석할 수 있었으나 WSI는 quadratic 모델로만 설정이 가능한 것으로 나타났다.

울무의 함량의 증가에 따른 trace plot은 Fig. 1과 같다. 직경, L값, b값들은 울무함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나, 밀가루 함량에 대해서는 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 WSI는 울무의 component ratio 0.42에서 최저점을 나타내었다. 각 모델을 이용하여 분석된 예측식은 Table 5와 같다. 각 반

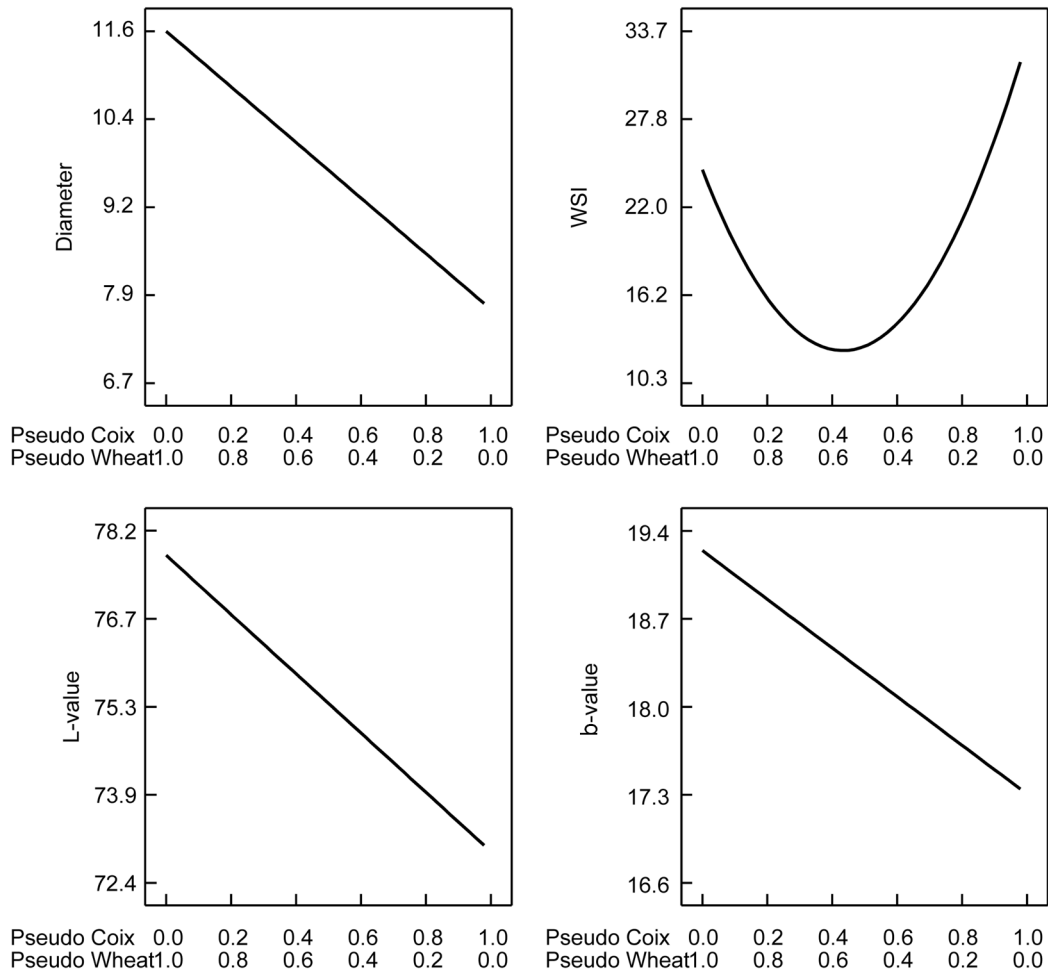


Fig. 1. Trace plots of two component mix.

Table 5. Analysis of predicted model equation for the quality characteristics of Job's-tear and wheat mixture

Response	Model	Pseudo components	Actual components
Diameter (mm)	Linear	=7.72A + 11.62B	Y=0.063246×A + 0.11902×B
WSI	Quadratic	=33.09A + 24.49B - 64.10AB	Y=0.67229A + 0.28780B - 0.013082AB
L	Linear	=72.93A + 77.76B	Y=0.71206×A + 0.78107×B
b	Linear	=17.27A + 19.26B	Y=0.16565×A + 0.19400×B

A: Job's-tear, B: Wheat flour

Table 6. Optimum constraints values using numerical analytical methods in the object goal

Constraints name	Goal	Lower limit	Upper limit
Job's-tear	in range	5	75
Wheat flour	in range	25	95
Diameter	maximize	6.68	11.55
WSI	in range	29	34
L	maximize	72.42	78.16
a	in range	16.55	19.42

응에 대하여 울무 함량보다는 밀가루 함량의 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

혼합물의 최적화

울무, 밀가루, 물의 함량비를 변화시키면서 최적 혼합비를 결정하기 위하여 설정한 각 반응들의 범위와 목표값을 Table 6에 나타내었다. 요인들의 범위를 실험 범위로 정하였으며, 직경과 L 값은 최대로 정하였으며, a는 WSI는 기존 시판 제품들의 평균값인 34을 목표값으로 정하고 시판되는 시리얼의 범위인 29-34를 제한범위로 결정하였다. 모든 변수들의 가중치는 동일하게 설정하였으며 변수들의 중요도는 유의차와 상관계수 등에 의하여 임의로 3-0으로 정하였다. 이와 같은 통계적 방법에 의한 울무:밀가루:수분의 혼합비율은 56.68:23.15:20.17(w/w)의 비율로 나타났으며, 예상 직경은 7.95 mm, WSI는 29, L값은 73.22, b값은 17.39 등으로 나타났다.

요 약

혼합디자인에 의해 설정된 조건하에서 압출성형한 울무와 밀가루의 압출성형물은 울무 첨가에 대해 여러 반응 요인들이 압출성형물의 특성에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 실험조건은 울무 함량 5-75%, 밀가루 25-95%로 결정하였으며, 수분함량은 20.55%로 고정하여 modified distance based mixture design으로 실험설계 및 분석하였다. Bending 파손강도, WAI, a값 등은 유의성이 없는 것으로 나타났으나, 팽화물의 직경, WSI, L값, b값은 울무와 밀가루의 혼합에 의해 유의성이 존재하는 것으로 나타났다. 팽화물의 직경, L값, b값은 선형 모델로 분석할 수 있었으나 WSI는 quadratic 모델로만 설정이 가능한 것으로 나타났다. 울무의 함량이 많아질수록 외관적으로 팽창되어지는 정도가 적어졌으며, 색상도 어두워지는 것으로 나타났다. 울무의 함량이 증가할수록 L값은 77.84에서 72.73, a값은 1.37에서 1.77로, b값은 19.42에서 17.64로 이동되었다. WSI는 울무와 밀가루가 40%:60%로 혼합되어 압출성형되었을 때 가장 낮게 나타났으며, WAI는 울무와 밀가루 혼합 비율에 대해서는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 혼합디자인 계획법은 시리얼류 제품 생산에 적합한 조직형성과 반응량에 유의한 영향을 미치는 요인 등에 대해 적절한 혼합 비율과 가공 조건 등을 제시할 수 있음을 알 수 있었다. Modified distance based mixture design에 의해, 일반 시중 제품과 유사한 조직감을 나타낼 수 있는 울무와 밀가루, 물의 적정 배합 비율은 60.12:19.42:20.46으로 나타났다.

References

1. Kim HK, Cho DW, Hanm YT. The effects of Coix bran on lipid metabolism and glucose challenge in hyperlipidemic and diabetic rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 140-146 (2000)
2. Park GS, Lee SJ. Effects of Job's tears powder and green tea powder on the characteristics of quality of bread. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 1244-1250 (1999)
3. Kang BS, Won HJ, Hahm YT, Kim HK, Kim BY. Effects of extruded Job's-tear cereal on lipid metabolism in high fat fed rats. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29: 252-256 (2000)
4. Ryu HS. Effect of Job's tear (Yul-moo) extracts on mouse oral administration IL-1 β , IL-6, TNF- α , IL-10 cytokine production by peritoneal macrophage for two weeks. *Korean J. Food Nutr.* 21: 204-209 (2008)
5. Lee JE, Suh MH, Lee HG, Yang CB. Characteristics of Job's tear gruel by various mixing ratio, particle size and soaking time of Job's tear and rice flour. *Korean J. Soc. Food Cookery Sci.* 18: 193-199 (2002)
6. Lee YT, Seog HM, Kim SS, Hong HD, Kim KT. Functional characteristics of Job's-tear flakes subjected to varying degree of heating. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 640-645 (1995)
7. Shin SY, Suh SH, Cho WD, Lee HK, Hwang HJ. Analysis of volatile components in Korean rice wine by the addition of Yul-moo. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 32: 1206-1213 (2003)
8. Gu BJ, Norajit K, Ryu GH. Physicochemical properties of extruded defatted hemp seed and its energy bar manufacturing. *Food Eng. Prog.* 14: 127-134 (2010)
9. Jin T, Lee ES, Hong ST, Ryu GH. Manufacturing of goami flakes by using extrusion process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 39: 146-151 (2007)
10. Kang BS, Hahm YT, Kim BY. Optimization of the extrusion pro-

cessing conditions for Job's-tear. *Food Sci. Biotechnol.* 10: 123-127 (2001)

11. Cornell JA. *Experiments with Mixtures, Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data.* 3rd ed. Wiley, New York, NY, USA (2002)
12. Hsu HW, Satterlee LD, Kendrick JG. Computer blending pre-determines properties of protein foods. Part I. Experimental design. *Food Prod. Dev.* 11: 52-62 (1977)
13. Lee YT, Seog HM, Kim SS, Kim KT, Hong HD. Quality characteristics of reconstituted multi-grain by extrusion process. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 963-968 (1997)
14. Anderson RA. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked grain products. *Cereal Chem.* 59: 265-269 (1982)
15. Park KD. A study of dried noodles prepared from composite flours utilizing Job's-tears and wheat flour. *Korean J. Food Nutr.* 8: 325-329 (1995)
16. Kim CT, Hwang JK, Cho SJ, Kim CJ, Kim HS. Effect of screw configurations and process parameters on characteristics of wheat bran extrudates. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 169-178 (1996)
17. Woo JW, Yoon GS, Kim HS. Physicochemical properties of Yul-moo (*Coix lachryma-jobi* var. mayuen Stapf.) and Yeomjoo (*Coix lachryma-jobi* L.) starches. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 28: 19-27 (1985)
18. Padmanabhan M, Bhattacharya M. Extrudate expansion during extrusion cooking of foods. *Cereal Foods World.* 34: 945-949 (1989)
19. Han GH, Kim BY. Analysis of optimal mixture ratio for extrudate of the soymilk residue and corn grits by mixture design. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 617-622 (2003)
20. Lee JE, Kim YJ, Cho MG, Park SY, Kim EM, Cho YS, Choi YH. Physicochemical properties of extruded rice flour and gelatinization popped rice flour. *Korean J. Food Nutr.* 25: 850-854 (2012)
21. Lee SH, Kim CK. Optimization for extrusion cooking conditions of rice extrudate by response surface methodology. *Korean J. Food Nutr.* 7: 137-143 (1994)
22. Jin T, Yu JH, Ryu GH. Effect of moisture content and temperature on physical properties of instant puffed rice snacks. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 846-852 (2012)
23. Mason WR, Hoseney RC. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chem.* 63: 436-441 (1986)
24. Lee KC, Kim YS, Ryu GH. Saccharification characteristics of extruded corn starch at different process parameters. *Food Eng. Prog.* 15: 155-161 (2011)
25. Ryu GH, Mulvaney SJ. Analysis of physical properties and mechanical energy input of cornmeal extrudates fortified with dairy products by carbon dioxide injection. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 947-954 (1997)
26. Osundahunsi OF, Fagbemi TN, Kesselman E, Shimoni E. Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *J. Agr. Food Chem.* 51: 2232-2236 (2003)
27. Jeong HS, Min YK, Toledo RT. Effects of low temperature extrusion method on the physical properties and cell structure of pregelatinized rice flour extrudate. *Food Eng. Prog.* 6: 145-151 (2002)
28. Tie J, Kim MH, Ryu HJ, Lee KH, Han MS, Cho SS, Lee HK, Ryu GH. Quality characteristics of rice cake(Injulmi) made with traditional process and instant Injulmi machine and different steeping time. *Food Eng. Prog.* 12: 97-106 (2008)
29. Choi ID, Han OK, Chun JY, Kang CS, Kim KH, Kim YK, Cheong YK, Park TI, Choi JS, Kim KJ. Hydration and Pasting Properties of Oat (*Avena sativa*) Flour. *Prev. Nutr. Food Sci.* 17: 87-91 (2012)