

Research Note

시중 즉석 조리 면의 Back Extrusion 텍스처 데이터에 대한 Partial Least Square Regression 분석

김수정 · 이승주*
동국대학교 식품공학과

Analysis of Partial Least Square Regression on Textural Data from Back Extrusion Test for Commercial Instant Noodles

Su kyong Kim and Seung Ju Lee*

Department of Food Science and Technology, Dongguk University

Abstract

Partial least square regression (PLSR) was executed on curve data of force-deformation from back extrusion test and sensory data for commercial instant noodles. Sensory attributes considered were hardness (A), springiness (B), roughness (C), adhesiveness to teeth (D), and thickness (E). Eight and two kinds of fried and non-fried instant noodles respectively were used in the tests. Changes in weighted regression coefficients were characterized as three stages: compaction, yielding, and extrusion. Correlation coefficients appeared in the order of $E>D>A>B>C$, root mean square error of prediction $D>C>E>B>A$, and relative ability of prediction $D>C>E>B>A$. Overall, 'D' was the best in the correlation and prediction. 'A' with poor prediction ability but high correlation was considered good when determining the order of magnitude.

Key words: partial least square regression, back extrusion test, texture, instant noodles, prediction

서 론

아시아 지역에서 끊임없이 성장하며 사용되고 있는 밀가루의 상당량이 면류로 소비되고 있다. 밀가루에 전분, 소금, 알칼리제를 넣고 물로 반죽한 다음 국수를 만들어 스팀으로 증자하여 기름으로 튀긴 즉석 면은 최근 간편화와 편리성을 추구하는 바쁜 현대인들의 식생활에서 식사용이나 간식으로 빠질 수 없는 음식이 되었다(Jeong, 1998).

즉석 면의 품질에 텍스처는 소비자가 수용하는데 중요한 역할을 한다. 텍스처란 식품의 품질을 관능적으로 명시하여 식품에 힘을 가하여 반응된 것을 표현한 것이다(Szczesniak, 1968). 면의 텍스처에 대한 사람의 기호도는 사람마다 크게 차이를 보이므로 관능적 평가와 기기분석 결과의 상관관계가 불분명할 수 있다. 조리된 면의 텍스처에 대한 기기분석의 연구결과가 다수 보고되었다. Cutting

또는 compression을 이용하여 기계적인 측정을 하였고(Oh et al., 1983, 1985; Hung & Morrison, 1988; Zhao & Seib, 2005), Epstein et al.(2002)은 texture profile analysis (TPA)를 사용하여 hardness를 측정하였다. Seib et al.(2000)은 L-shaped hook을 이용하여 tensile test를 실험하였고, Lee et al.(1987)은 피스톤 형태의 시료 통 바닥에 여러 구멍을 내어 압출시키는 extrusion test를 고안하여 시료에 따른 힘-거리 곡선을 분석하였다.

한편, 기기분석 측정 데이터와 관능적 속성치의 상관성을 통계적으로 분석함에 있어서, 힘-변형 곡선을 전체로 취하여 분석하는 partial least square regression(PLSR) 기법이 적용된 바 있다. PLSR이란 수많은 독립변수로부터 종속변수를 예측할 수 있는 다변량 통계법이다(Esbensen, 2001). Meullent et al.(1999)은 쌀밥의 텍스처 평가를 위하여 forward extrusion test를 사용하여 maximum force같은 특정한 값보다는 힘-변형 곡선의 데이터 전체를 PLSR에 사용하여 관능적 속성치를 예측하였다. 이와 같이 PLSR 기법은 기기분석측정 데이터를 곡선의 peak 또는 면적 등의 단일 값을 사용하는 경우보다 모든 측정 데이터를 사용할 수 있는 장점을 갖는다.

본 연구에서는 즉석 면의 텍스처 측정에 새로이 back

Corresponding author: Seung Ju Lee, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, 26, 3-ga, Pil-dong, Jung-gu, Seoul 100-715, Korea

Tel: +82-2-2260-3372; Fax: +82-2-2260-3372

E-mail: Lseungju@dongguk.edu

Received November 18, 2009; revised January 30, 2010; accepted February 2, 2010

extrusion test을 고안하여 국내 시판되고 있는 대표적인 즉석 면류를 대상으로 텍스처를 측정하였고, 관능검사에 의한 관능적 속성치를 PLSR 기법으로 예측하였다. 즉, 원통형 용기에 시료를 담고 원판형 probe의 압축에 의하여 용기와 probe 사이로 시료가 압출되는 힘-변형 곡선 데이터를 독립변수로, 그리고 관능적 속성치를 종속변수로 취하여 PLSR 분석을 하였다.

재료 및 방법

재료

제안된 방법의 유효성을 보다 광범위한 면 제품에 대하여 시험하고자, 국내 시판되고 있는 즉석 면류인 즉석유당면 8종과 즉석비유당면 2종을 사용하였다.

면의 조리

먼저 시료 제조를 위하여 증류수 500 mL에 면 60 g을 넣고 면 종류별 포장지에 있는 권장시간 동안 조리한 후 면을 체로 건져서 찬물에 30초간 냉각시켰다. 체에 받쳐서 1분간 물기를 뺀 후 시료의 무게를 일정하게 취하였고, 실험은 drain 후 10분 내에 시작하였다. 여기서 모든 면을 동일하게 조리하지 않은 이유는 각 면마다 최적의 조리조건이 서로 다르며, 또한 본 실험의 목적이 각 종류의 기기분석치와 관능검사치의 통계적 비교분석이기 때문이었다.

Back extrusion test

Texture analyzer(Model TA-XT2, Stable Micro Systems, UK)에 원통형 용기(지름 50 mm, 높이 70 mm)와 원판형 probe(지름 40 mm)를 결합시켜 back extrusion test를 실시하였다. 80 g의 조리된 면을 원통형 용기에 담은 후 바닥으로부터 35 mm 상단의 위치까지 압축하여 시료를 원통용기와 probe 사이로 압출시키는 방식을 사용하였으며, 3회 반복하여 실험하였다.

관능검사

동시 비교 시료 수 및 시료 준비의 어려움에 근거하여 다시료 차이식별검사와 불완전블록법을 적용하였다(Kim et al., 1993). 즉 패널 10명에게 1인당 3가지 시료를 비교토록 하였으며, 이와 같은 관능검사를 총 3회 반복 실험하였다. 결과적으로 각 시료당 반복수는 9회(10명×3가지/명×3회/10가지 시료)에 준하였다. 텍스처 측정의 경우와 동일하게 면을 조리한 후 시료로 제시하였으며 삶은 면을 스프 등으로 가미하지 않고 제시하였으며, 삶은 직후에 검사하도록 하였다.

관능적 속성의 선택은 Song et al.(2001)의 방법을 일부 수정하여 사용하였다. 즉, 경도(hardness), 탄성(springiness), 끈적러운 정도(roughness), 이에 박히는 정도(adhesiveness

to teeth)에 추가로 굵기감(thickness)을 적용하였다. 시중 즉석 면의 경우 두께가 다양하여 저작 시 느껴지는 면의 굵기감은 관능적으로 중요하다. 각 속성에 대한 표준시료를 제시하여(Kim et al., 1993) 비교하며 0-15점 척도에 따라 평가하도록 하였다.

PLSR 통계처리

PLSR에 독립변수로서 back extrusion test의 힘-변형 곡선 데이터 전체를, 종속변수로서 관능적 속성치를 부여하였다. 컴퓨터프로그램으로 Unscrambler®(version 9.1a, CAMO, Thromheim, Norway)를 사용하였으며, 데이터는 먼저 Microsoft Office Excel 파일로 작성하여 입력하였다. 또한 프로그램의 옵션으로 독립변수의 표준편차에 의한 나누기(weighting by standard deviation) 및 full cross-validation 방식을 적용하였다(Sitakalin & Meullenet, 2000). 또한 principal component analysis(PCA)는 곡선 데이터에 대하여 분석하였다.

결과 및 고찰

시중 면 10가지를 back extrusion test를 3 반복한 결과 힘-변형 곡선은 동일한 경향을 보였으며 그 중 한 예는 Fig. 1과 같다. 10가지 시료 간 차이와 시료 내 3 반복의 효과를 비교하기 위하여 각 시료에 대한 힘-변형 곡선 데이터에 대하여 PCA한 결과로서, Fig. 2에 10가지 시료와 그의 3 반복수의 PC1과 PC2를 모두 나타내었다. 같은 종류의 시료들은 같은 구역에, 다른 종류는 다른 구역에 분리되게 위치하여 back extrusion test의 힘-변형 곡선은 그 반복성이 우수함을 알 수 있다.

Fig. 3은 PLS regression에서 종속변수를 관능속성, 독립변수를 backward extrusion의 응력으로 하였을 때, 곡선 상의 각 응력 값들의 회귀계수(weighted regression coefficient)를

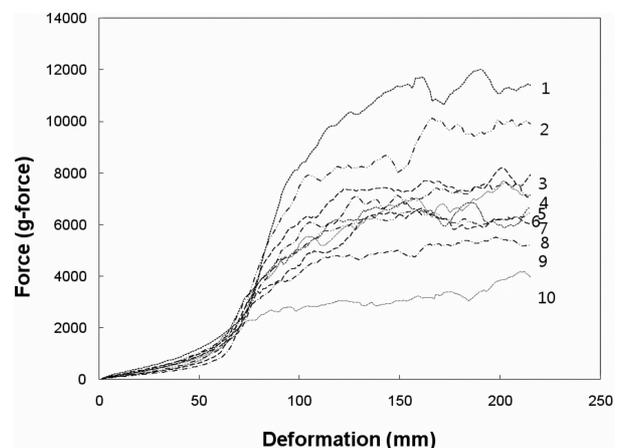


Fig. 1. Sample curves of back extrusion tests on 10 kinds (1-10) of commercial cooked instant noodles in Korea.

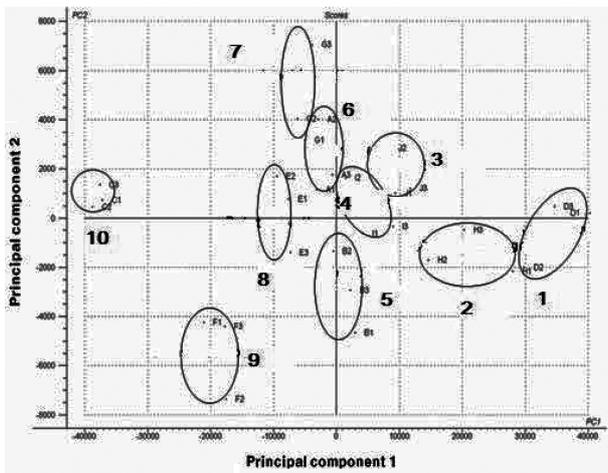


Fig. 2. Principal component (PC1, PC2) of 10 kinds (1-10) of noodles with 3 replications from PCA. Circles represent each of groups with the same kinds of noodles.

나타낸 결과이다. 양(+)의 회귀계수는 해당 응력 값이 ‘경도’의 증가에, 음(-)의 회귀계수는 ‘경도’의 감소에 기여함을 의미한다. Back extrusion test의 과정은 시료가 초기에 압착단계(compaction stage)(Fig. 3-A의 경우 instrumental variable의 범위 1-84에 해당), 완전 충전되어 압출을 시작하는 항복단계(yielding stage)(범위 85-100), 최종 압출단계(extrusion stage)(범위 101-217)로 관찰되었다. 압착단계에서는 초기에 느슨하게 충전된 꼬불한 즉석 면이 점차 촘촘히 충전됨을 보였으며, 항복단계에서는 더 이상 충전됨이 없이 원통용기와 원판형 probe의 사이로 빠져서 나가기 압

출되기 시작하여, 압출단계에서는 probe가 내려오며 따라 시료가 원활하게 압출되는 것으로 나타났다. 단, 압출단계의 후기는 압출과 더불어 원판형 probe 아래의 압축현상(compression)이 동반된다.

‘경도’는 항복단계와 압출단계의 초기에는 음의 효과를, 압출단계의 중, 후기에는 양의 효과를 나타냈다(Fig. 3-A). 압착단계는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 항복단계에서는 경도가 낮은 면은 압착이 더 된 후에 압출이 시작되므로 항복단계의 응력은 더 높게 되므로 음의 관계를 보인 것으로 분석된다. 압출단계 초기에는 항복단계의 현상을 일부 보이다가 중·후기에는 충전이 완전히 된 상태에서 압출이 일어나므로 경도가 높은 면이 응력이 크게 되므로 양의 관계를 보인 것으로 생각할 수 있다.

‘탄성’은 압착단계의 초·중기에는 음의 효과를, 그 이후에는 일정한 경향을 보이지 않다가 압출단계의 후기에는 양의 효과를 나타냈다(Fig. 3-B). ‘탄성’이란 면이 변형된 후도 복원되는 성질이므로 충전 과정에서 탄성이 큰 면은 빈 공간으로 제이동이 원활하므로 그 때의 응력은 더 적게 소요되므로 음의 효과를 보인 것으로 분석된다. 그 이후부터 압출단계의 후기적전까지 일정한 방향을 보이지 않은 이유는 항복 및 압출되는 과정에서 탄성이 큰 면은 순간적인 변형 및 복원이 반복되어 응력이 일정하지 않게 되기 때문으로 생각된다. 그러나 압출단계의 후기부터는 압출의 흐름이 안정하게 되어 ‘경도’의 차이’ 따른 효과를 보이는 것으로 분석된다.

‘겉뜨러운 정도’는 그 특징이 음양의 방향보다는 회귀상수의 절대적 크기의 차이를 보였다. 즉, 압착단계의 후기부

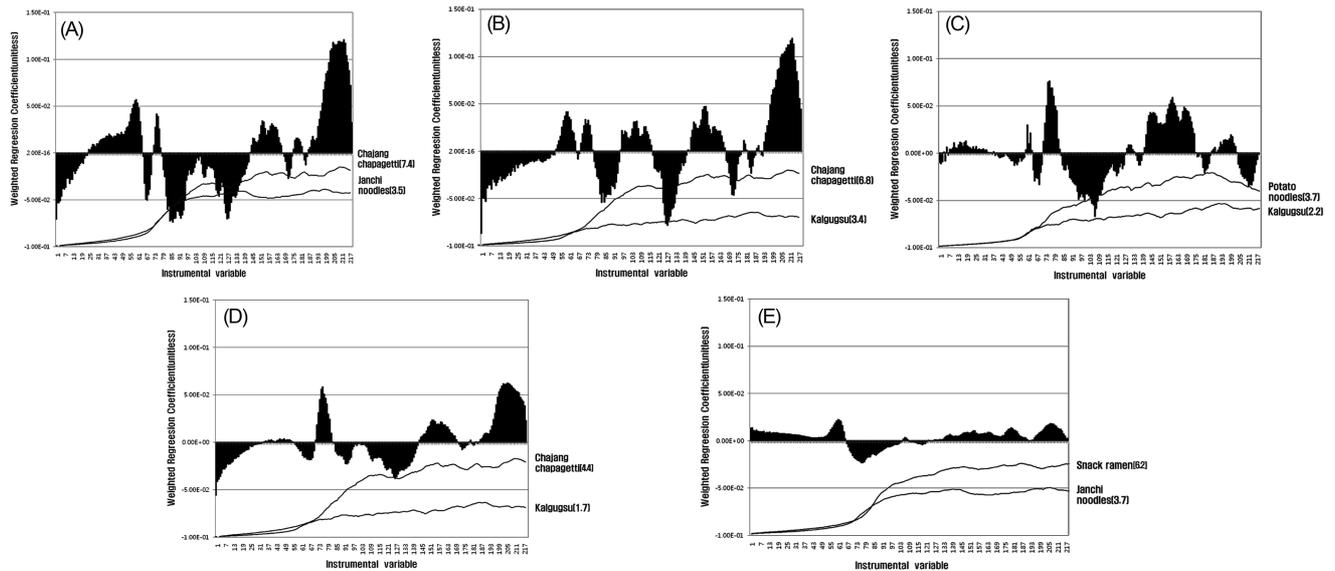


Fig. 3. Weighted regression coefficients of independent to dependent variables of PLSR. The independent variables are data points on back extrusion force-deformation curve. The dependent variables are sensory attributes. A: hardness, B: springiness, C: roughness, D: adhesiveness to teeth back, E: thickness. Two curves of force-deformation for the highest and lowest dependent variables were presented in each graph.

Table 1. Experimental and predicted sensory attributes of commercial cooked instant noodles from sensory evaluation and PLSR, respectively

Commercial instant noodles ¹	Hardness		Springiness		Roughness		Adhesiveness to teeth		Thickness	
	Experimental ²	Prediction ³	Experimental	Prediction	Experimental	Prediction	Experimental	Prediction	Experimental	Prediction
6	4.9 ^{ab}	4.3 ^{abc}	4.8 ^{ab}	4.4 ^{abc}	2.6 ^a	2.9 ^{ab}	2.7 ^{ab}	3.0 ^{abc}	4.3 ^{ab}	4.2 ^{ab}
5	6.0 ^{ab}	6.0 ^{de}	4.8 ^{ab}	5.4 ^c	3.1 ^a	2.7 ^{ab}	3.4 ^{ab}	3.4 ^{cd}	4.1 ^{ab}	4.8 ^c
10	4.2 ^b	4.1 ^a	3.4 ^b	3.4 ^a	2.2 ^a	2.3 ^a	1.7 ^b	1.8 ^a	3.7 ^b	3.7 ^a
1	5.6 ^{ab}	5.8 ^{cde}	5.1 ^{ab}	5.2 ^{bc}	2.4 ^a	2.5 ^a	2.7 ^{ab}	2.9 ^{bc}	6.2 ^a	6.2 ^d
8	4.1 ^b	4.5 ^{ab}	4.3 ^{ab}	4.7 ^{ab}	3.7 ^a	3.1 ^b	3.1 ^{ab}	2.9 ^{abc}	4.4 ^{ab}	4.0 ^{bc}
9	5.6 ^{ab}	5.5 ^{de}	5.5 ^{ab}	5.1 ^{bc}	2.4 ^a	2.7 ^a	3.6 ^{ab}	3.5 ^{bc}	3.9 ^{ab}	3.7 ^a
7	3.5 ^b	4.1 ^{ab}	4.3 ^{ab}	4.5 ^{ab}	2.5 ^a	2.5 ^a	2.9 ^{ab}	2.8 ^{ab}	3.7 ^b	4.0 ^a
2	7.4 ^a	6.6 ^e	6.8 ^a	5.9 ^d	3 ^a	3.1 ^{ab}	4.4 ^a	3.8 ^d	6.0 ^{ab}	5.3 ^{bd}
4	5.0 ^{ab}	5.4 ^{bcd}	4.2 ^{ab}	4.7 ^{bc}	2.6 ^a	2.9 ^{ab}	2.8 ^{ab}	3.1 ^{bc}	5.1 ^{ab}	4.8 ^c
3	5.0 ^{ab}	5.1 ^{abcd}	4.5 ^{ab}	4.4 ^{bc}	3.2 ^a	2.9 ^{ab}	3.0 ^{ab}	3.0 ^{bc}	4.5 ^{ab}	5.1 ^c

¹ Referred from Fig. 1.

² Averages from 9 replications.

³ Averages from 3 replications.

^{a-c} Averages with the same letters are not significantly different in the same columns ($\alpha=0.05$).

터 압출단계의 중기까지의 응력은 꺾끄러운 정도의 값을 결정하는데 크게 기여한 반면 그 밖의 단계는 기여가 미미한 것으로 나타났다(Fig. 3-C). ‘꺾끄러운 정도’란 혀에서 느껴지는 것으로 일단 시료가 충분히 맞닿아야 느껴질 수가 있으므로 압착초기의 응력은 기여도가 낮은 것으로 사료된다. 압출단계의 후기 응력의 기여도가 낮은 이유는 probe 아래서의 압축현상이 지배적이므로 면의 매끄러움은 압축에 크게 중요하지 않기 때문으로 생각된다.

‘이에 박히는 정도’는 항복단계와 압출단계의 초기에는 음의 효과를, 압출단계의 중, 후기에는 양의 효과를 나타냈다(Fig. 3-D). 압착단계에서 초기에는 음의 효과를 그 후에는 일정한 경향을 보이지 않았다. ‘이에 박히는 정도’는 저작시 잘게 흩어지지 않아 치아 사이에 끼는 성질로서 앞에서 언급된 바와 같이 면의 ‘경도’와 유사한 결과를 보였다.

‘굵기감’은 압착단계의 초·중기에는 양의 효과를, 그 이후에는 음의 효과를 보이다가 압출단계에서는 양의 효과를 나타냈다(Fig. 3-E). ‘굵기감’이 적은 면이 얇거나 덜 꼬불

거리는 면이 높은 성질로서 초기에 보다 공간적으로 균일하게 충전된 상태에서 압착을 시작하므로 응력이 더 적게 소요되어 양의 효과를 보이며, 항복단계에 도달될 때 응력이 더 커져 음의 효과를 보였다. 일단 압출단계가 시작되면 더 원활하게 압출이 되므로 응력은 크게 증가하지 않아 다시 양의 효과를 보이는 것으로 분석된다.

Table 1에 각 시료에 대한 실험값과 PLSR의 예측 값을 나타냈으며, Table 2에 각 관능속성에 대한 예측능과 관련된 통계적 분석 결과인 상관계수(R)은 실험값과 예측 값의 상관성을 의미하고, PLSR에 사용된 PC의 개수(가장 낮은 RMSEP를 보일 때), 실험값과 예측 값의 오차(RMSEP), 예측 능(RAP)을 나타내었다(Esbensen, 2001). 오차가 작고 예측능이 클수록 실험값과 예측 값의 일치도가 높은 것을 의미하며 ‘이에 박히는 정도’가 가장 높았고, ‘경도’가 가장 낮았다. 그러나 상관계수는 ‘이에 박히는 정도’와 ‘경도’가 높았고, ‘꺾끄러운 정도’가 낮았다. 종합적으로는 상관계수와 예측능이 모두 높은 경우가 가장 우수하다고 볼 때, ‘이

Table 2. Model statistics for prediction of texture attributes of commercial instant noodles using back extrusion test

Attribute	Range of sensory data (min-max)	R ¹	# of PCs ²	RMSEP ³	RAP ⁴
Hardness	3.5-7.4	0.83	5	0.33	0.97
Springiness	3.4-6.8	0.78	5	0.29	0.97
Roughness	2.2-3.7	0.55	5	0.14	0.99
Adhesiveness to teeth	1.7-4.4	0.84	4	0.12	1.00
Thickness	3.7-6.2	0.85	3	0.19	0.99

¹ R is the correlation coefficient between observed and predicted validation scores.

² Number of principal components chosen according to the residual variance plot to avoid overfitting.

³ Root Mean Square Error of Prediction expressed in sensory units.

⁴ Relative Ability of Prediction = $(S_{tot}^2 - RMSEP^2) / (S_{tot}^2 - S_{ref}^2)$ where:

S_{tot} = standard deviation of the sensory intensities across all samples for a particular attribute

$S_{ref} = (MSE / (P * R))^{1/2}$

MSE = mean square error derived from a two way analysis of variance

P and R = the number of sensory panelists and replicates

에 박히는 정도'가 PLSR의 적용에 가장 합당함을 알 수 있다. '경도'의 경우 예측 값은 실험값과 상관성은 높았지만 그 일치도는 낮은 반면에, '겉끄러운 정도'는 상관성은 없지만 그 일치도가 높게 나와 시료간 순위의 결정에 PLSR를 적용할 때는 '경도'에 더 의미가 있다고 볼 수 있다.

요 약

시중 즉석 면류의 관능적 성질과 back extrusion test 데이터에 대하여 partial least square regression(PLSR)을 실시하였다. 즉석유당면 8종과 즉석비유당면 2종에 대한 관능적 속성으로서 경도(A), 탄성(B), 겉끄러운 정도(C), 이에 박히는 정도(D), 굵기감(E)를 검사하였고, 실험 데이터로 힘-변형 곡선 전체를 사용하였다. PLSR의 회귀계수는 힘-변형 곡선의 압착단계, 항복단계, 압출단계로 크게 구분되어 각 관능속성에 대한 특유의 양 또는 음의 효과를 나타냈다. PLSR의 상관계수는 $E > D > A > B > C$, 오차(root mean square error of prediction expressed in sensory units)는 $D > C > E > B > A$, 예측능(relative ability of prediction)는 $D > C > E > B > A$ 로 나타나 종합적으로 '이에 박히는 정도'가 PLSR의 적용에 가장 우수하게 나타났다. '경도'는 예측능은 낮았지만 상관성은 높아서 시료간 순위의 결정에 합당하게 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 율촌재단의 재원을 지원받아 수행된 내용으로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

Epstein J, Morris CF, Huber KC. 2002. Instrumental texture of white salted noodles prepared from recombinant inbred lines of

- wheat differing in the three granule bound starch synthase (waxy) genes. *J. Cereal Sci.* 35: 51-63.
- Esbensen KH. 2001. *Multivariate Data Analysis in Practice*, 5th ed. CAMO Technologies, Corvallis, USA. pp. 115-219.
- Hung S, Morrison WR. 1988. Aspects of proteins in Chinese and British common (hexaploid) wheats related to quality of white and yellow Chinese noodles. *J. Cereal Sci.* 8: 177-187.
- Jeong JH. 1998. The effects of eggs on the quality properties of ramyon. *Korean J. Food Nutr.* 11: 420-425.
- Kim KO, Kim SS, Sung NK, Lee YC. 1993. *Sensory Evaluation Methods and Applications*. Shin Kwang Publishing Co., Seoul, Korea. pp. 127-193.
- Lee CH, Gore PJ, Lee HD, Yoo BS, Hong SH. 1987. Utilization of Australian wheat for Korean style dried noodle making. *J. Cereal Sci.* 6: 283-297.
- Meullent JFC, Sitakalin C, Marks BP. 1999. Prediction of rice texture by spectral stress strain analysis: A novel technique for treating instrumental extrusion data used for predicting sensory texture profiles. *J. Texture Stud.* 30: 435-450.
- Oh NH, Seib PA, Deyoe CW, Ward AB. 1983. Noodles I. Measuring the textural characteristics of cooked noodles. *Cereal Chem.* 60: 433-438.
- Oh NH, Seib PA, Deyoe CW, Ward AB. 1985. Noodles II. The surface firmness of cooked noodles from soft and hard wheat flours. *Cereal Chem.* 62: 431-436.
- Seib PA, Liang X, Guan F, Liang YT, Yang HC. 2000. Comparison of Asian noodles from some hard white and hard red wheat flours. *Cereal Chem.* 77: 816-822.
- Sitakalin C, Meullenet JF. 2000. Prediction of cooked rice texture using extrusion and compression tests in conjunction with spectral stress strain analysis. *Cereal Chem.* 77: 501-506.
- Song JM, Shin SN, Park HR, Yoo BS. 2001. Effect of potato starch content on physical properties of ramyon. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 30: 450-454.
- Szczesniak AS. 1968. Correlation between objective and sensory texture measurements. *Food Technol.* 22: 981-985.
- Zhao LF, Seib PA. 2005. Alkaline-carbonate noodles from hard winter wheat flours varying in protein, swelling power and polyphenol oxidase. *Cereal Chem.* 82: 504-516.