

현미 조질에 관한 연구 (I)

— 조질 후 현미의 물성 변화와 예측모델 —

Study on the Conditioning of Brown Rice (I)

— Property variation and predicted model of brown rice after conditioning —

한충수	연광석	강태환	전홍영	고학균	서정덕	송대빈
정회원	정회원	정회원		정회원	정회원	정회원
C. S. Han	K. S. Yon	T. H. Kang	H. Y. Jeon	H. K. Koh	J. D. So	D. B. Song

SUMMARY

This research conducted to investigate the variation of the moisture content, crack ratio, and hardness of the whole and cracked brown rice after conditioning at the initial moisture content of 13, 14, and 15% with time lapse. The conditioning was conducted by increasing the moisture content of the sample to 0.4 and 0.8%. For basic information and conditioning characteristics for the development of a conditioning machine for the brown rice, predicted models of above three properties were developed using a nonlinear regression analysis of SAS with Gauss-Newton, Gradient, and DUD methods.

Results of this research could be summarized as follows.

1. No moisture variation occurred after 0.5 hour conditioning.
2. The increasement of the crack ratio was 7.6 and 17.5% with the sample increased the moisture content of 0.4 and 0.8%, respectively, after 8 hours conditioning.
3. The hardness of the conditioned whole grain of the brown rice decreased 0.82 and 1.00kg_r with the sample increased moisture content 0.4 and 0.8%, respectively, after 8 hours conditioning with respect to the non-conditioned sample.
4. The hardness of the conditioned cracked grain of the brown rice decreased 0.54 and 0.81kg_r with the sample increased moisture content 0.4 and 0.8%, respectively, after 8 hours conditioning with respect to the non-conditioned sample. The hardness of the broken grain was about 0.81~1.88kg_r lower than whole grain.
5. The moisture content variation, increasing rate of the crack ratio, and hardness of the cracked and whole grain was predicted as a negative exponential function.
6. Each predicted model with the nonlinear regression analysis, which was very accurate and had a very small amount of sum of square of error between experimental value and predicted value, which could be used for predicting the physical variation after conditioning.

Keywords : Conditioning of brown rice, Crack ratio, Hardness, Nonlinear regression analysis.

This study was conducted by the research fund supported by Rural Development Administration. This article was submitted for publication in October 2000, reviewed in December 2000, and approved for publication by the editorial board of KSAM in February 2001. The authors: C. S. Han, K. S. Yon, T. H. Kang, and H. Y. Jeon in the Department of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University; H. K. Koh, in the Major of Agricultural Machinery, School of Bio-resources and Materials Engineering, Seoul National University; J. D. So, in the Institute of Agricultural Science, Chungnam National University; D. B. Song in the Department of Agricultural Machinery Engineering, Gyeongsang National University.

The corresponding author is C. S. Han, Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chungbuk National University, San 48 Gaesin-dong, Cheongju, 361-763, Korea. E-mail: <hansu@cbucc.chungbuk.ac.kr>.

1. 서 론

국내 쌀 생산량은 품종 개량 및 생산성 향상 등으로 자급력이 향상된 반면, 생활 수준 향상과 식품 산업의 발달로 인해 쌀 소비량은 감소하고, 고품질의 쌀이 요구되고 있다. 현재, 쌀을 수확할 때까지 고품질로 생산할 수 있는 기술과 제반 요건은 구비되어 있으나, 건조할 때 고온 건조, 과건조에 의해 쌀의 품질이 저하되고, 저장 중에는 저장고의 시설 미비 및 부적합한 저장 방법에 의해 함수율이 자연 감소되어 과건조 되는 현상 등이 나타나 품질이 저하된다. 또한 저장 기간이 길수록 함수율은 더욱 감소되어 쌀의 조직이 매우 단단해지며, 이와 같은 원료를 정백하면 미강층을 제거하는데 정백시간이 길어지고, 과부하로 인하여 도정 효율이 저하될 뿐 아니라 소비전력량이 증가한다. 또한 겨울철에는 곡온의 저하로 조직이 더욱 단단해져서 이와 같은 현상이 심화된다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 조질(調質)공정이 필요하다(K. Itoh 등, 1985; Han and Park, 1996).

조질이란 곡물의 함수율과 곡온을 조절하여 원료의 물리적 특성을 균일하게 하는 기술로서 현미로 저장하는 일본을 중심으로 실용화되어 있다.

현미가 조질 공정을 거치게 되면 조직의 연화로 제강이 용이해져서 도정 효율이 향상되고, 소비전력량이 감소한다. 또한 정백할 때 분풍과 마찰열에 의한 수분 감소를 보충하여 수율감소를 방지할 수 있다(박 등, 1994).

Murata 등(1996)은 곡물의 흡수에 관한 연구에서 흡수를 건조의 역과정으로 가정하고 각각의 온도(0~40℃)에 있어서 흡수특성을 구명하였다. Kim 등(1998)은 단립종 벼의 수분흡습특성에 관한 연구에서 벼 조질기 개발의 기초자료로서 단립종 벼의 수분흡습특성을 구명하였다. 또한 동할발생을 고찰하기 위하여 온도 3수준과 상대습도 3수준의 공기조건에서 초기함수율 12% 정도의 단립종 추청벼를 원료로 흡습실험을 수행하였다. Keum 등(1999)은 원형철제빈용 자동흡습장치의 개발에서 벼의 흡습특성을 구명하고 원형철제빈의 교반장치에 미립자의 수분을 분사하는 장치를 설치하여 벼를 교반하면서 적절한 함수율로 벼를 흡습시키는 장치를 개발하였다.

한편 국내외에서는 현미를 조절하여 경과시간에

따른 물성변화 예측모델을 연구한 사례가 없는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 현미를 조절한 후 경과 시간에 따른 현미의 함수율 변화, 동할미 발생률 및 강도변화 등을 측정하여 조질특성을 구명하고, 이것에 대한 예측모델을 개발하여 조질기 개발에 필요한 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

공시 재료는 충청북도 증평에서 수확한 1998년 산 추청 현미로서 초기함수율은 16%w.b. (이후 %로만 표시함)이었다. 시료의 함수율은 실험 시작 전에 저온저장고(5℃)에 보관중인 것을 꺼내어 상온에서 각각 13, 14, 15%로 음건 조절하였다.

나. 실험 장치

그림 1은 현미 진동조질장치의 개략도를 나타낸 것이다. 이 장치의 주요 요소는 노즐(0.85gal/hr, Hago, U.S.A.), 현미투입호퍼, 진동박스(705×600×650), 진동모터(0.4HP, 60Hz, 0.002m), 압력물탱크(φ355×h 500), 질소탱크, 솔레노이드 밸브(MN1H-2-3/8MS, FESTO, Korea) 등으로 구성되어 있다. 가수량 조절은 물탱크에 연결된 질소탱크의 압력을 조절하여 실시하였다. 0.4% 함수율 조절의 경우 압력은 $2 \pm 0.2 \text{kgf/cm}^2$, 0.8% 함수율 조절의 경우에는 $7 \pm 0.2 \text{kgf/cm}^2$ 로 압력을 조절하여 가수하였다.

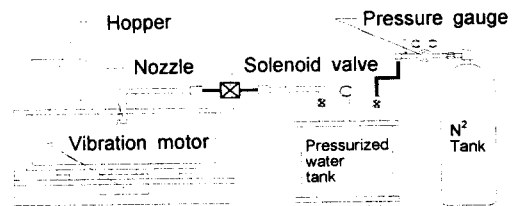


Fig. 1 Schematic diagram of experimental vibrating conditioning system.

다. 실험 방법 및 측정 항목

(1) 실험 방법

현미를 1회 조질할 때 시료량은 4kg으로 하였고, 가수량은 시료의 함수율이 13, 14, 15%인 경우 함수율을 0.4, 0.8% 증가시킬 때 수분량 차이로 가수량을 결정하여 각각 22.2, 22.4, 22.7cc/min과 44.5, 45.1, 45.6cc/min을 가수하였다. 가수시 물의 온도는 10℃ 정도이었고, 가수 시간은 50초로 시료가 조질진동장치로 투입되는 시간과 같게 하였다. 가수방법은 현미투입호퍼의 상부 7cm에 위치해 있는 노즐을 이용하여 현미가 투입호퍼를 통해 진동박스 내부로 투입될 때 가수되도록 하였다. 가수 후 혼합은 진동장치에 의해 6분 동안 실시하였다.

가수 입자크기(Volume Median Diameter)는 0.4, 0.8% 함수율 조질의 경우 각각 2.65~4.88 μ m, 1.95~3.09 μ m 범위이었고, 평균 3.76, 2.52 μ m 정도로 나타났다.

초기함수율이 16%인 시료를 13, 14, 15%로 음전 조제한 후 곡립 낱알간의 함수율 표준편차는 단립수분계(CTR-800E, SHIZUOKA SEIKI, Japan)로 현미 100립을 10회 측정된 결과 0.5% 정도이었고, 0.4, 0.8% 함수율 조질 후 경과시간에 따른 함수율 표준편차도 0.4~0.5% 정도로 함수율 조질 전과 같은 범위이기 때문에 균일한 가수가 이루어진 것으로 판단된다.

현미 함수율 조질 조건은 Han 등(2000)의 실험 결과에 의해 1.0% 이상 함수율을 증가시킬 경우 동할미율이 높게 증가하므로 0.4, 0.8%로 하였다.

현미의 물성 변화는 조질하지 않은 시료(이후 비조질시료로 칭함)와 각각의 초기함수율보다 0.4% 및 0.8% 함수율을 상승시킨 조질시료를 상온 20℃ 정도에서 삼각 플라스크(3.0ℓ)에 보관하면서 8시간 동안 경과 시간별로 함수율·동할미율·완전립 강도·동할립 강도의 변화를 측정하였다.

(2) 예측모델 개발

조질 후 현미의 물성변화 예측모델은 SAS의 비선형회귀분석법 중 Gauss-Newton, Gradient, DUD 방법을 이용하여 개발하였고, 이 모델을 이용하여 상승 함수율과 경과 시간에 따른 현미의 함수율·

동할미율·완전립 강도·동할립 강도를 예측하여 측정값과 비교하였다. 분석에 사용된 측정값은 초기함수율 구분 없이 각각의 측정항목별 초기값과 경과시간에 따른 변화값의 차를 평균하여 사용하였다.

함수율 예측모델 개발은 숙성 후 경과시간에 따라 평형함수율이 이루어지는 시기에 정백시기를 결정하는데 필요하므로 모델을 개발하였다.

비선형회귀분석은 예측값과 실측값의 오차제곱의 합이 최소가 될 때 모델의 변수 초기값을 결정한 다음, 반복법을 이용하여 가장 근사한 모델의 변수를 결정하였다(SAS Institute, 1988).

예측모델의 정밀도는 각각의 변수에 대한 점근선의 표준오차(Asymptotic Std. error)와 신뢰구간 95%(Asymptotic 95% confidence interval)에서 상·하위 값(Value of Upper and lower)을 분석하고, 예측값과 실측값의 오차제곱 합(Residual sum of square)을 이용하여 그 값이 작을수록 정밀도가 높은 것으로 결정하였다.

(3) 측정 항목

(가) 함수율

함수율은 실험용 건조기(WFO600ND, EYELA, Japan)를 이용하여 시료 10±0.5g을 135℃에서 24시간 건조한 후 중량비로 습량기준 함수율(M₁₃₅, %)을 계산하고, 이 값을 표준 함수율(M₁₀₅, %) 보정식인 식 (1)과 (2)를 이용하여 환산하였다(山下律也, 1975).

$$\text{현미} : M_{105} = 100 - 1.0122(100 - M_{135}) \dots\dots (1)$$

$$\text{백미} : M_{105} = 100 - 1.0133(100 - M_{135}) \dots\dots (2)$$

(나) 동할미율

현미와 백미의 동할미율은 1회에 시료 각각 50립을 동할미투시기(RC-50, Kett, Japan)로 측정하였고, 5회 측정하여 평균값으로 나타내었다.

(다) 강도

강도는 경도계(KHT-20N, FUJIWARA, Japan)를 이용하여 시료 중 완전립과 동할립(경·중동할)을 각각 50립씩 측정된 후 평균값으로 나타내었다.

(라) 가수입자 크기분석

가수입자 크기분석은 말번 입자 분석기(Master-

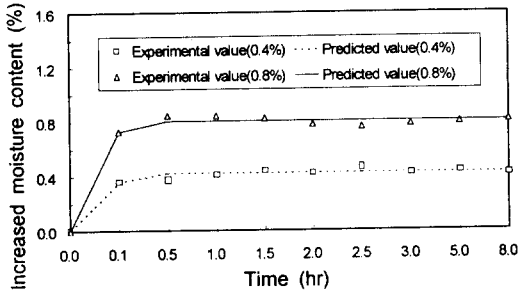


Fig. 2 Comparison of increased moisture content with time lapse between experimental and predicted value after conditioning of brown rice.

size S, Malvern Instrument, U.K.)를 사용하여 진동 장치 내부로 투입되는 현미와 노즐에서 수직으로 분무되는 물입자가 만나는 7cm 지점에서 3회 반복 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 함수율 변화 및 예측모델

그림 2는 현미 함수율 조절 후 경과 시간에 따라 상승된 함수율의 실측값과 예측값을 나타낸 것이다.

그림 2에서와 같이 초기함수율이 13, 14, 15%인 현미에 각각 0.4, 0.8%의 함수율이 상승되도록 조절하였을 때 0.5시간 경과 후 초기함수율에 관계없이 함수율은 각각 0.42, 0.80% 증가된 것으로 나타났고, 그 후 함수율은 큰 변화 없이 평형을 이루었다. 그러나 다음 항목에 서술하는 바와 같이 수분이 내부까지 침투하여 조적이 연화되는 시간은 8시간 정도 소요되는 것으로 나타났다.

현미 함수율 조절 후 경과 시간에 따른 현미의 함수율 예측모델은 음의 지수함수 형태로 식 (3)과 같이 나타났고, 개발된 예측모델을 이용한 예측값과 실측값은 일치함을 나타냈다.

$$M_c = A - B \exp(-Ct) \dots\dots\dots (3)$$

여기서, A, B, C : 상수, t : 경과 시간(hr)

표 1에 Gauss-Newton법으로 분석한 조절 후 함수율 예측모델의 매개변수 값과 비선형회귀분석결과를 나타냈다.

0.4% 및 0.8%의 함수율을 상승시킨 시료의 함수율 변화에 대한 예측값과 실측값의 오차 제곱합은 각각 0.00407 및 0.00677로 작아서 정밀도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 조절 후 경과 시간에 따른 현미의 함수율 변화는 개발된 예측모델을 통해 예측이 가능할 것으로 판단된다.

Table 1 Estimated values of the nonlinear regression model for moisture content of the brown rice after conditioning

Increased moisture content	Parameter	Parameter value	Asymptotic Std. error	Asymptotic 95% confidence interval		SS*
				Lower	Upper	
0.4%	A	0.42064	0.00853	0.40047	0.44080	0.00407
	B	0.42063	0.02461	0.36243	0.47883	
	C	19.5626	4.27672	9.44971	29.67552	
0.8%	A	0.80437	0.01100	0.77836	0.83039	0.00677
	B	0.80438	0.03119	0.73063	0.87811	
	C	23.64517	4.33833	13.38657	33.90377	

SS* : Residual sum of square (Residual : Experimental value minus Predicted value).
 Asymptotic Std. error : An asymptotically valid standard error of the estimate.
 Asymptotic 95% confidence interval : Asymptotic 95% confidence interval for the estimate of the parameter.

Table 2 Estimated values of the nonlinear regression model for crack ratio of the brown rice after conditioning

Increased moisture content	Parameter	Parameter value	Asymptotic Std. error	Asymptotic 95% confidence interval		SS*
				Lower	Upper	
0.4%	A	8.00000	0.32950	7.15299	8.84700	0.27830
	B	-1.99999	1.08213	-4.78166	0.78166	
	C	0.70000	0.84292	-1.46676	2.86677	
	D	5.00000	9.38542	-19.12565	29.12565	
	E	18.00000	9.47187	-6.34788	42.34788	
0.8%	A	18.00000	0.40486	16.95929	19.04071	0.51669
	B	-3.00000	0.43783	-4.12546	-1.87454	
	C	0.50000	0.51141	-0.81460	1.81460	
	D	12.00000	10.24144	-14.32607	38.32608	
	E	21.00000	10.15591	-5.10622	47.10622	

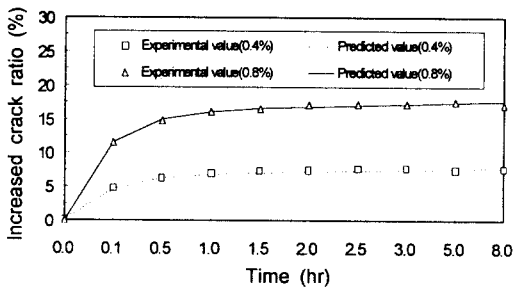


Fig. 3 Comparison of crack ratio with time lapse between experimental and predicted value after conditioning the brown rice.

나. 동할미율 변화 및 예측모델

그림 3에 현미 함수율 조질 후 경과 시간에 따른 동할미 증가율의 실측값과 예측값을 비교하여 나타내었다.

그림 3에서 보는 바와 같이 함수율 조질 후 동할미 증가율은 0.5시간 경과 후부터 급격한 증가세가 둔화되면서 평형을 이루었다. 8시간 경과 후 동할미 증가율은 비조질 시료의 동할미율 6.8%를 기준으로 0.4, 0.8%의 함수율을 상승시킨 조질시료가 각각 7.6, 17.5% 정도 증가한 것으로 나타나,

조질할 때 과다한 함수율 증가는 품질을 저하시킬 수 있는 것으로 사료된다. 이와 같이 조질 후 동할미율이 증가하는 이유는 수분 흡습으로 인해 조직이 팽창되어 내부 응력이 증가하기(Han and Park, 1996; Kim 등, 1998) 때문으로 판단된다.

현미 함수율 조질 후 경과 시간에 따른 동할미율 예측모델은 음의 지수함수 형태로 식(4)와 같이 나타났고, 이 모델을 이용한 예측값과 실측값이 거의 일치하는 것으로 나타났다.

$$C_R = A + \frac{B}{(t+C)} - D \exp(-Et) \dots \dots \dots (4)$$

여기서, A, B, C, D, E : 상수,
t : 경과 시간(hr)

표 2는 Gradient법을 이용하여 분석한 조질 후 동할미 증가율 예측모델의 매개변수 값과 비선형 회귀분석결과를 나타낸 것이다.

0.4% 및 0.8%의 함수율을 상승시킨 조질시료의 동할미 증가율에 대한 실측값과 예측값의 오차 제곱 합은 각각 0.27830, 0.51669로 작게 나타나 조질 후 경과 시간에 따른 동할미율 변화는 개발된 예측모델로 예측이 가능할 것으로 판단된다.

다. 완전립의 강도 변화 및 예측모델

그림 4는 현미 함수율 조질 후 경과 시간에 따

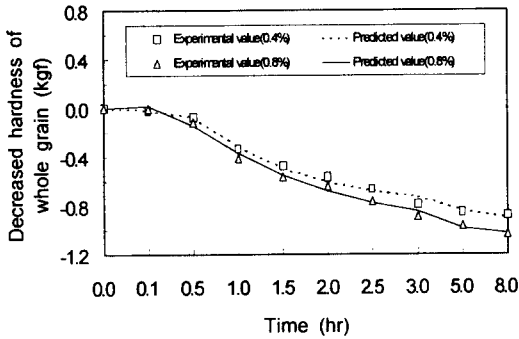


Fig. 4 Comparison of decreased hardness of whole grain with time lapse between experimental and predicted value after conditioning the brown rice.

큰 실측된 완전립 강도의 감소값과 개발모델을 이용한 예측 감소값을 비교한 것이다.

초기함수율이 13, 14, 15%인 비조질 완전립 시료의 강도는 각각 9.55, 8.70, 7.84kgf이었고, 0.4% 및 0.8% 함수율을 상승시켜 0.5시간이 경과된 후 완전립 강도의 감소는 초기함수율에 따른 강도에

관계없이 각각 0.07, 0.12kgf 정도 감소하였다. 8시간 경과 후 강도 감소는 각각 0.82, 1.00kgf 정도 감소하여 정백시 정백효율 향상 및 소비전력량 감소가 기대된다. 이와 같이 조질 후 강도가 감소하는 것은 조질 후 시간이 경과함에 따라 수분이 현미 내부로 흡수되면서 조직이 연화되기 때문으로 판단된다.

현미 함수율 조질 후 경과 시간에 따른 완전립 강도 감소 예측모델은 음의 지수함수 형태로 식 (5)와 같고, 예측모델을 이용한 예측값은 실측값에 근접하는 것으로 나타났다.

$$H_{w,G} = A - \frac{B}{(t+C)} + D \exp(-Et) \dots \dots \dots (5)$$

여기서, A, B, C, D, E : 상수,

t : 경과 시간(hr)

표 3은 DUD법으로 분석한 조질 후 완전립 강도 감소 예측모델의 매개변수 값과 비선형회귀분석결과를 나타낸 것이다.

0.4%와 0.8%의 함수율을 상승시킨 완전립 강도 감소에 대한 실측값과 예측값의 오차 제곱의 합은 각각 0.00796, 0.00719로 정밀도가 높은 것으로 나타나 예측모델이 적합한 것으로 판단된다.

Table 3 Estimated values of the nonlinear regression model for hardness of whole grain of the brown rice after conditioning

Increased moisture content	Parameter	Parameter value	Asymptotic Std. error	Asymptotic 95% confidence interval		SS*
				Lower	Upper	
0.4%	A	-1.02322	0.04401	-1.13634	-0.91010	0.00796
	B	-0.97128	0.16110	-1.38541	-0.55716	
	C	0.32413	0.11707	0.02320	0.62507	
	D	-1.97372	0.69501	-3.76026	-0.18718	
	E	4.26857	0.75965	2.30587	6.22128	
0.8%	A	-1.02164	0.06889	-1.19871	-0.84455	0.00719
	B	0.09648	0.39620	-0.92198	1.11494	
	C	0.26833	0.54855	-1.14173	1.67840	
	D	1.37550	0.48270	0.13470	2.61631	
	E	0.64271	0.07499	0.44994	0.83549	

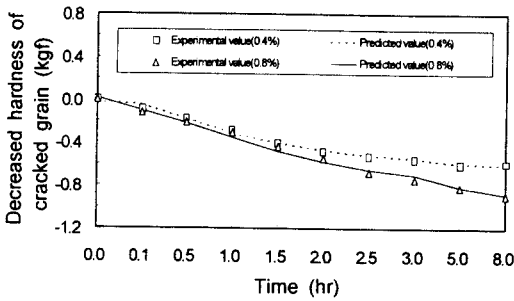


Fig. 5 Comparison of decreased hardness of cracked grain with time lapse between experimental and predicted value after conditioning the brown rice.

라. 동할립의 강도 변화 및 예측모델

그림 5는 경과 시간별 실측된 동할립 강도의 감소값과 예측값을 비교한 것이다.

초기함수율 13%, 14% 및 15%의 비조질 동할립 시료의 강도는 각각 7.67, 7.89, 6.71kgf 이었고, 완전립 강도보다 약 0.81~1.88kgf 약하게 나타났다.

동할립 강도는 시간이 경과함에 따라 서서히 감소하여 조질 8시간 경과 후 0.4% 및 0.8%의 함수

율이 상승된 동할립 강도는 초기함수율에 관계없이 각각 0.54, 0.81kgf 정도 감소하는 것으로 나타났다. 완전립보다 동할립의 강도 감소가 작은 이유는 조질 후 동할립의 조직 연화에 따른 강도 저하보다 조질 전 강도가 이미 최저에 가까울 정도로 작았기 때문이다.

현미 함수율 조질 후 경과 시간에 따른 동할립 강도 감소 예측모델은 음의 지수함수 형태로 식(6)과 같이 나타났고, 이 예측모델을 이용한 예측값과 실측값이 매우 근사한 것으로 나타났다.

$$H_{C.G} = A - \frac{B}{(t+C)} + D \exp(-Et) \dots\dots\dots (6)$$

여기서, A, B, C, D, E : 상수,
t : 경과 시간(hr)

표 4는 DUD법으로 분석한 예측모델 식(6)의 매개변수 값과 비선형회귀분석결과를 나타낸 것이다.

0.4%, 0.8%의 함수율을 상승시킨 동할립 강도 감소에 대한 실측값과 예측값과의 오차 제곱의 합은 각각 0.00293, 0.00957로 작은 값을 나타내 예측모델의 정밀도가 높은 것으로 판단된다.

Table 4 Estimated values of the nonlinear regression model for hardness of cracked grain of the brown rice after conditioning

Increased moisture content	Parameter	Parameter value	Asymptotic Std. error	Asymptotic 95% confidence interval		SS*
				Lower	Upper	
0.4%	A	-0.59825	0.05804	-0.74743	-0.44906	0.00293
	B	0.06012	0.31847	-0.75852	0.87876	
	C	0.42413	1.49210	-3.41139	4.25965	
	D	0.71367	1.17035	-2.29478	3.72211	
	E	0.77837	0.10767	0.50160	1.05514	
0.8%	A	-0.99737	0.05378	-1.13562	-0.85913	0.00957
	B	-0.99985	1.97747	-6.08303	4.08333	
	C	0.39909	0.15088	0.01125	0.78694	
	D	-1.49993	2.90247	-8.96087	5.96101	
	E	3.00129	0.74363	1.08975	4.91282	

4. 요약 및 결론

조질은 곡물의 함수율과 곡온을 높여 물리적 특성을 균일하게 하는 기술로써 정백시 원료조직의 연화로 제강이 용이해져 도정 효율이 향상되고, 소비전력량이 감소되며 마찰열에 의한 수분 감소를 보충하여 수율감소를 방지할 수 있다.

본 연구에서는 초기함수율 13, 14, 15%인 현미에 각각 0.4, 0.8% 함수율이 상승되도록 조질한 후 경과 시간에 따라 함수율·동할미율·완전립 및 동할립 강도 변화 등을 측정하여 조질특성을 구명하고, 예측모델을 개발하여 조질기 개발에 필요한 기초 자료를 제시하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 조질 후 함수율 변화는 0.5시간 경과 후부터 평형을 이루었다.
- 2) 동할미 증가율은 0.4, 0.8%의 함수율을 상승시킨 시료가 8시간이 경과한 후 각각 7.6% 및 17.5% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 조질시 과다하게 함수율을 상승시키면 동할미 증가로 품질이 저하될 수 있다.
- 3) 완전립 현미의 강도는 시료의 함수율을 0.4, 0.8% 상승시키고 8시간 경과된 후 비조질 시료보다 각각 0.88, 1.04kgf 정도 감소하였다.
- 4) 동할립 현미의 강도는 완전립 강도보다 약 0.81~1.88kgf 낮게 나타났고, 시료의 함수율을 0.4, 0.8% 상승시키고 8시간 경과 후 비조질 시료보다 각각 0.59, 0.89kgf 정도 감소하는 것으로 나타났다.
- 5) 조질 후 경과시간에 따른 함수율 변화·동할미 증가율·완전립 및 동할립 강도의 예측모델은 음의 지수함수 형태로 나타났다.
- 6) 비선형회귀분석을 이용한 조질 후 현미물성 예측모델은 실측값과 예측값의 오차제곱의 합이 작아서 정밀도가 높고, 조질 후 물리적 변화예측이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 山下律也. 1975. 穀物の含水率測定方法基準についての提案. 日本農業機械學會誌. 37(3):445-451.
2. 박호석, 금동혁, 한충수, 김용현, 김동철, 임재열. 1994. 미곡종합처리장 이론과 실무. 농협대학. pp. 1-457.
3. Han, C. S. and H. S. Park. 1996. Effects of the Brown Rice Moisture on the Milled Rice Recovery. Cooperative Review. Vol 18.(In Korean)
4. Han, C. S., H. K. Koh, D. B. Song, J. D. So and H. Y. Jeon. 2000. Development of Predicted Model and Properties Variation of Brown Rice after Conditioning. Jour. Agr. Sci., Chungbuk Nat'l Univ. 17:75-80.
5. Itoh, K., S. Kawamura and Y. Ikeuchi. 1985. Studies on Brown Rice Conditioning(Part 1). J. of the Japanese Society of Agricultural Machinery 47(2):169-175.(In Japanese)
6. Kim, J. S., H. K. Koh and D. B. Song. 1998. Adsorption Characteristics of Short Grain Rough Rice. J. of the Korean Society for Agricultural Machinery. 23(5):465-472.(In Korean)
7. Keum, D. H., H. Kim and Y. K. Cho. 1999. Automatic Re-Moisturizing Device for Cereal Grains Stored in Steel Bin with Stirring Device. Proceeding of the KSAM 1999 Winter Conference. 4(1):462-469.
8. SAS Institute. 1988. SAS/STAT User's Guide. SAS Institute Inc.
9. Murata, S., F. Tanaka, J. Tokunaga, S. Koide and K. S. P. Amaratunga. 1996. Study on Sorption of Grain Kernels While Soaking in Water. J. of the Japanese Society of Agricultural Machinery. 58(2):19-24(In Japanese)