

근적외 분광분석법에 의한 밥의 노화도 측정

조승용 · 최성길 · 이 철
고려대학교 식품공학과

Determination of Degree of Retrogradation of Cooked Rice by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy

Seung-Yong Cho, Sung-Gil Choi and Chul Rhee

Department of Food Technology, Korea University, Seoul

Abstract

Near infrared reflectance(NIR) spectroscopy was used to determine the degree of retrogradation of cooked rice. Cooked rice samples were stored at 4°C for 120 hours, and the degree of retrogradation was measured at every 6 hour during the storage time. Stored cooked rices were freeze-dried, milled and passed through a 100 mesh sieve. Enzymatic method using glucoamylase was used as reference method for the determination of the degree of retrogradation. Spectral differences due to retrogradation of cooked rice were observed at 1434, 1700, 1928, 2100, 2284 and 2320 nm. 32 samples of which moisture content were below 5% were used for calibration set, and 16 samples were used for validation set. High correlations were achieved between degree of retrogradation determined by conventional enzymatic method and by NIR with multiple correlation coefficient of 0.9753, and a standard error of calibration(SEC) of 3.64%. Comparable results were obtained with 3.91% of standard error of prediction(SEP), when the calibration equation was applied to independent group of samples of which moisture contents were in the range of calibration set. But when the calibration equation was applied to samples of which moisture contents were outer range of calibration set, SEP and bias were increased and correlation coefficient was decreased. The determination of degree of retrogradation was affected by sample moisture content. To determine degree of retrogradation of cooked rice by NIR using this calibration equation, it was suggested that sample moisture content should be controlled to below 5%.

Key words: near infrared spectroscopy, cooked rice, starch, retrogradation

서 론

호화된 전분이 상호간의 수소결합에 의해 결정화되어 일어나는 노화의 측정은 노화전분의 호화도를 호화전분과 비교함으로써 측정할 수 있다. 효소적 평가방법(enzymatic digestibility)¹⁻⁴⁾, 요오드 비색법⁵⁾, 점도 및 경도 변화측정⁶⁾, x-선 회절도⁷⁾ 등이 일반적으로 노화도의 측정에 이용되고 있으며, 최근에 개발되어 사용되는 방법으로는 핵자기 공명 분광법(NMR), 시차주사 열량측정법(DSC)⁸⁾ 등이 알려져 있다. 이들 방법 중 glucoamylase와 같은 전분 가수분해효소를 이용한 효소적 방법에 의한 노화도 측정법이 가장 널리 이용되고 있다. 이 방법은 전분 가수분해효소에 의해 호화전분이 가수분해되어 생성된 포도당의 함량을 측정하는 것으로, 이때 호화전분은 완전히 가수분해되지만 노화전분의 경우에는 재결정화에 의해 효소작용을 받기 어려운 부분적으로

가수분해된다. 따라서 노화전분은 호화전분에 비해 호화도가 감소하며 이를 측정함으로써 노화도를 구할 수 있다¹⁻⁴⁾. 그러나, 효소에 의한 노화도 측정법은 분석시간이 오래 걸리고 숙련된 노동력이 많이 드는 단점이 있어 이의 개선이 요구되고 있다.

근적외 분석법(NIR)은 신속하고도 경제적이며 비파괴적 분석방법으로 곡류의 경우 수분, 단백질, 지방 등의 일반성분분석에 대한 연구가 활발히 수행되어져 왔으며, 특히 전분과 관련하여서는 전분함량⁹⁻¹¹⁾, 손상된 전분량¹²⁾ 등의 측정에 대한 보고는 있지만 전분질 식품의 중요한 성질인 노화도에 대한 연구는 아직 이루어진 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 밥의 노화도 측정에 근적외 분석법을 이용하였으며, 이를 효소적 평가방법과 비교하여 이의 적용성을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서는 해남지방에서 1993년에 수확한 쌀을

송지농협으로부터 구입하여 재료로 사용하였다. 쌀 300 g과 물 495 ml을 가정용 전기밥솥에 넣어 상온에서 15 분간 침지시켰다. 침지과정이 끝난 쌀을 전기밥솥에서 15분간 가열하여 취반하였고, 취반후 5분간 뜸들이는 과정을 거쳐 취반을 마쳤다. 취반 후 더운상태의 밥을 4°C에 저장하면서 6시간 간격으로 채취하여, 이를 냉동 건조하고 분쇄한 다음 100메쉬 표준체를 통과시킨 것을 시료로 하였다.

수분함량 및 노화도의 측정

수분함량은 105°C 건조법을 사용하여 측정하였고⁽¹³⁾, 노화도는 취반 직후의 호화도를 glucoamylase용액을 이용한 효소적 방법에 의해 측정하여 이를 기준으로 4°C에서 저장함에 따른 노화에 의한 호화도의 감소를 시료의 노화도로 표시하였다^(4,5). 또한 시료의 호화도는 두 개의 50 ml 원심분리관에 각각 20 ml의 시료를 넣고 한 관에는 증류수 5 ml을 첨가하여 분산시키고 다른 한 관에는 증류수 3 ml에 1 N NaOH 1 ml을 넣어 5분간 반응시키고 1 N HCl 1 ml을 첨가시켜 분산시킨 후, 각각 25 ml의 glucoamylase용액(2.6 unit)을 넣고 40°C에서 30분 동안 반응시킨 다음 25% TCA 2 ml을 넣고 16,000×g에서 5분간 원심분리를 하였다. 상등액 1 ml에 o-toluidine reagent 4.5 ml을 가하고 끓는 물에서 10분간 반응시킨 후 냉각하여 여기에 빙초산 5 ml을 부가한 후, 630 nm에서 흡광도를 측정하여 다음 식과 같이 호화도를 산출하였다.

$$\text{호화도(\%)} = \frac{\text{시료의 흡광도} - \text{생전분의 흡광도}}{\text{알칼리 처리한 시료의 흡광도} - \text{생전분의 흡광도}} \times 100$$

근적외 분광분석

근적외선 분광기는 NIRS 4500(NIRSytsem, Inc. U.S.A)을 이용하였다. 이 기기에서는 monochromator에 의해 1300~2400 nm 파장영역의 단색광이 만들어져서 시료에 투사되고 이로부터 반사된 빛은 황화납(PbS)으로 만들어진 센서에 의해 감지되어 그 신호를 컴퓨터에 보낸다. 이때 매 시료마다 32번 scan한 것의 평균값이 2 nm의 간격으로 기록되며, 컴퓨터는 그 신호를 해독하여 각 파장에 대한 반사도의 역수의 대수값(log 1/R)을 연속 스펙트럼으로 얻는다.

검량식의 작성

노화도의 검량식을 구하기 위해 수분함량 5% 이하의 시료 32개(calibration set)가 사용되었으며 작성된 검량식을 16개의 시료(validation set)에 적용하여 이를 확인하였다.

검량식은 효소적 측정법에 의해 측정된 시료의 노화도를 독립변수로 하고 특정한 파장에서 吸收된 흡광도를 종속변수로 하여 다중직선 회귀계수를 산출하였다.

$$Y_i = K_0 + K_1A_1 + K_2A_2 + \dots + K_nA_n \quad (1)$$

이때, K_0 는 검량식의 절편, K_1 및 K_2 는 검량식의 계수이며, Y_i 는 NIR에 의해 계산된 노화도, A 는 특정파장에서의 흡광도를 나타낸다. 이때, 효소적 평가방법에 의해 측정된 시료의 노화도와 NIR에 의해 예측된 노화도와의 상관관계가 가장 높은 검량식을 구하기 위해서 흡광도를 log 1/R의 형태 뿐만 아니라 1차미분(d log 1/R)과 2차미분($d^2 \log 1/R$)의 수학적 처리를 하였으며, 이를 단독으로 혹은 normalizing 후에 검량식에 대입하였다. Normalizing은 두개의 파장을 선택하여 한 파장의 흡광도를 다른 파장의 흡광도로 나누는 형태로, 그 방법은 식 (2)와 같이 두번째 선택된 파장의 흡광도를 첫번째 선택된 파장의 흡광도로 나누는 방법과 식 (3)와 같이 첫번째 선택된 파장의 흡광도를 두번째 선택된 파장의 흡광도로 나누는 방법이 있다. 이때, 첫번째 선택된 파장은 시료의 노화도를 예측하는데 이용되며 두번째 선택된 파장은 기준파장(reference wavelength)의 역할을 한다^(15,16).

$$Y_i = K_0 + K_1 \frac{\log(1/R\lambda_2)}{\log(1/R\lambda_1)} + K_2 \frac{\log(1/R\lambda_4)}{\log(1/R\lambda_3)} + \dots + K_{i/2} \frac{\log(1/R\lambda_i)}{\log(1/R\lambda_{i-1})} \quad (2)$$

$$Y_i = K_0 + K_1 \frac{\log(1/R\lambda_1)}{\log(1/R\lambda_2)} + K_2 \frac{\log(1/R\lambda_3)}{\log(1/R\lambda_4)} + \dots + K_{i/2} \frac{\log(1/R\lambda_{i-1})}{\log(1/R\lambda_i)} \quad (3)$$

이때, K_0 는 검량식의 절편, K_1 및 K_2 는 검량식의 계수이며, Y_i 는 NIR에 의해 계산된 노화도, R 은 반사도, λ 는 선택된 파장을 나타낸다.

검량식의 작성시 상관계수와 SEC(standard error of calibration)로 검량식을 평가하였으며, 검량식을 선택한 후, 포화염용액을 사용하여 상대습도가 11%인 항온항습조에 48시간 방치하여 수분함량이 $4.0 \pm 0.4\%$ 로 조절된 16개의 시료들(validation set)에 이 검량식을 적용하였을 때의 SEP(standard error of prediction) 및 bias로 선택된 검량식의 타당성을 확인하였다. 또한 시료의 수분함량 변화에 따른 검량식의 적용성은 상대습도가 32%와 52%인 항온항습조에 48시간 방치하여 수분함량이 각각 $7.0 \pm 0.6\%$ 및 $11.4 \pm 0.6\%$ 로 조절된 시료들에 이 검량식을 각각 적용하여 이때의 SEP 및 bias로 이를 검토하였다.

결과 및 고찰

시료의 NIR 스펙트럼

시료의 수분함량이 1.1%, 4.7% 및 11.4%로 각각 다르고, 노화도는 두 시료가 0%로 같고 나머지 하나가 47.1%인 세 개의 시료 a, b, c를 NIR에 의해 측정하여 수학적 처리를 하지 않은 log(1/R) 형태의 흡광도로 표현된 스

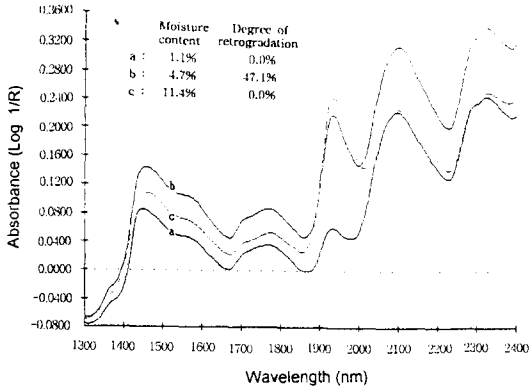


Fig. 1. Near infrared reflectance spectra of cooked rice with different moisture content and degree of retrogradation

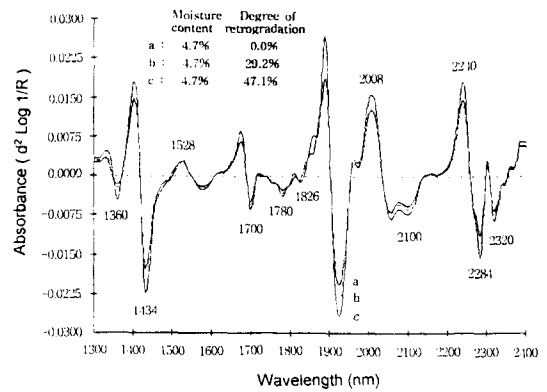


Fig. 3. Second derivative of NIR spectra of cooked rice with the same moisture content and the different degree of retrogradation

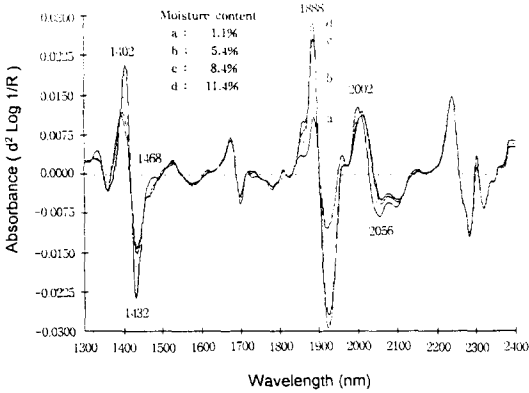


Fig. 2. Second derivative of NIR spectra of cooked rice with the same degree of retrogradation and the different moisture content

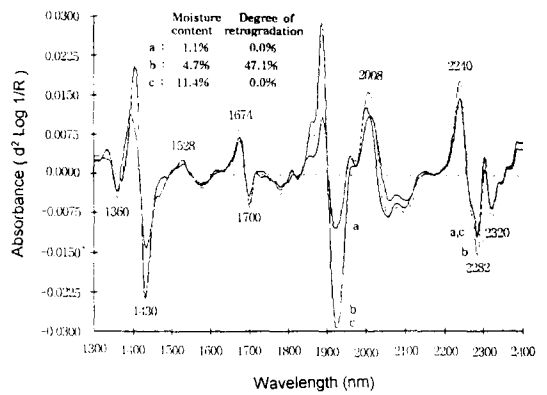


Fig. 4. Second derivative of NIR spectra of cooked rice with different moisture content and degree of retrogradation

펙트럼을 Fig. 1에 나타내었다. 이 스펙트럼은 특성성분에 기인하는 각각의 band들이 심하게 중첩되어 있으므로 이를 segment 15 nm, gap 0 nm의 2차미분처리를 한 스펙트럼을 분석에 사용하였다.

노화되지 않은 시료의 NIR 스펙트럼은 측정분말시료의 수분함량이 증가함에 따라 Fig. 2에서 보는 바와 같이 1924 nm 및 1430 nm 부근에서 현저한 흡광도의 변이를 나타내었으며, 또한 일정 수분함량에서 노화도의 변화에 의한 NIR 스펙트럼의 변화는 Fig. 3에 도시하였는데 이를 Fig. 2와 비교하여 보면 노화도가 일정할 때는 나타나지 않았던 band의 변화가 1360 nm, 1700 nm, 2240 nm, 2284 nm 및 2320 nm 파장영역에서 관찰되었다. 또한 Fig. 2에서 수분이 검출된 1430 nm와 1926 nm 부근에서도 비록 그 폭은 작지만 band의 변화가 관측되었는데, 시료의 수분함량이 동일하다는 것을 감안할 때 이 band 또한 전분의 노화에 기인한다는 것을 알 수 있다⁽¹⁸⁾.

Fig. 4의 2282 nm 영역은 C-H stretch 와 CH₃ deformation에 의한 것으로 전분에 의한 吸收영역에 해당한다⁽¹⁹⁾. 이때, 노화도가 같은 a, c는 수분함량이 변화하더라도 동일한 흡광도를 보이지만 노화도가 이와 다른 b는 흡광도의 변이를 보이고 있다. 이와 같은 결과는 노화도가 근적외선 분광기에 의해 측정 가능하다는 것을 시사하고 있다.

NIR에 의한 노화도의 측정

효소적 측정법에 의해 시료의 노화도를 측정한 calibration set과 validation set을 Table 1에 요약하였다. 각각의 수학적 처리를 하여 구한 검량식을 Table 2에 나타내었다. Table 2에 의하면 검량식의 도출을 위해 미분처리를 하지 않은 경우 2128, 2074, 2092, 2254 및 2346 nm 영역의 파장이 사용되었으며, 1차미분처리를 한 경우 2084, 1488, 1490 및 2296 nm 영역의 파장이, 2차

미분처리를 한 경우 1688, 1902, 2206, 2284, 2292 및 2340 nm 영역의 파장이 사용되었다.

Table 2의 상관계수(r), SEC 및 SEP로 수학적 처리 방법에 따른 검량식의 타당성을 살펴보면, 2차미분처리를 하였을 때 가장 낮은 SEC와 가장 높은 r값을 나타내었으며, 두개의 파장 항을 선택하였을 때가 더 높은 상관계수와 더 낮은 SEC 및 SEP를 보였다. 또한 2차미분처리를 한 두개의 파장항을 가진 식 중, 식 (2)와 식 (3)의 형태를 사용한 검량식이 높은 상관계수와 낮은 SEC를 보였지만 식 (3)의 경우가 더 낮은 SEP를 보여 식 (3)의 형태에 적용한 검량식이 $r=0.9753$, $SEC=3.64$ 및 $SEP=3.91$ 으로 노화도측정에 가장 적합한 검량식으로 판단되었다. Calibration set과 validation set의 효소적

측정법에 의한 시료의 노화도와 이 검량식을 이용하여 NIR로 측정된 시료의 노화도를 Fig. 5에 도시하여 비교하였다.

측정시료의 수분함량과 NIR에 의한 노화도측정과의 관계를 알아보기 위해 수분함량이 각각 4.0%, 7.0% 및 11.4%인 시료에 2차미분한 검량식을 적용하여 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 이에 의하면 시료의 수분함량이 증가함에 따라 특히 bias가 크게 증가하여 검량식에 사용된 시료의 수분함량인 5% 보다 더 높은 수분함량의 시료에는 이 검량식을 직접 적용하는 것이 부적절하며, bias를 보정하여 이 검량식에 적용하여야 할 것으로 사료된다. Fig. 6은 bias를 보정한 후 NIR로 측정된 시료의 노화도와 효소적 측정법에 의한 시료의 노화도를 비교한 것으로 시료의 수분함량이 증가함에 따라 SEP값이 증가하고 상관계수(r)가 감소하여 두 측정법에 의한 노화도의 차가 크게 나타났다.

이상의 결과로부터, NIR에 의한 밥의 노화도의 측정은 효소적 평가방법과 높은 상관관계를 보이고 있다. 다만 시료의 수분함량이 NIR에 의한 노화도의 측정에 상당한 영향을 미치므로 시료의 수분함량을 검량식의 작성에 사용된 5% 이하로 조정하여 측정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Table 1. Degree of retrogradation of cooked rice analyzed by enzymatic method

	No. of sample	Mean (%)	S.D. ^{a)} (%)	Range (%)
Calibration set	32	26.6	15.96	0.00-47.10
Validation set	16	26.9	16.22	0.00- 7.10

^{a)} Standard deviation

Table 2. Wavelength selected, statistical summary and calibration equations for degree of retrogradation

Type of Eq.	No. of terms	λ_1 ^{a)} (nm)	λ_2 (nm)	λ_3 (nm)	λ_4 (nm)	K_0 ^{b)}	K_1 ^{c)}	K_2	r ^{d)}	SEC (%)	SEP
log(1/R)											
Eq. (1)	1	2128				-74.92	440.87		0.8828	7.62	7.49
	2	2128	2254			-174.42	7779.64	-8462.80	0.9442	5.44	6.43
Eq. (2)	1	2128	2346			1476.49	-1272.92		-0.9410	5.49	7.64
	2	2128	2346	2074	2092	59.35	-1475.44	1569.88	0.9497	5.17	9.31
Eq. (3)	1	2128	2346			-70.03	-1418.81	1646.20	0.9399	5.54	7.65
	2	2128	2346	2074	2092	58.85	1921.31	-1804.57	0.9491	5.19	9.40
1st derivative of log(1/R)											
Eq. (1)	1	2084				-121.73	20310.43		0.9261	6.12	8.85
	2	2084	2296			-28.96	31512.51	-34902.41	0.9598	4.63	5.69
Eq. (2)	1	2084	2296			277.29	-364.14		-0.9375	5.64	4.36
	2	2084	2296	2084	1490	463.89	-418.56	138.34	0.9696	4.04	3.65
Eq. (3)	1	2084	2296			-238.29	181.75		0.9491	5.11	4.50
	2	2084	2296	1488	2296	-267.54	111.39	99.920	0.9752	3.65	3.16
2nd derivative of log(1/R)											
Eq. (1)	1	1688				-62.69	46109.41		0.9612	4.47	4.77
	2	1688	1902			-55.26	47471.60	-3343.85	0.9685	4.11	3.22
Eq. (2)	1	1688	2342			103.41	31.38		0.9513	5.00	4.71
	2	1688	2342	2284	2344	147.10	-5.93	-911.775	0.9791	3.36	4.66
Eq. (3)	1	1688	2340			70.03	-280.35		-0.9655	4.22	3.90
	2	1688	2340	2292	2206	-174.16	-277.67	-53.970	0.9753	3.64	3.91

^{a)} Selected wavelength

^{b)} Intercept of calibration equation

^{c)} Coefficient of calibration equation

^{d)} Correlation coefficient

Table 3. Influence of sample moisture content on accuracy of analysis of degree of retrogradation

Type of Eq.	No. of terms	4.0±0.4% ^{a)}			7.0±0.6%			11.4±0.6%		
		SEP	Bias	r ^{b)}	SEP	Bias	r	SEP	Bias	r
Eq. (1)	1	4.77	-2.27	0.956	4.54	2.64	0.960	5.40	0.928	0.943
	2	3.22	8.54	0.980	4.51	20.1	0.961	7.29	18.9	0.893
Eq. (2)	1	4.71	7.36	0.957	5.34	14.9	0.944	3.33	18.0	0.979
	2	4.66	10.3	0.958	4.84	25.7	0.959	3.08	34.1	0.982
Eq. (3)	1	3.90	8.92	0.971	4.13	19.2	0.967	4.28	23.1	0.964
	2	3.90	5.66	0.971	4.19	16.5	0.966	4.61	19.9	0.959

^{a)}Sample moisture content

^{b)}Correlation coefficient

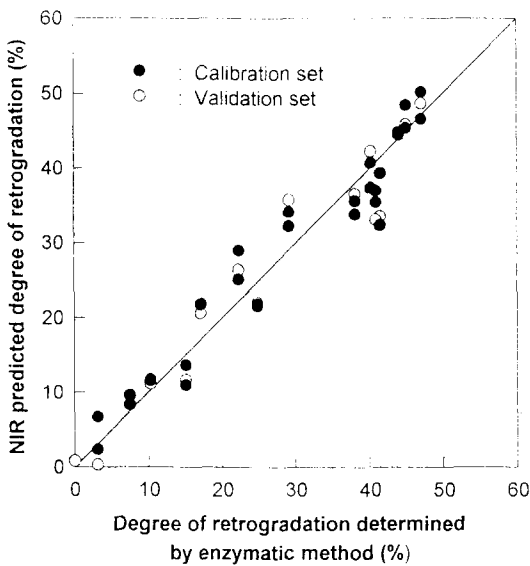


Fig. 5. Plot of linear correlation between enzymatically determined and NIR spectroscopically determined degree of retrogradation of cooked rice

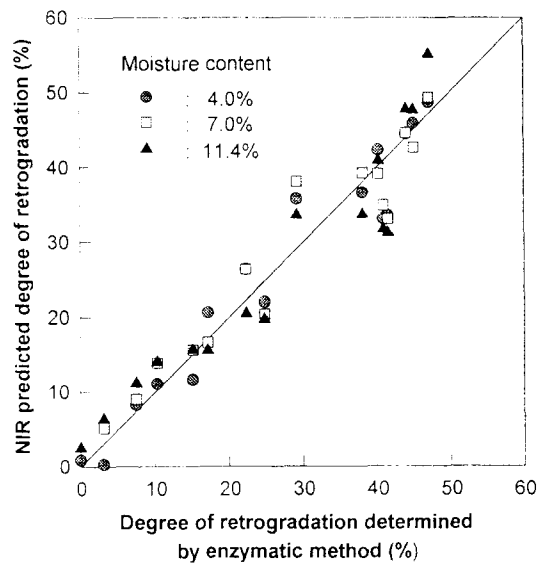


Fig. 6. Effect of sample moisture content on prediction of degree of retrogradation by NIR

요 약

기존의 노화도 측정법은 분석시간이 오래 걸리고 노동력이 많이 드는 단점이 있어 이를 개선하기 위해 신속 간편하고 비파괴적인 근적외선 분광분석법(NIR)을 노화도측정에 적용하였다. 밥을 4℃에서 저장하면서 6시간 간격으로 시료를 채취한 후 동결건조하여 분말화 한 것을 시료로 하여, 각기 다른 노화도(0.0%~47.1%)를 나타내는 시료들의 노화도를 NIR을 이용하여 추정하였다. 표준분석법으로는 기존의 분석방법인 glucoamylase를 이용한 효소적 방법에 의해 호화도를 측정하여 이로부터 노화도를 산출하였다. 일정 수분함량인 각 시료의 2차 미분 스펙트럼으로부터 노화에 의한 吸收띠의 변이는 1360, 1434, 1528, 1700, 1780, 1928, 2100, 2284, 2320 nm 영역에서 관찰되었다. 수분함량 5% 이하의 분말시료 32

개를 사용하여 이의 2차 미분 스펙트럼으로부터 노화도를 추정하기 위한 검량식을 구하였으며, 이때 상관계수는 0.9753, SEC는 3.64% 및 SEP는 3.91%를 나타내어 노화도측정을 위한 NIR의 적용 가능성을 보여주었다. 각기 다른 수분함량을 갖는 시료의 노화도 측정에 이 검량식을 적용할 경우 측정시료의 수분함량이 7.0%, 11.4%로 증가함에 따라 SEP와 bias가 증가하고 상관계수가 낮아져 NIR에 의한 노화도의 측정시에는 검량식의 작성에 사용된 5% 이하의 수분함량의 시료를 사용하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구의 일부는 1993~1994년도 삼남강학회의 연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Wolton, M. and Chaudhry, M.A.: Gelatinization and in vitro digestibility of starch in backed products. *J. Food Sci.*, **45**, 1783(1980)
2. Tsuge, H. and Hishida, M.: Enzymatic evaluation for degree of starch retrogradation in foods and foodstuffs. *Starch*, **42**, 213(1990)
3. Chang, B.Y. and Johnson, J.A.: Measurement of total and gelatinized starch by glucoamylase and o-toluidine reagent. *Cereal Chem.*, **54**, 429(1977)
4. Rundle, R.E. and Edwards, F.C.: The configuration of starch in the starch-iodine complex. IV. An X-ray diffraction investigation of butanol-precipitated amylose. *J. Am. Chem. Soc.*, **65**, 2200(1943)
5. Kim, S.K. and Ciacco, C.F.: Kinetic study of retrogradation of cassava starch gels. *J. Food Sci.*, **41**, 1249(1976)
6. 김성곤, 변유량: 실온 및 고온 저장시 쌀밥의 노화속도. *한국식품과학회지*, **14**, 80(1982)
7. Hibi, Y., Kitamura, S. and Kuge, T.: Effect of lipid on the retrogradation of cooked rice. *Cereal Chem.*, **67**, 7(1990)
8. Nakazawa, F. and Noguchi, S.: Gelatinization and retrogradation of rice starch studied by differential scanning calorimetry. *Agric. Biol. Chem.*, **48**, 201(1984)
9. Orman, B.A. and Schumann, Jr. R.A.: Comparison of near-infrared spectroscopy calibration methods for the prediction of protein, oil, and starch in maize grain. *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 883(1991)
10. Baker, D.: The determination of fiber, starch, and total carbohydrate in snack foods by near-infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Foods World*, **30**, 389(1985)
11. Kim, H.O. and Williams, P.C.: Determination of starch and energy in feed grains by near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 683(1990)
12. Finney, P.L., Kinney, J.E. and Donelson, J.R.: Prediction of damaged starch in staright-grade flour by near-infrared reflectance analysis of whole ground wheat. *Cereal Chem.*, **65**, 449(1988)
13. A.O.A.C.: "Official Method of Analysis". 15th ed. Association of Official Analytical Chemist, Inc., Verginia, p.777(1990)
14. Satoshi, G.: Enzymatic evaluation for the degree of starch retrogradation in food and foodstuffs. *Starch*, **42**, 213(1990)
15. Norris, K.H. and Williams, P.C.: Optimization of mathematical treatments of raw near-infrared signal in the measurement of protein in hard red spring wheat. I. Influence of particle size. *Cereal Chem.*, **61**, 158(1984)
16. Lanza, E.: Determination of moisture, protein, fat, and calories in raw pork and beef by near infrared spectroscopy. *J. Food Sci.*, **48**, 71(1983)
17. Windham, W.R., Gaines, C.S. and Leffler, R.G.: Effect of wheat moisture content on hardness scores determined by near-infrared reflectance and on hardness score standardization. *Cereal Chem.*, **70**, 662(1993)
18. Williams, P.C. and Norris, K.H.: Qualitative applications of near-infrared reflectance spectroscopy in "Near-Infrared Technology in The Agricultural and Food Industries". American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesita, U.S.A., p.241(1990)
19. Burns, D.A. and Ciurczak, E.W.: Application of NIR spectroscopy to agricultural products in "Handbook of Near-Infrared Analysis". Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A., p.395(1992)

(1994년 7월 1일 접수)