

## 도복된 쌀의 텍스처, 호화 및 열적 특성

황태정 · 이원종<sup>1</sup> · 신진철<sup>2</sup> · 김영준<sup>3</sup> · 김석신\*

가톨릭대학교 식품영양학과, <sup>1</sup>강릉원주대학교 식품영양학과,  
<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원, <sup>3</sup>연세대학교 생명과학기술학부

## Texture, Pasting and Thermal Properties of Lodged Rice

Tai-Jeong Hwang, Won-Jong Lee<sup>1</sup>, Jin-Chul Shin<sup>2</sup>, Young-Joon Kim<sup>3</sup>, and Suk-Shin Kim\*

Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Gangneung-Wonju National University

<sup>2</sup>National Institute of Crop Science, RDA

<sup>3</sup>Division of Bioscience and Technology, Yonsei University

**Abstract** This study was conducted to determine and compare hardness, thermal properties (by DSC), pasting properties (by RVA) and texture of brown rice and white rice, either lodged or non-lodged, with respect to lodging time. The hardness and the thermal properties of lodged brown rice and white rice decreased with lodging time, while those of non-lodged brown and white rice increased. In addition, the rice kernel hardness and the thermal properties had high correlation coefficients. The pasting properties, with the exception of setback, and the textural properties of lodged brown and white rice decreased with lodging time, while those of non-lodged brown and white rice increased.

**Key words:** lodging, rice, DSC, texture, RVA

### 서 론

곡식의 도복은 수분, 영양소, 동화작용 생성물의 운반을 방해하여 곡립의 미숙을 초래하고 결과적으로 곡물의 품질을 떨어뜨린다. 특히 쌀의 경우 이삭의 수발아도 일어나 벼의 수량뿐만 아니라 쌀의 품질도 크게 저하된다(1-8). 더욱이 우리나라의 경우는 태풍의 경로일 경우가 많기 때문에 흔히 수확을 앞둔 벼가 태풍에 의해 도복 피해를 입게 된다(1,2). 특히 지구 온난화에 기인된 기상이변은 앞으로도 계속될 것이며 풍수해에 따른 벼의 도복 피해도 계속 반복될 것으로 예상된다. 이에 따라 도복 피해 쌀의 최대한의 활용이 크게 요구될 것이므로 도복미의 품질 변화와 활용성에 대한 과학적이고 체계적인 기초연구자료의 확보가 대단히 시급한 실정이다.

이와 관련된 연구로서, 벼의 풍수해 손실 분석(1-3), 벼 도복의 메커니즘 연구(4,8), 벼 도복에 대한 바람의 영향 연구(9,10), 태풍에 의한 벼 잎의 손상 연구(11), 벼의 내도복성 분석(5,12,13), 뿌리 분포와 내도복성의 관계 연구(14,15), 도복의 요인 분석(16,17), 내도복성 벼 품종 개발 연구(6,7,18-21), 도복이 쌀 품질에 끼치는 영향 연구(10,22-26) 등이 문헌에 보고되어 있다. 또한 DSC(differential scanning calorimetry)를 이용한 쌀의 품질 연구는

시료에 물을 가한 상태에서 전분의 호화특성을 살펴본 보고(27-31)가 대부분이었다. 그러나 도복 시간에 따른 쌀의 곡립 충실도 변화를, 쌀 곡립의 경도와 곡립의 DSC 열적성질의 관계에서 살펴본 연구는 전무하였고, 도복된 쌀의 RVA(rapid visco analyzer) 호화 특성과 도복된 쌀로 지은 쌀밥의 텍스처를 체계적으로 다룬 연구도 부족한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 도복 쌀(현미, 백미)의 경도, DSC 열적 성질, RVA 호화 특성, 및 도복 쌀(현미, 백미)로 지은 쌀밥의 텍스처 변화를 도복 시간에 따라 측정하였고, 이를 정상적인 무도복 쌀의 경우와 비교하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료

출수 후 30일부터 인위적으로 도복한 장안벼와 도복하지 않은 장안벼를 매주 1회 총 4회 수확하여 수분함량 15%로 일광 건조한 벼 시료를 농촌진흥청으로부터 제공받았다. 이 시료를 현미기(Satake, THU35A, Satake Corp., Hiroshima, Japan)와 정미기(Satake, MCM250, Satake Corp., Hiroshima, Japan)로 도정한 현미 및 백미 시료를 실험에 사용하였다.

#### 쌀의 경도와 쌀밥의 텍스처 측정

쌀의 경도와 쌀밥의 텍스처 측정은 Texture Analyzer(model TA XT2, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, UK)를 사용하여 행하였다. 쌀의 경도는 완전립 쌀알 1개를 50% 압축하여 측정하였다. 쌀밥은 비이커(직경 6 cm, 높이 10 cm)에 쌀 10 g을 넣어 씻고 전체 무게가 25 g이 되도록 물을 가하여 30분간 침지한 후 비이커째 전기밥솥(model SJ-185R, Samsung, Korea)에 넣어 20분간

\*Corresponding author: Suk-Shin Kim, Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea, Buchon, Gyeonggi 422-743, Korea

Tel: 82-2-2164-4316

Fax: 82-2-2164-4316

E-mail: kimsukshin@catholic.ac.kr

Received December 22, 2009; revised February 10, 2010;

accepted February 12, 2010

밥을 짓고 10분간 뜸 들였다. 실온으로 냉각한 완전립 밥알 5개를 40% 압축하여 쌀밥의 텍스처(경도, 접착성, 응집성, 탄성, 감성, 씹음성)를 구하였다. 이때 직경 50mm의 원통형 probe를 사용하였고 crosshead의 이동속도는 1 mm/s로 고정하였다. 2회 압축커브를 Stable Micro System사에서 제공한 software로 분석하였고, 모든 측정은 3회 이상 반복하였다.

**쌀의 DSC 열적 성질 측정**

쌀의 DSC 열적 성질은 Differential Scanning Colorimeter (model 200-PC ph<sup>Ⓢ</sup>, Netzsch GmbH, Selb, Germany)를 사용하여 3회 이상 반복 측정하였다. 쌀을 분쇄기(model CR-4800W, Samsung, Seoul, Korea)로 분쇄한 후 40 mesh 표준체로 사별하였다. 매 측정 시 10 mg의 쌀 시료를 항량을 구한 알루미늄 용기에 담은 후 Marler sealing press로 밀봉하고 빈 용기를 대조군으로 삼았다. 시료를 25°C에서 250°C까지 5°C/min의 속도로 가열하면서 최초온도(onset temperature,  $T_o$ ), 최대온도(peak temperature,  $T_p$ ), 최종온도(conclusion temperature,  $T_c$ ), 용해 엔탈피(enthalpy of fusion,  $\Delta H$ )를 구하였다.

**쌀의 RVA 호화 특성 측정**

쌀을 분쇄기(model CR-4800W, Samsung, Korea)로 분쇄한 후 40 mesh 표준체로 사별하였다. 쌀 분말의 수분함량이 14%가 되도록 적정량의 물을 혼합한 후 Rapid Visco Analyzer(RVA-3D+, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia)를 사용하여 RVA 점도 변화를 3회 이상 반복 측정하였다. 측정 온도는 1분까지 50°C로 가열하고, 4.7분까지 95°C로 가열한 후, 7.2분까지 95°C를 유지하고, 11.0분까지 50°C로 냉각한 후, 13.0분까지 50°C를 유지하였다. RVA 호화 특성으로서 호화온도, 최대점도(peak viscosity, P), 최종점도(holding strength, H), 최종점도(final viscosity, F), breakdown(P-H), consistency(F-H), setback(F-P)을 구하였다.

**통계 처리**

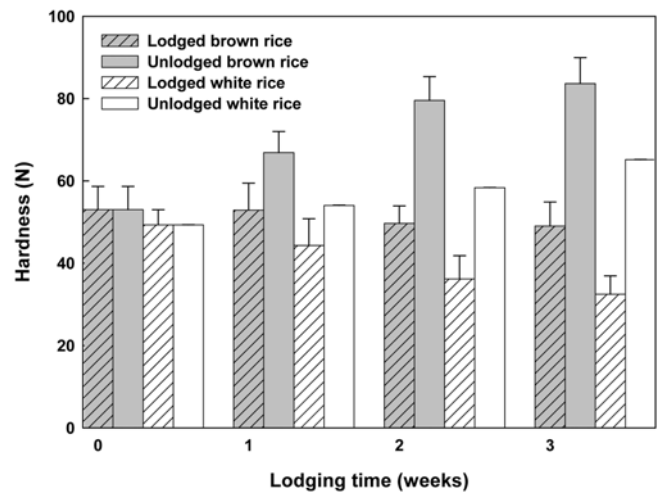
SigmaPlot 9.0판(Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA)을 사용하여 유의차( $p < 0.05$ ) 검정 등 통계분석을 행하였다.

**결과 및 고찰**

**도복 쌀의 경도와 열적 성질 비교**

Fig 1에 도복 시간에 따른 현미와 백미 곡립의 경도 변화를 나타내었다. 출수 후 곡립의 경도는 시간이 지남에 따라 알곡의 충실도가 증가하면서 증가하는 것이 일반적이다. 그러나 도복 현미의 경도는 도복 초기 53.0N에서 도복 3주 49.0N으로 8% 감소하는 경향을 보였다. 반면에 무도복(정상) 현미 곡립의 경도는 초기 53.0N에서 값의 3주 83.6N으로 58%까지 증가하였다. Hwang 등(24)은 도복 현미의 천립중이 시간에 따라 감소한 반면 무도복 현미의 천립중은 증가한다고 보고하면서, 이는 알곡 충실도의 차이에 기인한다고 설명하였다. Song 등(25) 역시 무도복 쌀의 알곡 충실도가 도복 쌀보다 크기 때문에 그 경도도 크다고 보고하였다. Hwang 등(26)은 특히 도복 중 피하기 어려운 수발아 발생으로 인해 곡립 중에 효소활성이 증가하고 이 결과로 곡립 성분의 분해가 따르게 된다고 보고하였는데, 이 역시 도복 현미의 경도가 감소하는 주요 원인이라고 볼 수 있다.

도복 백미의 경도는 도복 초기 49.3N에서 도복 3주 32.5N으로 경도가 34% 감소하였다. 반면에 무도복 백미 곡립의 경도는 초기 49.3N에서 3주 65.1N으로 32%까지 증가하였다. 백미의 경



**Fig. 1.** Hardness of ‘Janganbyeo’ brown rice and white rice, either lodged or non-lodged, with respect to lodging time.

도가 현미의 경도보다 작은 것은 쌀겨층이 제거되어 배유부분만 남았기 때문이고, 3주의 경우를 비교해 보면 무도복 현미와 백미가 도복 현미와 백미보다 각각 1.7배와 2.0배 큰 것으로 나타났다. Hwang 등(25)은 도복 백미의 천립중이 시간에 따라 감소한 반면 무도복 백미의 천립중은 증가한다고 보고하면서, 이를 알곡 충실도의 차이로 설명하였다. 또한 쌀알의 경도는 도복된 쌀의 수발아율과 효소활성도 관계가 깊은데, Hwang 등(26)은 도복 현미의 수발아율과 amylase 등의 효소활성이 무도복 현미의 경우보다 크다고 보고하였으며, 이로부터 도복 쌀의 곡립경도는 효소에 의한 전분 등 알곡 성분의 분해정도에 영향을 받는다고 볼 수 있다. 이에 따라 DSC 열적 성질을 측정한 결과를 곡립의 경도와 관련지어 살펴볼 필요가 있다.

Table 1에 도복 및 무도복 현미와 백미의 DSC 열적 성질을 도복 시간에 따라 나타내었다. 모든 쌀 시료에서 흡열에 의한 상의 변화가 150-170°C의 범위에서 관찰되었다.

도복 현미의 경우 최초온도(onset temperature,  $T_o$ )는 도복 초기 158.2°C, 도복 3주 153.6°C로 감소하였고, 최대온도(peak temperature,  $T_p$ )는 도복 초기 160.1°C, 도복 말기 156.5°C로, 최종온도(conclusion temperature,  $T_c$ )는 도복 초기 166.8°C, 도복 말기 160.4°C로, 용해 엔탈피(fusion enthalpy,  $\Delta H$ )는 도복 초기 86.2 kJ/kg, 도복 말기 72.0 kJ/kg으로 감소하였다. 무도복 현미의 경우 최초온도( $T_o$ )는 초기 158.2°C, 말기 162.2°C로 증가하였고, 최대온도( $T_p$ )는 초기 160.1°C, 말기 163.4°C로, 최종온도( $T_c$ )는 초기 166.8°C, 말기 170.4°C로, 용해 엔탈피( $\Delta H$ )는 초기 86.2 kJ/kg, 말기 115.1 kJ/kg으로 증가하였다. 도복 현미는 도복 시간이 경과함에 따라 DSC 열적 성질( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H$ )이 감소하는 반면, 무도복 현미는 최종 수확시기가 가까울수록 DSC 열적 성질( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H$ )은 증가하였으며, 3주째에는 무도복 현미의 DSC 열적 성질이 도복 현미의 경우보다  $T_o$  8.6°C,  $T_p$  6.9°C,  $T_c$  10.0°C,  $\Delta H$  43.1 kJ/kg 높은 것으로 나타났다. 이로부터 무도복 현미의 숙성도와 알곡 충실도(전분 등 알곡 성분의 축적은 증가하고 분해는 감소)가 도복 현미보다 높은 사실을 알 수 있다.

도복 백미의 경우  $T_o$ 는 도복 초기 156.3°C, 도복 말기 152.1°C로 감소하였고,  $T_p$ 는 도복 초기 159.1°C, 도복 말기 154.3°C로,  $T_c$ 는 도복 초기 166.2°C, 도복 말기 159.7°C,  $\Delta H$ 는 도복 초기 62.7 kJ/kg, 도복 말기 55.0 kJ/kg으로 감소하였다. 무도복 백미의 경우

**Table 1. Thermal properties of 'Janganbyeo' brown rice and white rice, either lodged or non-lodged, with respect to lodging time**

Thermal properties	Lodging time (weeks)	Brown rice		White rice	
		Lodged	Unlodged	Lodged	Unlodged
Onset temperature, $T_o$ (°C)	0	158.2±0.3 <sup>a1)</sup>	158.2±0.3 <sup>a</sup>	156.3±0.3 <sup>a</sup>	156.3±0.3 <sup>a</sup>
	1	157.3±0.2 <sup>a</sup>	159.0±0.2 <sup>a</sup>	155.3±0.3 <sup>a</sup>	158.2±0.2 <sup>b</sup>
	2	154.6±0.3 <sup>b</sup>	161.1±0.2 <sup>b</sup>	152.4±0.2 <sup>b</sup>	158.4±0.1 <sup>b</sup>
	3	153.6±0.3 <sup>b</sup>	162.2±0.1 <sup>c</sup>	152.1±0.2 <sup>b</sup>	159.1±0.1 <sup>c</sup>
Peak temperature, $T_p$ (°C)	0	160.1±0.2 <sup>a</sup>	160.1±0.2 <sup>a</sup>	159.1±0.3 <sup>a</sup>	159.1±0.3 <sup>a</sup>
	1	159.7±0.1 <sup>a</sup>	161.8±0.3 <sup>b</sup>	158.0±0.3 <sup>a</sup>	160.2±0.1 <sup>b</sup>
	2	157.2±0.4 <sup>b</sup>	163.2±0.1 <sup>c</sup>	155.4±0.2 <sup>b</sup>	160.5±0.2 <sup>b</sup>
	3	156.5±0.2 <sup>b</sup>	163.4±0.3 <sup>c</sup>	154.3±0.2 <sup>c</sup>	161.0±0.2 <sup>b</sup>
Conclusion temperature, $T_c$ (°C)	0	166.8±0.3 <sup>a</sup>	166.8±0.3 <sup>a</sup>	166.2±0.2 <sup>a</sup>	166.2±0.2 <sup>a</sup>
	1	164.3±0.2 <sup>b</sup>	168.0±0.2 <sup>b</sup>	163.1±0.3 <sup>b</sup>	167.3±0.2 <sup>b</sup>
	2	162.2±0.3 <sup>c</sup>	169.5±0.2 <sup>c</sup>	161.3±0.4 <sup>c</sup>	168.2±0.1 <sup>c</sup>
	3	160.4±0.4 <sup>d</sup>	170.4±0.3 <sup>c</sup>	159.7±0.4 <sup>c</sup>	168.5±0.2 <sup>c</sup>
Enthalpy of fusion, $\Delta H$ kJ/kg	0	86.2±0.4 <sup>a</sup>	86.2±0.4 <sup>a</sup>	62.7±0.3 <sup>a</sup>	62.7±0.3 <sup>a</sup>
	1	80.1±0.2 <sup>b</sup>	92.5±0.2 <sup>b</sup>	61.5±0.3 <sup>b</sup>	81.2±0.4 <sup>b</sup>
	2	76.3±0.4 <sup>c</sup>	102.8±0.3 <sup>c</sup>	58.3±0.4 <sup>c</sup>	88.4±0.5 <sup>c</sup>
	3	72.0±0.4 <sup>d</sup>	115.1±0.5 <sup>d</sup>	55.0±0.3 <sup>d</sup>	90.3±0.5 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Means in columns with different superscript letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

$T_o$ 는 초기 156.3°C, 말기 159.1°C로 증가하였고,  $T_p$ 는 초기 159.1°C, 말기 161.0°C로,  $T_c$ 는 초기 166.2°C, 말기 168.5°C로,  $\Delta H$ 는 초기 62.7 kJ/kg, 말기 90.3 kJ/kg으로 증가하였다. 도복 백미는 도복 시간이 경과함에 따라 DSC 열적 성질( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H$ )이 감소하는 반면, 무도복 백미는 수확시기가 가까울수록 DSC 열적 성질( $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H$ )은 증가하였으며, 3주째에는 무도복 현미의 DSC 열적 성질이 도복 현미의 경우보다  $T_o$  7.0°C,  $T_p$  6.7°C,  $T_c$  8.8°C,  $\Delta H$  45.3 kJ/kg 높은 것으로 나타났다. 이로부터 무도복 백미의 숙성도와 알곡충실도가 도복 백미보다 높은 사실을 알 수 있다.

쌀 등 곡류의 DSC 열적 성질에 대한 연구의 대부분은 시료에 물을 가한 상태에서 전분의 호화특성을 중심으로 이루어졌다(27-31). 물을 가하지 않은 시료의 DSC 열적 성질에 대한 연구 중의 하나로서 Liu 등(32-33)은 전분의 열분해가 250-300°C에서 일어난다고 보고하였다. Farhat와 Blanshard(34)은 전분-물 혼합물의 데이터로부터 수분이 없는 전분의 용점을 외삽법으로 구했는데, 쌀 전분의 경우 직선식을 가정하면 용점이 203°C이고 곡선식을 가정하면 용점이 254°C이라고 보고하였다. Sablani 등(35)은 쌀 고형물의 유리전이온도를 158.5°C로 보고하였으며, Lin 등(36)은 옥수수 전분의  $T_p$ 는 178°C이라고 보고하였다. 이로부터 본 연구의  $T_p$ 값은 위 보고들의 범위내에 있음을 알 수 있다.

종합적으로 볼 때 도복한 현미 및 백미의 DSC 열적 성질이 무도복 현미와 백미의 DSC 열적 성질보다 낮은 것으로 나타났는데, 이는 Hwang 등(26)이 보고한 것처럼 도복할 경우 효소활성이 커지므로 전분 등의 성분 분해가 크기 때문이라고 생각되며, 반면에 무도복의 경우 알곡의 충실도가 높아지기 때문이라 생각되었다. 또한 도복 현미와 무도복 현미의 DSC 열적 성질은 각각 도복 백미와 무도복 백미의 경우보다 높은 것으로 나타났는데 이는 현미의 지질이 호분층에 존재하되 amylose 등의 전분 성분과 결합하여 존재하여 잘 용해되지 않기 때문인 것으로 생각되었다. Derycke 등(37)은 쌀전분의 용해열보다 쌀전분과 지질 complex의 용해열이 1.5-2배 더 큰 것으로 보고하였다.

곡립의 경도와 DSC 열적 성질의 상관관계를 도복 여부와 현

**Table 2. Correlation coefficients between hardness and the thermal properties of 'Janganbyeo' brown rice and white rice, either lodged or non-lodged, with respect to lodging time**

Cases	Correlation coefficients			
	$T_o$	$T_p$	$T_c$	Enthalpy
Lodged rice	0.9076	0.9240	0.8129	0.8663
Unlodged rice	0.9298	0.9400	0.9035	0.9888
Brown rice	0.8350	0.9722	0.7227	0.8096
White rice	0.9763	0.9803	0.9196	0.9901
Total case	0.9203	0.9303	0.8512	0.9409

미 백미의 종류, 그리고 전체 경우로 나누어 Table 2에 나타내었다. 도복 쌀의 경우  $T_p$ 의 상관계수가 가장 높았지만, 무도복 쌀의 경우  $\Delta H$ 의 상관계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 또 현미의 경우  $T_p$ 의 상관계수가 가장 높았지만, 백미의 경우  $\Delta H$ 의 상관계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 전체의 경우에는  $\Delta H$ 의 상관계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 그러므로 쌀 곡립의 경도와 DSC 열적 성질, 특히  $\Delta H$ 와  $T_p$ 는 밀접한 상관관계가 있으므로 여러 종류 쌀의 품질 비교 등에 쌀의 DSC 열적 성질을 잘 활용할 수 있을 것이다.

#### 도복 쌀의 호화 특성

Table 3에 도복 현미와 백미, 무도복(정상) 현미와 백미의 RVA 호화 특성을 도복 시간에 따라 나타내었다. 도복 현미와 백미의 호화온도는 도복 시간에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이는 도복 중 수발아로 인해 증가된 효소(26)에 의해 전분 등 알곡 성분이 분해되는 것과 관련이 있다고 생각되었다. 도복 중 발생하는 수발아는 씨앗의 정상적 발아와 동일한 메커니즘으로 진행되는 데, Kim과 Shin(38)도 발아현미의 호화온도가 현미보다 낮다고 보고하였다. 이에 반해 무도복 현미와 백미의 호화온도는 시간에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 알곡의 숙성

**Table 3. Pasting properties of ‘Janganbyeon’ brown rice and white rice, either lodged or non-lodged, with respect to lodging time**

Texture	Lodging time (weeks)	Brown rice		White rice	
		Lodged	Unlodged	Lodged	Unlodged
Pasting temperature (°C)	0	71.1±0.3 <sup>a</sup>	71.1±0.3 <sup>a</sup>	68.1±0.6 <sup>a</sup>	68.1±0.6 <sup>a</sup>
	1	71.0±0.2 <sup>a</sup>	71.5±0.3 <sup>a</sup>	66.9±0.5 <sup>a</sup>	69.0±0.3 <sup>a</sup>
	2	70.6±0.4 <sup>a</sup>	72.2±0.3 <sup>a</sup>	66.1±0.4 <sup>a</sup>	69.3±0.4 <sup>a</sup>
	3	69.7±0.5 <sup>a</sup>	72.5±0.4 <sup>a</sup>	66.0±0.5 <sup>a</sup>	69.9±0.5 <sup>a</sup>
Peak viscosity, P (RVU)	0	98.0±1.8 <sup>a</sup>	98.0±3.8 <sup>a</sup>	167.0±2.8 <sup>a</sup>	167.0±2.8 <sup>a</sup>
	1	94.0±2.0 <sup>a</sup>	103.5±2.4 <sup>a</sup>	160.0±1.4 <sup>a</sup>	168.2±2.0 <sup>a</sup>
	2	82.0±2.2 <sup>b</sup>	107.0±2.4 <sup>a</sup>	155.0±0.8 <sup>b</sup>	169.3±1.5 <sup>a</sup>
	3	80.0±0.8 <sup>b</sup>	111.0±3.1 <sup>a</sup>	142.0±0.9 <sup>c</sup>	172.0±2.1 <sup>a</sup>
Holding strength, H (RVU)	0	75.0±1.5 <sup>a</sup>	75.0±1.5 <sup>a</sup>	127.0±2.5 <sup>a</sup>	127.0±1.5 <sup>a</sup>
	1	72.0±1.8 <sup>a</sup>	77.0±2.0 <sup>a</sup>	123.0±2.0 <sup>a</sup>	127.2±1.5 <sup>a</sup>
	2	61.2±2.4 <sup>b</sup>	79.0±2.5 <sup>a</sup>	120.0±1.3 <sup>a</sup>	127.9±1.8 <sup>a</sup>
	3	60.0±3.8 <sup>b</sup>	80.0±1.7 <sup>a</sup>	109.0±2.2 <sup>b</sup>	129.0±2.0 <sup>a</sup>
Final viscosity, F (RVU)	0	160.0±2.5 <sup>a</sup>	160.0±3.5 <sup>a</sup>	231.0±2.4 <sup>a</sup>	231.0±2.4 <sup>a</sup>
	1	154.0±3.5 <sup>a</sup>	168.0±4.2 <sup>a</sup>	226.0±2.2 <sup>a</sup>	233.0±3.5 <sup>a</sup>
	2	144.0±2.8 <sup>a</sup>	171.0±3.8 <sup>a</sup>	218.0±1.1 <sup>b</sup>	237.0±2.4 <sup>a</sup>
	3	140.0±1.4 <sup>a</sup>	173.0±3.1 <sup>a</sup>	206.0±3.4 <sup>c</sup>	240.0±3.3 <sup>a</sup>
Breakdown, P-H (RVU)	0	23.0±1.5 <sup>a</sup>	23.0±1.5 <sup>a</sup>	40.0±2.0 <sup>a</sup>	40.0±2.0 <sup>a</sup>
	1	22.0±2.2 <sup>a</sup>	26.5±1.4 <sup>b</sup>	37.0±2.5 <sup>a</sup>	41.0±3.0 <sup>a</sup>
	2	20.8±1.2 <sup>a</sup>	28.0±2.1 <sup>c</sup>	35.0±3.0 <sup>a</sup>	41.4±2.1 <sup>a</sup>
	3	20.0±1.8 <sup>a</sup>	31.0±2.5 <sup>a</sup>	33.0±2.5 <sup>a</sup>	43.0±1.5 <sup>b</sup>
Consistency, F-H (RVU)	0	85.0±1.0 <sup>a</sup>	85.0±1.0 <sup>a</sup>	104.0±1.5 <sup>a</sup>	104.0±1.5 <sup>a</sup>
	1	82.0±1.4 <sup>a</sup>	91.0±1.5 <sup>b</sup>	103.0±1.2 <sup>a</sup>	105.8±1.4 <sup>a</sup>
	2	82.8±0.9 <sup>a</sup>	92.0±2.8 <sup>b</sup>	98.0±1.4 <sup>b</sup>	109.1±0.4 <sup>b</sup>
	3	80.0±2.4 <sup>a</sup>	93.0±1.2 <sup>b</sup>	97.0±1.9 <sup>b</sup>	111.0±2.4 <sup>b</sup>
Setback, F-P (RVU)	0	62.0±2.1 <sup>a</sup>	62.0±2.1 <sup>a</sup>	64.0±1.3 <sup>a</sup>	64.0±1.3 <sup>a</sup>
	1	60.0±1.5 <sup>a</sup>	64.5±2.5 <sup>a</sup>	66.0±0.8 <sup>a</sup>	64.8±0.8 <sup>a</sup>
	2	62.0±1.4 <sup>a</sup>	64.0±1.8 <sup>a</sup>	63.0±1.5 <sup>a</sup>	67.7±1.2 <sup>a</sup>
	3	60.0±2.0 <sup>a</sup>	62.0±3.5 <sup>a</sup>	64.0±1.0 <sup>a</sup>	68.0±1.5 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Means in columns with different superscript letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

시기에 전분이 더 많이 축적되는 데에 기인하는 것으로 생각되었다. 그리고 현미(도복, 무도복)의 호화온도는 백미(도복, 무도복)의 호화온도보다 높았는데 이는 현미 호분층의 지질이 amylose 등과 결합하여 호화되기 어렵기 때문이다(37). Mariotti 등(39)은 현미와 백미의 호화양상에서 현미의 호화온도가 백미보다 높았는데, 이는 현미의 겨층이 수분 흡수를 느리게 하고, 가열에 의한 전분의 붕괴를 느리게 하기 때문이라 보고하였다.

도복 현미와 백미의 최대점도(peak viscosity, P), 최저점도(holding strength, H), 최종점도(final viscosity, F), breakdown(P-H), consistency(F-H)는 도복 시간에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이것은 도복 중 효소의 활성 증가(26)로 인해 전분 등 알곡 성분이 부분적으로 분해되는 데에서 기인한다. Kim과 Shin(38)은 발아현미의 최대점도, 최저점도, 최종점도, breakdown, consistency, setback 모두 현미의 경우보다 작은 값을 보였다고 보고하였다. Song 등(22)도 도복미의 최대점도, 최저점도, 최종점도가 무도복미의 경우보다 낮았다고 보고하였다. 다만 setback의 경우는 일정한 경향을 보이지 않았는데, Mariotti 등(39)도 현미와 백미의 setback(F-P)은 일정한 경향을 보이지 않았다고 보고하였다.

이에 반해 무도복 현미와 백미의 최대점도, 최저점도, 최종점도, breakdown, consistency는 모두 시간에 따라 증가하는 경향을

보였다. 이러한 결과는 알곡의 숙성시기에 전분이 더 많이 축적되기 때문이다. 다만 setback의 경우는 일정한 경향을 보이지 않았는데, Mariotti 등(39)도 현미와 백미의 setback은 일정한 경향을 보이지 않았다고 보고하였다. 그리고 현미(도복, 무도복)의 최대점도, 최저점도, 최종점도, breakdown, consistency는 백미(도복, 무도복)의 경우보다 높았는데 이는 현미 호분층의 지질이 amylose 등과 결합하여 있기 때문(37)인 것으로 생각되었다. Mariotti 등(39)도 현미의 겨층이 수분 흡수를 느리게 하고, 가열에 의한 전분의 붕괴를 느리게 한다고 보고하였다. Yoon과 Kim(40)은 현미와 백미의 RVA 호화 특성에 대한 보고에서 도정도가 증가할수록 모든 호화 특성 변수들이 유의적으로 증가하였다고 보고하였다. Mariotti 등(39)도 현미의 최종 점도가 백미보다 낮았다고 보고하였다.

**도복 쌀밥의 텍스처**

Table 4에 도복 현미와 백미, 무도복(정상) 현미와 백미로 지은 밥의 텍스처를 도복 시간에 따라 나타내었다. 도복 현미밥과 백미밥의 경도, 응집성, 검성, 씹음성, 부착성, 탄성은 도복 시간에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 이러한 변화는 Fig 1의 쌀 경도 변화와 관련이 있는 것으로 생각되었으며, 이는 도복 중 증가된

**Table 4. Textural properties of 'Janganbyeo' cooked rice (brown and white), either lodged or non-lodged, with respect to lodging time**

Texture	Lodging time (weeks)	Brown rice		White rice	
		Lodged	Unlodged	Lodged	Unlodged
Hardness (N)	0	3.487±0.104 <sup>a</sup>	3.487±0.104 <sup>a</sup>	1.981±0.028 <sup>a</sup>	1.981±0.028 <sup>a</sup>
	1	2.914±0.136 <sup>b</sup>	3.563±0.125 <sup>a</sup>	1.814±0.137 <sup>ab</sup>	1.999±0.039 <sup>a</sup>
	2	2.567±0.113 <sup>bc</sup>	3.632±0.078 <sup>a</sup>	1.689±0.057 <sup>b</sup>	2.075±0.091 <sup>ab</sup>
	3	2.264±0.113 <sup>c</sup>	3.889±0.195 <sup>a</sup>	1.454±0.12 <sup>b</sup>	2.217±0.072 <sup>b</sup>
Adhesiveness (N)	0	0.077±0.012 <sup>a</sup>	0.077±0.012 <sup>a</sup>	0.191±0.006 <sup>a</sup>	0.191±0.006 <sup>a</sup>
	1	0.022±0.009 <sup>b</sup>	0.056±0.009 <sup>a</sup>	0.149±0.011 <sup>b</sup>	0.172±0.012 <sup>a</sup>
	2	0.018±0.004 <sup>b</sup>	0.050±0.007 <sup>a</sup>	0.113±0.005 <sup>c</sup>	0.159±0.008 <sup>ab</sup>
	3	0.014±0.006 <sup>b</sup>	0.048±0.002 <sup>a</sup>	0.101±0.009 <sup>c</sup>	0.141±0.007 <sup>b</sup>
Cohesiveness	0	0.603±0.015 <sup>a</sup>	0.603±0.015 <sup>a</sup>	0.625±0.002 <sup>a</sup>	0.625±0.002 <sup>a</sup>
	1	0.601±0.013 <sup>a</sup>	0.609±0.014 <sup>ab</sup>	0.617±0.004 <sup>a</sup>	0.638±0.006 <sup>ab</sup>
	2	0.598±0.012 <sup>a</sup>	0.639±0.007 <sup>ab</sup>	0.610±0.015 <sup>a</sup>	0.653±0.012 <sup>ab</sup>
	3	0.594±0.012 <sup>a</sup>	0.649±0.007 <sup>b</sup>	0.604±0.014 <sup>a</sup>	0.658±0.011 <sup>b</sup>
Springiness	0	0.687±0.003 <sup>a</sup>	0.687±0.003 <sup>a</sup>	0.622±0.003 <sup>a</sup>	0.622±0.003 <sup>a</sup>
	1	0.655±0.012 <sup>b</sup>	0.666±0.002 <sup>b</sup>	0.581±0.007 <sup>b</sup>	0.614±0.049 <sup>ab</sup>
	2	0.634±0.001 <sup>b</sup>	0.651±0.015 <sup>b</sup>	0.556±0.008 <sup>b</sup>	0.613±0.002 <sup>b</sup>
	3	0.626±0.006 <sup>b</sup>	0.631±0.010 <sup>b</sup>	0.534±0.025 <sup>b</sup>	0.612±0.026 <sup>b</sup>
Gumminess (N)	0	2.102±0.016 <sup>a</sup>	2.102±0.016 <sup>a</sup>	1.239±0.013 <sup>a</sup>	1.239±0.033 <sup>a</sup>
	1	1.753±0.077 <sup>b</sup>	2.168±0.028 <sup>a</sup>	1.120±0.057 <sup>a</sup>	1.275±0.023 <sup>a</sup>
	2	1.534±0.054 <sup>bc</sup>	2.319±0.153 <sup>a</sup>	1.030±0.086 <sup>ab</sup>	1.355±0.051 <sup>a</sup>
	3	1.345±0.064 <sup>c</sup>	2.520±0.213 <sup>a</sup>	0.878±0.014 <sup>b</sup>	1.459±0.085 <sup>a</sup>
Chewiness (N)	0	1.444±0.020 <sup>a</sup>	1.444±0.020 <sup>a</sup>	0.770±0.030 <sup>a</sup>	0.770±0.030 <sup>a</sup>
	1	1.148±0.055 <sup>b</sup>	1.445±0.030 <sup>a</sup>	0.650±0.040 <sup>ab</sup>	0.783±0.040 <sup>a</sup>
	2	0.973±0.048 <sup>bc</sup>	1.510±0.050 <sup>a</sup>	0.573±0.060 <sup>b</sup>	0.830±0.050 <sup>a</sup>
	3	0.842±0.058 <sup>c</sup>	1.591±0.060 <sup>a</sup>	0.469±0.040 <sup>b</sup>	0.892±0.050 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Means in columns with different superscript letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

효소(26,41)에 의해 전분 등 알곡 성분이 분해되는 것과 관련이 있다고 생각되었다. Song 등(22)도 도복미로 지은 밥의 경도, 응집성, 검성, 씹음성, 탄성이 도복하지 않은 쌀로 지은 밥의 경우보다 낮았다고 보고하였다.

이에 반해 무도복 현미밥과 백미밥의 경도, 응집성, 검성, 씹음성은 시간에 따라 증가하는 경향을 보였는데, 이러한 변화 역시 Fig. 1의 쌀 경도 변화와 관련이 있는 것으로 생각되었으며, 이것은 알곡의 숙성시기에 전분 등의 성분이 더 많이 축적되는 데에 기인하는 것으로 보였다. 다만 부착성과 탄성은 미세하게 감소하는 경향을 보였다. 그리고 현미(도복, 무도복)의 경도, 검성, 씹음성, 탄성은 백미(도복, 무도복)의 경우보다 높았는데, 이는 현미 호분층의 지질이 amylose와 결합하여 호화가 쉽지 않은데다가(37), Mariotti 등(39)이 지적한 것처럼 현미의 겨층 때문에 수분 흡수가 백미에 비해 상대적으로 적고 겨층 자체의 물성이 강하기 때문일 것으로 생각되었다. 검성과 씹음성의 변화 패턴은 응집성보다는 경도에 의해 더 영향을 받았는데, 이는 경도값이 응집성보다 훨씬 크기 때문인 것으로 생각되었다. 다만 응집성과 부착성은 백미가 현미보다 높았는데, 이는 겨층의 제거 여부와 밀접한 관계가 있는 것으로 보였다.

## 요 약

도복 현미와 백미 곡립의 경도는 도복 시간에 따라 감소하였고, 무도복 현미와 백미의 경도는 오히려 증가하였다. 도복 현미

와 백미의 DSC 열적 성질( $T_g$ ,  $T_p$ ,  $T_c$ ,  $\Delta H$ )은 도복 시간에 따라 감소하였고, 무도복 현미와 백미의 경우는 증가하였다. 현미 백미 곡립의 경도와 DSC 열적 성질, 특히  $\Delta H$ 와  $T_p$ 는 밀접한 상관관계를 보였다. 도복 현미와 백미의 RVA 호화 특성(최대점도, 최저점도, 최종점도, breakdown, consistency)은 도복 시간에 따라 감소하였고, 무도복 현미와 백미의 경도는 오히려 증가하였다. 다만 setback의 경우는 일정한 경향을 보이지 않았다. 도복 현미밥과 백미밥의 경도, 응집성, 검성, 씹음성, 부착성, 탄성은 도복 시간에 따라 감소하였고, 무도복 현미밥과 백미밥의 경우는 증가하였다. 다만 응집성과 부착성은 백미가 현미보다 높았다.

## 감사의 글

본 연구는 2009년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음.

## 문 헌

- Kang YS. Wind and flooding damages of rice plants in Korea. Korean J. Crop Sci. Special ed.: 45-65 (1989)
- Yamamoto H, Iwaya K. Influence of typhoon on the paddy rice production in Kyushu and Yamaguchi districts in 2004 and salty wind damage of rice caused by typhoon 0418 (Songda). Japan J. Crop Sci. 75: 535-541 (2006)
- Ju YC, Lim GJ, Han SW, Park HS, Cho YC, Kim SJ. Yield response of rice affected by adverse weather conditions occurred

- in 1999. *Korean J. Agric. Forest Meteorology* 2: 1-8 (2000)
4. Lee MH, Oh YJ, Park RK. Lodging mechanisms and reducing damage of rice plant. *Korean J. Crop Sci. Special ed.*: 383-393 (1991)
  5. Duy PQ, Abe A, Hirano M, Sagawa S, Kuroda E. Analysis of lodging-resistant characteristics of different rice genotype grown under the standard and nitrogen-free basal dressing accompanied with sparse planting density practices. *Plant Prod. Sci.* 7: 243-251 (2004)
  6. Islam MS, Peng S, Visperas RM, Ereful N, Bhuiya MSU, Julfiqar AW. Lodging-related morphological traits of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem. *Field Crop. Res.* 101: 240-248 (2007)
  7. Kashiwagi T, Hirotsu N, Madoka Y, Ookawa T, Ishimaru K. Improvement of resistance to bending-type lodging of rice. *Japan J. Crop Sci.* 76: 1-9 (2007)
  8. Setter TL, Laureles EV, Mazaredo AM. Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions in canopy photosynthesis. *Field Crop. Res.* 49: 95-106 (1997)
  9. Choi SJ. Effects of strong wind at heading stage on glume development and yield components of rice. *Korean J. Crop Sci.* 26: 219-225 (1981)
  10. Oh SH, Kim HH, Choi BJ, Moon CS, Song NH, Roh TH. Influence of lodging at ripening stage on grain appearance and price in rice. *Res. Report RDA (Korea)* 33: 46-50 (1991)
  11. Hong KP, Kim YG, Joung WK, Shon GM, Song GW. Variation in leaf mechanical damage by typhoon among rice cultivars: Effects on yield and rice quality. *Korean J. Crop Sci.* 49: 199-206 (2004)
  12. Kim YJ, Choi SI, So JD. Influence of internode strength of rice plant on the lodging tolerance. *Korean J. Crop Sci.* 28: 94-99 (1983)
  13. Song DS, Kim YJ, Lim JT, Kim JH, Lee SC. Varietal difference in lodging-related characteristics in rice. *Korean J. Crop Sci.* 41: 395-404 (1996)
  14. Kim BK, Choung JL, Lee JK, Shin HT, Lee SY. Relationship between varietal difference of root distribution and root lodging in direct seeded rice on flooded paddy surface. *Korean J. Breed.* 28: 163-170 (1995)
  15. Kang SY, Yang WH. Evaluation of root characteristics related with lodging tolerance using leaf-stem cutting method in rice. *Korean J. Breed.* 30: 361-368 (1998)
  16. Seo YJ, Huh MS, Kim CB, Lee DH, Choi J, Kim CY. Characterization of rice lodging by factor analysis. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34, 173-177 (2001)
  17. Park JS, Lee WW, Ju YC, Kim YH. Field lodging degree of rice varieties according to nitrogen application rate. *Korean J. Crop Sci.* 47: 226-235 (2002)
  18. Cho SY, Choi HC, Park RK, Kim DJ, Ju YC, Jeong YG. A high-quality and lodging-tolerant rice variety adaptable to reclaimed coastal area "Janganbyeo." *Res. Report RDA (Korea)* 33: 17-25 (1991)
  19. Lim JT, Lee H J, Cho KS, Song DS. Analysis of lodging related characteristics in rice plants. *Korean J. Crop Sci.* 37: 78-85 (1992)
  20. Kim JD, Chang JK, Sohn JK, Choi J. Inheritance of lodging tolerance in rice. *Korean J. Breed.* 32: 194-198 (2000)
  21. Shin IC, Song HS, Kim JS, Lee YI. A new high quality and medium maturing rice variety with resistance to disease and lodging "Wonkwangbyeo." *Korean J. Breed.* 33: 52-53 (2001)
  22. Song J, Kim KJ, Son JR, Son YK, Shin JC. Effect of lodging on rice quality. *Korean J. Intl. Agric.* 13: 58-63 (2001)
  23. Jeong EG, Kim KJ, Cheon AR, Lee CK, Kim SL, Brar DS, Son JR. Characterization of grain quality under lodging time and grade at ripening. *Korean J. Crop Sci.* 51: 440-444 (2006)
  24. Hwang TJ, Lee WJ, Shin JC, Lee CW, Kim SS. Changes in the grain quality of rice with respect to the duration of lodging time. *Food Sci. Biotechnol.* 18: 1459-1463 (2009)
  25. Song J, Kim KJ, Son JR, Son YK, Shin JC. Effect of lodging on rice quality. *Korean J. Intl. Agric.* 13: 58-63 (2000)
  26. Hwang TJ, Lee WJ, Shin JC, Lee CW, Kim SS. Changes in enzyme activities of rice with respect to the viviparity and the duration of lodging time. *Food Sci. Biotechnol.* 18: 202-406 (2009)
  27. Zhou Z, Robards K, Helliwell S, Blanchard C. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. *Food Res. Int.* 36: 625-634 (2003)
  28. Vandeputte GE, Vermeylen R, Geeroms J, Delcour JA. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. *J. Cereal Sci.* 38: 43-52 (2003)
  29. Cheng FM, Zhong LJ, Wang F, Zhang GP. Differences in cooking and eating properties between chalky and translucent parts in rice grains. *Food Chem.* 90: 39-46 (2005)
  30. Normand FL, Marshall WE. Differential scanning calorimetry of whole grain milled rice and milled rice flour. *Cereal Chem.* 68: 317-320 (1989)
  31. Kim CE, Sohn JK, Kang MY. Relationship between palatability and physicochemical properties of carbohydrate components in rice endosperm. *Korean J. Crop Sci.* 52: 421-428 (2007)
  32. Liu H, Xie F, Yu L, Chen L, Li L. Thermal processing of starch-based polymers. *Prog. Polym. Sci.* 34: 1348-1368 (2009)
  33. Liu X, Yu L, Liu H, Chen L, Li L. In situ thermal decomposition of starch with constant moisture in a sealed system. *Polym. Degrad. Stabil.* 93: 260-262 (2008)
  34. Farhat IA, Blanshard JMV. On the extrapolation of the melting temperature of dry starch from starch-water data using the Flory-Huggins equation. *Carbohydr. Polym.* 34: 263-265 (1997)
  35. Sablani SS, Bruno L, Kasapis S, Simaladevi RM. Thermal transitions of rice: Development of a state diagram. *J. Food Eng.* 90: 110-118 (2009)
  36. Lina CA, An TC, Tsai HC, Tung CC, Wu YC. The possibility of preparing pseudo-thermoplastic starch. Available from: <http://dspace.lib.fcu.edu.tw/bitstream/2377/3933/1/ce05atc902007000056.pdf> Asian Textile Conference-9 at Feng China University, Taiwan (2007)
  37. Derycke V, Vandeputte GE, Vermeylen R, De Man W, Goderis B, Koch MHJ, Delcour JA. Starch gelatinization and amylose-lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. *J. Cereal Sci.* 42: 334-343 (2005)
  38. Kim MH, Shin MS. Properties of flours prepared from steamed brown rice after soaking and sprouting and wheat flour mixtures with them. *Food Sci. Biotechnol.* 12: 36-42 (2003)
  39. Mariotti M, Sinelli N, Catenacci F, Pagani MA, Lucisano M. Retrogradation behaviour of milled and brown rice pastes during ageing. *J. Cereal Sci.* 49: 171-177 (2009)
  40. Yoon SH, Kim SK. Physicochemical properties of rice differing in milling degrees. *Food Sci. Biotechnol.* 13: 57-62 (2004)
  41. Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J. Crop Sci.* 46: 221-228 (2001)