

쌀의 함수량 측정 및 측정법에 따른 정확도의 비교

정명수

연세대학교 패키징학과 · 연세대학교 생리활성소재연구소

Measurement of Moisture Content of Rice and Comparison of Its Accuracy among Methods

Myong-Soo Chung

Department of Packaging, Yonsei University
Institute of Functional Biomaterials and Biotechnology, Yonsei University

Abstract

Moisture content of rice was measured by using conventional standard oven drying method (135°C, 24 hrs) and two commercial instruments applying principles of electrical resistance and near-infrared (NIR) wavelength. Low field pulsed ¹H Nuclear magnetic resonance (NMR) technique was also used for measuring moisture content of rice and its feasibility as a new tool was examined. Comparing and analyzing data for 14 kinds of rice having different moisture content each other, it was confirmed that NMR could be a very fast and accurate tool for monitoring and managing moisture content of rice during distribution and storage.

Key words: moisture content, rice, oven drying method, electrical resistance, NIR, NMR

서 론

쌀의 함수량(moisture content)은 곡물의 성숙도나 품질을 결정하는 척도가 된다. 따라서, 함수량은 정확하게 측정해야 하고, 또한 함수량을 측정하기 위하여 시료를 얻을 때는 전체를 대표할 수 있도록 여러 곳에서 무작위로 채취하여야 하며, 이와 같이 얻어진 시료는 밀폐된 용기에 넣어 측정이 끝날 때까지 잘 보관하여야 한다. 함수량은 일반적으로 습량기준(wet basis) 함수량과 건량기준(dry basis) 함수량의 두 가지로 표시하는데(Karmas, 1980), 만일 각각의 함수량이 20%, 25%라면 습량기준함수량은 20%(wb), 건량기준함수량은 25%(db)로 나타낸다. 일반적으로 습량기준함수량은 상업용으로, 건량기준함수량은 학술용으로 사용된다.

숙련된 사람은 낱알을 이로 씹어 보아 함수율을 추정할 수 있다. 그러나 다량의 곡물을 안전하게 저장하고 원료로 사용하기 위해 대량으로 입고되는 쌀의 품질을 측정하기 위해서는 보다 개관적이고 정확한 측정 방법이 필요하다. 물질의 함수율을 측정하는 방법에는 1차적인 방법(직접적인 방법)과 2차적인 방법(간접적인 방법)이 있다. 직접적인 방법은 연구원들이 고도로 정확한 함수율을 측정할 때 사용하는 방법으로서 이 방법에 의하여 얻어진 측정값은 간접적인 방법으로 얻어진 값을 점검하는 기준이 된다. 하지만 직접적인 방법은 번거롭고 많은 시간이 소요되기 때문에 공장이나 저장소와 같은 현장에서는 사용하기 힘들고 정확도는 다소 떨어지지만 전기적인 원리를 이용한 간접측정법을 사용하는 것이 일반적이다. 직접적인 함수율 측정방법(AOAC, 1990; Isengard, 1995; Labuza *et al.*, 1970; Lillford, 1988; Ollett *et al.*, 1993)에는 오븐 건조법과 증류법이 있는 최근에는 증류법은 거의 사용되지 않고 오븐건조법이 표준 방법으로 일반적으로 사용된다. 이 방법은 시료를 오븐에 넣어 완

Corresponding author: Myong-Soo Chung, Food Science and Technology, Ewha Women's University, Daehyun-dong, Seoul, Korea
Phone: 02-3277-4508, Fax: 02-3277-4508,
E-mail: mschung@ewha.ac.kr

전히 말린 다음 건조 전후의 무게를 재어 함수율을 계산하는 방법으로서, 쌀의 경우에는 시료 약 5 g 을 분쇄하여 105°C에서 5시간 건조시키는 방법과 분쇄하지 않은 상태로 약 10 g의 시료를 135°C에서 24시간 건조시키는 방법이 있는데 후자가 일반적으로 널리 이용된다. 간접적인 함수율 측정방법은 함수율에 따라 변화하는 물질의 역학적, 전기적, 열적 성질을 이용하는 것으로서 전기저항법(Ablett와 Lillford, 1991; Isengard, 1995; Karmas, 1980), 유전법 (Iglesias와 Chirife, 1982; Iglesias *et al.*, 1979; Isengard, 1995; Karmas, 1980) 등이 있다. 전기저항법(electrical resistance method)은 함수율에 따라 전기저항이나 전기전도성이 달라지는 원리를 이용한 것이다. 만능수분측정계(universal moisture meter)와 현재 일본에서 개발되어 사용되고 있는 단립수분계는 직류저항을 이용한 것이며 나타내는 눈금은 습량기준이다. 유전법은 곡물의 유전성질(dielectric properties)을 이용하는 방법으로서 보통 2개의 콘덴서(condenser)판 사이에 시료를 넣고 정전용량(capacitance)을 측정한다. 이때 정전용량은 곡물의 함수율, 다짐정도 및 온도에 따라 변한다. 습한 물질은 유전상수가 높고, 이와 반대로 건조된 물질은 이 값이 낮다. 이 방법은 비교적 넓은 범위(8~40%)의 함수율을 측정할 수 있다. Steinlite moisture meter는 이 원리를 이용한 함수율 측정기이다. 그 이외에 NIR(near-infrared)의 원리를 이용하여(Isengard, 1995; Karmas, 1980) 쌀의 함수율을 측정하기 위해 일본에서 개발된 식미계도 최근에 널리 이용되고 있다.

NMR을 이용하여 식품 내에 포함된 수분을 측정하는 방법은 최근에 미국과 유럽을 중심으로 간편성과 정확성을 앞세워 새로이 도입되고 있는 기술이다 (Nanassy, 1973; Richardson and Steinberg, 1987; Ruan와 Chen, 1998; Sharp *et al.*, 1979; Tanner *et al.*, 1991; Tanner *et al.*, 1987). 이 방법의 원리를 간단히 설명하면 다음과 같다. 먼저, 물 분자는 수소와 산소로 구성되어 있으므로 어떤 물질에 포함되어 있는 수소나 산소의 양을 선택적으로 정확하게 detection할 수 있다면 그물질에 포함되어 있는 물의 양, 즉 수분함량을 유추해 낼 수 있다. NMR에 의해 측정되는 NMR intensity는 물질에 포함된 수소분자의 양에 정확하게 비례하기 때문에 어떤 물질의 NMR intensity를 측정하게 되면 수분함량을 결정할 수 있다. 물론 수소분자는 수분

뿐만 아니라 탄수화물, 지방, 단백질 등 식품의 다른 성분에도 포함되어 있기 때문에 수소분자의 양을 총체적으로 측정하게 되면 어떤 성분으로부터 그 양이 기인한 것인지 판단할 수 없을 것이라고 생각할 수도 있을 것이다. 하지만, NMR은 내부의 parameters나 적용되는 pulse sequence를 적절하게 설정함으로써 특정 성분으로부터 기인된 수소분자의 양을 선택적으로 detection할 수 있는 성질을 가지고 있기 때문에 이 점을 염려할 필요는 없다. 다만, 어떤 경우에는 측정된 수소분자의 유래가 모호한 경우가 있다. 예를 들어, 일반적으로 수분은 크게 식품의 기질과 강하게 결합되어 있는 결합수와 그렇지 않은 자유수로 나눌 수 있는데, 결합수로부터 유래한 수소분자와 탄수화물로부터 유래한 수소분자의 구분이 쉽지 않을 수 있는데 이런 예가 그러한 경우에 해당된다. 그러므로, NMR을 이용하여 식품의 수분함량을 측정한다는 말은 절대치를 측정한다기 보다는 상대치를 측정한다는 말이 옳은 표현이다. 즉, 미리 표준방법에 의해 매우 정확하게 측정된 표준시료를 이용하여 표준곡선(standard curve)을 작성하는 것이 필수적인데 이 표준곡선을 얼마나 정확하게 작성해 두었느냐에 따라서 이 분석법의 정확도가 결정된다고 해도 과언이 아닐 것이다. 표준곡선이 극도로 정확하게 작성되었다고 가정하면 NMR은 다른 어떤 간접 측정법보다도 수분함량을 정확히 측정할 수 있는 방법이다. 또 한가지 언급해야 것은 어떤 식품이나 원료에 대한 표준곡선은 그 식품이나 원료만을 이용하여 작성된 것이므로 다른 물질의 수분함량 측정 시에는 사용할 수 없다는 사실이다. 따라서, 예를 들어, 보리의 수분함량을 측정하는 데는 쌀에 대해서 작성된 표준곡선을 사용할 수 없고 오직 쌀의 수분함량만을 측정하는 데만 사용할 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이 쌀의 수분함량은 쌀의 품질을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 쌀의 수분함량을 측정하는 표준 방법은 오븐건조법(135°C/24시간)인데, 정확한 측정법이기는 하지만 경우에는 따라서는 분쇄해야 하는 전처리 과정이 번거롭고 시간이 너무 오래 소요되는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 NMR technique을 이용하여 전처리 과정 없이 매우 빠르고 정확하게 쌀의 수분함량을 측정하는 방법을 개발함으로써 상업적인 쌀관련 제품(밥류, 죽류, 떡류 등)의 원료 품질관리에 적용하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료 및 기존의 방법에 의한 수분함량 측정

제천농협, 강화농협, 농소농협, 풍산농협, 이리농협, 송탄농협 등 전국의 각 RPC(미곡종합처리장) 공장으로 제공 받은 쌀의 수분함량을 오븐건조법(AOAC, 1990), 단립수분계(SHIZUOKA SEIKI, CTR-800E, Japan), 식미계(KETT, AN-800, Japan) 등을 이용하여 5회씩 측정하여 평균값을 구하였다. 오븐건조법의 온도 및 시간 조건은 일본농업기계학회에서 미분쇄 곡물시료에 대하여 표준 조건으로 정한 135°C, 24시간이었으며, 시료의 양은 10±0.1 g 이었다(穀物の水分測定方法の基準, 1975).

된 표준 시료들을 low field pulsed ¹H NMR(Bruker minispec mq20, Germany)에 내장된 mois_a_v, mois_n_v, mois_norm 등의 NMR application을 이용하여 표준곡선(standard curve)을 작성한 후 작성된 표준곡선을 이용하여 14종류의 쌀 시료들에 대한 수분함량을 constant temperature block에서 25°C로 30분 정도 tempering한 후 NMR로 10회 측정하여 평균값을 구하였다. 사용된 NMR application은 모두 단일 90°주파 펄스(single 90° one-pulse sequence)이었으며(Ruan and Chen, 1998), 변수(parameter)의 설정값은 application에 따라 다소 차이가 있었다.

결과 및 고찰

NMR 실험

표준방법인 오븐건조법에 의해 수분함량이 측정

Table 1에 각 시료에 대해 여러 가지 방법으로 측정된 쌀의 수분함량을 나타내었다. 이 표를 살펴보

Table 1. Moisture content of rice and its accuracy according to measuring apparatuses

Sample no.	Oven drying method* (135°C / 24 hr)		Moisture analyzer for individual kernel (SHIZUOKA SEIKI, CTR-800E)	Rice analyzer (KETT, AN-800)	NMR analyzer (Bruker, minispec mq20)
	Before calibration	After calibration			
J-1	17.47	16.37	15.20 (7.15%)	15.40 (5.93%)	16.06 (1.89%)
K-1	17.05	15.95	14.83 (7.02%)	15.10 (5.33%)	15.87 (0.50%)
N-1	16.55	15.44	14.97 (3.04%)	14.80 (4.15%)	15.60 (1.03%)
N-2	16.78	15.67	14.60 (6.83%)	15.20 (3.00%)	15.36 (1.98%)
P-1	18.28	17.19	15.65 (8.96%)	16.10 (6.34%)	16.99 (1.16%)
I-1	16.53	15.42	14.82 (3.89%)	15.30 (0.78%)	15.58 (1.04%)
I-2	16.74	15.63	14.87 (4.86%)	15.50 (0.83%)	15.71 (0.51%)
I-3	16.60	15.49	14.87 (4.00%)	15.40 (0.58%)	15.45 (0.26%)
I-4	16.73	15.62	14.80 (5.25%)	15.30 (2.05%)	15.75 (0.83%)
I-5	16.74	15.63	14.87 (4.86%)	15.40 (1.47%)	15.67 (0.26%)
I-6	16.81	15.70	14.95 (4.78%)	15.50 (1.27%)	15.55 (0.96%)
I-7	16.78	15.67	14.87 (5.11%)	15.40 (1.75%)	15.87 (1.27%)
S-1	16.21	15.10	14.27 (5.50%)	14.50 (3.97%)	15.01 (0.60%)
S-2	15.54	14.42	13.25 (8.11%)	13.30 (7.77%)	14.56 (0.97%)

*Formula for calibration: 100 - 1.0133 ¥ (100 - measuring value) (穀物の水分測定方法の基準, 1975).

**Values in parenthesis are errors compared with those measured by the oven drying method.

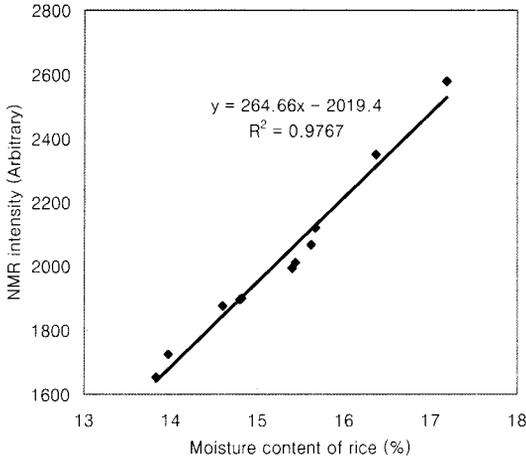


Fig. 1. Standard curve for moisture content of rice prepared by NMR technique. Standard errors of calibration for intercept and slope are 208.2 ($P < 0.0001$) and 13.63 ($P < 0.0001$), respectively.

면 단립수분계나 식미계에 의하여 측정된 값들을 표준방법인 오븐건조법에 의하여 측정된 값들과 비교하였을 때 단립수분계는 3~9%, 식미계는 1~8% 정도의 편차를 보임을 알 수 있었다. 한 개의 시료를 측정하는데 소요되는 시간은 단립수분계가 약 1분, 식미계가 약 2분 가량 소요되므로 두 방법이 모두 신속성을 가지지만 결과에서 나타난 바와 같이 정확도는 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 하지만, 단립수분계의 경우에는 각각의 낱알이 가지는 수분함량을 측정한 후 전체 시료의 수분분포를 알 수 있는 장점이 있고, 식미계의 경우에는 수분함량 이외에도 쌀에 포함된 단백질 및 아밀로오스 함량을 동시에 측정하여 품질평가치를 산출해 낼 수 있는 장점이 있다.

쌀의 수분함량을 측정하기 위해 본 연구에 사용된 NMR application 중 mois_n_v가 가장 적합하였으며 작성된 표준곡선은 Fig. 1과 같다. 앞서 언급한 바와 같이 이 그림의 y축에 나타난 NMR intensity는 시료에 존재하는 수소분자의 양에 비례한다. 이 표준곡선을 이용하여 14 종류의 시료에 대하여 NMR로 측정된 값을 오븐건조법에 의하여 측정된 값과 비교하였을 때 측정오차가 $\pm 2\%$ 이내로서 다른 방법들에 비해 정확도가 높음을 확인할 수 있었고 (Table 1), Fig. 2에서 보는 바와 같이 두 가지 방법간에 충분한 상관성을 가짐을 알 수 있었다. 결론적으로 쌀의 품질을 결정하는 가장 중요한 요인 중의 하나인 수분함량을 측정하는데 있어 앞서 언급한 단립수분계 및 식미계의 장점과 더불어 NMR

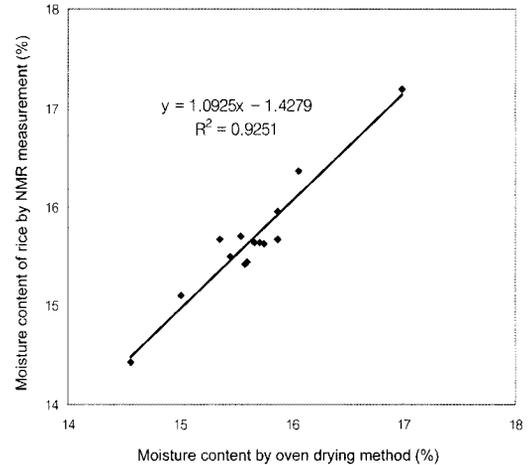


Fig. 2. Moisture content of rice measured by NMR technique compared with that by standard oven drying method. Standard errors of calibration for intercept and slope are 1.41 ($P = 0.3295$) and 0.0898 ($P < 0.0001$), respectively.

technique에 의한 신속성과 정확성을 적절하게 활용함으로써 상업적인 쌀 관련 제품에 대한 보다 효율적인 원료품질관리가 가능하리라 사료된다.

요 약

쌀의 수분 관리는 공정한 상거래뿐 아니라 품질 관리 면에서 필요하다. 국내 쌀시장 개방 확대와 쌀의 질 향상 추세에 맞춰 고품질 쌀을 통한 경쟁력 확보 및 국내 쌀산업의 보호를 위해서는 체계적인 수분측정의 관리가 필요하며 이는 일원화된 국가적 수분측정 표준체계를 확립함으로써 가능하다. 이러한 체계 구축에 일조하고자 본 연구에서는 식품연구에 있어 비교적 새로운 기술인 NMR technique을 이용하여 쌀의 수분함량을 신속하고 (5초 이내), 정확하게 (측정치의 $\pm 2\%$ 이내) 측정할 수 있는 방법을 개발하였고, 이를 기존의 수분함량 측정법 (오븐건조법, 단립수분계, 식미계 등)과 더불어 쌀 관련 제품의 원료품질관리방법의 하나로서 활용 가능성을 확인하였다.

참고문헌

- Ablett, S. and P. Lillford. 1991. Water in foods. *Chem. Britain* **27**: 1024-1026
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC,

USA

- Iglesias, H.A. and J. Chirife. 1982. *Handbook of food isotherms: water sorption parameters for food and food components*. Academic Press, New York, USA
- Iglesias, H.A., P. Viollaz and J. Chirife. 1979. A technique for predicting moisture transfer in mixtures of packaged dehydrated foods. *J. Food Technol.* **14**: 89-97
- Isengard, H.D. 1995. Rapid water determination in food-stuffs. *Trends in Food Sci. & Technol.* **6**: 155-162
- Karmas, E. 1980. Techniques for measurement of moisture content of foods. *Food Technol.* **34**: 52-57
- Labuza, T.P., Tannenbaum, S.R. and Karel, M. 1970. Water content and stability of low-moisture and intermediate-moisture foods. *Food Technol.* **24**: 543-550
- Lillford, P.J. 1988. The Polymer/Water Relationship - Its Importance for Food Structure. In *Food Structure - Its Variation and Evaluation*. Blanshard, J.M.V., and J.R. Mitchell (ed.). Academic Press, London, England. pp. 1-12
- Nanassy, A.J. 1973. Use of wide line NMR for measurement of moisture content in wood. *Wood Sci.* **5**: 187-193
- Ollett, A.L., A.R. Kirby, S.A. Clark, R. Parker, and A.C. Smith. 1993. The effect of water content on the compaction behavior of potato starch. *Starke.* **45**: 51-55
- Richardson, S.J. and M.P. Steinberg. 1987. Application of nuclear magnetic resonance. In *Water Activity: Theory and Applications to Food*. Rockland, L.B. and L.R. Beuchat (ed.). Marcel Dekker, New York, USA. pp. 235-285.
- Ruan, R.R. and P.L. Chen. 1998. *Water in Foods and Biological Materials: A Nuclear Magnetic Resonance Approach*. Technomic Pub. Co. Lancaster, PA, USA
- Sharp, A.R., M.T. Riggan, and R. Kaiser, 1979. Determination of moisture content of wood by pulsed nuclear magnetic resonance. *Wood and Fiber.* **10**: 74-81.
- Tanner, S. F., B. P. Hills and R. Parker. 1991. Interactions of Sorbed water with starch studied using proton NMR Spectroscopy. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* **87**: 2613-2621
- Tanner, S.F., S.G. Ring, M.A. Wittam, and P.S. Belton. 1987. High resolution solid state C13 NMR study of some alpha-(1-4)-linked glucans: The influence of water on structure and spectra. *Int. J. Biol. Macromol.* **9**: 219-224
- 穀物の水分測定方法の基準. 1975. 日本農業機械學會, Toyo, Japan