

Observation for drying non-uniformity of allium vegetables using NIR spectroscopy

Hyeong Ho Cho, Seon Mi Lee, Sang Wook Park, Rae Kwang Cho*
Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

근적외 분광법을 이용한 양념 야채의 건조 불균일성 관찰

조형호 · 이선미 · 박상욱 · 조래광*
경북대학교 응용생명과학부

Abstract

In this study, near-infrared spectroscopy was used to observe the drying non-uniformity of vegetables such as spring onions, onions, and garlic, which are commonly used for seasoning. For the warm-air convection drying method, the vegetables showed drying non-uniformity, which is due to the unevenness of the wind temperature and humidity depending on the height and position of the drying tray. The second derivative spectra between the vegetable samples with different drying degrees were compared. The peak at around 1,390-1,400 nm, which is assigned to weak hydrogen bonds of water, was changed during drying whereas the peak near 1,420 nm, which represents strong hydrogen (H-) bonds of water, was not changed, indicating that water with weak H-bonds evaporates first during drying, and that water with strong H-bonds remains after drying. The hyperspectral NIR imaging technique combined with principal-component analysis made it possible to discriminate the dried vegetables according to their drying degree.

Key words : near infrared spectroscopy, allium vegetables, water contents, drying

서 론

1980년대부터 농산물을 건조하는 방식에 관한 연구가 활발하게 진행되어 왔으나 현재까지 농수축산물을 건조할 수 있는 다양성이 높고 합리적인 가격대를 가지며 고품질의 건조 결과를 기대할 수 있는 연구 성과는 미비한 상황이다(1,2). 파(*Allium fistulosum* L.), 마늘(*Allium sativum* L.), 양파(*Allium cepa* L.)는 대표적인 양념채소류로 수급량이나 작황에 따라 가격 등락이 매우 커 소비자의 부담이 가중되고 물가에 영향을 미치므로 농산물 유통 당국에서 가격 안정을 위해 특별 대상이 되고 있는 식자재이다(3). 일반 농산물의 건조에 쓰이고 있는 기존의 열풍건조 장치는 건조 후 양념채소류 특유의 맛, 냄새 및 조직감을 잃기 때문에 적합하지

못하고 동결건조의 경우 값 싼 양념채소류 건조기술로서는 장치 비용이 비싸므로 경제적 관점에서 거의 채택할 수 없는 형편이며 생 양념류 특유의 쏘는 맛과 찌르는 향, 조리 시 흡수 복원되는 조직감을 간직할 수 있으면서도 경제적으로 도입 가능한 양념채소류 건조 장치의 개발이 요구되고 있다(4). 채소류의 건조와 관련해서는 현재까지 동결건조, 열풍건조, 냉풍건조 방법으로 건조한 제품의 품질에 대해 보고되고 있으나(5-11) 수분 함량이 많은 양념채소를 세절하여 열풍건조 할 경우 발생하는 세포손상 및 건조 종료 시간의 불균일 등으로 인한 품질열화를 해결키 위한 연구는 부족한 실정이다. 또한 양념채소류는 재료의 특성상 원상태가 아닌 절단된 형태로 건조되는 경우가 많기에 절단 과정 중 모양 및 두께가 불균일하여 건조 제품의 품질이 고르지 못하게 되는 경우가 발생하므로 이를 위한 기술적인 해결방안이 요구되는 상황이다(12). 기존의 근적외 분광분석법(13-17)에서는 시료의 특정 부위, 즉 직경 약 5 mm 한 부분에 대해서만 광학 데이터를 측정하고 있는데 본 연구에서는 근적외 분광분석법과 더불어 평면시료의 부위별 성분분포의 차이를 보다 입체적으로 상세하게 표현하기

*Corresponding author. E-mail : rkcho@knu.ac.kr
Phone : 82-53-950-5719, Fax : 82-53-953-7233
Copyright © Korean Journal of Food Preservation. All rights reserved.

위해서 초분광 근적외 이미징 기법(hyper spectral NIR imaging technique)(18,19)을 이용하여 불균일한 건조를 쉽게 판별하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용한 마늘, 양파, 파는 경상북도 인근에서 수확된 것으로 외관 상태와 모양이 양호한 시료의 잎 부분과 줄기, 뿌리 부분을 분리하여 시료로 사용하였다.

시료의 전처리

마늘은 상용 마늘절단기(SY-9607, Shin Young, Goyang-si, Korea)를 이용하여 4 mm 두께로 절단하였으며, 양파는 식품절단기(SRC-80, Samwoo, Daegu, Korea)로 4 mm 두께로 절단하였고, 파는 식칼과 도마를 이용하여 파의 잎, 줄기, 뿌리를 길이 2 cm 씩 세부분으로 절단하였다.

건조

대류식 온풍건조기(LD-918, L'EQUIP, Hwaseong-si, Korea)를 이용하여 양념채소류를 40°C, 50°C, 60°C, 70°C에서 건조하였다. 대류식 온풍건조기의 건조방식은 기기 하단부의 팬에서 열풍이 상승하여 순환하는 방식으로 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 트레이는 총 5단으로 각 트레이의 크기는 가로 28 cm 세로 48 cm 높이 3 cm 이었고 하단부의 1번 트레이는 팬에서부터 약 1 cm 떨어져 있었으며 2번, 3번, 4번, 5번 트레이는 각각 3 cm씩 떨어져 있었다. 건조 중 온도와 습도는 간이 온습도 측정기(HTC-1, Zeus, China)를 사용하여 측정하였다.

근적외 스펙트럼 측정 및 해석

양념채소류의 근적외 스펙트럼 측정을 위해 확산 반사 방식의 근적외 분광분석기(MPA, Bruker Optics, Ettlingen, Germany)를 사용하여 700 nm에서 2,500 nm 까지 근적외

스펙트럼 데이터를 취득하였다. NIR 이미지를 얻기 위한 초분광 근적외 영상 시스템(hyper spectral NIR imaging system)은 Fig. 2와 같다. NIR imaging 카메라(N17E, ImSpector, Oulu, Finland)는 900~1,700 nm의 측정과장에서 5 nm의 해상도와 폭 30 μ m의 slit을 가지며 하단부의 초평모터를 이용하여 sample loader에 놓인 시료가 일정한 간격으로 이동되는 동안 라인스캔 방식으로 영상이 촬영된다. 측정된 시료의 영상에서 스펙트럼을 획득하고 다변량 통계 소프트웨어(The unscrambler 9.8, CAMO, Oslo, Norway)를 사용하여 미분처리, 주성분분석(principal component analysis, PCA) 등을 통해 스펙트럼 데이터를 해석하였다.

결과 및 고찰

건조 위치에 따른 파의 건조 상태 차이 조사 결과

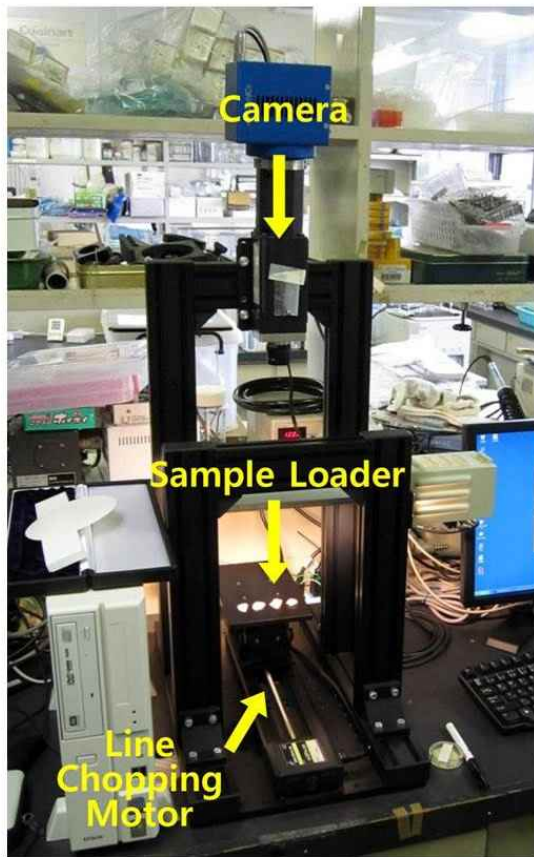
세절된 파를 재료로 하여 대류식 온풍건조기의 건조 위치에 따른 습도와 수분감소 정도를 조사한 결과 열풍을 발생하는 팬에 가장 가까운 첫 번째 트레이가 열원에서 가장 먼 상단에 있는 다섯 번째 트레이에 비하여 빠르게 건조되었다. 동일 건조 시간대에 트레이 위치에 따른 온도와 습도를 비교한 결과는 Table 1에서와 같이 트레이 위치가 열풍 팬에서 멀어질수록 설정된 온도보다 약 7~8°C 낮았으며 건조되면서 파에서 증발된 수증기가 트레이 안에 갇혀짐으로 인해 습도가 높아진 것도 확인되었다. 즉 건조 트레이의 위치, 거리에 따라 건조속도가 다르기 때문에 품질이 일정치 않았었는데, 건조된 파의 품질을 매운 냄새, 맛, 색깔로 나누어 각각 최소 0점에서 최대 10점까지 관능검사 결과 매운 냄새는 5.8±1.9점, 맛은 6.6±2.2점, 색깔은 7.8±1.3점으로 평가되었으며 건조장치의 부위 차이에 따라 품질이 균일치 못함을 의미한다고 생각한다. 이 결과로부터 건조 양념채소류를 제조함에 있어서 건조기의 부위에 따라 발생하는 건조도 차이를 신속하게 파악하여 과잉건조되거나 불완전 건조된 제품이 포장, 유통되는 과정 중에 변질되는 사고를 줄이기 위한 연구가 필요하다고 판단되었다.

건조 정도가 다른 양념채소류의 근적외 스펙트럼 관찰 결과

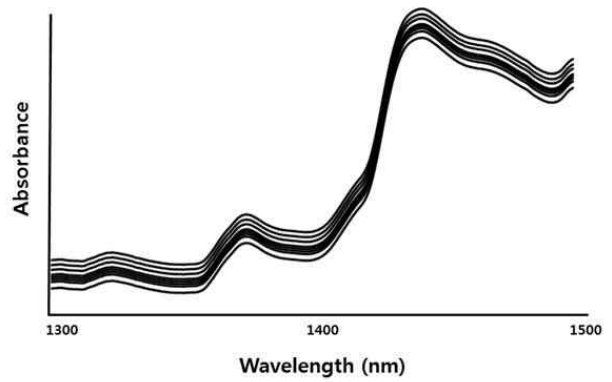
대류식 온풍건조기에서 양념채소류의 건조가 진행되고 있는 동안 건조도가 서로 다른 시료를 채취하고 각각의 근적외 스펙트럼을 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 파와 양파는 비슷한 근적외 스펙트럼 패턴을 보인 반면 마늘의 경우 파와 양파에 비해 단백질, 당질 등의 고형분이 많이 함유되어 있어서 건조 전후에 큰 차이를 보이지 않았다(20). 양파의 근적외 스펙트럼에 있어서 수분 30%인 건조 양파가 추가로 건조되어짐에 따라 수분의 OH기에 기인하는 980 nm, 1,400 nm, 1,900 nm 주변의 흡수봉우리가 약해지면서 상대적으로 수분 이외의 성분에 유래되는 피크들이 드러남이 관찰되었다.



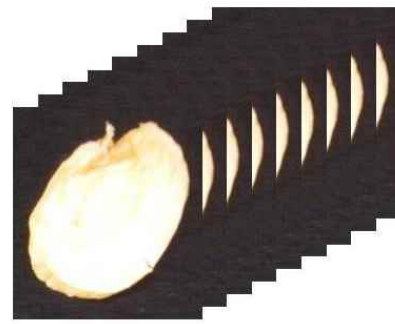
Fig. 1. Schematic diagram of warm-air convection drying equipment



(a) Hyper spectral NIR imaging system



(c) Spectrum acquisition



(b) Hyper spectral image

Fig. 2. Spectrum measurement of garlic slice using hyper spectral NIR imaging system

Table 1. States of temperature, humidity and weight loss of spring onion during dehydration process using warm air convection drying method

Tray	Time (hr)	Temperature (°C)	Humidity (%)	Weight loss (%)
1	1	35.0	88	24.61
	3	36.0	76	38.46
	5	39.2	54	46.59
2	1	32.4	92	22.21
	3	35.1	87	34.77
	5	38.3	71	42.18
3	1	30.1	95	16.08
	3	34.6	89	34.25
	5	37.2	76	43.24
4	1	27.8	99	12.65
	3	30.1	92	32.68
	5	32.5	88	43.65
5	1	25.6	99	9.34
	3	27.3	96	26.78
	5	31.1	93	36.63

건조정도가 다른 양념채소류의 2차 미분 근적외 스펙트럼 관찰 결과

이러한 건조과정 중의 수분이 감소되는 현상을 보다 명확하게 해석하기 위해 원 스펙트럼을 2차 미분 변환 처리하였다. 2차 미분 스펙트럼에서는 피크가 아래로 돌출 될수록 흡수가 강함을 의미하며 각각의 정보에 대한 흡수차이를 원 스펙트럼보다 정확하게 알 수 있다. 일반적으로 1,400~1,450 nm와 1,900~1,950 nm에서의 흡수는 수분의 OH기에 유래한 것으로 1,900 nm 부근에서는 곡물 등의 수분을 비파괴 분석하는데 사용되고 있고 특히 1,400 nm 전후의 대역은 물의 수소결합에 대한 정보가 잘 나타나는 부분이기 때문에 건조정도가 다른 시료의 수분 정도를 구체적으로 관찰하였다(21-23). 생체 내에는 수소결합이 약한 S₀, S₁, S₂의 순서로 물이 존재하는데 건조 초기에 감소되는 물은 거의 S₀ 형태로 존재하며 분자간의 수소결합이 약하여 수분 증발이 비교적 쉽게 일어나 건조가 빠르게 진행된다(24,25). 파와 양파의 건조에 있어서는 생 시료에서 수분 함량이 90%나 되어 수분 30% 정도로 건조시킨 것과 Y축 차이가 크게 차이나기에 Fig. 4에 한 번에 나타내지는 못하였으나 수분 30%에

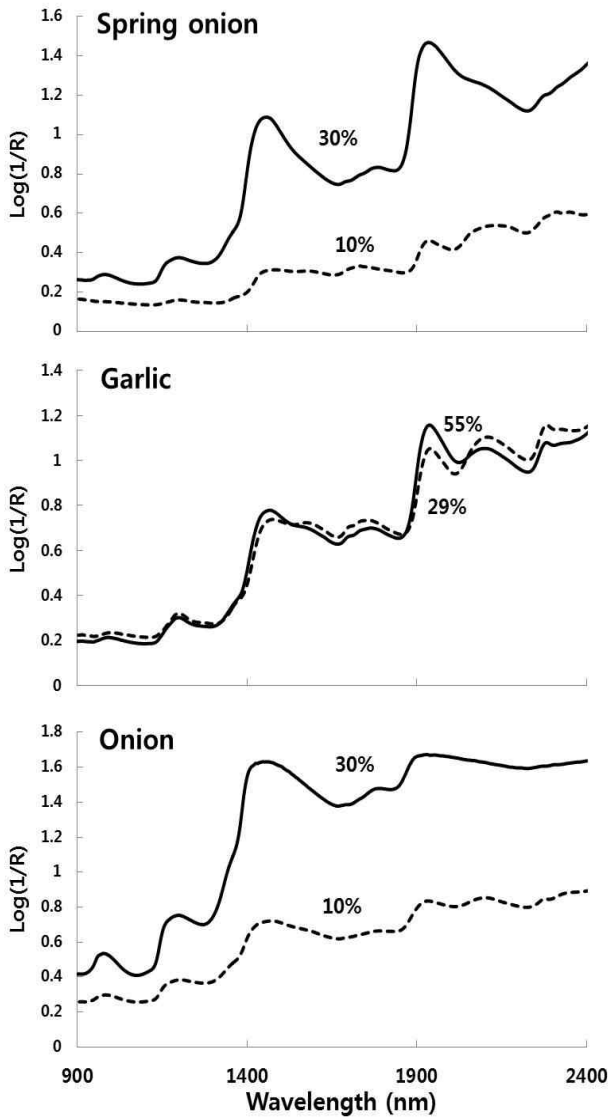


Fig. 3. Near infrared spectra of spring onion, garlic and onion dried using warm air convection drying method

이를 때 까지 거의 S_0 형태의 물이 감소되는 것을 1,390 nm 부근에서 관찰할 수 있었다. 이어서 수소결합 강도가 중간 정도인 물은 S_1 으로 분류되어 1,410 nm 부근에 흡수피크가 관찰되는데 주로 파나 양파 등의 친수성 물질과 수소결합한 물인 것으로 추정된다. S_1 은 S_0 수분에 비해 건조속도가 상대적으로 느리며 파와 양파의 경우 수분 20%에 이르는 건조과정에서 관찰할 수 있었다. 건조 종료단계에 해당하는 수분 10% 부근에 이르는 동안에는 비교적 수소결합이 약하게 결합된 S_0 및 S_1 상태의 수분에 비해 섬유소, 당질, 단백질 등 수용성 물질의 하이드록시기 또는 아미노기와 밀착된 거리에서 강하게 수소결합 하고 있는 S_2 상태의 수분이 1,420 nm 이하의 영역에서 관찰되었다고 생각한다. 마늘의 경우에는 그 형상이 절단면을 가지는 건조체라는 것과 수분함량이 파, 양파에 비해 훨씬 적고, 상대적으로

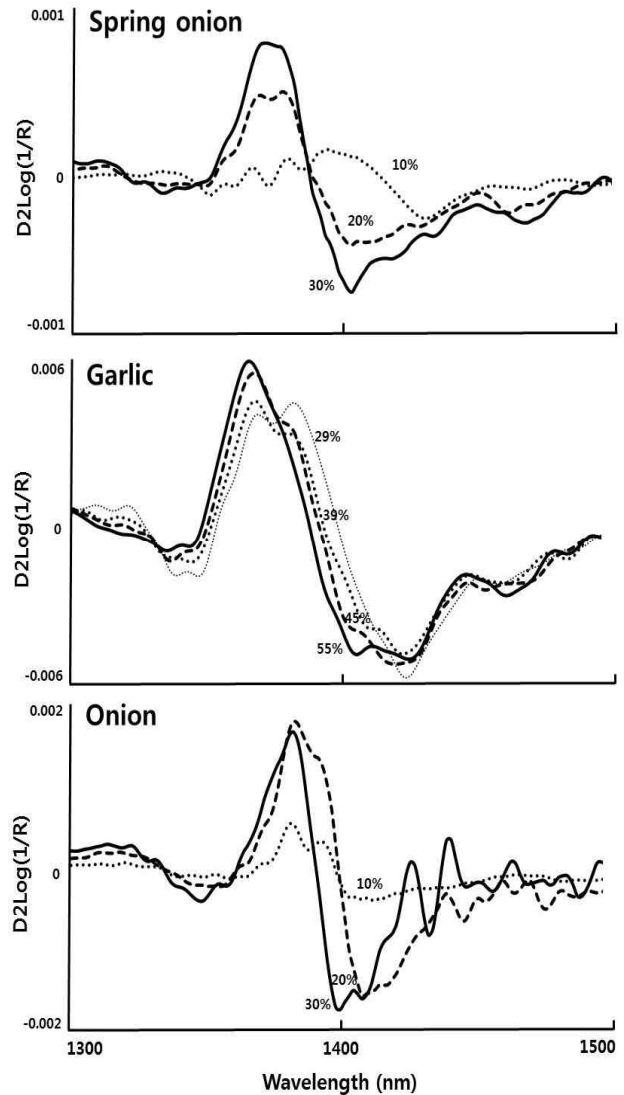


Fig. 4. Second derivatives of near infrared spectra of spring onion, garlic and onion with different moisture content

친수성 고형분의 함량이 40%로 많기 때문에 건조 시 1,400 nm 부근에서 S_0 , S_1 , S_2 비율과 변화패턴이 파, 양파와는 다를 수 있다.

건조가 너무 진행되면 성분 간 반응이 진행되어 표면갈변이 일어나 품질저하가 발생하였으며 이를 염려하여 더 이상 건조를 진행시키지 않고 정지시켜 포장하여 보존하였을 때 건조되지 못한 소량의 수분이 미생물에게 활용되어 건조품이 변질되는 것을 관찰할 수 있었다. 즉 건조속도가 균일하지 않아 수분활성도가 불균일한 일부 건조품이 대부분의 적정 건조품과 혼재되었기 때문인데, 건조 최종 단계에서 건조 상태가 적정한지 또는 미흡한지를 쉽게 판별하여 추가로 건조처리가 필요한 것만 분류하는 등의 기술을 개발함에 있어서 상기 스펙트럼 관찰 정보는 유익하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

초분광 NIR 이미징 기술을 이용한 건조 마늘의 수분 관찰

건조 정도가 다른, 즉 수분 함량이 다른 건조 마늘의 초분광 근적외 이미징 스펙트럼 데이터를 측정하여 주성분분석 결과, 물이 제1주성분인자(principal component 1)임을 Fig. 5에서 볼 수 있었다. 초분광 영상기법을 사용하여 수분 함량이 다른 마늘의 수분 관별을 연구한 논문(26) 및 고추의 수분 스트레스를 연구한 논문(27)에서는 1,400~1,450 nm 부근이 수분 함량을 파악하기 위한 최적 파장인 것으로 보고되고 있는데 PC1을 통해 건조 마늘의 수분 함량을 파악할 수 있을 것으로 판단되었다. 건조 정도가 다른 마늘의 초분광 NIR 이미지를 Fig. 6에 나타내었는데 같은 색깔을 나타낼수록 수분이 많이 잔존함을 의미하고 있어 이 결과를 이용함으로써 마늘과 같이 건조가 불균일한 양념채소류가 어느 정도 건조되고 있는지 그리고 건조 정도가 얼마나 차이 나는지를 예측 가능 할 것으로 판단된다. 건조 종료를 판단하는 기준으로는 현재 수분의 추가 감소가 없음을 근거삼아 왔으나, 이러한 방법은 건조기 내부의 구조상 건조 층이 여러 겹으로 구성된 일반 농산물 건조기에서는 적용이 어려우며, 세절된 건조 시료 개개 무게가 서로 다르므로 품질 편차가 큰 것이 지적되고 있어 이를 개선할 필요가 있는데 장차 초분광 NIR 이미징 기법이 채택되어 건조 양념채소의 품질향상에 기여될 수 있을 것을 전망한다.

요 약

본 연구에서는 근적외 분광법을 이용하여 양념용 채소로 많이 사용되는 파, 마늘, 양파의 건조 불균일성을 관찰하였다. 대류식 온풍건조기에서 건조 위치에 따른 양념채소류의 건조 상태 차이를 조사한 결과, 건조 트레이의 높이나 위치에 따라 바람의 온도와 습도에 차이가 발생하여 건조가

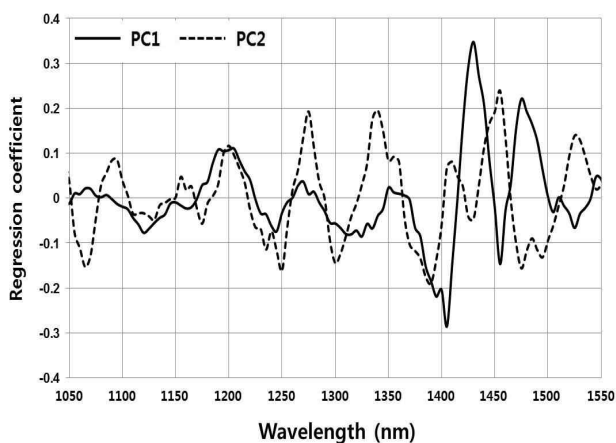


Fig. 5. Principal component (PC) 1 and principal component (PC) 2 plots after principal component analysis (PCA) of hyper spectral NIR imaging of dried garlics

균일하게 되지 않았다. 건조 정도가 다른 양념채소류의 2차 미분 근적외 스펙트럼을 비교한 결과 1,390 nm에서 1,400 nm 부근의 수소결합이 약한 물이 먼저 증발되었고 1,420 nm 부근의 수소결합이 강한 물은 건조 후에도 잔존함을 관찰할 수 있었다. 초분광 NIR 이미징 기법으로 측정된 스펙트럼을 주성분분석함으로써 건조채소의 건조도를 가시적으로 판별할 수 있었다.

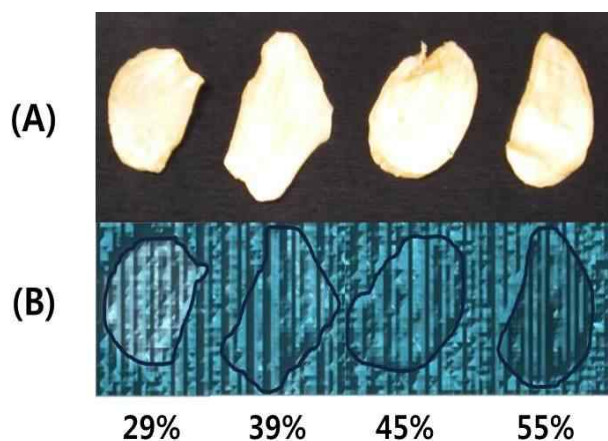


Fig. 6. Visual result after PCA of hyper spectral NIR imaging treatment of garlic with different moisture contents

A : Real dried garlic graph, B : Visualized imaging graph

감사의 글

본 연구는 경북대학교 KNU학술연구비의 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

References

1. Kim MY (1996) Increment of freeze-drying rate by control of freezing rate and relationship between transport properties and freezing rate. Final Report of KOSEF, GOVP 1199602826, p 8-20
2. Kim HD, Ha IJ, Park TY, Moon JS, Hwang SK, Lee SY, Song JK, Lee SD (2009) Effect of drying period and storage temperature on storage quality of onion (*Allium Cepa* L.). Korean J Hort Sci Tech, 27, 74
3. Choi BO (2011) Study of supply & demand and price stabilization of vegetables. Final Report of KREI, KREI R654
4. Park BG (2009) Effects of preharvest treatment and hot air drying on garlic storage ability. MS Thesis, Andong University, Andong, Korea, p 10-19

5. Lee MH (1994) Studies on the alliin component change of a plant of allium genus in the freeze drying process. Paper presented at Spring symposium of Korean J Agric Chem Biot, 20, Gwangju, Korea
6. Kim KS (2005) Comparison of volatile organic components in fresh and freeze dried garlic. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 34, 885-891
7. Lim SY, Jang JR, Kim KK (2008) Anticancer and antioxidant effects of solvent extracts from dried onion with different drying methods. *J Life Sci*, 18, 1271-1277
8. Lee GH (2006) Study on the drying characteristics of agricultural products during fluidized bed drying. *J Bio Sys Eng*, 31, 416-422
9. Kim HR, Seog EJ, Lee JH, R JW (2007) Physicochemical properties of onion powder as influenced by drying methods. *Korean J Food Nutr*, 36, 342-347
10. Telis VRN, Sobral PJA (2002) Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. *Food Res Int*, 35, 435-443
11. Ratti C (2001) Hot air and freeze-drying of high-value foods : a review. *J Food Eng*, 49, 311-319
12. Sarsavadia PN, Sawhney RL, Pangavhane DR, Singh SP (1999) Drying behavior of brined onion slices. *J Food Eng*, 40, 219-229
13. Cho RK, Lee KH, Lee JH, Kwon YK (1994) A study for automatic analysis of quality components in tobacco leaves using nondestructive analytical method. *Agr Chem Bio*, 37, 349-355
14. Hong P (2007) Nondestructive measurement of nitrogen in rice leaves using near infrared spectroscopy. MS Thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, p 8-18
15. Cho RK, Sohn MR, Kwon YK, Lee KH, Park WC (1998) Possibility of the nondestructive quality evaluation of apples using near infrared spectroscopy. *J Korean Soc Appl Bio Chem*, 41, 153-159
16. Lin GL (2001) Development of nondestructive evaluating method for *Panax ginseng* quality using near infrared spectroscopy. Ph D Thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, p 1-7
17. Gwon YG (1999) Identification of geographical origin of sesame seeds by near infrared spectroscopy. Ph D Thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, p 17-25
18. Kim MS (2014) Spectral imaging technologies for safety and quality evaluations of food products. Paper presented at 4th Asian Near Infrared Symposium, June 17, Daegu, Korea
19. Cho BK (2014) Near infrared spectral imaging for quality measurement of food and agricultural materials. Paper presented at 4th Asian Near Infrared Symposium, June 17, Daegu, Korea
20. RDA (2011) Food composition table 8th revision. Rural Development Administration, Suwon, Korea, p 134-181
21. Iwamoto M, Kawano S, Ozaki Y (1995) An overview of research and development of near infrared spectroscopy in Japan. *J Near Infrared Spectrosc*, 3, 179-189
22. Carter GA (1991) Primary and secondary effects of water content on the spectral reflectance of leaves. *American J Botany*, 78, 916-924
23. Osborne BG, Fearn T (1986) Near infrared spectroscopy in food analysis. Longman Scientific Technical, USA, p 36-40
24. Kim EY (2013) NIR observation on the hydrogen bonding water remained in sesame seeds after roasting. *NIR news*, 24, p 15-16
25. Buning-Praue H (2003) Analysis of water in food by near infrared spectroscopy. *J Food Chem*, 82, 107-115
26. Mahesh S, Jayas DS, Paliwal J, White NDG (2011) Identification of wheat classes at different moisture levels using near-infrared hyperspectral images of bulk samples. *Sens & Instrumen Food Qual*, 5, 1-9
27. Park ES, Cho BK (2014) Development of drought stress measurement method for red pepper leaves using hyperspectral short wave infrared imaging technique. *Protected Hort Plant Fac*, 23, 50-55