

<https://doi.org/10.15433/ksmb.2022.14.2.069>

ISSN 2383-5400 (Online)

마른김 품질 평가를 위한 FT-NIR 분광기 활용 연구

A study on the use of FT-NIR spectrophotometer for dried laver quality evaluation

이경인^{1,*}, 이근직², 윤영승³Kyoung-In Lee^{1,*}, Geun-Jik Lee², Young-Seung Yoon³¹책임연구원, 목포수산식품수출센터 품질관리인증팀, 목포, 58621, 대한민국²센터장, 목포수산식품수출센터, 목포, 58621, 대한민국³교수, 목포과학대학교 해양수산식품융합과, 목포, 58644, 대한민국^{1,2}Mokpo Seafood Export Center, Mokpo 58621, Korea³Department of Marine and Seafood Convergence, Mokpo Science University, Mokpo 58644, Korea

(Received 12 Oct 2022, Revised 31 Oct 2022, Accepted 23 Nov 2022)

Abstract The micro-Kjeldahl method, a common technique for analyzing crude proteins, is time-consuming and dangerous due to the employment of reagents such as sulfuric acid and sodium hydroxide. However, a Fourier transform near-infrared (FT-NIR) spectrophotometer analysis can be completed in under a minute after simple pre-processing if data has been gathered using sufficient reference material in advance. Furthermore, the use of safe reagents in this technique ensures the safety of the experimenter and the environment. In addition, a portable FT-NIR spectrophotometer enables real-time measurement at processing or distribution sites and has recently gained popularity. The standard errors of calibration and regression (r^2) for the calibration result for estimating the crude protein content of dried laver were 0.9775 and 1.2526, respectively. The standard error of prediction was 1.1814, and the r^2 was 0.9303 in the validation results, which was a good level. In the present study, a method for predicting the crude protein content of dried laver using an FT-NIR spectrophotometer in the range of 29%–40% crude protein content has been reported.

Keywords : Crude protein, Dried laver, FT-NIR, *Pyropia yezoensis*

서 론

한국해양수산개발원의 수산업관측센터 자료에 의하면 2022년산 마른김 생산량은 1억 5,172만 속으로 2021년산(1억 4,933만 속)보다 1.6% 증가한 것으로 나타났다[1]. 대표적인 수산가공품인 김은 농수산식품 수출액 중 1위를 차지할 정도로 위상이 높아졌으며, 이로 인해 정부나 주요 산지의 지자체 등의

지원이나 관심도 높은 편이다. 지역에 따라 10월에서 이듬해 5월까지 생산되는 물김을 원료로 가공되는 마른김은 채취 이후 단시간에 가공을 마치게 되며, 이후 저온 보관 과정을 이용하여 연중 수시로 소비되는 특성을 가지고 있다[2].

국내 마른김 생산은 1980년대에 열풍건조기를 기반으로 한 자동해태제조기가 도입된 이후 대량생산

* Corresponding author

Phone: 061-277-7320 Fax: 061-277-7319

E-mail: spython@hanmail.net

This is an open-access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

체제가 확립되면서 지속적인 발전이 이루어졌다. 김은 산업적으로 원료 물김의 양식 및 생산, 1차 가공 단계인 마른김 가공, 그리고 2차 가공으로 볼 수 있는 조미김 및 구운김 등의 가공으로 구별되고 있다. 이 중 마른김은 물김 원료를 1차 가공한 것인데, 일반적으로 물김은 생산 후 별도의 보관 과정이나 시설 활용이 없으므로 신선도를 유지하기 위해 마른김으로 가공하는 과정을 신속히 진행할 필요가 있다 [3].

식품공전에 제시된 마른김 관련 기준은 중금속과 같은 유해물질에 대한 공통적인 것이 전부이며, 수산물의 품질인증에 대한 국립수산물품질관리원의 고시에서 품목별 품질기준을 보면 마른김이나 마른돌김의 기준으로서 기본적인 이물질이나 관능평가 및 중량 기준과 함께 15% 이하의 수분 함량 기준이 제시되어 있다[4]. 따라서 마른김의 품질과 관련된 성분 함량 기준은 수분이 유일하며, 다른 영양성분에 대한 기준은 따로 정해지지 않은 상황이다. 이로 인해 국내 마른김의 품질 관련 연구에서 영양 성분 평가에 관한 것보다는 미생물 오염과 같은 위해 요소와 관련된 내용이 대부분이다[5,6].

한편, 마른김의 산지와 등급별 성분 비교를 실시한 기존 연구 보고에서 마른김의 평가 등급이 높을수록 단백질이나 chlorophyll 등 색소함량이 높은 것으로 나타났다[7]. 특히, 단백질의 경우 탄수화물을 제외한 일반성분 중 함량이 가장 높게 나타남에 따라 품질에 미치는 영향도 클 것으로 판단된다. 따라서 다른 성분 항목보다도 우선적으로 품질평가나 관리의 지표로서 단백질 또는 조단백질을 선택할 수 있을 것이다.

일반적으로 식품 중 조단백질 함량 분석에는 시료 중에 함유되어 있는 질소(nitrogen) 함량을 측정 후 시료 유형별로 정해진 환산계수를 반영하여 단백질 양으로 환산하는 마이크로 켈달(micro-Kjeldahl) 분석 방법이 사용되고 있으나, 이러한 방법은 많은 노력과 시간이 소요되고 유해한 시약을 다량 사용하는 단점이 있다[8].

식품의 성분 분석법 중 대표적인 비파괴 분석법의 하나인 근적외선(near-infrared; NIR) 분광법은 800~2,500 nm의 파장 범위를 가지는 근적외선을 활용하여 시료 중의 성분에 포함되어 있는 분자 결합

형태별로 나타내는 반응을 측정하는 것을 기반으로 한다. NIR 분광법은 대량의 시료를 복잡한 전처리 과정 없이 다양한 성분을 빠른 시간 내 분석 가능한 장점이 있어 다양한 농산물 품질평가방법에 적용되고 있으며, 미국 공정법분석화학자협회(AOAC)와 미국 농무성(USDA) 등에서 공정법으로 이용하고 있다[9]. 조단백질 함량 분석에 적용하기 위한 NIR 분광법 활용 연구가 벼와 같은 농산물이나 사료 원료 등을 대상으로 꾸준히 진행되어 왔으며, 신속한 분석 방법으로서의 가능성이 확인되고 있다[10-13].

또한 농산물 등의 일반성분이나 식이섬유 분석, 색소성분 분석 등 식품의 품질 평가를 위해 NIR 분광법의 활용에 관한 연구가 꾸준히 수행되고 있으며 [14-16], 기름의 혼합유무 판별이나 식물의 품종 판별 등 다양한 분야에 활용 가능성을 제시하고 있다 [17,18]. 식품 이외의 분야에서도 활용되는 사례가 증가하고 있는데, 종이의 종류를 판별하거나 농약 제품의 동일성 판별 등에 신속한 분석법으로서 검토되었다[19-21].

본 연구에서는 비파괴적인 성분 함량 측정이 가능한 FT-NIR 분광법을 활용하여 조단백질 함량 등 김 품질 평가 지표에 대한 신속한 측정 가능성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 분석 시료

마른김 시료는 전남지역에서 생산 및 유통되고 있는 대표적인 일반김 품종인 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*)을 사용하여 제조한 제품을 대상으로 하였다. 생산자가 다른 다양한 등급의 마른김 10종(A-J)을 100장 단위로 구입하였으며, 각 시료별로 10장씩 무작위로 분류하여 총 100종의 측정 시료로 구분하였다. 구분된 시료는 각 측정에 사용될 때까지 진공 포장 후 4°C에서 냉장보관하였다.

2. 조단백질 및 수분 분석

마른김의 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl법을 기준으로 측정하였다. 잘게 절단한 마른김 시료 5g에 분해촉진제와 황산을 혼합하여 K-446 분해장치(Büchi, Switzerland)에서 분해를 실시하였다. 분해액이 담긴 용기를 B-324 증류장치(Büchi, Switzerland)

로 옮긴 후 적정 과정을 거쳐 질소(nitrogen) 함량을 측정하였다. 측정된 질소 함량에 환산계수(6.25)를 곱하여 조단백질 함량을 산출하였다.

수분 함량은 상압가열건조법으로 측정하였다. 잘게 절단한 마른김 시료 10 g을 미리 항량된 측정 용기에 칭량하여 105°C의 건조기에서 5 시간동안 건조시킨 후 감소된 중량을 수분으로 환산하였다.

3. FT-NIR 분석

마른김의 NIR spectrum 측정은 회전형의 MCS 100 측정용 cell 시스템이 장착된 FT-NIR spectrophotometer (N-200, Büchi, Switzerland)로 실시하였다. 측정 파장 범위는 1,000~2,500 nm로 2 nm 간격으로 diffuse reflectance 검출 모드로 수행하였으며, 시료 cell은 전용 glass petri dish를 사용하였다. 측정 결과 해석은 NIR Cal 4.21 program(Büchi, Switzerland)을 활용하여 실시하였다. 마른김 시료는 측정용 glass petri dish의 내경에 맞도록 직경 8~9 cm의 원형 또는 8각형으로 절단하였으며, 측정 편차를 검토하여 측정 시 4 g의 중량이 될 수 있도록 시료별로 적층 매수를 조정하였다.

결과 및 고찰

1. 연구 시료 특성

각종 식품의 조단백질 함량 측정에 적용되고 있는 micro-Kjeldahl법으로 분석한 마른김의 조단백질 함량 측정 결과 Table 1에 제시한 것과 같이 29.4~40.2%의 함량범위를 가지는 것으로 확인되었다. 각각의 시료에서 측정된 조단백질 함량은 FT-NIR 분광법을 활용한 조단백질 함량 예측에 적용하였다. 서남해안 지역의 돌김의 항산화 활성과 함께 일반성분 등을 비교한 연구에서 채취시기와 지역, 품종에 따라 35~42% 수준의 조단백질 함량을 가지는 것으로 보고하였다[22]. 본 연구에서의 결과보다 다소 높은 수준인 것으로 나타났으나 이는 일반김과 돌김의 차이와 함께 해당 연구에서 사용한 시료의 동결건조 전처리가 영향을 미친 것으로 판단된다.

일반적으로 90%가 넘는 수분을 포함하고 있는 물김을 가공하여 마른김을 만드는 과정에는 필수적으로 수분을 건조시키는 공정이 포함되며, 가공 후 마

른김에 존재하는 수분은 조단백질 등 나머지 영양성분의 함량에 영향을 미치게 된다. 이로 인해 동일한 물김 원료를 사용하여 가공된 마른김이라고 할지라도 상대적으로 수분 함량이 높은 제품에서 다른 영양성분의 함량은 낮게 측정된다. 본 연구에 사용된 마른김의 수분 함량은 12.42~16.67% 범위로 확인되었다(Table 1).

한편, 마른김은 생산자나 규격에 따라 차이가 있으나 1장당 2~3 g 전후의 중량을 가지는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서 사용된 마른김 시료도 유사한 수준임을 확인하였다.

Table 1. Crude protein and moisture contents using conventional methods for FT-NIR spectroscopic analysis

Sample groups	Reference value ranges (%)	
	Crude protein	Moisture
A	33.97 ± 0.37*	13.15 ± 0.31
B	40.18 ± 0.38	12.42 ± 0.21
C	39.77 ± 0.41	12.66 ± 0.25
D	32.64 ± 0.47	14.98 ± 0.21
E	38.29 ± 0.49	14.10 ± 0.18
F	36.08 ± 0.28	13.31 ± 0.17
G	29.43 ± 0.46	16.67 ± 0.31
H	39.19 ± 0.36	14.91 ± 0.21
I	38.24 ± 0.35	13.97 ± 0.17
J	38.57 ± 0.40	14.69 ± 0.29

*Values are mean ± standard deviation (n=10).

2. FT-NIR을 이용한 마른김의 조단백질 함량 예측

근적외선(near-infrared; NIR) 분광법은 가시광선과 중적외선 사이의 800~2,500 nm 범위의 파장에서 시료 중에 존재하는 C-H, N-H, O-H, S-H 등의 화학 결합 구조를 가지는 성분의 정성 및 정량적 측정에 활용되고 있다[23]. 이러한 화학 구조를 포함하는 시료에 NIR 파장을 조사하면 시료 중에 포함되어 있는 성분과 상호작용하여 시료의 구성 및 물리적 특성을 나타내는 NIR spectrum을 생성하게 된다.

초기의 NIR 분광법은 측정 과정 중 수행되는 기계적인 회전에서 발생하는 진동과 떨림 등으로 인해 측정 파장의 정확성이 고정 측정 방식에 비해 떨어

졌으며, 이러한 측정 장치의 낮은 안정성 문제로 시료의 형태가 복잡하고 불규칙한 경우 정밀한 분석이 어려웠다. 푸리에 변환(Fourier transform; FT)은 시간이나 공간에 대한 함수를 시간 또는 공간 주파수 성분으로 분해하는 수학적 변환이며, NIR 분광법에 이 변환을 적용한 것이 FT-NIR 분광기이다. FT-NIR 분광기를 활용한 측정방법은 기존의 NIR 기기 구조의 단점을 보완하기 위해 간섭계를 장착하고 여기에서 얻은 신호를 푸리에 변환함으로써 정확도 높은 spectrum을 얻고 기기내부에 He-Ne 레이저를 장착해 파장의 위치를 언제나 정확하게 유지함으로써 측정의 정확도와 안정성을 개선한 방식이다[24].

FT-NIR 분광법은 기존의 습식 화학 분석법의 결과값을 적용한 검량 과정(calibration)을 거치는 간접 측정법이다. 따라서 측정 항목에 대한 기존 분석법의 결과값이 존재하는 시료를 FT-NIR 분광법으로 측정하여 비교 및 검량선을 작성하게 된다. 즉, 일반적인 기기분석에서 사용되는 표준품의 개념 대신 대조 시료(reference material)가 필요하게 된다. 이러한 대조 시료는 많을수록 분석법의 정확성을 높일 수 있으며, 함량의 범위가 다양하고 넓을수록 미지의 시료에 대한 적용가능성을 높일 수 있다.

일반적으로 수분 함량은 FT-NIR 분광법에 영향을 미치는 요소이므로 조단백질 함량 측정과 함께 관리되어야 한다. Table 1에 제시된 것과 같이 본 연구에 사용된 마른김 시료의 수분 범위는 12.42~16.67% 수준이었으며, 이 범위를 벗어난 수분 함유 시료의 경우 오차가 증가될 가능성이 있으므로 추가적인 검토가 필요하다.

또한 측정 시료의 입자 크기나 모양 등 외형적인 요소도 영향을 미치는 요인이다. 따라서 마른김의 FT-NIR spectrum을 얻기 위한 전처리로서 측정용 glass petri dish의 내경에 맞도록 원형 또는 8각형으로 절단하고 일정한 중량이 될 수 있도록 절단한 마른김 시료 매수를 조정하는 방식을 검토하였다. Figure 1과 같이 측정용 glass petri dish의 뚜껑이 자연스럽게 덮일 수 있는 시료량 검토 결과에서 마른김 시료별로 최대 30매 또는 12 g을 적재할 수 있는 것으로 확인되었다. 적재 매수별 및 중량별 측정 편차를 검토하여 8매 이상 및 4 g 이상의 시료 적재 조건에서 측정 편차가 동일한 수준으로 확인됨에 따라 시료 중량을 기준으로 4 g을 측정 조건으로 설정

하였다. 다만, 본 연구에서 사용된 마른김의 경우 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*) 품종이므로 참김(*P. tenera*)이나 돌김(*P. seriata*s 또는 *P. seriata*s) 등 물리적 특성이 다른 품종의 경우 별도의 검토과정이 필요할 것으로 판단된다.

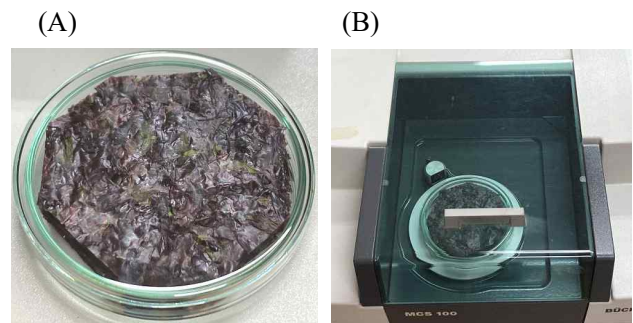


Figure 1. Pre-processing of dried laver samples for FT-NIR measurement. (A) is laver sample in glass petri dish and (B) is FT-NIR spectrophotometer with measurement cell system.

측정에 사용된 각 마른김 시료의 FT-NIR original spectrum은 Figure 2와 같다. 마른김 시료 중에는 조단백질뿐만 아니라 NIR 분광법에서 검출되는 C-O, C-H, C=O, N-H 등의 다양한 화학 구조가 포함되어 있는 유기화합물이 혼재되어 있으므로 1차로 측정된 original spectrum은 여러 가지 성분별 흡수 peak들이 넓고 중첩되어 있으며, 시료의 밀도, 온도, 입자크기 등의 차이로 인한 산란차이가 발생되어 바탕선의 변화가 발생하게 된다[25].

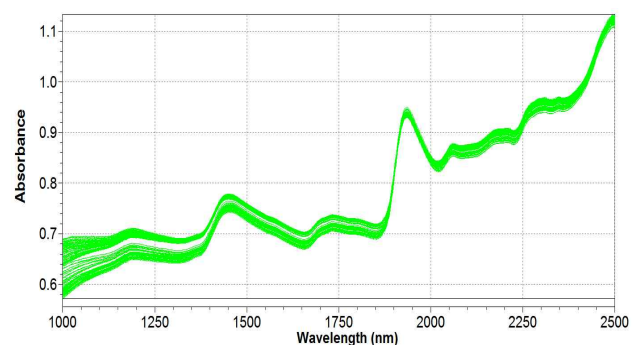


Figure 2. Fourier transform near infrared spectra of dried laver.

따라서 측정된 original spectrum은 조단백질의 분석에 직접 적용하기 어렵기 때문에 오차를 유발시킬 수 있는 변화를 수학적으로 처리하는 과정이 필요하다

게 된다. 회귀분석 시 변수를 줄이고 안정적인 검량선식의 작성을 위해서 가장 일반적으로 활용되는 방법으로서 original spectrum을 미분(derivative)을 실시하는 것인데, 바탕선의 변동 및 흡광도의 방해요인으로 인한 오차를 보정하거나 검량식을 안정하게 하는 것에 효과적인 것으로 알려져 있다[26]. 이러한 수학적 전처리는 FT-NIR 분광기를 운용하는 도구로서 제공되는 전용 software에 포함되어 있으며, 본 연구에서도 NIR Cal 4.21 program을 이용하여 실시하였다.

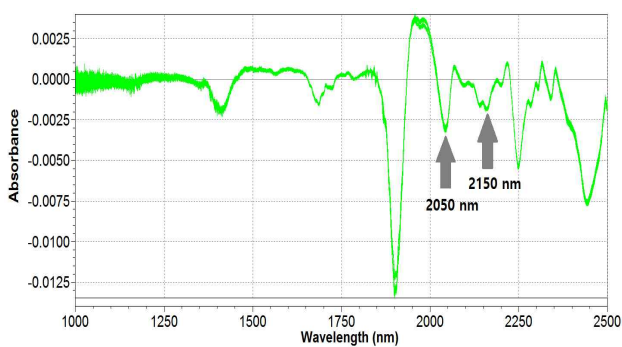


Figure 3. Pre-treated spectra for crude protein content determination in dried laver.

Original spectrum에 전처리를 실시한 spectrum을 Figure 3에 제시하였으며, original spectrum에 비해 명확해진 파장별 peak 양상을 확인할 수 있다. 미분 전처리된 spectrum에서는 일반적으로 특정 성분에 대한 흡광도가 높을수록 spectrum의 peak가 아래로 크게 나타나는 형태를 보여준다. 가장 크게 나타난 1,900 nm 부근의 peak는 전분이나 COOH를 포함하는 성분에 의한 것이며, 2,250 nm와 2,450 nm 부근의 두 번째 및 세 번째로 큰 peak들은 모두 전분 성분의 특징적인 흡수 파장으로 알려져 있다[15]. 일반적으로 단백질 성분의 NIR 흡수 파장은 1,020 nm, 1,500~1,520 nm, 1,960~1,980 nm, 2,050 nm, 그리고 2,150~2,180 nm 등 5 가지인데, 마른김의 FT-NIR spectrum에서는 이중 2,050 nm가 특징적으로 크게 확인되었으며, 2,150 nm 부근에서도 확인되었다 (Figure 3). 이와 같은 조단백질 흡수 파장 특성은 사료 원료로 활용되는 초본류 식물의 분석에서도 유사하게 나타나는 것으로 보고되고 있다[13].

Table 2. Calibration and validation results of partial least square regression analysis for crude protein contents in dried laver

Parameters		Values
Calibration	n	68
	r ²	0.9775
	SEC*	1.2526
Validation	n	32
	r ²	0.9303
	SEP**	1.1814
Q-value		0.9332

*SEC; standard error of calibration, **SEP; standard error of prediction.

마른김 시료 중 조단백질 함량 예측이라는 정량분석을 위해 측정된 시료의 spectrum 중 68개는 검량선식을 작성하기 위한 calibration data로 사용하였으며, 나머지 32개의 spectrum을 validation data로 사용하였다. 회귀분석 방법으로서 partial least squares(PLS)를 이용하였다. Table 2와 Figure 4에 micro-Kjeldahl법으로 측정된 조단백질 함량과 전처리한 FT-NIR spectrum의 회귀분석에 대한 calibration 및 validation 결과를 제시하였다.

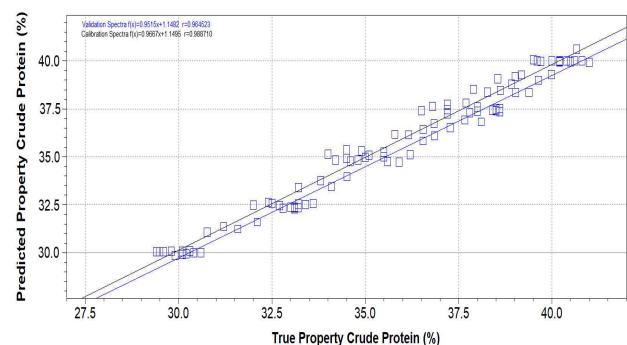


Figure 4. Linear correlation between FT-NIR method and micro-Kjeldahl method for crude protein content determination in dried laver.

Calibration 결과의 직선성이나 상관성을 나타내는 r²이 0.9775로 나타났으며, 검량표준오차(standard error of calibration; SEC)가 1.2526으로 우수한 결과를 확인할 수 있었다. Validation 결과에서도 r²이 0.9303, 예측표준오차(standard error of prediction;

SEP)가 1.1814로 양호한 수준임을 알 수 있었다. 또한 함량 예측 결과의 신뢰성을 나타내는 Q-value가 0.9332로 활용가능성이 높음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 마른김의 조단백질 함량에 대해 micro-Kjeldahl법의 결과와 FT-NIR 분광법의 예측 값을 적용한 검량선을 나타내는 Figure 4에서도 확인할 수 있으며, 조단백질 함량 29~40% 범위 안에서 높은 상관 관계를 가지는 결과를 확인할 수 있었다. 비파괴 분석법인 FT-NIR 분광법의 특성을 감안하면 본 연구에 사용된 마른김 시료 이외에 생산 시기나 품종 및 생산 지역별로 다양한 시료에 대한 data를 지속적으로 추가함으로써 FT-NIR 분광법을 활용한 신속한 성분 분석법의 신뢰도를 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

결론

기존의 조단백 분석 방법인 micro-Kjeldahl법은 시료의 산분해와 증류 및 적정의 화학적 과정을 거치면서 정확한 질소함량을 측정 후 환산계수를 감안하여 조단백 함량을 산출하게 된다. 이러한 과정은 통상 4~6시간이 소요되며, 황산이나 수산화나트륨과 같은 유해 시약의 사용이 필수적이다. 반면 FT-NIR 분광기를 활용한 분석은 사전에 충분한 대조 시료(reference material)를 사용한 data의 축적이 이루어진 것을 전제로 측정용 glass petri dish의 내경에 맞도록 절단하는 간단한 전처리를 거친 후 측정은 1분 이내에 완료될 수 있는 장점을 가진다. 따라서 단위 시간당 측정할 수 있는 시료가 기존의 micro-Kjeldahl법을 적용한 방법에 비해 획기적으로 증가될 수 있으므로 다수의 시료에 대한 측정이나 신속한 측정이 필요한 경우에 유용한 방법이 될 수 있다. 또한, 최근 이용이 증가되고 있는 휴대용 NIR 기기를 활용하면 가공이나 유통 현장에서 실시간 측정도 가능할 것이다. 또한 유해한 시약의 미사용으로 인해 실험자나 환경의 안전성 확보에도 도움이 된다. 본 연구에서는 영양학적으로 마른김의 품질에 영향을 미칠 수 있는 조단백의 신속 측정 모델을 제시하였으나, FT-NIR 분석은 동시에 여러 가지 항목의 측정도 가능하므로 추가적인 연구를 통해 수분이나 조지방 등의 측정이 동시에 수행되는 모델의 개발도 가능할 것으로 판단된다.

References

1. Fisheries Outlook Center of Korea Maritime Institute. 2022. Monthly outlook report, https://www.foc.re.kr/web/obsbook/list.do?rbsIdx=37&cs_category=6
2. Baek, E. Y. 2020. A study on the current state and problems of laver drying-processing industry. J. F. M. S. E. 32, 713-724.
3. Park, H. J., Kim, J. U., Jang, Y. S. 2018. A study on the management efficiency of laver drying-processing company. J. Fish. Bus. Adm. 49, 37-50.
4. National Fishery Products Quality Management Service. 2022. <http://www.nfqs.go.kr/hpmpg/qumg/actionQualityCertificationForm.do?menuId=M0000202>
5. Choi, M. S., Kim, J. Y., Jeon, E. B., Park, S. Y. 2020. Predictive growth models of *Bacillus cereus* on dried laver *Pyropia pseudolinearis* as function of storage temperature. Korean J. Fish Aquat. Sci. 53, 699-706.
6. Kwon, K., Ryu, D. G., Jeong, M. C., Kang, E. H., Jang, Y., Kwon, J. Y., Kim, J. M., Shin, I. S., Kim, Y. M. 2018. Analysis of microbial contaminants and microbial changes during dried-laver *Pyropia* spp. processing. Korean J. Fish Aquat. Sci. 51, 8-14.
7. Lee, K. H., Song, S. H., Jeong, I. H. 1987. Quality changes of dried lavers during processing and storage 1. Quality evaluation of different grades of dried lavers and its changes during storage. Bull. Korean Fish. Soc. 20, 408-418.
8. AACC. 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists In : St. Paul, MN, 10th edition. USA.
9. Oh, S. J., Choi, Y. M., Yoon, H. M., Lee, S. K., Yoo, E. A., Hyun, D. Y., Shin, M. J., Lee, M. C., Chae B. S. 2019. Statistical analysis of protein content in wheat germplasm based on near-infrared reflectance spectroscopy. Korean J. Crop Sci. 64, 353-365.
10. Kim, J. S., Song, M. H., Choi, J. E., Lee, H. B., Ahn, S. N. 2008. Quantification of protein and amylose contents by near infrared reflectance spectroscopy in aroma rice. Korean J. Food Sci. Technol. 40, 603-610.
11. Kim, J. S., Cho, Y. H., Gwag, J. G., Ma, K. H., Choi, Y. M., Kim, J. B., Lee, J. H., Kim, T. S., Cho, J. K., Lee, S. Y. 2008. Quantitative analysis of amylose and protein content of rice germplasm in RDA-genebank by near infrared reflectance spectroscopy. Korean J. Crop Sci. 53, 217-223.

12. Oh, S. J., Lee, M. C., Choi, Y. M., Lee, S. K., Oh, M. W., Asjad, A., Chae, B. S., Hyun, D. Y. 2017. Development of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) model for amylose and crude protein contents analysis in rice germplasm. Korean J. Plant Res. 30, 38-49.
13. Park, H. S., Kim, J. H., Choi, K. C., Oh, M. R., Lee, K. W., Lee, H. H. 2019. Evaluation of feed values for imported hay using near infrared reflectance spectroscopy. J. Kor. Grassl. Forage Sci. 39, 258-263.
14. Lee, J. C., Yoon, Y. H., Kim, S. M., Pyo, B. S., Hsieh, F. H., Kim, H. J., Eun, J. B. 2007. Rapid prediction of amylose content of polished rice by Fourier transform near-infrared spectroscopy. Food Sci. Biotechnol. 16, 477-481.
15. Lee, J. C., Yoon, Y. H., Kim, S. M., Pyo, B. S., Eun, J. B. 2006. Development of prediction model for total dietary fiber content in brown rice by Fourier transform-near infrared spectroscopy. Korean J. Food Sci. Technol. 38, 165-168.
16. Ryu, S. N., Yang, J. J., Park, S. Z. 2005. Development of rapid prediction model of C3G content in black pigmented rice. Korean J. Crop Sci. 50, 1-3.
17. Joo, J. Y., Yeo, Y. H., Lee, N. R. 2017. Comparison of quality characteristics of sesame oil and blend oil by using component analysis and NIR spectroscopy. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 46, 739-743.
18. Lee, K. W., Song, Y., Kim, J. H., Rahman, M. A., Oh, M., Park, H. S. 2020. Variety discrimination of Sorghum-Sudangrass hybrids seed using near infrared spectroscopy. J. Kor. Grassl. Forage Sci. 40, 259-64.
19. Kim, K. J., Eom, T. J. 2016. Classification of papers using IR and NIR spectra and principal component analysis. J. Korea TAPPI. 48, 34-42.
20. Jin, J. H., Baek, O. H., Shin, J. Y., Ha, H. Y., Choi, D. S., Park, S. E., Ihm, Y. B., Hong, J. H. 2015. Study of feasibility test: FT-NIR spectrometer for discrimination analysis of agrochemical products. Korean J. Pestic. Sci. 19, 241-247.
21. Kim, J. H., Lee, K. W., Oh, M., Park, H. S. 2019. Evaluation of feed values for whole crop rice using near infrared reflectance spectroscopy. J. Kor. Grassl. Forage Sci. 39, 292-297.
22. Cho, B. M., Lee, Y. J., Park, J. W., Park, I. B., Cho, J. Y., Moon, J. H. 2021. Constituents and antioxidant activities of lavers (*Pyropia* spp.) bred at the southwestern coastal area of Korea. Korean J. Food Sci. Technol. 53, 669-681.
23. Walder, F. T., Smith, M. J. 1991. Quantitative aspects of near-infrared Fourier transform Raman spectroscopy. Spectrochim Acta. 47, 1202-1216.
24. Ahn, C. K., Cho, B. K., Kang, J. S., Lee, K. J. 2012. Study on non-destructive sorting technique for lettuce (*Lactuca sativa* L) seed using fourier transform near-Infrared spectrometer. Korean J. Agric. Sci. 39, 111-116.
25. Hruschka, W. R. 1987. Data analysis: wavelength selection methods. In P. Williams and K. Norris (eds.) Near-infrared technology in the agricultural and food industries. St. Paul, MN: Am. Assoc. Cereal Chemists Inc. 35-55.
26. Shenk, J. S., Westerhaus, M. O. 1991. Population structuring of near infrared spectra and modified partial least regression. Crop Science. 31, 1548-1555.