

근적외선 분광법에 의한 국내 축우용 TMR의 성분추정

기광석 · 김상범 · 이현준 · 양승학 · 이재식 · 김택림 · 김현섭 · 여준모* · 구재연** · 조종구***

Prediction on the Quality of Total Mixed Ration for Dairy Cows by Near Infrared Reflectance Spectroscopy

Kwang Seok Ki, Sang Bum Kim, Hyun June Lee, Seung Hak Yang, Jae Sik Lee, Ze Lin Jin,
Hyeon Shup Kim, Joon Mo Jeo*, Jae Yeon Koo** and Jong Ku Cho***

ABSTRACT

The present study was conducted to develop a rapid and accurate method of evaluating chemical composition of total mixed ration (TMR) for dairy cows using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). A total of 253 TMR samples were collected from TMR manufacturers and dairy farms in Korea. Prior to NIR analysis, TMR samples were dried at 65°C for 48 hour and then ground to 2 mm size. The samples were scanned at 2 nm interval over the wavelength range of 400-2500 nm on a FOSS-NIR Systems Model 6500. The values obtained by NIR analysis and conventional chemical methods were compared. Generally, the relationship between chemical analysis and NIR analysis was linear: R^2 and standard error of calibration (SEC) were 0.701 (SEC 0.407), 0.965 (SEC 0.315), 0.796 (SEC 0.406), 0.889 (SEC 0.987), 0.894 (SEC 0.311), 0.933 (SEC 0.885) and 0.889 (SEC 1.490) for moisture, crude protein, ether extract, crude fiber, crude ash, acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF), respectively. In addition, the standard error of prediction (SEP) value was 0.371, 0.290, 0.321, 0.380, 0.960, 0.859 and 1.446 for moisture, crude protein, ether extract, crude fiber, crude ash, ADF and NDF, respectively. The results of the present study showed that the NIR analysis for unknown TMR samples would be relatively accurate. Use of the developed NIR calibration curve can obtain fast and reliable data on chemical composition of TMR. Collection and analysis of more TMR samples will increase accuracy and precision of NIR analysis to TMR.

(Key words : TMR, NIRS, Chemical composition)

I. 서 론

가축을 기르는 목적은 최소의 비용투자로 최대의 수익을 올리는 것이라 할 수 있다. 최소 비용투자를 위해서는 가축사육의 대부분을 차지하고 있는 사료비를 절감하는 것이 필수적이

다. 사료비를 절감하는 방법으로는 여러 가지 다양한 방법이 있을 수 있으며 그 중 예를 들면 값싼 부존자원을 활용하는 방법도 있고, 경제적인 사료가치 평가를 통하여 사료효율을 극대화하는 방법도 있다. 축산물생산비조사보고서 (통계청, 2009)에 따르면 젖소 1두당 사육비중

국립축산과학원 (National Institute of Animal Science, R.D.A, Korea)

* 한국농업대학 (National Agricultural Collage, RDA, Korea)

** (주)카길애그리퓨리나 (Cargill-Agri Purina, Inc)

*** 나노마커스(주) (Nanomarkers Co., Ltd)

Corresponding author : Kwang Seok Ki, National Institute of Animal Science, Cheonan, 330-801, Korea. Tel: +82-41-580-3396, Fax: +82-41-580-3419, E-mail: kiks386@rda.go.kr

사료비가 차지하는 비율은 59.7%이며, 한우 번식우 1두당 사육비중 사료비가 차지하는 비율은 46.2%라고 하였다. 사료비는 가축생산 시스템에서 가장 중요한 비용이라고 하였으며(De Boer & Bickel, 1988), 생산성을 극대화시키기 위해서는 우선 가축의 성장단계별 영양소요구량을 정확하게 알아야 하며 다음으로 가축에게 급여하고자 하는 사료의 영양 가치를 정확하게 알아야 하고 마지막으로 이러한 기초 자료를 근거로 최소비용으로 최대의 효과를 낼 수 있도록 각 단미사료를 조합하여 가축에게 급여하는 것이다. 일반적으로 사료가치를 평가하는 방법은 사료의 일반성분(A.O.A.C, 1990) 및 NDF, ADF(Van Soest, 1982)을 실험실 분석하는 것이 기본이었다. 그러나 이러한 전통적인 방법은 시간적 경제적으로 많은 비용이 소요되어 보다 간편하면서도 신속하고 정확하게 사료 가치를 평가하는 방법을 개발하기 위하여 노력해 왔다. 근적외선분광분석법(NIRS, Near InfraRed Spectroscopy)은 미국 농무성의 Mr. Karl Norris에 의해서 1960년대 초에 농업분야에 처음으로 활용하게 되었다. 정 등(2000)에 따르면 근적외선 분광분석법의 장점은 근적외선의 흡광도가 낮고 에너지가 중적외선 보다 높기 때문에 투과도(Transmission)가 높아서 시료의 두께에 큰 영향 없이 스펙트럼 측정이 가능하여, 과거 중적외선에서 사용된 시료들을 전처리 없이 분석이 가능하다고 하였다. Shenk 등(1985)은 조사료와 농후사료의 영양가를 분석하고 보편적 검량식으로 발전된 NIRS는 기계에서 기계로 전송될 수 있다고 하였으며, 이러한 진보된 방식으로 인해 가축사료모델 소프트웨어를 구축할 수 있다고 하였다. Linn 등(1991)은 NIRS로서 정확한 검량식이 작성된다면 일반 화학분석보다 더욱 정확히 분석해 낼 수 있다고 하였으며, Reeves 등(1991)은 건조하지 않은 사일리지를 NIRS를 이용하여 시험한 결과, 주요 일반성분(DM, CP, nitrogen, fiber, *in vitro* digestible DM)과 단쇄 지방산을

분석하였으며, 샘플을 건조 후 scanning함으로서 제일 좋은 결과를 얻을 수 있다고 하였다. Gutkneet(1999)에 의하면 미국의 경우, 위스콘신주 사초사료의 80%, 전 미국 사초분석의 70%가 근적외선분광분석법(NIRS)을 이용해 분석된다고 하였다. NIRS를 이용하여 북방형 및 남방형 다년생 목초의 사료가치를 비파괴적인 방법으로 신속, 정확하게 예측할 수 있다고 하였다(Norris 등, 1976). 또한 Pravdova 등(2001)은 NIRS를 이용하여 원유 체세포수 측정의 기초연구를 실시하였으며, Tsenkova 등(2001)도 원유 체세포수 검사의 새로운 진단기법 연구에서 NIRS를 이용하였다. 우리나라에서는 이 등(1996)이 NIRS를 이용하여 이탈리안라이그라스를 재료로 실험하였으며, 실험결과 ADF와 NDF의 RSQ는 0.97이었다고 하였다. 또한 김 등(2001)은 사료가치 신속평가체계 구축을 위한 근적외선 분광분석기의 한국형 NIR검량선 개발 연구를 수행하였으며, 김 등(2008)은 색소첨가 NIR을 이용한 우유 체세포수 측정법 개발 연구를 수행하였다. 이와 박(2001a)은 NIRS를 이용하여 벗진의 CP, CF, NDF, ADF에 대한 검량식을 작성하여 보고하였으며, 이 등(2001b)은 사일리지용 옥수수의 근적외선 분석에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 박 등(2006)은 사일리지용 옥수수 196점에 근적외선분광분석법으로 추정한 결과 DM, NDF, ADF, ADL 및 CP에서 RSQ 값이 각각 0.84, 0.94, 0.91, 0.87 및 0.95라고 하였다. 또한 이 등(2003)은 경기도 일원에서 유통되고 있는 TMR 시료 250점을 수집하여 NIRS를 이용하여 검증한 결과 조단백, 조지방, TDN의 RSQ 값이 각각 0.84, 0.94, 0.94라고 하였으나, ash 및 NEL 함량의 측정 정확도는 낮게 나타났다고 보고하였다. 그 외 퇴비(고 등, 2001), 음식물 쓰레기 퇴비(이와 길, 2005)에 대한 연구결과도 보고된 바 있다.

따라서 이 등(2003)이 경기도 일원에서 유통되는 TMR 샘플을 수집하여 NIR을 활용한 사료가치 평가를 시도하였다면 본 연구는 국내에

서 축우용 TMR 사용이 점차 증가하고 있고 농가 현장에서 TMR에 대한 신속하고 간편하게 신뢰성 높은 사료가치 평가의 필요성이 높아짐에 따라 전국에서 생산 및 이용되는 TMR 샘플을 수집하여 이를 실험실에서 분석한 일반성분 분석치를 기준으로 근적외선분광분석법에 의한 사료가치의 추정 검량선을 작성하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료

본 실험에 사용된 공시사료는 2006년과 2007년에 전국에서 수집된 축우용 TMR 샘플 253점이었다. 수집된 습윤한 시료는 65°C의 건조기에서 48시간 동안 예비건조한 다음 실험실내 상온에서 24시간 방치하여 원물(풍건물)의 수분함량을 구한 후 분쇄하여 다시 105°C에서 항량이 될 때까지 건조시켜 데시케이터 내에서 30분간 방냉 후 무게를 달아 건물함량을 측정하였으며(농촌진흥청, 2001), 일반성분 분석을 위하여 공시사료를 분쇄기(독일 FRITSCH사, Serial No. 19.1020/00452)를 이용하여 2 mm로 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 분석을 위하여 밀폐된 용기에 보관하였으며, 보관된 시료는 NIRS 분석을 위해 직경 55 mm인 원형 시료컵에 약 5 g 정도를 충진하여 사용하였다.

2. 시료의 화학적 분석 및 근적외선 스펙트럼의 수집

본 실험에 공시한 시료는 조단백, 조지방, 조섬유 등 일반성분은 AOAC법(1990)에 준하여, ADF 및 NDF는 Van Soest(1982) 방법으로 국립축산과학원 낙농과 사양유질분석실험실에서 분석하였다. 또한 이들 공시사료 253점에 대하여 근적외선 스펙트럼의 수집을 위하여 NIRS 분석법을 병행하였다. 본 연구에 사용된 근적

외선 분광분석기(NIR)는 Foss NIRSystems (Model 6500)이며, 프로그램은 WINISI II v1.50 (Foss NIRSystems / TECATOR, Infrasoft International, LLC)였다. 본 시스템에 내장된 각종 프로그램을 이용하여 수집된 TMR에 대한 분석을 실시하였다.

3. NIR을 이용한 파장의 수집 및 검량식 작성과 검정

검량식 작성과 검정을 위하여 일반성분 분석법과 NIRS 분석법을 병행하였고 이들 분석결과를 토대로 수분, 조단백, 조지방, 조섬유, 조회분, NDF, ADF에 대한 검량식을 작성하였다. 수집되어 분석한 시료는 총 253개였으나 각 시료의 spectrum을 screening하여 global H가 3 이상의 값을 갖는 시료를 1차적으로 제거시킨 다음 남은 시료 중 neighborhood H값이 0.6의 범위에 있는 유사한 시료의 파장만을 검량식 작성(calibration)에 이용하였다. 수집된 시료의 파장 수집을 위해 일반성분 분석에 사용된 공시시료를 직경 55 mm인 원형 시료 컵에 약 5 g 정도를 충진하여 NIR을 이용하여 400~2500 nm의 파장을 2 nm 간격으로 반사도를 측정하여 수집한 것을 이용하였다. 유도된 검량식의 정확도는 검량식 기울기(Slope), 상관계수(RSQ), 검량식 표준오차(standard error of calibration, SEC), 예측 표준오차(standard error of prediction, SEP), 보정 예측 표준오차(standard error of prediction compensated, SEP(C)), 편차(BIAS) 등으로 나타내었다. 최종적으로 검량식의 확인을 위해서 160개의 시료를 검량식에 이용하였으며, 또한 미지의 40개 시료를 검정용(validation) 데이터로 이용하였다. 검량식 작성에 사용된 시료는 cross validation(분석 대상 시료를 다수의 4그룹으로 분리하여 3그룹은 검량식을 작성하는데 이용하고 나머지 1개의 그룹으로 검증을 수행하는 방법을 적용, 이와 같이 각각의 그룹이 검량식 작성에 참여하고 검증을 실

행하여 데이터의 분석 수행이 실제 시료분석에 가깝게 적용되도록 함)을 수행하여 만들어졌으며, 나머지 40개의 시료는 모델 검증을 위한 시료로 사용되어 실제 분석에서 나오는 결과와 유사한 결과를 얻도록 분석을 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일반성분 및 ADF, NDF 분석결과

일반적으로 NIR 검량식 작성을 위해서는 변이가 적은 집단은 100개 미만, 변이가 큰 집단은 150개 이상의 시료가 필요하다고 하였다 (Marten 등, 1989). 본 연구에서는 검량식의 확인을 위해서 사용된 160점의 시료에 대해서 국립축산과학원 낙농과 실험실에서 분석한 TMR 시료의 화학적 성분범위와 평균 및 표준편차 결과는 Table 1과 같다. 수분함량은 표준편차가 $8.06 \pm 0.68\%$ 였으며 조단백, 조지방, 조섬유, 조회분, ADF, NDF 함량은 각각 15.04 ± 1.31 , 3.46 ± 0.70 , 18.22 ± 2.86 , 6.73 ± 0.72 , 22.15 ± 2.72 및 $40.29 \pm 3.62\%$ 였다. 그러나 이 등(2003)이 경기도 일원에서 유통되고 있는 TMR 시료 176점에 대하여 조사한 바에 따르면, 화학적 성분의 표준편차는 수분함량 $7.2 \pm 1.9\%$ 였으며 조단백,

조지방, 조섬유, 조회분, ADF, NDF의 표준편차는 각각 15.6 ± 1.9 , 4.8 ± 0.9 , 21.9 ± 4.1 , 7.6 ± 0.8 , 27.4 ± 4.9 및 $47.6 \pm 4.8\%$ 였다고 하였다. 이러한 결과는 국내 유통 TMR 사료의 일반성분에 대한 표준편차가 크게 차이가 없음을 보여주고 있다.

2. NIR을 이용한 성분분석 결과

(1) 수집된 TMR 사료의 NIR 스펙트럼 분포도

수집된 젖소용 TMR 사료 160점에 대한 NIR 스펙트럼 분포도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 근적외선 배역대 내에서의 흡수 스펙트럼을 보면 사료가치 평가시 가장 중요한 C-H 결합의 유기물의 흡수는 1,204, 1,726, 2,112 및 2,344 nm 근처에서 흡수가 이루어지고 사료의 수분 함량과 관련이 있는 O-H 결합의 흡수는 1,427 과 1,932 nm 근처에서 주로 흡수되며 단백질은 2,150 nm 영역이 가장 근접한 파장대역이라고 한다 (Murray, 1986).

(2) 개발된 검량선에 의한 TMR 사료의 일반 성분, ADF 및 NDF 예측

수집된 160 시료에 대해 개발된 검량선으로

Table 1. Chemical composition of corrected TMR

Item	Number of Sample	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
.....%.....					
Moisture	160	6.0800	11.1200	8.0622	0.6876
C. Protein ¹⁾	160	9.2100	19.0300	15.0444	1.3071
C. Fat ²⁾	160	0.3100	6.1900	3.4631	0.6959
C. Fiber ³⁾	160	10.3300	29.6300	18.2166	2.8588
C. Ash ⁴⁾	160	5.0000	10.8900	6.7283	0.7182
ADF ⁵⁾	160	15.6900	32.4800	22.1451	2.7181
NDF ⁶⁾	160	28.1900	54.0200	40.2863	3.6181

¹⁾ C. Protein : crude protein, ²⁾ C. Fiber : crude fat, ³⁾ C. Fiber : crude fiber, ⁴⁾ C. Ash : crude ash,
⁵⁾ NDF : neutral detergent fiber, ⁶⁾ ADF : acid detergent fiber.

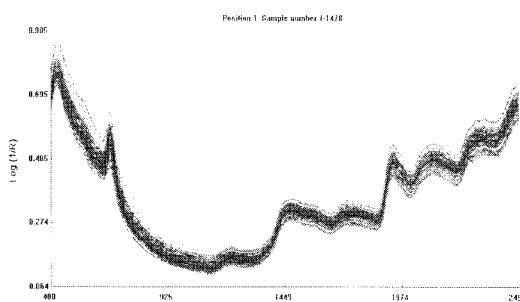


Fig. 1. Variation in the reflectance spectrum of all 160 samples used in study.

TMR 사료의 일반성분, ADF 및 NDF 예측한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 유도된 검량식의 평가에 이용되는 검량식 결정계수(R^2)와 SEC (Standard error of calibration)를 보면, 수분, 조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분, ADF 및 NDF는 각각 $0.41 (R^2 0.70)$, $0.31 (R^2 0.96)$, $0.41 (R^2 0.80)$, $0.99 (R^2 0.89)$, $0.31 (R^2 0.89)$, $0.88 (R^2 0.93)$, $1.49 (R^2 0.89)$ 로 수분과 조지방에서 다소 낮았으나 다른 성분에서는 시료와 개발된 NIR 검량선에 의한 예측값은 비교적 양호하였다. 그러나 이 등 (2003)은 조단백질과 조지방의 예측 정확도가 높았다고 하였으며 Lubberstedt 등 (1997)과 Albanell 등 (1995)도 비슷한 결과를 보고하였다. 그러나 이 등 (2003)의 결과에서는 조회분과 NEL이 다소 낮았다고 하였다. 또한 Windham 등 (1997)은 NIR을 이용한 시료의 수분함량에 대한 연구자들간 상이한

결과는 시료의 수분분석방법, 전처리과정 중의 수분 손실, 저장 중의 수분손실 등의 차이에 기인한다고 보고하였다. 이러한 각 성분간 차이는 실험실 분석오차, 시료의 제조 차이, NIR 기계 상태의 오차, 실험자 오차 등 여러 요인이 관여하는 것으로 보여 진다. 보다 정확한 예측을 위해서는 각 처리과정별 오차범위를 최소화 하고 작업의 표준화가 필수적이라 사료된다.

(3) 수집 샘플에 대한 검량식 예측 및 평가 데이터

Table 3에서 보는 바와 같이 개발된 검량식의 예측값을 통해서 습식 실험과 비교 분석한 검량식을 분석 평가하였다. 조단백질 함량에 대한 RSQ(R^2) 값은 0.970으로 대단히 높은 상관 값을 나타내었으며, 다른 일반성분인 조회분, 조지방, 조섬유, 수분에 대한 RSQ(R^2) 값은 각각 0.896, 0.828, 0.894, 0.738로 비교적 높은 상관이 있음을 보여주고 있다. 그리고 ADF 및 NDF에 대한 RSQ(R^2) 값 역시 0.937, 0.895로 높은 상관을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 김 등 (2001)이 배합사료에 대하여 예측 시료군과 화학분석치간의 상관계수(R^2)는 조단백의 경우 0.93이었고, 수분, 조지방, 조섬유는 각각 0.64, 0.86, 0.77로 조단백과 조지방은 본 시험의 예측치와 비슷하였으나 수분, 조섬유는

Table 2. NIRS calibration statistics for collected TMR

Item	Number of Sample	Mean	SEC ¹⁾	RSQ(R^2) ²⁾	SECV ³⁾	1-VR ⁴⁾
Moisture	151	7.9920	0.4070	0.7014	0.6032	0.3436
C. Protein	157	15.01	0.3149	0.9645	0.5535	0.8910
C. Fat	155	3.4665	0.4063	0.7955	0.4712	0.7240
C. Fiber	148	17.5897	0.9874	0.8891	1.2035	0.8366
C. Ash	153	6.6985	0.3114	0.8940	0.5343	0.6910
ADF	156	22.0264	0.8847	0.9334	1.1867	0.8811
NDF	155	40.4872	1.4899	0.8890	1.9189	0.8174

* ¹⁾ SEC : Standard error of calibration, ²⁾ RSQ (r^2 , R) : Coefficient of determination, ³⁾ SECV : Standard error of cross validation, ⁴⁾ 1-VR : 1-Variation Ratio.

Table 3. Predicted value for chemical composition by NIRS

Item	Slope	RSQ (R^2)	SEP ¹⁾	SEP(C) ²⁾	BIAS
Moisture	0.982	0.738	0.371	0.372	0.000
C. Protein	1.004	0.970	0.290	0.289	0.005
C. Ash	1.023	0.896	0.321	0.322	-0.007
C. Fat	1.000	0.828	0.380	0.381	-0.011
C. Fiber	1.000	0.894	0.960	0.964	0.000
ADF	1.000	0.937	0.859	0.862	0.000
NDF	1.000	0.895	1.446	1.451	0.000

*¹⁾ SEP : Standard Error of Prediction, ²⁾ SEP(C) : Standard Error of Prediction Compensated.

본 시험에 비하여 낮은 상관계수를 나타내었다. 또한 습식상태의 옥수수사일리지를 저장형 태별(타워사일로, 벙커사일로)로 수집하여 분석한 결과 조지방, 조회분 등은 좋은 결과를 얻지 못하였지만 수분, 조단백, 조섬유는 부분적으로 좋은 결과를 얻었다고 하였으며 NIR 분석의 오차는 부정확한 화학분석과 시료수집 과정에서 가장 크게 나타나므로 이를 최소화하기 위해서는 시료수의 증가와 폭넓은 지역에서 시료를 수집하는 것이 필요하다고 하였다.

(4) 모델 검증 (Validation) 및 평가

모델 검증은 40점의 시료를 무작위로 선발해서 검량식 (Calibration equation)에 적용하여 평가한 결과를 말한다. 즉, 검증 작업은 기존에 작성된 calibration 을 이용하여 calibration에서 사용되지 않았던 시료에 대해서 NIR 예측값을 구하고 습식 실험을 수행하여 얻어진 값을 비

교하는 것으로 이루어졌으며, 일반성분, ADF, NDF에 대한 Validation 평가값과 그래프는 Table 4와 Fig. 2~8에서 보는 바와 같다. 또한 Validation 평가 그래프는 일반성분에서 조단백질, 조회분, 조지방, 조섬유, 수분, ADF, NDF의 RSQ (R^2) 값은 각각 0.861, 0.675, 0.788, 0.750, 0.644, 0.719, 0.806이었다. 조단백질과 NDF의 상관계수가 다른 성분에 비해 높게 나타난 반면 수분과 조회분의 상관계수는 가장 낮았다. 이는 이 등(2003)의 보고한 결과에서 ash와 NEL의 상관이 낮게 나타난 결과와 비슷하였다. De Boever 등(1995)의 연구에서 젖소 사료의 사료가치 추정 실험에서도 ash의 정확도가 낮은 것과 비슷한 결과이다. Ash의 정확도가 낮은 것은 균적외선 파장에서 무기물의 흡수가 제한을 받기 때문인 것으로 보고하였다. 또한 이 등(2001)은 사일리지용 옥수수의 균적외선 분석 연구에서 전물함량(DM)의 상관이 낮게

Table 4. Validation statistics for chemical composition by NIRS

Item	Slope	RSQ (R^2)	SEP	SEP(C)	BIAS
Moisture	1.393	0.644	0.472	0.474	0.068
C. Protein	0.929	0.861	0.467	0.466	-0.080
C. Fat	0.916	0.788	0.455	0.461	-0.005
C. Fiber	0.969	0.750	1.096	1.086	-0.229
C. Ash	0.880	0.675	0.517	0.514	0.095
ADF	0.934	0.719	1.371	1.366	0.250
NDF	0.947	0.806	1.364	1.380	-0.077

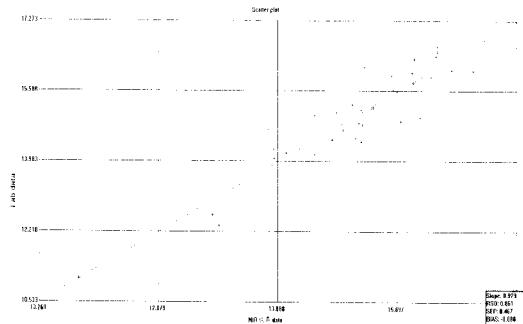


Fig. 2. Validation value for crude protein.

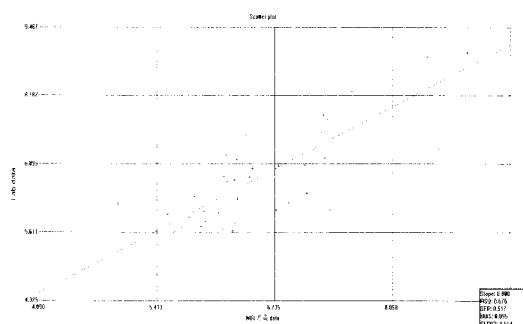


Fig. 3. Validation value for crude ash.

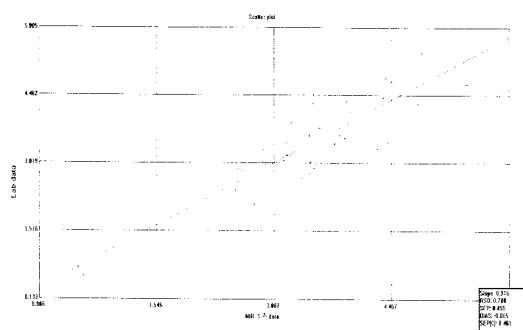


Fig. 4. Validation value for crude fat.

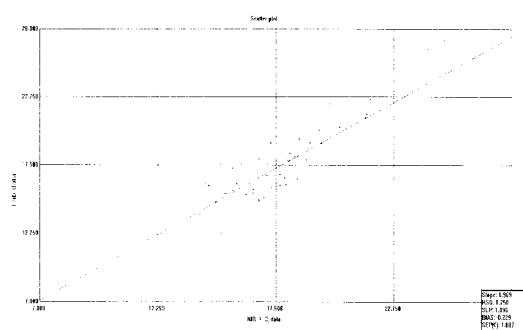


Fig. 5. Validation value for crude fiber.

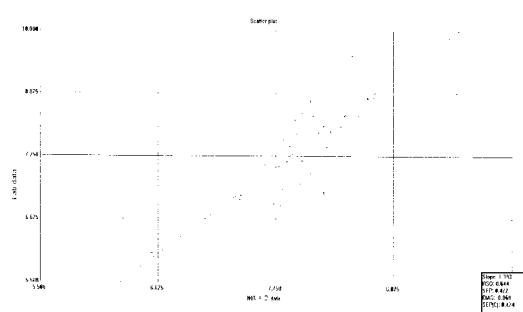


Fig. 6. Validation value for moisture.

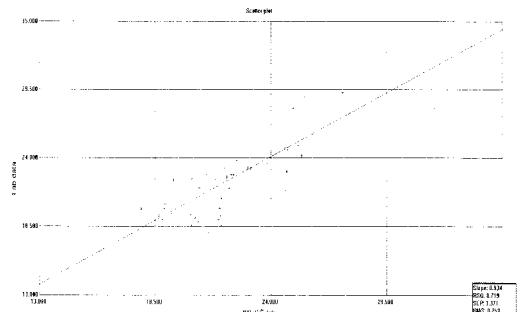


Fig. 7. Validation value for ADF.

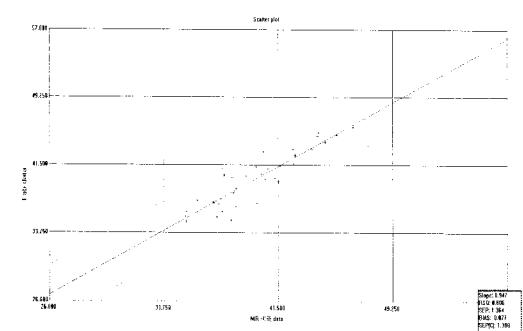


Fig. 8. Validation value for NDF.

나와 건물함량 측정에는 더 많은 연구가 필요하다고 하였으며 본 시험결과와도 일치하는 경향을 보였다. 한편 기울기(slope)는 1에 가까울수록 우수한 검량식이라 할 수 있는데, 본 연구에서는 수분과 조회분을 제외하고는 0.9 이상으로 비교적 우수한 검량식으로 나타났다.

(5) 개발된 검량선에 대한 평가

수집된 시료에 대해 개발된 검량선과 검증

시료에 대한 검증 결과로부터 TMR 사료의 일반성분, ADF 및 NDF를 예측한 결과의 차이는 크지 않았고 안정적이었다. 일반적으로 NIR을 적용하기 위해서는 상대표준편차를 비교하는데 이는 검량선의 안정성을 대표한다. NIR을 이용하기에 앞서 우선적으로 실험실 데이터 정확성과 안정성을 평가하고, 그 다음으로 NIR 검량선을 작성하고 평가하게 되는데 이때 NIR과 습식 분석을 상대표준편차를 비교해서 평가한다. 따라서, 예측값과 실험값에서 안정한 표준편차를 갖는 NIR이 실험을 대체할 수 있거나 스크린 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. Table 5에 따르면 calibration과 validation은 동일한 경향성을 보여주며 오차 범위도 유사함을 알 수 있다. 검량식에 대해서 calibration 세트는

검량식 작성에 기반이 되었으므로 NIR 예측값과 습식 실험 결과가 상당히 높은 상관관계를 보여준다. 검증 시료 세트가 calibration 세트보다 정확할 수는 없다. 그러나 SEP 데이터를 보면 검증 시료는 검량식 세트 대비 89%, 75%, 95%, 84%, 87%, 77%, 90%의 비율로서 일반 습식 실험을 대신해서 데이터 추정을 할 수 있음을 알 수 있다.

이는 개발된 검량선을 이용하여 미지의 TMR 사료를 분석하여도 일반성분, ADF 및 NDF 값에 대한 예측은 비교적 정확하게 추정되어질 수 있음을 나타낸다. NIR 분광분석기로서 TMR 품질 검사를 완벽하게 대체하기에는 이론 판단이나 빠른 시간 내에 모니터링하는데에는 적합하다는 판단이 가능하다. 더 나아

Table 5. Comparison between NIRS predicted values and Laboratory value

Item	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Max-min	Number of sample
C. Protein	NIRS 9.0208	19.0233	15.0774	1.2442	10.0025	157
	Laboratory 9.2100	19.0300	15.0444	1.3071	9.8200	160
	NIR-Lab		0.0330	-0.0629	0.1825	
C. Ash	NIRS 4.9577	10.6648	6.7131	0.6285	5.7071	155
	Laboratory 5.0000	10.8900	6.7283	0.7182	5.8900	160
	NIR-Lab		-0.0152	-0.0897	-0.1829	
C. Fat	NIRS 0.4521	5.2206	3.4410	0.5845	4.7685	154
	Laboratory 0.3100	6.1900	3.4631	0.6959	5.8800	160
	NIR-Lab		-0.0221	-0.1114	-1.1115	
C. Fiber	NIRS 9.4276	25.2182	17.5878	2.1098	15.7906	149
	Laboratory 10.3300	29.6300	18.2166	2.8588	19.3000	160
	NIR-Lab		-0.6288	-0.7490	-3.5094	
Moisture	NIRS 6.2439	9.9247	7.9838	0.4972	3.6809	153
	Laboratory 6.0800	11.1200	8.0622	0.6876	5.0400	160
	NIR-Lab		-0.0784	-0.1904	-1.3591	
ADF	NIRS 15.1163	33.2663	22.0371	2.5683	18.1500	156
	Laboratory 15.6900	32.4800	22.1451	2.7181	16.7900	160
	NIR-Lab		-0.1079	-0.1498	1.3600	
NDF	NIRS 30.7703	53.3976	40.4958	3.3239	22.6273	153
	Laboratory 28.1900	54.0200	40.2863	3.6181	25.8300	160
	NIR-Lab		0.2095	-0.2942	-3.2027	

가서 시료에 대한 개체수를 늘려서 다양성을 확보하게 되면 일반 습식 실험과 대등한 결과를 얻을 수도 있을 것이며, 전수 검사도 가능하여 품질 관리에 큰 진전을 이룰 수 있을 것이다.

IV. 요 약

본 연구의 목적은 축우용 TMR 사용이 점차 증가하고 있으나 TMR의 영양성분을 측정하고자 할 경우 실험실 분석에 의존하므로 많은 비용과 시간이 소요되어 농가 현장에서 활용하기가 어려움에 따라 NIRS (Near InfraRed Spectroscopy, 근적외선분광분석기)을 이용하여 TMR에 대한 신속하고 간편하게 사료가치를 평가하기 위한 검량선을 작성하기 위하여 실시하였다. 근적외선 분광분석법은 친환경 분석으로서 시야의 사용이 전혀 없고, 폐수 및 유해물질의 사용이 전혀 없어 작업자의 환경을 개선 할 수 있다. 또한 분석시간이 일반 분석법에 비해 10배 이상 빠르며, 누구나 간단한 교육을 통해서 표준분석 방법을 개발하여 적용할 수 있는 분석법이다. 그러나 NIR 성분분석기를 이용할 경우 많은 TMR 시료 샘플을 분석 비교하여 새로운 검량선을 만들어야 한다는 애로사항이 있다. 따라서 본 연구에서는 NIR 성분분석기를 이용하여 새로운 검량선을 만들고자 하였고 수집된 TMR 시료 253점에 대하여 부적합한 일부 시료를 제거하고 검량식 세트 160점과 검증 세트 40점으로 구별하여 일반성분 분석과 각 성분에 대한 NIR Calibration curve를 만들어 비교하여 신뢰성 높은 새로운 검량선을 개발하였다. 개발된 NIR 검량선을 이용할 경우 TMR 성분분석시 신속하고 신뢰성 높은 성분분석 값을 얻을 수 있을 것으로 사료되나 보다 정확하고 정밀한 검량선을 얻기 위해서는 더 많은 시료의 수집 및 분석, TMR의 구성요소에 비율 등의 연구가 추가되어야 할 것으로 생각한다.

V. 인 용 문 현

1. 고한종, 최홍립, 이효원. 2001. 근적외선 분광분석법을 이용한 비파괴적인 퇴비의 성분 측정. 동물자원지. 43(6):989-996.
2. 김기성, 노해원, 임상동, 최창현, 김용주. 2008. 색소첨가 NIR을 이용한 우유 체세포수 측정법 개발. 한국축산식품학회지. 28(1):63-68.
3. 김남철, 이현준, 이상철, 류일선, 이학교. 2001. 한국형 젖소용 개체유도사양 전산시스템과 낙농 개체관리서비스(DIMS)시스템 구축에 관한 연구.
3. 사료가치 신속평가체계 구축을 위한 근적외선 분광분석기의 한국형 NIR검량선 개발연구. 농특 과제보고서. 112-150.
4. 농촌진흥청 축산기술연구소. 2001. 제2판 사료표준분석법. 농촌진흥청 축산기술연구소. pp.14-15.
5. 박형수, 이종경, 이효원, 김수곤, 하종규. 2006. 근적외선분광법을 이용한 옥수수 사일리지의 소화율 및 에너지 평가. 한초지. 26(1):45-52.
6. 이효원, 김진동, 한건준, 김동암. 1996. NIRS를 이용한 목초의 품질평가. 1. 근적외선방법을 이용한 이탈리안 라이그래스의 ADF 및 NDF의 검량식 작성과정. 한국방송통신대학교 논문집. 22: 375-385.
7. 이효원, 박형수. 2001a. 사료가치 추정을 위한 근적외선 분광법의 이용 연구. 한국방송통신대학교 논문집. 32:205-213.
8. 이효원, 박형수, 김종덕. 2001b. 사일리지용 옥수수의 근적외선 분석에 관한 연구. 동물자원지. 43(6):981-988.
9. 이효원, 박형수, 이남진. 2003. 근적외선 분광분석법(near infrared reflectance spectroscopy)을 이용한 TMR의 사료가치 평가에 관한 연구. 대산논총 11집:177-183.
10. 이효원, 길동용. 2005. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)에 의한 음식물쓰레기 퇴비분석에 관한 연구. 한국유기농업학회 13(3):281-289.
11. 이효원, 김종덕, 김원호, 이종경. 2009. 근적외선 분광법에 의한 사초의 성분추정. 한국초지조사료학회지. 29(1):31-36.
12. 정희일, 김효진. 2000. 근적외선 분광법의 원리. Analytical Science & Technology. vol. 13, No. 1.
13. 통계청. 2009. 2008년 축산물생산비. 통계청.
14. Albanell, E., Plaixats J., Ferret, A., Bosch, L. and Casanás, F. 1995. Evaluation of near infrared

- reflectance spectroscopy for predicting stover quality trait in semi exotic population of maize. *J. Sci. Food Agric.* 69:263-273.
15. AOAC. 1990. Official methods of analysis 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, USA.
 16. De Boer, F. and Bickel, H. 1988. Impact of feed in livestock production. *Livestock Production Science* 19:3-10.
 17. De Boever, J. L., Cottyn, B. G., Vanacker, J. M. and Boucque, Ch. V. 1995. The use of NIRS to predict the chemical composition and the energy value of compound feeds for cattle. *Animal Feed Science and Technology* 51, 243-253.
 18. Kurt. Gutknecht. 1999. Doubts persist about NIR forage tests. *Wisconsin Agriculturist*. May. pp. 12-16.
 19. Linn, Martin. 1991. Forage quality analysis and interpretation. *Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice*. 7:2, 509-523, 17 ref.
 20. Lubbersted, T., Melchinger, A.E., Klein D., Degenhardt, H. and Paul Ch. 1997. QTL mapping in testcrosses of European flint lines of maize: II. Composition of Different testers for forage quality traits. *Crop Sci.* 37:1913-1922.
 21. Marten, G.C., Shenk, J.S. and Barton II, F.E., 1989. Near infrared reflectance analysis of forage quality. *USDA Agriculture Handbook No. 643 (revised)*. US Govt. Print. Office, Washington DC. USA.
 22. Murray. L. 1986. The NIR spectra of homologous series of organic compounds. *Proc. NIR/NIT Conf.* Budapest. pp.13-28.
 23. Norris, K.H., R.E.F. Barnes., J.E. Moore and J.S. Shenk. 1976. Predicting forages quality by infrared reflectance spectroscopy. *J. anim. Sci.* 43:889-897.
 24. Pravdova. V., Walczak. B., Massart. D.L., Kawano. S., Toyoda. K. and Tsenkova. R. 2001. Calibration of somatic cell count in milk based on near-infrared spectroscopy. *Anal. Chim. Acta*. 450: 131141.
 25. Reeves, Blosser, Colnbrander. 1991. Analysis of silage composition by near infrared reflectance spectroscopy. Proceeding International Society for Optical Engineering. 1379, 28-38; 21 ref.
 26. Shenk, Westerhaus. 1985. An expert NIRS forage system. Proceeding of the X V International Grassland Congress, August 24-31.
 27. Tsenkova. R., Atanassove. S., Kawano. R. and Toyoda. K. 2001. Somatic cell count determination in cow's milk by near-infrared spectroscopy: A new diagnostic tool. *J. Anim. Sci.* 79:2550-2557.
 28. Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O and B Books, Inc., Corvallis, OR. pp.81-84.
 29. Windham, W.R. 1987. Influence of grind and gravimetric technique on dry matter determination of forages intended for analysis by near infrared reflectances spectroscopy. *Crop Sci.* 27:773-776.
- (접수일: 2009년 8월 28일, 수정일 1차: 2009년 9월 4일, 수정일 2차: 2009년 9월 10일, 게재확정일: 2009년 9월 21일)