

바이오디젤 원료용 유채 함수율 센서 개발

이충근 최용 전현종 정광식

Development of a Moisture Content Sensor for Rapeseed as Biodiesel Raw Material

C. K. Lee Y. Choi H. J. Jun K. S. Jung

Abstract

This study was conducted to develop a moisture sensor for rapeseed, a bio-diesel material. A typical rapeseed, SUNMANG, was used as a raw material. The rapeseed moisture content sensor consists of three components, such as upper and bottom electrodes, a test material dish, and a fixing housing. To evaluate the performance, a data acquisition system was equipped with the rapeseed moisture sensor, computer, printer, and main board. The findings of this study were: 1) the rapeseed moisture content was inversely proportional to electric resistance, and 2) values of electric resistance were recorded in a range of 10~100 MΩ, depending upon a change of the moisture content. The determination of coefficient (R^2) and standard error between rapeseed moisture content and electric resistance were 0.9921 and ± 0.289 , which indicated a highly correlative relationship. The response of rapeseed moisture sensor to temperature change was also observed for further performance test. Satisfying results were obtained, such as the determination of coefficient (R^2) of 0.9918, predicted standard error of $\pm 0.373\%$, deviation of 0.103%, measurement error of 0.14~0.48%, standard deviation of 0.01~0.22%, and measurement time of 28.3 s per point, respectively.

Keywords : Rapeseed, Rapeseed moisture sensor, Bio-diesel

1. 서 론

화석연료의 지속적 사용은 온실가스 발생량을 증가시켜 지구 온난화의 결과를 초래하여 세계 각지의 기상이변을 일으키는 주 원인이 되고 있어 이를 더 이상 방치할 수 없다는 국제적 관심이 고조되면서 신·재생에너지의 이용에 대한 관심이 증폭되고 있다.

'05년 2월 16일 교토의정서가 발효됨에 따라 유럽연합과 일본 등 선진 몇몇 국가들은 협약을 통해 '90년 대비 '12년까지 온실가스 발생량을 5.2% 감축하기로 하였으며 그 방안으로 바이오연료 공급에 대한 여러 정책들을 추진하고 있다 (Kang, 2007). 이러한 전 세계적인 추세에 발맞추어 우리나라 '07년 9월 경제정책조정회의에서 바이오디젤 중장기 보급계획을 논의하여 바이오디젤의 혼합비율을 매년 0.5%씩

올려 2010년엔 2.0%, 2012년엔 3.0%까지 높이기로 확정 발표하였으며 '10년까지는 바이오디젤에 대한 면세지원을 2010년까지 연장하기로 하였다(MOKE, 2007). 바이오디젤의 보급 확대를 위해서는 바이오디젤 원료생산이 우선되어야 하는데 농림부에서는 벼 후작작물로 재배되고 있던 보리 재배가 소비자의 보리소비 감소로 인해 재배면적이 감소함에 따라 겨울철 유휴지에 유채 재배를 권장하고 있다. 즉, '07년부터 '09년까지 매년 전국의 1,500 ha의 면적에 바이오디젤 원료인 유채를 생산하기 위해 시범사업을 실시하기로 하였다 (MIAFF, 2007).

수확된 유채는 일정기간의 건조와 저장과정을 거쳐 농협에서 수매 할 예정이며 수매된 유채는 바이오디젤 회사에서 일괄 구매하여 대형 착유공장에서 착유한 후 바이오디젤 공장으로 보내져 바이오디젤로 변환할 계획으로 있다. 이러한 바

이오디젤 원료인 유채의 생산 및 공급체계에서 유채 수확적 기 판단, 최적 건조·저장 함수율 조건, 적정수매 함수율 조건 등의 판단을 현장에서 쉽고 객관적으로 할 수 있는 휴대형 유채 함수율 측정기가 필요하다.

곡물의 함수율을 측정하는 방법은 크게 직접법과 간접법이 있으며, 직접법은 일정 온도에서 무게의 변화가 없을 때까지 곡물을 건조시킨 후 건조 전후의 무게 차이에 의해서 함수율을 결정하는 방법이다. 간접법은 곡물의 수분 함유량과 전기 저항 또는 유전율 등과 같은 전기적 성질과의 관계를 이용하여 함수율을 결정하는 방법이다. 직접법은 함수율을 결정하려면 많은 시간이 소요되므로 최근에는 간접법이 많이 이용되고 있다. 간접법은 유전율을 측정하는 방식과 전기저항을 측정하는 방식이 많이 이용되고 있는데 유전율을 측정하는 방식은 곡물의 함수율에 따라 변화하는 유전율을 고주파용량으로 변화시켜 함수율을 결정하는 원리로서 비교적 다양한 시료를 이용하기 때문에 측정에 있어서 샘플간의 오차가 적으며, 다양한 곡종에 응용이 가능하므로 범용성이 높은 특징이 있다. 그러나, 함수율 측정을 위한 장치 구현에 있어서 구조가 비교적 복잡하고 장치 크기가 크고 고가인 점이 단점이다. 한편, 전기 저항 측정방식은 곡립의 함수율 증가에 따라 전기저항이 대수적으로 감소하는 원리를 이용한 것으로서 구조가 간단하고 장치 크기가 작으며 비교적 가격이 저렴한 장점이 있는 반면에 많은 양의 곡물을 측정할 수 없기 때문에 반복 측정이 필요하며, 곡물 쪽정이나 벗짚, 풀, 먼지 등의 이물질이 포함될 경우 함수율 측정오차가 커질 수 있는 단점을 가지고 있다(Go, 1996).

이러한 장단점 때문에 Nelson et al.(1990) 등은 고주파 임피던스 측정방식으로서, 평행평판 콘덴서를 이용해 1 MHz와 5 MHz일 때 전기용량의 변화에 의해 대두와 단일 곡립의 함수율 측정에 관한 내용을 발표했다. Li et al.(1997) 등은 농산물의 함수율 변화가 그 전자 유도율 혹은 유전율에 영향을 미치는데 착안해 고주파 코일을 이용한 함수율 측정 장치를 시작하여 벼 수분측정을 비파괴적으로 할 수 있는 방법을 제안하기도 하였다. Kim et al.(1999) 등은 평판형 샘플홀더, LC 발진장치(1~15 Hz), 무게 및 온도 계측장치, 자동배출장치, 컴퓨터 인터페이스 카드 등으로 구성된 온라인 함수율 장치를 개발하여 평균자승오차가 0.402%의 정확한 함수율 측정이 가능함을 제시하였다. 또한, Kim et al.(2000) 등은 마이크로파 10.5 GHz 주파수를 이용한 곡류의 함수율 측정센서로서 2x2 array 패치안테나를 설계·제작하여 함수율 측정 가능성을 검토하여 산물벼 함수율 측정이 가능함을 제시하였다. Kato et al.(2002)는 자탈형 콤바인에 부착 가능한 실시간 벼 함수율 계측센서의 개발을 위해 고주파 정전 용량식 방법에 의한 함수율 계측 방법을 제시하기도 했다.

유채 및 다곡종을 대상으로 한 함수율 측정기는 일본(PM-410, Kett, Japan)에서 비파괴 고주파 정전용량식 방법을 이용하여 측정하는 장치를 개발하여 시판하고 있다. 그러나, 국내에서 재배되고 있는 선망 품종에 대한 검량선이 내장되어 있지 않아 측정 정밀도가 낮으며, 가격이 고가여서 농가단위별로 구입하기가 쉽지 않다. 또한, 덴마크(SUPERPRO, Supertech Agroline Agroelectronics, Denmark)에서도 유채를 포함한 다곡종의 곡물을 파쇄하면서 발생되는 전기저항을 측정 하는 방식의 장치가 개발되어 있지만, 국내 도입함에 있어서 부피가 커서 국내 농가들이 사용하기에는 불편하며, 국내 재배 품종인 선망에 대한 검량선이 포함되어 있지 않아 정밀도가 낮으며, 농가단위별로 구입하기에는 비교적 고가인 점이 단점이다.

따라서, 영농현장에서 사용하기 쉽고, 구조가 간단하며, 가격이 저렴한 농가보급형의 유채 함수율 측정기가 필요하며, 동시에 국내에서 바이오디젤 원료용으로 재배되고 있는 선망 품종에 대한 최적의 함수율 측정기가 개발되어 있지 않다.

따라서 본 연구의 목적은 국내 재배 품종인 선망에 최적인 휴대형 유채 함수율 측정기를 개발함에 있어서 핵심기술인 함수율센서를 개발함에 있다.

2. 재료 및 방법

가. 함수율센서 설계 및 제작

1) 설계목표

휴대형 유채 함수율 측정기에 필요한 함수율센서를 개발함에 있어서 측정대상 품종은 국내에 바이오디젤 원료용으로 재배되고 있는 “선망” 품종으로 한정하였다. 함수율 측정방식은 비파괴식 방법인 고주파 정전용량식과 비교해 구조가 간단하고 소형으로 구현할 수 있는 전기 저항 검출방식을 선택하였다. 측정시간은 함수율 측정이 주로 현장에서 많이 이루어지며 측정에 시급성이 요구되기 때문에 시료샘플, 시료투입, 측정, 표시 그리고 청소하는데 소요되는 전체 시간이 1점당 30 초 이내로 설정하였다. 적정 측정범위는 유채 수확, 건조, 저장 그리고 수매 시 기준으로 제시될 수 있는 범위인 7~16%로 설정하였으며, 측정오차는 $\pm 0.5\%$ 이내로 설정하였다.

2) 설계 및 제작

유채 함수율 측정원리는 유채 종자가 전기적 성질을 가진 외부 전극에 의해 압쇄 및 분쇄되는 과정에서 함수율의 많고 적음에 따라 전기저항이 작아지고 커지는 특성을 이용한 전기저항 검출방식을 이용하였다. 측정원리를 그림 1과 같이 도식화 할 수 있으며, 식 1과 같이 표현된다.

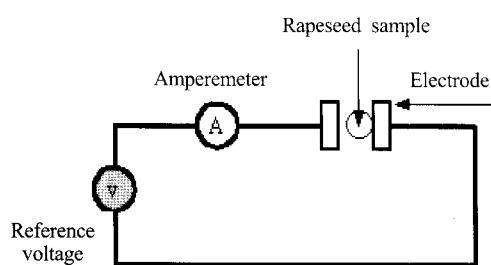


Fig. 1 The principle method of moisture content measurement.

$$\text{Resistance of rapeseed} = \frac{\text{Basal voltage (V)}}{\text{test seed (R)}} = \frac{\text{Basal voltage (V)}}{\text{Electric current (I)}}$$

유채 함수율 센서는 그림 2와 같이 상부전극, 하부전극, 판 스프링 그리고 시료 접시 등으로 구성하였다. 즉, 측정하고자 하는 유채 시료를 담을 수 있는 시료접시와 시료접시에 담긴 유채시료를 분쇄하기 위한 상부전극, 핸들로부터 분쇄되는 유채시료를 받쳐주는 하부전극 그리고 일정한 압력을 유지시켜주는 판 스프링 등으로 구성되어 있다.

상부전극은 그림 2와 같이 사용자가 쉽게 측정을 할 수 있게 T자형 볼트형태로 제작을 하였으며 전극부분은 최대한 가볍게 하기 위해 알루미늄 재질로 하였으며, 마모를 최소화 하기 위해 니켈도금을 하였다. 핸들부분은 전극과의 전기적 흐름을 차단하기 위해 강화 플라스틱을 이용하여 제작하였다. 전극 부분의 외경은 21.5 mm이며, 내경은 18 mm이며, 피치는 1.8 mm이고 감김수는 3으로 하였다. 하부전극의 전체 크기는 그림 2와 같이 가로 67.48 mm, 세로 29.5 mm로 제작하였으며, 시료를 담을 수 있는 공간은 스테인리스 재질을 이용하여, 직경 20.2 mm, 깊이 3 mm로 하고 내부엔 2.5 mm의 홈을 20개 위치시켜 1회 측정 시 유채 종자가 100~120립 정도 담을 수 있도록 하였다. 판 스프링은 폭 37 mm, 길이 85 mm, 두께 2 mm로서 비교적 탄성 특성이 강한 스프링 강(SK-5) 재질을 이용하여 제작하였다.

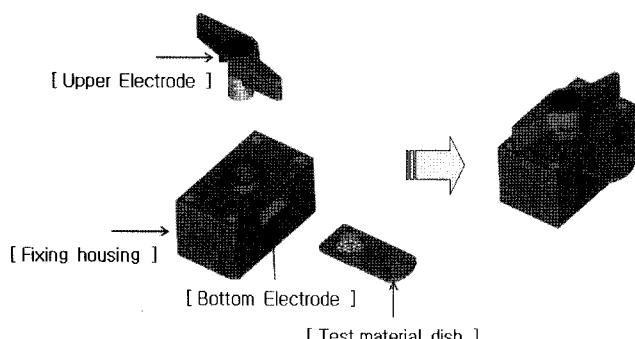


Fig. 2 Schematic of a rapeseed moisture measurement sensor.

나. 데이터 수집장치 설계 및 제작

시작된 함수율센서를 이용한 유채 함수율 변화에 따른 전기 저항값의 변화를 측정할 수 있도록 그림 3과 같이 데이터 수집장치를 설계하였다. 데이터 수집장치는 그림 4와 같이 유채 함수율센서, 온도센서, 제어 및 연산처리부, LCD출력부, 조작부, 전원부 등으로 제작하였다. 그리고 프로그램 수정과 외부출력 등을 위해 컴퓨터 및 프린터 등과 연결을 하였다. 회로 설계는 건전지 입력으로 이루어지는 전원회로를 정전압으로 설계하였으며, 건전지 체크, 온도 측정, LCD 표시, 스위치 조작부, 광학신호 입력부와 입력신호 증폭부, 데이터 저장부, 제어 연산부(CPU)로 나누어 설계했다. CPU(HT46R63, Holtek Co., Taiwan)는 액정표시장치 드라이버가 내장되어 있으며, 8채널의 A/D 컨버터와 32채널의 디지털 I/O를 가지고 있다. 대기의 온도를 측정하여 측정시료의 온도변화에 따른 물질의 저항변화를 보정해 주기 위해 온도센서(LM35, National Semiconductor Corp., USA)를 데이터 수집장치에 설치하였다.

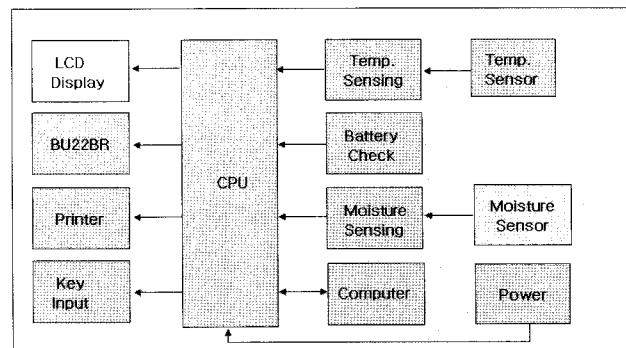


Fig. 3 Configuration of rapeseed moisture content measurement system.

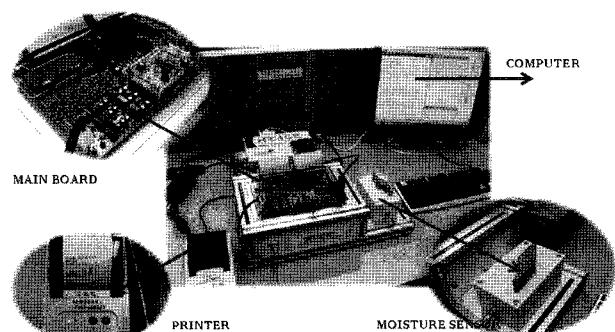


Fig. 4 Rapeseed moisture content measurement system.

다. 공시재료

공시재료로서 우리나라 영광지역에서 '06년 10월부터 '07년 6월에 걸쳐 재배되어 '07년 6월 18일에 수확된 선망 품종

을 이용하였다. 선정된 재료는 각각 선별 및 정선과정을 거쳐 포화염 용액조를 이용하여 실험조건에 맞는 함수율을 단계별로 조제하여 사용하였다. 함수율을 단계별로 조제함에 있어서 고려된 점은 유채를 수매할 때 기준이 되는 10%를 고려하여 상하단계 범위로 조제하였다. 함수율 조제에 이용된 포화 염용액조는 가로 520 mm 세로 570 mm 높이 600 mm 크기로 아크릴 및 알루미늄 재질로 제작된 것으로 내부 공기 흐름을 균일하게 분배하기 위해 내부에 팬이 장착되어 있다. 포화 염용액조에 사용된 시약은 시료에 수분을 증가시키게 하는 K_2SO_4 , KCl , $NaCl$ 3종류와 시료의 수분을 감소시키는 $MgCl_2$ 1가지였다. 함수율 조제에 있어서 포화염의 용액과 조안 공기중의 함수율은 평형상태를 유지하고, 목표 평형함수율까지 조제하는데 소요된 기간은 약 15~20일이었다. 포화 염용액조 안의 유채 시료는 매일 흔들어 혼합을 해 주었으며 위치도 변경해 가면서 흡습과 탈습이 고르게 이루어지도록 하였다.

라. 실험방법

1) 유채 함수율변화에 따른 출력변화 실험

유채함수율 변화에 따른 전기적 출력변화를 산출하기 전에 조제된 각 시료에 대한 함수율측정을 전건법에 의해서 산출하였다. 전건법은 건조중량, 건조온도, 건조시간 그리고 냉각시간으로 결정되는데 본 실험에서는 건조중량 10 g, 건조온도 130°C, 건조시간 4시간 그리고 냉각시간 40분으로 권장하고 있는 미국농공학회 표준(ASABE Standards, 2006)에 준해 측정하였다. 전건법에 이용된 건조로는 온도 오차범위 등을 만족시키는 건조로(PH-201, ESPEC. CORP., Japan)를 이용하였으며, 저울은 1 mg의 정확도까지 측정할 수 있는 전기식 지시저울(GH-200, AND, Japan)을 사용하였고, 건조용 시료접시는 단위면적당 질량분포가 적은 알루미늄 재질로 사용하였다. 사용된 시료의 함수율함량은 6.34~16.25%로 10단계였으며, 산물밀도는 함수율에 따라 586~628 kg/m³이었으며, 입경은 1.81~1.85 mm, 천립중은 3.651~4.262 g이었다. 실험순서는 우선, 측정용 시료접시에 시료를 균일하게 펴서 놓고 개발한 유채 함수율센서의 시료접시 투입구에 잘 밀어 넣은 다음, 상부전극과 결합되어 있는 핸들을 스토퍼가 있는 곳까지 돌린 후 측정버튼을 누르면 지시값이 표시된다. 동일 방법으로 5회 반복 측정하여 그 평균값을 각 시료의 대표값으로 하였다.

실험환경은 실내온도 22~23°C, 상대습도 48~55%인 곳에서 실험을 실시하였다. 실험내용은 유채 함수율과 전기저항과의 관계식 산출을 통한 검량선과 검량선 표준오차를 산출하였다.

2) 온도보정계수 산출 실험

유채 함수율센서의 온도변화에 따른 출력변화를 보상해 주기 위해 온도보정계수 산출 실험을 실시하였다. 실험 방법은 온도보정 계수 실험에 사용될 조제된 시료를 미리 선정하여 준비하고 시료의 온도 구간별 데이터를 측정하였다. 조제된 시료의 함수율 범위는 6.64~16.67%로서 5수준을 준비하였다. 온도보정계수 산출을 위한 기준온도를 20°C로 설정하였으며, 시료온도를 10°C, 20°C 그리고 30°C로 3단계로 설정하였으며, 온도 변화에 따른 함수율 변화값을 구하고, 그것을 온도 변화량으로 나누어 평균을 취하는 방식으로 계수를 산출하였다.

3) 모델 검증 및 성능실험

유채 함수율과 전기저항과의 관계에서 도출된 유채 검량선과 온도보정계수가 반영된 측정모델에 대한 검증실험을 실시하였다. 실험은 실내온도가 22~23°C, 상대습도가 48~55%인 곳에서 실시하였다. 측정시료는 포화염 용액조를 이용하여 조제된 시료를 이용하였으며, 시료의 함수율범위는 5.7~14.16% 범위로 12단계로 조제를 하였다. 실험내용은 측정 모델을 이용한 예측표준오차와 편이(bias)를 산출하였다. 정밀도와 재현성에 대한 실험도 실시하였는데 측정시료의 함수율범위는 6.64~14.6%로 5단계로 조제하여 각 30회 반복실험을 실시하였다. 정밀도 분석에 있어서는 30회 반복 실험한 결과값의 평균값과 전건법에 의해 측정한 함수율과의 차이를 통해서 평기를 하였으며, 재현성 평가는 30회 반복 실험한 값의 표준편차를 구하여 판단하였다. 측정시간 산출방법은 정밀도와 재현성 실험에 있어서 각각의 측정시간을 측정하여 평균값을 산출하여 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 유채 함수율 변화에 따른 출력변화

그림 5는 선망 품종에 있어서 함수율 변화에 따른 전기적 출력변화를 나타낸 그래프이다. 실험결과, 유채 함수율과 전기저항과는 반비례 관계가 있었으며 함수율변화에 따라 10~100 MΩ 범위의 전기저항값을 나타내었다. 유채 실제 함수율과 측정함수율과는 결정계수가 0.9921, 검량선 표준오차가 ±0.289로서 높은 상관관계를 보였다.

나. 온도보정계수 산출

그림 6은 유채 온도 변화에 따른 유채 함수율센서의 출력변화를 나타낸 것으로서 동일한 유채 함수율이지만, 온도가

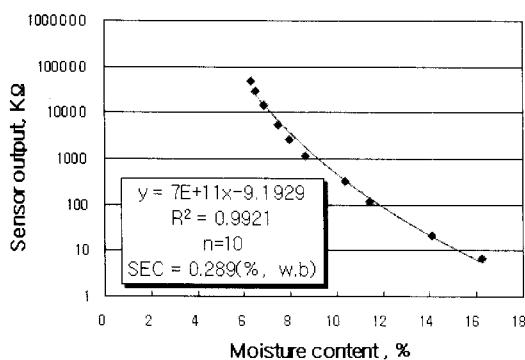


Fig. 5 Relation between rapeseed moisture content and sensor output.

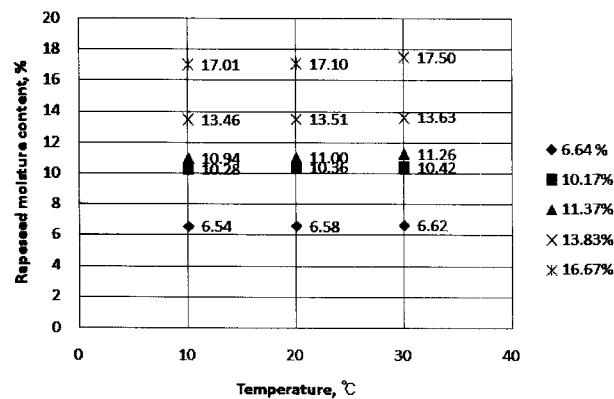


Fig. 6 Effect of grain temperature on rapeseed moisture sensor.

Table 1 Effect of grain temperature on rapeseed moisture sensor

Rapeseed moisture content (%)	10 ⇌ 20°C	20 ⇒ 30°C
6.64	-0.004	0.004
10.17	-0.008	0.006
11.37	-0.006	0.026
13.83	-0.005	0.012
16.67	-0.009	0.040
Average (%)	-0.006	0.018

상승함에 따라 함수율센서의 출력값은 증가함을 보였다. 즉, 표 1에서 표시하는 것과 같이 20°C를 기준으로 1°C씩 온도가 하강하면 평균 -0.006%의 함수율 값이 감소하게 되고, 1°C 온도가 상승하면 평균 0.018%의 함수율 값이 증가하였다. 이 값은 벼나 보리 등의 변화량인 0.1%에 비해 매우 작은 값으로서 그 원인은 벼나 보리 등과 비교해 유채는 물리적으로 조

직이 유연하고 입경이 작아서 온도변화 속도가 빠르기 때문으로 판단되었다(Nam et al., 1993). 따라서 유채 함수율 센서를 이용한 함수율 측정에 있어서 보다 정밀한 측정을 위해서는 곡물 온도변화에 상응하는 온도보정계수를 고려해 줄 필요가 있을 것으로 판단되었다.

4. 모델검증

유채 함수율과 전기저항과의 관계에서 도출된 유채 검량선과 온도보정계수가 반영된 측정모델에 대한 평가를 위해 실제 유채 함수율과 측정함수율과의 상관관계, 편이 그리고 예측표준오차를 산출해 보았다. 그 결과, 그림 7에서 나타내는 것과 같이 실제 유채 함수율과 측정함수율과는 높은 상관관계를 보였으며, 결정계수가 0.9918, 편이가 0.103%, 예측표준오차가 ±0.373%로서 아주 양호한 결과를 보였다. 이러한 예측 표준 오차는 함수율센서 개발을 위해 제시되었던 설계 목표치인 측정오차 범위 ±0.5% 이내를 만족시켰다.

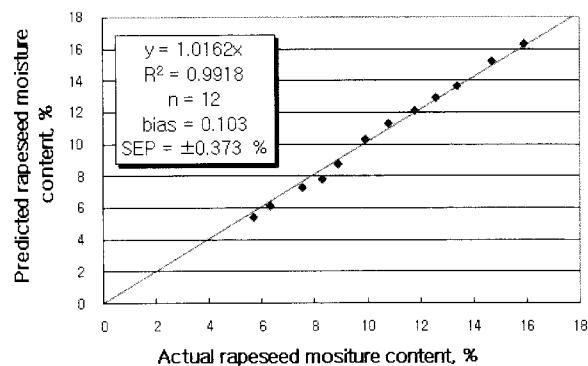


Fig. 7 Relation between actual rapeseed moisture content and predicted rapeseed moisture content.

5. 성능실험

시작된 유채 함수율 센서의 성능평가를 위해 측정 정밀도, 재현성 그리고 측정시간을 산출해 보았다. 표 2는 선망에 있어서 본 연구에서 개발된 함수율센서로 측정한 평균값, 전건법에 의해 측정한 값, 전건법과 함수율센서로 측정한 값의 차 그리고 함수율센서로 측정한 값의 표준편차를 나타내고 있다.

Table 2 Descriptive statistics of measuring error and standard deviation between dry oven method and rapeseed moisture sensor

Rapeseed moisture sensor (%)	6.16	6.75	8.12	9.10	14.19
Dry oven method (%)	6.64	6.89	8.32	9.40	14.60
Error (%)	0.48	0.14	0.20	0.30	0.41
Standard deviation (%)	0.010	0.111	0.071	0.171	0.220

그 결과, 정밀도 판단기준인 전건법과 함수율센서로 측정한 값의 차이는 0.14~0.48%를 보여 목표 측정오차 범위를 만족하였다. 시작된 함수율센서의 재현성 판단기준인 표준편차에 있어서는 0.01~0.22%를 보여 매우 우수한 재현성을 보였다.

시작기를 이용한 각각의 시료를 측정하는데 소요되는 시간은 평균 28.3초 정도가 소요되어 설계 목표치인 30초 이내를 만족하였다.

따라서, 본 연구에서 개발된 험수율 센서를 이용한다면 바이오디젤 원료 품종인 선망에 대한 험수율측정이 가능할 것으로 판단되었다. 향후, 이 센서를 이용한다면 휴대와 측정이 쉽고, 가벼우며, 신속·정확·편리한 유채 험수율측정기 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

바이오디젤 원료용 유채에 대한 험수율의 효율적 측정을 위해 휴대형 유채 험수율 측정기 개발에 있어 핵심기술인 험수율센서를 개발하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- (1) 유채 험수율과 전기저항과는 반비례관계가 있었으며 험수율변화에 따라 10~100 MΩ 범위의 전기저항값을 나타내었으며, 전기저항과 유채 험수율과는 결정계수가 0.9921, 검량선 표준오차가 ±0.289로서 높은 상관관계를 보였다.
- (2) 온도보정계수를 산출하였을 때 20°C를 기준으로 1°C 상승할 때 0.018%를 빼 주고, 1°C 하강할 때 0.006%를 더해 주면 되었다.
- (3) 유채 험수율센서의 검증실험 결과, 결정계수가 0.9918, 편이가 0.103%, 예측표준오차가 ±0.373%로서 설계 목표치를 만족하였다.
- (4) 유채 험수율센서의 측정오차 범위는 0.14~0.48%, 표준편차는 0.01~0.22%를 각각 보여 높은 측정정밀도와 재현성을 보였으며, 측정 시간은 점당 약 28.3초가 소요되어 설계 목표치를 만족하였다.

참고 문헌

1. ASABE Standards. 2006. S352.2: Moisture measurement-Unground grain and seeds. ASABE, St. Joseph, Michigan, USA.
2. Go, H. G. 1996. Book of Rice Processing Complex. pp. 276-280. Munhundang, Seoul, Republic of Korea.
3. Kang, H. C. 2007. Reporter for the Possibility Estimation of Korean Type Biofuels and Suggestion, - The around of Cost/Benefit Analysis -. Samsung Economic Research Institute, Seoul, Republic of Korea.
4. Kato, K., S. Takao, M. Eigi and I. Tomohiko 2002. Basic study of precision moisture measurement for high moisture grain (Part 1)- Accuracy factors and the bulk density correction electrode of moisture meter by radio frequency dielectric method for combine harvester. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 64(5):68-75. (In Japanese)
5. Kim, K. B., J. H. Kim and S. H. Noh. 1999. Development of moisture content measurement device for paddy rice using microwave free space transmission. Korea Society for Agricultural Machinery 24(3):235-242. (In Korean)
6. Kim, K. B., J. H. Kim and S. H. Noh. 2000. A 2×2 microstrip patch antenna array for moisture content measurement of paddy rice. Korea Society for Agricultural Machinery 25(2): 97-106. (In Korean)
7. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIAFF). 2007. Manual of the Project for Biodiesel Raw Material Rapeseed Production.
8. Ministry of Knowledge Economy (MOKE). 2007. The Middle and Long Term Supply Plans for Biodiesel.
9. Nam, H. S., C. B. Park, B. I. Choi and S. B. Woo. 1993. Moisture. Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, Republic of Korea.
10. Nelson, S. O., K. C. Lawrence and C. V. K. Kandala. 1990. Comparision of impedance and DC conductance sensing for single-kernel moisture measurement in corn. Transactions of ASAE 33(2):637-641.
11. Li, Z., T. Fujiki and S. Uchida. 1997. Measuring Grain Moisture using High Frequency Coil. Bulletin. Faculty of Agriculture. Saga University. 82:91-99.