

자탈 콤바인용 수분 센서 개발을 위한 기초연구

The Basic Study on Development of Moisture Sensor for Head-feeding Combine.

정인규*	이충근*	김상철*	성제훈*	박우풍*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
I. G. Jung	C. K. Lee	S. C. Kim	J. H. Sung	W. P. Park

1. 서론

동일한 포장내에서도 위치별로 토성과 비옥도에 따른 수확량에 서로 차이가 있으나 현재는 비료와 농약 등을 전체 포장에 대하여 동일한 기준으로 다량 살포하고 있어 농자재의 과다투입에 의한 환경오염이 초래되고 있다. 이러한 불합리한 영농을 배제하고 친환경적인 정밀농업을 구현하기 위해서는 작물재배 환경에 따른 포장 각 지점의 수확량을 정확히 측정하여, 수확량과 토성이나 토양의 비옥도, 생육상태, 균평도 등과 같은 포장정보들 사이의 상관관계를 분석하여 비료·농약의 적절한 투입량을 결정하는 것이 필요하다.

이를 위해서는 실시간으로 포장 위치별 수확량을 정확히 측정할 수 있는 시스템의 개발이 요구되고 있으나 국내외적으로 신뢰성 있는 수도작용 모니터링 시스템이 개발되어 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 벼 수확량 측정 시스템을 개발하는 데 있어서, 유량계측과 더불어 요구되는 벼 수분을 측정하기 위하여 벼 수확동시 실시간 수분계측 센서를 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시작기 제작

1) 수분 센서 기구부 설계 및 제작

수분 센서 시작기는 1회에 1립씩 곡립을 롤러로 투입 및 파쇄한뒤 곡립의 전기저항을 측정하여 함수율을 측정하는 구조로 제작하였으며, 시작기의 전체 크기는 자탈형 콤바인에의 부착을 고려하여 (W×H×D : 280mm×280mm×220mm) 크기로 제작하였다.

곡립을 파쇄하는 파쇄롤러의 회전속도비는 피동롤러대 구동롤러의 비를 2:1(12 : 24rpm)로 설정하여 서로 다른 회전속도로 곡립의 파쇄가 잘 되도록 하였으며, 롤러 간극을 0.5~2

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

mm 범위내에서 조절이 되도록 하여 곡립 파쇄시 일정한 압력이 유지 되도록 하여 곡립의 파쇄정도의 차이에 의한 측정 오차를 줄일 수 있도록 하였다.

그리고, 롤러는 전극의 역할을 할 수 있는 재질로 제작하였으며, 다른 부위와 절연이 되도록 하고 열처리를 하여 마모 및 녹이 슬지 않도록 하였다. 또한, 피동롤러와 구동롤러의 표면에는 곡립의 파쇄성능을 증가시키기 위하여 서로 다른 무늬(Ⅲ, Ⅳ)를 너링 가공하였으며 롤러의 직경은 60mm, 두께는 15mm 로 하였다.

롤러를 회전시키는 모터는 정방향의 회전만으로 곡립이 분쇄가 되도록 하였으며, 수분의 계측속도는 1초에 1회의 측정 속도를 가진다.

수분함량의 정확한 연속 계측을 위해서 1회 측정후 롤러 표면을 충분히 청소할 수 있도록 고정솔 및 회전솔, 스크레이퍼를 설치하였으며, 청소솔 및 스크레이퍼는 마모에 대응한 재질로 하였다. 수분센서는 벼뿐만 아니라 보리, 밀 등의 다른 곡립의 수분도 계측할 수 있는 구조로 기구부를 제작하였다.

2) 전자회로부 설계 및 제작

수분센서의 전자회로부는 롤러에서 파쇄된 곡립의 전기저항을 측정하고 신호를 처리할 수 있도록 로그(Log)앰프, 신호증폭 변환부, 기준전압 발생부, 온도센서 신호 증폭부, 전원부로 구성하였다.

수분의 측정 범위는 전기저항 방식의 특성을 고려하여 13~29% 로 하였고, 외기온 5~40℃ 범위에서는 곡립의 온도에 따라 수분함량이 변하는 것이 보정이 되도록 회로를 구성하였다. 온도보정의 원리는 온도가 1℃ 상승하거나 하락할 때 수분함량이 0.1% 하락하거나 상승하는 것에 따라서 보정이 되도록 하였다.

나. 센서 캘리브레이션

수분센서의 캘리브레이션은 대안벼를 가지고 센서의 출력신호와 표준건조법에 의해 측정된 수분함량을 비교하여 실시하였으며, 이를 위하여 항온항습기, 포화염용액 및 포화염용액조, 정밀 전자저울 등을 이용하여 다수의 표준시료를 제작하였다.

또한, 센서의 캘리브레이션은 곡물의 수분영역을 저수분, 중간수분 및 고수분 영역으로 나누어 실시하여 정밀도를 높일 수 있도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수분 센서 기구부 및 전자회로부 제작

단립파쇄 전기저항 측정 방식의 벼 수분센서 시작기의 구조는 그림 1과 같다. 콤팩트로부터 투입된 곡물은 수분센서의 회전 투입구에서 1립씩 롤러로 낙하하여 측정이 되고 롤러가 회전하는 동안 롤러의 표면이 청소가 되어 다음의 측정이 이루어지게 된다.



Fig. 1. The moisture sensor for paddy

그리고, 파쇄된 곡립의 전기저항을 측정하고 신호를 처리하여 수확량 모니터링 시스템의 처리장치로 전송하는 역할을 하는 전자회로 구성도는 그림 2와 같다.

수분센서의 전자회로부는 곡물의 수분 변화에 따른 전기저항이 LOG 함수 형태를 보이는 특성에 따라 로그함수를 처리할 수 있는 Log 앰프를 구성하였다.

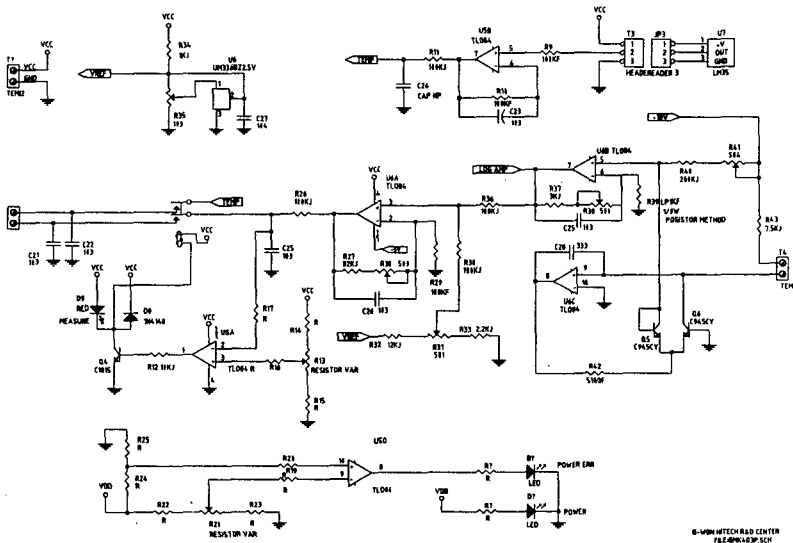


Fig. 2. The electronic circuits of moisture sensor

나. 센서 캘리브레이션 결과

센서의 캘리브레이션은 수매용의 대안벼로 표준시료를 제조하여 센서의 출력신호와 표준건조법에 의해 측정된 수분함량을 비교하여 실시하였으며, 캘리브레이션 정밀도를 높이기 위하여 곡물의 수분영역을 저수분(12.5~18%), 중간수분(18~23%) 및 고수분 영역(23~

30%)으로 나누어 실시하여 결과를 도출하였다. 이러한 수분 영역의 분류는 곡물의 수분 변화에 따른 전기저항이 LOG 함수 형태를 보이는 것에 의하여 출력신호의 특성상 임의로 구분하였다.

1) 저항값과 출력값(V)의 비교

수분센서의 곡물의 저항값과 전극사이의 출력값을 비교하여 캘리브레이션 한 결과는 수분 영역별로 그림 3, 4, 5와 같다. 이들 사이의 관계곡선 형태는 로그함수 형태로서, 저수분 영역에서의 저항·전압 관계식은 $y = -4.2772 \ln(x) + 11.455$ 로 나타나며, 이때 $R^2 = 0.9956$ 로 나타나 매우 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다.

곡립에 수분이 적은 저수분 영역에서는 곡물의 저항값이 10,000kΩ 이상으로 매우 크게 나타나며 수분함량이 증가할수록 이 값은 급격히 감소하는 경향을 보인다.

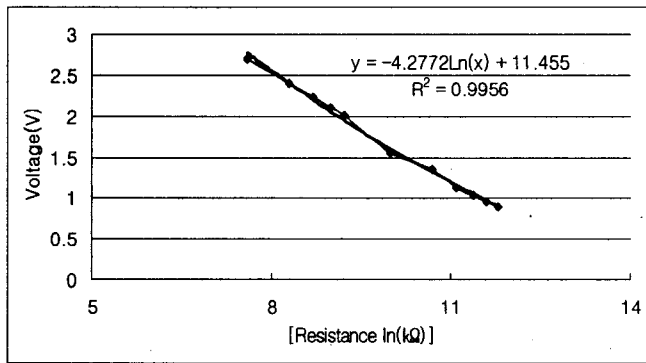


Fig. 3. The resistance-voltage curve on the low moisture contents area(12.5~18%)

수분범위 18~23%의 중간수분 영역에서의 저항·전압 관계식은 $y = -2.496 \ln(x) + 7.8329$ 로 나타나며, 이때의 결정계수 $R^2 = 0.9946$ 로써 역시 높은 상관관계를 보였다. 이 영역에서는 곡물의 저항값이 100~1,500kΩ 범위로 나타났다.

수분범위 23% 이상의 고수분 영역에서의 저항·전압 관계식은 $y = -1.0784 \ln(x) + 5.7025$ 로 나타나며, 이때의 결정계수 $R^2 = 0.9772$ 이었다. 이 영역에서는 곡물의 저항값이 10~100kΩ 범위로 나타났다.

수분센서 시작기의 곡물의 저항값과 전극사이의 출력값을 비교하여 캘리브레이션 한 결과는, R^2 이 0.97 이상으로 나타나 수분 영역 13~30% 범위에서는 수분센서로서의 기능을 충분히 수행할 수 있는 것으로 나타났다.

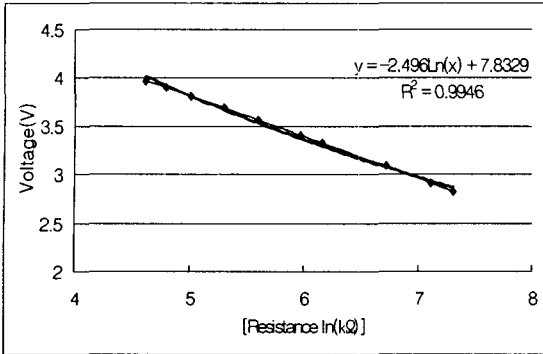


Fig. 4. The resistance-voltage curve on the middle moisture contents area(18~23%)

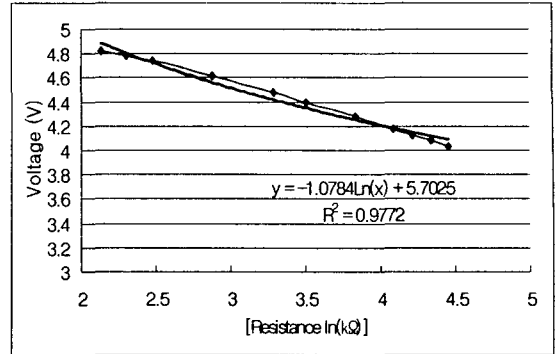


Fig. 5. The resistance-voltage curve on the high moisture contents area (23~30%)

그리하여, 이러한 결과를 바탕으로 센서 시작기의 전자회로부를 구성하여 신호를 처리할 수 있도록 하였다.

2) 출력값(V)과 수분과의 관계

곡물의 저항값과 전극사이의 출력값을 비교하여 캘리브레이션 한 결과를 바탕으로 출력전압과 수분량의 관계를 수식으로 작성하여 프로세서에서 처리할 수 있도록 프로그래밍 하였는데, 출력전압과 수분함량의 관계는 수분함량 $y = 9.8465e^{0.2184x}$ 로 지수함수 형태로 표현되며, 이때 결정계수(R^2)는 0.9884 로 높게 나타났다.

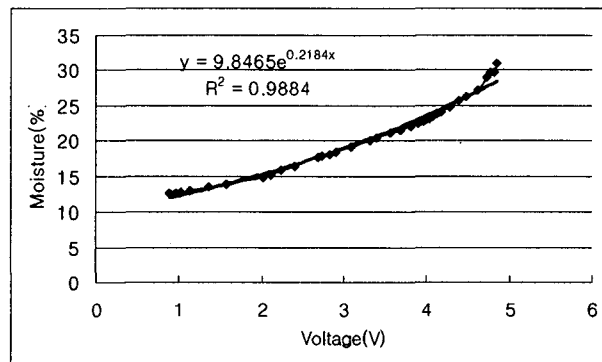


Fig. 6. The relationship curve between output voltage & moisture contents

개발된 수분센서는 자탈형 콤바인에 부착하여 유량센서 및 GPS 신호를 통합 처리하여 벼 수확량 측정 시스템으로서 역할을 수행하도록 하기 위한 것이므로 곡물 유량센서 및 속도센

서, 예취폭 검출센서 등의 보조 센서와 GPS와의 통합적인 시험이 필요하며, 뿐만 아니라 크기 및 무게도 시작기보다 가능한 한 줄이는 것이 요구된다.

그리고, 벼뿐만 아니라 보리, 밀 등의 다른 곡립의 수분도 측정하기 위해서는 측정하고자 하는 다른 곡종에 대해서 건조법에 의한 캘리브레이션이 필수적이다.

4. 요약 및 결론

친환경적 정밀농업의 구현을 위하여 포장 위치별로 포장정보에 대한 변이 파악이 요구되어, 변량처방을 위한 처방지도를 작성함에 있어 포장정보의 분석에 기준이 되는 벼 수확량을 포장 위치별로 측정하기 위하여, 유량계측 센서와 더불어 요구되는 벼 수분센서를 설계 및 제작하여 실험한 결과는 다음과 같다.

- 가. 자탈 콤바인용 수분센서를 단립 파쇄 저항측정 방식으로 제작하였으며, 수분측정범위는 13~29% 이고, 측정속도는 1초에 1회의 측정 속도를 가진다.
- 나. 수분계측의 오차를 줄이기 위하여 1회 측정후 브러시 및 스크레이퍼로 롤러표면을 청소하여 잔유물을 제거하며, 곡립 파쇄시 일정한 압력을 주기 위하여 피동롤러가 2mm 범위내에서 유동될 수 있도록 하였다.
- 다. 측정값을 처리하는 전자회로부는 로그앰프, 신호증폭 변환부, 기준전압 발생부, 전원부로 구성되며, 5~40℃ 범위내에서 온도보상이 가능하도록 제작하였다.
- 라. 수분 센서를 수분 영역별로 나누어 캘리브레이션 한 결과, 곡립의 전기저항과 출력전압의 관계가 결정계수(r^2) 0.9772~0.9956 범위로 나타나 높은 상관관계를 나타내었으며, 출력전압과 수분량의 관계도 상관계수가 0.9884 로 높게 나타났다.
- 마. 개발된 시작기는 자탈형 콤바인에 부착하기 위하여 크기 및 중량을 시작기보다 줄이는 것이 요구되며, 곡물 유량센서 및 속도센서, 예취폭 검출센서 등의 보조 센서와의 통합적인 시험이 필요하다.

5. 참고문헌

1. 곡물수분 측정기. 1998. 한국산업규격.
2. 수분. 1993. 정밀측정교재. 공업진흥청.
3. OP-AMP 이론 및 실험. 1999. 기전연구소.
4. Lars Thylén 외. 1996. The control errors in momentary yield data from combine harvesters.
5. Lee Choung Keun. 2001. Mapping of field information and development of yield sensor for precision agriculture in paddy field. Kyoto University.
6. R. Vansichen 외. 1993. A measurement technique for yield mapping of corn silage.
7. 李忠根, 飯田訓久. 1999. 水田におけるモミとワラの收量マップ. 農業機械學會誌 61(4).