

마이크로파 기술을 이용한 곡물의 수분 측정 장치에 관한 연구

정희원 조경준*, 정승환*, 전부경*, 김종헌*, 김남영**, 이찬주***, 김기복****, 노상하***

A Study on the Moisture Content Measurement of Grain using Microwave Techniques

Kyung-joon Cho*, Seong-hwan Jung*, Boo-kyung Jeon*, Jong-Heon Kim*, Nam-young Kim**, Chan-joo Lee***, Ki-bok Kim****, Sang-ha Noh**** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 X-band의 10.5 GHz 주파수를 이용하여 곡물의 함수율 측정을 위한 마이크로파 송수신 장치를 설계 및 제작하였다. 이 송수신 장치의 송신부는 온도특성이 우수하고 Q값이 높은 유전체 공진기를 이용한 단일 바이어스 발진기와 아이슬레이터 및 송신용 혼안테나로 구성하였으며, 수신부는 수신용 혼안테나와 고주파 특성의 장점을 지닌 쇼트키다이오드를 이용한 검파기 및 디지털 전압측정기로 구성하였다. 측정장치의 핵심부품들은 HP EEsof Libra를 이용하여 설계하였으며 하이브리드 MIC형태로 제작하였다. 그리고 이 송수신 장치를 이용하여 12~26%의 함수율을 갖는 화성 벼와 추청 벼의 함수량과 출력전압과의 관계를 측정하였으며, 그 결과를 통계적 방법으로 회귀 분석하여 온도 및 밀도 변화에 민감하지 않은 함수율 측정 보정 모델을 제안하였다.

ABSTRACT

In this paper, a microwave transceiver at 10.5 GHz in X-band for the moisture content measurement of grain is designed and implemented. The transmitter of this microwave transceiver is composed of a single biased oscillator with a dielectric resonator, which has the high Q value and good temperature stability, an isolator, and a horn antenna. The receiver is composed of a horn antenna, a detector with a microwave schottky diode, and a digital voltmeter. The main components of the transceiver are designed using HP EEsof Libra and are implemented by Hybrid-MIC(Microwave Integrated Circuit) form. For the samples of Hwasung and Chuchung rough rices with the moisture content of 12 ~ 26%, the relationship between the moisture content of grain and output voltage is measured by this microwave transceiver. From the experimental results, a temperature and density-independent calibration model for the moisture content measurement is suggested with regression analysis of the statistical method.

I. 서론

수분은 대부분의 물질에 있어서 중요한 구성 성분 중의 하나이며 특히 농산물이나 식품 등에 함유된

수분함량은 각 품질을 평가하는 데 있어서 중요한 인자가 된다. 또한 각종 농산물 및 식품가공공정 뿐만 아니라 저장단계에서 정확한 함수율을 측정하기 위한 시스템의 개발이 요구된다. 이러한 함수율의 측정 방법에는 전기저항식과 콘덴서식 수분측정 방법

* 광운대학교 전자공학과(jhkim@daisy.kwangwoon.co.kr),

** 광운대학교 전자공학과

**** 서울대학교 농업기계학과

논문번호 : 99199-0514, 접수일자 : 1999년 5월 14일

※ 이 논문은 1998년 한국 학술진흥재단의 학술연구비(과제번호: 98-E00053)에 의하여 지원되었음.

**** 신홍대학 전자통신학과,

이 주로 사용된다. 전기저항식 함수율 측정기는 시료의 함수율 증가에 따라 전기저항이 대수적으로 감소하는 원리를 이용한 것으로 시료와 전극간의 접촉저항을 안정화시키기 위하여 별도의 시료 분쇄장치가 필요하며 이에 따라 측정되는 시료의 양이 적어 수회의 반복측정을 해야한다. 또한 시료에 가하는 전극부의 압력 변화에 따라 함수율 측정값의 오차가 발생하며 20%이상의 고 함수율에서는 함수율의 변화에 따른 전기저항의 변화가 매우 작기 때문에 측정값의 오차가 크다는 단점이 있다^[1]. 한편, 콘덴서식은 시료의 함수율에 따라 변하는 유전율을 고주파 용량으로 변환시켜 함수율을 측정하는 방법으로서 비교적 넓은 범위의 수분을 비파괴적으로 신속하고 정확하게 측정할 수 있으나 시료의 유전율이 주파수, 온도 및 산물밀도 등에 큰 영향을 받으므로 이들을 보상에 주어야 하는 단점이 있다^[2].

마이크로파를 이용한 함수율 측정 연구는 주로 도파관이나 공동 공진기 방법을 사용하여 왔는데 이를 위하여 정교한 샘플홀더가 제작되어야 하며 정밀도가 높은 함수율 측정이 가능하나 샘플홀더의 구조 및 측정 원리상 시료의 함수율을 온라인으로 측정하기에는 다소 부적합한 단점을 가지고 있다^[3]. 최근에는 각종 농산물의 가공 및 유통에 관련된 장치 및 시설에 대한 자동화 요구가 증가하고 있으며 특히 곡물의 건조, 저장 및 가공공정 등에서 유동상태에 있는 원료의 함수율을 비파괴·비접촉식으로 측정할 수 있는 기술개발이 요구되어 송수신 안테나를 이용한 함수율 측정 방법이 제안되었는데 이 방법은 시료의 함수율에 따라 부과되는 마이크로파의 에너지 흡수에 의해서 발생하는 손실을 이용하여 넓은 범위의 함수율을 비접촉하면서 비파괴적으로 신속하게 온라인으로 측정할 수 있다는 장점이 있다^[3].

지금까지의 연구들은 대부분 곡물의 함수율과 마이크로파의 투과 또는 반사 특성과의 관계를 이용한 유전특성에 대한 기초 연구가 주로 이루어져 왔으며 정확도가 높은 함수율 측정이 가능한 것으로 보고되고 있다^[4]. 그러나 기존의 관련 연구는 실제의 함수율 측정장치의 설계·제작보다는 회로망 분석기와 같은 정밀한 측정장비를 이용한 연구가 대부분이므로 마이크로파를 이용한 함수율 측정센서 및 신호처리회로의 개발이 요구되고 있는 실정이다^[4].

본 논문에서는 이러한 연구의 필요성을 인식하여 보다 간편하게 곡물의 함수율을 측정할 수 있는 X-band의 10.5 GHz 주파수를 이용한 마이크로파 송수신 장치를 설계 및 제작하였으며 곡물의 함수율에

대한 출력전압의 측정치를 이용하여 온도 및 밀도 변화에 민감하지 않은 함수율 측정 모델을 개발하여 함수율 측정 센서의 응용 가능성을 보여주었다.

II. 마이크로파 함수율 측정 시스템

본 논문에서는 하이브리드 MIC (Hybrid Microwave Integrated Circuit) 제작이 용이하면서도 마이크로파 에너지 흡수가 크게 일어나는 X-band의 10.5 GHz 주파수를 이용한 곡물의 함수율 측정을 위한 장치를 설계, 제작하였다. 그림 1은 곡물의 함수율 측정을 위해 사용된 마이크로파 송수신 장치의 구성도이다.

2-1 송신부

측정장치의 송신부는 발진기, 아이솔레이터, 그리고 송신용 혼안테나로 구성하였다. 마이크로파 발진기는 잡음과 온도특성이 우수하고 Q값이 큰 유전체 공진기를 사용하여 10.5 GHz의 안정적인 출력을 발진시킨 다음 아이솔레이터를 사용하여 신호가 한쪽 방향으로 일정하게 흐르게 함과 동시에 반사되는 신호에 대하여 발진기의 손상을 보호하도록 하였다.

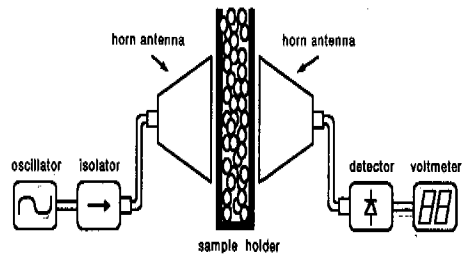


그림 1. 마이크로파 송수신 장치의 구성도

먼저, 송신부의 핵심부품이라 할 수 있는 발진기는 우수한 출력과 잡음지수가 낮은 능동소자인 HP사의 ATF-13786 MESFET과 제작 후 Tuning이 용이한 공진기를 사용하였다. 본 논문에서는 (주)한원 공진기 KFR-0531-C-212-A-30C를 사용하였다. 이때, 공진기의 직경은 5.31 mm, 두께는 3.62 mm(Support 포함), 온도상수는 0 ppm/°C, Q값은 6000, 그리고 비유전율은 38이다.

선정된 능동소자와 공진기의 특성 데이터를 이용하여 HP EEsos사의 회로설계 소프트웨어인 Libra ver. 6.1을 이용하여 유전체 공진 발진기를 설계하였다. 이 때 회로 구성이 간단하며 부하의 변동에 따른 발진주파수 및 출력의 변화가 적은 직렬 케환형으로

발진기를 설계하였다. 비유전율이 2.6, 두께가 0.54 mm, 동판의 두께가 0.018 mm인 Teflon 기판 위에 직접 인쇄 방식으로 제작하였다. 그림 2의 (a)는 Single source 바이어스 직렬 케환 모델이며 (b)는 유전체 공진 발진기의 Layout으로 전체 크기는 3×3.5 cm 이다.

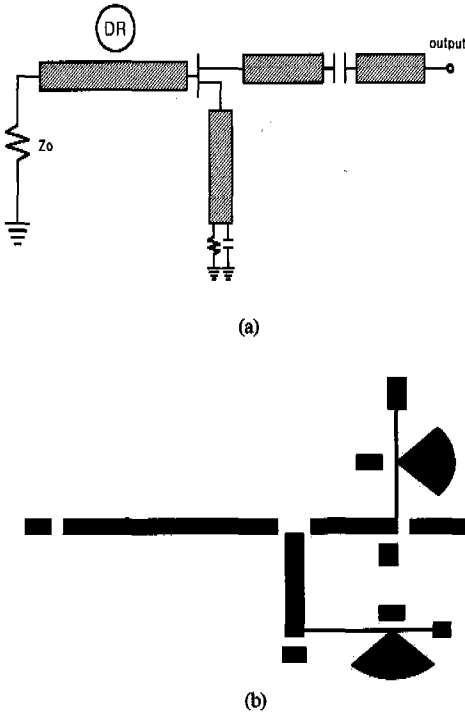


그림 2. Single source 바이어스 직렬 케환 모델 (a)과 유전체 공진 발진기의 Layout (b)

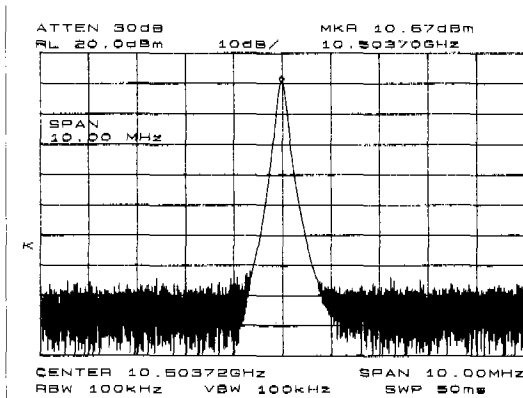


그림 3. 유전체 공진발진기의 출력 전력

그림 3은 HP 8563E 스펙트럼분석기로 Span 10 MHz에서 측정된 발진기의 출력 전력으로 발진 주파

수 10.5 GHz에서 10.67 dBm을 나타냈다. 또한, 고조파 특성은 -27 dBc, 위상 잡음은 -107.8 dBc/Hz, 주파수 Pulling은 ±0.03%, 주파수 Pushing은 ±0.0006% 였고 온도 변화에 따른 주파수 안정도는 4.8 ppm/°C 로 합수율 측정 발진기로서 매우 안정된 특성을 나타냈다.

아이솔레이터는 아이솔레이션이 20 dB이고 최대 VSWR이 1.25인 RADITEK사의 아이솔레이터 모듈을 사용하였고 송수신 안테나는 주변신호의 영향을 최소화하기 위하여 15~20 dB 이득을 갖는 X-band용 혼 안테나를 사용하였다.

2-2 수신부

시료를 투과하는 마이크로파 신호를 수신하기 위한 검파기는 다이오드의 비선형 특성을 이용하여 안테나를 통하여 입력된 RF신호를 DC신호로 검파하는 회로로서 크게 다이오드와 정합회로로 구성된다. RF 신호를 검파하기 위해서 일반적으로 Back 다이오드, Point contact 다이오드 및 Schottky 다이오드 등이 사용되나 본 논문에서는 전기적 및 기계적 충격에 가장 안정하고 고주파특성이 우수한 Schottky 다이오드를 선정하였다.

본 논문에서는 바이어스를 인가하지 않는 단순한 회로의 구현을 위해 M/A-com사의 MA40070 Zero bias schottky detector 다이오드를 사용하였다.

검파기의 회로 구성도는 그림 4와 같다. 검파기는 크게 길이 l_1 과 l_2 를 갖는 입력부의 정합회로와 커패시터와 저항으로 구성된 출력부의 정합회로로 나눈다. 이 때 입력부의 인덕턴스성분을 갖는 길이 l_2 는 RF신호에 대해 개방되어 다이오드 입력 방향으로 신호가 흐르게 하였고 반사계수를 줄이기 위해 길이 l_1 과 함께 튜닝하여 임피던스 정합을 하였다^[5]. 또한 Bypass 커패시터는 RF신호에 대해서는 단락시켜 저항에 걸리는 DC전압을 측정하도록 하였다.

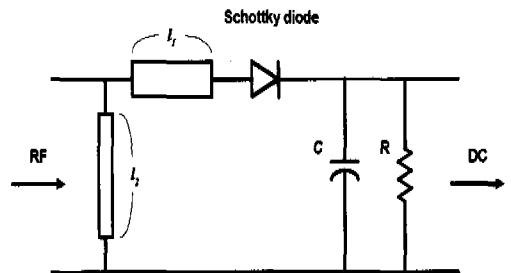


그림 4. 검파기의 회로 구성도

그림 5는 하이브리드 MIC로 제작한 검파기를 HP사의 8510C 회로망 분석기로 측정한 입력 반사손실을 나타내며 10.5 GHz에서 -20.424 dB를 나타내었으며 정재파비(VSWR)는 1.2096를 얻었다.

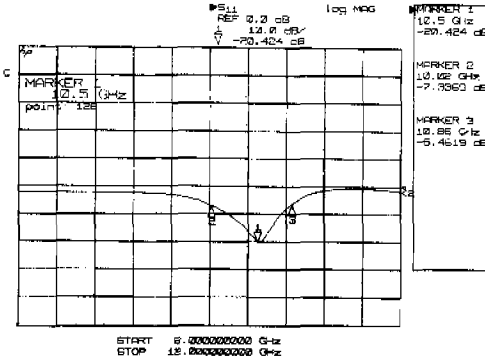


그림 5. 검파기의 입력 반사 손실

그림 6은 검파기의 특성을 나타내는 주요한 파라미터인 Voltage sensitivity 특성 그래프이다. 발진기의 전력을 검파기에 가변 입력하여 출력되는 DC전압을 디지털 전압측정기로 측정하였다. 검파기에 낮은 레벨의 신호가 입력되더라도 DC전압으로 충분히 검파할 수 있는 것으로 나타났다.

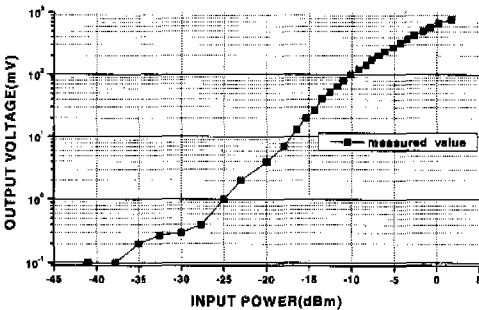


그림 6. 검파기의 Voltage sensitivity

2-3 마이크로파 투과용 샘플홀더

마이크로파가 투과되는 샘플홀더의 재질은 두께가 0.2 cm인 아크릴을 사용하였으며 투과면의 넓이는 전파가 투과할 때 발생하는 혼 안테나의 누설을 최소화하기 위하여 혼안테나의 가로 크기의 2배 이상인 15.52 cm로 하였다. 이때 샘플홀더의 폭은 X-band에서의 파장범위가 2.5~3.75 cm임을 감안하여 최소한 한 파장 이상의 투과길이를 고려하여 4.25 cm로

하였으며 샘플홀더의 크기는 4.25×11.96×15.52 cm로 제작하였다.

그림 7은 본 논문에서 구성한 함수율 측정 마이크로파 송수신 장치의 실물도이다.

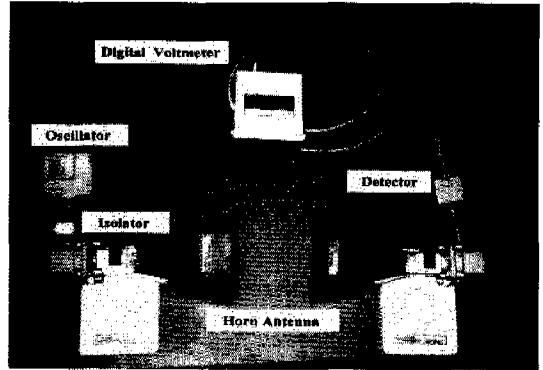


그림 7. 마이크로파 송수신 장치의 실물도

III. 함수율 측정실험

3-1. 공시재료

실험에 사용된 공시재료는 경기도 화성군에서 1998년도에 수확된 단립종인 화성 벼와 추청 벼를 사용하였으며 화성 벼의 함수율 범위는 13.61~26.25%, 추청 벼의 함수율 범위는 12.03~26.00%로 하였으며 시료의 함수율은 각각 10수준씩으로 하였다. 한편, 표준 함수율의 결정은 10 g의 시료를 13 5°C의 공기오븐에서 24시간 건조하여 결정하였다.

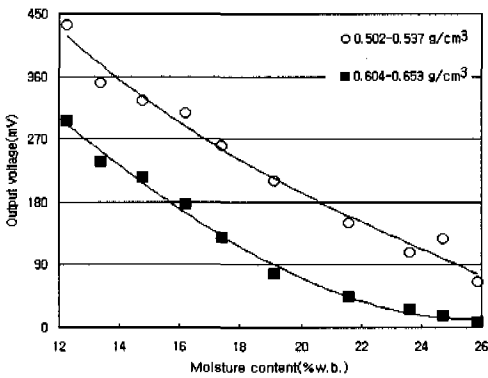
3-2. 실험 방법

마이크로파 투과실험은 먼저 마이크로파 송수신 안테나 사이에 시료가 채워진 샘플홀더를 위치시킨 다음 수신 안테나에서 감쇠되는 신호를 검출하였다. 이 때 샘플홀더 내에 채워지는 시료가 동일한 함수율에서 산물밀도에 따라 마이크로파의 감쇠가 다르게 나타나므로 마이크로파 투과특성을 이용한 함수율 측정장치의 개발에서 이러한 산물밀도가 마이크로파 신호에 미치는 영향을 보다 명확하게 규명하기 위하여 동일한 함수율에서 산물밀도의 범위를 5수준으로 변화시켜 가면서 실험하였다. 또한 함수율 측정 장치 개발에서 반드시 고려해야 할 시료의 온도특성을 분석하기 위하여 시료의 온도 범위를 5~7°C, 17~19°C, 29~32°C, 40~42°C의 4수준으로 변화시키면서 실험을 수행하였으며 주위온도는 17±0.5°C로 유지하였다.

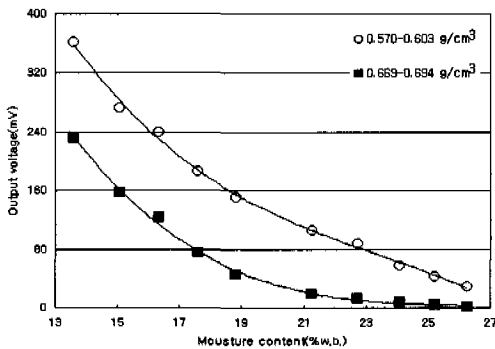
IV. 함수율 측정 모델

본 연구에서 개발한 마이크로파 송수신장치를 위한 벼의 함수율 측정 모델을 개발하기 위하여 샘플 홀더 내 시료의 함수율, 산물밀도, 온도 등의 변화가 마이크로파 신호의 출력전압에 미치는 영향을 분석하였다. 이러한 요인분석 결과를 토대로 하여 벼의 함수율 측정 보정 모델을 개발하였다.

4-1. 함수율 및 산물밀도에 따른 출력전압의 변화
실험에 사용된 5수준의 산물밀도 중에서 최소값과 최고값을 선택하고 각각 함수율에 따른 출력전압의 변화를 나타낸 결과 함수율이 증가함에 따라 마이크로파 신호의 출력전압은 거의 다항 함수적으로 감소하는 경향을 나타내었으며 동일한 함수율 내에서도 산물밀도의 변화에 따라 즉, 산물밀도가 증가함에 따라 출력전압이 감소하는 것으로 나타났다.



(a) 화성 벼

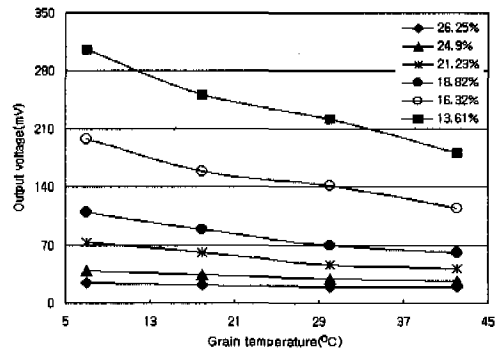


(b) 추청 벼

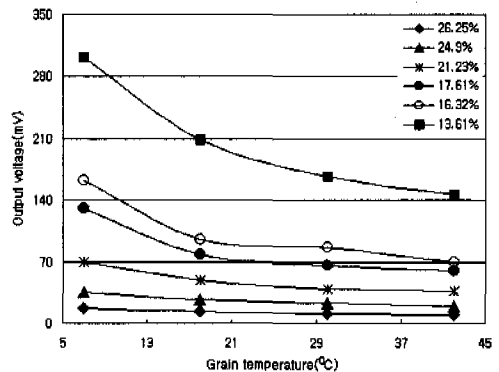
그림 8. 지정된 산물밀도에서 함수율에 대한 출력전압

그림 8은 단립종인 화성 벼와 추청 벼를 지정된 산물밀도에서 함수율에 대한 출력전압을 측정하는 것이다. 시료의 품질에 따라 다른 결과를 나타내었는데 이것은 화성 벼와 추청 벼의 정선상태의 차이인 것으로 판단된다. 즉, 추청 벼의 경우 까락의 수가 화성 벼보다 많은 것으로 분석되어 각 시료의 천립중에서 까락이 차지하는 비율은 화성 벼의 경우 1.739%, 추청 벼의 경우 2.933%로 나타났다. 따라서 보다 정확도가 높은 벼의 함수율을 측정하기 위해서는 시료의 정선상태가 양호해야 하거나 혹은 동일한 시료의 정선상태에서 함수율을 측정해야 할 것으로 판단된다.

4-2. 시료의 온도변화에 따른 출력전압의 변화
그림 9는 화성 벼를 이용하여 주위온도를 17±0.5℃로 유지한 후, 시료의 산물밀도를 0.530~0.572 g/cm³ 및 0.586~0.604 g/cm³의 2수준으로 유지한 다음 각각의 산물밀도에서 시료의 온도를 5~42℃ 범위에서 4수준으로 변화시키면서 샘플홀더를 투과하는 마이크로파 신호의 출력전압 변화를 나타낸 결과이다.



(a) 산물밀도 0.530~0.572 g/cm³



(b) 산물밀도 0.586~0.604 g/cm³

그림 9. 지정된 산물밀도에서 화성 벼의 온도가 출력전압에 미치는 영향

각각의 함수율에서 시료의 온도가 증가함에 따라 출력전압은 전반적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 출력전압의 감소 경향은 동일한 함수율 내에서 산물 밀도가 일정할 때 시료의 온도가 증가하면 시료 내에 포함된 수분의 활성도가 증가하여 투과되는 마이크로파 신호의 에너지 흡수가 크게 일어나기 때문이다. 따라서 마이크로파를 이용한 함수율 측정장치의 개발에서는 이러한 시료의 온도변화에 대한 영향을 반드시 보정해야 한다.

4-3. 수분밀도를 이용한 산물밀도 보정

시료의 산물밀도에 따른 마이크로파 신호의 출력전압 변동을 보정하기 위하여 기존에 제안된 함수율과 산물밀도의 곱으로 표현되는 수분밀도를 이용하여 산물밀도의 보정 가능성을 검토하였다¹³⁾. 이러한 수분밀도는 샘플홀더 내 시료가 포함하고 있는 수분의 절대적인 양을 나타낸다. 시료의 수분밀도에 따른 출력전압은 화성 벼와 추청 벼 각각에서 그림 10에서와 같이 다항 함수적인 관계를 나타내었다. 따라서 화성 벼와 추청 벼에 대한 데이터를 합하여 수분밀도에 따른 출력전압을 회귀 방정식으로 표현 가능하다. 시료의 정선상태가 다소 다르거나 혹은 품종이 다를 경우에도 수분밀도를 함수율 측정시 산물밀도의 보정인자로 이용할 경우 비교적 정확한 함수율의 측정이 가능하다. 수분 밀도와 출력전압이 다항 함수적인 관계를 나타내는 것은 투과되는 마이크로파 신호를 검파하는 쇼트키 다이오드의 전류 포화특성의 원인으로 발생한 것이다.

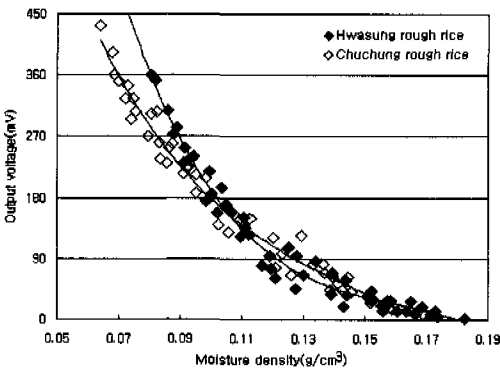


그림 10. 곡물의 수분밀도와 출력전압과의 관계곡선

4-4. 마이크로파 투과특성을 이용한 함수율 측정 모델

본 논문에서 제작한 마이크로파 송수신 장치를 이

용하여 온도 및 밀도 변화에 민감하지 않은 벼의 함수율 측정 모델을 구하기 위하여 지금까지의 각 요인을 분석한 결과를 근거로 하여 화성 벼에 대하여 통계분석 소프트웨어인 SAS(Statistical Analysis Software) 프로그램을 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 출력전압과 시료의 온도를 독립변수로 하여 수분 밀도는

$$\rho_m = a \times V^2 + b \times V^2 + c \times V + d \times T + e \tag{1}$$

로 표현된다. 여기서, ρ_m 는 수분밀도(함수율×산물 밀도, g/cm^3), V 는 출력전압(mV), T 는 시료의 온도(°C) 그리고 a, b, c, d, e 는 회귀계수를 나타낸다.

표 1은 회귀 분석 결과이며 결정계수 R^2 가 0.9761로 비교적 높게 나타나므로 산물밀도와 온도의 영향을 보정하면서 정확도가 높은 함수율 측정이 가능함을 알 수 있다.

표 1. 화성 벼의 회귀 분석 결과

Regression Coefficients					R^2	Root MSE
a	b	c	d	e		
-10.9332	6.4771	-1.3082	-0.0005	0.1845	0.9761	0.00407

표 1의 분석 결과를 통하여 본 논문에서는 화성 벼의 함수율 측정 모델식을 다음과 같이 제안하였다.

$$MC(\%) = \frac{\rho_m}{\rho_b} = \frac{-10.9332V^2 + 6.4771V^2 - 1.3082V - 0.0005T + 0.1845}{\rho_b} \tag{2}$$

여기서, $MC(\%)$ 는 함수율(%)이고 ρ_b 는 산물밀도(g/cm^3)이다.

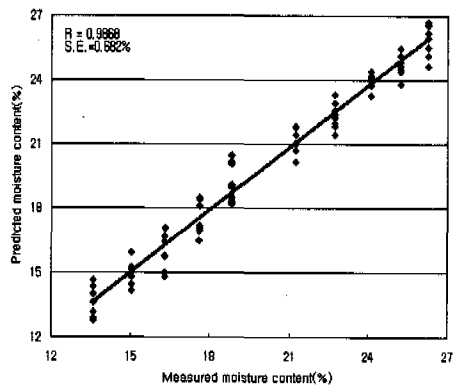


그림 11. 함수율의 실측값과 예측값의 관계곡선

본 논문에서 제안한 함수율 측정 모델을 이용하여 화성 벼에 대하여 함수율의 예측값과 실측값을 비교한 결과 그림 11과 같으며 상관계수는 0.9868, 표준오차는 0.682%로 나타나 산물밀도 및 온도의 영향을 보정하면서 비교적 정확도가 높은 함수율 측정이 가능함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 X-band 대역의 10.5 GHz 주파수를 이용하여 곡물의 함수율을 측정하기 위한 마이크로파 송수신 장치를 설계·제작하였다.

송신부의 발진기는 직렬레환형태의 기본회로에 단일 바이어스를 사용하여 바이어스 인가가 용이하도록 제작하였다. 발진기는 동작주파수인 10.503 GHz에서 10.67 dBm의 출력전력과 중심주파수에서 100 kHz 떨어진 곳에서 -107.8 dBc/Hz의 위상잡음을 나타내었으며 온도특성은 4.8 ppm/°C의 우수한 성능을 나타내었다.

수신부 검파기는 쇼트키 다이오드를 이용하여 제작하였으며 입력정합을 하여 반사손실은 -20.424 dB, 정재파비는 1.2096를 나타내었으며 입력 전력에 대한 출력 DC전압의 관계인 Voltage sensitivity 특성 곡선을 구하여 함수율이 높은 곡물에서도 신호를 충분히 검파함을 알 수 있었다.

이와같은 송수신장치를 이용하여 함수율 범위가 각각 13.61~26.25% 및 12.03~26.00%인 화성 벼와 추청 벼를 대상으로 하여 전파 투과특성을 실험하였다. 측정 데이터를 통하여 함수율과 산물밀도가 증가함에 따라 마이크로파 신호의 출력전압은 거의 다항 함수적으로 감소하였으며 동일한 함수율 내에서 시료의 온도증가에 따라서도 대체적으로 출력전압이 감소하는 경향을 나타내었다. 산물밀도를 보정하기 위한 인자로 함수율과 산물밀도의 곱으로 표현되는 수분밀도를 이용할 경우 정확도가 높은 함수율 측정이 가능할 것으로 분석되었다.

시료의 온도와 출력전압을 독립변수로 하여 함수율 측정 모델을 개발하여 화성 벼에 대하여 함수율의 예측값과 실측값을 비교한 결과 상관계수는 0.9868, 표준오차는 0.682%로 나타나 산물밀도와 시료 온도의 영향을 보정하면서 정확도가 높은 벼의 함수율 측정이 가능한 것으로 분석되었다.

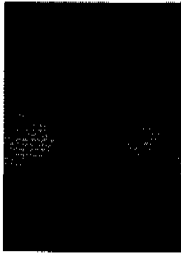
따라서 본 연구에서 개발된 함수율 측정 모델을 사용하여 간단하게 마이크로파를 이용한 함수율 측

정장치를 구성 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

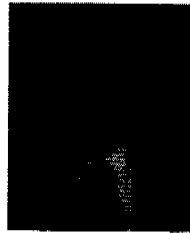
- [1] J. H. Chung and L. R. Verma, "Measurement of Rice Moisture during Drying using Resistance-type Sensors," *Trans. ASAE*, Vol. 7, No. 5, pp. 630-635, 1991.
- [2] C. V. K. Kandala, R. G. Leffler, S. O. Nelson and K. C. Lawrence, "Capacitive Sensors for Measuring Single-kernal Moisture Content in Corn," *ASAE Paper No. 86-3004*, 1986.
- [3] J. H. Kim, K. B. Kim, and S. H. Hoh, "New density-Independent Model for Measurement of Grain Moisture Content Using Microwave Techniques," *Journal of Engineering and Information Science*, Vol. 2, No. 4, pp. 72-73, 1997.
- [4] S. Okamura, "High-moisture Content Measurement of Grain by Microwave," *J. Microwave Power*, Vol. 16, No. 3 & 4, pp. 253-256, 1981.
- [5] A. P. S. Khanna, "Introduction to DROs," *HP AvanteK Application Note*, no. AN-M003, pp. 1-15, 1989.
- [6] Hewlett-Packard, "The Zero Bias Schottky Detector Diode," *HP Application Note 969*.
- [7] Hewlett-Packard, "Designing Detectors for RF/ID Tags" *HP Application Note 1089*.
- [8] Y. Miyai, "A New Microwave Moisture Meter for Grains," *Journal of Microwave Power*, Vol. 13, pp. 163-166, 1978.
- [9] L. A. Trinogga, G. Kaizhou, and I.C. Hunter, *Practical Microstrip Circuit Design*, Ellis Horwood Limited, pp. 311-313, 1991.
- [10] J. M. Floch, "Technique Allows Simple Design of Microwave DROs," *Microwaves & RF*, pp. 107-112, 1995.

조 경 준(Kyung-joon Cho) 학생회원



1998년 2월 : 안양대학교 정보통신 공학과 졸업
1998년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
<주관심 분야> 선형 전력 증폭기, RF 회로 설계

이 찬 주(Chan-ju Lee) 정회원



1987년 2월 : 광운대학교 전자통신 공학과 졸업
1989년 8월 : 광운대학교 전자통신 공학과 공학석사
1994년 8월 : 광운대학교 전자통신 공학과 공학박사

1996년 4월~1997년 3월 : 독일 Aachen 공대 Post Doc.
1994년~현재 : 신홍대학 전자통신과 조교수
<주관심 분야> RF 및 M/W 회로 설계

정 승 환(Seong-hwan Jung) 학생회원



1998년 2월 : 광운대학교 전파공학과 졸업
1998년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
<주관심 분야> 선형 전력 증폭기, 유전체 공진 발전기

김 남 영(Nam-young Kim) 정회원

1987년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
1991년 1월 : 뉴욕주립대학교 전자공학과 공학석사
1994년 2월 : 뉴욕주립대학교 전자공학과 공학박사
1994년 9월~현재 : 광운대학교 전자공학부 부교수
<주관심 분야> MMIC 회로 설계 및 RFIC

전 부 경(Boo-kyung Jeon) 학생회원

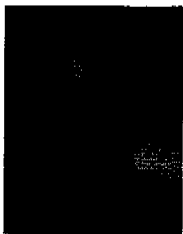


1998년 2월 : 한국의국어대학교 전자공학과 졸업
1998년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
<주관심 분야> RF 필터, M/W 회로설계

김 기 복(Ki-bok Kim)

1989년 2월 : 서울대학교 농업기계학과 졸업
1991년 2월 : 서울대학교 농업기계학과 석사
1997년 2월 : 서울대학교 농업기계학과 박사
1997년 3월~현재 : 서울대학교 농업기계학과 연구원
<주관심 분야> 수분측정 센서 및 측정 기술

김 종 현(Jong-heon Kim) 정회원



1984년 2월 : 광운대학교 전자통신 공학과 졸업
1990년 6월 : 독일 Ruhr Univ. Bochum 전자공학과 공학석사
1994년 8월 : 독일 Dortmund Univ. 전자공학과 공학박사

노 상 하(Sang-ha Noh)

1970년 2월 서울대학교 농업기계학과 졸업
1976년 2월 서울대학교 농업기계학과 석사
1979년 미국 Missouri Univ. 농업기계학 박사
<주관심 분야> 수분측정 센서 및 측정 기술

1995년 4월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 부교수
<주관심 분야> 초고주파 측정 및 센서, EMI/EMC, 초고주파 및 광집적회로