

두 개의 주파수에서 마이크로파 감쇄를 이용한 곡물의 함수율 측정에 관한 연구

김송흡, 조정준, 김종현*,

*광운대학교 전파공학과,

A Study on the Grain Moisture Measurement using Microwave Attenuations at Two Frequencies

Song-Heub Kim, Kyoung-Joon Cho, Jong-Heon Kim,

*Dept. of Radio Science & Engineering, Kwangwoon University

ABSTRACT

본 논문에서는 X-band의 10.5 GHz와 S-band의 2.38 GHz 두가지 주파수를 이용하여 곡물의 함수율 측정을 위한 마이크로파 송수신 장치를 설계 및 제작하였다. 측정 장치들의 핵심부품인 발진기, 송수신 패치 안테나와 검파기는 HP EEsosf ADS를 이용하여 설계하였으며 하이브리드 MIC형태로 제작하였다. 이 송수신 측정장치를 이용하여 측정된 데이터를 통계분석 프로그램으로 회귀 분석하여 밀도에 민감하지 않은 새로운 보정 모델을 제시하였다. 시료의 출력 전압을 독립변수로 한 함수율 측정 모델을 가지고 함수율의 예측값과 실측값을 비교한 결과 상관계수는 0.9276, 표준오차는 0.975 %로 나타나 산물밀도를 보정하면서 정확도가 높은 벼의 함수율 측정이 가능하였다.

I. 서론

두 개의 주파수에서 곡물의 함수율 측정은 정지 상태나 산물밀도의 영향을 감소하고, 정확도를 향상시키는 데 용이하다. 또한 유동상태의 함수율을 측정하기 위하여 두개의 주파수를 이용하여 마이크로파 주파수에 따른 감쇄특성에 관한 연구는 동일한 수분이라도 두 개의 주파수에서 감쇄 정도가 차이가 나므로 이러한 특성을 적극적으로 활용하여 보다 정확하고, 시료의 상태에 영향을 덜 받는 함수율 측정방법을 제시할 수 있다[1].

함수율 측정장치는 송신부와 수신부로 구분할 수가 있고 송신부에는 발진기, 송신용 안테나, 아이솔레이터로 구성되고 수신부에는 수신용 안테나, 검파기, 디지털 전압측정기로 구성이 되어 출력전압과 함수율의 관계로 유추하여 곡물의 함수율을 결정할 수가 있다.

함수율에 따른 두 개의 주파수에서의 감쇄에 의해 검파기에서 출력되는 직류전압은 각기 함수율과의 관계를

얻을 수가 있고 온도에 대한 영향은 고정시킨다.

마이크로파 투과실험은 먼저 마이크로파 송수신 안테나 사이에 시료가 채워진 샘플홀더를 위치시킨 다음 수신안테나에서 감쇄되는 신호를 검출하였다. 샘플홀더 내에 시료가 동일한 함수율에서 산물밀도에 따라 마이크로파의 감쇄가 다르게 나타나므로 마이크로파 투과특성을 이용한 함수율 측정장치의 개발에서 산물밀도가 마이크로파 신호에 미치는 영향을 보다 명확하게 구명하기 위하여 동일한 함수율에서 산물밀도의 범위를 변화시켜 가면서 실험하였다[2].

측정된 데이터를 통계 분석 프로그램으로 회귀 분석하여 온도와 밀도에 민감하지 않은 새로운 보정 모델을 제시하였다. 보정 모델을 통한 함수율의 측정값과 예측값을 비교해 본 결과 일치하였다. 시료의 온도와 출력전압을 독립변수로 하여 함수율 측정 모델을 개발하여 산물밀도와 시료온도의 영향을 보정하면서 정확도가 높은 벼의 함수율이 측정 가능하였다[3].

II. 수분측정장치

본 논문에서는 X-band의 10.5 GHz와 S-band의 2.38 GHz 대역의 주파수를 이용한 곡물의 수분측정을 위한 장치를 설계, 제작하였다. 그림 1은 곡물의 수분측정을 위해 사용된 송수신 측정장치의 구성도이다. X-band 와 S-band의 장치 구성도는 동일하다.

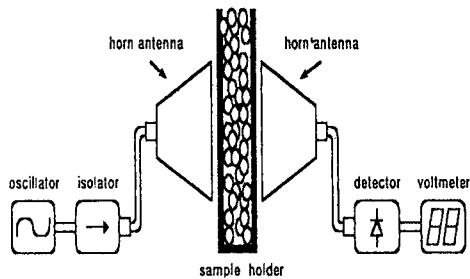


그림 1. 곡물 수분 측정 장치 구성도

1. 송신부

송신부는 발진기, 아이솔레이터와 송신용 패치 어레이 안테나로 구성하였다. 송신단의 발진기에서 잡음과 온도 특성이 우수하고 Q값이 큰 유전체 공진기를 사용하여 안정한 출력을 발진시키고 아이솔레이터를 사용하여 신호가 한쪽 방향으로 일정하게 흐르게 하였고 반사되는 신호에 대하여 발진기의 손상을 보호하였다.

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

유전체 공진 발진기를 HP EEsos사의 ADS를 이용하여 설계하였다. 특히, 회로 구성이 간단하고 부하의 변동에 따른 발진 주파수 및 출력의 변화가 적은 직렬 케환형으로 발진기를 설계하였다. 또한 바이어스 전압인가를 용이하게 하기 위하여 Single Source 바이어스 형태로 바이어스를 인가하였다. 설계로부터 얻은 시뮬레이션 결과는 X-band의 10.5 GHz에서 13 dBm의 출력전력과 -28 dBc의 고조파 특성을 얻었다. 또한 S-band의 2.38 GHz에서는 19 dBm의 출력전력과 -27 dBc의 고조파 특성을 얻었다.

설계한 발진기를 유전율이 2.6이고, 두께가 0.54 mm,

동판의 두께가 0.018 mm인 Teflon 기판 위에 직접 인쇄 방식으로 제작하였다.

표1. 발진기 제작 결과

	X-band (10.5GHz)	S-band (2.38GHz)
Output Power (dBm)	11 dBm	19.67 dBm
2nd Harmonics (dBc)	-24 dBc	-23 dBc
Phase Noise@100kHz (dBc/Hz)	-107.8 dBc/Hz	-97.83 dBc/Hz

아이솔레이터는 아이솔레이션이 20dB이고 최대 VSWR이 1.25인 RADITEK사의 아이솔레이터 모듈을 사용하였고 송신안테나는 주변신호의 영향을 최소화하기 위하여 10~11 dB 이득을 갖는 패치안테나를 사용하였다. 샘플홀더의 재질은 두께가 0.4 cm인 아크릴을 사용하였으며 넓이는 전파가 투과할 때 발생하는 패치 안테나의 누설을 최소화하기 위하여 패치안테나의 가로크기의 2배 이상으로 하여 실험 측정을 하였다.

샘플홀더의 크기는 4.5×12.4×15.2cm로 제작하였다.

2. 수신부

수신부의 검파기는 다이오드의 비선형 특성을 이용하여 안테나를 통하여 입력된 RF 신호를 DC신호로 검파하는 회로로써 크게 다이오드와 정합회로로 구성된다. RF신호를 검파하기 위해서 일반적으로 Back diode, Point contact diode 및 Schottky diode등이 사용되나 본 논문에서는 전기적 및 기계적 충격에 가장 안정하고 고주파특성이 우수한 bias를 인가하지 않는 단순한 회로의 구현을 위해 M/A-com사의 MA40070 Schottky diode를 이용하여 제작하였다.

III. 실험측정

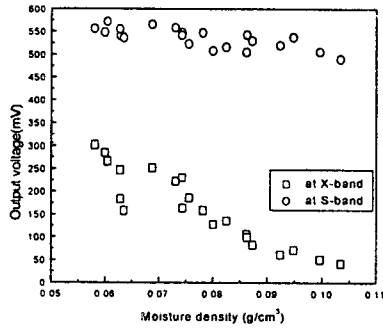
본 실험은 각 함수율에서 시료의 산물밀도를 3수준으로 하였으므로 산물밀도의 변이에 따른 출력 전압의 변동을 보정하기 위하여 다음과 같은 수분밀도를 사용하였다.

$$\theta = MC(\text{decimal}) \times \rho_b \quad (1)$$

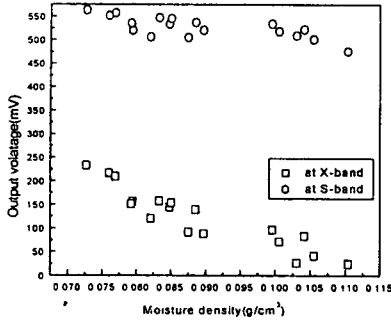
여기서, θ 는 수분밀도(g/cm^3), MC는 수분함량(decimal), ρ_b 는 산물밀도(g/cm^3)이다. 수분밀도는 단위

체적당 수분의 무게를 나타내며 실험에 사용된 샘플홀더의 체적이 일정하므로 단위체적당 수분의 절대량을 나타내게 된다.

그림2는 각 측정밴드에서의 일품벼와 동진벼의 수분 밀도에 따른 출력전압 결과이다. 수분밀도가 증가에 따라 출력전압은 다항 함수적으로 감소하였으며 X-band 출력전압이 S-band의 전압보다 낮게 나타난 이유는 마이크로파 흡수가 X-band에서 더 크게 일어나기 때문이다.



(a) 일품벼



(b) 동진벼

그림 2. 출력전압에서의 곡물의 수분밀도

본 실험은 마이크로파 2개 주파수를 이용하여 함수율 측정시 발생하는 측정 요인들의 변동을 보정하면서 정확도를 향상시키도록 하였다. 함수율을 측정하기 위한 예측모델은

$$\theta = a_1X^3 + a_2X^2 + a_3X + b_1S^3 + b_2S^2 + b_3S + c \quad (2)$$

과 같이 가정한 후 통계분석 프로그램인 SAS ver. 6.11을 이용하여 분석하였다. 여기서 X는 X-band의 출력전압(mV)이며 S는 S-band의 출력전압(mV)이다.

상기 모델을 비교분석하기 위하여 기존에 발표되었던 단일 주파수에서의 출력전압과 수분밀도와의 3차 다항관계식과 비교하였다^[6]. 각 측정 주파수대역에서 3차 다항 관계식은 다음의 식과 같다.

$$\theta = a_1 X^3 + a_2 X^2 + a_3 X + c_2 \quad (3)$$

$$\theta = b_1 S^3 + b_2 S^2 + b_3 S + c_3 \quad (4)$$

표 2는 수분 밀도에 따른 보정모델의 통계결과이다. 식(2)를 통한 예측모델이 식(3)과 식(4)의 예측모델보다 상관계수가 증가하였으며 오차도 감소하였다.

표2. 수분 밀도에 따른 보정모델의 통계결과

모델	R(상관계수)	RMS Error
식(2)	0.9276	0.0056
식(3)	0.9250	0.0065
식(4)	0.7392	0.0098

본 논문에서는 식 (2)에 대한 회귀 분석 결과와 수분 밀도의 정의 식(1)을 이용하여 다음과 같은 함수를 예측방정식을 개발하였다.

$$MC = (a_1X^3 + a_2X^2 + a_3X + b_1S^3 + b_2S^2 + b_3S + c_1) \times \frac{100}{\rho_b}$$

그림 3은 개발된 함수율 예측방정식을 이용하여 함수율의 측정값과 예측값을 비교한 결과이다. 상관계수는 0.9276, 표준오차는 0.975%로 나타나 산물밀도를 보정하면서 비교적 정확도가 높은 함수율 측정이 가능하다. 따라서, 마이크로파 2개 주파수의 전파특성을 이용할 경우 단일 주파수의 마이크로파를 이용할 경우 보다 함수율 측정의 정확도를 다소 향상시킬 수 있으며 향후 넓은 범위의 시료 함수율과 시료내 함수율을 균일하게 유지할

수 있는 저장상태에서 함수율 측정 실험을 수행한다면 정확도는 더욱 향상될 것으로 기대된다.

참고문헌

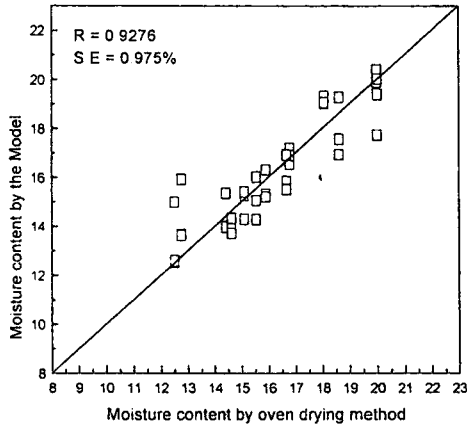


그림 3. 함수율의 실측값과 예측값의 관계곡선

IV. 결론

본 논문에서는 X-band의 10.5 GHz와 S-band의 2.38 GHz 두가지 주파수를 이용하여 곡물의 함수율 측정을 위한 마이크로파 송수신 장치를 설계 및 제작하였다.

송수신 장치를 이용하여 함수율의 범위가 각각 12 - 20%의 일품벼와 농진벼를 대상으로 하여 전파 투과특성을 실험하였다. 측정 데이터를 통하여 함수율과 산물밀도가 증가함에 따라 마이크로파 신호의 출력전압은 거의 다항 함수적으로 감소하였으며 동일한 함수율내에서 출력전압이 감소하는 경향을 나타내었다. 산물밀도를 보정하기 위한 인자로 함수율과 산물밀도의 곱으로 표현되는 수분밀도를 이용할 경우 정확도가 높은 함수율 측정이 가능할 것으로 분석되었다.

시료의 출력전압을 독립변수로 하여 함수율 측정 모델을 개발하여 함수율의 예측값과 실측값을 비교한 결과 상관계수는 0.9276, 표준오차는 0.975%로 나타나 산물밀도를 보정하면서 정확도가 높은 벼의 함수율측정이 가능한 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서 개발된 함수율 측정 모델을 사용하여 마이크로파를 이용한 함수율 측정장치를 구성 할 수 있을 것으로 기대된다.

- [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] 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.
- [3] S. Okamura, "High-moisture Content Measurement of Grain by Microwave," *J. Microwave Power*, Vol.16, No. 3 & 4, pp. 253-256, 1981.
- [4] A. P. S. Khanna, "Introduction to DROs," *HP-Avantek Application Note*, no. AN-M003, pp.1-15, 1989.
- [5] Y. Miyai, "A New Microwave Moisture Meter for Grains," *Journal of Microwave Power*, Vol. 13, pp. 163-166, 1978.
- [6] 조경준, 정승환, 전부경 " 마이크로파 기술을 이용한 수분 측정 장치에 관한 연구 " 한국 통신 학회 논문지 제24권 pp2111 - 2118, 1999.
- [7] Y. Miyai, "A New Microwave Moisture Meter for Grains," *Journal of Microwave Power*, Vol. 13, pp. 163-166, 1978.
- [8] J. M. Floch, "Technique Allows Simple Design of Microwave DROs," *Microwaves & RF*, pp. 107-112, 1995.