

# 마이크로파를 이용한 분말식품 온라인 함수율 측정 시스템 개발 (I)<sup>\*</sup> - 온라인 측정장치 개발

## Development of on-line moisture measurement system for powdered food using microwave (I)

### - Development of on-line measurement system

김기복\*   박성운\*   김지연\*\*\*   김종현\*\*\*   김만수\*\*  
정회원   정회원   정회원

K. B. Kim   S. U. Park   J. Y. Kim   J. H. Kim   M. S. Kim

#### 1. 서론

각종 농산물, 식품 등에 함유되어 있는 수분은 제품의 물리적, 화학적 성질 및 생리적 작용에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 농산물의 가공성 및 저장성 그리고 품질을 결정하는 매우 중요한 요인이다. 최근 각종 농산물 및 식품류의 가공 및 유통에 관련된 기계장치 및 시설에 대한 자동화 요구가 증가함에 따라 각종 원료의 건조, 저장 및 가공공정 등에서 유동상태에 있는 원료의 함수율을 비파괴 비접촉식으로 측정할 수 있는 기술의 개발이 크게 요구되고 있다. 이와 관련하여 유동상태에서의 원료의 함수율을 측정하기 위한 방법이 연구되고 있으며 (Trabelsi et al., 2000, 2001, Kim et al., 2002, 2003) 정지된 상태에 있는 제품의 함수율 측정 뿐만 아니라 유동상태에 있는 제품의 함수율을 보다 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 방법에 대한 연구가 시급하다고 할 수 있다. 본 과제에서 개발하고자 하는 기술은 원료 내 수분의 변화에 따라 마이크로파 대역에서 유전율이 크게 변하게 되는데 이러한 수분에 따른 유전율의 차이를 이용하여 함수율을 측정하는 기술로서 측정에 사용되는 주파수가 중요한 인자가 된다.

본 연구는 마이크로파 다중 주파수와 자유공간전송기법을 이용하여 분말식품의 함수율을 온라인으로 측정할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 수행되었으며 본 연구(I)에서는 마이크로파 온라인 측정장치를 개발하는 연구를 수행하였으며 연구(II)에서는 개발된 장치를 이용한 정밀수분측정 알고리즘을 개발하기 위한 연구를 수행하였다.

#### 2. 수분측정용 온라인 측정장치 설계·제작

##### 2.1 온라인 측정장치 개념설계

본 연구에서는 마이크로파 대역별로 S-band에서 2.5 GHz, C-band에서 7.0 GHz, X-band에서 10.5 GHz의 주파수를 선정하여 다중주파수 측정시스템을 구성하였다. 기본적인 마이크로파 측정시스템은 그림 1에서 보는 바와 같다. 원하는 주파수를 발진시키는 발진부, 신호를 한쪽 방향으로만 전달하는 아이솔레이터와

\* 한국표준과학연구원 삶의질 표준부 안전그룹

\*\* 충남대학교 생물산업기계공학과

\*\*\* 광운대학교 전파공학과

\* 본 연구는 2003년도 농림부 첨단기술개발과제의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

패치안테나로 구성된 송신부와 패치안테나, 검파기(detector), 연산증폭기로 구성된 수신부로 구성하였다. 마이크로파 시스템은 시료를 이송하는 컨베이어 시스템을 제작하였으며 송수신 패치안테나의 거리는 30cm로 고정하였다. 검파기에서 검출된 직류레벨의 마이크로파 투과전압은 연산증폭기를 통하여 증폭되어 마이크로프로세서, A/D 컨버터, display가 내장된 신호처리회로로 연결된다.

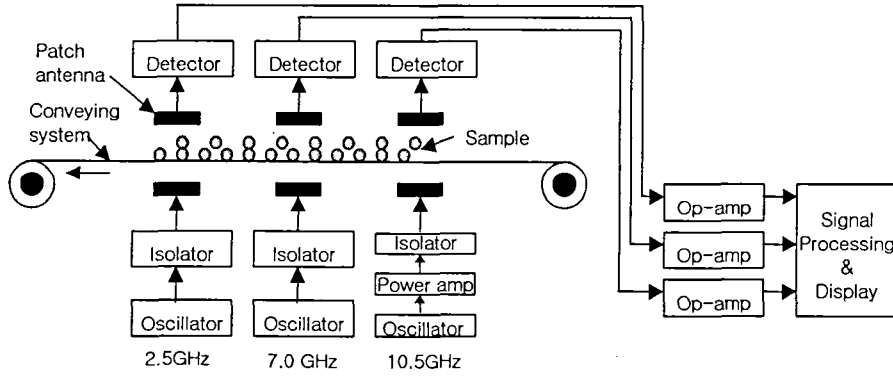


Fig. 1. Microwave measurement system for moisture content using multiple frequencies.

## 2.2 수분측정용 안테나 설계·제작

본 연구에서 사용한 수분측정용 안테나는 2.5 GHz의 경우 마이크로파 영역에서 비교적 낮은 주파수로서 상용화되어 있는 제품이 많아 그림 2와 같이 100 MHz의 대역폭을 갖는 패치안테나를 구입하여 사용하였고, 7 GHz 및 10.5 GHz는 비교적 높은 주파수로서 수분측정용 마이크로파 안테나는 개발되어 있지 않으며 그 사용 용도에 맞게 별도로 제작되어야 한다. 보통 안테나의 크기는 송수신되는 마이크로파 파장과 관련이 있으며 주파수가 높을수록 패치안테나의 경우 그 크기는 작아지게 된다. 단일 패치안테나는 안테나의 폭과 길이가 수분측정을 위한 센서로 사용할 경우 안테나의 송수신 면적 즉, 시료에 전파되는 마이크로파 투과면적이 비교적 작기 때문에 보다 넓은 면적의 시료를 투과할 수 있는 어레이 안테나가 필요하다(Bahl and Bhartia, 1980). 따라서 단일 패치안테나를 결합하여 각각의 측정주파수 대역에서 마이크로파를 송수신하기 위하여 그림 3과 같이 2 x 2 어레이 안테나를 설계·제작 하였다.

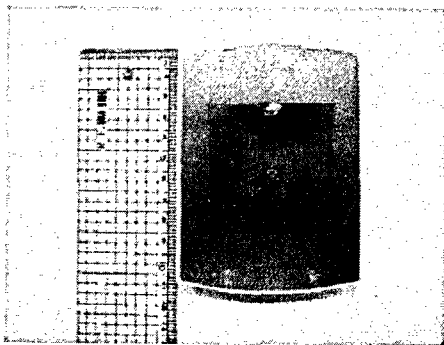
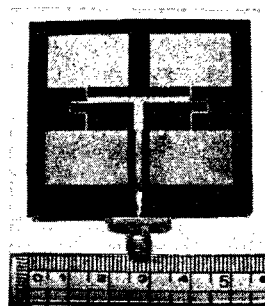
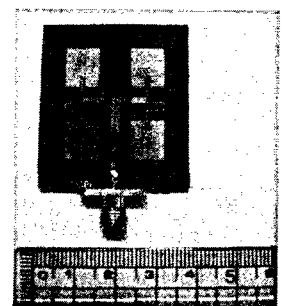


Fig. 2. Photo of the 25 GHz patch antenna.



(a) 7.0 GHz



(b) 10.5 GHz

### 2.3 마이크로파 발진기 및 아이솔레이터 설계·제작

2.5 GHz용 발진기는 일반 통신용 소자로 많이 개발되어 상용화되어 있는 제품 중 외부 입력전압을 조절하여 발진주파수를 가변할 수 있는 전압제어 가변 발진기(voltage controller oscillator, VCO)를 구입하여 본 연구에 맞게 발진기 시스템을 구현하였다. 7 GHz 및 10.5 GHz용 발진기는 주파수 선택도(Q)가 높고 온도 특성 및 잡음 특성이 우수한 유전체 공진 발진기를 선정하였고 그림 4와 같이 설계·제작 하였다(Kajfez and Guillon, 1986).

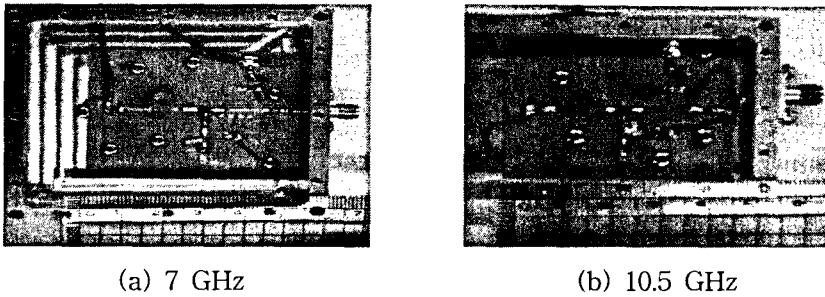


Fig. 4. Photo of fabricated dielectric resonance type oscillators.

2.5 GHz 발진부는 최종적으로 그림 5와 같이 VCO와 아이솔레이터를 동판이 코팅된 테프론 기판 위에 실장하여 제작하였다. 이를 위하여 테프론 기판에 회로를 프린트하여 에칭용액으로 기판의 회로부를 완성하였다. 7 GHz 및 10.5 GHz에 사용된 아이솔레이터는 그림 6에서 보는 바와 같다.

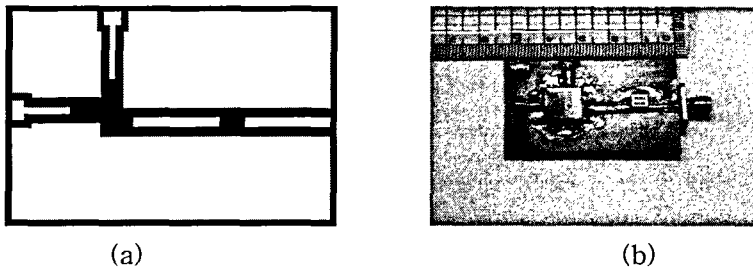


Fig. 5. Printed pattern on Teflon substrate (a) and fabricated circuit (b).

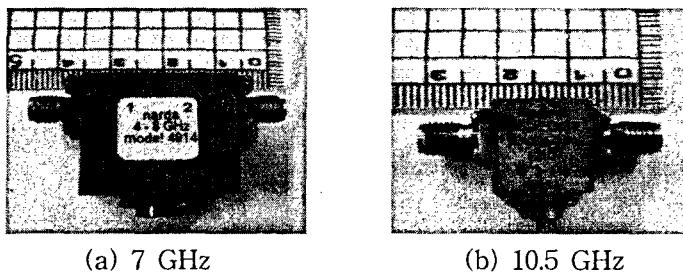


Fig. 6. Photo of the isolators.

## 2.4 검파기 및 전력증폭기 제작

수신 안테나로부터 수신되는 신호의 침투값을 검출하여 직류레벨의 수준으로 변환하기 위해서는 검파기(detector)가 필요하다. 본 연구에서는 그림 7과 같은 Agilent사(미국)의 8473B LBSD (Low Barrier Schottky Diode)검파기를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 검파기는 Low Barrier Schottky Diode (LBSD)를 사용하여 만들어졌기 때문에 10 MHz~18 GHz의 광대역 주파수 범위에 사용할 수 있다. 이러한 장점을 고려하여 2.5 GHz 시스템뿐만 아니라 7 GHz 및 10.5 GHz 시스템의 수분측정용 마이크로파 능동소자로 동일하게 사용되었다.



Fig. 7 Photo of the detector.

주파수가 높아질수록 송신단의 송신신호가 시료를 투과하여 수신단에 검파되는 신호의 세기가 약하여 유전특성을 구명하기가 매우 어렵다. 따라서 중심 주파수 10.5 GHz에서 발진기 후단에 신호의 세기를 증폭하기 위한 그림 8과 같이 전력증폭기를 설계 및 제작하였다(Liao, 1987). 증폭기는 유전율 2.6 mm, 높이 0.54 mm, 동판의 두께가 0.018 mm인 테프론 기판을 사용하여 제작하였다.

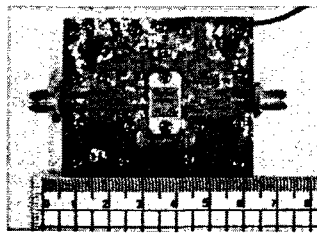


Fig. 8. Photo of the fabricated power amplifier for 10.5 GHz oscillator.

각 측정주파수 대역별로 제작한 수분측정 장치에서 수신 안테나를 통과하여 검파기에서 검출되는 직류신호는 수십 mV이므로 분해능을 높이고 A/D변환을 용이하게 하기 위하여 출력신호의 증폭이 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 OP-Amp를 이용하여 각 측정주파수 별로 적합한 증폭기를 제작하였고 고 표 1은 각각의 시스템에서 저항 값에 따른 OP-Amp의 이득과 출력전압의 범위를 나타낸다.

Table 1. Gain and output voltage of OP-Amp.

Frequency	$R_1$	$R_2$	Gain	Output voltage
2.5 GHz	1k $\Omega$	100k $\Omega$	100	1~2V
7.0 GHz	1k $\Omega$	50k $\Omega$	50	1~2V
10.5 GHz	1k $\Omega$	100k $\Omega$	100	2~3V

## 2.5 최종시스템 제작

각각의 측정 주파수 시스템에서 수신되는 출력전압을 A/D변환하여 나타내고 또한 시료온도, 시료 이송 속도를 실시간으로 나타내기 위하여 CPU가 내장된 전용 컨트롤러를 이용하였다. 사용된 전용 컨트롤러는 PICBASIC으로서 PBM-R5모델을 사용하였다.

한편, 각각의 주파수별 측정시스템으로부터 입력되는 신호는 PICBASIC 컨트롤러에 의해 10 bit의 디지털 값으로 변환되어 LCD 모듈에 나타내도록 하였다.

시료의 이송속도를 조절하기 위해 최종 제작된 컨베이어 시스템은 그림 9에서 보는바와 같다. 전체적으로 시료 투입부, 시료 이송부, 시료 배출부로 제작하였으며 시료 높이를 일정하게 유지할 수 있도록 시료 투입부 바로 앞쪽에 안내판을 설치하였다. 이송속도를 조절하기 위하여 이송모터의 회전속도를 가변 할 수 있도록 하였으며 이송 컨베이어 벨트는 폭 30cm, 길이 200cm로 하였다. 투입되는 시료의 온도를 측정하기 위하여 K타입의 열전대를 시료 투입부에 설치하였으며 이송속도를 측정하기 위하여 타코 메터를 설치하여 상기 그림 1의 신호처리 회로부로 연결되도록 하였다.

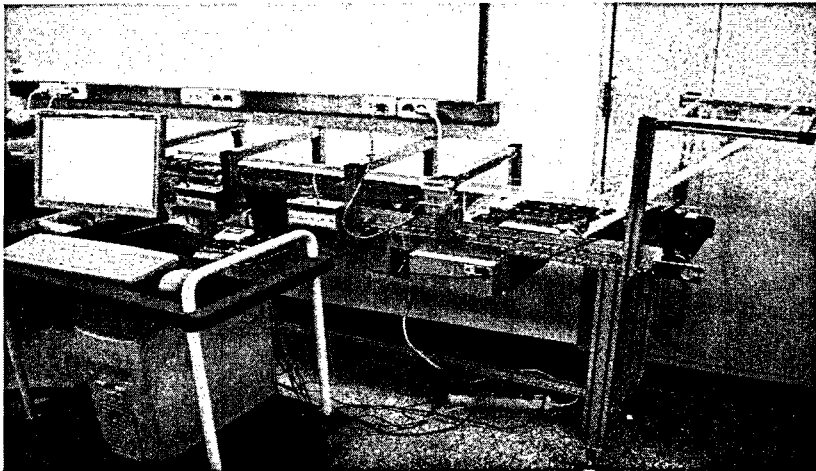


Fig. 9. Photo of conveying system and microwave measurement system

## 3. 요약 및 결론

본 연구는 마이크로파 다중주파수를 이용하여 분말식품의 함수율을 측정할 수 있는 온라인 측정장치를 개발하기 위하여 수행되었다. 이를 위하여 마이크로파 측정주파수 대역을 고려하여 2.5, 7.0, 10.5GHz의 3개 주파수를 선정한 다음 마이크로파 자유공간전송기술을 적용하였다. 각 측정주파수 대역에 적합한 마이크로스트립 패치 안테나를 설계·제작하였다. 송수신 안테나 사이에 시료이송 컨베이어 벨트 시스템을 구현하여 이송중의 분말식품의 수분을 측정할 수 있는 실험장치를 제작하였다.

#### 4. 참고문헌

1. Bahl, I. J., and P. Bhartia. 1980. *Microstrip Antennas*, Artech House.
2. Kajfez, D., and P. Guillon. 1986. *Dielectric resonator*, Dedham, Artech House.
3. Kim, K. B., J. H. Kim, S. S. Lee and S. H. Noh. 2002. Measurement of grain moisture content using microwave attenuation at 10.5 GHz and moisture density. *IEEE Trans. I&M* 51(1):72-77
4. Kim, K. B., J. W. Lee, S. S. Lee, S. H. Noh. and M. S. Kim. On-line measurement of grain moisture content using RF impedance. *Trans. ASAE* 46(3):861-867
5. Liao, S. 1987. *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design*, Prentice Hall.
6. Trabelsi, S. A. W. Kraszewski, and S. O. Nelson. 2000. A new calibration technique for microwave moisture sensors. *Proceeding of the 17th IEEE I&M Technology Conference* 3:1159-1162
7. Trabelsi, S. A. W. Kraszewski, and S. O. Nelson. 2001. Universal calibration model for microwave moisture sensing in granular materials. *Trans. ASAE* 44(3):731-736