

## 호퍼스케일용 고주파 저항방식의 습도센서 및 컨트롤러 개발

서양오, 이창근, 이동철, 홍연찬  
인천대학교 전자공학과 제어계측 연구실  
전화 : (032) 770-8449 / 팩스 (032)764-2371

## A Development of the Humidity Sensor and Controller Using High Frequency Resistance Method for Hopper-Scale

Yang Oh Seo, Chang Keun. Lee, Dong  
Chul Lee, Yeon Chan Hong  
Control Laboratory University of Incheon  
E-mail : whitepower@hanmail.net

### Abstract

This paper describes the principle of humidity sensor using high frequency resistance method for Hopper-Scale that is used in RPC(Rice Processing Complex) which is spreaded out in domestic, and we also understand the principle and specificity of controller and humidity sensor. After artworking the humidity sensor and controller circuit, we measure the humidity of the designed system. In this progress, we suggested substitute parts which are easy to get in domestic and also we could propose correct method of humidity detection.

### I. 서론

농업관련 산업에 있어서 어떠한 곡물의 수분함유량은 그 곡물의 저장, 운송 및 처리하는 과정에 있어서 중요한 파라미터가 되고 있다. 따라서 곡물에 대한 정확한

수분함유량의 산출이 요구되는데[1], 측정 대상물의 종류 및 양에 따라서 그 방법들이 여러 가지가 있으나, 일반적으로는 oven-drying 방식이 표준방식으로 사용되고 있다. 하지만 oven-drying 방식은 많은 시간이 요구되므로 빠른 시간 동안에 측정이 가능한 방식이 제안되고 있으며, 또한 실제적으로 이렇게 제안된 방식의 수분측정이 oven-drying 방식의 결과와 거의 동일하게 측정되고 있다[2-5]. 일반적인 수분센서는 주로 감습 재료를 이용하게 되는데, 이러한 종류들의 센서는 산포가 매우 크거나 수명이 주변 환경에 비해 짧아 곡물의 수분 측정에는 적절하지 못하다[6]. 또한 측정 대상물의 종류나 주변 환경에 따라 그 결과가 크게 달라지므로 새로운 방법으로서의 접근이 요구되며, 현재 주요 산업 현장에서 사용되는 방식의 시스템이 고주파 저항방식의 호퍼스케일용 수분센서이다.

본 논문에서 제시된 저항방식의 수분센서는 물이나 콩 등의 곡물에 대한 수분 함유량을 고속, 대량으로 처리하는데 사용되어 지며, 내구성이 강하고 수분 측정시에 따르는 요구사항이 적으며, 그 정확도 역시 oven-drying방

식과 유사함으로 현재 국내의 RPC 에서 널리 사용되고 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 대량, 고속의 처리가 가능한 호퍼스케일용 수분센서 및 이를 제어하는 컨트롤러의 원리를 고찰하였으며, 각 부분별 동작 특성을 이해하고 국내에서 구하기 쉬운 부품으로의 대체를 통한 설계 및 제작을 통하여 국내 농산물에 대한 적절한 시스템을 구성할 수 있도록 제시하였다.

## II. 수분센서

### 1. 수분센서의 원리

호퍼스케일에 장착된 수분센서는 고주파 저항방식으로서 수분은 퍼 측정물질(곡물, 목재 등)에 비해 고유저항이 현저히 낮기 때문에 수분의 함유량에 따라 물질의 전기 저항이 크게 변화한다. 따라서 전기 저항을 검출하면 물질의 수분축적이 가능한 점을 이용하여 곡물의 수분을 측정할 수 있다. 즉 다음 그림1 과 같이 저항크기에 따라 출력 파형의 감쇠가 다름을 알 수 있으며, 이를 검파하여 그 출력을 비교하여 수분축적을 할 수 있다

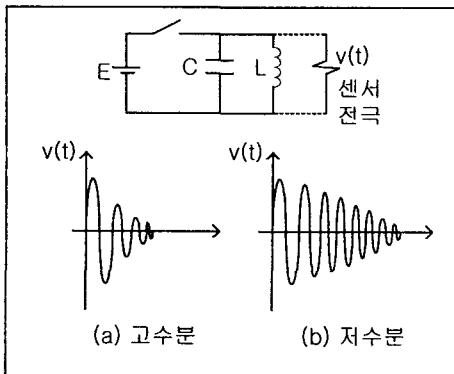


그림1 저항크기에 따른 출력 파형  
Fig. 1 Output waveforms for resistance value.

### 2. 수분센서의 구성

수분센서 회로를 기능별로 분류하면 다음과 같다.

- 단속주기 발생회로
- 고주파 발진회로
- 검파회로
- 증폭회로

#### 1) 단속주기 발생회로

그림 1의 출력 파형을 발생하기 위한 단속주기 회로로서, L-C 병렬 회로로부터 과도 응답을 얻기 위해 인가하는 전원을 제어하는 회로로서 카운터를 이용하였다.

#### 2) 고주파 발진회로

그림 1의 고주파 발진 파형을 발생하기 위한 회로이며

L-C 병렬 회로로 구성된다. 실제 구현된 파형은 그림 2와 같다. 그림 2에서 파형이 출력되는 시간동안에는 단속 주기 발생 회로로부터 전원이 차단되고 이 때 발진이 일어나게 된다.

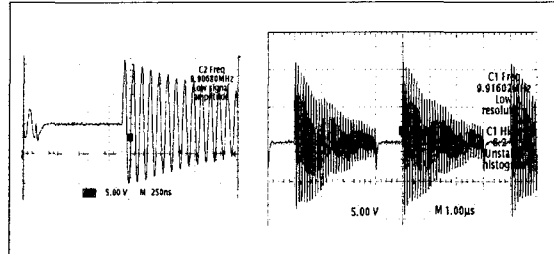


그림 2 수분센서 발진 파형  
Fig 2 Oscillation waveforms of humidity sensor

### 3) 검파회로

검파회로는 일반적인 피크 검출기(peak detector)를 사용하였다. 호퍼스케일용 수분센서에서는 피크검출을 위한 검파회로를 2개 사용하였는데 첫째 단계는 고주파의 빠른 주파수 변환에 따라가기 위해 작은 값의 컨덴서를 사용하였으며, 둘째 단계는 보다 좋은 출력값을 내기 위해서 큰 값의 저항을 사용하여 포락선 검파를 하였다.

### 4) 증폭회로

호퍼스케일용 수분센서에 사용된 증폭회로는 차동증폭을 행한다. 한편, 수분센서의 출력을 입력값으로 받는 컨트롤러의 AD컨버터에서는 최대 4.096V까지를 인식하도록 설계되어 있다. 따라서 최대 측정 수분치 즉, 수분센서 동작전의 값이 4.096V 보다 크지 않도록 증폭비를 결정한다.

## III. 수분센서 컨트롤러

이 장에서는 호퍼스케일 시스템의 전체 동작을 정의하는 컨트롤러에 대해서 살펴본다. 컨트롤러의 전체 구성은 Z-80 MPU를 기준으로 수분센서와의 인터페이스 및 Indicator와의 인터페이스 주변회로로 구성되어 있으며, 범용적인 통신을 위하여 RS-232 통신방식 뿐만 아니라 RS-422까지 사용할 수 있도록 설계되어 있다.

### 1. 컨트롤러 동작 순서

최초 전원이 인가되면 인터럽트를 중지 시키고 각 디바이스를 초기화 시킨 후 사용자로부터 Indicator를 통해 입력받는 값에 따라 해당하는 동작을 실행한다. 예를 들어 사용자가 물벼의 수분축적을 원하는 경우, Indicator로 물벼 측정을 설정하면, Indicator는 컨트롤러와의 통신시 물벼에 해당하는 제어 데이터를 전송하며 컨트롤러는 물벼에 해당하는 인터럽트 루틴을 처리하게 된다.

여기서 컨트롤러는 단지 수분센서에서 각 수분에 해당하는 출력을 입력받아 그 값들을 저장하고 Indicator로 다시 전송하게 되며 Indicator에서 수분 보정과 온도보정을 거쳐 디스플레이 하게 된다.

2. Indicator - 컨트롤러 통신 인터페이스

수분 센서로부터 받은 데이터의 처리결과를 Indicator를 통해 사용자에게 알리기 위해 본 시스템에서는 컨트롤러의 SIO를 통한 데이터 전송이 이루어진다. 우선 사용자는 Indicator로부터 어떠한 동작을 실행할 것인지를 설정하게 되며, 설정된 ID를 통해 컨트롤러는 해당 ID에 해당하는 동작을 하게 된다.

IV. 실험 및 결과

1. 호퍼스케일 시스템

본 논문은 호퍼스케일 시스템 중, 수분센서와 컨트롤러를 설계, 제작 하였으며 이를 이용하여 그림 3과 같이 구성하여 실험을 실시하였다. 수분센서의 외형 틀을 기존의 수분센서와 동일하게 사용하기 위해 같은 크기의 PCB로 구성하였으며 구성 부품은 동일한 특성의 국내에서 구하기 쉬운 부품으로 대체하여 사용하였다.

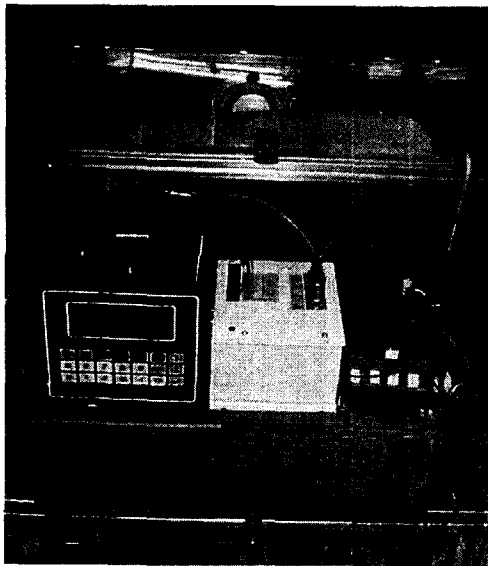


그림 3 실험에 사용된 호퍼스케일 시스템  
Fig. 3 Experimental setup of Hopper-Scale System

2. 호퍼스케일용 수분센서

호퍼스케일용 수분센서의 원리는 고주파 저항방식으로서 수분센서의 표면에 놓여진 곡물의 수분을 측정하게 된다. 이러한 수분센서는 수분계 외형틀의 분리된 두 도체간에 절연체를 사이에 넣고 곡물이 절연체를 덮어

두 도체간을 마치 저항으로 연결시켜 놓은 것으로 간주하게 되는데, 놓여진 곡물의 수분에 따라 수분계 내에서 발진하는 고주파의 파형 감쇠에 따른 변화를 측정하게 된다. 이러한 호퍼스케일용 수분센서는 컨트롤러에 의해서 동작을 실행하게 되며, 컨트롤러는 수분센서로부터 값을 받아 처리하게 되는데 이러한 관계를 그림 4에 보였다.

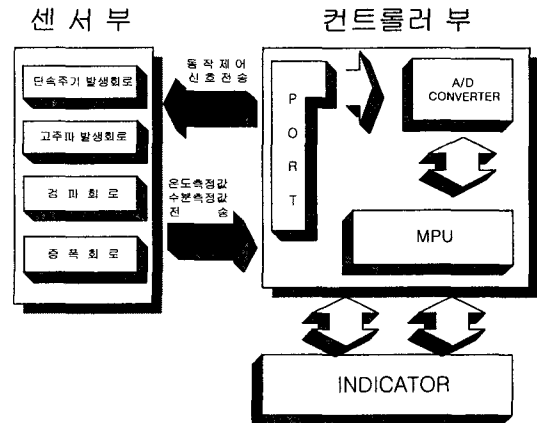


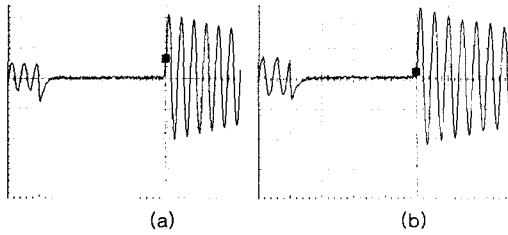
그림 4 수분센서-컨트롤러 인터페이스  
Fig. 4 Humidity sensor-Controller Interface

3. 실험결과 및 검토

우선 그림 3의 시스템에 물벼를 수분센서가 덮일 만큼 충분히 덮어둔다. 그 후 Indicator를 통해 컨트롤러에 측정 신호를 전송하게 되는데 우선 초기화를 선택한다. 그 후 중량을 조정하고 계측을 시작한다. 수분을 측정하는데 걸리는 시간은 약 1초에서 1.5초 사이이며, 계측된 수분값은 Indicator LCD 디스플레이 창에 나타난다. 이러한 방법으로 연속적으로 수분측정이 가능하며, 각 값은 평균 수분값을 지속적으로 나타내고 있다. 수분대별 오차를 살펴보기 위하여 물벼를 말렸다가 다시 물을 첨가하였으며 실험을 반복하여 기존의 호퍼스케일 시스템과의 수분치를 비교 하였고, 시스템의 재 설치로 인한 수분값 변경에 대한 오차를 줄이기 위하여 21회에 걸쳐 반복 측정하였다.

우선 센서의 동작전 신호, 즉 수분센서의 초기상태를 나타내는 파형을 비교하여 그림 5에 나타내었다. 이때의 출력은 저항이 무한대 즉 수분이 거의 없는 경우에 해당하는 값으로 그 출력 파형의 크기가 가장 클때와 동일하다. 현 수분센서의 측정 범위는 최저 11%에서 최고 44%까지 가능한 데 이때의 각각의 파형을 그림 6에 나타내었다..

그림 5의 (a)는 기존의 수분센서이고 (b)는 본 논문에서 제작 한 수분센서이다. 그림에서 살펴본 바와 같이 초기 파형이 동일함을 알 수 있으며, 이로부터 파형 비교가



가능함을 알 수 있다.

그림 5 수분센서의 초기 파형

Fig. 5 Initial waveforms for humidity sensor

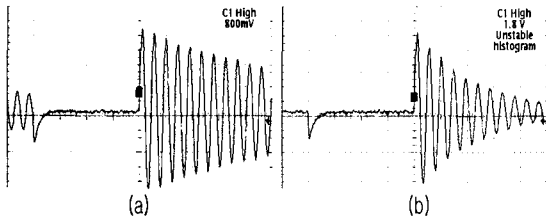


그림 6 수분센서계의 최대·최소 출력파형

Fig. 6 Maximum and minimum waveforms for humidity sensor

일반적인 수분의 측정범위는 18%에서 23%사이이며 따라서 그때의 파형은 그림 6의 (a)와 (b) 사이의 값을 예상할 수 있다

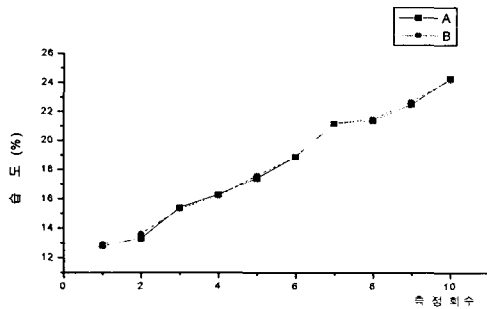


그림 7 시스템간 수분측정 비교

Fig. 7 Difference of humidity detection for existing system-experimental system

그림 7에서는 본 논문에서 설계된 호퍼스케일용 수분센서 및 컨트롤러의 전체 수분센서에 대한 결과를 나타내었다. 기존장비와의 오차는 수분을 측정하는 과정에 있어서, 물벼의 교환에 의한 오차를 포함한 값이며, 약간의 오차범위는 Indicator내에 저장된 보정식을 사용하여 표준화시킬 수 있다. 그림 7에서 A는 기존 장비의 수분을 나타내었으며, B는 이번 논문에 사용되어진 호퍼스케일용 시스템의 수분 측정값을 나타내었다.

## V. 결론

지금까지 현재 사용되고 있는 대량, 고속의 처리가 가능한 호퍼스케일용 수분센서 및 이를 제어하는 컨트롤러의 원리를 고찰하고 설계 및 제작을 통한 수분측정에 대하여 살펴보았다. 이는 국내에서 사용되어지는 부품으로의 대체와 제작이 그 결과에 아무런 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 또한 현 장비에서의 수분 보정을 S/W적으로만 처리하도록 되어 있으나, 전체적인 수분 보정식에 대한 수정 또는 개발에 적용할 수 있도록 AD컨버터 진단, 또는 센서 출력단에 가변저항 및 적정한 증폭비가 되도록 저항을 설정하여 제작 할 수 있도록 하였다.

따라서 장비에 대한 충분한 이해 및 설계 제작은 값비싼 장비의 국산화 및 장비 유지 보수의 가능성이라는 점에 본 논문의 의미가 있으리라 사료된다. 다만 본 논문의 완전한 시스템 구성을 위해서 Indicator의 기능을 추가 첨부하여, 수분 센서와 컨트롤러와의 인터페이스를 설정하고, Indicator와의 인터페이스를 정의하여 국내 농산물을 시료로 많은 실험결과를 토대로 한 수분 보정식의 개발이 필요하리라 생각된다. 이러한 시스템의 개발은 국내 농산물에 대한 보다 정확한 수분측정을 가능하게 할 것이며 이는 차후의 과제로 남겨 두고자 한다.

## 참고문헌

- [1] Mohamed Ben Slima, and other "Calibration of a Microwave System for Measuring Grain Moisture Content," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement., Vol.48, No.3, June 1999
- [2] Mahesh P Abegaonkar, R N Karekar and R C Aiyer "A microwave microstrip ring resonator as a moisture sensor for biomaterials: application to wheat grain," Meas. Sci. Technol., pp. 195-200 Oct.1999
- [3] Z. F. sun, C. G. Carrington and P. Bannister "Dynamic Modelling of the wood stack in a wood drying kiln.", Trans IChemE., Vol 78, Part A, January 2000
- [4] M. K. Jain, M. C. Bhatnagar and G. L. Sharma "Electric circuit model for MgO-dropped ZrO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> ceramic humidity sensor", American Institute of Physics., Vol. 73, No.26, Oct.1998
- [5] S. McMurtry, Ja.D. Wright, D.A. Jackson and J.L. Keddie "Humidity sensing using PMMA polymer in low coherence interferometric", Electronics Letter., 6th Vol. 36, No. 1, January 2000
- [6] 편집부 "온도센서 활용 핸드북", 성안당(1997)