벤처혁신연구 제5권 제2호(통권11호) http:www.kavi.or.kr
Journal of Venture Innovation, Vol.5. No.2, June 2022, pp.85-99

오픈 소스 기반의 아두이노를 이용한 건조기 내 유기 시료의 실시간 수분측정 모니터링에 관한 연구

김정훈 (호서대학교 안전소방학부 부교수)[1)]

국 문 요 약

시판되고 있는 실험용 및 산업용 건조기는 일반 드라이오븐, 열풍 순환 건조기, 진공건조기, 동결건조기 등으로 구분되고 기능, 크기 및 용량 등에 따라 그 종류도 다양하다. 그러나 제품의 품질 제어 및 성능 개선을 위해 중요한 요소인 수분측정이 적용되지 않아 현재는 건조 종료 후 임의로 중량을 칭량하기 때문에 매우 수동적이다. 일반적으로 수분을 측정하기 위한 방법은 직접적인 측정법과 간접적인 측정법으로 구분되고 수분 분리 전.후의 질량 또는 부피 변화와 같은 직접적인 측정법이 주로 이용된다. 상대적으로 열전도도, 마이크로파 등과 같은 간접적인 측정법은 측정 장비를 활용하기 때문에 적용이 제한적이다. 본 연구에서는 오픈소스 기반의 아두이노를 이용하여 비교적 손쉽게 수분측정 시스템을 설계하여 외부 환경요인에 영향 받지 않고 수분 변화량 및 무게 변화를 실시간으로 모니터링 하였다. 구체적으로 수분 민감도 물질 및 식품 건조에 적합한 60℃와 80℃에서 작동할 수 있는 온.습도 및 로드셀 측정 센서를 건조기 내부에 패키징하여 각종 변화량을 측정하였다. 또한 바나나, 배, 톱밥의 유기 시료를 이용한 반복적인 실험을 통해서도 건조시간 및 온도에 따른 증발율 변화와 로드셀 측정값에 있어 안정적인 응답특성을 나타냄으로써 성능 안전성을 확보할 수 있었다. 향후 온.습도 범위의 확대와 CFD(Computational Fluid Dynamics) 프로그램과의 비교 분석을 통해 신뢰도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

■ 중심어: 건조기, 아두이노, 유기 시료, 수분 측정, 증발율, 온.습도, 로드셀

Ⅰ. 서 론

일반적으로 수분은 일정 조건하에서 그 물질 자체에 흡착되어 있는 것으로 그 함유 정도에 따라 물질의 특성을 변화시키는 역할을 한다.(김창홍 등, 2001 ; 김경호, 1992) 수증기 상태로 대기 중에 존재하는 물은 습도로 취급되어 온도와 함께 일상생활과 밀접한 관계가 있고, 생필품이나 공업용 원료 등 공기를 제외한 고체, 액체, 기체 속의 물은 수분으로 분류된다. 특히 고분자 물질은 수분과 공존하여 수분에 의한 물질의 변형을 방지하고 물질의 처리, 가공, 운반 등에 활용되고 있다.(한국계량측정협회, 2017) 또한 수분은 건조, 공기조화, 냉동, 식품가공, 전자공학과 같은 기술 분야와 의학, 기상학, 농학 등 학문 분야에 걸쳐 중요한 요인으로 해석된다. 최

1)제1저자: 호서대학교 안전소방학부 부교수, kjh0789@hoseo.edu
본 연구는 환경부의 “화학물질안전관리 전문인력 양성사업”의 지원으로 진행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.
· 투고일: 2022-06-02 · 수정일: 2022-06-10 · 게재확정일: 2022-06-17

근에는 산업계의 기술수준이 고도화되고 인체에 미치는 영향과 제품의 품질관리가 강조되면서 수분 측정기술도 상응하여 급격히 발전하고 있다.(한국계량측정협회, 2017). 안전공학적으로 수분 측정의 목적은 수분과 혼촉반응에 의한 사고 방지용 함수량 파악, 수분에 의해 영향을 받는 물질의 특성 파악 및 향상성 유지, 평형수분 건조상태로의 에너지 절약 및 제품불량 방지 등으로 다양하다. 그리고 수분으로 인한 사고의 형태는 폭발, 부식, 결함 등이며, 그 예로는 2009년 실험실 내 질산칼륨(KNO_3) 및 과염소산칼륨($KClO_4$)이 수분에 의해 괴상형태로 변질되어 분쇄하던 중 폭발사고(김봉철, 2015)와 2020년 용해로 투입원료의 수분에 의한 수증기 폭발사고(김희경, 2020 ; 안전보건공단, 2016)가 대표적이다. 이외에도 대기업 또는 중소기업, 대학 실험실 등이 수분에 노출되는 작업환경조건하에서 불안전한 상태와 불안전한 행동이 작용하여 광범위한 사고로 이어질 수 있다. 특히 혼촉 폭발사고는 2차 연쇄사고로 이어질 수 있기 때문에 인명피해 뿐만 아니라 환경에도 큰 피해를 줄 수 있다. 그동안 수분이 원인이 된 안전사고는 그 위험성을 인지하지 못한 관계자들과 작업자, 실험수행자들의 안일한 안전의식과 관련된 인명 사고가 대부분이었다. 그럼에도 불구하고 사고 발생건수는 줄어들지 않고 있으며, 아직도 수분과 물질 간 상호 위험성 인지에 비해 효과적인 대안이 강구되지 않고 있는 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 다양한 산업분야에서 핵심 인자로 작용하는 수분의 활용성을 검증.확대하고자 건조기와 같은 내부 환경 조건에서 수분을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하고자 하였다. 구체적으로 제작이 용이한 아두이노를 이용하여 수분 민감도 및 식품건조 적정온도인 60℃와 80℃에 적합한 센서를 선정, 패키징하여 실시간 모니터링 값을 관찰하였다. 또한 실험 종료 후 유입될 수 있는 외부 수분의 영향을 받지 않는 상태에서 시간 및 온도에 따른 증발율 변화, 각 시료별 결과값을 도출함으로써 별도로 수분 변화를 기록하지 않고도 실시간으로 무게 및 함수율 변화량을 측정하여 유효한 결과값을 추출하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

2.1 수분(Moisture)

2.1.1 수분의 정의

수분은 좁은 의미에서 물질이 포함하고 있는 물의 양이며, 넓은 의미로는 수분을 포함한 물질의 상에 따라 여러 가지로 분류된다. 고체에서는 계(界)의 질량과 함유 수분의 질량과의 비, 액체에서는 액체와 함유 수분의 부피비가 쓰이며 기체의 경우에는 기체 중에 포함된 수증기의 부분압이나 계산된 상대 습도가 사용된다. 또한 성분의 작용기와 이온 결합 또는 수소 결합하고 있는 결합수(結合水)와 자유롭게 유동할 수 있는 자유수(自由水)로 구분된다.(김오윤, 2016 ; 김창홍 등, 2001). 결합수는 물질의 내부에 포함되어 있는 형태로 이동, 동결, 증발되지 않고 탄수화물, 단백질과 같은 성분과 결합되어 있어 증발시키는 데에도 많은 열을 필요로 하고, 유리수보다 작은 증기압을 갖는다. 그리고 성분의 침전, 전도, 확산 등이 일어날 때 함께 이동하여 용질에 대한 용매로서 작용하지 않는다. 한편 자유수는 103±2℃에서 증발하는 것으로 운동이 자유로워 흡수, 응축이 쉽고 탈수 작용이나 건조에 쉽게 제거되며, 용매작용이 우수하여 쉽게 증발하고 동결된다.(김창홍 등, 2001)

2.1.2 수분 측정기술

수분 측정은 수분 함유량에 영향을 받는 물질을 파악 혹은 이러한 특성을 일관되게 유지시키기 위하여 사용하는 기술을 통칭한다. 측정 방법은 크게 두 가지로 수분의 분리 전.후의 질량이나 부피를 측정 또는 수분 함유에 따른 화학적 변화와 반응 생성물의 적정을 통한 함수율을 결정하는 직접적인 측정법과 열전도도 측정, 굴절률 측정, 핵자기 공명에 의한 고주파 흡수의 측정 등 다양한 원리에 의한 간접적인 측정법으로 구분된다.(김형록 등, 2015 ; 강신정, 2012). 직접적인 측정법은 계의 수분을 건조, 탈수, 증류 등의 방법으로 제거시킨 후 질량과 부피의 전.후 변화량을 측정하는 방법으로서 신뢰도가 높고 절대적 함수량을 측정할 수 있어 정밀 기계,

대형 플랜트 등 정확한 데이터가 요구되는 경우에 사용되고 있다. 정확도가 높고 절대적 수분 함유량을 측정 가능한 장점이 있으나 측정에 소요시간이 길고 측정 방법이 복잡하여 숙련을 필요할 뿐만 아니라 시료가 변형 또는 변질되는 단점이 있다. 또한 여러 조건에 적합한 건조 방식은 <표 1>과 같이 분류된다. 이 중 많이 사용되는 진공 건조 방식은 현재 건조공정에서 일반적으로 사용하고 있는 대류전열에 의한 열풍 건조방식에 비해 배기 가스량 및 배기가스 중에 포함된 폐열량이 적기 때문에 열효율이 높고, 대단히 낮은 저수분 상태로 재료를 건조할 수 있는 특징이 있다. 그리고 건조 전 상태로의 복원성이 양호하고, 위생적인 건조제품을 생산할 수 있어 최근 건조 방식에 대한 관심이 크게 부각되고 있다.(강신정, 2012 ; 김창홍 등, 2001)

<표 1> 건조 방식의 분류

구분	건조 방식
열 전달 형태	대류 건조, 접촉 건조, 복사 건조
건조 중 수증기 배출	공기 건조, 진공 건조, 증기 가열 건조, 흡습제에 의한 건조
건조 열원	적외선 건조, 고주파 건조
건조물의 조건	감압 건조, 가압 건조

2.2 아두이노(Arduino)

2.2.1 아두이노의 정의

아두이노는 오픈소스(Open Source)를 기반으로 한 마이크로 컨트롤러(MC; Micro Controller)를 내장한 보드, 오픈소스 및 개발 환경을 통칭하는 개념으로 사용된다.(윤명섭 등, 2016 ; 이형로 등, 2016) 마이크로 컨트롤러란 마이크로프로세서와 입출력 모듈을 하나의 칩으로 만들어 컨트롤 기능을 수행하는 작은 컴퓨터로 정의된다.((주)메카솔루션, 2021) 아두이노는 윈도우즈, 맥OSX, 리눅스 운영체제 모두에서 작동 가능하여 소프트웨어 적용성에 범용적이고 초보자부터 실력자까지 유용성을 제공하는 프로그래밍 환경을 갖추는 등의 강점이 있다. 아두이노 보드의 종류에는 우노(Uno), 메가(Mega), 윤(Yún), 프로(Pro), 듀(Due), 피오(Fio), 나노(Nano) 등 약 10개가 있으며, 호환용 보드와 쉴드(Shield) 까지 합하면 수십 가지가 사용되고 있다.(위키백과, 2022) 이 중 아두이노 우노는 ATMEGA328 MCU를 이용하며 여러 가지 아날로그.디지털 입력소자의 값을 받아들이고 동시에 여러 가지 디지털 출력과 아날로그 출력 제어가 가능하다. 또한 Sketch, Mblock, s4a와 같은 여러 가지 교육용 프로그래밍 언어를 사용할 수 있으므로 접근하기 쉬운 장점도 있다. 하지만 포트당 전류량이 크지 않아 저전류의 소자만 제어가 가능하고 모터와 같은 출력장치를 사용하기 위해서는 모터드라이버와 같은 쉴드가 필요하다.

2.2.2 하드웨어 및 소프트웨어

아두이노의 하드웨어는 아트멜 AVR MC와 프로그래밍, 다른 서킷(Circuit) 들과의 결합을 용이하게 하는 여러 개의 연결 소켓으로 구성되어 있다.(위키백과, 2022) 공식 보드의 마이크로컨트롤러에는 주로 ATmega8, ATmega168, ATmega328과 같은 megaAVR 시리즈가 주로 사용된다.(홍대기, 2020 ; 박경진, 2019) USB포트는 컴퓨터와 연결하는데 사용되고, 수많은 연결 소켓은 외부 전자기기를 연결하는데 사용된다. 이렇게 연결된 전자기기들은 컴퓨터로부터 전원공급이 가능하며, 외부 전원 사용도 동시에 가능하다. 한편 오픈 소스를 기반으로 한 플랫폼으로서 소프트웨어 개발을 위한 통합 개발 환경을 제공한다. 통합 개발 환경은 컴퓨터상에서 작성한 스케치를 별도의 추가 장비 없이 컴파일(Compile)하여 아두이노 하드웨어에 업로드 할 수 있는 프로그램이다. 소스코드를 전송하는 프로그램으로는 대표적으로 IDE, S4A, 프로세싱 등이 있다. 아두이노에 사용되는 프

로그래밍 언어는 기능적으로 가장 폭넓게 사용되는 컴퓨터 언어 중 하나인 C언어와 유사하며, 유연성과 확장성을 높여 프로그래밍 입문자도 언어를 쉽게 접근할 수 있도록 만들어졌다. IDE는 문장 강조와 코드가 다른 부분은 최근의 다른 컴퓨터 언어 개발 도구처럼 컬러링 기능을 제공함으로써 코드를 보다 용이하게 식별시켜 줌으로써 오타나 구문상의 오류를 범할 확률을 낮춰준다.

2.2.3 센서

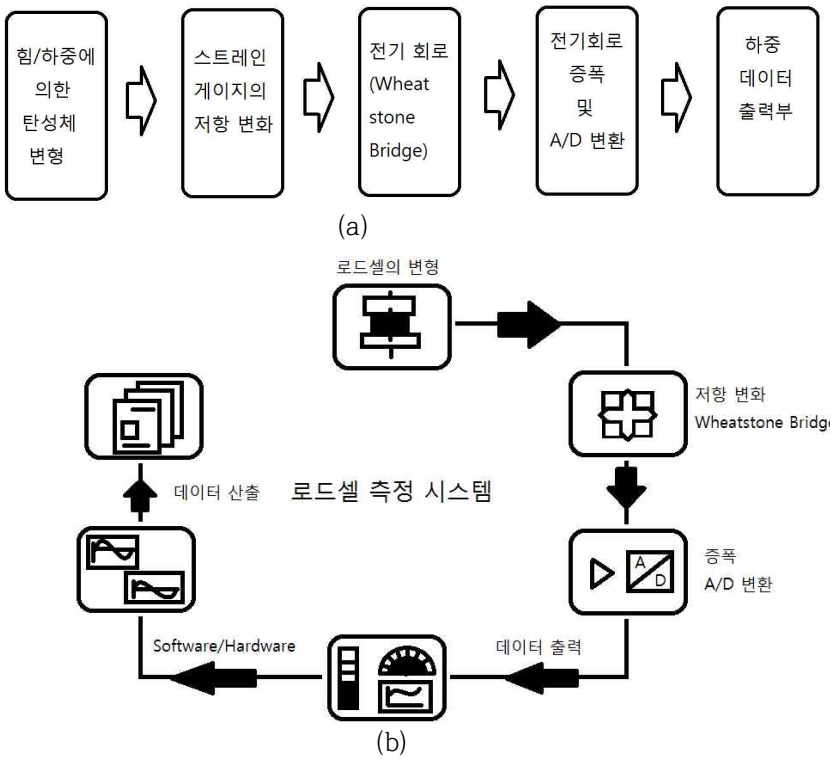
아두이노는 각종 센서들과 호환 사용을 통한 데이터 변환을 가능하게 한다. 센서는 온도 센서, 광 센서, 습도 센서, 자기 센서, 가스 센서 등으로 종류가 다양하다.(서인호, 2006)

2.2.3.1 온·습도 센서

온도센서는 온도의 변화를 감지하는 소자로 온도의 변화에 따른 환경 관리와 제어 등을 목적으로 사용된다. 온도가 높아지면 저항 값이 감소하는 부저항 온도 계수의 특성이 있는 전자 회로용 소자로 적은 열용량에 의한 미세한 온도 변화에도 급격한 저항 변화가 발생하여 온도 제어용 센서로 많이 사용되고 있다. 온도 센서는 접촉식과 비접촉식으로 분류되며, 접촉식은 측정 대상물과의 접촉을 통해 온도를 측정하는 방식으로 RTD (Resistance Temperature Detector), 열전대(Thermocouple), 서미스터(Thermistor), IC 온도센서 등이 있으며, 비접촉식은 방사 온도계, 광고 온도계 등이 있다.(KOSTECH, 2022 ; ㈜오메가엔지니어링, 2022) 먼저 열전대형 센서는 두 종류의 금속선 접합점을 기준으로 하여 양쪽 단에서 발생하는 전압의 변화를 이용한 센서이다. 서로 다른 금속선으로 이루어져 있으며, 두 금속선의 끝을 묶어서 한 쪽을 정확하게 0℃로 유지하고, 다른 쪽은 측정하려는 대상에 놓아두면 열기전력이 측정되는 원리로 온도를 얻을 수 있다. 이 때의 금속 선을 열전대라 하며 이 현상을 제백 효과(Seebeck Effect)라 한다. RTD는 금속의 전기 저항이 온도가 증가할수록 함께 증가하고, 온도가 감소할수록 동시에 감소하는 변화 특성을 이용한 로컬온도 측정 온도 센서이다. 온도에 따라 저항이 변하는 소자로 백금, 니켈, 구리 등 금속 중 백금이 넓은 온도에 걸친 안정성, 직선성, 내화학성이 우수하여 높은 수준의 온도 측정이 가능하므로 주로 사용된다. 종류로는 분해능에 따라 PT100ohm, PT500ohm, PT1000ohm, JPT100ohm 등이 있으며 보편적인 RTD 센서는 PT100ohm을 지칭하며, 배선 구조에 따라 2선식, 3선식, 4선식으로 나뉜다. 습도 센서는 대기 중의 수증기 양을 측정하기 위한 화학 센서의 일종이다. 또한 공기 중의 화학 반응에 의한 색 변화, 이온량, 기전력, 전류 변화 등을 검출하는 센서이다.(김혜진, 2017) 습도의 측정 원리는 물 분자나 수증기가 가지고 있는 고유한 물리적 성질을 이용하는 방식과 흡습성 물질을 통한 흡착으로 물리적 성질 변화를 측정하는 방식으로 구분된다. 또한 재료에 따라 고분자형, 염화리튬 습도형, 전해질 습도형 등으로 세분된다.

2.2.3.2 로드셀

로드셀은 특정 대상물을 사람이 알 수 있는 전기적, 물리적 신호로 바꾸어 주는 변환기(Transducer)의 일종으로 무게(질량)를 감지하는 센서를 말한다.((주)오메가엔지니어링, 2022 ; HBK Korea, 2022) 정전 용량식, 마그네틱식, 스트레인 게이지식, 현 진동 방식 등 다양한 종류의 로드셀이 사용되고 있지만 보편적으로는 스트레인 게이지식 로드셀을 말한다. 반도체의 사진 식각 공법과 수많은 연구 개발로 대량 생산 체계가 구축되고 쉽게 적용할 수 있게 되었다. 힘이나 하중에 의한 탄성체에 변형이 생기면 스트레인 게이지의 저항이 변화하는 방식으로 저항 변화값은 전기회로로 전달되며 전기 회로는 증폭 및 A/D 변환하게 되며 하중데이터 출력부로 출력된다. 스트레인 게이지 로드셀은 크게 Beam형, Single point형, Canister형으로 나눠지고 각각은 4개의 동작 형태로 분류하면 인장형, 압축형, 굽힘형, 전단형으로 나누어져 총 12가지 세분화된 로드셀이 주로 채택된다. 또한 주변 환경에 대한 조건, 안정성(허용과 부하율), 편하중에 대한 감도, 크기와 설치에 대한 용이점 등이 로드셀을 선정하는 특성이다.((주)오메가엔지니어링, 2022 ; Flintec, 2022)



<그림 1> 로드셀의 측정 시스템 모식도

Ⅲ. 실험

3.1 실험 재료

본 실험에서는 건조기 내 특정 온도에서의 건조를 위한 목적으로 바나나, 배, 톱밥을 유기 시료로 사용하였으며, 자연발화가 일어날 수 있는 톱밥과 시중에서 쉽게 접할 수 있는 과일 중에서 대표적으로 수분이 많은 배, 그리고 수분이 상대적으로 적은 바나나를 비교하고자 하였다. 시료의 중량은 함수율 측정기의 측정조건과 시간을 고려하여 3g 으로 설정하였다.

<표 2> 각 시료의 중량 및 수분 함유량

	바나나		배		톱밥	
학술명	생강목 파초과 Musa acuminata		배나무 속 Pyrus pyrifolia var. culta		-	
중량	약 3g		약 3g		약 3g 톱밥 10g + 수분 10g	
수분 함유량	약 73.54(%)		약 82.13(%)		약 52.22(%)	

3.2 실험 장치

실험 장치로는 아두이노 호환용 보드(CH340 Arduino Uno R3, OEM), 온.습도 센서(AM2301, OEM), 로드셀 무게 측정 센서(ESV-1, OEM), 로드셀 컨버터 모듈(HX711, CJMCU), 센서 전선(0.5mm, 메카솔루션), 실리콘 튜브(Φ5) 및 건조기(APin, 삼흥)와 함수율 측정기(FD-200, KETT)를 사용하였으며, 이것을 이용하여 시료 속 수분과 건조에 따른 함수율 변화를 관찰하고자 하였다. 건조기 내부에 온.습도 센서를 패키징한 후 아두이노 보드의 코딩작업을 통해 실시간으로 건조에 따른 변화와 무게 변화를 시리얼 모니터로 관찰할 수 있다. 또한 전지 저항식으로 작동하는 온.습도 센서와 가변 저항을 이용하여 측정하는 방식인 로드셀 센서를 사용하였다.

<표 3> 아두이노 보드의 제원 및 특징

제품명	Arduino Uno 호환용 보드	
제조사	OEM	
모델명	CH340 Arduino Uno R3	
크기 / 무게	68 x 53mm / 22g	
입력 전압 (권장) 입력 전압 (최대)	7~12V 6~20V	
디지털 입출력 핀	20	
디지털 입출력 핀 허용 전류	핀당 40mA	
플래시 메모리	32KB	

<표 4> 온.습도 센서의 제원 및 특징

제품명	온습도센서	
제조사	OEM	
모델명	AM2301 (DHT21)	
크기	60 x 27 x 14mm	
작동온도	3.3 ~ 5.2VDC	
측정습도	0 ~ 100% 상대습도(RH)	
측정온도	-40 ~ 80℃	
정밀도	±3%RH, ±0.5℃	

<표 5> 로드셀의 제원 및 특징

제품명	4선식 1KG 로드셀	
제조사	OEM	
모델명	Load cell Weight Sensor ESV-1	
크기	80 x 10 x 10mm	
출력 전압	1mV/V ±0.15	
작동 전압	3 ~ 12(VDC)	
Sensing	1Kg	
비선형성	0.02 (%FS)	
반복성	0.015 (%FS)	
Creep	0.015 (%FS)	

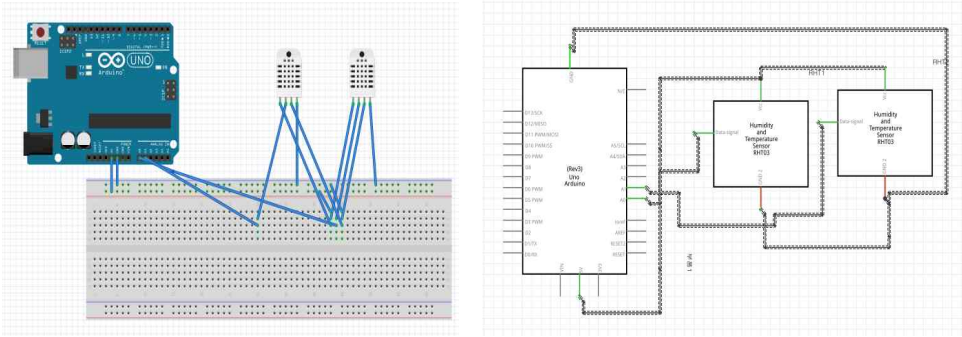
3.3 실험 방법

수분측정 실험은 선정한 시료를 준비한 상태에서 상대적으로 수분 함유량이 적은 톱밥은 원상태의 톱밥 10g과 물 10g를 1:1 비율로 섞어 실험을 수행하였고, 이를 통해 건조 상태에서의 수분 변화량에 대한 기초적인 자료를 수집하였다. 각 시료의 수분함량을 확인하기 위해 사용한 함수율 측정기의 설정은 자동측정모드로 온도 60℃와 80℃, 30초당 증발량 0.01% 이하, 보정률 0.1%로 가동하였다. 건조기는 60℃ 및 80℃의 두 가지로 온도로 설정하였으며, 이 때 60℃ 이하 실험 시 장시간이 소요되는 점과 80℃ 이상 실험 시 온.습도 센서의 외형 변화 및 오작동을 평가하고자 하였다. 건조 시간은 온.습도 센서의 최적 측정조건과 시간에 따른 함수율 변화량을 고려하여 예비실험을 통해 얻어진 최적 조건으로 10분, 20분, 30분을 설정하고 진공에 따른 가혹 조건이 아닌 상압(1atm)에서 진행하였다. <그림 2>와 같이 온.습도 센서에 플라스틱 컵을 결합시킨 이유는 건조기 내부가 넓어 주변 습도 변화율이 측정되지 않아 정확한 측정이 불가능하기 때문에 시료로부터 증발된 수분을 손실없이 포집하여 측정하기 위함이다. 또한 플라스틱컵 내부에 수분이 응집하는 것을 방지하고, 컵 내부의 공기 순환을 통해 건조를 용이하기 위하여 컵에 미세한 구멍을 내어 실험을 실시하였다.

실험절차는 다음과 같다.

(1) 각 시료를 위 조건과 맞게 준비한다.
(2) 함수율 측정기 및 건조기의 전원을 인가한다.
(3) 건조기를 설정된 온도(60℃, 80℃)로 예열시키고 타이머를 설정한다.
(4) 함수율 측정기의 설정값을 입력한다.
(5) 시료를 함수율 측정기에 넣고 가동시킨다.
(6) 함수율 측정기에 출력된 수분 함유량과 증발량 데이터를 확인 후 저장한다.
(7) 결합된 온.습도 센서와 아두이노 보드를 연동시킨다.
(8) 아두이노 코딩을 업로드한다.
(9) 예열된 건조기 내부에 결합된 온.습도 센서와 로드셀을 패키징한다.
(10) 결합된 온·습도 센서 하부에 준비된 시료를 넣고 가동한다.
(11) 시리얼 모니터에 출력된 습도 변화율과 무게 변화량을 확인 후 저장한다.
(12) 설정한 시간이 되면 시료를 꺼내어 건조 전과 후의 무게변화를 관찰한 후 함수율 측정기를 통해 잔여 수분량 변화를 확인한다.
(13) 측정된 데이터를 엑셀에 기입하여 그래프화 시킨 후 비교.분석한다.

<그림 2> 온.습도 센서와 플라스틱컵 패키징 상태



(a) (b)

<그림 3> 온.습도 센서와 아두이노의 연결 개략도(a) 및 아두이노의 배선 연결도(b)

(a) (b)

<그림 4> 아두이노/로드셀(a)과 온.습도센서를 패키징한 상태(b)

(a) (b)

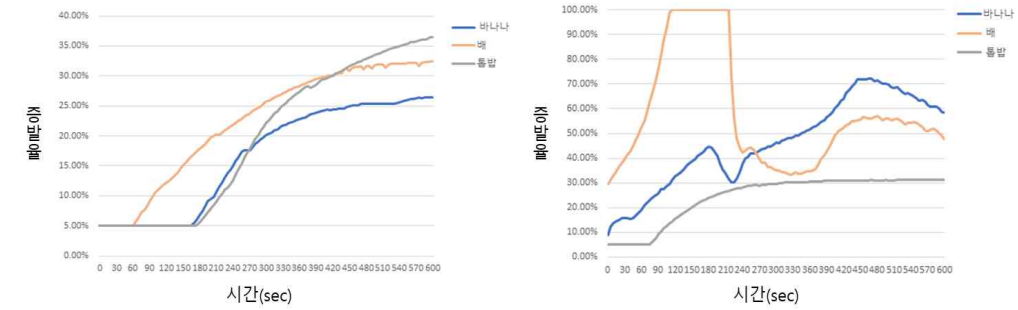
<그림 5> 아두이노 프로그램을 사용한 코딩(a)과 시리얼 모니터 측정값 확인(b)

Ⅳ. 실험 결과

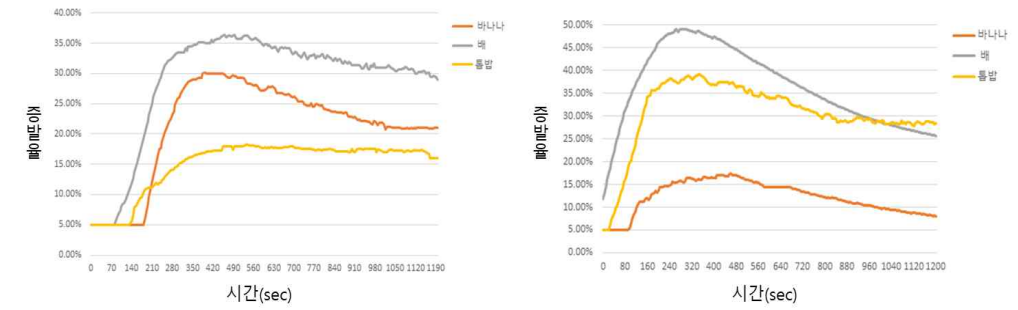
4.1 건조시간에 따른 증발율 변화

건조시간에 따른 증발율 변화를 비교한 결과 60℃ 에서는 수분함량이 높은 배, 바나나, 톱밥 순서로 증발하여 주변 습도와 일정한 상태로 변화되었다. <그림 6>과 같이 4분 30초 경과 시점부터 배와 바나나의 표면이

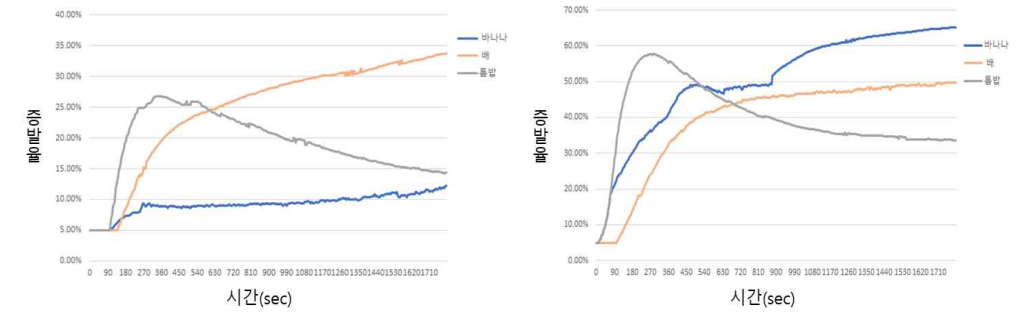
건조해지면서 증발량이 감소하는 양상을 나타내었다. 또한 톱밥은 가장 늦게 습도 변화가 발생했지만 가장 큰 변화율을 보였으며 30분 경과 시점에서는 톱밥, 바나나, 배 순으로 습도변화가 확인되었다. 순수한 수분을 섞은 톱밥은 초반에 증가하여 점차 감소하였으나 바나나와 배는 내부 수분의 증발로 인해 점차 증가하였다. 80℃ 에서는 60℃에 비해 표면 수분의 증발시간과 주변 습도의 변화가 더 가속되어 시료의 내부 수분까지 증발하여 다양한 수분변화를 나타내었다. 톱밥을 제외한 시료 모두 10분 건조 시에는 급격한 습도 변화율을 보였지만 20분, 30분 건조시에는 60℃와 마찬가지로 내부수분 증발에 의해 다시 증가하는 양상을 보였다.



(a) 10분



(b) 20분



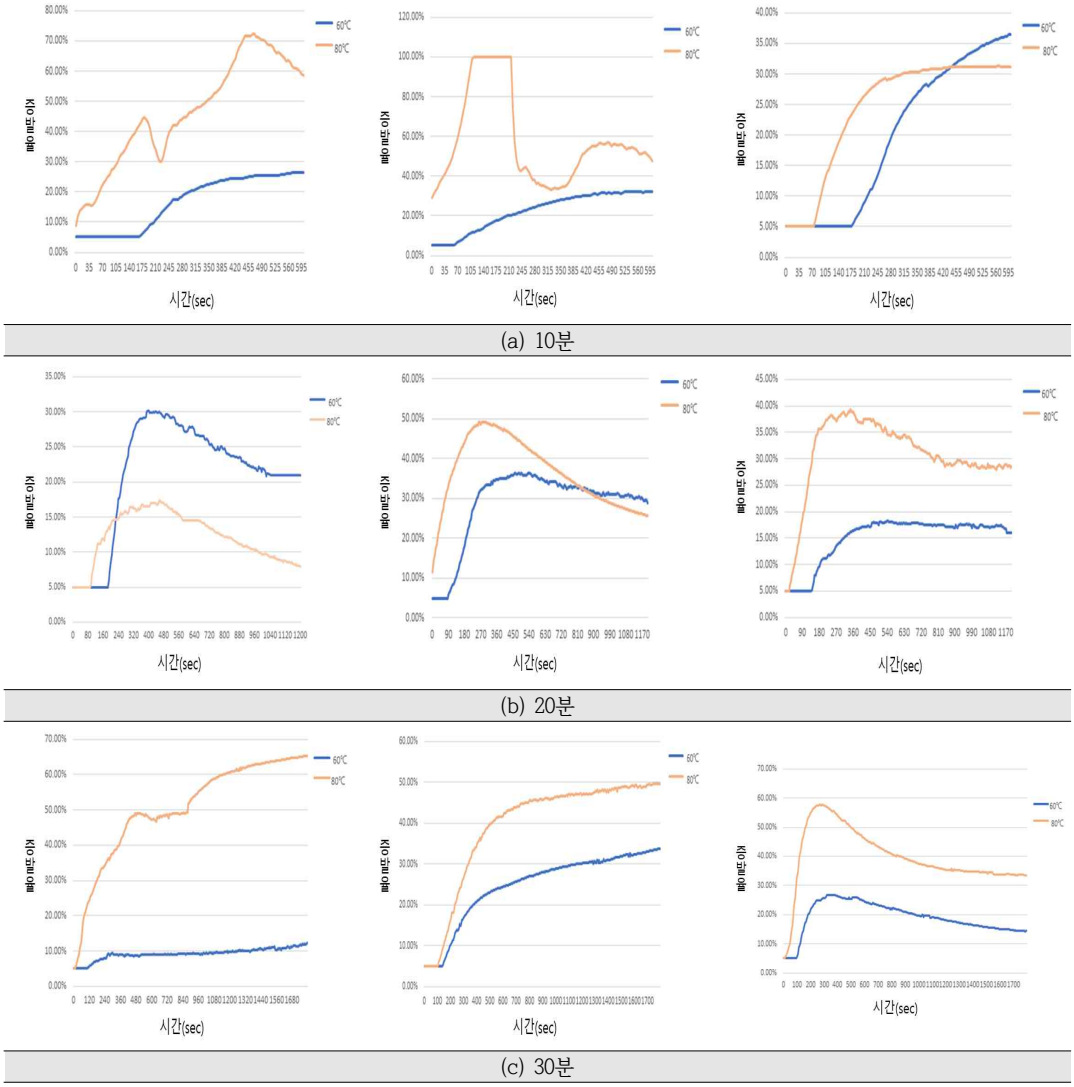
(c) 30분

<그림 6> 건조시간에 따른 온.습도 센서 측정값 비교(왼쪽: 60℃, 오른쪽: 80℃)

4.2 온도에 따른 증발율 변화

<그림 7>은 각 시료를 60℃ 및 80℃에서 건조 후 시간에 따라 증발율 변화를 비교한 그래프로 온도에 따른 응답특성이 실시간으로 선형적으로 변화되는 것을 알 수 있다. 전체적으로 60℃에 비해 80℃에서 증발이 빠르고 활발하게 일어나는 것이 확인되고, 습도의 변화율이 큰 폭으로 증감하는 것을 관찰할 수 있다. 바나나와 배의 경우 감소하다가 다시 증가하는 양상을 보여주고 있는데, 이것은 시료 표면의 증발량과 시료내부 증발량이

더해져 습도를 더욱 높인 것으로 사료된다. 한편 함수율 측정기에서 측정한 30초당 증발율과 온.습도 센서의 측정값을 비교한 결과 대체적으로 함수율 측정기의 증발율과 센서의 측정값은 유사한 기울기와 패턴의 양상을 나타내는 것을 확인하였다. 이와 상대적으로 일부에서는 전혀 다른 결과가 도출되었는데, 이것은 함수율 측정기와 건조기의 건조 및 가열방식의 차이에 따른 결과로 해석된다.

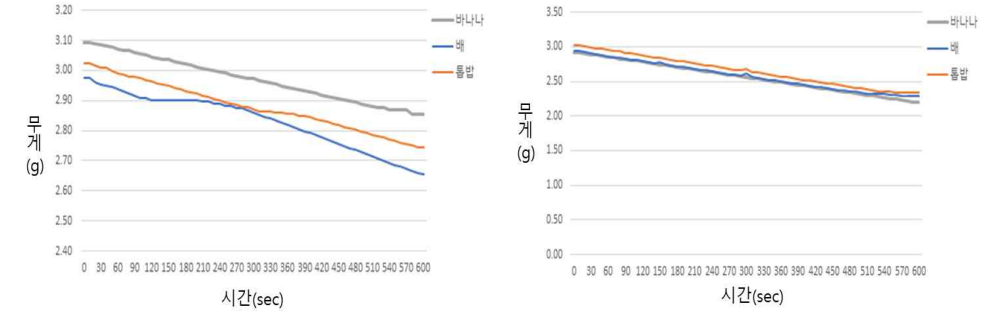


<그림 7> 온도에 따른 온.습도 센서 증발율 비교(왼쪽: 바나나, 중간: 배, 오른쪽: 톱밥)

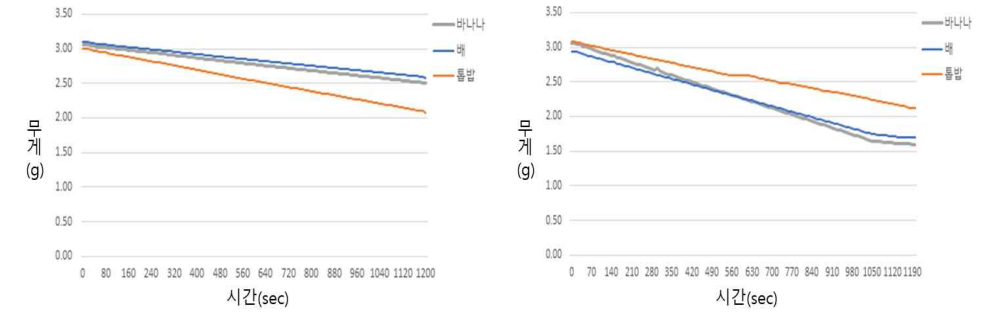
4.3 건조시간 및 온도에 따른 실시간 로드셀 측정 및 변화율 비교

<그림 8>는 각 시료들을 온도 60℃ 및 80℃에서 건조시키면서 로드셀을 이용하여 건조시간에 따른 무게 감량을 비교한 그래프이다. 대부분 선형적으로 일정하게 감소하는 양상을 나타내었고, 시간이 많이 경과할수록 기울기 차이가 크게 변화되는 것을 확인할 수 있다. 톱밥의 경우 60℃ 에서 10분 경과 시까지는 타 시료들과 큰 차이점을 보이지 않다가 이 후에는 큰 무게 감량으로 시료간 분리되는 양상을 보였으나, 80℃ 에서는 시간 경과에 따라 초기에는 감량이 가장 경미하다가 30분 경과시 중간값 정도의 감량으로 회귀되는 특성을 나타내었다. 또한 톱밥의 경우 다른 시료보다 자체 수분량이 적어 물을 혼합후 수분 함량을 높인 결과, 온도와 시간에

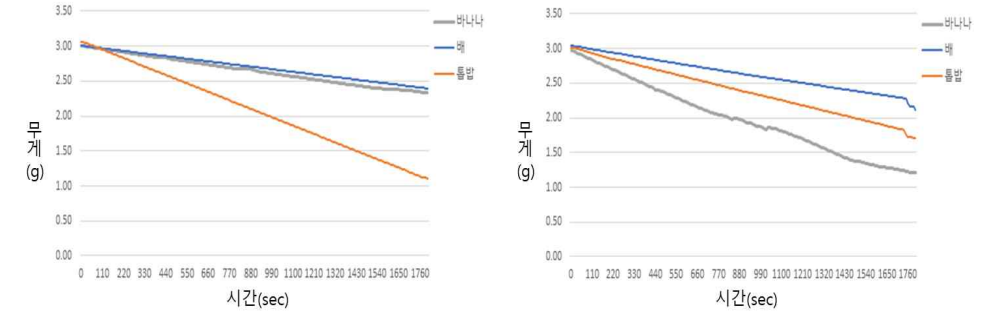
관계없이 일정한 기울기를 보였다. 하지만 30분의 경과시 기울기값이 큰 이유는 시료의 접시가 가열됨에 따라 톱밥의 건조를 가속화 시켰기 때문인 것으로 생각된다. 또한 <그림 9>과 같이 시료 모두 온도에 따라 비교하면 일정한 기울기를 보였으며, 60℃에서 보다 80℃에서 큰 무게감소를 보였다. 30분 시료에서 특히 기울기가 크게 나타나는데, 이는 은박지로 된 시료접시가 가열되어 시료의 증발 및 건조를 가속화시킨 것으로 사료된다.



(a) 10분

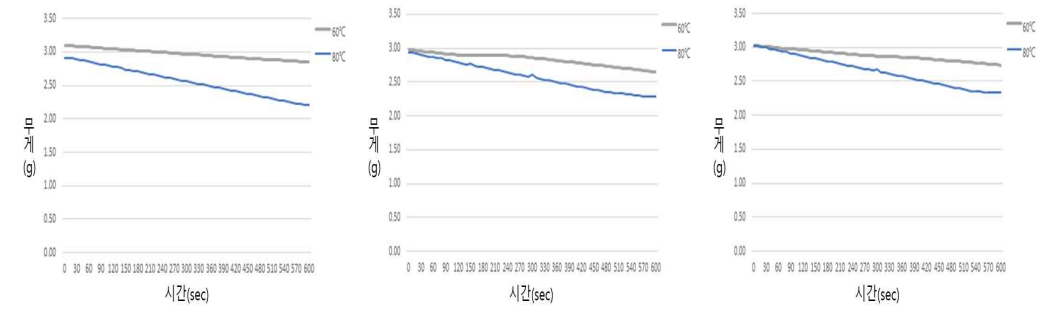


(b) 20분

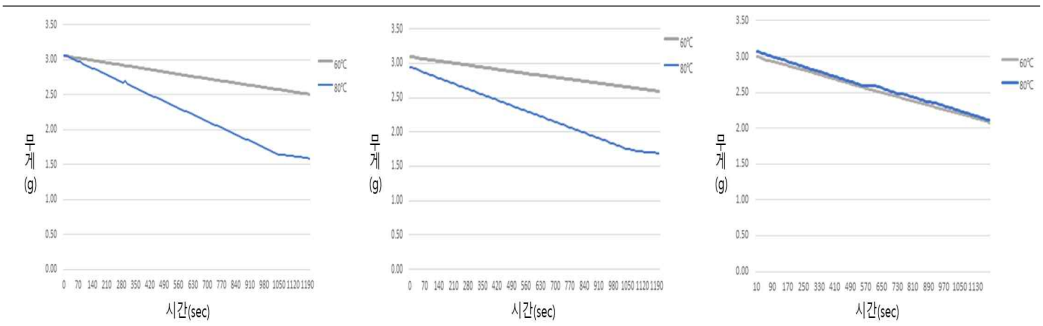


(c) 30분

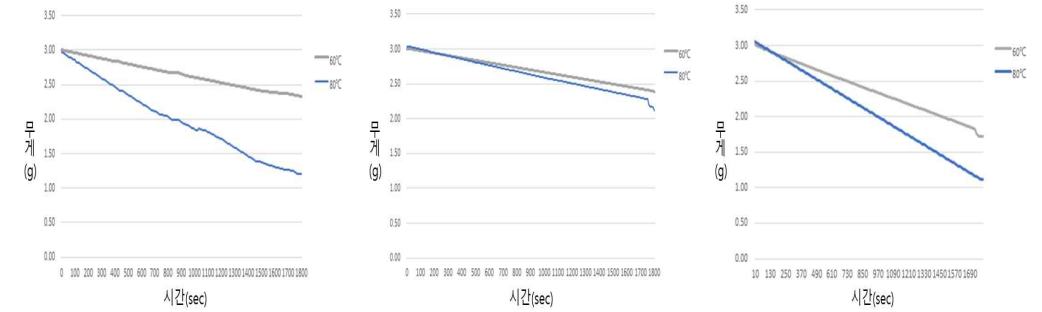
<그림 8> 건조시간에 따른 로드셀 측정값 비교(왼쪽: 60℃, 오른쪽: 80℃)



(a) 10분



(b) 20분



(c) 30분

<그림 9> 온도에 따른 로드셀 측정값 비교(왼쪽: 바나나, 중간: 배, 오른쪽: 톱밥)

V. 결 론

본 연구에서는 기존 시판 건조기의 기능상 단점 중 하나인 수분측정이 불가한 점에 착안하여 아두이노를 이용한 실시간 수분측정 모니터링 방법을 설계, 적용하여 전체적인 응답특성의 안전성을 실험적으로 검증하였다. 구체적으로 건조기 내 수분을 함유하고 있는 시료로 배, 바나나와 수분을 함유시킨 톱밥을 투입하여 외부 환경요인에 노출되지 않고 수분 변화량과 무게 변화를 폐쇄 상태에서 반복적으로 실시간 모니터링 하였다. 그리고 적용 시료에 대한 건조과정을 통해 각종 변수에 대한 온도와 시간 변화로 시료에 미치는 영향을 개폐과정으로 확인하였다. 또한 건조기 내부에 시료와 함께 온.습도센서 및 로드셀 무게 측정 센서를 이용하여 건조기 내부에 패키징하고 실시간 모니터링으로 변화량 체크가 가능하도록 아두이노 코딩 프로그램을 이용하여 시리얼 모니터로 진단하였다. 예비실험을 기초로 각 시료에 대해 초기 수분 함수율, 건조기 히터 설정온도, 설정시간을 변화시키면서 실험하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

가. 아두이노를 이용하여 비교적 손쉽게 설계한 수분 측정 모니터링 방법은 실시간으로 그 변화량을 확인할 수 있었고, 여러 번의 반복 실험에 있어서도 안정적인 응답 특성을 얻을 수 있었다.

나. 마이크로파 및 근적외선 원리 등을 이용한 간접방식의 수분 측정은 시료 또는 대상 표본의 표면에 포함된 수분을 감지하는 것으로 시료 내부에 함유된 수분 측정은 부정확성하다는 한계점을 해당 설계를 통하여 상당 부분 개선할 수 있었다.

다. 기존 활용되고 있는 수분 제어 및 측정의 경우, 건조 종료 후 함수율 측정 장비를 사용하여 별도로 수분을 측정함으로써 건조 후 외부 환경을 통해 추가로 유입되는 수분에 대한 교란 영향이 발생하지 않도록 하는 효과를 얻을 수 있었다.

라. 수분이 원재료 내에 포함된 민감도가 높은 물질의 보관 또는 수분 관련사고 등에 있어 안전성을 향상시

키는 예방 효과와 함께 의약, 군수, 신소재 산업에 활용 가능한 용도 확대 가능성을 얻을 수 있다고 판단된다.

향후에는 현 연구 과정에서 누락되었던 CFD 프로그램을 이용한 예측 데이터의 비교 분석을 병행하여 평가하고, 가열조건에서도 건조기 내부에서 시간 경과에 따른 시료의 형상 변화를 육안으로 확인 가능하도록 구현하는 추가 연구를 수행하고자 한다.

REFERENCE

강신정(2012), *수분측정법(칼피셔법)*, 식약청 식품의약품안전평가원.

김경호(1992), "고분자습도센서개발," *기술경영경제학회 학술발표회*, 1992(11), 217-221.

김봉철(2015), *산화성고체 물질에 의한 폭발 사고*, 원광보건대학교.

김오윤(2016), "목재 수분은 어디에 위치하고 있나요?," *나무신문*, 3월 15일.

김창홍, 윤창노, 한호규, 정옥상, 이동휘, 김성진(2001), *화학대사전*, 세화, 경기.

김형록, 선우우연, 김성균, 최민하(2016), "위성 토양수분 데이터 및 COSMIC-ray 데이터 보정/검증을 위한 성균관대학교 내 FDR 센서 토양 수분 측정 연구 및 데이터 분석," *한국수자원학회논문집*, 49(2), 133-144.

김혜진(2017), *하이드로젤 기반의 광섬유 습도센서의 개발*, 석사학위논문, 중앙대학교.

김희경(2021), 용해로 작업시 수증기 폭발로 인한 사망사고 사례, *세이프티퍼스닷뉴스*, 9월 17일.

박경진(2019), *(상상을 현실로 만드는) 아두이노=Arduino*, 에듀아이, 경기.

박노현(1994), *동결건조의 운전조건에 따른 승화시간 예측에 관한 연구*, 박사학위논문, 단국대학교.

서인호(2006), *센서의 기본과 원리*, 대윤계기산업(주).

안전보건공단(2016), "사고 사례 모음집," 6월 15일, https://www.kosha.or.kr/.

오메가엔지니어링(2022), "온도센서, 로드셀," 6월 13일, https://kr.omega.com/.

윤명섭, 박구락, 고창배(2016), "아두이노를 이용한 온도시험 장비 오동작 감시시스템 설계 및 구현," *디지털융복합연구*, 14(5), 317-323.

위키백과(2022), "아두이노 보드 목록," 6월 15일, https://ko.wikipedia.org/.

이형로, 인치호(2016), "아두이노 기반의 효율적인 홈 시큐리티 모니터링 시스템 설계 및 구현," *한국인터넷방송통신TV학회 논문지*, 16(2), 49-54.

㈜메카솔루션(2021), "아두이노 코딩 및 제품정보," 6월 15일, https://mechasolution.com/.

한국계량측정협회(2017), *정밀측정기술교육 부교재(수분분야)*, 한국계량측정협회.

홍대기(2020), *(LED부터 IoT까지) 아두이노 설계 & 코딩 DIY 여행=Arduino*, 생능, 경기.

Flintec(2022), "로드 셀(Load Cells)," 6월 13일, https://www.flintec.com/.

HBK Korea(2022), "로드셀이란 무엇이며 어떻게 작용할까요?," 6월 13일, https://www.hbm.com/.

KOSTECH(2022), "온도센서 및 열전대 종류," 6월 13일, https://cal.kostech.net/.

A Study on Real-Time Monitoring for Moisture Measurement of Organic Samples inside a Drying Oven using Arduino Based on Open-Source

Kim, Jeong-hun[1)]

Abstract

Dryers becoming commercially available for experimental and industrial use are classified to general drying oven, hot-air dryer, vacuum dryer, freezing dryer, etc. and kinds of them are various from the function, size and volume, etc. But the moisture measurement is not applied although it is important factor for the quality control and the performance improvement of products, and then now is very passive because the weight is weighed arbitrarily after dry-end. Generally the method for measuring moisture is divided by a direct measurement method and a indirect measurement method, and the former such as the change of weight or volume on the front and rear of separation of moisture, etc. is mainly used. Relatively a indirect measurement is very limited to apply due to utilize measurement apparatuses using temperature conductivity and micro-wave etc.

In this research, we easily designed the moisture measurement system using the open-source based Arduino, and monitored moisture fluctuations and weight profiles in the real-time without the effect of external environment. Concretely the temperature-humidity and load cell sensors were packaged into a drying oven and the various change values were measured, and their sensors capable to operate 60℃ and 80℃ were selected to suitable for the moisture sensitive materials and the food dry. And also the performance safety using the organic samples of banana, pear, sawdust could be secured because the changes of evaporation rate as the dry time and temperature, and the measurement values of load cell appeared stable response characteristics through repeated experiments. Hereafter we judge that the reliability can be improved increasingly through the expansion of temperature-humidity range and the comparative analysis with CFD(Computational Fluid Dynamics) program.

Keyword: drying oven, Arduino, organic sample, moisture measurement, evaporation rate, temperature-humidity, load cell

1)Author, Associate professor of Hoseo University, kjh0789@hoseo.edu

저 자 소 개

■ 김 정 훈(Kim, Jeong-hun)
■ 호서대학교 안전소방학부 부교수, 공학 박사, 기술거래사
<관심분야> : 위험물질화학, 신소재, 감식안전, 재난안전, 기능성 나노겔, 환경영향 평가