버섯 생산성 증대를 위한 ICT에 기반한 생장환경 분석 및 조절 기술

이창열^{1*} · 박길주² · 이윤혜³

¹동의대학교 컴퓨터공학과, ²메타라이즈(주), ³경기도농업기술원 버섯연구소

Growth Environments Analysis and Control Technologies for the Increasing of the Mushroom Productivity Based on ICT

Chang Yeol Lee^{1*}, Gil Joo Park² and Yun Hae Lee³

¹Department of Computer Engineering, Dongeui University, Busan, 617-714, Korea

²Department of Research & Development, Metarights Inc., 137-072, Korea

³Mushroom Research Institute, Gyeonggi-Do Agricultural Research & Extension Services. 464-873, Korea

Abstract

Currently the most of the mushroom farm looks like the automated producing factory. All producing process of the farm is clearly distinguished and used the mechanical system. Everyday starts two or three times mushroom production life cycle processes. It's depending on the farm's production conditions. The detail process procedures are a little different from the kinds of mushrooms. The result of the final step of the every cycle is output. Each productivity is different from the other time's productivity. It is not easy to find the causes of the difference, because the farms have no any monitoring and tracking system for the mushroom growth duration. To find out the optimal growth environment, we developed two kinds of system called, the mushroom growth management system(MGMS) and the mushroom growth analysis system(MGAS). MGMS operates in the farm and gathers the sensor and RFID data. Sensors are installed in the rooms(cultivation room, sprout room, and growth room) and RFID tag are attached on the pallets. MGAS analyses the gathered data from the farm. It is based on the concept of the productivity. That is, maximum productivity may be caused by the optimal growth environment. Finally, the manager of MGAS decides on the 'what is the optimal growth environment' and send the information to each farm.

Key words : Monitoring, Optimal growth condition, RFID, Sensors, Working diary

I. 서론

1980년대 들어서 버섯의 인공재배법이 확산되면서 대규모 현대화된 버섯 재배 시설이 들어서기 시작했다. 전통적으로 원목을 통하여 소규모로 진행하던 버섯 산업이 병(bottle)에 기반한 자동화된 공장 생산 체계로 바뀐 상태이다(Kim et al., 1993).

버섯 재배 면적은 1995년 이후 증가되지 않고 있지만, 생산량은 지속적으로 확대되고 있고, 2010년 764ha에서 173,577ton의 생산이 2011년에는 750ha에서 196,503ton으로 증가하였다. 국내 버섯의 생산량은 느타리버섯, 팽이버섯, 새송이(큰 느타리버섯)의

순이며 생장주기가 대부분 2개월(46일 - 58일) 이내로 짧고, 병에 재배를 하며, 중첩적으로 재배를 할 수 있다. 버섯 재배는 배지(mushroom media)를 만들어 병에 채운 뒤에 그 곳에 버섯 종균을 주입하여 버섯을 재배하는 과정으로 진행되며 이렇게 진행되는 전 과정을 배치(batch, 또는 회(cycle))라고 부른다. 배지는 보통 톱밥, 퇴비, 감자 등을 혼합하여 버섯에 영양분과 수분을 공급하기 위한 재료로 사용된다.

청아랑영농조합법인의 경우 1일 3번 배지를 만들어서 재배하는 농가(1일 3배치 재배한다는 뜻)로 이는 1년 기준으로 365일 * 3배치(1,095배치)의 버섯을 재배하는 것이며, 1배치에 약 1만병을 생산한다. 1병당 최대 생산량이 0.2KG, 평균 0.18KG, 그리고 최소가 0.15KG 정도이다. 만약 1병당 생산량이 0.015KG 향상(1병당 평균 0.195KG 생산)되면, 1년 기준으로는 164,250KG(=0.015KG * 1만병/배치 * 365일 * 3배치/일)의 생산량의 차이가 발생한다. 느타리버섯인 경우 1KG당 가격이 2,000원 정도로 계산하면 이는 1

Received on July 17, 2014. Revised on September 12, 2014

Accepted on September 16, 2014.

*Corresponding author: lcy@deu.ac.kr

본 연구는 동의대학교 교내 연구 과제 “환경정보 피드백을 통한 효과적인 농산물 품질관리기술개발”(2013AA146)의 지원에 의해 수행되었음

년 기준으로 3억2천8백5십1만원(=164,250KG * 2,000원/KG)의 추가수익을 발생시킬 수 있다. 물론 위의 수익이 이론적인 결과이기 때문에 실제적인 수익 향상과 차이는 있겠지만, 그만큼 생산량 확대는 중요한 것이다.

그러므로 버섯 재배에서 1회의 작은 생산량 차이가 궁극적으로 농가 소득에 많은 영향을 미치고 있는 것이다(Jeon, 2014).

어떤 환경 조건(여기서는 이러한 조건을 최적 생장 조건으로 표현함)으로 재배를 하여서 생산량이 최대가 되는지를 찾아내는 것은 중요하지만, 이러한 조건을 찾는 것은 버섯 재배의 특성상 쉽지 않은 일이다.

즉 생장 단계별 이동 관리로 인하여 섞여서 추적의 곤란함, 여러 배치의 버섯이 한 장소에 모여 있어서 이에 대한 구별, 수확도 하루에 이루어지지 않아서 이에 대한 추적 기록 관리 등의 문제로 인하여 특정 회의 생산량을 확인하는 것이 어려운 것이다.

따라서 본 연구에서는 ICT(Information & Communication Technology) 적용을 통한 문제 해결과, 나아가 원인에 대한 피드백을 통한 최적 생산 조건을 유지할 수 있는 기술과 방법에 대한 연구를 수행하였다.

II. 연구 방법

1. 전통적 버섯 생산 프로세스 분석

Fig. 1에 기술된 것처럼 버섯 생산 과정은 다음과 같은 단계로 되어 있다(Joo, 2008; Sur, 2007).

Fig. 1. The growth processes of the oyster mushroom.

첫째, 배지 준비 단계로 배지를 준비하고, 이를 혼합(반죽)하며, 이를 병에 넣고, 살균과 냉각 과정을 거친다.

둘째, 배양 단계로 각 병마다 종균을 접종하고, 병을 플라스틱 통(1개 통에 약 20개 병이 담김)에 담고, 플라스틱 통을 팔레트(pallet)에 적재하여, 배양실에서 26 - 34일 정도 보관한다. 배양실은 어둡고, CO₂가 생장에 중요한 영향을 미친다(Fig. 2).

셋째, 생육 단계로 발이과정(온도, 습도, CO₂ 센서 사용)과 생육과정(온도, 습도, CO₂, 조도 센서 사용)을 진행한다. 느타리버섯인 경우 보통 같은 생육실에서 2개 단계(발이, 생육)를 진행하며, 새송이인 경우 별도의 발이실과 생육실을 분리하여 재배하는 경우가 많다(Jeon, 2011; Kim, 1974).

넷째, 수확 단계로 수확도 하루에 전부하는 것이 아니라 몇 일간 거쳐서 이루어지는 과정이다.

청아랑영농조합법인의 경우, 생산량 추적을 위하여 기존에는 Fig. 2의 사진처럼 진행하였다. 즉 배양실에서 각 배치에 대한 온도 관리를 위하여 종이 카드를 놓고 사람이 주기적으로 배치에 대한 온도를 측정하였다. 이는 배양실 실내 온도와 배지의 온도차이가 나기 때문에 정확한 배치 온도를 측정하기 위하여 각 배치 별로 별도의 온도를 측정한 것이다. 이때까지는 각 배치 별로 온도 정보를 추적할 수 있었다. 그러나 이는 생육실(/발이실)로 이동하면서 사라진다. 첫째 배양실 이후, 균균기를 통하여 불량 버섯 병을 제거하면서 팔레트에 재 배치가 이루어지고, 생육실(/발이실)은 선반에 기반하여 버섯을 재배하기 때문이다. 각 배치를 구별하여 선반에 배치하기도 어렵고, 이를 매일 3번 반복하면서 표시하기도 어렵기

Fig. 2. Temperature record sheets attached to the every cycle in the cultivation room.

때문이다. 마지막으로 수확을 하면서 버섯이 썩여진다. 수확이 한 번에 이루어지는 것이 아니라 여러 날에 걸쳐서 이루어지기 때문에 수확 시 각 배치의 수확이 썩어서 수확되기 때문이다.

즉 전통적 방식으로는 특정 배치의 생육 기간 전체를 추적하여 생산량을 확인하는 것이 어렵다.

2. ICT 기반 생산 프로세스 분석

Table 1과 2는 느타리버섯과 새송이의 적절한 생장 환경 정보이다. 이 정보는 서류적인 최적 정보이고, 실제로 품종에 따라, 재배 환경 조건에 따라 차이가 있으며, 최적의 조건은 다를 수 있을 것이다. 그러므로 현장에서 느끼는 최적의 조건을 찾는 것이 중요하다. 이를 위한 방법으로 RFID(Radio Frequency IDentification; 무선인식)와 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 사용하여 생장 최적 조건(이는 품질을 포함한 생산량이 최대인 생육 조건)

Table 1. The optimal growth condition for Oyster Mushrooms.

Room	Factors	Ranges
Placing room	Humidity(%)	66 - 69
Cultivation room	Temperature(℃)	20
	Humidity(%)	60
	CO ₂ (ppm)	4000 - 5000
Sprout room (Sprout step)	Temperature(℃)	18
	Humidity(%)	90 Above
	CO ₂ (ppm)	2000 - 2500
Growth room (Growing step)	Temperature(℃)	15
	Humidity(%)	90 Above
	CO ₂ (ppm)	1000 - 1500

Table 2. The optimal growth condition for Saesongi Mushrooms.

Room	Factors	Ranges
Placing room	Humidity(%)	65 - 67
Cultivation room	Temperature(℃)	20
	Humidity(%)	60
	CO ₂ (ppm)	4000-5000
Sprout room (Sprout step)	Temperature(℃)	18
	Humidity(%)	90 Above
	CO ₂ (ppm)	2500- 2000
Growth room (Growing step)	Temperature(℃)	16
	Humidity(%)	75-85 Above
	CO ₂ (ppm)	1500-2000

을 찾아야 한다. RFID는 일반적으로 물건을 추적하는 용도로 사용되고, USN은 환경정보 모니터링 및 제어를 위하여 사용되는 기술이다(Lee et al., 2009; Kung, 2007).

RFID는 대상 물체에 부착되는 태그, 이를 인식하는 리더, 그리고 이를 처리하는 SW로 구성된다. 태그를 어디에다 부착할지는 경제성(태그를 여러 개 부착하면 비용이 증가하지만 처리 과정은 단순)과 추적성을 동시에 고려하여 결정하여야 한다. 본 연구에서는 RFID 태그는 팔레트에 부착되어 경제성을 추구하지만 팔레트 위에 있는 플라스틱 통 또는 병의 위치가 다른 팔레트 등으로 바뀌거나, 생육실로 이동 시(특정 팔레트위의 플라스틱 통이 생육실 어느 선반에 놓여 졌는지 연계) 이들 정보를 추적 관리하는 SW를 제공하여야 한다.

USN 기술 적용은 배양실, 발이실, 생육실 등에 필요한 환경 정보 수집 센서를 설치하여 버섯 생장 전 과정에 대한 환경 정보를 수집하고 모니터링하며, 추후 해당 배치의 생산량 결과가 도출되었을 때, 해당 배치의 과거 생장 환경을 살펴봄으로 최적 생장 환경이 어떤 것이었음을 알 수 있게 하는 것으로 간단히 정리하면 Table 1과 Table 2 조건을 재 정의할 수 있게 하는 것이다. 이러한 USN 적용 기술에 대한 기술적 관리 체계와 표준 체계를 반영하여 시스템을 구축하였다(Lee, 2008; TTA, 2007)

III. 결과 및 고찰

1. 분석 방법

Fig. 3은 버섯 농가에 설치된 버섯생장관리시스템이며, 이 시스템에서 생성되는 데이터를 받아서 분석하는 버섯생장분석시스템은 경기도 농업기술원 버섯연구소에 Fig. 4처럼 설치 및 운영하고 있다.

버섯생장관리시스템과 버섯생장분석시스템 사이 관계는 Fig. 5에 기술되어 있다.

버섯생장관리시스템은 Fig. 5의 좌측 하단에, 그리고 버섯생장

Fig. 3. A display of the u-IT based mushroom growth management system.

분석시스템은 Fig. 5의 상단에 기술되어 있다.

버섯생장관리시스템은 각 농가에 설치되어서, RFID와 USN을 통하여 생성되는 데이터(Sensing Data)와 작업일지(Fig. 6에 상세 사항이 기술됨)를 통하여 일일 현장 작업 정보를 관리할 수 있게 되어 있으며, 해당 정보를 추가적으로 버섯생장분석시스템에 제공

Fig. 4. A display of the u-IT based mushroom growth analysis system.

Fig. 5. Mushrooms growth analysis system architecture.

Fig. 6. Working diary.

한다.

버섯생장분석시스템은 각 농가에서 보내온 데이터를 생산량 기준으로 3가지 그룹(최대 생산 그룹, 평균 생산 그룹, 하위 생산 그룹)으로 분류하여 해당 그룹별 성장 조건을 분석하여 '최대 생산 그룹'을 기준으로 최적 성장 조건을 재설정한다.

재설정 정보가 해당 농가에 통보되어서 버섯생장관리시스템에 다시 적용하여 운영할 수 있게 하는 것이다.

생산량 그룹별로 데이터 분석은 자동적 분석에 추가적으로 작업 일지 등 제반 사항을 전문가가 분석하여 결론을 내릴 수 있게 하였다. 각 농가에서 작성하는 작업 일지(Fig. 6)는 생산 전반에 대한 정보를 기록하는 것으로 다음과 같은 정보를 포함한다.

- ① 기본 정보: 농가 코드(표준화), 농가 명, 연락처 등
- ② 배치 정보: 배치 코드(날짜-순차번호), 날씨 정보, 품종 정보, 혼합 정보
- ③ 입병 정보: 입병 시간, 수분 함량, 입병 중량, 총 입병량, 살균 시간, 살균 온도 정보, 종료 시간
- ④ 집종 정보: 냉각시 설정 온도, 배치 온도, 종균 정보, 소독 정보
- ⑤ 배양 정보: 배양실 온도/습도/CO₂ 정보, 배치 온도, 비닐 작업 정보
- ⑥ 균감기 정보: 오염 병수, 병 무게, 오염 원인, 오염 사진 정보
- ⑦ 생육 정보: 온도, 습도, CO₂ 정보, 생산량 정보, 폐기 병수, 내용
- ⑧ 생산 일지: 각 배치별 생산량 정보 기록.

2. 분석 결과

최대 생산 그룹을 포함한 성장분석 내용이 Fig. 7에 기술되었다. 이는 버섯생장분석시스템에서 자동으로 생성되어서 담당자가 내용을 분석할 수 있게 제공되는 화면이다. 담당자는 센서별 또는 장

성장분석 보고서					
◎ 기본정보					
분석ID	0000002572	농가	농이름	농이름	
배치 유형	배치명	배치 품종	배치 품종	배치 품종	
최대생산 수량	150g	최소생산 수량	110g	최소생산 수량	
수확 시작시간	2014-01-01	수확 종료시간	2014-02-28	수확 종료시간	
◎ 평균 분석					
장소	센서 유형	최대생산그룹	평균생산그룹	최소생산그룹	최적점
배양실	온도(통합센서)	20.18℃	20.15℃	20.22℃	20.2℃
	온도(배지)	22.74℃	22.31℃	22.58℃	22.7℃
	습도(통합센서)	45.38%	44.87%	45.37%	45.4%
	이산화탄소(통합센서)	2282.15ppm	2287.88ppm	2284.08ppm	2282.1ppm
발이실	온도(통합센서)	0℃	16.29℃	16℃	0℃
	습도(통합센서)	0%	93.86%	93.32%	0%
	이산화탄소(통합센서)	0ppm	805.86ppm	782.37ppm	0ppm
	온도(통합센서)	15℃	15.23℃	0℃	15℃
생육실	습도(통합센서)	80.95%	84.43%	0%	81%
	이산화탄소(통합센서)	836.42ppm	826.66ppm	0ppm	836.4ppm

Fig. 7. Growth analysis report-internal.

Fig. 8. Analysis graph of the monitoring data.

Table 3. Growth analysis report final.

Item	Detail	Content
C Group (The worst group)	Start date	20130104, 20130105, 20130110,
	Characteristics	
	Badge	Low humidity
	Sterilization	Good
	Cultivation	- Low CO ₂ - High temperature
	Sprouting	- High temperature deviation
	Growth	
A group (The best group)	Comment	Re-adjust the growth condition
	Start date	20130121, 20130122, 20130123,
	Characteristics	
	Badge	High humidity
	Sterilization	Good
	Cultivation	- High CO ₂ value 3,000 -> 4,500
	Sprouting	- No problem
Conclusion	Growth	- High temperature
	Comment	Optimal condition
	Environment	Access control, Uniformly temperature
	Management	Lower badge temperature
	Action	
	Contact	YunHee Lee

소별로 세부 데이터를 분석할 수 있는 화면을 Fig. 8과 같이 제공받는다. 그러므로 담당자는 이러한 데이터를 기반으로 최적 성장 조건에 대하여 판단한 결과를 Table 3과 같은 형태로 기술한다. Table 3은 최종적으로 농가에 제공되는 보고서로, 해당 농가는 본 보고서를 기반으로 버섯 성장 환경을 조정하여 운영함으로써 더 나은 생산량을 기대할 수 있을 것이다. 이러한 과정은 지속적으로 반복될 수 있게 구성하였다.

3. 고찰

생장관리 기술을 적용한 보편적인 연구로 Jeong and Kim(2012)은 작물 성장환경에 대한 자동 제어와 이에 대한 정보를 농장주가 편리하게 볼 수 있는 모바일 기기에 대한 서비스 내용에 초점을 두었으며, Kim and Kim(2013)은 기존 연구에 추가적으로 성장 단계를 자동으로 인식하여 해당 단계에 맞는 생육 환경을 자동으로 설정하는 연구를 하였다. Myung(2008)은 파프리카의 환경정보(수분, CO₂, 조도 등)의 변화에 따라 품종간 수확량의 차이에 대한 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 기존 연구에 성장분석 기능을 추가하였으며, 성장분석 결과를 생장관리에 환류하여 좀 더 나은(최적화된) 성장 환경을 유지하여 수확량을 증대할 수 있는 연구를 진행한 것이다.

버섯은 타 작물과 다른 생장 관리 형태를 가지고 있다. 즉 배지를 만들어 병에 넣고, 균사를 병에 접종을 하여 재배하며, 생장 단계에 따라 재배 환경의 변화가 필요하여, 생장 단계에 적합하게 설계된 방(배양실, 발이실, 생육실 등)으로 이동하고, 동일 방에서 여러 배치가 혼재되어 있는 형태로 전통적 시설하우스 작물 재배 보다는 공산품 제조 같은 공정을 진행한다. 이러한 관점에서 볼 때, 버섯에 적용한 ICT 사례로 NIA(2009)의 연구가 있었지만, 이 또한 전통적인 단순한 자동화된 생장관리에 초점을 맞추고 있다.

IV. 적요

버섯 재배는 자동화된 공장처럼 관리되고 있다. 배지를 만들어서 수확하는 1배치의 생명 주기가 2개월 안에 종료되며, 이러한 배지를 만드는 작업이 보통 1일 2회 내지 3회 정도 농가별로 진행하고 있어서 3회 기준으로 볼 때 1년에 1,095(3배치 * 365일)배치를 반복하는 것이다. 즉 1,095 배치에 대하여 각 배치당 생산량의 차이에 대한 원인을 분석하고, 많은 생산량을 가진 배치의 생장 환경을 기준으로 하여 다른 배치의 생장 환경을 조정한다면 생산량의 확대를 가져올 것이다. 이러한 개념에 기반을 두어 진행한 것이 본 연구이며 시스템 구축 사업을 통하여 개념을 실현하였다. 버섯 생장 환경 수집 대상은 온도, 습도, CO₂ 뿐만 아니라, 배지의 습도, 오염 정도

등이 있으며 수집 방법으로는 일부는 설치된 센서를 통하여 자동으로, 일부는 작업일지를 통하여 수동(예를 들어, 오염 정도, 폐기량 등)으로 이루어진다. 수집된 데이터는 누적되어 보관되고 있으며, 결과적으로 볼 때 즉 최대 생산량을 가진 배치의 과거 수집된 성장 환경 정보를 분석하는 것이다. 분석 데이터의 보편성을 위하여 약 60회(임의로 설정) 이상의 배치를 분석하여 최종 판단하는 것이고 적합하다고 판단하였으며, 이를 기반으로 자동으로 자동 분석 정보가 도출되며, 이를 기반으로 수동으로 담당 전문가(버섯 연구소 담당자)가 분석한 결과에 최종 의견을 넣은 보고서를 작성하여 해당 농가에 제공하는 것(버섯성장분석시스템)으로 구성하였다. 이와 같은 시스템의 적용은 본 연구에서는 느타리와 새송이에 적용하였지만 모든 버섯 생산에 적용할 수 있을 것이다.

V. References

- Chunarang, Homepage, <http://kgfarm.gg.go.kr/farm/00211/main.asp>
- Jeon, C.S. 2011. A cultivation method of the oyster mushroom in a summer. *Mushroom21* 161:36-40.
- Jeon, C.S. 2014. Saesongi mushroom industrial state. *Mushroom21* 4:68-71.
- Jeong, K.J. and W.J. Kim 2012. A design and implementation of mobile application SREMS(Smart Raising Environment Management System). *Journal of Korea Institute of Electronic Communication Science* 7(5):1173-1180.
- Joo, Y.C. 2008, Introduction to mushroom cultivation. Gyeonggi Mushroom Research Institute, Gyeonggi, Korea.
- Kim, H.G., S.G. Hong, K.B. Min and T.H. Ro. 1993. The annual producing and commercialization of the mushroom bottle cultivation. RDA(Agricultural Science Library) Report REM 0031228:239-242, Suwon, Korea.
- Kim, K.O. and E.K. Kim. 2013. Cycle-by-cycle plant growth automatic control monitoring system using smart device. *Journal of Korea Institute of Electronic Communication Sciences* 8(5): 745-750.
- Kung, S.H. 2007. The design of fungus cultivating system based on USN. *Korean Institute of Information Technology* 5(6):34-41.
- Kim, Y.S. 1974. New oyster mushroom cultivation method. *Journal of Daegu National University of Education* 8:55-65.
- Lee, C.Y. 2008. A study on the intelligent USN middleware platform based on the group concept. *The Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 9(6):1666-1672.
- Lee, T.W., C.S. Son and W.J. Kim. 2009. The design and implementation of agricultural products tracking system using RFID/USN. *Proc. KIMICS Integrated Conference* 13(2):143-146.
- Myung, D.J. 2008. Correlation between climatic factors and yield of sweet pepper in glasshouse. MS Thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea.
- NIA. 2009. Brand-name product, G-mark mushroom, tracking system. NIA(National Information Society Agency), National Informationization White Paper.
- Sur, K.S. 2007. Oyster mushroom cultivation and environmental management. *Mushroom21* 6:78-91.
- TTA. 2007. USN middleware platform reference model. TTA (Telecommunication Technology Association), TTAS(TTA Standard), KO-06.0170:12- 14.