

누에 생육 환경 모니터링 및 행동 특성 분석을 위한 ICT 기반의 사육 시스템 개발

임종국, 이아영*, 김박금, 유현채
국립농업과학원 농업공학부

Development of Breeding System Based on ICT for Silkworm Growth Environment Monitoring and Behavior Characteristics Analysis

Jong-Guk Lim, Ah-Yeong Lee*, Bal Geum Kim, Hyeon-Chae Yoo
National Institute of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering

요약 국내 양잠 산업은 비단을 얻는 의류산업 중심에서 부가 가치를 높일 수 있는 다양한 기능성 제품 및 약용 소재 개발 산업으로 패러다임이 변화하고 있다. 그러나 양잠 산업의 가치를 높이려는 이러한 노력에도 불구하고 인력 부족 및 고령화 현상으로 누에 사육 농가는 매년 감소하고 있다. 최근, 생산비 및 노동력 절감, 품질 향상을 위해 정보통신 기술이 다양한 농업 분야에 적용, 확대되고 있다. 그중에서도, 작물과 가축의 생육 환경을 제어하고 모니터링하는 스마트 팜은 농업 생산성 감소를 해결할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다. 본 논문에서는 정보통신 기술 기반의 누에 사육 컨테이너를 제작하였으며 내부에 장착된 환경 센서를 이용하여 온·습도, CO₂ 농도를 실시간 측정하였으며 IP 카메라를 장착하여 실시간으로 누에 영상을 수집하였다. 누에 사육 환경 정보와 영상 정보는 유무선 네트워크를 통해 웹이나 스마트폰으로 원격 관리할 수 있으며 냉난방기, 가습기, 제습기, 환풍기 등과 같은 공조 시스템을 구축해 사육 환경 조건을 제어하였다. 개발된 누에 사육시스템으로 '한생잠' 품종의 누에 100마리를 4령 2일에서 5령 5일까지 사육하였다. 개체 별 길이, 폭, 무게 등의 생육 지표와 뽕잎 섭취량을 일자별로 측정하였으며 IP 카메라로 누에 영상을 실시간 확보하였다. 획득한 누에 영상을 이용하여 누에 행동 특성을 실시간 모니터링할 수 있었으며 이진화 영상으로 실시간 뽕잎 잔여율 산출이 가능함을 확인하였다.

Abstract The paradigm of the sericulture industry is shifting towards improving added value by developing various functional products and medicinal materials. Despite these efforts to re-evaluate the value of the sericulture industry, the manpower of silkworm farms continues to shrink every year. Recently, Information and Communications Technology (ICT) has been used in various agricultural fields to reduce production costs and labor and improve quality. A smart farm, which can control and monitor the growing environment of crops and livestock, is emerging as an alternative to alleviate the reduction in agricultural productivity. In this paper, a silkworm breeding container was customized with an ICT-based environmental sensor and IP camera. Temperature, humidity, CO₂ concentration, and images were collected in real-time using the sensor and IP camera mounted inside the container. An air conditioning system was applied to control the optimal breeding environment. The breeding environment and image information were remotely managed on the web or a smartphone. Moreover, various growth indicators such as length, width, weight, and mulberry leaf intake were measured daily, and the silkworm images were captured in real-time. The behavioral characteristics of silkworms were analyzed through their breeding images, and the mulberry leaf distribution rate was calculated through image binarization.

Keywords : Container, Environment Control, Growth Monitoring, ICT, Silkworm

본 논문은 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호: PJ01496402)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ah-Yeong Lee(National Institute of Agricultural Sciences)
email: lay117@Korea.kr

Received October 13, 2021

Revised November 3, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

전 세계적으로 기록된 곤충은 약 130만 종으로 사람과 직·간접으로 관련된 종만 15,000종에 이르고 있다. 나비목 누에나방과(Lepidoptera, Bombycidae)에 속하는 누에나방(Bombycidae)의 애벌레인 누에(Silkworm, Bombyx mori L.)는 뽕잎을 먹고 사는 곤충이다. 누에는 약 20여 일 동안의 애벌레 기간이 지나면 고치를 만들기 시작하고 고치 속에서 번데기가 되며 약 12~16일 정도 경과 후 나방으로 된다[1]. 3,000년간 지속되어온 우리나라의 양잠 산업은 1960~1970년에는 세계 3대 잠사 생산국으로 불릴 만큼 매우 번성하였으나 1970년대 후반부터 저가의 중국산 누에고치와 일본의 생산 수입 규제가 강화되면서 점차 쇠퇴하기 시작했다[2]. 하지만 1999년 이후부터 비단을 얻기 위한 양잠 산업에서 기능성 양잠 산업으로 패러다임이 변화하면서 다양한 기능성 제품이 개발되었으며 2009년에는 ‘기능성 양잠 산업 육성 및 지원에 관한 법률’을 제정하는 등 양잠 산업 부흥을 위해 노력해왔다. 즉, 의류산업 중심의 ‘입는 양잠’에서 식용 및 약용 소재로서의 ‘먹는 양잠’으로 누에의 가치가 재평가되고 있다[3,4].

누에에 함유된 1-deoxynojirimycin(DNJ)가 혈당조절 억제제[5], 미용 제품의 원료[6,7], 혈당강하제에 관한 연구[8-10], 간 보호, 콜레스테롤 저하, 혈당조절 등 신약 물질 추출[11-15]로 고부가가치 산업으로의 발전 가능성이 크다. 하지만 누에 사육은 대부분의 작업 과정이 인력에 의해 이루어지고 있으며 농촌 인구 감소에 따른 인력 부족과 농업인 고령화로 인해 양잠 농가의 어려움이 더욱 커지고 있다. 특히, 짧은 누에의 생육 기간 중에 뽕잎 급이와 잠분 처리 과정에는 노동력이 집중적으로 투입되어야 하지만 비정기적이고 단기간의 기간에 인력을 수급하는 것이 어려운 상황이다. 누에는 한 상자에서 수만~수십만 마리가 함께 뽕잎을 먹으며 자라기 때문에 사육 시 온도와 습도 제어는 누에 사육 조건에서 큰 환경 요소에 해당한다. 사육온도가 낮아질수록 식욕은 저하되나 영양분의 소화율이 높아지고 체내의 영양도 충실하지만 20 ℃ 이하로 저온 사육 시에는 누에가 허약해진다. 4령은 1~3령에 가까운 특성이 남아있어 온도관리에 중점을 두어야 하고 5령 누에는 습도, 환기 관리와 노동생산성 향상에 중점을 두어야 한다. 활발한 누에 추출물의 연구사례에 비하여 영세하고 노후화된 농가 사육시설, 개별적인 소규모 사육으로 인한 결과물의 신선도 유지, 원활한 유통을 위한 산지 가공, 표준화된 사육 체계의 미

확립, 상품화 미흡 등과 같은 해결해야 할 과제들이 있다. 농가의 수입 증대와 고부가가치 산업의 발전을 위해서는 누에 사육에 대한 안정적인 기반 기술 개발이 요구되고 있다.

생산비 및 노동력 절감, 품질 향상을 위해 정보통신기술(Information and Communication Technology, ICT)을 접목한 농업기술 개발이 가속화되고 있으며 디지털화, 데이터화 및 지능화 진전이 활발함에 따라 농업의 구조적인 변화를 초래하고 있다. ICT를 이용하여 사육 환경을 제어하는 스마트팜 기술 개발은 농가 인구 감소와 기후변화로 인한 생산량의 높은 변동성 등에 즉각적인 대응이 가능하여 농업의 경쟁력 확보를 위한 대안으로 떠오르고 있다[16]. 특히 식품 또는 의약품 원료로 사용되고 있는 곤충의 스마트팜 시스템 구축과 관련되어 흰점박이꽃무지 유충 사육시스템 개발[17], 누에 사육 자동화를 위한 누에 생육 환경 모니터링 시스템 개발[18] 등의 유사한 연구들도 점차 확대되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 ICT와 스마트팜 기술을 기반으로 하여 누에의 생육 환경을 모니터링하고 행동 특성을 분석할 수 있는 누에 사육시스템을 개발하였으며 주요 연구 내용은 다음과 같다.

- (1) ICT 기술 기반으로 제작된 컨테이너 형태의 누에 사육시스템 내부에 온도와 습도, CO₂ 농도를 수집할 수 있는 환경 정보 센서와 유무선 네트워크에서 활용 가능한 IP(Internet Protocol) 영상 카메라를 이용하여 누에 사육 및 환경 모니터링 시스템을 구축하였다.
- (2) IP 카메라를 활용하여 누에 행동 특성 분석을 위해 영상 데이터를 수집하고, 수집된 영상 데이터와 영상 처리 기술을 이용하여 뽕잎 잔여율을 산출하였다.
- (3) 온·습도가 제어되는 누에 사육시스템에서 일자별로 누에의 길이, 무게, 폭, 뽕잎 섭취량 등을 측정하였으며 누에의 생육 상태를 확인하였다.

2. 연구 방법

2.1 ICT 기반 누에 사육 및 환경 제어시스템 설계

누에 사육 및 환경제어를 위한 ICT 기반 모니터링 시스템은 Fig. 1과 같이 설계되었다. 누에 사육 공간에는 온도센서, 습도센서, CO₂ 농도 센서로 구성된 환경정보

수집 장치와 IP 카메라로 구성된 영상 획득 장치로 구성하였으며 수집된 데이터를 입출력 모듈로 별도 관리하여 환경제어 공간으로 송출하였다.

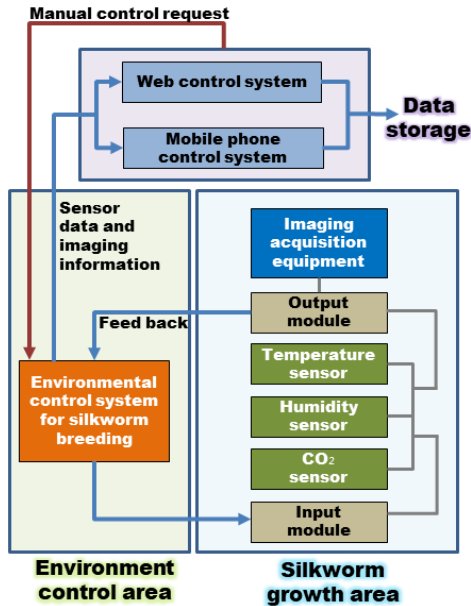


Fig. 1. Flowchart of environmental control and monitoring system for silkworm breeding

환경제어 공간에는 누에 사육 공간에서 획득한 온·습도, CO₂ 센서 데이터들과 영상 정보를 유·무선 네트워크를 이용해 수집하고 모니터링할 수 있는 시스템이 구축되어 있다. 누에 사육 공간과 환경제어 공간에서 수집된 디지털 및 영상 정보 데이터들은 실시간으로 외부로 전송될 수 있으며 웹이나 스마트폰을 이용하여 확인할 수 있도록 구성하였다.

스마트팜(Smart Farm)은 ICT와 첨단 4차 산업혁명 기술을 융합하여 국내에서 직면하고 있는 농업의 한계와 취약성을 극복하고 농업의 경쟁력을 높이며 편의성 및 지속 가능한 생산성을 확보하기 위한 새로운 패러다임의 농업방식이다. ICT가 융합된 한국형 스마트팜은 노지 농업, 시설원예, 축산, 곤충 사육 등 다양한 농업 분야에서 확산되고 있다[19]. ICT 기반의 스마트팜은 센서 정보와 장치제어를 통해 자동으로 작물, 가축, 곤충 등의 생육 환경을 관측하고 빅데이터, 기계학습, 인공지능 기술 등과 결합하여 최적화된 생산·관리를 통해 생산물의 품질과 생산량을 한층 더 높일 수 있다[20,21].

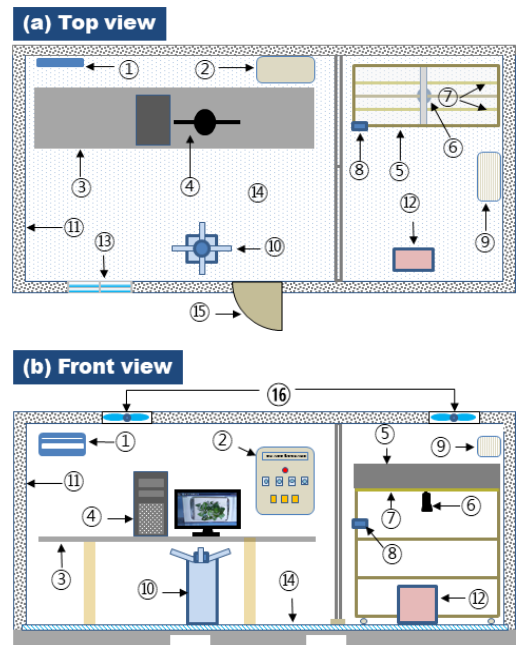
수집되는 센서 정보로는 외부 온·습도, 풍향, 풍속, 일

사 등의 외부 기상정보와 시설 내의 온·습도, CO₂ 수준, 토양온도, 수분, EC(Electrical conductivity) 등의 온실 환경에 대한 센서 정보가 있으며 냉·난방기 구동, 창문 개폐, CO₂ 농도, 관수, 양액 공급 등의 환경 관리를 PC 또는 모바일을 이용하여 원격으로 제어할 수 있다.

2.2 누에 사육 컨테이너 시설 설계 및 제작

Fig. 2는 누에 사육 컨테이너 시설의 (a) 평면도와 (b) 정면도를 보여주고 있으며 사육 시설 내에 구축된 세부 장치에 대한 목록은 (c)와 같다. 누에 사육 컨테이너 시설은 길이, 폭, 높이가 각각 6,000(L)×3,000(W)×4,000(H) mm로 제작되었으며 정면에는 ⑬ 창문과 ⑮ 출입문이 각각 1개씩 배치되어 있다. 전원공급 및 누전 차단을 위한 누전차단기(①)와 온·습도, CO₂ 농도 정보 표시창 및 시간 제어를 위한 타이머 등으로 구성된 주 제어 상자(②)는 75 mm 두께로 방열 처리된 샌드위치 패널(⑩) 벽면에 장착하였으며, 컨테이너 바닥은 물 세척을 위해 스테인리스 철판(⑭)으로 제작하였다.

환경제어 공간에는 누에 사육 환경제어 및 관리를 위한 컴퓨터(④)와 누에 물성 측정을 위한 실험 테이블(③)로 구성되어 있다.



| (c) Description | |
|-----------------|--|
| No. | Description |
| ① | Earth leakage circuit breaker |
| ② | Main control box |
| ③ | Experimental table |
| ④ | Measurement & control computer |
| ⑤ | Silkworm breeding table |
| ⑥ | IP camera |
| ⑦ | LED bar lamp |
| ⑧ | Environmental sensor (Temp., Humidity, CO ₂) |
| ⑨ | Air conditioner |
| ⑩ | Humidifier |
| ⑪ | 75T flame retardant sandwich panel |
| ⑫ | Dehumidifier |
| ⑬ | Window |
| ⑭ | Stainless floor |
| ⑮ | Door |
| ⑯ | Ventilation fan |

Fig. 2. (a) Top view and (b) front view of schematic diagram and (c) description of environmental control and monitoring system for silkworm breeding

누에 사육 공간에는 사육 테이블(⑤)과 영상 획득을 위한 IP카메라(⑥) 및 LED bar 조명(⑦)을 설치하였으며, 온·습도 및 CO₂ 농도를 측정하기 위한 환경정보수집 센서(⑧)는 사육 테이블 측면에 장착하였다. 누에 사육 컨테이너 시설의 온도 조절을 위한 냉·난방기(⑨)와 습도 조절을 위한 가습기(⑩)와 제습기(⑫)도 갖추었다. 사육장 내부 공기를 외부로 배출하기 위한 환풍기(⑯)는 환경제어 공간과 누에 사육 공간에 각각 설치하였다.

2.3 누에 사육 및 생육 환경 모니터링 시스템

2.3.1 누에 사육 환경정보수집 장치

제작된 누에 사육 컨테이너 내부의 온도와 습도, CO₂ 농도는 Fig. 3 (a)와 같은 환경정보수집 센서(SH-VT250, SOHA TECH, Seoul, Republic of Korea)에 의해 측정되며, 수집된 데이터는 환경제어 공간에 있는 컴퓨터에 Fig. 3 (b)와 같이 1분 간격으로 저장된다.

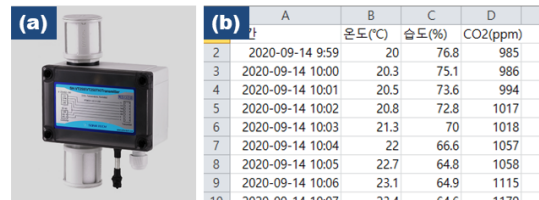


Fig. 3. (a) Environmental sensor for temperature, humidity and CO₂ concentration measurement and (b) temperature, humidity, CO₂ concentration data acquired with environmental sensor

2.3.2 누에 행동 특성 수집 장치 및 병잎 잔여율 산출 알고리즘 개발

네트워크 통신을 기반으로 하는 IP 카메라(Netcury, NETCURY TECHNOLOGY, Incheon, Republic of Korea)는 Fig. 4 (a)와 같이 사육대 상단에 부착하여 구성하였으며 Fig. 4 (b)와 같이 누에가 사육되는 채반(tray) 내부에 있는 누에가 병잎을 섭취하고 활동하는 모든 행동 특성을 연속으로 관찰할 수 있다.

병잎을 섭취하고 있는 50마리의 누에 영상과 색상지수(Excess Green, ExG)를 적용하여 실시간으로 병잎의 잔여율을 산출하는 알고리즘을 개발하였다.



Fig. 4. (a) Real-time silkworm breeding video acquired with IP camera and (b) IP camera for image acquisition

색상지수(ExG)는 작물과 비작물을 분리해내는데 유용한 수식으로 Eq. (1)와 같이 색도좌표(chromaticity coordinates) 색상 값인 적색(r), 녹색(g), 청색(b)에 관한 식으로 이루어져 있다[22].

$$ExG = 2g - r - b \quad (1)$$

여기서, 색도좌표 r, g, b는 각각 Eq. (2), Eq. (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$r = \frac{R^*}{R^* + G^* + B^*}$$

$$g = \frac{G^*}{R^* + G^* + B^*}$$

$$b = \frac{B^*}{R^* + G^* + B^*}$$
(2)

$$R^* = \frac{R}{R_m}, G^* = \frac{G}{G_m}, B^* = \frac{B}{B_m}$$
(3)

여기서, R^* , G^* , B^* 는 RGB 색상 값을 0에서 1 사이의 값으로 정규화시킨 것이며 R , G , B 는 각각의 색상 채널을 기반으로 한 영상의 실제 색상 값이고, R_m , G_m , B_m 은 255로 각 채널의 최대 색상 값이다.

계산된 ExG 지수를 원본 영상에 적용하여 변환하고 오츠의 알고리즘(Otsu Algorithm) 임계 값(Thresholding value)으로 뽕잎과 그 외 부분을 구분하여 이진화 영상을 최종 생성하였다. 그다음 관측 영역(field of view, FOV)으로 설정한 부분의 전체 픽셀 개수에 대해서 이진화된 뽕잎 영역에 대한 픽셀값을 나누어 실시간 뽕잎 잔여율을 산출하였다.

2.4 누에 생육 측정

누에 사육 및 환경 제어 시스템을 이용하여 누에의 생육 상태를 확인하기 위해 ‘한생잠’ 누에 품종 100마리를 4령 2일에서 5령 5일까지 8일간 사육하였다. 생육 상태를 확인하기 위해 매일 동일한 시간에 누에의 길이, 무게, 폭과 뽕잎 섭취량을 매일 측정하였다. 누에의 길이와 폭의 측정은 버니어캘리퍼스를 이용하였으며, 누에 무게와 공급한 뽕잎의 양은 전자저울로 측정하였다. 누에가 섭취하는 뽕잎의 양은 뽕잎을 공급하기 전과 누에가 섭취하고 남은 뽕잎의 무게를 측정하여 급이 양으로 계산하였다. 급이 시간은 오전 10시, 오후 2시, 오후 5시로 하루 총 3회로 공급하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 누에 사육 환경 데이터 수집

Fig. 5는 누에 사육시스템 내부에 구축된 환경정보수집 센서를 이용하여 획득한 온도, 습도, CO₂ 농도 데이터를 보여주고 있다. ‘한생잠’ 품종의 5령 누에 100마리가 5일 동안 사육되는 환경의 (a) 온도, (b) 습도, (c)

CO₂ 농도 데이터가 수집되었다.

각각의 그래프에서 온도, 습도, CO₂ 농도의 변화가 발생한 시점은 누에의 생육 정보 측정을 위해 연구자가 출입한 시점이다. 5일 동안의 누에 사육 기간의 설정 온도는 25.0 ℃였으며 평균 온도는 약 24.2 ℃, 표준편차는 0.96으로 ±1 ℃ 미만으로 관리되는 것을 확인할 수 있었다. 이때 최대 온도는 26.3 ℃까지 상승하였으며, 최저는 18.7 ℃로 나타났다. Fig. 5 (b)는 5일 동안 측정된 습도 데이터로서 설정 습도는 60 %로 하였으며 평균 습도는 약 61.7 %, 표준편차는 4.31로 ±5 % 미만으로 나타났다. 최고 습도는 75.1 %, 최저 습도는 53.7 %로 수집되었다. CO₂ 농도 데이터는 Fig. 5 (c)와 같이 수집되었으며 설정 농도는 800 ppm으로 하였으며 측정된 평균 CO₂ 농도는 792.42 ppm, 표준편차는 138.04로 나타났다. 이때 최고 CO₂ 농도는 1,484 ppm, 최저 CO₂ 농도는 648 ppm을 나타냈다.

인간에 의해 인공적으로 사육되는 누에는 외부의 환경 변화에 민감하여 급격한 온도도 변화가 생길시 집단 폐사의 위험이 있다. 따라서 사육되는 공간의 온도도 환경을 유지하고 모니터링하는 것은 매우 중요하다. 관행의 누에 사육은 누에의 먹이가 되는 뽕잎을 수확하는 시기인 봄, 가을에 사육되기에 별도의 냉난방 없이 외기의 환경에 의존하고 있다. 이러한 누에 사육 환경 정보를 수집하고 모니터링할 수 있는 시스템과 스마트팜 기술을 대량 누에 사육 설비에 적용하면 외부 환경에 영향을 받지 않을 수 있다.

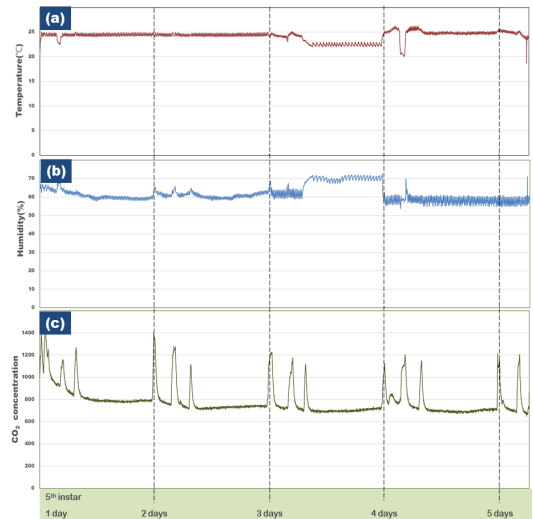


Fig. 5. (a) Temperature, (b) humidity and (c) CO₂ concentration inside silkworm breeding container

기존에 사육되는 누에는 외부 온·습도 환경에 의해 생육이 영향을 받는 경우가 있었지만 밀폐된 스마트팜 누에 사육시스템의 환경정보수집 센서를 이용하여 온·습도 및 CO₂ 농도를 제어한다면 보다 안정적으로 누에를 사육할 수 있으며 생산성도 더욱 향상될 것이다.

3.2 누에 사육 영상 데이터 수집

Fig. 6은 누에 사육 공간의 상단에 부착된 IP카메라를 이용하여 뽕잎을 섭취하고 있는 누에의 생육 활동 영상을 보여주고 있다. 가장 많은 뽕잎을 섭취하는 시기인 5령의 누에를 대상으로 Fig. 6 (a)와 같이 획득한 RGB 영상으로 뽕잎의 잔여율을 예측하고자 하였다. Fig. 6 (b)는 ExG 지수를 통해 RGB 영상을 변환하고 Otsu 임계값을 통해 뽕잎 영역을 이진화한 영상 결과이다. Fig. 6 (b)의 이진화 영상 결과에서와 같이 획득한 영상 안의 범위에서 녹색의 뽕잎 영역을 제외한 트레이 바닥의 하얀색 영역은 검은색으로 구분되어 처리된 것을 확인할 수 있었다.

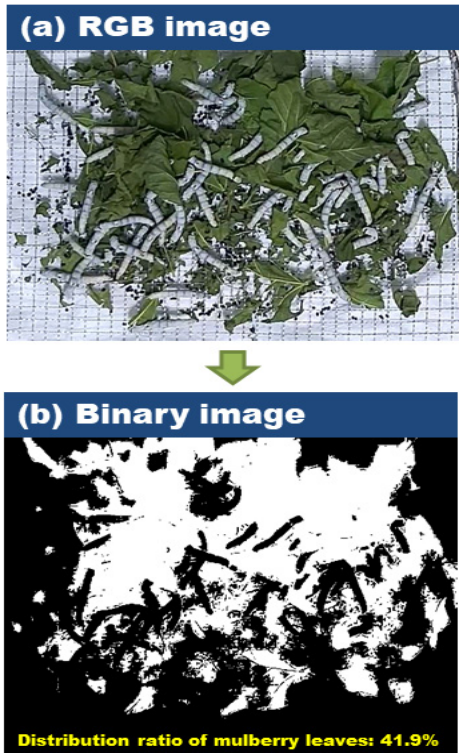


Fig. 6. (a) Acquired RGB original image and (b) binary image

관측 영역으로 설정한 영상의 범위에서 누에가 섭취하고 남은 뽕잎의 잔여율은 41.9 %로 계산되었다. 뽕잎 잔여율을 계산할 수 있는 영상 처리 알고리즘은 추후 대량으로 누에가 사육되는 환경에 확대 적용이 가능할 것으로 기대된다. 즉, 가장 많은 먹이 공급을 요구하는 5령의 누에에 대해서 적절한 뽕잎 공급 시기를 예측할 수 있으며 잔여율이 일정 기준 이하로 낮아졌을 때는 뽕잎을 공급하도록 작업자에게 알람 정보를 제공할 수도 있다. 뽕잎 부족으로 인해 섭취가 왕성한 시기에 누에의 성장을 낮추고 생산성을 떨어뜨리는 것을 방지할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

특히, 실시간으로 촬영되는 누에의 행동 특성 영상은 컴퓨터나 스마트폰을 이용하여 확인할 수 있으며 이러한 영상 정보들은 대량으로 사육되는 누에 사육시스템에 확대 적용이 가능하다. 또한, 이러한 실시간 영상 정보는 움직임이 없고 활동성이 둔한 누에를 질병에 걸렸다고 의심할 수 있으며 교차 감염 방지를 위해 사전 선별하여 제거하는 데에도 활용할 수도 있다.

3.3 누에 생육 측정 데이터

누에 사육 컨테이너 시설에서 8일 동안 사육한 누에의 생육 정보는 Fig. 7과 같다. 4령 2일에서 5령 5일까지의 ‘한생잠’ 품종의 누에 100마리에 대한 (a) 무게, (b) 길이, (c) 폭에 대한 평균 생육 데이터를 막대그래프로 나타내었다. 탈피가 진행되는 4령 4일에서 5령 1일 차에는 Fig. 7 (a)에서와 같이 무게의 변화가 없이 정체된 것을 확인할 수 있었다. 이 시기에 측정된 누에의 길이와 폭은 살아있는 누에를 대상으로 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정했기 때문에 정확한 측정이 이루어지지 않았지만 Fig. 7 (b)와 (c)에서 보듯이 성장량이 급격히 증가하는 5령 2일차 이후로 누에의 길이와 폭이 단계적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 누에의 움직임에도 측정값의 변화가 적은 Fig. 7 (a) 누에 무게의 측정 결과에서 보듯이 5령 1일 차에서는 평균 1.0 g 미만의 무게가 5령 5일 차에서는 3.0 g을 넘어 5일 만에 누에의 무게가 3배 이상으로 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실제 누에가 섭취한 뽕잎의 양도 5령 1일차에 평균 100 g이 5령 5일차에는 250 g까지 증가해 2.5배 정도 증가하였음을 확인하였다. 이 시기에는 뽕잎의 공급량과 누에의 섭취량이 전체 누에 생애의 80 % 이상을 차지하게 된다. 결과적으로 고치로 되기 전의 마지막 단계인 5령 5일차에 100마리 누에의 평균 무게는 3.23 g, 평균 길이는

66.79 mm, 평균 폭은 8.09 mm까지 성장하였다. 누에의 생육 정보 데이터는 ICT 기술과 스마트팜이 기반이 되는 누에 사육시스템 운영에 있어서 누에의 마릿수에 대한 투입되는 봉잎의 공급량을 예측하거나 일자별 또는 해당 영(instar)에 해당하는 정상적인 누에의 성장 상태를 점검하고 모니터링하기 위해서도 활용될 수 있을 것이다.

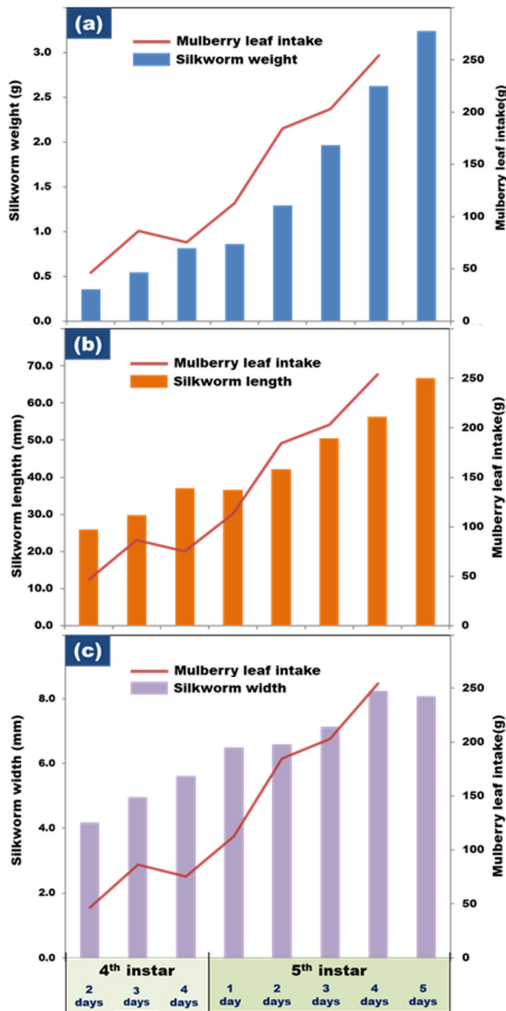


Fig. 7. (a) Weight, (b) Length, (c) Width of Silkworms measured from 2 days of 4th instar to 5 days of 5th instar

4. 결론

본 논문에서는 ICT와 스마트팜 기반의 컨테이너형 누에 사육시스템을 제작하고 구축된 공간 내에서 누에 사

육 과정을 모니터링하고 누에의 행동 특성 분석하고자 하였다. 밀폐형 구조의 누에 사육 컨테이너는 6,000(L)×3,000(W)×4,000(H) mm로 제작하였으며 환경 제어 공간과 누에 사육 공간으로 구분하였다. 이에 관한 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 누에 사육 공간 내부에 장착된 환경 정보 센서를 이용하여 내부 온도 및 습도, CO₂ 농도를 실시간 수집하였으며 사육대에 장착된 IP카메라로부터 획득한 실시간 누에 영상으로 행동 특성을 분석하였다. 사육 환경 정보와 영상 정보는 유·무선 네트워크를 통해 웹이나 스마트폰으로 원격 관리할 수 있으며, 구축된 공조 시스템은 누에가 사육되는 컨테이너 내부를 원하는 환경 조건으로 제어하고 모니터링할 수 있었다.
- (2) IP카메라를 이용하여 봉잎을 섭취하고 있는 50마리의 누에 영상을 획득하여 봉잎의 잔여율을 계산하였다. 획득한 원본 RGB 영상에 ExG 지수와 Otsu 임계값을 적용하여 이진화 영상으로 변환할 수 있는 영상 처리 알고리즘을 개발하였으며 41.9%의 봉잎 잔여율을 확인할 수 있었다. 누에의 생애 동안에 가장 많은 봉잎을 섭취하는 5령의 시기에는 봉잎이 중단되지 않고 계속 공급되어야만 하기에 개발된 영상 처리 알고리즘과 자동 봉잎 공급 장치와 연계하여 누에 성장과 생산성을 향상할 수 있을 것으로 기대된다.
- (3) ‘한생잠’ 품종의 누에 100마리를 온·습도 환경이 제어된 공간에서 사육하였으며 4령 2일에서 5령 5일까지 8일 동안에 개체 별로 길이, 폭, 무게와 봉잎 섭취량을 측정하였다. 누에의 무게는 5령 1일 차에는 평균 1.0 g 미만이었지만 5령 5일에는 3배 이상이 증가한 3.23 g으로 측정되었으며 동일한 시기에 봉잎의 공급량도 평균 100 g에서 250 g으로 2.5배 정도 증가하였다.
- (4) 이와 같은 연구 결과는 노동력과 외부 환경에 의존하는 관행의 누에 사육을 디지털 영상 정보와 ICT 기술이 접목된 스마트팜 형태의 누에 사육 및 생육 환경 모니터링 시스템 개발에 적용하여 양잠 산업의 생산성을 높이고 고품질의 누에를 생산하는데 기여할 것으로 기대하고 있다.
- (5) 감소하는 농업인구와 고령화로 인해 양잠 산업이 위축되고 있는 시대적 흐름에 있어서 자동화되고 스마트화할 수 있는 사육시스템의 개발은 국내의

잠업을 유지하고 부흥시키는 데 이바지할 수 있을 것이다. 또한 개발된 ICT 기반의 누에 사육 및 생육 환경 모니터링 시스템과 누에 생육 특성 분석을 위한 영상 수집 기술은 누에 사육 자동화 및 곤충 스마트팜 구축을 위한 기본 모델로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] S. Y. Hwang, G. S. Kim, "A Study on Quality Characteristics of Silkworm (*Bombyx mori* L.) by Various Pretreatment Methods", *Culinary Science and Hospitality Research*, Vol.26, No.6, pp.149-161, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20878/cshr.2020.26.6.014>
- [2] J. R. Lim, H. C. Moon, S. J. Kwon, D. W. Kim, D. O. Kwak, "Mulberry leaf yield and optimal amount of silkworms rearing in different mulberry cultivars for mulberry fruit production", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.53, No.2, pp.82-86, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.7852/jses.2015.53.2.82>
- [3] K. P. Kim, T. J. Gwon, "The Status of the Sericulture Industry and the Development Strategy", *Journal of Agriculture and Life Science*, Vol.4, No.2, pp.135-145, 2011.
- [4] S. D. Ji, N. S. Kim, J. Y. Lee, M. J. Kim, H. Y. Kweon, G. B. Sung, P. D. Kang, K. Y. Kim, "Development of processing technology for edible mature silkworm", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.53, No.1, pp.38-43, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.7852/jses.2015.53.1.38>
- [5] H. Y. Kim, S. H. Lim, Y. H. Park, H. J. Ham, K. J. Lee, D. S. Park, S. M. Kim, "Screening of α -amylase, α -glucosidase and lipase inhibitory activity with Gangwondo wild plants extracts", *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.40, No.2, pp.308-315, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.2.308>
- [6] C. G. Cho, S. H. Hong, G. S. Ryu, "Analysis of Fatty Acids in Silkworms", *Journal of the Korean Society of Esthetics and Cosmeceutics*, Vol.7, No.9, pp.67-75, 2012. <https://www.earticle.net/Article/A191699>
- [7] M. G. Gwon, S. H. Park, M. S. Kim, "Wrinkle Improvement of Functional Cosmetics using Concentrated Oil of Silkworm Chrysalis", *Journal of the Korean Society of Cosmetology*. Vol.25, No.6, pp.1264-1270, 2019.
- [8] H. S. Kim, M. Choe, "Hypoglycemic Effect of *Paecilomyces japonica* in NIDDM Patients", *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.34, No.6, pp.821-824, 2005. DOI: <http://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.6.821>
- [9] M. J. Jang, S. K. Rhee, "Hypoglycemic Effects of Pills Made of Mulberry Leaves and Silkworm Powder in Streptozotocin - Induced Diabetic Rats", *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.33, No.10, pp.1611-1617, 2004. DOI: <https://doi.org/10.3746/jkfn.2004.33.10.1611>
- [10] K. S. Ryu, H. S. Lee, S. H. Jeong, P. D. Kang, "An Activity of Lowering Blood-glucose Levels According to Preparative Conditions of Silkworm Powder", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.39, No.1, pp.79-85, 1997.
- [11] S. P. Lee, "Historical Background and present status of Korean sericulture for production of functional materials", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.55, No.1, pp.11-21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7852/jses.2019.55.1.11>
- [12] J. W. Lee, "Anti-diabetic Effect of Dried-silkworm *Dongchunghacho* in Streptozotocin-induced Diabetic Rats", *The Korean Journal of Food And Nutrition*, Vol.30, No.4, pp.665-672, 2017. DOI: <https://doi.org/10.9799/ksfan.2017.30.4.665>
- [13] E. J. Kim, S. Y. Lee, A. J. Kim, "Meta-Analysis on the Effect of Serum Lipids Levels in Silkworm and Silkworm Pupae", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.11, pp.273-282, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.273>
- [14] H. S. Chung, "Isolation of New Bioactive Phytochemicals from Natural Products", *The Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.6, No.2, pp.53-59, 2001.
- [15] H. T. Lee, "A promising health promoting natural product, steamed and lyophilized mature silkworm powder: its various functionalities for humans", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.55, No.2, pp.40-43, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7852/jses.2019.55.2.40>
- [16] H. K. Choi, B. K. Lee, S. R. Son, H. H. Ahn, "CCMS (Crop Classification Management System) Detecting Growth Environment Changes to Improve Crop Production Rate", *The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol.13, No.2, pp.145-152, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17661/kiieect.2020.13.2.145>
- [17] S. Y. Rho, J. H. Won, J. S. Lee, J. H. Baek, H. D. Lee, K. S. Kwak, "Development of the Insect Smart Farm System for Controlling the Environment of *Protactia brevitarsis seoulensis*", *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.24, No.12, pp.135-141, 2019. DOI: <https://doi.org/10.9708/jksci.2019.24.12.135>
- [18] Y. S. Seok, S. W. Kim, "Implementation of Monitoring System for Silkworm Breeding Environment Information Using Wireless Sensor Network Systems", *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, Vol.15, No.5, pp.693-701, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.34163/jkits.2020.15.5.012>

- [19] U. H. Yeo, I. B. Lee, K. S. Kwon, T. W. Ha, S. J. Park, R. W. Kim, S. Y. Lee, "Analysis of Research Trend and Core TechnologiesBased on ICT to Materialize Smart-farm", *Journal of Bio-Environment Control*, Vol.25, No.1, pp.30-41, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.1.30>
- [20] C. J. Chae, H. J. Cho, "Enhanced secure device authentication algorithm in P2P-based smart farm system", *Peer-to-Peer Networking and Applications*, Vol.11, pp.1230-1239, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12083-018-0635-3>
- [21] P. O. Skobelev, E. V. Simonova, S. V. Smirnov, D. S. Budaev, G. Y. Voshchuk, A. L. Morokov, "Development of a Knowledge Base in the "Smart Farming" System for Agricultural Enterprise Management", *Procedia Computer Science*, Vol.150, pp.154-161, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.02.029>
- [22] D. M. Woebbecke, G. E. Meyer, K.V. Bargaen, D. A. Mortensen, "Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions", *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, Vol.38, No.1, pp.259-269, 1995.
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.27838>

임 종 국(Jong-Guk Lim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구원

<관심분야>

근적외선 분광, 농업기계, 품질계측

이 아 영(Ah-Yeong Lee)

[정회원]



- 2017년 8월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학사)
- 2019년 8월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구원

<관심분야>

분광분석, 영상처리

김 밭 금(Bal-Geum Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구원

<관심분야>

농업, 기계, 품질계측

유 현 채(Hyeon-Chae Yoo)

[정회원]



- 2019년 2월 : 전북대학교 생물산업기계공학과 (공학사)
- 2021년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 연구원

<관심분야>

농업, 영상처리, 품질계측