

영상처리를 이용한 5령 누에 움직임 검출 및 병잠 검출을 위한 기초 연구

서영욱*, 박희만

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Movement Monitoring of 5th instar Silkworm Larva and Infected Larva Using Image Processing

Youngwook Seo*, Hoeman Park

Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA

요약 고대부터 실크 섬유의 원천으로 사용된 누에는 오랜 시간 인간이 키우며 길들인 곤충이다. 최근에는 잠업 농가의 노동력 부족으로 잠작 관리 자동화 기술 개발에 대한 요구가 높아지고 있다. 누에의 생육을 살펴보면 5령이 되면서 먹이 섭취와 성장이 폭발적으로 일어난다. 대략 16~24시간이 지나면 탈피 후 성장하게 되는데 이때 바이러스, 곰팡이, 병원균, 농약 등의 이유로 불량 누에(병잠)도 많이 발생한다. 전통적인 양잠 방식은 병잠이 발생하면 진 물을 흘리거나 양잠틀 모서리로 다니는 개체를 보고 판단하고 제거하는데 이는 많은 시간과 노동력이 요구된다. 본 연구에서는 영상처리 기법을 활용하여 누에 움직임을 검출하는 기술을 개발하였다. 사육 기간은 10일이었으며, 사육기간 동안 누에 성장을 모니터링하기 위해 매일 무게, 길이, 폭 등을 매일 측정하였다. 누에 움직임을 측정하기 위해 사육 기간 동안 생육 상태를 IP카메라로 24시간 동안 촬영하고, 매 10분간 파일로 저장하였다. 저장된 파일 중 총 240분 분량의 영상을 취합하여 분석에 사용하였다. 누에 움직임을 모니터링하기 위해서 OpenCV 영상처리 알고리즘을 사용하였으며, 특히 움직임 검출을 위해서 Shi-Tomasi, Lucas-Kanade 알고리즘 등을 사용하였다. 병잠은 일반 누에에 비해 움직임이 많으며 양잠틀 가장 자리로 이동하는 것이 관찰되었다. 움직임은 설정된 특징점의 총 움직임 픽셀수로 계산하였으며 일반 누에는 평균 118,753, 병잠은 410,450으로 345%의 활동량 차이를 보였다. 본 연구에서 영상처리 기법을 활용하여 개발한 병잠 움직임 추적 알고리즘은 스마트 양잠 시스템 개발을 위한 기초 연구로서 우수한 성능을 보였다.

Abstract Silkworms (*Bombyx mori*) have long been domesticated by humans as the only source of silk fabrics. Due to recent labor shortages, there is a rising need for automated management technology for silkworm breeding. The 5th instar silkworms feed on mulberry leaves, after which they sleep all day. After 16 to 24 hours of sleep, there is a dramatic increase in the weight and length of the silkworms, with occasional illnesses arising due to chemicals or viral, bacterial, and fungal infections. Traditional methods of breeding silkworms are time-consuming and labor-intensive, involving manual detection and removal of infected silkworms. There are very few studies reporting the movement of silkworms during the 5th instar using image processing. In the current study, silkworm movements were detected and monitored using the Shi-Tomasi and Lucas-Kanade algorithms in OpenCV, an open-source image library. Moreover, the physical weight, length, and width of every silkworm larva were measured daily for 10 days. It was observed that the infected silkworms had more movement than normal silkworms and also moved along the walls of the cage. During the breeding period, silkworm movements were recorded every 10 minutes for 24 hours using an internet protocol camera (IP camera) and saved as a video file. Among the saved files, a concatenated video file over 240 minutes was used to calculate the displacement of the silkworm in pixels. Normal silkworms moved 118,753 pixels, whereas the virus-infected silkworms moved 410,450 pixels, showing a greater than 345% difference in movement. Our results indicate that the motion tracking algorithm using the image processing method has the potential to develop a smart sericulture system.

Keywords : Silkworm Larvae, Movement Detection, Image Processing, OpenCV

본 논문은 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호: PJ01496403)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Youngwook Seo(National Institute of Agricultural Sciences)

email: yws25@korea.kr

Received October 31, 2022

Revised November 24, 2022

Accepted January 6, 2023

Published January 31, 2023

1. 서론

누에(*Bombyx mori* L.)는 알, 누에, 번데기, 나방으로 탈피하는 곤충으로서 5령 7~8일 정도에 봉잎 섭취를 중단하고 실을 뽑아 고치를 짓는다. 최근에는 누에를 비롯한 장수하늘소, 갈색거저리 등 14종의 곤충을 가축으로 인정하는 법안이 제정되었고 이에 힘입어 누에를 활용한 홍잠, 동충하초 등 가공 제품으로 산업이 확장되고 있다.

양잠은 오랜 기간 축적된 사육 지식과 경험이 쌓여온 농업으로서 국내 양잠 농가는 여전히 전통방식을 유지하고 있다. 농업인 고령화, 노동력 감소 등으로 노동 집약적이고 축적된 경험이 필요한 양잠을 대체할 수 있는 새로운 기술 개발이 필요하다.

곤충이나 동물의 움직임을 모니터링하고 예측하는 연구도 다수 진행되었다. 동물의 행동 특성을 파악하여 스트레스 측정[1]을 하거나, 영상을 이용하여 가축의 중량을 예측[2,3], 수유 중인 암퇘지의 행동을 분석[4]하는 등의 연구가 보고되었다. 국내에서는 ICT를 기반으로 곤충 생육 환경을 최적화하는 연구가 진행되었는데 이산화탄소, 암모니아, 온도, 습도, 조도 센서를 설치하여 곤충 스마트팜 최적 환경을 제시하였다[5]. 스마트 양잠과 관련한 연구도 수행되고 있는데 영상처리와 IoT기술을 누에 성장률을 측정한 연구[6], IoT기반 자동 양잠 시스템 개발[7]에 관한 연구가 보고되었지만 센서 설치 및 IoT에 국한되어 있으며 누에 움직임이나 생육을 모니터링하는 내용은 포함되지 않았다.

영상분석에서 개체를 배경과 분리하고, 개별 개체를 선택해서 움직임을 추적하는 대표적인 알고리즘으로는 Optical flow 방법이 있다. 영상의 최소 단위인 화소 밝기의 변화를 매 프레임마다 계산하여 밝기 변화가 있는 화소는 움직이는 개체의 영역으로 추적하는 방식이다. Optical flow는 1980년대 Horn과 Schunch에 의해서 처음으로 발표되었는데[8] 가우시안 통계를 사용하는 quadratic 함수를 활동(activation) 함수로 차용하였다. Optical flow알고리즘은 다양한 언어를 활용하여 구현되었는데 주로 Python[9], insight tool-kit(ITK)[10]으로 구현되었으며 본 연구에서는 Python과 Opencv를 활용하여 관련 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서는 누에 양잠 현장에서 불량 누에를 용이하게 검출할 수 있는 영상처리 기법의 가능성을 판단하고자 5령 누에 움직임을 모니터링하고 병잠의 움직임 특징을 검출하고자 하였다. IP카메라로 누에 움직임을 10

일간 실시간 동영상으로 저장하고 영상처리 기법을 활용하여 일반 누에와 병든 누에(병잠)의 움직임 차이를 확인하였다.

2. 본론

2.1 공시 재료

연구에 사용한 누에는 농촌진흥청 농업생물부에서 부화시킨 옥잠 품종이다. 농업공학부에서 5령 기간 동안 봉잎 제공, 배설물 제거 및 고치 생성까지 사육 및 실험을 수행하였다. 국립농업과학원 농장에서 채취한 봉잎은 가지를 제거하고 저온저장고(4℃)에 보관하면서 매일 세 차례(10시, 14시, 17시) 나누어 급이하였다. 실험을 위해 누에 110마리를 매일 길이, 무게 등의 기본적인 데이터를 측정하고 24시간 관찰하였다. 누에 시료는 두 그룹으로 나누어 한 그룹은 병잠을 만들기 위해 비정상적으로 사료 및 환경을 조성하고(group1) 다른 그룹은 정상적으로 사료를 투입하였다(group2). 무게는 1/100 정밀도의 저울로 개체마다 측정하였고, 길이와 폭은 0.02 mm 정밀도의 버니어 캘리퍼스(Mitutoyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 누에를 키우기 위해 알루미늄 프로파일로 2단 사육대를 설치하였으며 24시간 움직임을 측정하기 위해 인터넷 프로토콜 카메라(internet protocol camera, IP카메라) 두 대를 사육대 좌우 상단에 설치하였다. 관측에 사용된 IP카메라(NTI-300MiniZoom, NETCURY Technology Inc., Korea)는 CMOS영상센서를 사용하며 200만 화소, 최대해상도는 1920 × 1080(FHD), 카메라 지원속도는 25fps(frame per second)이다. 카메라는 인터넷과 연결되어 모든 개체가 보이도록 상부에 LED조명을 설치하였다. 사육대가 설치된 곳은 온도(24~26℃), 습도(50~65%RH)를 일정하게 유지하기 위해 가습 및 제습기를 설치하였으며, 환기구를 통해 내부 악취를 외부로 배출시켰다.

2.2 영상처리를 이용한 배경 제거

개별 누에의 움직임을 정확하게 추적하기 위해서는 먼저 대상 개체와 배경 분리가 필요하다. 본 연구에서는 RGB 칼라를 HSV나 CIELAB로 변환하여 누에자리에서 누에와 봉잎의 구분 및 누에 개체 인식에 활용하였다. RGB는 red(적색), green(녹색), blue(청색)으로 색을 구분하는 색 모델이며 HSV는 hue(색조), saturation(채

도), value(명도), CIELAB는 L^* (lightness), a^* (적-녹), b^* (청-황)으로 색을 표현하는 색 모델이며 0 ~ 255 값으로 색을 표현할 수 있다. 세 종류의 칼라 영상을 8비트 회색 영상으로 변환 후 배경 제거를 위해 히스토그램과 문턱치(threshold value)를 계산하였다. 가장 많이 사용하는 문턱치 결정 방법은 Otsu 방법으로 다양한 연구에 적용되었으며[11], 그 외에도 Maximum Entropy 혹은 Kapur-Sahoo-Wong 방법[12], 삼각법[13] 등이 있다. 여러 알고리즘으로 계산한 문턱치를 최적 판별값으로 삼아 영상의 화소치가 크거나 작을 경우 배경을 0, 개체를 1의 값으로 다시 그린 이치화 영상을 활용하여 배경 분리를 수행한다.

2.3 특징점 추출 및 움직임 분석 알고리즘

컴퓨터 비전 분야에서 특징점을 찾기 위해 많이 사용되고 있는 모서리 검출 알고리즘은 Shi-Tomasi 알고리즘이다[14]. 이 알고리즘은 고유값(eigenvalue)을 기반으로 한 특징점 검출 알고리즘인 Harris 모서리 검출 알고리즘을 바탕으로 변형된 방식이다. 영상에서 대상의 모서리를 검출하기 위해서는 움직임으로 변경된 부분의 화소와 원 이미지 화소 차이를 사용한다. 이를 계산할 수 있는 자동 공상관 함수(auto-correlation function)를 Eq. (1)로 표현하였다.

$$E(u, v) = \sum_x \sum_y w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

where, E is sum of square of distance difference between original image and moved image, u is distance in x-direction, v is distance in y-direction, w is weight value, $I(x + u, y + v)$ is intensity of the moved image, $I(x, y)$ is intensity of the original image.

Eq. (1)을 더욱 간단히 표현하면 Eq. (2)가 가능하다.

$$E(u, v) \approx [uv]A \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (2)$$

where, A is $\sum_x \sum_y w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$.

모서리 검출은 다음과 같이 계산할 수 있다(Eq. (3)).

$$R = \min(\lambda_1, \lambda_2) \quad (3)$$

where, λ_1 and λ_2 are eigenvalues of A , R is detected corners.

만약 R 이 문턱치보다 큰 값이면 검출된 지점은 모서리(특징점)로 간주된다[14].

본 연구에서 모서리 검출을 위해 사용한 Shi-Tomasi 알고리즘은 오픈소스로 공개된 영상처리 라이브러리인 OpenCV(<http://opencv.org>)에서 제공하는 함수인 goodFeaturesToTrack 함수를 사용하였다. 이때 사용한 인자들은 4개이며, 각각의 설정값은 maxConer는 100개, qualitylevel은 0.3, 최소 거리는 7, 블락 사이즈를 7로 설정하였다. 설정된 모서리 개수(maxConer) 및 사용하는 이미지의 특징에 따라 획득되는 모서리 개수도 달라진다.

이렇게 구해진 R 의 변화를 Lucas-Kanade 알고리즘을 활용하여 추적하기 위해서 calcOpticalFlowPyrLK 함수를 사용하였다. 이 함수는 총 11개의 인자를 활용할 수 있으며, 세 개의 결과를 확인할 수 있는데 nextPts, status, error 등의 값이다. 함수를 활용하여 추적하는 움직임은 비디오에서 연속적인 두 프레임 사이에 화소별 움직임을 계산하여 변화된 새로운 프레임의 쉬프트벡터(shift vector)를 계산하여 연속된 선으로 보여준다.

움직임 분석을 위해서는 Lucas-Kanade 방법을 적용하였다. Lucas-Kanade 방법을 이용한 optical flow를 계산하는 방법은 다음의 Eq. (4)과 같다.

$$I(x, y, t) = I(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) \quad (4)$$

where, Δt is time difference, $\Delta x, \Delta y$ are displaced position.

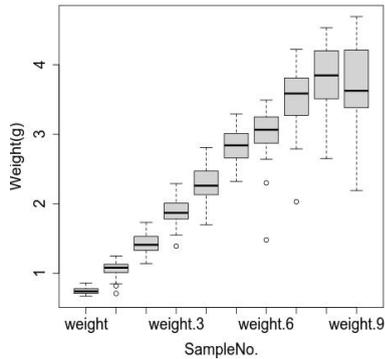
원 영상 I 에서 한 점 (x, y) 이 시간 t 에서 Δt 가 지난 후 변환된 위치 $(\Delta x, \Delta y)$ 를 계산할 수 있고, 이때 밝기 항상성을 계산하여 개체의 움직임을 추정할 수 있다.

누에 개체의 움직임 추적을 위해서는 OpenCV의 객체 추적 API인 TrackerMIL_create 함수를 사용하였다. 움직임 추적을 가시적으로 나타내기 위해서 추적선을 그리거나 사각형 틀을 움직이는 누에 몸통에 맞춰서 연속적으로 움직이는 것으로 표현하였다. Optical flow를 사용하는데 중요한 전제 조건은 연속한 두 프레임에서 밝기가 유지되어야 한다는 것이다. 카메라의 움직임이나 조명과 별개로 추적하고자 하는 물체의 색을 유지해야 정확한 추적이 가능하기 때문이다[15].

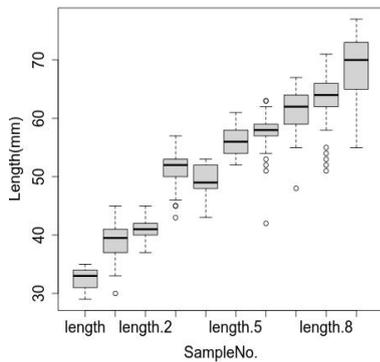
3. 결과 및 토의

3.1 누에 물성

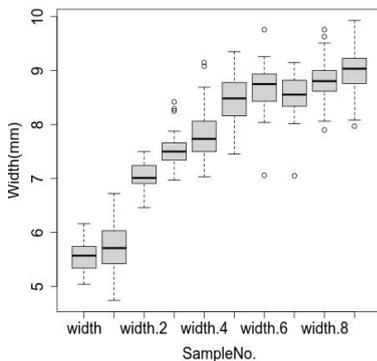
누에를 10일간 사육하면서 누에 개체의 물성을 측정하고 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 55마리씩 두 그룹으로 나누어 사육하면서 측정된 물성 중 무게의 경우 A그룹은 0.75 ± 0.05 g, B그룹은 0.75 ± 0.06 g으로 유사했다. 측정을 시작하고 10일이 지나 고치를 틀기 시작한 누에 개체의 무게는 3.14 ± 0.34 g, 3.81 ± 0.45 g으로 평균 459% 늘어났음을 확인할 수 있었다. 길이의 경우 180% 증가했으며 폭의 경우 150% 증가했음을 관측하였다. 그룹별 유의성을 검증하기 위해 ANOVA 분석과 Duncan 테스트를 수행한 결과 길이와 무게의 경우 6, 7일 동안 측정된 데이터에서 유의한 차이를 보였다 (p -value<0.05). 반면 폭의 경우 3일간만 유의한 차이를 보였는데 이는 버니어 캘리퍼스보다 유연한 누에의 특성상 정확한 측정이 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 이를 극복하기 위해서는 영상처리 등 다양한 기법으로 측정을 시도하는 것이 요구된다. 추후 정밀도가 향상된 누에 물성 측정이 가능한 기술 개발을 위해 영상처리 기술을 접목할 필요가 있는 것으로 판단된다. 다 자란 누에는 먹이를 더이상 먹지 않고 자리를 잡고 고치를 짓기 시작한다. 본 연구는 누에가 다 자라서 비단실을 뽑아내기 전까지 IP카메라로 촬영하고 분석에 활용하였다.



(A)



(B)



(C)

Fig. 1. Measurement of silkworm larvae growth. (A) is weight, (B) is length, and (C) is width results during measurement period.

로 나누어 사육하면서 측정된 물성 중 무게의 경우 A그룹은 0.75 ± 0.05 g, B그룹은 0.75 ± 0.06 g으로 유사했다. 측정을 시작하고 10일이 지나 고치를 틀기 시작한 누에 개체의 무게는 3.14 ± 0.34 g, 3.81 ± 0.45 g으로 평균 459% 늘어났음을 확인할 수 있었다. 길이의 경우 180% 증가했으며 폭의 경우 150% 증가했음을 관측하였다. 그룹별 유의성을 검증하기 위해 ANOVA 분석과 Duncan 테스트를 수행한 결과 길이와 무게의 경우 6, 7일 동안 측정된 데이터에서 유의한 차이를 보였다 (p -value<0.05). 반면 폭의 경우 3일간만 유의한 차이를 보였는데 이는 버니어 캘리퍼스보다 유연한 누에의 특성상 정확한 측정이 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 이를 극복하기 위해서는 영상처리 등 다양한 기법으로 측정을 시도하는 것이 요구된다. 추후 정밀도가 향상된 누에 물성 측정이 가능한 기술 개발을 위해 영상처리 기술을 접목할 필요가 있는 것으로 판단된다. 다 자란 누에는 먹이를 더이상 먹지 않고 자리를 잡고 고치를 짓기 시작한다. 본 연구는 누에가 다 자라서 비단실을 뽑아내기 전까지 IP카메라로 촬영하고 분석에 활용하였다.

3.2 영상처리를 이용한 배경 제거

5령에 접어든 누에들은 봉이를 뿌려 준 틀 위에 몰려서 먹이를 먹고 자고 깨는 활동을 연속하면서 고치가 되는 준비를 한다. 개체들의 움직임을 관찰하기 위해서는 누에를 개별적으로 인식하는 영상처리 기술이 필요하다.

두 색 모델중에서 개체 선별 성능이 더 좋은 모델을 구분하기 위해 RGB 중에서는 Blue(청색) 영상, HSV에서는 Hue(색조)영상, CIELAB에서는 L*의 8비트 영상을 이용하여 개체 분리를 시도하였다. Fig. 2(B)와 (C)에서 볼 수 있듯이 Blue영상에 비해 Hue영상으로 판별한 경우 정확도가 더 상승한 것을 확인하였다. 하지만 나뭇잎의 잎맥과 누에의 값이 유사하여 중첩되는 결과를 보여서 잎맥을 제거할 수 있는 방법이 필요하였다. a*영상은 누에와 배경을 나눌 뿐 아니라 누에와 잎맥도 판별이 되는 것을 확인할 수 있었다. 이때 사용한 문턱치는 79였으며 Yen알고리즘으로 판별한 결과는 다음 Fig. 2(D)에 나타내었다.

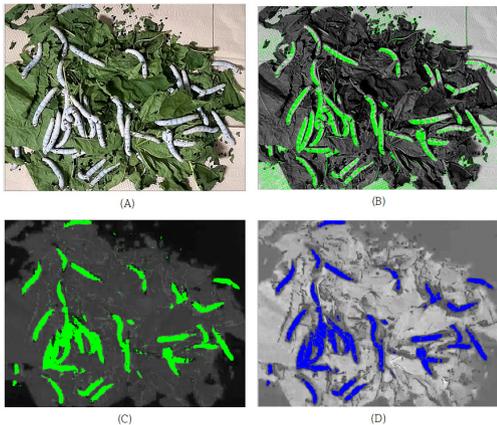


Fig. 2. Mosaic of images. (A) is original image of silkworm larvae, (B) is Blue image of RGB with Otsu algorithm (TH=221), (C) is Hue image of HSB with Yen algorithm (TH=120), and (D) is a* image of L*a*b* with Yen algorithm (TH=79).

3.3 특징점 추출 및 움직임 추적

Shi-Tomasi 모서리 검출 알고리즘을 이용하여 찾은 특징점은 총 18개였으며, Fig. 3(A)에서 볼 수 있듯이 누에 군집의 경우 개별화되지 않은 경향을 보였다. 따라서, 분석 효율을 극대화하기 위해 원하는 개체(일반 3, 병잠 1)를 선택하였다(Fig. 3(B)). IP 카메라로 획득한 동영상에서 움직임이 활발한 개체만 추출하여 총 240분 동안 움직임을 추적하였다. 또한, 개체들의 움직임은 연속된 실선을 이용하여 계속 추적하였다. 설정된 각 원들의 움직임을 매 프레임마다 이전 프레임과 비교하여 변화된 다음 지점으로 선을 연결하는 방식으로 움직임을 화면에 표시하였다. 어지럽게 화면에 채워진 선은 누에가 활발하게 움직인 결과를 확인하기는 용이하다. 각 질점의 변화율을 x, y 방향으로 이동한 거리를 분석한 결과를 다음과 같이 나타내었다(Fig. 4). Fig. 4(A)는 일반 누에의 움직임을 60×83 픽셀 안에서 측정된 결과이며, Fig. 4(B)는 병잠의 움직임을 300×350 픽셀에서 측정된 결과이다. 일반 누에의 경우 총 118,753 픽셀을 움직였으며, 병잠의 경우 410,450 픽셀을 움직였다. 이것은 산술적으로 345%의 차이를 보이는 이동 거리차이다. 개체의 불량 여부는 실험이 끝난 후 육안으로 누에 몸에서 진물이 흐르는 것을 확인하는 것으로 판단하였다. 움직임이 없는 개체는 잠들었거나 죽은 개체 추정할 수 있다. 잠든 개체는 대체로 16~24시간 후 허물을 벗으면서 성장한다. 반면, 병든 개체 중 바이러스에 감염된 개체는 일반 누에와는 달리 움직임이 많은 것으로 관찰되었다.

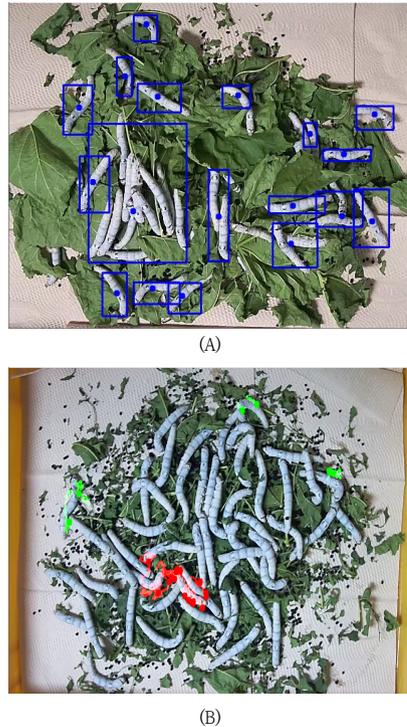


Fig. 3. Selected features using Shi-Tomasi algorithm (A) and manually selected ones (B).

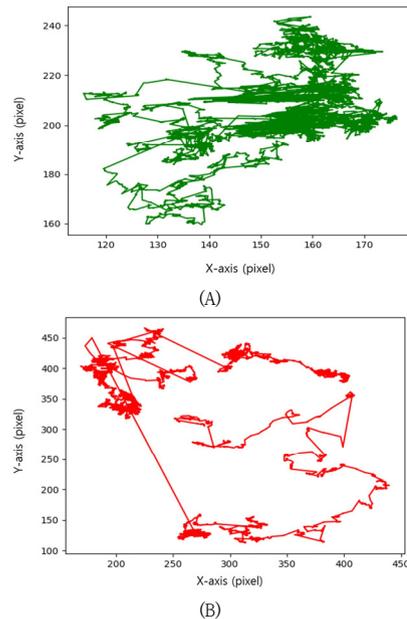


Fig. 4. Measured movement of sound silkworm larva (A) and infected larva (B).

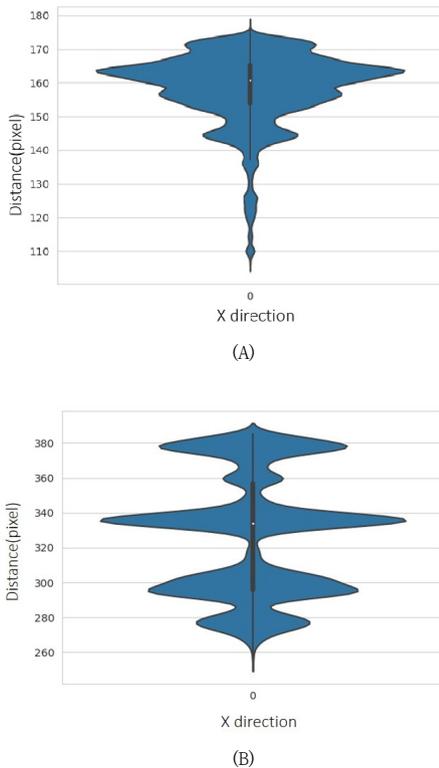


Fig. 5. Violin boxplot of measured movement of sound silkworm larva (A) and infected larva (B).

Fig. 5에서는 검출된 누에의 X방향 움직임을 박스플롯으로 표시하였다. 특히 바이올린 박스플롯은 원하는 지점에서 변이를 쉽게 알 수 있는 장점이 있다. 일반 누에(Fig. 5(A))는 X방향으로 140~170 픽셀 부근에서 움직임의 90%를 보였으나 병잠의 경우 120 픽셀에 걸쳐 12만 픽셀 이상(26%) 움직인 것을 관측할 수 있었다. 일반 누에의 경우 뽕잎이 있는 곳 주변부에서만 움직이지만 감염 누에의 경우 일반 누에에 비해 움직이는 반경이 400%의 차이를 보였다. 이것은 전체 활동량 차이 345%와 유사한 결과를 나타내었다.

일반 누에와 감염된 누에의 움직임을 관찰한 결과 감염된 누에의 경우 긴 시간 동안 누에를 전역을 걸쳐서 움직인다는 사실이 관찰되었다. 대부분 자기 자리 주변에서 먹이를 섭취하는 일반 누에와 달리 감염된 누에는 끊임없이 다른 누에 위를 누비며 다녔다. 총 240분을 관찰하였으며 관찰된 52마리 중에 관찰 시간 동안 연속적으로 움직인 사례는 유일하였다. 또한 실험을 위해 사용한 누에 사육틀 가장 자리로 기어올라가는 움직임을 관찰할 수 있었다. 이런 움직임은 바이러스에 감염된 누에가 흔히 보

이는 행동이지만 정확한 원인은 알려진 바가 없다. 누에 양잠 농장에서는 감염된 누에로 인해 일반 누에 감염을 최소화하기 위해 감염된 누에를 분리 배출하는데 숙련된 노동자의 상당한 시간이 요구된다. 감염 개체가 증가하면 홍잠이나 누에동충하초와 같은 가공된 형태의 제품 품질 하락뿐 아니라 고치의 품질도 하락하여 농가 소득에 치명적이다. 따라서, 누에 생육을 모니터링하면서 병잠은 제거할 수 있는 자동 시스템 기술 개발이 필요하다. 최근에는 근적외 분광을 이용하여 고치의 압수 판별 시스템 [16], 영상처리와 SVM을 활용하여 고치 성별 판별 [17] 보고되거나 고치 내부 상태를 판별하는 연구 [18,19]가 수행되었다. 반면, 감염 누에의 이동 경로 및 활동 추적을 보고한 바는 없었다. 따라서 이 논문은 감염 누에 움직임 추적을 국내 최초로 보고한 결과로서 그 의미가 있다.

4. 결론

IP카메라를 이용하여 누에 행동을 모니터링하고 영상 처리 알고리즘을 활용하여 병잠의 움직임을 추적하였다. 경험적이고 전통적인 누에 사육 방식에 머신비전 기술을 접목하여 병잠의 움직임을 추적하고 일반 누에와 움직임 차이를 보고하였다. 본 연구의 주요 연구 결과는 다음과 같다. 1) 병잠의 경우 누에를 전체를 누비며 다니는 특징을 보였다. 2) 일반 누에의 300% 이상 먼 거리를 움직이는 것으로 확인되었다. 3) 저비용 도구 (갈라 카메라, 오픈소스(Python, OpenCV))를 사용하여 누에의 움직임 추적이 가능함을 보였다. 반면, 본 연구의 한계도 있는데 우선 병잠의 수가 한 마리 뿐이라 반복 실험이 제한적이다. 또한, 병잠의 감염 원인 구명이 육안으로 진물이 흐르는 것을 확인한 것 외에 실험적으로 구명하지 못하였다. 따라서 추후 연구에서는 감염원을 명확하게 할 수 있는 실험이 필요한데 예를들어 일반 누에 개체에 바이러스를 주입하는 등의 명확한 원인 제공 혹은 감염원 구명이 필요하다.

누에의 감염 원인은 바이러스, 곰팡이, 화학물질 중독 등 다양하지만 바이러스에 감염된 개체의 경우 누에 자리를 벗어나 누에를 테두리 위로 올라갈 만큼 긴 거리를 움직인다. 하지만 많은 누에 군집속에서 병잠을 특정해 골라내는 일은 경험과 시간, 인력이 많이 필요한 일이다. 따라서, 누에 생육에 머신비전 기술을 접목하여 병잠의 생육 특성 및 실시간 제거 시스템 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] M. Nilsson, A.H. Herlin, H. Ardo, O. Guzhva, K. Astrom, C. Bergsten, "Development of automatic surveillance of animal behaviour and welfare using image analysis and machine learned segmentation technique", *Animal*, Vol.9, pp. 1859-1865, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731115001342>
- [2] A. Cominotte, A.F.A. Fernandes, J.R.R. Dorea, G.J.M. Rosa, M.M. Ladeira, E.H.C.B. van Cleef, G.L. Pereira, W.A. Baldassini, O.R. Machado Neto, "Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases", *Livestock Science*, Vol.232, 103904. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103904>
- [3] M.Kashiha, C. Bahr, S. Ott, C.P.H. Moons, T.A. Niewold, F.O. Odberg, D.Berckmans, "Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.107, pp.38-44. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.06.003>
- [4] F. Lao, T. Brown-Brandi, J.P. Stinn, K. Liu, G. Teng, H. Xin, "Automatic recognition of lactating sow behaviours through depth image processing", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.125, pp.56-62. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.026>
- [5] Y.S.Seok, "Optimal design and operation of ICT-based insect smart farm air conditioning system", Ph.D. dissertation, Kyungpook National University, pp.123.
- [6] N. Mathappan, S. Rs, D. Kumar, "Silkworm Growth Monitoring Smart Sericulture System based on Internet of Things (IOT) and Image Processing", *International Journal of Computer Applications*, Vol.180, pp.29-33. 2016.
- [7] A.R. Jambukar, N.A. Dawande, "IoT based Smart Monitoring and Controlling System for Sericulture", *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, Vol.7, pp.1-4. 2020.
- [8] B.K.P Horn and B.G. Schunck, "Determining optical flow", *Artificial intelligence*, Vol.17, 1981.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(81\)90024-2](https://doi.org/10.1016/0004-3702(81)90024-2)
- [9] S. Gollapudi, OpenCV with Python. In: Learn Computer Vision Using OpenCV, Apress, Berkeley, CA. pp.31-50, 2019.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4261-2_2
- [10] F. Amat, E.W. Myers, F.J. Keller, "Fast and robust optical flow for time-lapse microscopy using super-voxels", *Bioinformatics*, Vol.29, pp.373-380, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts706>
- [11] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol.9, pp.62-66, 1979.
- [12] J.N. Kapur, P.K. Sahoo, A.K.C. Wong, "A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.29, pp.273-285, 1985.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0734-189X\(85\)90125-2](https://doi.org/10.1016/0734-189X(85)90125-2)
- [13] G.W. Zack, W.E. Rogers, S.A. Latt, "Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency", *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, Vol.25, pp.741-753, 1977.
DOI: <https://doi.org/10.1177/25.7.70454>
- [14] R.J. Mstafa, Y.M. Younis, H.I. Hussein, M.Atto, "A new video steganography scheme based on Shi-Tomasi corner detector", *IEEE Access*, Vol.8, pp. 161825-161837, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021356>
- [15] N. Sharmin and R. Brad, "Optimal Filter Estimation for Lucas-Kanade Optical Flow", *Sensors*, Vol.12, pp.12694-12709, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s120912694>
- [16] Z. Zhu, H. Yuan, C. Song, X. Li, D. Fang, Z. Guo, X. Zhu, W. Liu, G. Yan, "High-speed sex identification and sorting of living silkworm pupae using near-infrared spectroscopy combined with chemometrics", *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol.268, pp.299-309, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.04.093>
- [17] A.N.J. Raj, R. Sundaram, V.G.V. Mahesh, Z. Zhuang, A. Simeone, "A Multi-Sensor System for Silkworm Cocoon Gender Classification via Image Processing and Support Vector Machine", *Sensors*, Vol.19, pp.2656, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s19122656>
- [18] A. Lee, G. Kim, S.W. Kim, G. Kim, "A discrimination model for dead cocoons using near-infrared transmission spectra analyses", *Sensors and Actuators A. Physical*, Vol.346, pp.113857, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113857>
- [19] A. Lee, J.S. Kang, J.G. Lim, B.G. Kim, "Discrimination of 5th Instar 3 Day Silkworm using Hyperspectral Image and Partial Least Squares Discriminant Analysis", Vol.22, No.12, pp.705-711, *Journal of Korea Academia-industrial cooperation Society*.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.12.705>

서 영 욱(Youngwook Seo)

[정회원]



- 2002년 8월 : 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 서울대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2016년 2월 ~ 2017년 2월 : 충남대학교 농업생명과학대학 연구교수
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업연구사

<관심분야>

농식품가공기계, 농식품살균기술, 비파괴품질측정기술

박 회 만(Hoeman Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 전남대학교 농공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관

<관심분야>

농산가공기계, 농산물 분쇄기술, 농식품 산지처리