

기계시각을 이용한 고단 직립식 산란계 케이지의 무선 감시시스템 개발

임송수 장동일 이승주 소재광

Development of Wireless Monitoring System for Layers Rearing in Multi-tier Layers Battery by Machine Vision

S. S. Lim D. I. Chang S. J. Lee J. K. So

Abstract

This research was conducted to develop and analyze a wireless monitoring system for judging if sick or dead layers (SDL) exist in multi-tier layers battery (MLB) by machine vision, and to evaluate the performance between a wired monitoring system and it. This study used the AP (Access Point), the RS-285 to RS-232 converter, RS-232 to Ethernet converter, PICBASIC board and upgraded lump image processing method to change wired monitoring system into wireless monitoring system. The system was tested at a pilot farm and farm layer house. Results showed that monitoring judgement success rate at a pilot farm on normal cage (without SDL) was 82.3% and that on abnormal cage (with SDL) was 87.5%, respectively. And communication performance test results showed at farm layer house was 700~900 kbps while equipments operated. There were dropped slightly than performance of wired monitoring system, however, the quantity was too small to make a significant difference of performance of the controlling system developed for wireless communication.

Keywords : Multi-tier layers battery, Wireless monitoring system, Image processing, Layer rearing

1. 서론

최근 한국인의 식생활 변화로 인해 국민 1인당 계란 소비량이 1992년 연간 1인당 9.7 kg이었던 것이 2002년에는 11.3 kg으로 꾸준히 증가하고 있는 추세인 반면 산란계 사육농가 수는 점차적으로 줄어들고 전체 사육수수는 꾸준히 증가하였다. 또한 전체 산란계 사육농가 중 3만수 이상을 사육하는 농가의 사육수수가 전체 사육수수에서 차지한 비율은 크게 증가하였다. 이는 우리나라의 산란계 사육규모가 전업 내지는 기업규모로 변하고 있음을 나타내었다(농림부, 2003).

산란계사의 전업화·기업화·대형화됨에 따라 사육농가에서는 단위면적당 사육수수가 많은 고단 직립식 산란계 케이지를 선호하는 실정에 이르렀다. 고단 직립식 산란계 케이지

를 사용하는 대부분의 농가에서는 경제적인 면과 관리의 편리성을 고려하여 4단 이상을 사용하는데, 장비나 기구를 사용하지 않고 4단 이상을 육안 생육 관찰하는 것은 불가능하였다. 이로 인해 4단 이상의 케이지에서 발생하는 병·폐사계를 신속하게 처리할 수 없게 되어 결국 질병 확산의 원인이 되고 있는 실정이다. 따라서 고단 직립식 산란계 케이지의 4단 이상의 병계 및 폐사계를 자동으로 판별할 수 있는 시스템의 개발이 절실히 필요한 실정에 이르렀다.

선행 연구(정쌍양, 2005)를 통해 개발된 유선 감시시스템의 경우 산란계사 길이가 약 100 m가 넘어 유선 설비가 어렵고, 계사내의 악취가스, 먼지, 설치류 등에 의하여 케이블 등이 부식되거나 단락되는 등의 문제점을 가지고 있다. 또한 문제 발생시 문제가 되는 부분을 찾고 해결하는 부분에 있어서 많

This study was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea. The article was submitted for publication in March 2007, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2007. The authors are Song Su Lim, Research Associate, Dong Il Chang, Professor, Seung Joo Lee, Research Associate, and Jae Kwang So, Research Associate, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University. Corresponding author: D. I. Chang, Professor, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Deajeon, 305-764, Korea; E-mail: <dichang@cnu.ac.kr>.

은 시간과 기자재를 필요로 한다.

이에 본 연구의 목적은 육안관찰이 어려운 4단 이상의 고단 직립식 산란계 케이지를 영상처리를 이용하여 감시할 수 있고, 무선통신기술을 활용하여 시스템을 제어할 수 있는 산란계 생육 감시용 무선 감시시스템을 개발하고, 개발된 무선 감시시스템의 성능 평가 및 유선 감시시스템과 성능 비교분석을 하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 기존 유선 원격감시시스템

정쌍양 등(2006)은 네트워크 카메라로 획득한 산란계 케이지의 이미지를 유선 TCP/IP통신을 통해 컴퓨터로 전송, 이상산란계(병·폐사계) 발생 유무를 자동 판정할 수 있는 유선 감시시스템을 개발하였다. 제어컴퓨터로 입력되는 320×240 pixel의 영상을 근접센서에 의해 결정되는 영상획득시간에 각 케이지 당 한 프레임의 이미지를 획득하도록 프로그래밍 하였다. 획득한 이미지 중 산란계의 이미지만을 획득하기 위한 산란계 머리·다리의 RGB(Red, Green, Blue) 각각의 농도를 결정하였고, 산란계 이미지의 영상처리를 통해 이상산란계 발생 유무를 판정할 수 있는 실시간 유선 감시시스템을 개발하였다. 또한 카메라를 이송시키며 카메라의 위치를 판단하고 제어하기 위하여 구동장치를 개발하였다. 구동부를 이송시키기 위한 모터로는 220 V, 180 W, 60 Hz의 단상모터를 사용하였고, 모터의 속도를 제어하기 위하여 감속기와 인버터를 사용하였다.

그림 1과 그림 2의 구동부와 제어시스템과의 통신은 RS-485 통신을 활용하였고, 구동부를 원격으로 유선 제어하기 위하여 구동부의 Control box에 PIC(Priority Interrupt Controller)를 이용한 RS-485 통신시스템을 제작하였다. 구동부의 위치 제어를 위한 시작위치, 종료위치 및 케이지의 한 칸을 이동할 때의 발생신호는 Control box의 PIC와 RS-485 통신을 통하

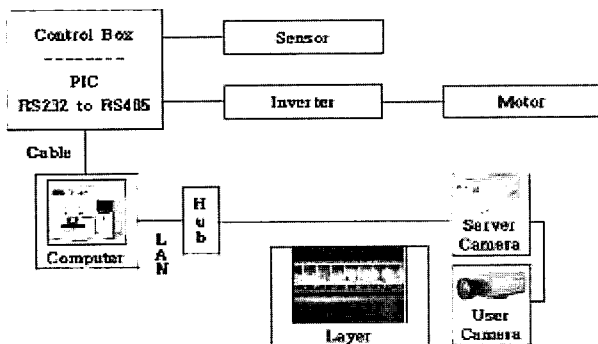


Fig. 1 Schematic of wire monitoring system.

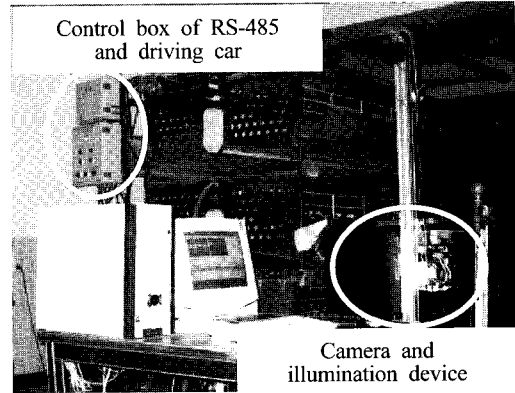


Fig. 2 A view of experimental device.

여 제어컴퓨터로 신호를 전송하게 된다. 그리고 RS-485 to RS-232 모듈을 통해 제어컴퓨터와 통신할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

산란계 케이지에서 획득한 320×240 pixel의 영상을 RGB histogram을 이용한 2진화 실시하였고, 2진화된 영상을 팽창처리 후 수축처리로 불필요한 화소를 제거하였다. 또한 labeling을 통해 구해진 화소 덩어리 면적이 200 pixel 이하인 화소는 제거하는 filter 처리 후, X축 거리가 120 pixel 이내의 label에 한해서 한 마리의 영상으로 판단하고 범위 내의 모든 label의 면적을 합산하여 1500 pixel 이상이면 병·폐사계로, 이하이면 정상산란계로 판단하는 영상처리를 실시하였다.

나. 무선 원격감시시스템의 개발

1) 무선 AP(Access Point)

산란계사내의 구동부를 무선으로 원격제어하기 위하여 두대의 무선 AP를 사용하였다. 한 대는 구동부의 Control box에 장착하였고, 다른 한 대는 제어용 컴퓨터에 장착하여 두대의 무선 AP가 서로 무선통신을 하여 원격리에서도 무선으로 원격감시시스템의 영상전송 및 제어가 가능하게 하였다.

2) PLC(Programmable Logic Controller)

이전에 개발되었던 PIC 타입의 제어방식을 프로그램 수정이 용이하고 보다 안정적인 PLC 타입으로 교체하였다. 본 연구에 사용한 PLC는 KGL for Windows 개발 프로그램을 사용하여 구동부의 전·후진 제어와 위치인식을 위한 내부프로그램을 개발하였다.

3) RS-485 to RS-232 변환기

구동부의 원격제어를 실시하는데 필요한 제어 컴퓨터와의 시리얼통신을 위해 PLC로부터 나오는 RS-485 신호를 RS-232 신호로 변환해 줄 수 있는 변환기(Converter)를 사용하였고,

별도의 전원 공급 장치가 없이도 RS-232 DTR 신호를 사용하여 작동이 가능하였다.

4) RS-232 to Ethernet 변환기

구동부의 PLC와 제어컴퓨터와의 무선 랜에 의한 통신을 위해 RS-485 to RS-232 변환기에서 발생된 RS-232신호를 ethernet 신호로 변환시켜줄 수 있는 RS-232 to Ethernet 변환기를 사용하였다. 표 1은 사용한 RS-485 to RS-232 변환기와 RS-232 to Ethernet 변환기의 제원이며, 그림 3은 개발한 무선 원격감시시스템의 개략도이다.

Table 1 Specifications of the RS-485 to RS-232 Converter and the RS-232 to Ethernet Converter

Item	Specifications	
RS-485 to RS-232 Converter	Model	CS-428/9
	Communication form	Asynchrony serial communication
	Max. data rate	115.2 kB/s
	Max. cable length	1.2 km
RS-232 to Ethernet converter	Protocol	TCP/IP
	Network port	IEEE 802.3, IEEE 802.3u
	Interface	10/100 BASE-T standard
	Power requirements	10 to 30 V (DC)

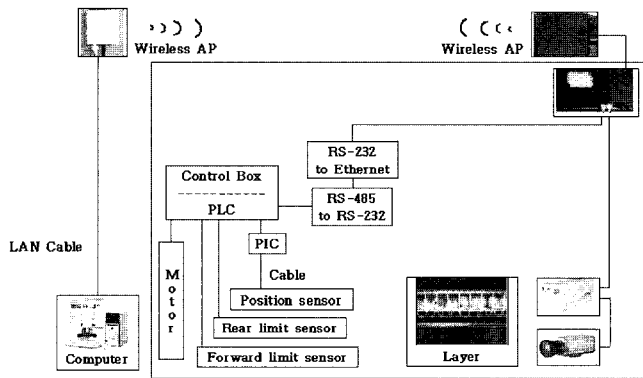


Fig. 3 Connection schematic of wireless monitoring system.

5) 감시시스템의 S/W

감시시스템의 제어용 프로그램은 유선제어시스템의 제어용으로 개발된 프로그램을 무선 제어할 수 있도록 알고리즘을 수정·보완하였다. 제어프로그램은 LabWindows/CVI 6.5 (National Instrument, USA)를 이용하여 프로그래밍 하였다. 또한 실시간 이미지 처리로 인한 시스템의 과부하를 줄이기 위해 유선 감시시스템에서 사용한 실시간 이미지 처리 방식을 무선 감시시스템에서는 각 케이지별로 산란계의 이미지만을 획득한 후 일괄 영상 처리하는 방식으로 프로그램을 수정·보완하였다.

다. 무선 원격감시시스템과 유선 원격감시시스템의 H/W 및 S/W 비교

본 연구에서 개발된 무선제어시스템의 변경 및 추가된 부분을 기존의 유선제어시스템과 비교해보면, ① 영상전송 통신방식은 기존의 유선 ethernet에서 무선 ethernet으로 변경하였고 이러한 통신방식을 위하여 제어컴퓨터와 구동부에 각각 무선 AP를 설치하였다. 또한 구동부의 컨트롤을 위해 기존에 사용되었던 RS-485 통신을 영상전송방식과 같은 무선 ethernet으로 변경하여 통신방식을 하나로 통일하였다. ② 컨트롤 박스의 제어부는 기존의 PIC방식보다 안정적이고, 제어가 간편한 PLC방식으로 변경하였다. ③ 위치제어센서는 기존의 마그네틱 근접센서에서 control trigger로 변경하여 각 케이지마다 마그네틱을 부착하지 않아도 케이지의 기둥에 의해 센서가 반응되도록 변경하였으며, 제어프로그램과 PLC간의 통신 부하를 줄이기 위하여 PLC와 위치제어센서 사이에 PICBASIC board(PIC)를 설치하고 Visual Basic 6.0(Microsoft, USA)을 개발프로그램으로 사용하여 센서로부터 입력받은 신호를 PLC로 전달해줄도록 프로그래밍 하였다. ④ 영상처리 프로그램은 기존의 실시간 영상처리 방식에서 처리속도의 향상 및 실시간 영상처리로 인한 시스템의 과부하를 방지하기 위해 모든 케이지의 영상을 획득하고 저장한 후 일괄하여 이미지를 처리하는 방식으로 알고리즘을 변경하여 개발하였다. 이상의 변경 설계된 내용을 정리해보면 표 2와 같다.

라. 무선 원격감시시스템의 성능실험

1) 실험산란계사내에서 무선 원격감시시스템의 성능실험

첫 번째 실험은 개발된 무선 감시시스템의 성능실험을 위하여 실험계사 내에서 무선과 유선 시스템의 영상전송속도 계측을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 network camera가 정지된 상태에서 영상을 크기 320×240 pixel, 속도 15 frame/s로 제어용 컴퓨터로 영상을 전송하게 되는데 필요한 이론상 전송속도는 120~360 kbps이다. 또한 무선 AP는 데이터 전송속도가 최대 54.5 Mbps인 장비로서, 카메라의 영상을 전송하고 구동부를 제어하는 것에 있어 이론상의 문제는 없었다. 그러나 유선시스템에서 제기된 이동중 영상데이터의 전송속도의 증가와 무선 AP를 사용함으로써 발생하는 방해전파의 전파간섭을 고려하여 거리별 영상전송속도의 증감 측정실험을 실시하였다.

두 번째 실험은 통신방법의 변경, 구동부의 위치제어를 위한 센서의 교체 등으로 변화된 감시장치의 적정이동속도(0.13 m/s; 정쌍양 등, 2006) 및 센서의 적정 감지주기를 찾아내기 위하여

Table 2 Comparisons of wireless monitoring system and wire monitoring system

Item	Specifications	
	Wired monitoring system	Wireless monitoring system
Control box	PIC control	PLC control
Communication for image transmission	Wired ethernet TCP/IP protocol	Wireless ethernet TCP/IP protocol
Communication for driving car control	RS-485	Wireless ethernet TCP/IP protocol
Location control sensor	Magnetic sensor	Control trigger
Sensor recognition method	Control program to PIC	Control program to PLC and to PIC
Algorithm of control program	Real-time image processing	Lump image processing
Used programing language for developing of S/W	LabWindows / CVI	LabWindows / CVI and Visual Basic

40~60 Hz까지 공급 전원의 주파수를 5 Hz 단위로 변화시키고, 0.4~2초까지 감시프로그램으로부터의 통신에 의한 센서 감지주기를 변화시켜가며 위치판단 성능실험을 실시하였다.

세 번째 실험은 개발된 무선 원격감시시스템 판정실험을 위하여 유선 원격감시시스템에서 실시한 정상산란계만 있는 정상케이지에 대한 판정실험과 병·폐사계가 있는 비정상케이지에 대한 판정실험을 실시하였다. 정상산란계 판정실험의 경우 케이지 한 칸에 정상산란계 5마리를 넣어 판정하였고, 병·폐사계 판정실험의 경우 각 케이지마다 정상산란계 4마리와 병·폐사계 1마리를 넣어 판정실험을 실시하였다. 또한 감시의 정확도를 높이기 위하여 산란계의 먹이에 대한 관심도가 90% 이상인 5.5분 이내에 각 실험을 실시하였다(정쌍양 등, 2005).

2) 실제산란계사내에서 무선 원격감시시스템의 성능실험

첫 번째 실험은 5단 3열 70 m 길이의 직립식 산란계 케이지가 설치된 농장에서 실시하였고, 계사내의 환풍기, 급이기 및 계분벨트가 작동중인 시간을 택하여 3회 반복하여 영상의 전송속도를 측정하였다. 두 번째 실험은 3단 3열의 15 m 직립식 케이지가 설치된 계사에서 3회 반복하여 실험을 실시하였고 구동부의 거리에 따른 영상의 전송속도, 영상획득 위치의 정확성과 위치판단의 정확성을 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 무선 원격감시시스템의 구성과 실험산란계사내 성능실험 결과

기존에 개발된 유선 ethernet을 이용한 산란계 유선 원격감시시스템을 설계 변경하여 무선 ethernet을 이용한 산란계 무선 원격감시시스템을 상기한 장비 및 시스템을 이용하여 설

계·제작하였다. 그림 4는 개발한 무선 원격감시시스템의 사진이며, 실험계사 내에서의 실험 수행 사진이다.

실험계사 내에서의 첫 번째 실험인 영상전송속도의 실험을 실시한 결과는 그림 5와 같이 나타났다. 실험결과 카메라의 이동 중 영상속도는 637~760 kbps로 나타났다. 이러한 결과는 정지중인 영상의 평균 전송속도인 120~360 kbps를 크게 웃도는 결과 값으로, 이는 이동 중인 영상이 정지중인 영상보다 영상데이터가 커서 나타났다고 사료된다. 하지만 이동 중인 영상의 전송속도는 무선시스템에서 사용한 무선 AP의 최대 전송속도에 비해 현저히 낮은 속도였으므로 제어컴퓨터로 전송되는 영상데이터의 전송 지연 현상이 발생되지 않았다.

두 번째로 변경된 통신방식과 센서를 사용하여 위치판단에 대한 성능실험을 실시한 실험의 결과는 그림 6에서 보는 바와

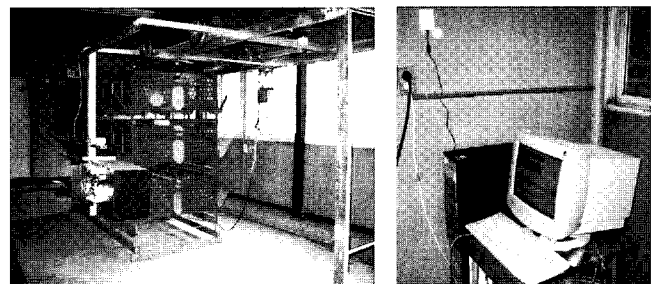


Fig. 4 A view of experimental device.

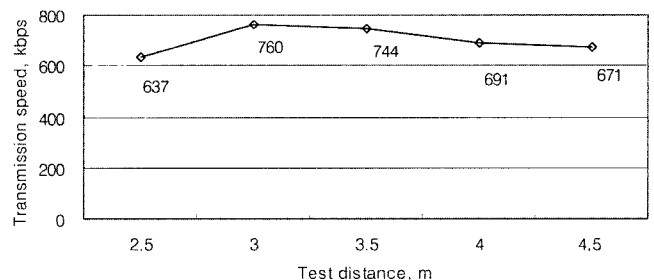


Fig. 5 Image transmission speed for test.

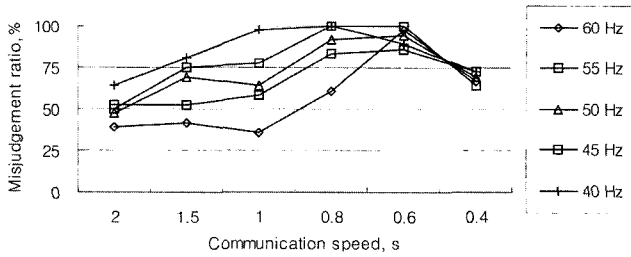


Fig. 6 Ratios that two images acquires for cage.

같이 구동부의 이동속도가 낮아질수록, 제어컴퓨터와 control trigger 간의 통신주기가 빨라질수록 한 칸의 케이지에서 두 개의 영상을 획득하는 확률이 높게 나타났다. 이를 수정·보완하기 위해 PLC와 위치제어를 위한 센서사이에 PIC보드를 설치하였고 control trigger에서 신호가 발생될 때만 영상을 제어컴퓨터로 전송할 수 있도록 제어프로그램을 수정·보완하였다. 이로 인해 각 케이지 당 한 장의 영상 획득을 위하여 위치센서의 작동 유무를 확인하던 주기적인 통신을 하지 않음으로서 과다 통신으로 발생되었던 시스템 과부하를 현저히 감소시킬 수 있었고 적정이동속도(60 Hz; 0.13 m/s)로 구동부를 구동시킬 수 있었다.

세 번째로 실시한 정상케이지 및 비정상케이지에 대한 판정실험의 결과는 표 3과 같았으며, 정상케이지에 대한 판정결과는 82.3%의 판정정확도를 보였다. 오판의 원인을 분석해보면 위치센서로 입력되는 케이지의 위치 정보는 정확하게 입력되었으나, 간헐적으로 나타나는 무선통신의 traffic으로 인하여 영상의 정확한 획득을 하지 못하는 경우가 발생하였다. 그로 인하여 산란계로 영상처리를 위해 지정해놓은 RGB값의 범위에 포함되는 케이지의 벽면을 산란계로 판정한 것으로 사료되고 그때의 오판율은 2.3%이었다. 그리고 산란을 위

Table 3 Performance experiment of image processing system for cage without and with abnormal layers

Layer condition in cage	Judgement success ratio (%)	Misjudgement ratio (%)
Cage with no SDL (NC)	82.3	Position error captured image 2.3
		Laying 7.2
		Moving 2.8
		Unstable posture 5.4
Cage with SDL (AC)	87.5	Position error captured image 2.7
		Area in front of cage 5.6
		Blind spot 4.2

SDL- sick or dead layer, NC: normal cage, AC: abnormal cage

한 산란계의 얇은 자세, 급이 중 음수 및 자리차지를 위한 움직임, 이동후의 비정상적인 자세로 해서 각각 7.2%, 2.8%, 5.4%의 오판이 발생하였다.

비정상케이지에 대한 영상처리시스템의 성능실험 결과는 87.5%의 판정정확도와 12.5%의 오판율을 나타냈다. 이때의 오판원인을 분석해보면 무선통신의 traffic으로 인한 영상획득의 지연으로 인하여 2.7%의 오판이 발생되었고, 폐사계가 다른 닭들에 의하여 밀치게 되어 카메라와 케이지의 전면부에 근접하게 되는 경우 산란계에 비치는 조도가 상대적으로 높아져 5.6%의 오판을 하게 되었다. 또한 카메라가 감시할 수 없는 촬영 각도 내에 위치한 경우로 4.2%의 오판을 하였다. 그림 7은 정상케이지와 비정상케이지에서 획득한 영상을 영상처리를 실시한 이미지이다(정쌍양 등, 2006). 그림 7(a)의 경우 정상케이지를 판정하였을 때의 정상적으로 영상처리된 모습이며, 그림 7(b)의 경우 비정상케이지를 판정하였을 때의 정상적으로 영상처리된 모습이다.

이상의 결과는 앞서 연구된 유선에 의한 산란계감시시스템의 성능실험에서 나타난 정상산란계케이지 86%, 비정상산란계케이지 89%보다 약간 낮은 결과이다. 이러한 결과는 실험 당시의 환경과 산란계의 주령 등의 차이가 있음을 감안한다면 무선 감시시스템의 통신상의 성능은 유선 감시시스템과 통계적 유의차가 없음을 확인할 수 있었다.

나. 실제 산란계사내 성능실험 결과

개발된 무선 원격감시시스템을 이용하여 환풍기, 급이기 및 계분벨트를 작동시킨 후 카메라와 무선 AP를 5단 3열 70 m의 산란계사내에서 영상감시시스템을 이동시키며 1 m 간격으로 영상의 전송속도를 측정하였다. 그림 8의 영상 전송속도는 700~900 kbps의 범위 내에서 변화를 보이며 영상이 전송되었고, 거리가 멀어질수록 영상의 전송속도가 점차 하락되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 거리에 따른 영상전송속도의 하락 폭은 영상의 전송과 구동부를 제어하는데 있어 문제가 발생될 만큼 크지 않았고 계사내의 시설의 작동여부와 관계없이 양질의 영상을 획득할 수 있었다. 또한 3단 3열의 15 m 계사에서 개발된 구동부, 영상감시시스템, 무선제어시스템을 구동부에 설치하여 환풍기, 급이기 및 계분벨트가 작동되는 계사 내에서 실시한 실험의 결과는 25칸의 케이지를 인식하는데 있어 95% 이상의 성공률을 얻을 수 있었다. 그러나 산란계의 이미지를 얻기 위한 이미지 획득의 정확도 실험에서는 간헐적인 무선통신 traffic으로 인하여 3.4%의 위치가 정확하지 못한 이미지를 획득하였다.

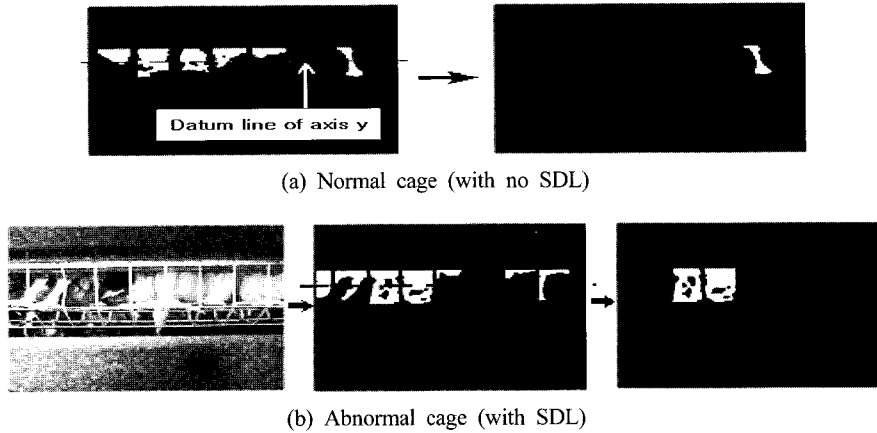


Fig. 7 Processed images on NC and AC by image processing method.

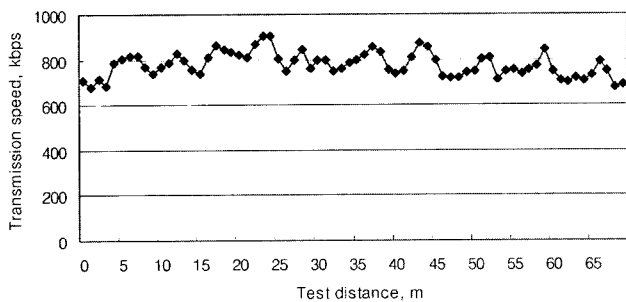


Fig. 8 Image transmission speed in layer house.

4. 요약 및 결론

기준에 개발된 유선 원격감시시스템을 계사 내에 설치하기 위해서는 많은 시간과 기자재가 필요하였으며, 시설의 노후화 및 설치류 등에 의한 통신선의 단락이 있을 경우 문제가 되는 부위를 찾고 해결하는데 있어 많은 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 하고자 무선 원격감시시스템을 개발하여 그 성능을 평가하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. Network CCD 카메라로부터 획득된 영상과 구동부의 제어신호를 무선에 의해 제어컴퓨터로 전송하기 위하여 무선 AP, RS-485 to RS-232 변환기 및 RS-232 to Ethernet 변환기를 사용하였다. 시스템의 제어프로그램은 LabWindows CVI를 사용하여 개발하였다. 또한 구동부의 메인 컨트롤러를 PLC로 변경하여 프로그램의 수정과 통신을 용이하게 하였으며, PLC와 위치제어를 위한 센서사이에 PIC를 부착하고 프로그래밍하여 위치신호를 입력받도록 하였다. 그 결과 제어프로그램의 위치제어를 위한 통신 횟수를 현저히 줄여 시스템 전반의 통신성능저하를 방지할 수 있었으며 적정이동속도(60 Hz; 0.13 m/s)로 무선 감시시스템을 구동시킬 수 있었다.

2. 개발된 무선 원격감시시스템으로 실험계사에서 감시성능 실험을 실시한 결과 정상산란계 케이지에 대한 영상처리 시스템의 판정결과에 대해서는 82.3%의 판정정확도를 나타냈고, 비정상산란계케이지에 대한 영상처리시스템의 판정결과에 대해서는 87.5%의 판정정확도 나타냈다. 이러한 결과는 유선 원격감시시스템의 영상감시성능인 정상산란계케이지 86%, 비정상산란계케이지 89%보다 약간 낮은 결과를 나타냈으나 통계적 유의차는 없었다. 또한 고단 직립식 케이지가 설치된 실제산란계사에서 무선통신의 성능 실험을 실시하였다. 영상의 전송속도는 700~900 kbps의 범위 내에서 변화를 보였으며, 거리가 멀어질수록 속도가 점차 하락하였으나 그 폭은 매우 작아 영상 및 구동부의 제어에는 문제가 없는 것으로 사료되었다.

- Kim, Y. and P. P. Ling. 2001. Machine vision guided sensor positioning system for leaf temperature assessment. Transactions of ASAE 44(6):1941-1947.
- Peng, Y. and M. Uhrua. 2000. Remote automated environmental control system for insect production. Applied Engineering in Agriculture 16(6):715-721.
- 심주현, 백운재, 박주현, 이석규. 2004. 시설재배를 위한 웹 기반의 원격 관리 시스템의 개발 및 성능평가. 바이오시스템공학회지 29(2):159-166.
- 이동훈, 노대영, 임중우, 김태호, 장호연, 박일우, 조용국, 오승준, 안창범. 2003. 웨이블릿 코덱을 이용한 원격 무선 감시 시스템 하드웨어 개발. 한국화상학회지 9(1):33-42.
- 정쌍양. 2005. 기계시각을 이용한 고단직립식케이지의 산란계감시시스템 개발. 충남대학교 박사학위논문.
- 정쌍양, 장동일, 이승주, 소재광. 2006. 기계시각을 이용한 고단 직립식 산란계 케이지의 유선 감시시스템 개발. 바이오시스템공학회지 31(5):436-442.
- 최태현, 황현. 1999. 인터넷을 이용한 건포고 등급선별장치의 원격제어 및 관리 시스템 개발. 한국농업기계학회지 24(3):267-264.