한국정밀공학회지 제 30 권 5 호 pp. 513-519 May 2013 / 513
J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 30, No. 5, pp. 513-519 http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2013.30.5.513
ISSN 1225-9071(Print), ISSN 2287-8769(Online)

영상처리를 이용한 원사공정 검사시스템

A Yarn Process Inspection System Using Image Processing

임창용 [1], 신동원 [2,✉], 윤장규 [3]
Chang-Yong Lim[1], Dongwon Shin[2,✉], and Jang-Kyu Yoon[3]

1 탑엔지니어링 전기시스템부서 (Department of of Electric System, TOP ENGINEERING)
2 금오공과대학교 기계시스템공학과 (Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology)
3 금오공과대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology)
✉ Corresponding author: shindw@kumoh.ac.kr, Tel: +82-54-478-7321

Manuscript received: 2012.9.4 / Revised: 2013.1.28 / Accepted: 2013.2.26

Line scan camera has been widely used in the area of inspection of glass, film, fabric, iron, PCB and etc. due to the high resolution and the high speed. We developed the line scan based vision system to inspect tangled and cut-off status of yarn in the manufacturing process. The original image is binarized with a proper threshold, and the gap distances in the yarn are measured in real time, so finally the status of the process is decided by the maximum value of the gap distance. All procedures are executed in real time by realization of multi-processed threads. By implementation of this system, the error of the yarn in manufacturing process can be precedently monitored and the loss of the yarn is decreased efficiently.

Key Words: Image Processing (영상처리), Line Scan Camera (라인스캔 카메라), Yarn (원사), Tangled (엉킨), Cut-off (잘린), Inspection System (검사시스템)

기호설명

T_h = threshold
W_n = error area
W_{max} = maximum error area
$W_{max(\%)}$ = percentage of maximum error area
L_r = unnecessary in the left image area
R_r = unnecessary in the right image area
A_e = custom emergency percentage
A_s = custom stop percentage

1. 서론

원사공정에 있어서 원사의 손실을 줄이는 것은 중요하다. 특히 섬유로부터 원사를 만드는 방적공정에서 원사가 엉키거나 끊어지는 현상은 원사의 손실을 증가시키는 요인이다. 이에 본 연구에서는 라인스캔 카메라를 이용하여 원사의 에러를 검출하는 비전시스템을 개발하였다.

현재 라인스캔 카메라를 이용한 검사장치들은 많이 존재한다. 일반적으로 사용되는 영역스캔 카메라와는 달리, 센서인 CCD(Charge-Couple Device)의 배열이 1줄로 되어있어 일정주기마다 한 라인의 영상데이터를 출력하기 때문에 높은 해상도의 영상을 비교적 빠른 시간에 한 라인씩 연속적으로 얻을 수 있으며, 한쪽 방향으로 움직이는 긴 물체의 촬영에 유리한 구조적 특징을 가진다.[1] 이에 라인스캔 카메라는 유리 또는 필름, 직물원단, 철강, PCB 등의 생산공정에 설치되어 제품의 검사에 널리 사용되고 있다.[2-9] 이와 관련하여 라인스캔 카메

라를 이용한 독립형 실시간 영상처리시스템이 개발되고 있다.[4,6,7,9] 고속 영상처리를 위해 Baykal[4]과 강현인,[9] 정헌[10]은 영상의 획득과 전처리에 FPGA(Field-Programmable Gate Array)를 사용하였다. 그리고 Kim[6]은 여러 개의 FIFO(First-In, First-Out) 메모리와 디지털신호 처리장치(DSP: Digital Signal Processor)를 사용하여 병렬 처리방식을 통한 성능 향상을 모색하였다. 상기와 같이 라인스캔 카메라를 이용하여 산업현장에 적용된 사례는 많이 있으나, 원사공정상에서 원사의 틈새를 측정하고 이를 통하여 에러를 판정하는 연구에 대하여는 진행된 바가 없다.

이에 본 논문은 라인스캔 카메라를 이용하여 원사의 영상을 획득하고 영상처리 검사알고리즘을 통하여 원사가 엉키거나 끊어졌을 때의 에러를 계산하고 사용자에게 경고를 해주는 시스템에 대하여 연구하였다. 전체 원사공정 검사시스템의 소프트웨어 구조는 영상 획득단계, 영상 디스플레이단계, 영상 검사단계로서 3개의 주요과정으로 분리하여 기능의 명확성을 도모하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 원사공정 검사시스템의 구성에 대하여 언급하며, 3장에서는 에러를 판별하는 검사프로세스에 대하여 언급한다. 4장에서는 원사공정 검사프로그램의 알고리즘적인 면에서 원사의 영상 획득단계, 디스플레이단계, 검사단계의 과정을 상세히 언급하고, 5장은 실제로 구현한 원사공정 검사시스템과 실험결과를, 6장은 결론에 대하여 언급한다.

2. 검사시스템 구성

원사공정은 고분자 중합을 거쳐 방사가공, 연신가공, 가연가공, 방적가공의 일련의 과정을 거쳐 진행되는 공정으로, Fig. 1에서 보듯이 원사공정기계에서 입력되는 원사는 롤러상에서 회전하며 우측공정으로 진행하고 있다. 이러한 공정 중에 원사가 엉키거나 끊어지는 에러가 발생하면 모든 공정을 즉각적으로 정지하고 에러복구를 위한 조치가 시급하게 이루어져야 원사의 생산성이 유지되고 품질이 유지된다.

영상획득 및 조명부는 원사의 상단에서 원사에 조명을 비추고 원사의 영상을 획득하는 역할을 담당하고, Fig. 2와 같이 한 대의 라인스캔 카메라와 2개의 나트륨 조명으로 구성되어 있다. 나트륨 조명은 LED조명보다 직하조도가 우수하며 빛의 투

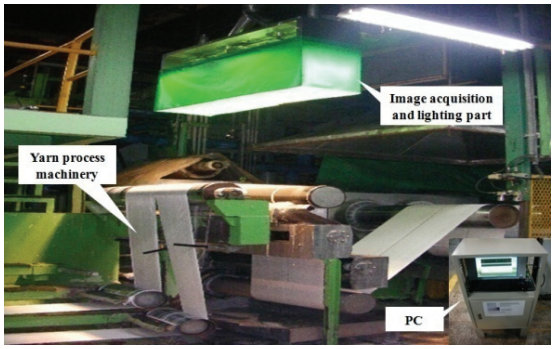

Fig. 1 Inspection system of yarn process

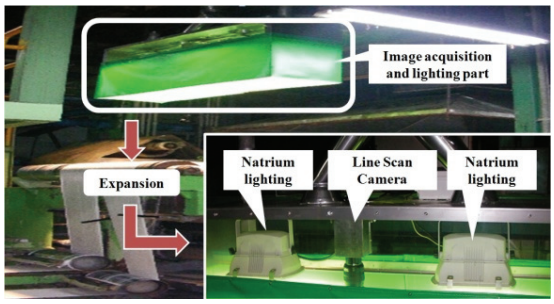

Fig. 2 Image acquisition and illumination

과성이 우수한 성능을 가지고 있어 원사의 불량검사에 가장 적합한 조명이다.

현장에 적용한 라인스캔 카메라는 원사공정기계에서 획득하게 될 원사와 수직으로 위치하며, FOV(Field Of View)는 900mm와 작동거리(working distance)는 1600mm로 설정 되어 있다.

획득된 영상은 제어부인 컴퓨터로 전달되며 컴퓨터는 획득된 영상을 실시간으로 디스플레이하고 동시에 영상처리하여 에러의 유무를 계산한다. 원사에 에러가 발생하면 상위제어기로 에러가 발생했음을 알린다. 상위제어기와 신호를 주고받기 위한 입출력장치는 컴퓨터에 내장되어 있으며 이러한 모든 신호체계는 실시간으로 이루어지고 있다.

3. 검사 프로세스

원사공정 검사시스템의 비전검사프로세스는 Fig. 3과 같이 영상획득 및 조명부에서 원사의 상태를 라인스캔 카메라가 획득하는 시점에서 시작한다. 실이 엉키거나 끊어짐으로 인하여 틈새가 곳곳에 보이고 있는 원사의 사진을 Fig. 4에 도시하였다.

Fig. 5는 Fig. 4에 대하여 라인스캔한 영상의 밝기 그래프를 보여주고 있다. 여기서 상위그래프와 하위그래프로 나뉘어 그려지는데 상위그래프는 원사의 현 밝기상태를 나타낸 것이며, 하위그래프는 문턱치값(T_h)을 기준으로 하여 상위는 1, 하위는 0으로 이진화하여 나타낸 것이다.

밝기를 이진화하여 나타내면 1로 나타낸 부분은 원사가 존재하는 영역이 되며, 0으로 나타낸 부분은 원사가 존재하지 않는 영역(틈새)이 된다. 즉 0으로 나타내어지는 틈새 부분(W_i: i=1,…,n)이 에러

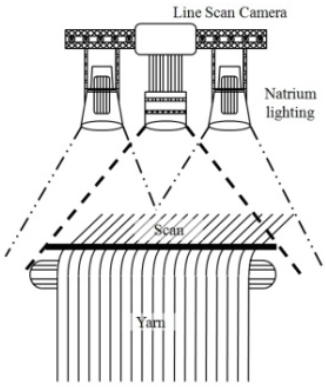

Fig. 3 Image scan process of yarn

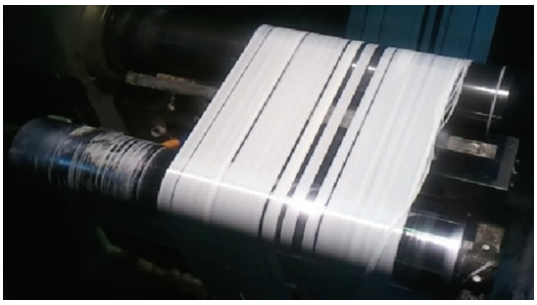

Fig. 4 Picture of yarn on the roller

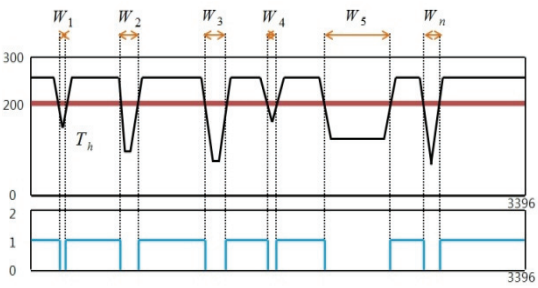

Fig. 5 Graph of scanned image of yarn

후보가 된다. 여러 개의 W_i 중에서 최대값(W_{max})으로 하고 이 값을 원사의 에러판정(false alarm) 값으로 설정하고 이 값이 어느 이상되면 원사에러를 판정하게 된다.

W_i의 합을 에러판정값으로 하지 않고, W_i의 최대값을 에러판정값으로 한 이유는 롤러상에서 원사가 틈이 벌어지는 현상은 원사의 여러 군데에서 발생하고 이를 모두 합산하여 원사에러를 판정하게 되면 잘못된 에러판정을 발생하기 때문이다.

원사전체의 폭을 Width라고 하면 원사틈새의 백분율(W_{max})는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$W_{\max(\%)} = \frac{W_{\max}}{Width} \times 100 \tag{1}$$

정상상태인 원사의 백분율은 식 (2)과 같이 계산한다.

$$Output = 100\% - W_{\max(\%)} \tag{2}$$

이와 같이 정상원사의 백분율을 가지고 사용자는 원사의 정상상태와 에러상태를 지정할 수 있게 된다.

실제로 원사공정에서는 에러의 상태를 위급(emergency)와 정지(stop)의 두 가지로 분류하여 공정을 운영한다. 위급은 에러상태이기는 하나 기계작동을 중지시킬 정도의 심각한 에러는 아닌 상태이고, 정지는 모든 기계작동을 중지시켜 원사생산을 중지시키는 단계이다.

원사의 상태에 따른 백분율수치를 위급과 정지의 백분율 수치와 비교하여 에러신호를 발생시킨다. 위급은 식 (3)과 같은 범위에 있을 때 발생하고, 정지는 식 (4)와 같은 범위에 있을 때 발생한다. 여기서 A_e는 위급경계 값이고, A_s는 정지경계 값이다.

$$A_s < Output < A_e \tag{3}$$

$$Output < A_s \tag{4}$$

이처럼 사용자에 의하여 백분율수치를 정함으로써 원사공정에 있어서 에러에 대해서 좀 더 세밀하게 조정 할 수 있다.

에러판정의 중요한 요인에는 출력(output)값 외에, 에러의 지속시간이 있다. 이는 원사공정에서 틈이 벌어지는 현상이 아주 잠시 생겼다가 금방 사라질 수 있기 때문이다. 이럴 경우 에러판정값

이 크게 나온다고 하더라도 지속시간이 짧다면 에러판정을 내리면 안된다. 이에 출력값이 식 (3) 또는 식 (4)를 만족하는 경우에라도, 출력의 유지시간이 T_{conti}를 초과할 경우에만 에러로 판정하는 시간제약을 둬야 한다.

4. 검사 프로그램 구조

본 연구의 원사공정 검사시스템의 경우 3가지의 단계를 가지고 있다. Fig. 6과 같이 라인스캔 카메라를 통한 영상획득(image-grab), 에러를 검출하기 위한 검사(inspection), 획득한 영상을 그래프화하는 디스플레이(graph-draw), 와 같이 3개의 주요부분으로 나뉘어진다. 실제로 프로그램의 세부분은 멀티스레드(multi-thread)로 구현되어 CPU의 실시간 시분할에 의하여 반복실행된다.

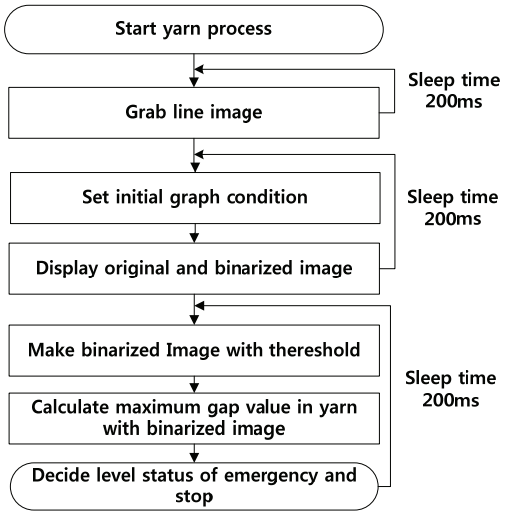

Fig. 6 Flow chart of inspection system of yarn process

4.1 영상획득(image-grab)

원사공정 검사시스템의 주요단계인 영상획득단계에서는 라인스캔 카메라를 준비하는 과정으로 이를 자세히 기술하면 다음과 같다.

(1) 라인스캔 카메라와 컴퓨터의 연결을 체크하며, 카메라와의 연결이 되지 않거나 선택이 되지 않았다면 경고문을 띄워주게 된다.
(2) 라인스캔 카메라가 획득할 영상의 높이를 설정하며, 보통 mm단위로 설정한다.
(3) 라인스캔 카메라의 노출값을 설정하며, 이는 실험을 통하여 얻은 값을 사용하는데 여기서는 20000(ms)을 설정한다.
(4) 획득한 영상을 버퍼(buffer)에 저장하며, 일정시간 동안 축적된 영상을 디스플레이 하기 위해 다음 단계로 넘겨준다.
(5) 영상획득과정은 멀티스레드를 통하여 반복실행이 되며, 멀티스레드 내에서 sleep함수의 시간을 100ms로 설정하여 시간지연을 둔다.

4.2 검사(inspection)

원사공정 검사시스템의 주요단계인 검사단계는 원영상을 문턱치값에 의하여 이진화하고, 이진화한 데이터를 이용하여 원사의 틈새를 계산하고, 사용자가 설정한 위급과 정지의 백분율 수치 값을 비교하여 에러를 검출하는 과정이다. 검사과정은 멀티스레드를 통하여 반복실행이 되며, 멀티스레드 내에서 sleep함수의 시간(sleep time)을 200ms로 설정하여 시간지연을 둔다.

4.3 디스플레이(graph-draw)

원사공정 검사시스템의 주요단계인 디스플레이 단계에서는 라인스캔 카메라에서 획득한 영상을 받아 그래프로 디스플레이 하며, 사용자가 정의하는 수치들을 적용하여 새롭게 그래프를 디스플레이 하는 과정으로 이를 자세히 기술하면 다음과 같다.

(1) 그래프의 영역 및 스타일을 설정한다.
(2) 그래프의 격자(grid), 구성(plot), 배경색(background color)를 지정한다.
(3) 라인스캔 카메라에서 획득한 영상에 대한 그래프와 이진화된 그래프를 디스플레이 한다. 이진영상의 경우 영상검사단계에서 계산된 후에 그려지게 된다.
(4) 사용자가 설정할 수 있는 수치인 기준값과 획득한 영상으로부터 불필요한 좌우측영역을 제거하기 위한 수치를 적용하면 2개의 그래프를 새롭게 그릴 수 있다.
(5) 그래프의 디스플레이과정은 멀티스레드를 통하여 반복실행이 되며, 멀티스레드 내에서 sleep함수의 시간(sleep time)을 2000ms로 설정하여 시간지연을 둔다.

5. 프로그램 구현 및 실험결과

검사프로그램은 Visual C++ 6.0프로그램으로 구현하였으며, 검사프로그램에서 그래프를 이진화하기 위한 문턱치값 T_h와 원래 영상에서 불필요한

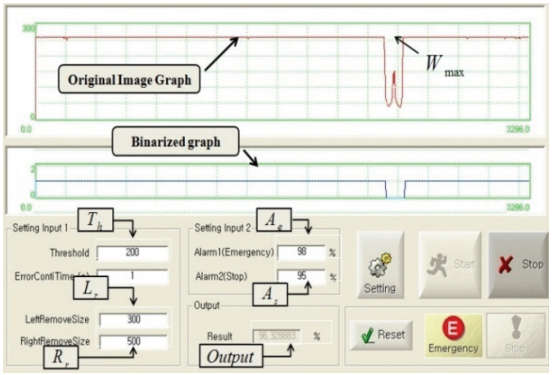

Fig. 7 GUI of yarn process inspection system

좌우측 부분의 길이 L_r 및 R_r, 마지막으로 위급경계값 A_e와 정지경계값 A_s와 같은 값들을 Fig. 7에서 보이는 GUI(Graphic User Interface)를 통하여 설정할 수 있다.

이 GUI는 사용자가 설정하는 수치뿐만 아니라 그래프의 원영상 그래프 및 이진화 된 그래프도 보여주게 된다.

GUI에서 우측 하단의 설정(setting)버튼의 경우 사용자가 설정한 값들을 저장하는 기능을 가진다. 프로그램이 시작되면 자동적으로 영상획득스레드가 실행되어 라인스캔 카메라에서 획득되는 영상이 그래프로 그려지게 된다. 시작(start)버튼을 누르게 되면 본격적으로 영상검사를 시작하게 되어 위급 및 정지의 에러신호를 검출하게 된다.

개발한 검사시스템을 이용하여 실제로 원사공정에 적용하여 만족할 만한 결과를 얻었다. 위급의 상황은 평균 하루에 1~3회의 수준으로 발생하였고, 위급이 발생하면 사용자는 공정기계에 긴급조치를 신속하게 취함으로써, 기계가 모두 정지하게 되는 정지단계까지 가는 상황을 사전에 방지할 수 있었고, 이를 통하여 원사의 손실을 최소한으로 줄일 수 있었다. 정상상태와 에러상태에 대한 결과를 도시하면 일반적인 상태(normal state)인 Fig. 8, 위급상태(emergency state)의 Fig. 9, 정지상태(stop state)의 Fig. 10과 같으며, 위급의 경계값은 98%, 정지의 경계값은 93%로 설정하였다.

Fig. 8은 일반적인 상태(normal state)를 보여주는 것으로, Fig. 9에 결과를 도시하였다.

Fig. 9의 경우 오른쪽의 원사의 틈보다 왼쪽의 원사의 틈이 더 크기 때문에 정상원사의 백분율값이 98.327%로 정지 < 위급 < 결과가 되어 정상상태가 된다.

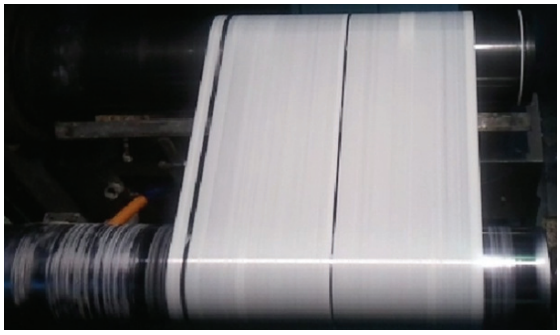

Fig. 8 Normal state of yarn process

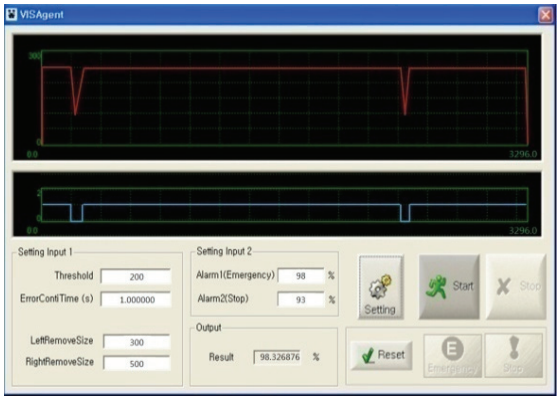

Fig. 9 Result of normal state

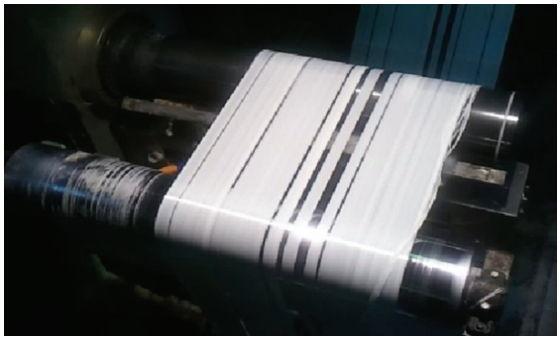

Fig. 10 Emergency state of yarn process

Fig. 10은 위급상태를 보여주는 것으로, 결과에서 나타나는 그래프는 Fig. 11과 같이 보여지게 된다.

Fig. 11의 경우 여러 개의 틈이 있지만, 가장 넓게 벌어진 틈은 그림에서 동그라미에 보이는 틈으로 이것을 에러로 나타내는 정상원사의 백분율값이 94.284%로 정지 < 결과 < 위급이 되어 위급상태가 되어 알람(alarm)을 울림으로써 사용자에게 원사공정의 상태를 알리게 된다.

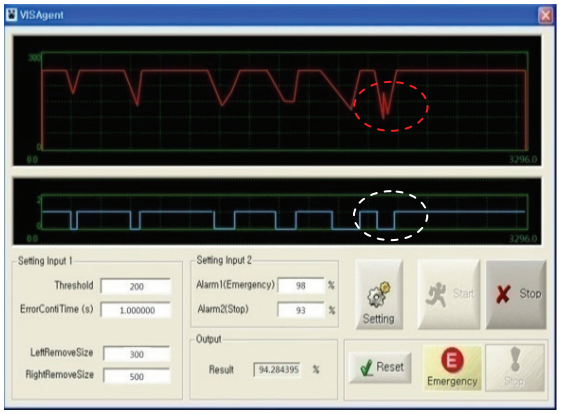

Fig. 11 Result of emergency state

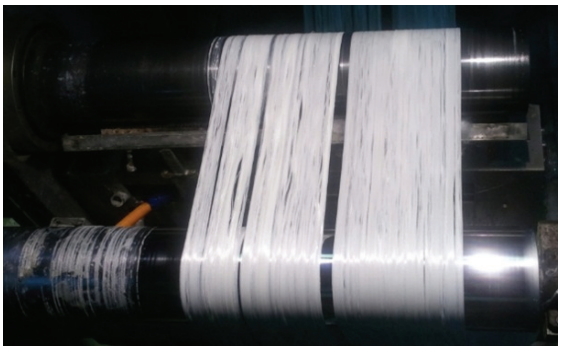

Fig. 12 Stop state of yarn process

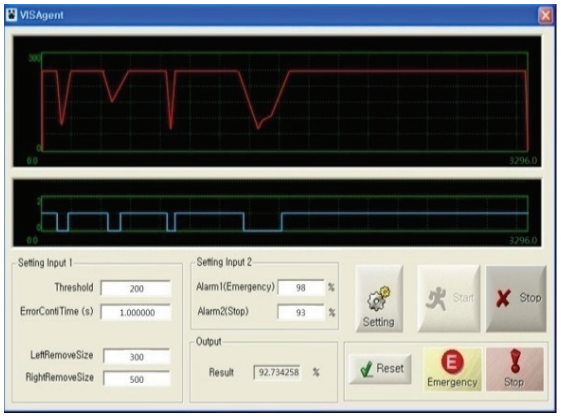

Fig. 13 Result of stop state

Fig. 12의 경우에는 Fig. 10보다 틈이 발생한 곳이 더 적지만, 가장 크게 벌어진 틈의 경우 정지의 설정치인 93%보다 작은 92.734%로서 알람이 울리는 것과 동시에 원사의 공정이 멈추게 되었다. 이에 대한 결과는 Fig. 13에서 보여진다.

Table 1 The result of several situations

	Normal state	Emergency state	Stop state
Setting		98%	93%
Output	98.327%	94.284%	92.734%

각각의 원사상태에 대해서 기준이 되는 설정값과 결과의 값을 정리하면 Table 1과 같고, 각 상태의 설정값에 따라 정확하게 정상, 위급, 정지상태를 표시해줌을 확인하였다.

6. 결론

본 연구에서는 원사공정의 에러상태를 검출하기 위하여 영상처리를 이용한 비전검사시스템을 개발하고 이를 현장에 적용하였다.

이를 위하여 라인스캔 카메라를 사용하여 원사의 상태를 획득하여 영상처리를 거치게 된다. 먼저 획득한 원사의 영상을 그래프로 나타내고, 사용자가 설정한 문턱치값을 기준으로 이진화한 그래프를 그린다. 이 후 그래프에서 원사의 불필요한 좌측과 우측을 제거하고 그래프를 다시 그려주게 되며, 설정된 위급과 정지의 경계값에 따라 원사의 에러를 판별하게 된다.

이러한 검사시스템을 현장에 적용하여, 방적공정에서 나타나는 원사의 엉킴이나 끊어지는 현상을 실시간으로 측정하고 에러를 판정함으로써 원사의 손실을 줄여주고, 또한 하루에 많은 시간을 가동하는 공정기계인만큼 사용자의 피로도를 줄여 생산성을 높이는 효과를 가져왔다. 또한, 생산공장에서는 원사의 에러에 대한 구체적인 측정치를 확보함으로써 에러상황에 대한 합리적이고 계량적인 기준을 세울 수 있었다. 이에 검사시스템을 현장에 적용하여 운용해본 결과로서 위급이 발생하면 사용자는 공정기계에 신속한 조치를 취함으로써 원사의 손실을 최소화 할 수 있었다.

후 기

본 연구은 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

참고문헌

1. Choi, Y. J., “Development of the Strip Off-center Meter Using Line Scan Camera in FM Line,” Journal

of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 11, No. 6, 2005.
2. Park, C. M. and Wang, G. N., "Development of Floating Seal Inspection System Using Line-Scan Camera," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 16, No. 12, pp. 60-70, 1999.
3. Lee, W. J., Moon, J. H., and Kim, S. I., "Development of an Air-Oil Lubrication Characteristics Evaluation System Using a Line Scan Camera," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 495-496, 2008.
4. Baykal, I. C. and Jullien, G. A., "Detection of defects in textures with alignment error for real-time line-scan web inspection systems," The 45th Midwest Symposium on Circuits and System, Vol. 3, pp. 292-295, 2002.
5. Lee, S. N., You, B. J., Lim, M. S., Oh, S. R., Han, S. S., and Lee, S. H., "Visual measurement of pile penetration and rebound movement using a high-speed line-scan camera," Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 4, pp. 4307-4312, 2002.
6. Kim, J. H., Ahn, S., Jeon, J. W., and Byun, J. E., "A high-speed high-resolution vision system for the inspection of TFT LCD," Proc. of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 1, pp. 101-105, 2001.
7. Ryu, G., "The Design of A Image Processing System with Line Image Input," Proc. of ISOCC 2012 Conference, pp. 246-249, 1998.
8. Ryu, G., "A Study on the Real Time Inspection Algorithm of FIC Device in Chip Mounter," Proc. of the 12th KACC, pp. 48-51, 1997.
9. Kang, H. I., Ju, Y. W., and Baek, K. R., "An Implementation of the High Speed Image Processing Board for Contact Image Sensor," Journal of Control, Automation and Systems Engineering , Vol. 5, No. 6, pp. 691-697, 1999
10. Jeong, H. and Choi, H. S., "A Design of Stand-Alone Linescan Camera Framegrabber Based on FPGA," Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol. 8, No. 12, pp. 1036-1040, 2002.