

라인 스캔 카메라를 위한 저가형 시 균일 조명장치 구현

論 文

49D-5-2

Development of a Low-Cost Lighting System for Line-scan Camera

金 洪 甲* · 金 炯 爽**

(Hong-Gab Kim · Hyong-Suk Kim)

Abstract - A low cost lighting system for line-scan cameras has been developed with 3-phase power. When exposure time of line-scan camera is shorter than fluctuation period of illumination, the average gray value of each acquired 1-D image varies. Detecting defects on the objects's surface under such illuminating environment is very difficult. The proposed lighting system is composed of low-cost fluorescent lights based on 3-phase power. The specially designed lighting pack and the properly selected lighting position enable to get the rippleless lighting. The principle of the proposed lighting system has been explained analytically. The lighting system has been tested for fabric inspection with line-scan camera and it's efficacy has been proved.

Key Words : line-scan camera, lighting system, 3-phase power, fluctuation of illumination, fabric inspection

1. 서 론

라인스캔 카메라는 CCD(Charge Coupled Device)소자가 한 줄로 배열되어 있는 구조를 갖는 고해상도의 카메라이다. 이 카메라는 고정된 위치의 직선상을 반복적으로 스캔하여 1차원 영상을 얻을 수 있는 구조로서 물체가 스캔 범위를 통과하는 동안의 영상을 조합하면 물체에 대한 2차원 영상을 얻을 수 있다. CCD 소자의 2차원 배열 구조를 갖는 일반 CCD 카메라에서는 한번의 노출로 2차원 영상을 획득할 수 있다는 점과 비교하면 매우 다른 구조이다. 이 라인스캔 카메라의 장점은 수평 및 수직 축 방향으로 매우 고해상도 영상 획득이 가능하다는 것이다[1]. 현재의 기술로도 라인당 8,000 화소 이상의 해상도를 갖는 카메라가 상용화되었으며 [2] 수직 축 방향으로도 다양하게 해상도의 조절이 가능하다는 점 등 정밀 영상 획득에 유리하여 물체 표면의 정밀 검사용으로 많이 이용되고 있다[3][4][5].

라인스캔 카메라를 이용하여 획득된 1차원 영상은 여러 가지 원인에 의해 불균일한 명암도 분포를 갖는다. 즉, 물체와 렌즈 중심과의 각도, 조리개의 개폐, 검사 대상물의 특성, 조명의 공간적인 불균일에 의해 1차원 영상에 나타나는 불균일한 명암도 분포 등이 그것인데 이것들의 보정에 관해 많은 연구가 있었다[4][5]. 그러나 보정된 1차원 영상이라고 하더라도 조명이 시간적으로 변화할 경우 조합된 2차원 영상에는 명암도의 불균일이 나타날 수 있다. 예를 들면, 60Hz의 상용

주파수를 갖는 일반 형광램프를 조명장치로 이용하는 경우, 라인스캔 카메라의 영상 획득 속도는 형광등이 깜박이는 속도보다 훨씬 빠르기 때문에 얻어진 2차원의 영상에는 밝은 부분과 어두운 부분의 반복적 무늬가 나타난다. 이 영상으로는 대상물의 오류여부를 판단하기 어렵기 때문에 라인스캔 카메라의 영상 획득 속도보다 훨씬 빠른 속도로 점멸하는 고주파 형광램프를 사용함으로써 균일한 영상을 얻는 방법이 개발되었다[6]. 고주파 형광램프를 사용할 경우의 또 다른 장점은 안정기 손실의 감소와 전극 손상감소, 형광물질 특성 개선 및 양광주 효율 증가로 인한 램프의 효율 증대로 에너지 절약 효과가 크다는 점들도 있다[6]. 이 형광램프를 이용한 조명은 자연광에 가까운 조명을 얻을 수 있으므로 물체의 표면 검사에 유리하지만 조도가 낮기 때문에 투과조명이 필요한 응용에는 사용하기 어려우며 매우 고가라는 문제가 있다.

투과 조명이 가능할 만큼의 큰 조도를 얻을 수 있는 방법으로는 할로젠 램프의 이용이 있다[7]. 유리구 내에 옥소를 봉입하면 옥소원소와 텅스텐간에 결합과 분해가 이뤄지는데 이 원리를 응용한 것이 할로젠(Halogen) 전구이다. 할로젠 조명은 수명이 다 할 때까지 색온도의 저하가 없고 효율이 높으며, 수명이 길다는 장점이 있다[8]. 또한 DC전원을 사용하면 광원의 깜박임이 없으며 조도가 매우 크기 때문에 투과조명이 필요한 검사에 적합하다. 그러나 할로젠 램프를 라인스캔 카메라용 조명으로 이용하기 위해서는 일직선상에 균일한 조도의 조명을 만들어야 하는 어려움이 있다. 현재는 광파이버를 이용해서 균일화된 조명 시스템을 구성하고 있으나 고가일 뿐 아니라 직물과 같이 폭이 넓은 물체 검사에 적합한 할로젠 조명 시스템 개발에는 기술적으로 어려움이 있다.

본 연구에서는 3상 전원의 특성과 광원 위치의 기하학적

* 正 會 員 : (株)웬컴소프트 研究員

** 正 會 員 : 全 北 大 電 子 情 報 工 學 部 副 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 1999年 8月 6日

最 終 完 了 : 2000年 4月 18日

특성을 이용하여 조명의 시간적 변화를 상쇄시킴으로써 일반 형광등 만으로도 직류성 조명을 얻는 장치를 개발하였다. 또한 다수의 형광램프를 사용하여 얻은 높은 조명을 이용하여 직물 검사장치의 투과조명을 가능케하는 저가의 라인스캔용 조명장치 구성 방법을 제안하고 직물 검사에 적용하여 그 효과를 확인하였다.

2. 단상 교류 전원을 이용한 조명에서 조도 변화

단상 교류 전원을 이용한 조명에서 수직으로 조사된 검사체 표면의 조도(Illumination)는 식(1)과 같이 거리의 제곱에 반비례하고 전류의 순시값에 비례하여 1Hz마다 2회 맥동한다[9].

$$E_h = \frac{a(1 + \beta \cos 2\omega t)}{\ell^2} = \frac{k}{\ell^2} \cos^2 \omega t + c \quad (1)$$

단, $k = 2a\beta$, $c = \frac{a}{\ell^2}(1 - \beta)$

여기서, ℓ 은 광원에서 검사물까지 거리, ω 는 120π , k 는 상수이며 c 는 형광체의 잔광성 등에 의해 나타나는 직류성분을 나타낸다.

이러한 조도의 시간적 변화가 발생할 때, 조도 변화 주기보다 빠른 노출시간을 가진 라인스캔 카메라로 영상을 획득하면 검사체 표면의 무늬와 관계없이 밝은 부분과 어두운 부분이 반복적으로 나타나게 된다. 그림1은 단상 교류를 이용한 형광램프 조명을 사용하고 4000 lines/sec의 속도를 갖는 라인스캔 카메라로 이동하지 않는 직물의 영상을 획득하였을 때 특정화소 위치에 대한 명암도의 시간적 변화를 보여준다. 그림 1에서 화소값은 광의 산란 및 low pass filtering 효과 등에 의해 정확하게 식(1)과 일치하지 않지만 시간에 따른 명암도 변화가 식(1)의 조도 변화 주기와 유사함을 볼 수 있다. 이렇게 조도의 변화에 의해 시간적으로 변화하는 명암도 분포를 갖는 영상으로는 검사체 표면에 나타나는 흠을 발견하기 어려우므로 라인스캔 카메라를 이용한 시각 검사에서는

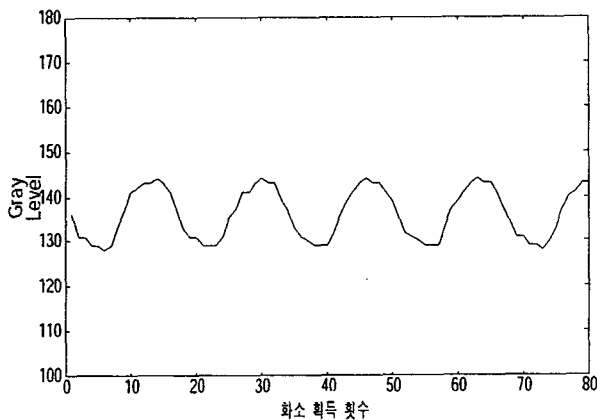


그림 1 단상 형광등 조명을 사용할 경우 특정화소위치에서의 명암도 변화

Fig. 1 Gray level variation on a specific pixel position with fluorescent light of single phase

시간적으로 균일한 조도를 유지시켜주는 시균일 조명장치가 필요하다.

3. 3상 교류 전원을 이용한 시균일 조명장치

3.1 3상 조명하에서의 합성 조도

3상 전원의 각 상은 크기가 같고 120°의 위상차를 가지므로 각 상에 형광등을 연결하여 동일 위치에 설치하면 이들의 합성조도는 시간적으로 균일한 직류값을 갖게 된다. 그러나 광원을 동시에 동일 위치에 놓을 수는 없으므로 그림2와 같이 수평거리가 d 인 광원 배치가 된다. 이 경우 광원 S2는 검사면에 수직으로 조명할 수 있는 반면 광원 S1과 S3는 검사면에 사각으로 조명을 하게되며 사각으로 조명하는 광원들에 의한 조도는 중앙의 광원에 의한 조도에 비해 작게된다. 광원을 그림2와 같이 배치할 경우, 각 광원에 a,b,c상의 전력이 인가되면 검사점 P에서 세 광원에 의한 합성 수평면 조도 E_h 는 식(2)와 같다.

$$E_h = \frac{k}{r^2} \left(\frac{\sqrt{r^2 - d^2}}{r} \cos^2(\omega t + 2\pi/3) + \cos^2 \omega t + \frac{\sqrt{r^2 - d^2}}{r} \cos^2(\omega t - 2\pi/3) \right) + c' \quad (2)$$

여기서 c' 는 시간에 관계없는 상수값이며 가운데의 항은 중앙에 위치한 형광등에 의한 조도이고 다른 두 항은 양 옆의 형광등에 의한 조도이다.

합성조도가 시간적으로 균일하게 되는 조건은 식(2)에서의 3 항의 계수가 동일해야 하는데 가운데 항의 계수가 다른 두 항의 계수에 비해 크므로 중앙 광원의 광도 변화 주기에 해당하는 조도 변동이 발생한다. 만약 중앙에 위치한 광원 S2를 그림2와 같이 검사면에 수직 방향으로 멀어지게 함으로써 중앙에 위치한 광원의 영향을 줄인다면 P점에서의 조도를 균일하게 유지시킬 수 있을 것이다. 그러나 여러 개의 광원을 각 상에 연결하여 사용하는 경우 광원마다 거리를 달리하는 광원팩을 만들어야하는 어려움이 있다.

3.2 3상 조명의 시 균일화

본 연구에서는 광원팩 전체를 이동시켜 검사점 간의 거리 조절을 함으로써 시간적으로 변동하지 않는 조도를 얻는 방법을 제안하였다. 이를 위하여 형광등을 그림 3과 같이 반경이 r 이고 중심이 P'인 동심원상에 설치하고 3상 전원의 각 상을 연결한 광원팩을 구성하였다. 이때 검사점을 P'에 위치시키면 그림 1에서와 같은 조도의 불균형이 발생하지만 P'점으로부터 위로 ℓ 만큼의 위치에는 합성조도가 균일하게 되는 위치점 P가 항상 존재한다는 점을 발견하였으며 이를 이용하여 검사점의 위치 조절만으로 시균일 조도를 얻는 방법을 제안하였다.

그림 3에서 검사점을 ℓ 만큼 위로 이동시키면 검사점 P에서 중앙 광원 S2까지의 거리가 다른 두 광원에 비해 멀게되는 효과가 있다. 즉, 광원 S1과 S3로부터 검사점까지의 거리

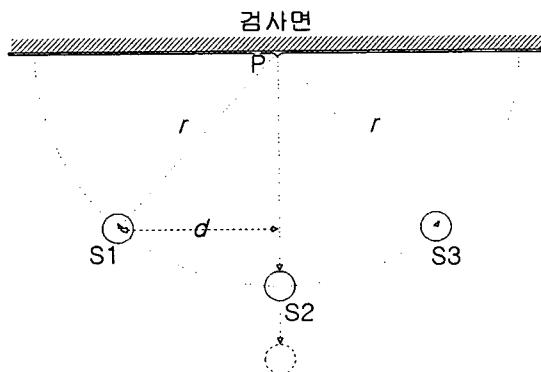


그림 2 3상 전원을 이용한 조명
Fig. 2 Lighting with 3-phase power

를 L 이라 하면 S1과 S3는 반지름 L 로 하는 원주상에 있게 되며(점선으로 된 원), 중앙의 광원 S2까지의 거리는 $L + \Delta L$ 로서 다른 광원에 비해 ΔL 만큼 멀어지게 된다. 결과적으로 중앙 광원에 의한 조도는 ℓ 을 조절함으로써 감소시킬 수 있게 되어 다른 광원에 의한 조도와 균형을 맞출 수 있게 된다.

광원의 중심 P'가 P로부터 ℓ 의 거리에 있을 때 검사점 P의 합성 조도 E_h 는

$$E_h = \frac{I}{L^2} \cos^2(\omega t + 2\pi/3) \cos \theta + \frac{I}{(\ell + r)^2} \cos^2 \omega t + \frac{I}{L^2} \cos^2(\omega t - 2\pi/3) \cos \theta + c' \quad (3)$$

가 된다. 여기서 I 는 각 광원의 밝기이며

$$L^2 = d^2 + (\ell + r \cos \phi)^2, \quad \cos \theta = \frac{\ell + r \cos \phi}{L}, \quad \cos \phi = \frac{\sqrt{r^2 - d^2}}{r} \quad (4)$$

이다. 식(3)을 정리하면

$$E_h = \left(\frac{I \cos \theta}{2L^2} + \frac{I}{(\ell + r)^2} \right) \cos^2 \omega t + \left(\frac{3I}{2L^2} \cos \theta \right) \sin^2 \omega t + c' \quad (5)$$

가 된다. 식(4)에서 $\sin^2 \omega t$ 와 $\cos^2 \omega t$ 의 계수가 같으면 E_h 는 시간에 무관하게 일정한 값이 된다. 즉,

$$\frac{I \cos \theta}{2L^2} + \frac{I}{(\ell + r)^2} = \frac{3I \cos \theta}{2L^2} \quad (6)$$

의 관계식을 얻게 되며 이 식을 정리하면

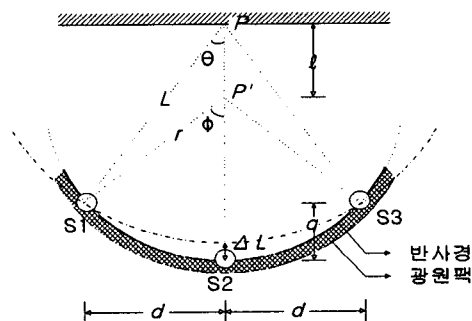


그림 3 광원팩과 검사점 간의 거리조정
Fig. 3 Adjustment of distance between light pack and inspection point

$$\frac{1}{(\ell + r)^2} - \frac{\cos \theta}{d^2 + (\ell + r \cos \phi)^2} = 0 \quad (7)$$

이 된다. 여기에 식(4)를 대입하면

$$\{(\ell + a)^2 + d^2\}^{3/2} - (\ell + a)(\ell + r)^2 = 0 \quad (8)$$

이 되며 이 때 $a = \sqrt{r^2 - d^2}$ 이다.

식(8)의 좌변을 $f(\ell)$ 이라 하면 $f(\ell)$ 은 $\ell = 0$ 에서 0보다 크며, $\ell > 0$ 인 구간에서 항상 단조 감소하게 되어 $f(\ell) = 0$ 인 해 ℓ 가 반드시 존재한다.

ℓ 의 해가 존재한다는 것은 조도의 크기가 시간적으로 불변하는 위치가 존재함을 의미한다. 그림 4는 다양한 r 과 d 값에서 모든 그래프가 항상 양의 값으로부터 시작하여 $f(\ell) = 0$ 되는 선을 통과함을 보이고 있으며 이때의 ℓ 값들이 각 경우의 해가 된다.

4. 실험

제안한 조명장치의 효율성을 확인하기 위해 라인스캔 카메라를 이용한 직물 오류 검사시의 조명장치로 사용하여 시험

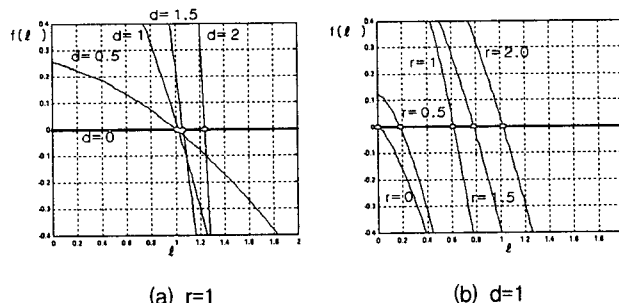


그림 4 r과 d의 변화에 따른 $f(\ell)$
Fig. 4 Illustration of $f(\ell)$ with the change of r and d

하였다. 조명장치의 설치위치는 검사 전에 ℓ 의 크기를 조절 하면서 라인스캔 카메라로 얻어진 영상의 명암도 변화 정도를 검출한 후 영상 변화가 가장 작은 지점을 찾는 방법을 사용하였다. 이 실험을 위해 사용한 라인스캔 카메라는 EG&G사의 LC1902이며 MCLK 10MHz, LT 2500에서 동작하게 하였다. 3상 전원을 이용한 조명장치는 직물에 대해 투과조명으로 사용되었으며 광원은 20W 형광램프를 각 상에 1개씩 사용하였다.

4.1 시균일 조도를 갖는 검사점 선정

제안한 형광등 조명장치를 제작한 후, 시 균일 조도를 갖는 검사점의 위치를 찾기 위해 검사점과 형광램프와의 거리를 변화시키며 영상을 획득한 후 영상에 나타나는 화소값의 변화를 관찰하였다. 이 때, 직물은 이동되지 않는 상태에서 라인스캔 카메라가 동일 위치를 스캔하여 영상을 획득하게 하였다. 그림 5는 그림 3에서 d가 12cm, r이 18cm일 때, ℓ 의 크기에 따른 직물 영상의 명암도 변화를 나타낸다. 그림 3에서 직물 영상에 나타나는 명암도 변화는 ℓ 이 9cm일 때 가장 작게 나타나므로 ℓ 이 9cm인 위치를 시균일 조도를 갖는 검사점으로 선정한다.

4.2 제안한 시균일 조명장치를 사용한 직물 오류 검출

제안한 시균일 조명장치를 사용하여 직물의 오류 검출에 이용할 수 있는지를 확인하였다. 그림 6의 (a)와 (b)는 오류가 없는 직물에 대해 각각 단상 전원과 제안한 조명장치 하에서 라인스캔카메라를 이용하여 20회 스캔하였을 때 얻은 1차원 영상들이다. 가로축은 화소를 나타내고 세로축은 해당 화소의 명암도(Gray level)를 나타낸다. 그림 6은 20개의 1차원 영상을 겹쳐 그렸기 때문에 띠 모양으로 보여지게 되는

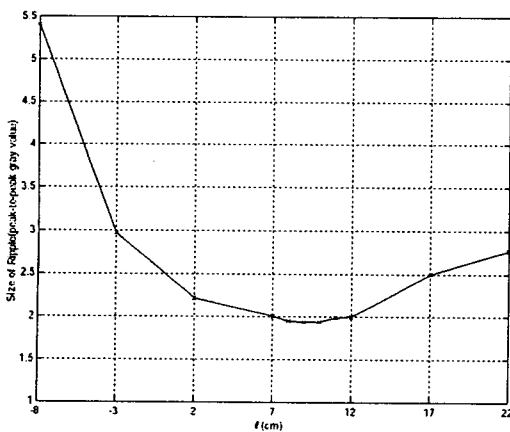


그림 5 광원팩의 위치에 따른 같은 점에 대한 화소값의 변화량 (r=18cm, d=12cm)

Fig. 5 Change of gray value of a point about positions of lighting pack

데 조도의 변화가 없을 경우는 항상 화소 값이 일정할 것이므로 얇은 선으로 나타나고 조도의 변화가 크면 두꺼워진다. 단상 전원 조명장치를 사용하여 획득한 1차원 영상들은 획득된 시간에 따라 심한 조도의 변화를 나타내는 반면 제안한 조명장치를 사용한 영상에서는 조도의 시간적 변화가 현저히 줄었음을 볼 수 있다.

그림 7은 라인스캔 카메라를 이용하여 오류가 있는 직물에 대한 영상을 얻을 때 조명의 영향을 보여준다. 실험은 직물의 오류 중 가장 빈번하게 나타나는 경사 올 겹침, 경사 올 빠짐, 오염 등의 오류가 포함된 직물을 대상으로 하였다. 그림 7의 (a),(b),(c)는 경사 올 겹침, 경사 올 빠짐, 오염 등의 오류가 있는 직물에 대해 단상 전원 조명하에서 고정된 위치의 영상들을 도시한 것이며, (a'),(b'),(c')는 제안한 전원 장치를 이용했을 때의 결과이다. 이 때 라인스캔 카메라는 동일 위치를 20회 반복 스캔하여 영상화 하였다.

직물 오류 검출은 화소 값의 최소 값과 최대 값을 정하여 이 범위를 벗어나는 위치를 오류의 위치로 결정한다. 이 최대 값과 최소 값을 각각 상하 축의 기준값이라고 한다. 여기서 상측과 하측 기준 값은 오류가 없는 위치에서 장시간 동안 얻은 화소값들 중에서 각각 최대값과 최소값으로 정한다.

그림 7(a)와 (a')는 직물의 경사 올 겹침 검사의 예인데 띠 모양의 상하에 보여지는 두 개의 가로선들은 오류 검출을 위한 상하측 기준값을 가리킨다. 그림에서 올이 겹쳐있는 위

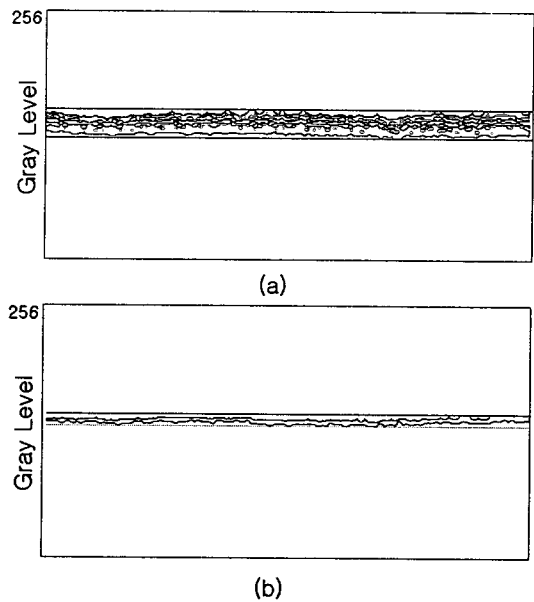


그림 6 두 조명장치 사용시의 정상 직물에서의 영상변화 비교

- (a) 단상 형광등 사용시
- (b) 제안한 시균일 조명장치 사용시

Fig. 6 Comparison of image variations on normal fabric when two different lighting systems are used.

- (a) with single phase fluorescent light
- (b) with the proposed rippleless lighting system

치의 화소 값은 D 위치와 같이 다른 위치에 비해 어둡게 보이게 된다. 그림 7(a)는 단상 조명의 경우인데 그림에서와 같은 하측 기준선을 사용하면 조명이 어두운 시점에는 D 위치의 화소 값이 기준선 이하가 되므로 오류로 검출될 수 있으나 조명이 밝은 시점에는 기준선 보다 높게 되므로 오류 위치를 검출하지 못한다. 이와 같이 단상 조명의 경우는 검사 시점에 따라 오류가 검출되는 경우와 검출되지 않는 경우가 발생한다. 그림 7(a')는 제안한 조명장치를 사용한 오류 검출 결과인데 조명 변화가 없기 때문에 얇은 선으로 나타난다. 그림에서 보이는 하측 기준선은 검사 시점에 무관하게 오류 위치 D를 검출할 수 있음을 보여준다.

그림 7(b)와 (b')는 직물의 경사 올 빠짐의 검사 실험이

다. 경사 올 빠짐은 직물의 경사방향이 올이 빠져 있기 때문에 투과 조명시 오류 위치가 다른 위치에 비해 밝게 나타난다. 이 경우에는 상측 기준선에 의해 오류를 검출해야하는데, 단상 전원을 사용한 경우 그림 7(b)와 같이 상측 기준선을 설정하면, 어두운 조명상태에서 얻은 영상은 띠의 하측에 도시되므로 오류가 검출되지 않는다. 반면 제안한 조명장치를 사용하면 그림 7(b')처럼 영상 띠가 얇게 되어 오류 위치 D에서는 항상 상측 기준선을 넘는 화소 값들이 나타나므로 오류로 검출된다.

그림 7(c)와 (c')는 오염에 대한 검사 실험이다. 오염은 직물에 이물질이 묻는 경우인데 일반적으로 다른 위치보다 낮은 화소 값들이 나타난다. 오염과 같이 오류에 의한 영상

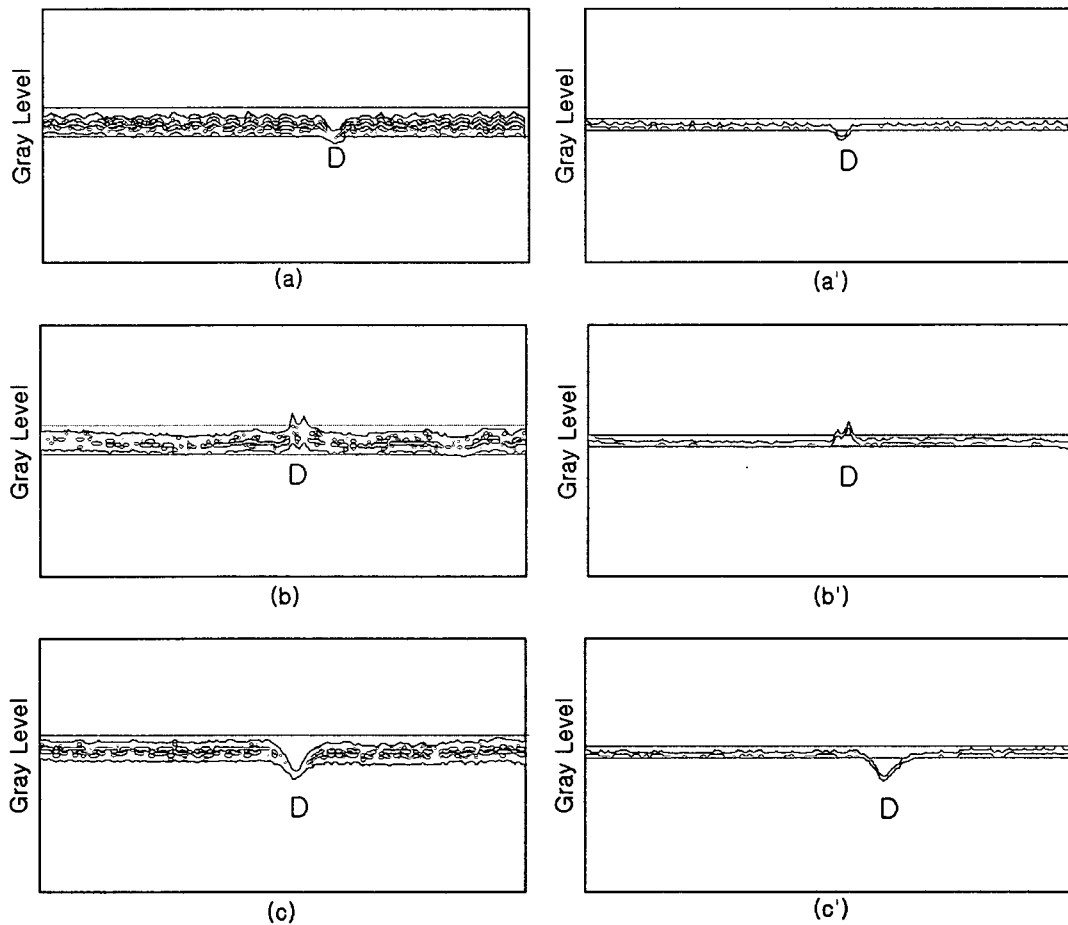


그림 7 오류가 포함된 직물의 1차원 영상에서 영상의 변화 비교

- (a) 경사 올 겹침(단상 형광등 사용시) (a') 경사 올 겹침(제안한 시균일 조명장치 사용시)
- (b) 경사 올 빠짐(단상 형광등 사용시) (b') 경사 올 빠짐(제안한 시균일 조명장치 사용시)
- (c) 오염(단상 형광등 사용시) (c') 오염(제안한 시균일 조명장치 사용시)

Fig. 7 Change of gray values on the fabric

- (a) longitudinal thread overlap (with the single phase fluorescent light)
- (a') longitudinal thread overlap (with the proposed rippleless lighting system)
- (b) longitudinal thread missing (with the single phase fluorescent light)
- (b') longitudinal thread missing (with the proposed rippleless lighting system)
- (c) stain (with the single phase fluorescent light)
- (c') stain (with the proposed rippleless lighting system)

의 변화가 매우 심하면 그림 7(c) 나 (c')와 같이 단상 전원 및 제안한 조명장치 모두에서 항상 오류로 검출된다. 이 경우에도 제안한 조명장치를 사용한 그림 7(c')가 단상 전원을 사용한 (c)에 비해 오류 값이 검사 기준선보다 현저하게 낮게되므로 보다 안전하게 오류를 검사할 수 있음을 알 수 있다.

7. 결 론

라인스캔 카메라를 이용하여 영상을 획득할 때 발생하는 줄무늬형 잡음이 없는 저가의 라인스캔용 조명장치를 개발하였다. 개발한 라인스캔 카메라용 조명장치는 3상 전원의 특성과 광원 위치의 기하학적 특성을 이용하여 시간적 조명 변화를 상쇄함으로써 직류성 조명을 얻을 뿐 아니라 다수의 형광램프를 사용할 수 있게 함으로써 검사 장치의 투과 조명을 가능케한다. 제안한 3상 전원을 이용한 라인스캔용 조명장치를 고속 직물 검사에 적용하여 단상 전원용 조명장치 사용시 나타나는 영상의 명암도 불균일 문제를 해결하였으며, 단상 전원을 이용한 조명장치로는 검출할 수 없었던 직물의 오류를 검출할 수 있음을 보임으로써 라인스캔 카메라용 저가의 조명장치로 활용할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정 전라북도 지원 우수 지역협력연구센터인 전북대학교 메카트로닉스 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] R. Horaud, R. Mohr, and B. Lorecki, "On Single-scanline Camera Calibration", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 9, No. 1, Feb. 1993.
- [2] EG&G Inc, RETICON User's Manual: Modular Line Scan Camera, 1997.
- [3] 김기승, 김준철, 이준환, "빠른 영상 처리 기법을 이용한 직물 검사", 전자공학회논문지, 제35권 S편 제4호, pp. 76-84, 1998. 4.
- [4] 류경, 김경민, 박귀태, "라인스캔 카메라 인터페이스를 갖는 실시간 영상 전처리 시스템의 설계", 제어·자동화·시스템공학논문지, 제3권, 제6호, pp.629-625, 1997. 12.
- [5] 장동식, 이만희, 부창완, "라인스캔 카메라를 이용한 검사 시스템에서의 새로운 영상 처리 알고리즘", 제어·자동화·시스템공학논문지, 제3권 제4호, pp.406-414, 1997. 8.
- [6] 지철근, 장우진, "고주파 점등 형광램프의 비선형 저항 모델에 관한 연구," 조명·전기설비 학회지, 제1권 제2호, pp.173-180, 1987년 12월.
- [7] J. R. Coaton and A. M. Marsden, Lamps and Lighting, John Wiley & Sons, Inc., 1997, pp.177-193,
- [8] 이안소, "할로겐 전구의 현황 및 전망", 조명·전기설비 학회지, 제2권, 제1호, pp. 32-38, 1988.
- [9] 백관현, 서장수, 오성근, 이현수 "전기응용," 도서출판 광명, 1998.

저 자 소 개



김 홍 갑 (金 洪 甲)
1973년 12월 14일 생. 1997년 전북대 제어계측공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(工碩). 1999년~현재 (주)웰컴소프트 연구원
Tel : 02-2062-3000, Fax : 02-2062-3003
E-mail : hgkim@wellcom.co.kr



김 형 석 (金 炯 奭)
1956년 1월 21일 생. 1980년 한양대 전자공학과 졸업. 1982년 전북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 Dept. of Electrical and Computer Eng., University of Missouri, Columbia (Ph.D.). 1982년~1993년 국방과학연구소 선임연구원. 현재 전북대 전자정보공학부 부교수. 관심분야는 신경회로망모델 개발, VLSI에 의한 신경회로망 하드웨어 구현, 로봇비전 및 무인헬기 원격제어 등
Tel : 0652-270-2477, Fax : 0652-270-2451
E-mail : hskim@moak.chonbuk.ac.kr