

## 주변마스크와 대칭변환 알고리즘을 이용한 그라비아 인쇄 불량 검사시스템

### A Visual Inspection System for Gravure Printing Using Perimetric Mask and Symmetry Transform Algorithm

이 칠 우\*, 김 만 진, 기 명 석  
(Chil-Woo Lee, Man-Jin Kim, and Myung-Souk Ki)

**Abstract** : In Gravure printing process, there are a lot of printing errors caused by expansion and contraction of printing materials and difficulty of printing of small letters, accordingly we cannot detect those errors with eyes. In this paper, we describe the algorithm which can detect small errors automatically in Gravure printing process and a real-time detection system adopting the algorithm. We present the Perimetric Mask algorithm that can eliminate tiny errors occurring near the contour of printing objects to achieve accurate inspection, and also construct an algorithm utilizing symmetry transform which can emphasize tiny errors to make a robust inspection system. We have made a system running in real-time and verified the efficiency of the algorithm.

**Keywords** : perimetric mask, symmetry transform, visual inspection, gravure printing, correlation, real-time

#### I. 서론

제품의 제조 공정에서는 해당 제품에 대한 중요한 정보를 기록하거나 품질향상, 운송 및 보관을 위해 많은 인쇄 작업이 필요하게 된다. 만일 인쇄 작업 중 불량이 발생한다면 제품 자체가 쓸모없게 되어 경제적 손실을 초래할 뿐만 아니라 사용자에게 치명적인 안전사고를 일으킬 가능성이 있어 인쇄불량 검사는 제조과정에서 매우 중요한 공정 중 하나이다. 종래의 인쇄불량 검사는 숙련된 노동자가 한정된 샘플에 대해 직접 눈으로 검사를 한 경우가 많았으나 근래에 들어 각종 제품들이 소형화되고 대량 생산됨에 따라 육안으로 불량을 검사하는 것은 거의 불가능하게 되었으며 생산의 효율성과 품질관리 목표를 달성하기 위해 검사 자동화가 꼭 필요하게 되었다.

고속으로 대량의 인쇄를 할 경우 인쇄 분야에서는 그라비아(Gravure) 인쇄 기법이 널리 활용되고 있다. 이 기법은 실린더 형태의 동판을 부식시켜 오목한 형상을 만들고 거기에 잉크를 묻혀 인쇄 원단에 압착시키는 방법으로 인쇄하는 기법을 말한다. 이 방법은 사진 현상과 부식 기술에 의해 인쇄원판을 만들기 때문에 인쇄품질이 정교하고 제작이 간단하며 고속주행이 가능하여 대용량의 인쇄에 매우 적합한 방법이다. 그러나 이 과정에서 발생하는 인쇄 오류는 매우 까다로워서 검사공정을 자동화 하기는 매우 어렵다.

자동 인쇄불량 검사를 비롯한 각종 자동화 시스템 제작

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2002. 12. 13., 채택확정 : 2003. 7. 10.

이칠우, 김만진 : 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과

(leecw@chonnam.ac.kr/mjkim@image.chonnam.ac.kr)

기명석 : 한국정보통신 연구원 무선방송연구소(serdong@hanafos.com)

※ 본 논문은 한국과학재단지정 전남대학교 “고품질 전기전자 부품 및 시스템 연구센터”에서 지원하여 연구하였음.

을 위해 영상처리 기술이 많이 활용되고 있다[11]. 그러나 영상처리 전용장비는 가격이 비싸서 일반적으로 대기업을 제외하고는 중소기업의 제조공정에 도입하기가 어려운 경향이 있다. 하지만 근래에 들어 컴퓨터기술의 급속한 발달에 힘입어 개인용 컴퓨터와 저가의 영상 보드만을 이용한 시각검사 시스템 제작이 가능하게 되었으며 국내에서도 이를 응용하여 영상 검사 시스템의 개발과 응용에 대한 각종 연구가 활발히 진행되고 있다[11]. 본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 극소형의 전자부품, 또는 신축성 물체, 예를 들어 비닐, 옷감 등의 그라비아 인쇄공정에서 일어날 수 있는 미세 인쇄불량을 영상처리 기술을 기반으로 자동으로 판정하는 알고리즘과 개인용 컴퓨터를 이용한 염가의 자동 검사 시스템 제작에 관해 기술한다. 그라비아 인쇄의 경우는 인쇄문자의 크기가 매우 작아서 육안으로는 거의 분간이 어려울 뿐만 아니라 고속으로 인쇄가 이루어지기 때문에 자동검사 시스템 제작에 많은 어려움이 따른다. 특히 옷감이나 비닐과 같이 연속적으로 고속 주행하는 인쇄물의 경우 카메라 영상과 인쇄물간에 동기를 맞추기가 거의 불가능하며, 재료의 특성상 압출시의 장력이나 주위의 온도 등에 의해 재료가 늘어나거나 줄어드는 경우가 빈번하여 더욱 불량검사가 어렵게 된다.

그라비아 인쇄기를 이용하여 신축성을 가진 물체에 인쇄를 할 때나 매우 작은 크기의 문자를 인쇄할 경우 매번 얻어지는 인쇄결과는 다르다. 기계의 진동, 잉크의 상태, 주변 온도, 원단에 걸리는 장력 등의 변수에 의해 인쇄 상태가 미묘하게 변하므로 인쇄 상태를 자동으로 검사하기란 매우 어려운 일이다. 미묘한 변화는 주로 인쇄객체(문자나 문양)의 외곽 경계부분의 인쇄 품질에 영향을 미치며 이로 인해 오판정이 일어날 가능성이 매우 높아지게 된다. 본 논문에서는 이런 점을 감안하여 인쇄객체의 외곽 경계부분에서 일어나는 미세 변화를 제거할 수 있는 주변마스크 알

고리즘을 제안하였고, 또 미세한 오류를 강조하여 인쇄불량을 판정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘의 특징은 간단한 마스크 원리를 이용하여 불량검사가 이루어지기 때문에 제작이 간단하고 처리속도가 매우 빠르며, 안정된 인식결과를 얻을 수 있다는 점이다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되었다. 2장에서는 그라비아 인쇄과정에서 발생할 수 있는 일반적인 불량 형태에 대해 기술하고 3장에서는 상관관계를 이용한 인쇄불량 검사의 원리와 이를 개량한 주변 마스크 알고리즘에 대해, 4장에서는 미세오류의 강조를 위해 적용된 대칭변환 알고리즘에 대해 설명한다. 5장에서는 고안된 알고리즘에 대한 고찰과 앞으로의 연구 방향등에 대해 설명하고 결론을 맺는다.

**II. 그라비아 인쇄 불량 종류**

제품의 표면, 또는 포장지에는 제품명, 제조회사, 제조날짜, 사용방법 등을 나타내는 매우 중요한 정보가 인쇄되어 있다. 특히 전자 부품의 경우 사용온도, 정격전압 등과 같은 정보는 안전하고 정확한 사용을 위해 매우 중요하며 제품의 신뢰도 향상을 위해서 반드시 엄격한 품질관리가 이루어져야 한다. 그러나 부품이 차츰 소형화되고 다품종화되어가면서 표시 문자의 크기가 작아지고 다양한 인쇄요구가 등장하면서 인쇄불량을 검사하는 과정은 점점 어려워지고 있다.

인쇄공장에서의 경험을 바탕으로 그라비아 인쇄과정에서 발생할 수 있는 인쇄불량의 원인을 분석하여 보면 크게 다음의 세 가지로 나누어볼 수 있다. 첫째, 불량한 원단(대표적인 원단으로는 비닐, 종이, 천, 각종 염화수지, 가죽 등이 있음)에 의해 발생한 인쇄불량으로 원단 표면의 왜곡, 오염 등의 결함이 인쇄에 영향을 미쳐 불량을 발생시키는 경우이다. 둘째 기계, 기구에 의해 발생하는 불량으로 이것은 인쇄하는 기계나 사용하는 기구, 즉 인쇄 실린더, 독타 나이프(duct knife) 등의 결함에 의해 발생하는 경우이다. 마지막으로 세 번째는 작업 방법이나 주위 환경에 의한 불량으로 인쇄 작업 시 작업자의 불합리한 조치, 무리한 작업, 온도변화 등 계절 및 주변 환경에 따라 작업 상황이 원만치 못할 때 결함이 발생하는 경우이다. 주로 대부분의 불량이 두 번째의 원인에 기인하지만 동일한 잉크 묻음 불량이라도 어떤 요인의 영향을 받았는지에 따라 불량 형태와 성격이 달라지게 되기 때문에 이러한 것들을 모두 단순한 작용으로만 해석하기에는 무리가 따른다.

그림 1은 염화비닐 튜브를 원단으로 사용하여 그라비아 인쇄과정에서 발생할 수 있는 대표적인 불량들을 나타내었다. 이러한 불량들은 비단 염화비닐 튜브뿐만 아니라 대부분의 인쇄물에서 발생하는 일반적인 불량들이다. 그 내용을 간단히 정리하면 표1과 같다.

그라비아 인쇄는 대개의 경우 고속으로 인쇄가 이루어지기 때문에 그림 1의 인쇄 불량들은 육안으로 검사하기가 거의 불가능하다. 또 결함이 인쇄과정에서 복합적으로 발생하기 때문에 단순한 자동화 과정을 거쳐 이를 제거하기도 매우 어려운 실정이다. 본 논문에서는 매우 간단한 알고

표 1. 오류의 종류.

Table 1. The kinds of the errors.

오류 종류	오류 내용
막힘	잉크과다로 인하여 원 형태의 글씨 중심이 막히는 현상
번짐	잉크과다, 또는 강한 압력으로 잉크가 번지는 현상
독타출	duct knife에 생긴 홈으로 인해 가느다란 선이 생기는 현상
탈락	잉크가 묻지 않아 글씨의 일부가 탈락되는 현상
흐림	잉크부족 또는 인쇄 평판의 과건조로 인하여 글씨 전체가 흐릿한 현상
묻음	잉크를 제거하는 기구의 조정불량, 또는 마모로 원단 전체에 잉크줄이 생기는 현상

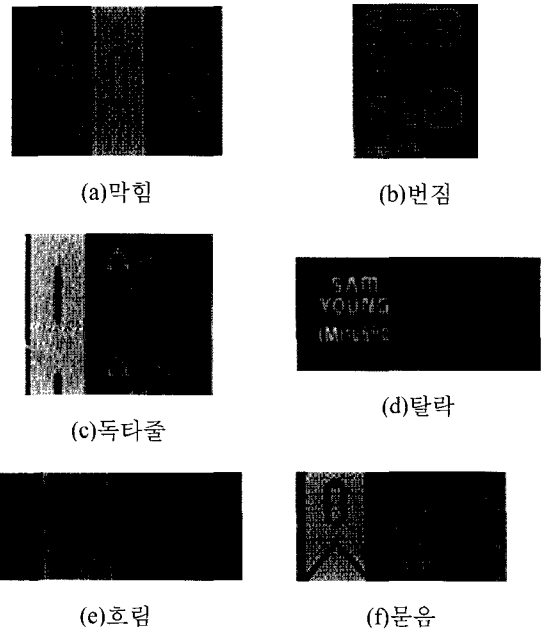


그림 1. 그라비아 인쇄시 발생하는 대표적 인쇄 불량.  
Fig. 1. General printing errors caused in Gravure printing.

리즘을 이용하여 정상모델과 입력영상을 비교하고 주변의 오류를 제거함으로써 불량을 손쉽게 제거할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

**III. 주변마스크를 이용한 인쇄불량 검사**

1. 정규화 상관

영상처리 기술을 이용하여 인쇄불량을 검사하기 위해 많은 경우 정상 인쇄물(모델영상)과 검사 인쇄물(입력영상)을 비교하여 어떤 차이가 정해진 값 이상으로 발생하면 불량품으로, 그 반대의 경우는 양품으로 판정하는 방법을 사용한다. 이 방법은 영상처리에 있어서 주어진 패턴을 인식하는 가장 초보적인 기술로 구체적으로는 두 영상(모델영상과 입력영상) 간의 상관 관계를 이용하는 경우가 많다.

상관이란 두 영상이 어느 정도 서로 유사한지를 나타내는 척도로 그 값은 (1)과 같이 두 영상을 중첩(convolution)시켜서 근사적으로 구할 수 있다[2].

$$c(s, t) = \sum_x \sum_y f(x, y)w(x-s, y-t) \quad (1)$$

위 식에서  $f(x, y)$ 는 크기가  $M \times N$ 인 배경 영상을  $w(x, y)$ 는 크기가  $J \times K$ 인 부분 영상을 각각 나타내며 대개의 경우  $J \leq M, K \leq N$ 의 관계가 성립한다. (1)의 구현 원리를 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

$f(x, y)$  내부에 있는 임의의 점  $(s, t)$ 를 중심으로 (1)를 적용시키면 두 영상간의 상관정도를 간단히 계산할 수 있다. 이 때  $c(s, t)$ 의 최대값은  $w(x, y)$ 가  $f(x, y)$ 에 가장 잘 일치되는 곳에서 얻어지며 그 크기는 서로 닮은 정도와 비례하게 된다. 그러나 (1)과 같은 단순 상관은 영상에서의 밝은 화소들이 작은 영역에서 상관값에 심한 영향을 줄 수 있으며  $f(x, y)$ 의 에지 근방에서는 정확성을 잃게 된다[4][9]. 따라서, 본 논문에서는 매칭될 형판(matching template)의 크기와 균일한 밝기 변화에 덜 민감한 정규화 상관을 사용하였다.

정규 상관 관계는 (2)와 같다. 정규화 상관은 영상이 밝아지더라도 영향을 받지 않고, 상수 이득과 오프셋과 같은 영상 화소값들의 선형적 변화에도 영향을 받지 않아서 보통의 상관과 비교했을 때 더 안정적이라는 이점이 있다[4].

$$r(s, t) = \frac{\sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)][w(x-s, y-t) - \bar{w}]}{\sqrt{\sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2} \sqrt{\sum_x \sum_y [w(x-s, y-t) - \bar{w}]^2}} \quad (2)$$

윗식에서  $s = 0, 1, 2, \dots, M-1, t = 0, 1, 2, \dots, N-1$   $\bar{w}$ 는  $w(x, y)$ 안에 있는 화소들의 평균값,  $\bar{f}(x, y)$ 는  $w$ 의 현 위치와 일치되는 영역에서의  $f(x, y)$ 의 평균값을 각각 나타낸다. 이 정규화 상관은 (1)에 비해 계산량이 많아 검사시간이 증가하나 하드웨어와 연계된 병렬처리 기법을 활용하면 계산시간을 줄일 수 있다. 특히 개인용 컴퓨터에 많이 사용되고 있는 인텔사의 80X 마이크로 프로세서는 MMX기술을 적용한 API에 의해 (2)의 계산은 간단히 구현할 수 있다[10].

2. 영상의 차분

입력된 인쇄물의 검사를 위해 미리 정의된 표준 모델과 입력된 영상들과의 상관을 통하여 모델 영상과 동일한 후보영역을 다수 구할 수 있다. 그러나 이 결과는 모델영상 크기의 두 영상을 단순 비교하는 것이기 때문에 다양한 종류의 인쇄불량을 판정해 내기에는 무리가 있다. 때문에 본 연구에서는 이미 입력된 정상모델을 입력영상에서 정규화 상관계산을 이용하여 찾은 뒤 그 위치로부터 이미 구성된 데이터를 이용하여 검사 모델 영역을 설정하고 모델과의 차분을 통해 인쇄불량의 판정을 수행하는 방법을 사용하였다.

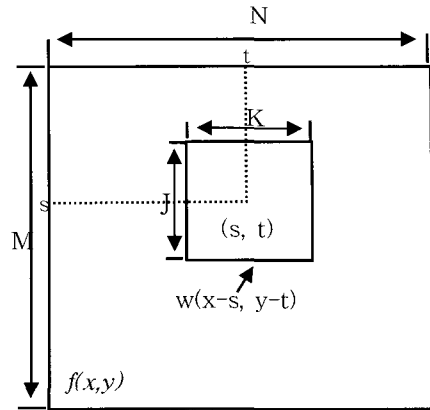


그림 2. 중첩(convolution)에 의한 배경 영상과 부분 영상의 상관관계 개념도.

Fig. 2. Conceptual notation for the relation between background and partial image with convolution method.

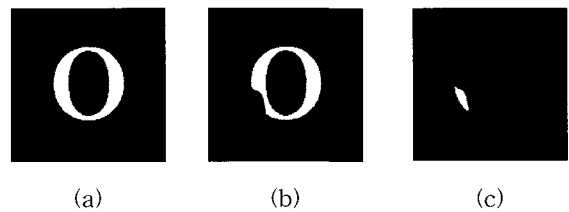


그림 3. 영상의 단순 차분에 의한 불량 영역의 검출. (a)표준모델 영상, (b)검사대상 영상, (c)차분 결과 영상(오류 영상).

Fig. 3. The detection of bad area by a simple subtraction algorithm.

(a) Model image, (b) Inspection image, (c) Result image(error image).

표준 패턴 모델과 검사 대상과의 영상차분 예를 그림3에서 보이고 있다. 영상 차분의 결과는 그림 3의 (c)와 같이 인쇄의 불량 부분이 영상 차분에 의해 검출되어 모델 주변에 불량(빈 공간)들이 남게 된다. 일반적인 검사 시스템에서는 인쇄의 불량판정을 위해서 이러한 불량의 크기와 개수를 계산하여 일정 기준 이상이면 불량으로 판단하게 된다. 그러나 3.3절에서 후술하는 바와 같이 인쇄 패턴의 경우 인쇄객체(문자 또는 문양)의 주변에서 많은 불량이 발생하여, 정상 인쇄상태의 경우도 불량으로 오판정하는 경우가 많아 이 방법은 그냥 적용할 수가 없다.

3. 주변 마스크 알고리즘

일반적인 인쇄 검사 시스템에서는 앞에서 언급한 정규화 상관관계를 이용한 패턴매칭이나, 영상의 차분만을 이용하여 대부분의 인쇄 불량을 찾아낼 수 있다. 그러나 고무, 비닐, 종이, 포목 등의 신축성 원단에 그라비아 인쇄를 하는 경우나 인쇄기의 해상도에 비해 인쇄 문자 또는 문양이 매우 작은 정밀인쇄의 경우는 간단한 알고리즘으로 그림 3과 같은 안정된 결과를 얻기가 어렵다. 실제 그라비아 인쇄 공정에서는 기계의 진동으로 인한 인쇄물의 흔들림, 또는 인쇄물 원단의 자체 성질로 인하여 인쇄 공정 도중

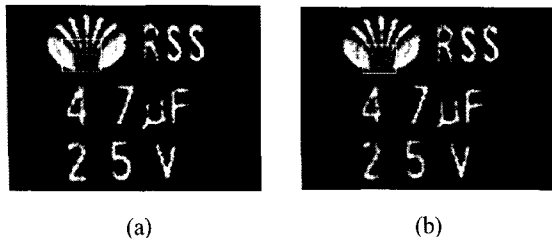


그림 4. 복잡한 인쇄 부위에 대한 인쇄 판정 오류의 예. (a)를 표준 모델 영상으로 하고, (b)를 입력 영상으로 할 경우 정상 인쇄로 판정해야함에도 불구하고 복잡한 모양의 미세한 변화에 의해 오류로 판정된다.

Fig. 4. A example of a inspection error for complicated print object. (a) Model image, (b) The inspection result which should be judged as perfect one.

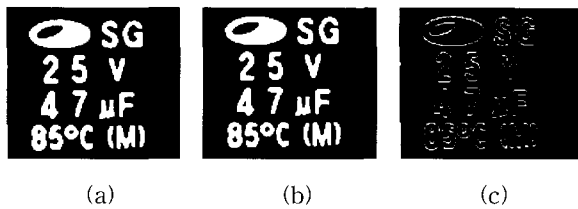


그림 5. 단순 차분 방법에 의해 발생하는 주변 경계오류. (a) 표준모델 영상과, (b) 입력영상, (c) (b)와 비교하였을 때 인쇄객체의 주변경계에서 발생한 오류.

Fig. 5. Perimetric error which occurred with a simple subtraction method. (a) model image, (b) input image, (c) perimetric error image obtained with subtraction from (b).

수축이나 팽창이 발생하며 특히 신축성 원단은 재료의 특성상 주행 도중에 생기는 미미한 장력 변화나 온도 변화에 의해 그 변화의 정도가 심해지기 때문에 정상인쇄와 비정상 인쇄를 구분하기가 어렵다.

그림 4는 인쇄 문양의 해상도가 높을 때 발생할 수 있는 검사 오류를 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 인쇄물 (a)와 인쇄물(b)는 모두 정상상태의 인쇄임이 분명하나 마크 부분의 인쇄형태가 복잡함으로 말미암아 인쇄검사를 위한 이진화 영상을 만들 시 마크 부분의 안정된 형태를 얻기 힘들기 때문에 쉽게 오판정을 일으키게 된다.

그래비아 검사 불량을 일으키는 미세한 변화는 주로 인쇄객체의 주변 경계부분에서 일어난다. 그림 5는 그러한 현상을 보여준다. 이 그림에서 육안으로 보았을 때 그림(a)와 그림(b)는 분명 같은 모양의 정상 인쇄물임이 분명하나 일반적으로 사용하는 단순 차분 알고리즘을 이용할 경우 그림(c)와 같이 경계부분에서 미묘한 차이를 가지게 된다. 이 때 그림(a)를 정상 모델 영상, 그림(b)를 입력영상(검사 영상)이라고 하면 결과는 불량으로 판정되게 된다. 더구나 원단의 성질 때문에 인쇄물이 늘어나거나 줄어들게 되면 인쇄된 문자나 문양이 정상모델보다 크거나 작게 인쇄되기 때문에 그 차분 영상만으로는 원하는 결과를 얻을 수 없다. 이 경우 양호한 상태로 판정하고 검사를 종료하여 다음 입력을 처리하는 과정으로 검사가 진행되어야만 하지만

남아있는 주위의 미세한 상이 영역(블랍)들의 영향으로 인하여 불량으로 판정되는 경우가 생기게 된다. 아래에서 이러한 문제점 해결을 위해 주변의 블랍들의 영향을 제거할 수 있는 마스크 알고리즘에 대해 설명한다.

주변 마스크란 인쇄물의 흔들림 또는 인쇄 재료의 팽창과 수축, 조명의 미세한 변화에도 안정된 검사를 실행할 수 있도록 하기 위해, 정상 인쇄모델의 주변 경계선을 따라 그 주위에 크기가 가변인 마스크를 적용하여 인쇄 문자의 크기 변화에도 유동적으로 검사가 될 수 있도록 하는 것을 말한다. 주변 마스크는 미리 주어진 표준 패턴 모델 영상(대개의 경우 오퍼레이터가 육안으로 확인을 한 후 수작업에 의해 입력함)을 확장 알고리즘을 이용하여 최소 단위로 N회 확장한 영상과 수축 알고리즘을 이용하여 N회 축소한 영상(여기서 N은 검사 영역의 범위를 결정하는 정수로 검사 대상에 따라 적당히 변경할 수 있음. 본 논문에서는 1~3의 정수를 사용하였음)의 차분을 통하여 만들어진 대[3]. 그림 6은 주변 마스크의 제작 원리를 보이고 있다. 확장과 축소의 횟수는 인쇄물의 크기와 검사 결과의 정밀도에 따라 가감된다.

마스크의 확장은 2차원 공간에서 임의의 두 영역을 A와 B로 나타내고 이들의 공통 영역(공집합)을  $\phi$ 로 표현할 때, B에 의한 A의 확장은  $A \oplus B$ 로 표기하고, 다음과 같이 정의된다.

$$A \oplus B = \{ x \mid (B)_x \cap A \neq \phi \} \tag{3}$$

여기서 B는 B의 반사를 나타내는  $B = \{ x \mid x = -b, \text{ for } b \in B \}$ 로 정의된 값이고,  $(X)_x = \{ c \mid c = a + x, \text{ for } a \in X \}$ 로 계산되는 천이 변환을 의미한다. 따라서 확장 과정은 원점에 대한 B의 반사를 얻고 난 다음, 이 반사를 x 만큼 이동함으로써 이루어진다. 그러면 B에 의한 A의 팽창은, B와 A가 적어도 하나 이상의 0이 아닌 요소에 의해 겹쳐지도록 모두 x 만큼 이동된 집합이 된다. 따라서 (3)은 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$A \oplus B = \{ x \mid [(B)_x \cap A] \} \tag{4}$$

B에 의한 A의 수축은  $A \ominus B$ 로 표기하고 다음과 같이 정의된다.

$$A \ominus B = \{ x \mid (B)_x \subseteq A \} \tag{5}$$

이를 말로 표현하면, B에 의한 A의 침식은 x 만큼 천이된 B의 영역 중 A 내에 포함되는 모든 점 x의 집합을 구하는 것을 말한다.

그림 6에서 보는 것처럼 확장 마스크와 수축 마스크간의 차분 연산을 이용하여 주변 마스크는 만들어진다. 검사 시에 이 마스크를 이용하여 주위에 남아있는 미세한 블랍들을 제거하면 인쇄 상태의 미미한 변화에도 안정적으로 동작하여, 양품의 인쇄를 불량으로 판정하는 오류를 막을 수 있다.

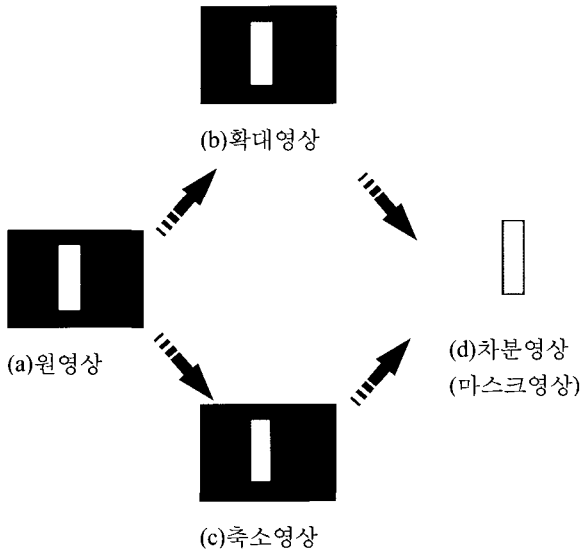


그림 6. 주변 마스크 작성의 개념도. (a)원 영상, (b)N회 확장한 영상, (c)N회 축소한 영상, (d)차분결과로 얻어진 경계면의 마스크 패턴.

Fig. 6. Perimetric mask generation. (a) source image, (b) image of N-times dilation, (c) image of N-times erosion, (d) the mask pattern obtained from subtraction.

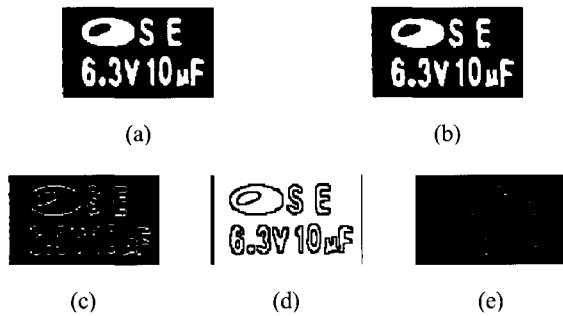


그림 7. 주변 마스크의 실제 적용 예. (a)표준 모델 영상, (b)검사 대상, (c)차분 영상, (d)주변 마스크 영상, (e)차분 영상에 주변 마스크를 적용한 영상.

Fig. 7. A practical result of the perimetric mask application. (a) model image, (b) inspection object, (c) subtraction image, (d) boundary mask image, (e) the image of subtracted image applying a perimetric mask.

불량의 판정은 마스크와의 결합을 통하여 계산 과정을 거친 블랍들을 최종 블랍으로 보고 블랍 크기가 정해진 한계보다 크다면 이를 불량 상태로 판정하게 된다. 그림 7은 생성된 주변 마스크를 이용하여 인쇄를 판정하는 실제 예를 보이고 있는데 그림 7의 (b)를 보면 눈으로는 영상(a)와 차이가 없어 보이지만 표준모델과의 차분영상 (c)를 보면 인쇄 주위에 많은 블랍들이 남아있음을 확인할 수 있다. 기존의 검사 방법으로 이 영상을 분석해서, 인쇄 불량을 판정하려 한다면 글자 주위의 남아 있는 블랍들로 인하여 정확한 검사가 어렵게된다. (e)는 이러한 영상에 주변 마스

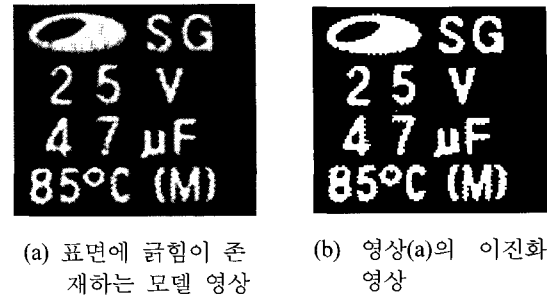


그림 8. 단순 이진화에 의한 미세 오류의 상실. (a)의 불량검사 시 검출되어야 하는 미세오류, (b) 오류가 상실된 영상.

Fig. 8. The loss of tiny errors. (a) tiny error which should be detected in inspection process, (b) inspection result with simple segmentation algorithm.

크를 적용한 것으로써 주변 블랍들로 인한 간섭을 제거하여 신축성 있는 재료의 검사에도 안정적으로 동작함을 알 수 있다.

IV. 대칭변환을 이용한 미세 오류의 강조

1. 인쇄 불량 검사에 있어서 미세오류의 강조

정규화 상관관계와 영상 차분, 주변 마스크 알고리즘을 이용하면 일반적인 오류와 재료의 특성에 의해 크기에 변형이 일어나는 인쇄물이라 할지라도 안정적으로 오류를 검출할 수 있다. 하지만 이런 알고리즘의 조합을 이용한다 할지라도 인쇄물 표면의 미세한 굵힘이나 가느다란 선 형태의 오류는 검출하기가 매우 힘들다. 이러한 미세 오류들은 노이즈, 즉 영상잡음과 별 차이가 없기 때문에 영상 평활화, 이진화와 같은 단순 영상처리를 하면 대부분 상실되게 된다. 하지만 이런 미세 오류들은 육안으로 확연히 구별이 가능하므로 제품의 품질에 끼치는 영향은 매우 크고 특히 정밀 인쇄일수록 반드시 검출되어야만 하는 불량이다.

그림 8은 단순 이진화로 인한 미세 오류의 정보 손실을 보여주고 있다. 영상 (a)의 인쇄물 표면에는 많은 굵힘이 존재하나 이를 단순 이진화 하면 튜브 표면의 굵힘은 모두 제거되어 그 불량 유무를 알 수 없게 됨을 확인할 수 있다. 이를 개선하기 위해선 전처리 과정에서 사용되는 각종 파라미터 값을 신중히 조절하면 가능하지만 설정 값의 오차범위가 너무 적어서 작업환경이 조금이라도 달라질 경우 새로운 값으로 바꾸어주어야 하기 때문에 이는 거의 불가능하다. 따라서 이러한 오류는 자동검사과정에서 특별히 강조되어 검사 과정에 입력되어야만 한다.

2. 대칭변환의 원리

4.1절에서는 영상처리 과정에서 미세 오류의 상실을 방지하기 위해 영상이 강조되어야함을 설명하였다. 이 절에서는 대칭변환 원리를 이용하여 미세 오류를 강조하는 알고리즘에 대해 설명한다.

어떤 물체에 대칭변환이라 불리는 변환을 수행한 결과

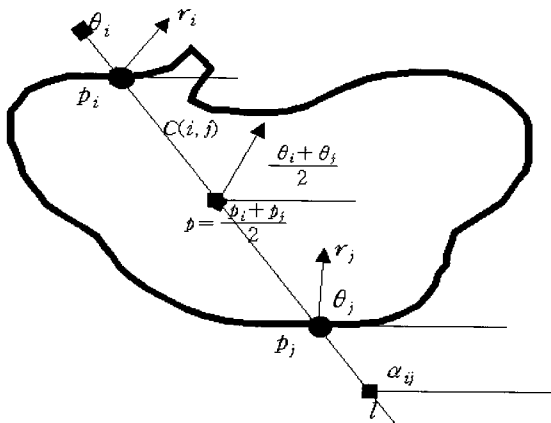


그림 9. 임의의 두 점에 대한 대칭 기여도를 구하는 개념도(본문참조).

Fig. 9. Diagram about estimating a symmetry contribution factor for two random points.

원래의 형상과 동일한 형상을 지닌다면 수학적으로 그 물체는 대칭이라고 할 수 있다. 대표적인 수학적 대칭변환은 거울반사, 즉 거울대칭이라고 하는 것이다. 일반적으로 이 변환을 수행하기 위해서는 서로 대칭이 되는 특정 점, 즉 대칭의 기준점을 찾는 것이 필요하다. 그러나 영상 내에서 대칭적인 모양의 특징점을 찾는 것은 물체의 모양이 분명하게 드러나 있다 할지라도 쉬운 일이 아니다. 그 이유는 실세계에는 완전한 대칭성을 지닌 물체를 찾아보기 힘들뿐 아니라 비록 대칭이라고 알려진 물체라도 대칭 변환을 수행해 보면 완전한 대칭인 경우는 드물며, 또한 이러한 대칭 변환은 매우 복잡한 수학 이론에 기초를 두고 있어 그것을 증명해 내기가 힘들기 때문이다.

이에 반해 일반화 대칭변환[1][5]은 물체의 외양에 대한 사전지식을 필요로 하지 않고 특정물체의 대칭점 위치, 즉 임의 점의 대칭 기여도를 쉽게 계산할 수 있다. 일반화 대칭변환은 물체의 형상, 즉 이미지의 에지에 대해 국소적으로 작용하며 더욱이 이것은 이미지내의 각 점에 관하여 이진 대칭 레이블보다 안정적인 대칭 수행 방법을 제공하게 된다[6][7].

일반화 대칭변환의 개념을 설명하면 다음과 같다. 먼저 영상 내 임의의 화소를  $p_k = (x_k, y_k)$ , ( $k=1, 2, \dots, K$ )로 나타내면, 화소  $p_k$ 에서의 밝기의 기울기  $\nabla p_k$ 는  $\nabla p_k = (\frac{\partial}{\partial x} p_k, \frac{\partial}{\partial y} p_k)$ 로 구할 수 있다. 이를 이용하여 한 점에서의 밝기 변화율을  $r_k = \log(1 + \|\nabla p_k\|)$ , 그리고 변화 방향을  $\theta_k = \tan^{-1}(\frac{\partial}{\partial y} p_k / \frac{\partial}{\partial x} p_k)$ 로 구하고 이 값을 요소로 하는 2차원 벡터를  $v_k = (r_k, \theta_k)$ 라고 정의한다.

그림 9에서 보이는 바와 같이 어떤 형상에 대해 임의의 두 점  $p_i$ 와  $p_j$ 을 통과하는 선을  $l$ 이라고 하고, 직선  $l$ 과 수평선 사이의 각을  $\alpha_{ij}$ 라고 하면, 대칭도  $M_\sigma(p)$ 는 다음

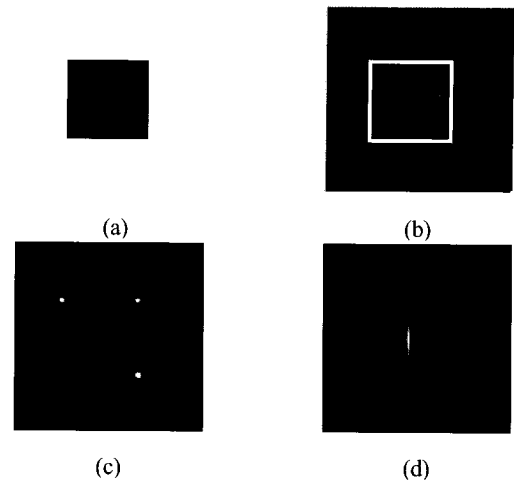


그림 10. 간단한 물체의 대칭 기여도. (a)원 영상, (b)원 영상의 에지영상(물체 형상), (c)낮은 변위값에서의 대칭 기여도, (d)변위값 최대일 때의 대칭 기여도.

Fig. 10. Contribution rate of symmetry for a simple object. (a) source image, (b) edge of the original image(object figure), (c) symmetry contribution rate in an image with low constant, (d) symmetry contribution in an image with maximum constant.

식들로부터 구할 수 있다.

$$M_\sigma(p) = \sum_{(i,j) \in \Gamma(p)} C(i,j) \tag{6}$$

$$C(i,j) = D_\sigma(i,j)P(i,j)r_i r_j \tag{7}$$

$$\Gamma(p) = \left\{ (i,j) \mid \frac{p_i + p_j}{2} = p \right\} \tag{8}$$

$$D_\sigma(i,j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\|p_i - p_j\|}{2\sigma}\right) \tag{9}$$

$$P(i,j) = [1 - \cos(\theta_i + \theta_j - 2\alpha_{ij})] \times [1 - \cos(\theta_i - \theta_j)] \tag{10}$$

(7)에서  $r_i$ 와  $r_j$ 는 영상상의 위치  $(x_i, y_i)$ 와  $(x_j, y_j)$ 에서의 화소  $p_i$ 와  $p_j$ 의 밝기변화, 즉 기울기의 크기를,  $\theta_i$ 와  $\theta_j$ 는 화소  $p_i$ 와  $p_j$ 의 밝기 변화의 방향을, (9)에서  $\sigma$ 은 대칭 마스크의 크기를 각각 의미한다. (10)의  $P(i,j)$ 는 두 개의 조건에 의해 좌우되는데, 첫 번째 항  $1 - \cos(\theta_i + \theta_j - 2\alpha_{ij})$ 는  $(\theta_i - \alpha_{ij}) + (\theta_j - \alpha_{ij}) = \pi$ 일 때 최대 대칭성을 갖는다는 제약을 의미하고 이 경우는  $p_i$ 와  $p_j$ 에서의 밝기의 기울기 방향이 서로 마주보거나 각각 반대 방향일 때에 해당되게 된다. 서로 마주보는 경우는 밝은 배경에 어두운 물체의 대칭을 구하는데 효과적이며 반대 방향의 경우는 어두운 배경에 밝은 물체의 대칭을 구하는데 효과적이다. 본 논문에서는 밝은 배경에서 어두운 물체를 검출하는 것을 그 대상으로 하였다.

(10)의  $P(i,j)$ 의 두 번째 항목,  $1 - \cos(\theta_i - \theta_j)$ 는 첫

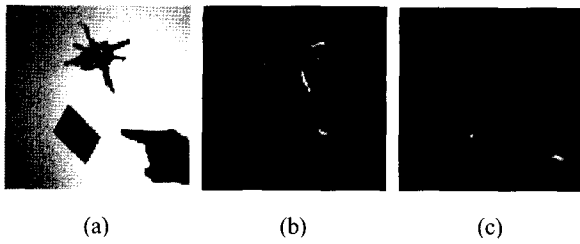


그림 11. 실제 영상에의 대칭변환 적용. (a)원영상, (b) 낮은 변위값의 대칭 기여도, (c)높은 변위값의 대칭 기여도.

Fig. 11. Symmetry estimation about actual image. (a) source image, (b) symmetry contribution in an image with low constant, (d) symmetry contribution in the image with high constant.

번째 항목이  $(\theta_i - \alpha_{ij}) + (\theta_j - \alpha_{ij}) = \pi$  가 되는 경우, 즉 대칭이 최대가 될 때에 발생하는 문제를 제거하기 위해 도입된 것이다. 이 경우는  $\theta_i - \alpha_{ij} = \theta_j - \alpha_{ij} = \pi/2$  가 되며, 이것은 두 점  $p_i$ 와  $p_j$ 가 같은 직선 에지 선상에 있음을 의미하므로 당연히 계산 대상에서 제외되어야 한다. 두 번째 항은 이런 목적으로 사용된다.

(7)에서의  $r_i r_j$ 항목은 두 점의 밝기 변화 사이에 강한 상관 관계가 있을 때 높은 값을 가질 수 있도록 작용한다. 결과적으로 즉 대칭 기여도  $C(i, j)$ 는 두 화소의 밝기 변화 방향이 서로 대칭일수록, 두 화소의 거리가 가까울수록, 두 화소의 밝기 변화가 클수록 큰 값을 가지게 된다. 일반적으로 물체 내부의 점들은 그 물체의 외형이 대칭인지 아닌지에 상관없이 높은 대칭률, 두 화소의 밝기 변화가 클수록 큰 값을 가지게 된다. 일반적으로 물체 내부의 점들은 그 물체의 외형이 대칭인지 아닌지에 상관없이 높은 대칭성을 가지게 되는데 최대 값을 지닌 대칭 기준점을 구함으로써 대칭물체를 검출할 수 있게 된다. 이러한 대칭변환은 지역적으로 가우시안 웨이트(Gaussian weight) 함수  $D_\sigma(i, j)$ 에 의존한다. 변수  $\sigma$ 는 스케일의 변화를 제어할 수 있으며 이 값을 큰 값에서 작은 값으로 변화함에 의해 계층적 다해상도 검출이 가능하다. 그림 10와 그림 11은 임의의 형상에 대해 일반화 대칭변환을 적용한 결과를 보여준다. 그림 10에서 알 수 있는 바와 같이 대칭변환의 결과는 물체의 존재 위치를 나타낼 뿐 아니라 변수  $\sigma$ 의 크기에 따라 그 모양을 달리한다. 만약 변수의 값이 적다면 대칭 기여도는 물체의 꼭지점 즉 물체의 코너점에 대칭성이 집중되고 반대로 그 값이 크다면 물체의 중심 쪽에 대칭성이 집중되게 된다. 물체의 에지 영상에 일반화 대칭변환을 가변적으로 적용함으로써 물체의 위치를 검출할 수 있음을 알 수 있다.

그림 11은 카메라를 통해 얻은 실제 영상에 대한 대칭 변환 결과를 보여준다. 여기서 대칭 변환의 결과는 물체의 개수에 영향을 받지 않으며 특히 물체의 모양 자체가 대칭일 경우, 즉 강한 대칭 에지선으로 연결된 물체일수록 검출이 효과적임을 알 수 있다[8].

3. 오류 검출을 위한 대칭 변환의 적용



(a) 입력 영상

(b) 입력 영상의 에지 영상



(c) 에지 영상에서 인쇄 내용 제거

(d) 영상 (c)에 대한 대칭 변환 적용 영상

그림 12. 인쇄 검사에 대칭변환 적용 예. (a)검사 대상 영상, (b)검사대상 영상의 에지 영상, (c)에지 영상에서 인쇄객체 제거, (d)대칭 변환 적용 영상.

Fig. 12. The example of printing inspection adopting the symmetry transform method. (a) input image, (b) edge of the input image, (c) edge image without letters, (d) result image obtained from (c) with the symmetry transform.

본 논문의 III장에서는 인쇄물의 내용물 검사를 위하여 정규화 상관관계를 이용한 패턴매칭, 패턴매칭에 의해 유도된 영역에 대한 영상차분, 그리고 이러한 영상차분의 결과에 적용되는 주변 마스크 알고리즘에 대해 기술하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 이러한 방법으로는 인쇄물 표면의 굵힘이나 미세한 선 오류를 검출해 내는 것은 매우 힘들다. 더구나 이러한 미세한 오류들은 경우에 따라 육안으로도 확인이 힘들 뿐 아니라 카메라로부터 취득한 영상에서는 보통의 영상 노이즈들과 구별하기가 어렵기 때문에 영상을 전처리, 또는 이진화 하는 과정에서 대부분 상실된다(그림 8 참조).

3.4절에서 설명한 바와 같이 일반화 대칭변환은 영상 내에 임의의 물체 형상, 즉 에지가 있을 경우 에지들 간의 대칭성을 계산하여 그 값을 내부의 점 위에 누적시키므로 미세한 밝기 변화가 있을 경우라도 그 변화를 강조하여 물체가 존재함을 알 수 있게 한다. 이러한 일반화 대칭변환을 인쇄물의 검사에 적용하여 미세 오류의 대칭 성분을 강조한다면 육안으로 확인이 힘든 오류를 검출할 수 있다. 그러나 미세 오류의 검사를 위해 입력된 인쇄 물의 영상을 가공하지 않고 입력 영상 자체에 대칭변환을 적용한다면 인쇄물의 인쇄 내용인 문자나 마크들 사이의 간섭에 의해 대칭변환의 결과가 정확히 나오지 않을 뿐만 아니라 인쇄물에 전체 내용에 대해 대칭변환을 수행하기 때문에 그 수행시간이 길어지게 된다. 즉 이러한 인쇄 자체의 내용에 대한 불량 유무는 이미 영상 차분과 주변 마스크 알고리즘을 이용하여 이미 검증이 끝났기 때문에 또다시 이러한 영상에 대칭변환 알고리즘을 적용하는 것은 아무 의미가 없을 뿐만 아니라 대부분의 미세 오류는 인쇄부가 아닌 그

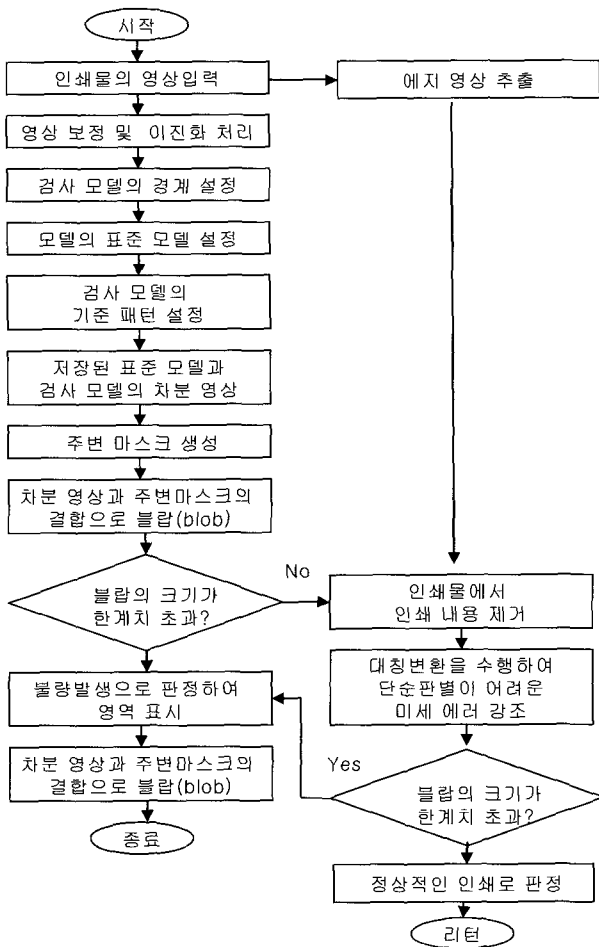


그림 13. 주변마스크와 미세오류 강조 알고리즘을 결합한 인쇄불량 검사 알고리즘의 블록도.

Fig. 13. Block diagram of whole inspection algorithm which combine perimetric mask and symmetry transform algorithm.

주변이나 인쇄의 재료 바탕에 발생하기 때문에 오히려 이러한 인쇄 내용은 미세 오류를 판별하는데 걸림돌로 작용하게 된다.

본 연구에서는 위에서 언급한 문제점을 피하기 위해 미세 오류를 검사하기 전에 입력 영상에서 인쇄내용을 제거하고 그 배경만을 검사 대상으로 하였다. 이러한 검사 방법을 택함에 의해 미세 오류가 아닌 인쇄 내용에 대한 대칭변환을 피하고 검사 대상을 최소화함으로써 검사 시간을 줄이고 정확성을 높일 수 있게 된다.

그림 12는 실제 인쇄물의 검사에 대칭변환을 적용한 예를 보여준다. 원 영상 (a)로부터 인쇄영역을 제거한 뒤 대칭변환을 적용하면 영상 (d)와 같이 미세 오류가 강조된 영상을 얻을 수 있다. 이 방법을 적용하면 에지 영상에서 대칭성을 계산하는데 필요한 계산량을 대폭 줄일 수 있다.

V. 실험 및 제작

본 논문에서 기술한 알고리즘을 사용하여 실시간으로 그라비아 인쇄물의 자동검사가 가능한 시스템을 제작하고

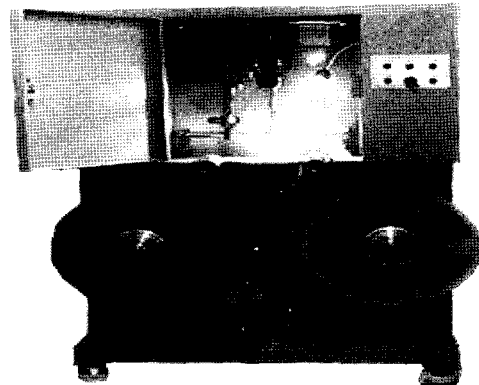


그림 14. 실험을 위해 제작한 염화 비닐튜브 간이 주행기.  
Fig. 14. A experimental feeding machine for vinyl chloride tube.

실험하였다. 실험에 사용된 인쇄물은 제조 현장에서 실제로 사용되는 콘텐서 외피용 염화비닐튜브로 제조시에 발생할 수 있는 대표적인 인쇄오류는 그림 1에서 보였다. 제작된 시스템은 인쇄와 동시에 검사공정을 완결하기 위해 초당 2미터 이상으로 고속 주행하므로 육안으로는 도저히 검사가 불가능한 경우이다.

고속으로 주행하는 그라비아 인쇄의 경우 앞서 설명한 바와 같이 인쇄오류를 판정하기가 매우 어렵다. 경우에 따라서는 검사자에 따라 판단 기준이 달라질 뿐 만 아니라, 주문자에 따라 검사 정밀도가 크게 달라지기도 한다. 본 연구를 통해 구현된 시스템은 이러한 점을 고려하여 검사 정밀도를 상황에 맞게 조절할 수 있도록 제작되었다. 따라서 작업자가 검사 정밀도, 즉 인쇄오류의 크기를 정해주기만 하면 정해진 기준에 따라 100% 품질관리 목표에 맞는 검사 결과를 제공하는 것이 가능하다.

검사기의 주 계산기로는 펜티엄 III-700MHz의 CPU를 장착하고 Window-98을 운영체제로 한 퍼스널컴퓨터를 사용하였으며, 고속의 영상취득과 처리를 위해 Matrox사의 MIL(Matrox Image Library)을 사용하였으며 Visual C++ 6.0을 주요 개발 환경으로 사용하였다. 그림 13은 구현된 소프트웨어 시스템의 동작 블록도를 보여준다. 초기에 작업자가 컴퓨터 네트워크를 통해 전달된 모델영상이나, 또는 육안으로 확인하여 정상 인쇄된모델을 입력하면 앞에서 설명한 원리에 의해 주변 마스크가 생성되고, 미세 오류가 강조된 후 차분을 통해 검사가 이루어지게 된다. 검사 결과는 자동으로 관리자의 컴퓨터로 전송된다. 그림 14는 실시간 처리를 위해 실험실에서 제작된 간이 주행기의 외관을 보여준다.

그림 15는 동작중인 검사 시스템의 디스플레이 모습을 보여준다. 그림(a)에서 좌측 윈도우 영역은 검사가 수행되는 화면이며 우측 윈도우 영역은 오류가 발생한 모습 즉 검사결과를 실시간으로 보여주고 있다. 검사 시스템에서 수행된 검사 내용은 관리자 컴퓨터로 RS-232C 직렬 포트를 통하여 전송되도록 구성되었으며 그림 15의 (b)는 관리자 컴퓨터에서 동작하는 프로그램의 모습을 보이고 있다.



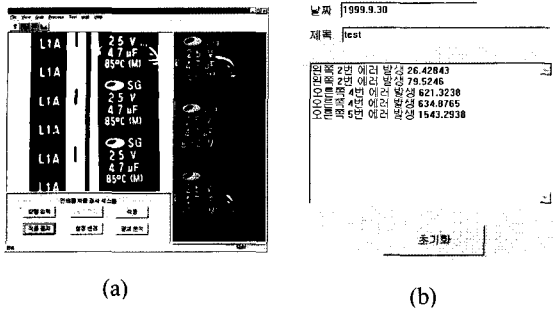


그림 15. 실제 구축된 인쇄 검사 시스템의 외형. (a) 검사 시스템의 작동 모습 (b)관리자 시스템으로 전송된 검사 정보(화면상의 수치는 발생된 오류의 크기를 나타내는 상대적 오차값).

Fig. 15. The prototype of a printing inspection system. (a)operation appearance of the inspection system, (b) the inspection result sent to a system.

VI. 결론

본 논문에서는 인쇄 문자나 문양의 주변 경계를 포함하는 주변마스크와, 물체 내부의 대칭 기여도를 누적하여 물체의 존재 여부를 판단할 수 있는 대칭변환을 이용하여 그라비아 인쇄에서 발생하는 각종 오류를 효율적으로 검사할 수 있는 알고리즘과 제작된 시스템에 대해 기술하였다.

제안된 알고리즘은 일반적인 인쇄 검사 알고리즘인 정규화 상관관계계를 통한 패턴 매칭과, 영상차분에 인쇄 객체의 주변 경계 정보를 이용한 주변 마스크 적용함으로써 인쇄물의 크기가 주위 환경에 의해 변형되어도 안정적인 검사를 수행할 수 있다. 또, 인쇄물 단순 내용검사와는 별도로 미세 오류를 찾기 위해 대칭변환 알고리즘을 이용하여 미세 오류를 강조함으로써 사람의 눈으로 판단이 어려운 오류의 검사가 가능했다. 그리고 이러한 알고리즘의 실제 적용 능력을 활용하기 위해 일반 PC와 저가의 영상보드만을 기반으로 실제 시스템을 구성해 보았다.

제안된 알고리즘은 그 원리가 매우 간단하나 원단이 고속으로 주행하는 그라비아 인쇄과정에서 기하학적인 계산이나 문자 인식과 같은 복잡한 처리를 하지 않고도 정밀한 인쇄물의 불량 상태를 검사할 수 있기 때문에 매우 효과적인 인쇄검사 방법이다. 실험에서는 그라비아 인쇄의 경우만을 상정하여 검사하였으나 모델의 입력 방법을 약간 변형하면 다른 인쇄의 경우에도 활용이 가능할 것으로 사료된다.

현재 구축된 시스템은 초당 4프레임 정도의 성능을 보이고 있으나 알고리즘의 최적화와 대칭변환의 간략화를 통

해 계산 속도를 향상하면 보다 고속의 인식에도 적용이 가능할 것으로 사료된다. 특히 대칭변환의 범위를 에지 주변으로 최소화하는 것이 하나의 해결 방법이 될 수 있으며, 대칭 기여도의 형태가 물체의 형상에 따라 고유한 형상을 나타내므로 이러한 대칭 기여도의 특징을 일반화한다면 단순 오류의 검출뿐만 아니라 특정 물체, 또는 특정 오류의 검사 등에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] D. Reisfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Context-free attentional operators : the generalized symmetry transform," *International Journal of Computer Vision*, vol. 14, pp. 119-130.
- [2] S. E. Umbaugh, *Computer Vision and Image Processing*, Prentice Hall PTR, pp. 41-44, 1998.
- [3] R. C. Gonzalez R. E. Woods, "Digital imaging processing" *Addison Wesley*, pp. 583-586, 1993.
- [4] E. A. Chemyly, "Feature inspection using normalized cross correlation and mathematical morphology" *Motorola*.
- [5] D. Reisfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Detection of interest points using symmetry in proceedings of the 3rd international conference on computer vision," pp. 62-65, Osaka, Japan, December 1990.
- [6] M. J. Atallah. "On symmetry detection," *IEEE Transactions on Computers*, C-34 pp. 663-666, 1985.
- [7] Y. Yeshurun and E. L. Schwartz. "Shape description with a space variant sensor: algorithm for scan path, function, and convergence over multiple scans," *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(11) pp. 1217-1222, 1989.
- [8] K. Brunnstrom, T. Lindeberg, and J. O. Eklundh "Active detection and classification of junction by foveation with a head-eye system guided by the scale-space sketch". *In Processings of the 2nd European Conference on Computer Vision*, S. Margherita, Ligure-Italy, pp. 701-709, May 1992.
- [9] D. Ballard and C. Brown, "Computer vision," *Prentice-Hall*, pp. 68-72, 1982.
- [10]Matrox Inc, "Matrox imaging library user guide," *Matrox Imaging Processing Group*, 1996
- [11]R. Jain, R. Kasturi, and B. Schunck, "Machine vision," *McGraw Hill*, 1995.



**이철우**

1958년 12월생. 1986년 중앙대학교 전자공학과 학사. 1988년 중앙대학교 전자공학과 석사. 1992년 일본 동경대학교 대학원 전자공학과 공학박사. 1992년~1995년 이미지 정보과학 연구소 수석연구원 겸 오사카대학 기초공학부

협력연구원. 1995년 리츠메이칸대학 특별초빙강사. 1996년~현재 전남대학교 정보통신공학부 부교수, 관심분야는 컴퓨터비전, 멀티미디어 데이터베이스, 컴퓨터그래픽스.



**김만진**

1971년 7월생. 1998년 호원대학교 전자계산학과 학사. 2000년 전남대학교 컴퓨터공학과 석사. 2000년~현재 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사 수료. 관심분야는 컴퓨터비전, 패턴인식, 컴퓨터그래픽스.



**기명석**

1974년 11월생. 1998년 전남대학교 컴퓨터공학과 학사. 2000년 전남대학교 컴퓨터공학과 석사. 2000년~현재 정보통신연구원 무선방송연구소 연구원. 관심분야는 영상처리, 패턴인식, 데이터통신.