

# 반도체 부품 마크 미세 결함 검사를 위한 패턴 영역 분할 및 인식 방법

## Pattern Partitioning and Decision Method in the Semiconductor Chip Marking Inspection

장 유 정, 이 정 섭, 주 효 남\*, 김 준 식  
(Yuting Zhang<sup>1</sup>, Jung-Seob Lee<sup>1</sup>, Hyonam Joo<sup>1</sup>, and Joon-seek Kim<sup>1</sup>)  
<sup>1</sup>Hoseo University

**Abstract:** To inspect the defects of printed markings on the surface of IC package, the OCV (Optical Character Verification) method based on NCC (Normalized Correlation Coefficient) pattern matching is widely used. In order to detect the micro pattern defects appearing on the small portion of the markings, a Partitioned NCC pattern matching method was proposed to overcome the limitation of the NCC pattern matching. In this method, the reference pattern is first partitioned into several blocks and the NCC values are computed and are combined in these small partitioned blocks, rather than just using the NCC value for the whole reference pattern. In this paper, we proposed a method to decide the proper number of partition blocks and a method to inspect and combine the NCC values of each partitioned block to identify the defective markings.

**Keywords:** normalized correlation coefficient, marking, pattern matching, inspection, partition, decision rule, OCV

### I. 서론

반도체 패키지(package) 공정 마지막 단계에는 제품의 최종 외관 검사를 수행하게 된다. 출하 전 최종 검사 단계에는 머신 비전(machine vision)을 이용한 자동화된 검사장비들이 이용되고 있다[1-4]. 외관상의 여러 결함을 검출하는 과정 중에 제품명 등이 새겨진 표면의 마크(mark) 검사도 수행하게 된다. 마크 결함의 종류는 위치, 방향, 틀어짐, 굽힘, 누락, 깨어짐 여러 가지가 있다. 이러한 결함들은 마크 인쇄 공정 중이나 다른 공정 중 마크가 훼손된 경우에 발생하며, 주된 결함이며 본 논문에서 다루고자하는 종류로는 스크래치(scratch), 잘림(cut), 번짐(splash), 등이 있다. Scratch 결함은 그림 1(a)와 같이 가늘고 긴 형태로 마크영역에 나타나며 자재 이송 중이나 기타, 다른 공정에서 발생하여 마크가 훼손된 결함이다. Cut 결함은 마크의 일부분이 잘려 나가거나 끊어진 형태를 말한다. 이는 그림 1(b)와 같은 형태로 나타나며 splash 결함과 동일하게 마크 인쇄 공정 중 주로 발생한다. Splash 결함은 그림 1(c)와 같이 마크의 형태가 두껍게 나타나는 것이 특징이다.

패키지 외관을 검사할 때 Multivariate Statistical Approach[1], Haar wavelet[2], ICA (Independent Component Analysis)[3], Morphology 방법[4], 등이 사용되기도 하는데 가장 많이 일반적으로 사용되는 것은 패턴인식이다[7-9]. 반도체 부품 표면의 마크들은 어떤 문자가 어느 부분에 인쇄되어 있는지를 대

부분의 경우 알고 있기 때문에 OCR (Optical Character Recognition)을 이용한 문자 인식은 불필요하고, OCV (Optical Character Verification)을 이용하여 마크가 제대로 인쇄되어 있는지를 확인하는 것이 필요하다. 이 경우 정규화된 상관관계수(NCC: Normalized Correlation Coefficient)를 이용한 패턴 매칭을 사용하여 마크의 결함 여부를 알아내는 것이 일반적인 방법이다. NCC 방법은 다른 영상처리 분야에도 널리 사용되고 있으며, 성능을 분석하고 좀 더 강인하게 만들거나[5-8] 빠르게 동작하도록 하는 연구가[9] 수행되었다. 하지만 반도체 패키지가 갈수록 소형화 되어가고 소비자의 요구가 더 정밀한 검사를 요구하게 되어가면서 미세한 마크의 결함을 발견해 내야 하는 필요성이 증가되고 있다. 미세한 결함을 검출하기 위한 방법의 하나로[10,12]에서는 마크 전체의 상관계수를 구하기보다는 마크를 분할하여 분할된 영역의 NCC를 이용하는 방법이 제안되었다. 본 논문은 이러한 분할 NCC 방법 중, 분할 방법 및 분할 영역의 적절한 개수를 결정하는 방법과 이 결과를 이용하여 결함을 정상 샘플로부터 분리하는 방법을 제안한다.

II 장에서는 기존의 NCC 방법과 영역 분할 NCC 방법을 설명하고 영역을 분할하는 방법 및 분할 개수 설정에 대해

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 1. 28., 수정: 2010. 5. 13., 채택확정: 2010. 7. 4.

장유정, 이정섭, 주효남: 호서대학교 디지털디스플레이공학과

(zhangyuting@nate.com/icarus629@naver.com/hnjoo@hoseo.edu)

김준식: 호서대학교 전자공학과

(joonskim@hoseo.edu)

※ 본 논문은 2009년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0150).

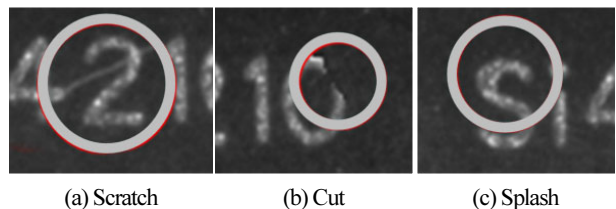


그림 1. 반도체 패키지 마크결함의 종류.  
Fig. 1. Marking defects on IC package.

제한한다. III 장에서는 분할 개수 및 결함 검출을 위한 분류기의 임계값 설정을 실험을 통해 구하는 방법을 제시하며, IV 장에서 결론을 맺는다.

II. 마크검사를 위한 제안 방법

1. 검사 패턴 영역의 생성

상관계수를 구하기 위하여 먼저 기준이 되는 검사 패턴을 학습단계에서 정하여야 한다. 이후에 실질적인 검사단계에서는 미리 정의된 영역에 대해서 OCV를 수행하게 된다. 먼저 100개의 정상영상을 입력 받은 후, 이들의 평균 영상을 구하여 기준영상으로 사용한다.

일반적으로 마크를 인쇄하는 위치는 반도체 패키지의 종류마다 미리 정하여져 있고 그 위치는 Job Data 라는 파일에 존재한다. Teaching 단계에서는 Job Data에 있는 마크의 위치를 추출하여 사용자에게 보여준 후에 사용자로 하여금 문자를 grouping 하게 한다. 그림 2는 Teaching 단계의 검사패턴 영역 생성의 하나의 예로서, 2개의 문자를 기준 영상으로 정한 경우를 보여주며, 7개의 그룹으로 분할된 검사 패턴의 예를 보여준다.

실지 검사 단계에서는 검사장비의 특성상 패키지의 위치가 상하좌우로 조금씩 변할 수 있는 것을 감안하여, Teaching 단계에서 미리 정하여진 검사패턴 영역을 상하좌우로 조금씩 확장하여 search window를 만들고, 그 window 안에서 다음의 2.2절에서 설명하는 기존의 NCC 방법을 사용하여 패턴의 위치를 자동으로 먼저 알아낸다. 다음에 그 위치에 알고 있는 기준 패턴이 정확히 쓰여 있는지를 논문에서 제안하는 영역분할 NCC 방법으로 검사하게 된다.

2. NCC와 영역분할 NCC 방법

NCC 는 일반적으로 패턴 매칭에 많이 쓰이는 방법이다. (x,y)를 화소(pixel)의 좌표라 하고, 그 좌표에서 입력영상의 화소값을 f(x,y) 라 정의한다. S x T 크기의 w(s,t), s=1,2,...,S, t=1,2,...,T 를 기준이 되는 정상영상으로부터 추출한 찾고자 하는 패턴영상이라고 할 경우, (x,y) 좌표에서의 계산된 NCC, r(x,y), 는 다음과 같이 정의된다[11].

$$r(x,y) = \frac{\sum_s \sum_t [f(x+s,y+t) - \bar{f}][w(s,t) - \bar{w}]}{\left\{ \sum_s \sum_t [f(x+s,y+t) - \bar{f}]^2 \sum_s \sum_t [w(s,t) - \bar{w}]^2 \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

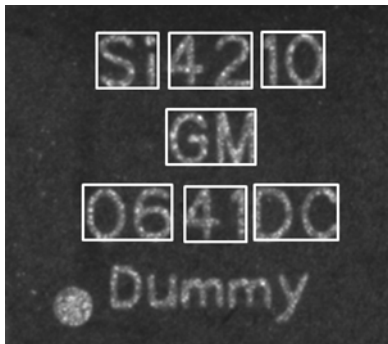


그림 2. 기준 영상.  
Fig. 2. Reference image.

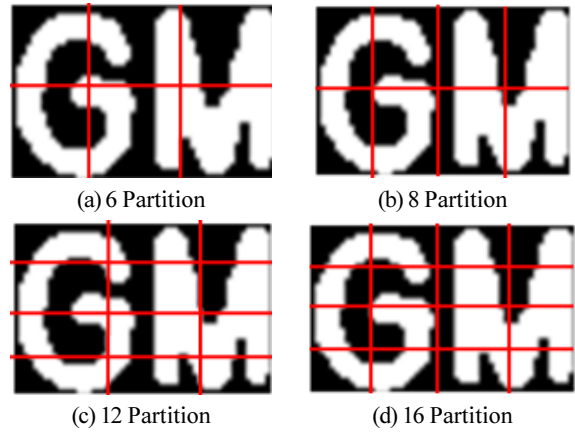


그림 3. 전체 패턴영역에서 미세한 분할.  
Fig. 3. Partition of reference pattern image.

여기서  $\bar{f}$  는 패턴영상인 w(s,t)를 입력영상의 (x,y) 화소 위치에 놓았을 때 겹치는 부분의 f(x,y)의 평균 값이고,  $\bar{w}$  는 패턴영상 w(s,t)의 평균 값이다. 수식에 사용되는 합들은 2차원 상에서 s=1,2,...,S, t=1,2,...,T에서 수행한다.

영역분할 NCC 방법[12]에서는 기존의 NCC 검사방법에 검사영역을 여러 개로 분할하여 검사하는 방법을 사용함으로써 미세한 패턴의 차이를 알아내도록 하였다. 즉, 전체 패턴을 찾은 후에, 그림 3에서 보듯이 기준영상을 6, 8, 12, 16, 등의 국소영역으로 분할하고 각 국소영역에서 NCC 값을 구한 후 그 값들을 비교하여 패턴인식을 한다.

3. 최대상관계수차 방법

기준영상을 P개의 국소영역, R(i), i=1,2,...,P, 로 나누었을 경우, 입력 영상의 결함을 찾고자 하는 마크영역과 기준영상이 정렬되어 있을 때, 입력영상의 R(i) 영역과 기준영상의 동일한 국소영역의 NCC 값 r<sub>i</sub>, i=1,2,...,P를 계산할 수 있다.

정상으로 판단이 되는 영상들도 그 자체적으로 모두 다른 영상들이므로 정상샘플 내의 변화 량을 먼저 측정하고, 그 변화 량 이상으로 차이가나는 샘플 들 중에서 불량량의 유무를 판단하려 한다. 이를 위하여 학습단계에서 먼저 N 개의 정상영상을 취득하고, 이 정상영상들과 기준영상의 국소영역과의 NCC 값, r<sub>ik</sub>, i=1,2,...,P, k=1,2,...,N을 계산한다. 여기서 r<sub>ik</sub> 는 k 번째 정상영상의 i 번째 국소영역의 기준영상과의 NCC 값을 의미한다. 각각의 국소영역 i 에 대하여 계산된 N 개의 NCC 값들의 평균을 구하여 이를 정상영상의 정규 NCC 값, Mr<sub>i</sub>, 라고 정의한다. 즉,

$$Mr_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N r_{ik}, \quad i=1,2,\dots,P \quad (2)$$

실지 검사 단계에서는 입력영상의 검사영역과 기준영상의 각 국소영역 별 NCC 값, r<sub>i</sub>, i=1,2,...,P를 계산하고, 이를 정상영상의 정규 NCC 값인 Mr<sub>i</sub> 와 비교하여 Mr<sub>i</sub> 값보다 작 으면서 그 차이가 가장 큰 값을 결함을 분류하기 위한 특징 값(feature value)으로 사용한다. 이 특징 값을 최대상관계수차 (MNCD: Maximum NCC Difference)라고 정의하며 아래의 식

(3)으로 계산한다.

$$MNCD = \max_i \{Mr_i - r_i\} \text{ for } i, r_i < Mr_i \quad (3)$$

이 특징 값을 적절한 임계 값(Th)으로 분할하여 결함을 판별하도록 한다.

#### 4. 국소영역 분할 개수 및 결함 판별 임계 값 측정

분할검사의 가장 중요한 변수는 해당 검사영역을 몇 개(P)의 국소영역으로 분할할 것 인지와 또한 계산된 MNCD 값을 이용하여 결함을 분류할 때 그 임계 값(Th)의 선정이다. P와 Th 값은 검사 영상의 종류와 품질에 따라 다르며 실험적으로 구하는 방법을 제안한다.

일반적으로 생각할 때 P 값이 커질수록, 즉 국소영역의 개수가 증가할수록, 미세한 결함의 검출력이 증가할 것으로 기대되나, 정상영상 내의 영상 변화 량이 커질 경우 단순한 P의 증가가 검출력에 도움이 되지는 않는 것을 예측할 수 있다. 이는 다음 절의 실험 결과를 통해서도 입증된다. Th 값의 결정 방법은 여러 가지가 있으나, 그 중에서 총 오류 수(total error)를 최소화 하는 것[13]을 사용하였다. P 값의 결정을 위하여는 fisher의 목적함수인 클래스간 분산(Between-class Scatter: Sb)과 클래스내 분산(Within-class Scatter: Sw)의 비율 Sb/Sw를 최대화 하는 값으로 정하였다[14]. 이 비율은 분류기의 분류 능력을 측정하는 척도로 사용될 수 있다.

이 두 개의 값 P와 Th를 구하기 위하여 다음의 과정을 수행한다.

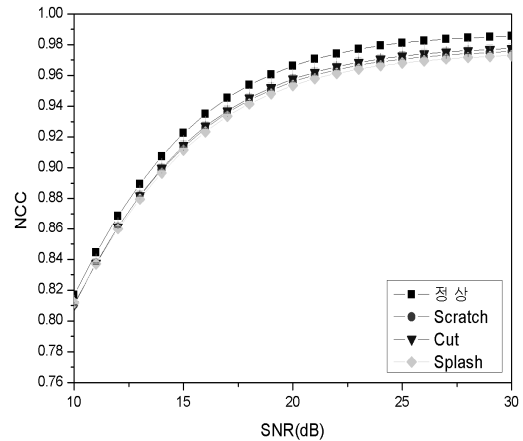
- (1) 기준영상 한 개와 N개의 정상영상, M개의 결함영상을 준비한다.
- (2) 각각의 P 값에 따라 N개의 정상영상으로부터  $Mr_i, i = 1, 2, \dots, P$  계산하고, MNCD 값을 M 개의 결함영상으로부터 계산한다.
- (3) N개의 정상영상에 Random Gaussian Noise,  $N(0, \sigma)$ , 를 첨가하여 N개의 실험용 정상영상을 생성한다.
- (4) Noise가 추가된 실험용 정상영상들과 기준영상과의 MNCD 값을 구한다.
- (5) (2)와 (4)에서 구한 MNCD 값들로부터 Th 값을 구하고 총 오류 수를 계산한다. 또한 이 때의 Sb/Sw 값을 구한다. 위의 (2)-(5) 과정을 P와  $\sigma$  값을 변화 시키며 실험하여 Sb/Sw를 최대화 하는 P와 총 오류 수를 최소화 하는 Th를 구한다.

### III. 실험 및 결과 분석

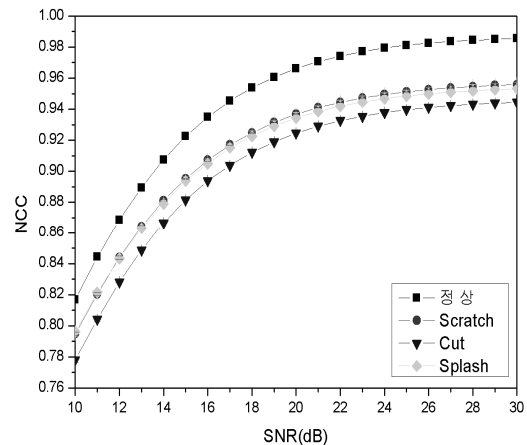
#### 1. 영역분할 적용가능성에 대한 실험

첫 번째로 영역분할 검사의 적용가능성을 판단하기 위해 사전 실험을 수행하였다. 그림 3은 정상마크와 scratch, cut, splash 영상을 비분할 NCC 방법으로 검사한 결과와 해당 영역을 4분할한 영상을 NCC 방법으로 검사한 결함검사 결과를 그래프로 보이고 있다. 그림 4(b)의 경우에는 최소값을 가지는 국소영역의 NCC 값을 그래프로 보이고 있다. 또한 영상의 노이즈 정도에 따라 상관계수 결과가 바뀌는지 확인하기 위해 가우시안 노이즈(Gaussian noise)의 SNR (Signal to Noise Ratio)을 변화시켜 가면서 적용한 후 검사한 결과이다.

위 결과를 보면 비 영역분할 상관계수 검사결과에서는 정상마크의 상관계수 수치와 결함마크의 상관계수 수치가 크



(a) Results of unpartitioned-NCC



(b) Results of partitioned-NCC

그림 4. 비 영역분할과 영역분할에 따른 상관계수 검사결과.  
Fig. 4. Results of NCC and partitioned-NCC values.

게 다르지 않은 것을 볼 수 있다. 이는 결국 양, 불 판정이 어렵다는 말이며, 검사가 어렵다는 말과 같다. 하지만 영역분할을 적용한 상관계수 검사결과에서는 정상마크의 상관계수 수치와 결함마크의 상관계수 수치가 비교적 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 결국 영역분할을 적절히 수행할 경우 양, 불 판단에 좋은, 검사하기에 좋은 결과를 보이는 것을 쉽게 확인할 수 있다[12].

#### 2. 실험을 위한 준비

실험을 위해  $N = 100$ 개의 정상영상과  $M = 300$  장의 결함영상을 준비하였다. 실험을 위한 영상은 미리 학습된 영상인 그림 2를 이용하였고, 7개의 기준영상을 2.1의 과정을 거쳐 만들었다. 결함영상은 3가지 결함 유형별로 각각 100장씩을 준비하여 실험에 사용하였다. 분할 방법은 그림 5와 같이 기준영상을 P개의 일정한 면적을 가진 국소영역으로 나눈다. 이 경우 P가 증가 할수록 마크가 조금만 존재하는 영역이 있게 되는데, 그러한 국소영역에서는 마크의 결함이 존재하지 않는 것으로 간주하고 NCC 값을 구하지 않기로 한다. 즉 MNCD 값을 계산하는데 사용하지 않는다. P의 값은 {1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 16}으로부터 선택하였다. 정상영상의 변화량에 따른 적절한 P 값을 결정하기 위하여 추가하는 노이즈의 표준편차( $\sigma$ )를 {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}으로부터 선택하였다.

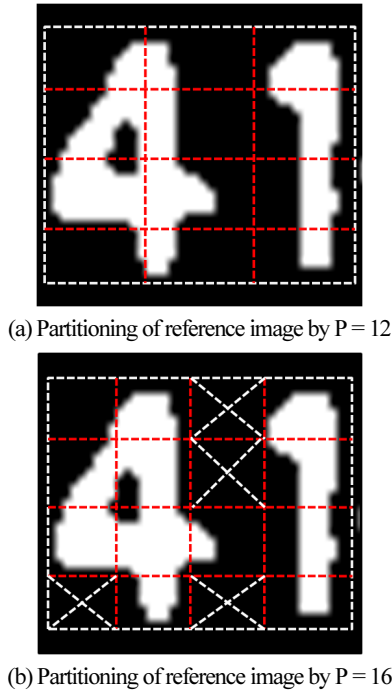


그림 5. 기준영상의 P=12분할과 16분할 국소영역 분할.  
Fig. 5. Partitioning of reference image by P = 12 and 16.

3. 분할 개수 및 임계 값을 구하기 위한 실험

P와  $\sigma$ 를 변화시키면서 각각의 경우에 분류 오류 수 = 미검 수(결함을 정상으로 판단한 개수) + 과검 수(정상을 결함으로 판단한 개수)를 최소화하는 Th를 구하였다. 또한 각각의 경우에  $S_b/S_w$ 를 계산하였다. 그림 6은  $S_b/S_w$ 를 P와  $\sigma$ 에 따라 보인 것이다. 그림에서 보듯이  $\sigma$ 가 커지면 P가 증가하면서  $S_b/S_w$ 는 증가하다가 어느 값 이상이 되면 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 실험을 통해 P는 4가 적합함을 알 수 있다. 즉 정상영상의 변화량이 있는 경우 P 값의 증가와 분류기의 정확도가 비례하지 않음을 보인다.

그림 7은 선정된 분할 개수 P가  $\sigma$ 에 따라 어떻게 변하는지를 보여준다. 그림에서 보듯이  $\sigma$ 가 커질수록 P 값이 감소함을 볼 수 있다.

실험을 통하여 우리는 분할의 개수를 늘린다고 계속하여

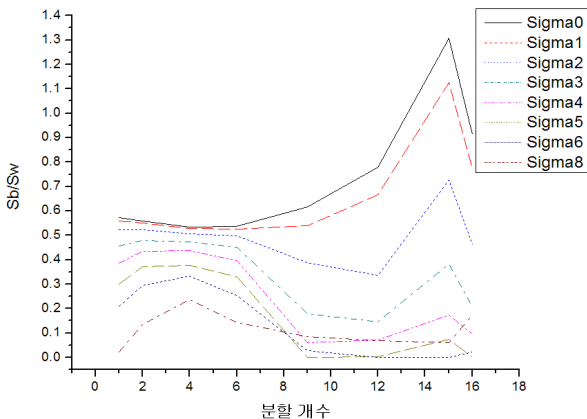


그림 6. 분할 개수에 따른  $S_b/S_w$ 의 변화.  
Fig. 6.  $S_b/S_w$  trends w.r.t. the number of partition.

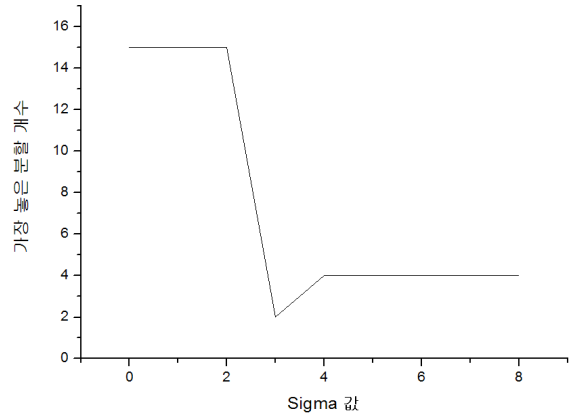
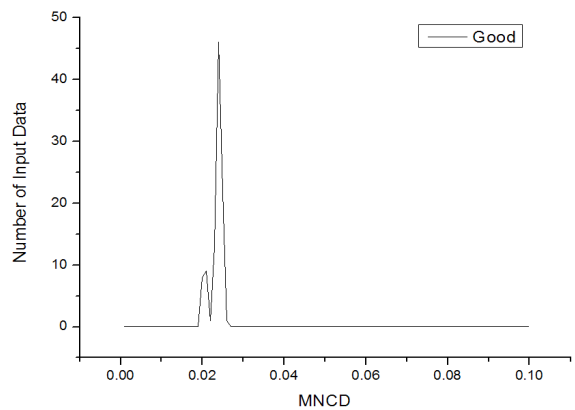
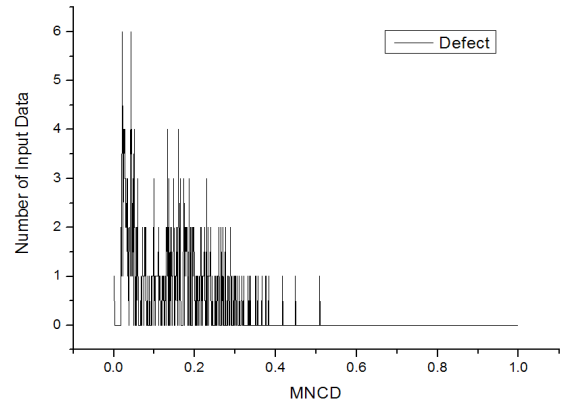


그림 7. Noise 에 따른 가장 좋은 분할 개수.  
Fig. 7. Proper number of partition w.r.t. the amount of added noise.



(a) Histogram of MNCD for normal image added noise



(b) Histogram of MNCD for defect image

그림 8. 4-분할 NCC의 MNCD Histogram.  
Fig. 8. Histogram of MNCD with 4-partition NCC method.

검사능력이 좋아지는 것이 아니며 검사하는 영상의 종류와 정상영상의 변화량에 따라 분할 개수의 선정이 필수 적이라는 결론을 내릴 수 있다.

위 실험에 따라 선정된 P = 4와  $\sigma = 5$ 인 경우 MNCD 분포를 그림 8(a), (b)에 정상 및 결함에 따라 histogram로 표시하였다. 이때의 Th 값은 0.024834 이며  $S_b/S_w = 0.376820$  이다. 그림에서 보듯이 정상과 결함의 분포가 서로 교차하여 미검과 과검이 생기는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문은 분할 NCC 방법 중, 분할 방법 및 분할 영역의 적절한 개수를 결정하는 방법과 이 결과를 이용하여 결함을 정상 샘플로부터 분리하는 방법을 제안하였다. 또한 이 결과를 이용하여 반도체 패키지의 결함 검출 방법을 제안하였다. Sb/Sw가 최대값을 가지는 분할 개수 측정방법을 이용하였고 최대상관계수차를 이용한 특징 값 계산과 결함 분리를 위하여 총 오류 수를 최소화하는 임계 값을 구하였다.

실험 결과로부터 검증된 제안한 방법을 사용하여 기존의 NCC 방법으로 검사하기 어려운 문자들에 대한 총 오류 수가 30% 이상 감소되는 것을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] H.-D. Lin, "Automated visual inspection of ripple defects using wavelet characteristic based multivariate statistical approach," *Image and Vision Computing*, vol. 25, pp. 1785-1801, 2007.
- [2] H.-D. Lin, "Computer-aided visual inspection of surface defects in ceramic capacitor chips," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 189, pp. 19-25, 2007.
- [3] D.-M. Tsai and S.-C. Lai, "Defect detection in periodically patterned surfaces using independent component analysis," *Pattern Recognition*, vol. 41, pp. 2812-2832, 2008.
- [4] H. Elbehery, A. Hefnawy, and M. Elewa, "Surface defects detection for ceramic tiles using image processing and morphological techniques," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2005.
- [5] R. Brunelli and S. Messelodi, "Robust estimation of correlation with applications to computer vision," *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 6, pp. 833-841, 1995.
- [6] C.-C. Han and K.-C. Fan, "3.Mesh Pattern Recognition Using Correlation Matching Method," *MVA'94 IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, Dec. 13-15, 1994.
- [7] D.-M. Tsai, C.-T. Lin, and J.-F. Chen, "The evaluation of normalized cross correlations for defect detection," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, pp. 2525-2535, 2003.
- [8] S.-H. Chen and T.-T. Liao, "An automated IC chip marking inspection system for surface mounted devices on taping machines," *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 68, pp. 361-366, 2009.
- [9] D.-M. Tsai and C.-T. Lin, "Fast normalized cross correlation for defect detection," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, pp. 2625-2631, 2003.
- [10] 이정섭, 주효남, 류근호, 김광섭, "OCV 기반 반도체 패키지 외관검사 시스템에서 상관계수를 이용한 마크의 분할 검사방법," *영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 제20회*, p. 125, 2008.
- [11] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, USA, 2002.
- [12] 이정섭, "패턴인식을 이용한 반도체 패키지 몰드면 결함의 자동 분류 알고리즘," *석사 졸업 논문*, 2009.
- [13] J. Kittler and J. Illingworth, "Minimum error thresholding," *Pattern Recognition*, vol. 19, no. 1, pp. 41-47, 1986.

- [14] 한학용, *패턴인식 개론-MATLAB 실습을 통한 입체적학습*, 한빛미디어, 서울, 한국, 2008.



#### 장유정

2008년 Ningbo대학교 무선 통신공학과(공학사). 2009년~현재 호서대학교 디지털디스플레이공학과 대학원(석사과정).



#### 이정섭

2007년 호서대학교 정보제어학과(공학사). 2007년~2010년 호서대학교 대학원 디지털디스플레이공학과 석사. 관심분야는 패턴인식, 반도체/디스플레이장비 개발.



#### 주효남

1976년 서울대학교 전기공학(공학사). 1976년~1982년 국방과학연구소(선임연구원). 1985년 Virginia Polytechnic Institute & State Univ. VA, USA 전기전자공학(공학석사). 1985년~1987년 Machine Vision International(선임연구원). 1990년~1996년 The Boeing Company(Principal Engineer). 1991년 Univ. of Washington 전기전자공학(공학박사). 1996년~2000년 삼성전자 생산기술센터 자동화연구소(연구소장). 2000년~2002년 (주)넥스트아이 연구개발 부문(사장). 2002년~현재 호서대학교 디스플레이공학부 교수. 2003년~2007년 호서대학교 반도체 제조장비 국산화 연구센터(소장). 최근 연구과제로는 반도체 소자의 결함 검사를 위한 Vision Inspection Module 개발, FPD 종합 구동 검사용 Vision Inspection Module 개발, LCD 핵심 부품용 검사장비 개발.



#### 김준식

1987년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업. 1989년 2월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1993년 8월 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1993년 9월~1994년 2월 서강대학교 부설산업기술연구소 박사후연구원. 1994년 3월~현재 호서대학교 전자공학과 교수. 2007년 1월~2008년 2월 Southern Oregon University 방문교수. 관심분야는 digital image processing, machine vision, 영상 압축, 반도체/디스플레이 검사장비 등.