

논문 2008-45SC-6-3

미세 탐침의 비전 자동 검사 시스템 개발

(Development of Automatic Visual Inspection System for Micro Needle)

강 수 민*, 한 광 희*, 허 경 무**

(Su-Min Kang, Kwang-Hee Han, and Kyung-Moo Huh)

요 약

미세 탐침이란 프로브 카드(Probe Card)를 구성하는 초미세탐침을 의미한다. 이러한 미세 탐침은 그 크기가 상당히 미세하기 때문에 외관 이상 유무를 사람의 눈으로 검사하기가 상당히 어렵다. 반면, 프로브카드를 구성하는 미세 탐침의 이상 유무는 상당히 중요한 요소라고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 사람의 눈으로 검사하기 어려운 미세 탐침의 불량 상태를 자동화된 비전 시스템으로 검사할 수 있는 방법을 개발하였다. 즉 탐침의 구부러진 각도, Tip Length, 종단 직경을 고속으로 자동 검사 할 수 있는 비전 기술을 개발한 것이다. 제안한 방법에 의한 실험결과, 사람의 육안에 위한 검사보다 검사의 정확도와 속도가 향상되었으며, 또한 조명환경에 대해서도 강건성(robustness)이 향상되었음을 알 수 있었다.

Abstract

The micro needle means the ultrafine probe of 'Probe Card'. The size of micro needle is so minute that it is difficult to inspect it with eyes. On the other hand, it is very critical if there is a defect in micro needle of probe card. In this study, we developed an automatic visual inspection system for finding defect status in probe angle, tip length and diameter. Through the experimental results, we could find that our proposed method is better than human-eyes inspection method in accuracy and inspection speed, and also in robustness to lighting circumstances.

Keywords : Inspection, Needle, Vision, Angle, Tip length, Diameter

I. 서 론

미세 탐침이란 프로브카드(Probe Card)를 구성하는 초미세탐침을 의미한다. 이러한 미세 탐침은 그 크기가 상당히 미세하기 때문에 외관 이상 유무를 사람의 눈으로 검사하기가 상당히 어렵다.

반면, 불량 미세 탐침으로 구성된 프로브카드를 반도체 웨이퍼 검사에 사용한다면, 검사 결과에 치명적인 오류가 생기게 된다. 따라서 프로브카드를 구성하는 미세 탐침의 이상 유무는 반도체 웨이퍼 검사 과정에서 상당히 중요한 요소라고 볼 수 있을 것이다.

이에 본 논문에서는 고해상도 카메라를 통해 얻은 탐침 영상에 이미지 프로세싱 기술을 적용해서, 사람의 눈으로 검사하기 어려운 미세 탐침의 불량 상태를 자동화된 비전 시스템으로 검사했다. 즉 탐침의 구부러진 각도, Tip Length, 종단 직경을 고속으로 자동 검사할 수 있는 비전 기술을 개발했다. 좀 더 자세히 살펴보면 탐침의 구부러진 각도를 오차 범위 $\pm 1[^\circ]$ 이내로 측정할 수 있고, Tip Length는 오차 범위 $\pm 5[\mu\text{m}]$, 종단 직경은 오차 범위 $\pm 1[\mu\text{m}]$ 이내로 측정할 수 있는 기술을 개발한 것이다.

반도체 분야의 특성상, 고집적화 속도가 상당히 빠른 현시점에서 프로브카드를 구성하는 미세 탐침의 비전 자동 검사 기술을 개발함으로써 복잡, 다양화되는 비전 검사 분야의 기술을 선도할 수 있을 것으로 생각되고, 이런 미세 검사 분야의 원천기술 확보는 미세 탐침뿐만 아니라 다른 미세 제품 및 부품의 검사를 자동화하는데에도, 쉽게 적용할 수 있을 것이다.^[1~2]

* 학생회원, 단국대학교 전자컴퓨터공학과
(Dept. of Electronic computer Eng., Dankook University)

** 정희원, 단국대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Eng., Dankook University)
※ 이 연구는 2008학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

접수일자: 2008년10월20일, 수정완료일: 2008년10월22일

II. 본 론

본 연구에서 제안하는 자동 검사 시스템이 검사해야 할 구체적 내용은 탐침의 각도, Tip Length, 탐침의 종단 직경이며, 아래 그림 1에 탐침의 일반적인 모습과 각 부분의 명칭을 나타내었다.^[4~5]

또한, 그림 2에는 본 검사 시스템이 수행해야 할 검사대상의 위치와 검사 오차의 사양(specification)을 나타내었다.

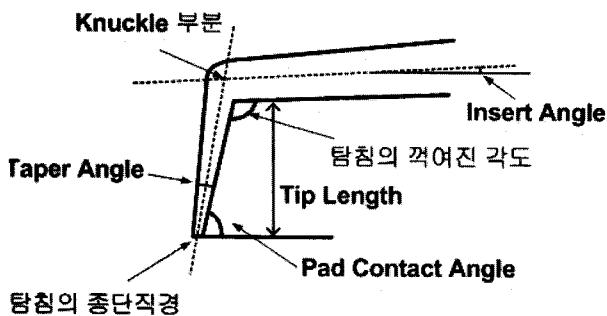


그림 1. 미세탐침의 구조

Fig. 1. Structure of minute probe.

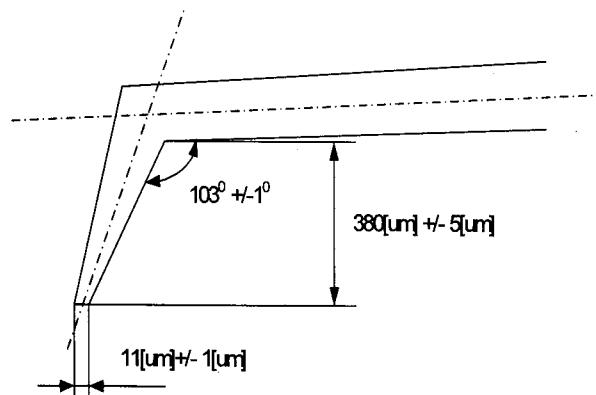


그림 2. 미세 탐침의 검사 항목

Fig. 2. Prosecuting attorney item of minute probe.

1. 기존의 검사 방법을 이용한 미세 탐침의 측정
기존의 검사 방법은 사람이 직접 현미경을 이용하여 검사 대상체인 미세 탐침을 보면서 각종 측정 도구를 이용하여 사람의 눈으로 검사를 수행하는 방법이었다, 이와 같은 방법의 과정을 설명하면, 우선 검사자는 일정한 밝기를 가지는 검사실에서 현미경을 이용하여 미세 탐침을 보게 된다. 그런 후, 검사 대상체가 놓여있는 바닥에 새겨져 있는 각도계를 이용하여 미세 탐침의 각도를 측정한다. 다음으로 Tip Length를 측정하기 위하여, 마이크로미터를 측정할 수 있는 특수한 자를 이용

하여, 종단 직경의 길이를 측정하게 된다. 이렇게 탐침의 각도와 Tip Length를 측정한 후, 종단 직경을 검사하기 위하여, 일정한 틀을 사용한다. 종단 직경을 검사하는 틀은 직경이 $10\mu\text{m}$ 인 구멍이 뚫려 있어서, 탐침의 종단이 검사 틀에 뚫려있는 구멍에 들어가는지 여부를 기준으로 하여 검사를 진행하게 된다.

현재는 위와 같은 방법으로 미세 탐침에 대한 사람의 시력에 위한 검사가 진행되고 있다. 그러나 이러한 검사의 한계점은 미세 탐침의 생산라인에서 가공되어 나오는 속도가 검사 속도보다 월등히 빠르다는 것이다. 그로 인하여 이러한 검사들은 전수검사가 아닌 일정한 샘플을 추출하여 검사하였을 때, 그 샘플이 정상일 경우 샘플을 추출했던 검사 대상군은 전부 정상으로 판별하는 샘플링 검사방법을 사용하고 있다. 이러한 검사방법은 미세 탐침의 검사 속도가 생산되는 속도를 따라가기 위한 방법일 뿐, 검사의 신뢰도는 그다지 높지 않다고 할 수 있다.

이러한 검사의 신뢰도 문제에 영향을 미치는 요소가 한 가지 더 있는데, 이는 사람의 육안으로 검사를 하기 때문에 한 사람이 정확한 검사를 진행할 수 있는 시간이 비교적 짧다는 것이다. 이로 인하여 한 검사자가 어느 정도 검사를 수행한 후 다른 검사자와 교대를 하게 된다. 그러나 이때 검사자가 바뀜으로 인하여, 검사의 대략적인 기준은 정해져 있지만 그 기준에 부합여부를 판단하는 부분에 주관적인 부분이 있어 검사 결과의 균일성이 떨어지게 된다.

2. 제안한 검사 방법을 이용한 미세탐침의 측정

가. 전처리 과정

본 연구에서 검사하고자 하는 웨이퍼 프로브카드 미세 탐침의 모양은 그림 3과 같다. 그림 4는 그림 3과 같은 미세 탐침들 탐침들이 여러 개 모여서 구성된 프로브카드이며, 그림 5는 전체적인 시스템의 대략적인 흐



그림 3. 미세 탐침의 실제모양

Fig. 3. Actual shape of Micro Needle.

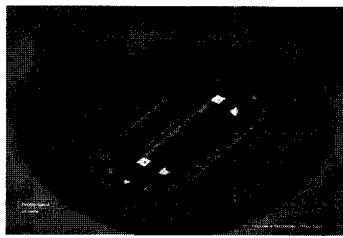


그림 4. 프로브 카드

Fig. 4. Probe card.

$$\frac{1}{9} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 8 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

그림 6. 고역 통과 공간 필터

Fig. 6. High-pass Spatial filter.

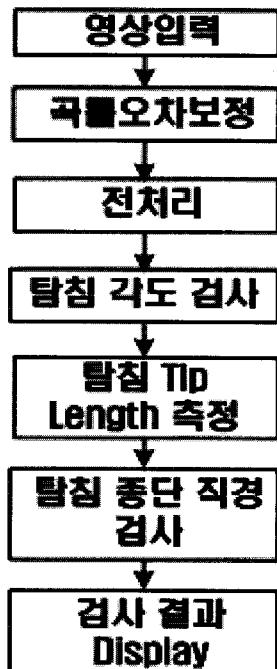


그림 5. 미세 탐침 비전 검사 시스템 흐름도
Fig. 5. Flowchart of Visual Inspection System for Micro Needle.

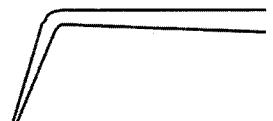
름도를 나타내고 있다.

본 연구와 같이 미세한 대상물에 대해서 비전 검사를 수행할 경우 발생되는 공통적인 문제점은 노이즈와 조명의 영향을 많이 받는다는 것이다. 사람의 눈으로는 구별할 수 없는 먼지 등이 고해상도 영상에서는 노이즈로 나타나고, 작은 조명의 변화도 화질을 떨어뜨릴 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 영상에 나타나는 작은 노이즈들을 제거하기 위해 전처리 과정에서 침식 연산(Erosive operation)과 팽창 연산(Expansion operation)을 수행했다. 즉 비전 검사용 카메라를 통해 얻은 영상에서 몇 개 픽셀 크기의 작은 노이즈가 있는 경우 침식 연산을 통해서 노이즈를 제거한 후, 다시 팽창 연산을 수행해서 검사 대상물을 원래의 크기로 복원시키는 것이다.

또한 본 연구에서는 검사를 수행하기 전에 노이즈를 제거한 영상의 선명도를 높임으로써, 좀 더 정확한 검



(a)전처리 전



(b)전처리 후

그림 7. 원본 이미지와 전처리 후 이미지의 비교
Fig. 7. Comparison of original image and preprocessing image.

사를 하기 위해 고주파 통과 필터를 사용하였다. -일반적으로 비전 시스템을 이용한 외관 검사 분야에서는 고주파 성분은 가능한 강조하면서, 저주파 성분 쪽을 최대한 제거하는 방법이 많이 사용되고 있다.^[3]

본 시스템에 사용되는 고주파 통과 필터는 비교적 구조가 간단하면서 적용하기 쉬운 공간 마스크를 이용하는 방법으로 처리하였다. 공간 필터는 영상을 선명하게 하기도 하고 강조하기도 하며, 선이나 에지의 특수한 형상을 검출할 수 있다. 그러나 이러한 필터를 사용하면 급격히 변화하는 부분은 검출되지만 그 밖의 점의 농도는 낮아지는 단점이 있으나, 검사대상의 기준이 점이 아닌 에지성분이며, 또한 검사대상체가 워낙에 미세한 물체이기 때문에 그 에지성분들을 더욱더 확실하게 강조를 할 필요가 있었다.

그림 6은 에지를 더욱 선명하게 하기 위해 사용된 3X3 공간 필터를 도시한 것이다. 필터의 중심 계수는 양수이고 나머지 계수들은 음수이며 계수들의 합은 0이

다. 위의 마스크를 이용한 공간 필터링의 결과는 영상 값이 일정하거나 서서히 변하는 부분에서는 0이거나 매우 작은 수가 된다. 반면에 농도의 변화가 심한 애지 부분에서는 비교적 큰 값이 얻어진다. 따라서 위와 같은 마스크를 이용한 공간 필터링 처리를 통하여, 검사 대상체의 윤곽선을 보다 선명하게 할 수 있다.

검사에 사용되는 영상의 전처리과정은 이와 같이 침식연산과 팽창 연산을 통한 평균화 처리를 거쳐 잡음을 제거하는 1차 과정을 거친 후, 고역 통과 공간 필터를 통과시켜 평균화 처리된 영상에서의 애지의 선명도를 더욱 높이는 2차 과정을 거친다.

이와 같은 전처리 과정을 거친 후, 검사하고자 하는 부분만을 확대하는 과정을 수행한다. 그림 7은 전처리를 수행하기 전의 입력 이미지(그림 7 (a))와 전처리 후 검사할 부분을 확대한 영상(그림 7 (b))을 보여 준다. 이렇게 검사하고자 하는 부분을 확대한 후 검사를 수행함으로써, 검사 대상인 탐침의 미세한 변화도 검사 과정에서는 더욱 확인하게 나타나고, 비전 검사의 오류를 줄일 수 있는 방향으로 검사가 진행된다.

나. 구부러진 각도 측정

본 연구에서 탐침의 구부러진 각도를 측정하는 알고리즘은 다음과 같다. 우선 전처리 과정을 거친 영상에 각도 측정을 위한 기준점을 정의 한 후, 그 기준점을 서로 연결했을 때 생기는 삼각형을 사용해서 검사하고자 하는 미세 탐침의 꺾어진 각도를 측정했다.

우선, 기준점을 정의하는 방법은 미세 탐침의 입력 영상에서 길이가 긴 방향과 짧은 방향의 중심을 애지를

이용하여 구한 후, 그림 10과 같이 2개의 가상의 삼각형을 만든다. 이렇게 만들어진 삼각형은 내각의 합이 180° 라는 점을 이용하여 미세 탐침의 꺾인 각도를 구할 수 있다.

Angle 1을 정의하는 방법은 아래 그림 8과 같다. Angle1을 바로 정의 하지 않은 이유는 탐침 종단 부분이 위낙에 미세한 부분으로, 그 부분에서 수평선에 대해 얼마나 기울어져 있는지를 측정하기 위한 기준을 정의하기가 상당히 난해하기 때문이다. 그래서 Angle X에 해당하는 부분을 측정하면, 여기서 나오는 Angle X는 Angle 1과 같다고 정의할 수 있다.

또한, Angle 2는 그림 9와 같이 탐침의 길이가 긴 방향 쪽으로 어느 정도의 각도를 가지고 있는지를 나타내는 각도로 정의되어 있다. 보통 탐침의 길이가 긴 방향 쪽으로는 각도가 거의 측정되지 않을 정도이

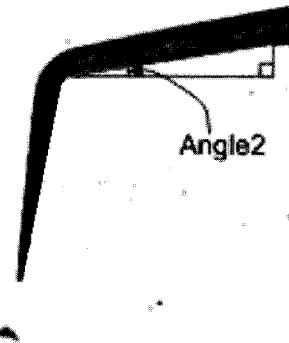


그림 9. Ang 2의 측정

Fig. 9. Measurement of Ang 2.

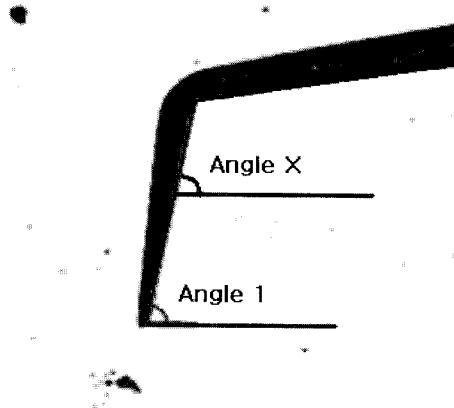


그림 8. Ang 1의 측정

Fig. 8. Measurement of Ang 1.

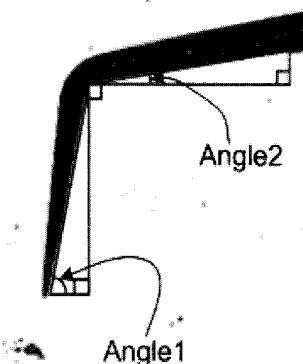


그림 10. 미세 탐침의 각도 측정 알고리즘

Fig. 10. Angle measurement algorithm of minute probe.

다. 그러나 위낙에 미세한 탐침이어서, 아주 작은 위치의 차이만으로도 Angle 1의 값이 작아지면서, Angle 2의 값이 나오게 된다. 따라서 이러한 경우에도 정확한 측정을 위하여, Angle 2를 측정한다.^[6~7]

이와 같이 Angle1과 Angle2를 정의하면, 탐침의 구부러진 각도 측정은 그림 10과 같이 정의 할 수 있게 되며, 검사하고자 하는 각도를 계산하는 방법을 수식적으로 나타내면 식(1)과 같이 구할 수 있는 것이다.^[8]

$$\text{검사각도} = (180^\circ - 90^\circ - \text{Angle1}) + 90^\circ + \text{Angle2} \quad (1)$$

다. Tip Length 측정

본 연구에서 검사하고자 하는 Tip Length는 그림 10의 Angle 1을 구하기 위한 삼각형 높이에 해당된다. 미세 탐침의 Tip Length를 구하기 위한 방법은 우선 전처리 처리된 영상을 이용하여 미세 탐침의 긴 방향에 해당하는 쪽의 중심선을 에지를 이용하여 정의한다. 또한, 미세 탐침의 종단에서도 그 종단에 수평하는 그리고 이렇게 정의된 중심선으로부터 미세 탐침 종단까지 수직 선분을 정의 한다.

이때, 주의해야 할 점은 미세 탐침의 종단점과 수평 방향에 수직한 선분이 직교해야 한다는 것이다. 그렇게 되면 직교한 점으로부터 종단까지의 거리가 삼각형의 밑변에 해당 되며, 미세 탐침의 구부러진 부분에서 끝까지가 삼각형의 빗변에 해당하게 된다.^[3]

이렇게 정의된 가상의 삼각형은 그림 12와 같이 정의 될 수 있으며, 이를 피타고라스의 정리를 이용하여 계산하면 미세 탐침의 Tip Length를 구할 수 있다. 이와 같은 과정을 수식적으로 나타내면, 식 (2)와 같이 정리 할 수 있으며, 수식에 사용된 상수 값은 카메라의 배율

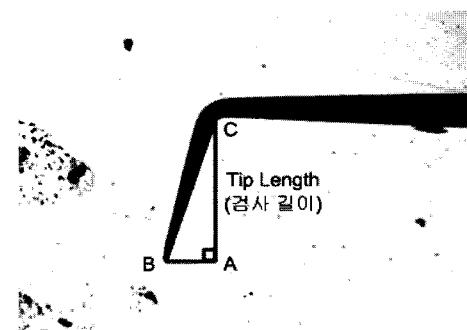


그림 12. Tip Length 측정 알고리즘

Fig. 12. Tip Length measurement algorithms.

에 따른 오차 보정 값을 실험적으로 구한 것이다.^[8~9]

$$\text{Tip Length} = \sqrt{BC^2 - AB^2} \times (4.65/4) \quad (2)$$

라. 종단 직경 측정

미세 탐침 종단의 경우 상당히 작지만 그림 13에 보이는 것과 같이 일정한 경사가 존재하는 것을 알 수 있었다.

이러한 탐침 종단 직경 측정을 위한 기준점을 정의하는 방법은 우선 탐침 종단의 에지 중 첫 에지와 끝 에지를 기준으로 선분을 그린다. 이때, 종단의 첫 번째 에지에서 수직 선분을 그리고, 끝 에지에서는 수평 선분을 그린 후, 이 두 선분을 연결했을 때 나오는 삼각형의 밑변과 높이를 구함으로서, 측정하고자하는 탐침 종단의 직경을 구했다.^[8~9]

이러한 알고리즘은 검사의 기준이 되는 수직한 선분과 수평한 선분을 바르게 정의 해야만 한다는 제약이 있으나, 전처리 과정을 거친 영상의 경우, 각 에지성분에 일정한 픽셀 좌표가 부여되는 상태가 되므로, 거의 오차가 없는 수직 선분과 수평 선분을 구현할 수 있다. 지금까지의 과정을 식으로 정리하면 (3)과 같다.^[10]

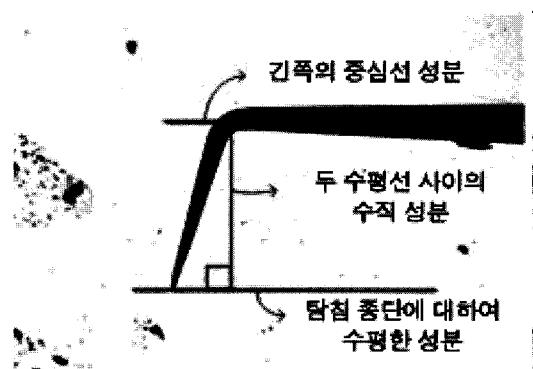


그림 11. 수직 성분에 대한 정의

Fig. 11. About vertical ingredient justice.

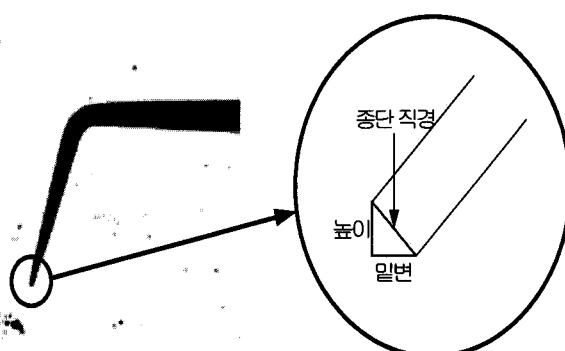


그림 13. 탐침 종단 직경 측정 알고리즘

Fig. 13. Probe vertical diameter measurement algorithm.

$$\text{종단 직경} = \sqrt{\text{밑변}^2 + \text{높이}^2} \times (4.65/4) \quad (3)$$

이상과 같은 방법을 사용하여 탐침의 구부러진 각도, Tip Length, 종단 직경의 이상 유무를 측정할 때 가장 중요한 점은 각각의 값들을 구할 때 설정해야하는 기준 점이다. 이러한 기준점 설정은 미세 탐침의 검사 정확도 및 신뢰도를 결정하는 매우 중요한 요소이고, 이러한 기준점들을 잘못 설정하였을 경우에는 정상적인 탐침을 불량으로 판별하는 비전 검사 오류를 일으킬 수 있기 때문에 신중하게 결정해야 할 것이다.

III. 실 험

본 연구에서 미세 탐침 검사를 위한 비전 시스템을 구현하기 위해 기본적으로 프레임 그레이, PC, 카메라, 기타 I/O장치로 구성되어 있으며, Visual C++를 사용하여 Windows 응용프로그램을 작성하였다. 본 실험에서 쓰인 이미지의 해상도는 1380*1035픽셀이며 실험에 사용된 카메라의 CCD 소자의 크기 Cd, 렌즈의 초점거리

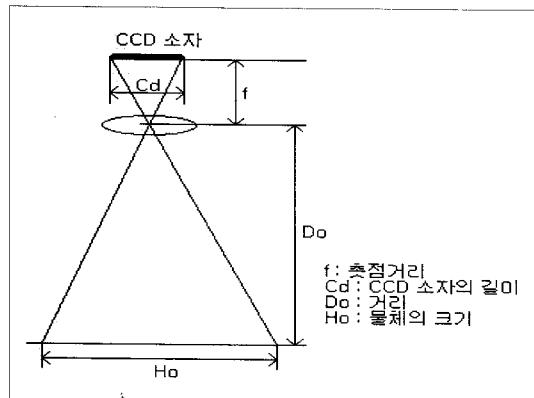


그림 14. 거리에 따른 영상의 크기

Fig. 14. The Size of image according to distance.

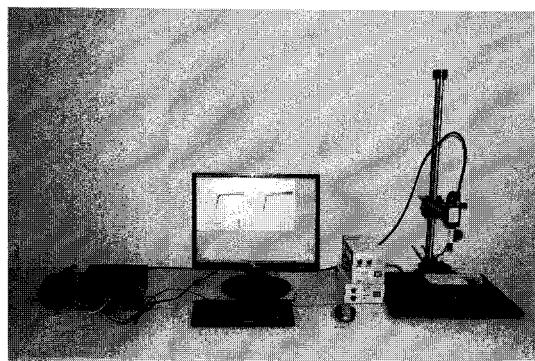


그림 15. 미세 탐침 검사를 위한 비전 시스템

Fig. 15. The vision system for Prosecuting Attorney minute probe.

f 와 물체의 크기 H_0 를 고려해 카메라와 검사대상 사이의 거리(D_0)를 11Cm로 하였으며, 그 관계식은 식(4)에 나타내었으며, 그럼 15는 미세 탐침 검사를 위한 비전 시스템의 모습이다.

$$D_0 = (H_0^2 \times f) / C^2 \quad (4)$$

또한, 아래 그림 16은 검사에 사용되는 제안한 자동 검사 시스템의 결과 출력화면이다.

기존의 방법인 사람의 육안을 통한 검사는 대상체에 대한 전수검사가 아닌 샘플링 검사를 통하여 검사하였다. 이와 같은 방법은 사람의 육안으로 대량 생산되는 제품의 생산속도를 맞추기 위한 방법일 뿐, 검사의 신뢰도가 높다고는 말할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 비전 검사 시스템을 이용하여 샘플링 검사가 아닌 전수 검사를 통한 검사의 신뢰도 향상을 가오는 것뿐만 아니라 검사자에 따른 주관적인 판단기준 또한 객관화 시키는데 중점을 두었다. 아래 표는 검사자가 샘플링 검사 과정을 수행한 50개의 미세 탐침에 대하여, 본 연구에서 제안한 자동 검사 시스템으로 다시 검사하여, 두 가지 방법의 검사결과를 비교한 것이다.

표 1에서 보는바와 같이 육안 검사의 경우에도 어느 정도의 불량률을 가지고 검사가 가능하다. 하지만, 검사자의 주관에 따른 오차가 발생할 수 있고, 측정치도 소수점까지는 측정할 수가 없다. 그래서 대상체가 미세한 차이가 발생할 경우, 이를 파악하지 못하고 정상 품으로 판별하는 경우가 생기게 된다. 그러나 제안한 자동 검사 방법을 사용할 경우, 소수점까지 측정이 가능하고, 이로 인하여 미세한 차이의 불량도 측정이 가능하다.

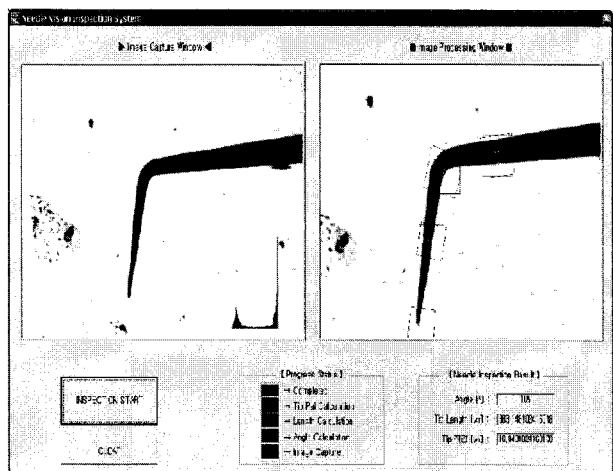


그림 16. 제안한 시스템의 검사결과 출력화면

Fig. 16. Inspection resulting output screen of proposed automatic inspection system.

표 1. 육안 검사 방법과 제안한 자동 검사 방법의 결과 비교

Table 1. Result comparison of human-eyes inspection method and our proposed automatic inspection method.

No	Angle[°]		Tip Length[μm]		종단 직경[μm]	
	육안 검사	제안한 자동검사	육안 검사	제안한 자동검사	육안 검사	제안한 자동검사
1	103	103.7	384	384.4	ok	11.3
2	103	103.3	381	381.2	ok	10.4
3	103	103.4	381	381.6	ok	10.3
4	103	103.2	383	383.8	ok	10.8
5	102	102.8	382	382.3	ok	11.6
6	104	104.3	379	379.8	ok	9.9
7	104	104.6	383	383.8	ok	11.2
8	103	103.1	376	376.4	ok	11.8
9	103	103	381	381.3	ok	11.1
10	104	104.3	380	380.8	ok	10.8
11	104	104.6	382	382.4	ok	11.7
12	102	102.1	386	386.4	ok	11.2
13	103	103.2	383	383.6	ok	8.9
14	103	103.5	385	385.1	ok	8.7
15	102	102.6	382	382.3	ok	11.3
16	103	103.4	378	378.3	ok	10.6
17	104	104.8	382	382.7	ok	11.9
18	105	105.3	383	383.6	ok	10.6
19	104	104.6	377	377.5	ok	11.4
20	104	104.7	382	382.8	ok	10.1
21	101	101.2	374	374.3	NG	13.3
22	103	103.8	381	381.2	ok	11.6
23	104	104.9	383	383.1	ok	11.3
24	103	103.1	383	383.6	ok	9.8
25	103	103.2	384	384.8	ok	11.3
26	103	103.4	378	378.5	ok	11.8
27	104	104.5	377	377.4	ok	11.2
28	103	103.7	383	383.4	ok	10.5
29	103	103.7	383	383.5	ok	10.7
30	103	103.9	382	382.7	ok	11.1
31	104	104.6	384	384.9	ok	11.5
32	104	104.5	381	381.2	ok	11.8
33	103	103.4	379	379.4	ok	11.3
34	102	102.5	387	387.6	ok	10.7
35	103	103.3	384	384.3	ok	10.8
36	103	103.6	382	382.6	ok	10.7
37	103	103.5	383	383.2	ok	10.2
38	103	103.3	377	377.5	ok	11.6
39	103	103.7	382	382.3	ok	11.7
40	103	103.9	381	381.4	ok	11.3
41	103	103.	381	381.5	ok	11.7
42	102	102.3	384	384.7	ok	11.6
43	104	104.5	381	381.7	ok	11.3
44	103	103.7	384	384.3	ok	11.7
45	103	103.3	382	382.5	ok	10.6
46	103	103.7	379	379.2	ok	11.1
47	101	101.6	382	382.6	ok	11.1
48	103	103.8	382	382.7	ok	11.1
49	102	102.3	384	384.6	ok	10.1
50	102	102.6	381	381.3	ok	10.8



그림 17. 조명환경에 따른 입력영상의 변화

Fig. 17. The change of input image according to illumination environment.

그중에서 종단 직경의 경우, 일정한 틀에 넣어서 검사하는 방법을 사용하게 되는데 이때 검사들의 정확도에 따라 검사의 정확도가 결정된다. 그리고 검사들을 이용하기 때문에 검사들보다 직경이 큰 경우는 비교적 잘 구분해낼 수 있지만, 검사들보다 직경이 작은 경우 정상 품과 불량품을 구분해내기가 상당히 어렵다.

제안한 자동 검사 시스템은 검사 대상이 워낙에 미세한 부품이어서, 아래 그림 17에 보이는 것과 같이 조명의 변화에 따라 입력영상의 상태가 확연한 차이를 보이는 점을 생각하여, 비전 검사 시스템의 검사 정확도에 영향을 미치는 많은 요소들 중에서 가장 크게 영향을 미칠 수 있는 요소는 조명이라고 판단하였다.

따라서 검사 시스템이 검사 현장에서 보다 정확하고 신속한 검사를 수행할 뿐만 아니라 안정적인 검사 신뢰도를 얻을 수 있도록 하기 위하여, 정상 판별의 기준으로 정의되어 있는 검사 대상체를 검사 시스템에 비춰지는 조명의 조도[LUX]만을 변화시키면서 각 조도에서 검사 시스템이 정상적인 검사를 수행할 수 있으며, 이렇게 조명의 환경이 변화하였을 경우, 검사 결과 값들이 어떠한 변화를 보이는지를 알아보기 위하여 조명을 변화시키며 검사 실험을 수행하였다.

실제 검사 환경에서 보편적으로 접하게 되는 검사 환경은 보통 900 ~ 1000[LUX] 정도의 밝기를 가지고 있다. 따라서 이러한 보편적인 검사 환경의 조명으로부터 어두운 쪽으로는 520[LUX], 밝은 쪽으로는 1280[LUX] 까지 40[LUX] 단위로 증감시키면서 검사를 진행하였다. 물론, 각각의 밝기에서 검사하는 미세 탐침의 상태는 항상 일정하며, 조명을 제외한 검사에 영향을 줄만한 어떠한 조건도 변화하지 않은 상태에서 탐침이 전체적으로 구부러진 각도, 탐침의 높이에 해당하는 Tip Length, 그리고 미세 탐침의 두께에 해당하는 탐침의 종단 직경을 측정하였다. 아래 표 2는 위와 같은 조건 하에서 육안 검사 방법에 의해 실험한 결과이다.

육안에 의한 검사방법은 검사실의 일반적 환경인 90

표 2. 조명 변화에 따른 육안 검사 방법의 실험결과
Table 2. Experimental result of human-eyes examination method in various lighting condition.

조도 [lux]	각도 [°]	Tip Length [μm]	종단 직경 [μm]
520	측정불가	측정불가	ok
560	측정불가	측정불가	ok
600	측정불가	측정불가	ok
640	측정불가	측정불가	ok
680	측정불가	측정불가	ok
720	측정불가	측정불가	ok
760	측정불가	측정불가	ok
800	104.3	376.6	ok
840	103.9	379.3	ok
880	103.9	380.6	ok
920	103.5	382.9	ok
960	103.5	382.3	ok
1000	103.5	382.9	ok
1040	측정불가	측정불가	ok
1080	측정불가	측정불가	ok
1120	측정불가	측정불가	ok
1160	측정불가	측정불가	ok
1200	측정불가	측정불가	ok
1240	측정불가	측정불가	ok
1280	측정불가	측정불가	ok

표 3. 조명 변화에 따른 제안한 자동 검사 방법의 실험 결과

Table 3. Experimental result of our proposed automatic inspection method in various lighting condition.

조도 [lux]	각도 [°]	Tip Length [μm]	종단 직경 [μm]
520	103.5	381.9	9.8
560	103.5	381.9	9.8
600	103.5	382.1	10
640	103.5	382.2	10.1
680	103.5	382.4	10.3
720	103.5	382.9	10.8
760	103.5	382.8	10.7
800	103.5	382.7	10.6
840	103.5	382.7	10.6
880	103.5	382.6	10.5
920	103.5	382.9	10.8
960	103.5	382.3	10.1
1000	103.5	382.9	10.8
1040	103.5	383.5	11
1080	103.5	383.6	14.3
1120	103.5	383.8	14.2
1160	103.5	384.1	14.2
1200	103.5	384.9	14.2
1240	103.5	384.9	14
1280	103.5	385	15.5

0~1000[LUX]에서 비교적 정확한 검사 결과가 나왔다. 그러나 1040[LUX]~1240[LUX]까지의 밝기에서는 검사자가 각도 및 Tip Length를 측정하기 위해 현미경을

이용하여 대상체를 검사할 때, 조명의 밝기가 육안으로 검사하기에는 너무 밝은 상태여서 검사를 수행하기 어려워 측정이 불가능하다. 그러나 종단 직경의 경우는 일정한 틀을 사용하기 때문에 조명의 영향을 받지 않는 부분이기 때문에 검사가 가능하다. 밝기가 어두운 쪽으로도 마찬가지의 경우로, 760[LUX]정도의 밝기가 될 경우, 검사자가 검사를 하기위한 대상체를 정확하기 인식하기 어려워 측정이 불가능하다.

표 3은 표 2의 환경과 똑같은 조건하에서, 제안한 검사 방법에 의해 실험한 결과이다. 본 연구에서 제안한 검사 시스템은 600 [LUX]~1040 [LUX]에서 검사 오차 범위 안에 있는 정확한 검사 결과가 나타내었다. 이는 보편적인 검사 환경인 900~1000[LUX]는 물론 어두운 쪽으로는 200[LUX], 밝은 쪽으로는 40[LUX]정도의 여유를 가지고 있다는 것을 나타낸다. 그러나 1080[LUX]~1280[LUX]까지의 밝기에서는 탐침의 각도와 Tip Length는 각각의 오차범위인 $103 \pm 1[^\circ]$ 와 $380 \pm 5[\mu\text{m}]$ 인 허용 오차범위 안에 있는 결과를 나타내어 정상으로 판별할 수 있었으나, 미세 탐침 종단의 직경의 경우 허용 오차 범위인 $11 \pm 1[\mu\text{m}]$ 를 넘는 결과가 나와 불량으로 판별할 수 있는 결과를 나타내었다.

이러한 결과는 검사 대상이 미세하기 때문에 조그만 조명의 변화에도 전체적으로 검사에 사용되는 에지를 추출할 수 있는 편차가 심하다는 것을 나타낸다. 특히 탐침의 종단의 경우 미세한 탐침 중에서도 가장 에지를 추출하기 어려운 부분으로서, 1040[LUX]~1080[LUX]에서 이는 조명이 밝아짐에 따라 검사배경과 검사체사이의 그레이 레벨(gray level)에서 두 영역 사이의 경계가 되는 의미 있는 불연속성 부분이 많이 검출되기 때문에 나타나는 현상이다. 이러한 현상이 나타남으로 인하여 탐침의 직경이 실제보다 크게 측정되며, 측정된 값이 오차범위를 벗어나 있으므로 시스템은 검사 대상이 불량품이라는 결과를 나타내게 되는 것이다. 이와는 반대로 600[LUX]미만의 밝기에서는 조명이 어두워짐에 따라 미세 탐침의 종단에서 검출되어야 할 에지성분이 적게 검출되는 현상이 나타나게 된다. 이는 조명이 어두워짐에 따라 검사배경과 검사체사이의 그레이 레벨(gray level)에서 두 영역 사이의 경계가 되는 의미 있는 불연속성 부분이 적게 검출되기 때문에 나타나는 현상이다. 이러한 현상이 나타남으로 인하여 탐침의 직경이 실제보다 작게 측정되며, 측정된 값이 오차범위인 $11 \pm 1[\mu\text{m}]$ 을 벗어나 있으므로 시스템은 불량품이라는 결과를 나타내게 되는 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서 미세 탐침의 각도를 측정하기 위하여 탐침을 2부분으로 나누어, 이 두 부분들이 서로 보완을 하여, 육안 검사 방법보다 훨씬 신뢰할 수 있는 검사방법을 제안하였다. 또한, Tip Length를 측정하는 방법에서도 탐침의 절대적인 높이를 검사의 기준으로 정하여, 보다 신뢰성 있는 검사 결과를 얻을 수 있었다. 종단 직경의 경우에도 검사의 방법을 탐침의 절대적인 기준을 사용하여 측정하였기 때문에 특히 조명의 변화가 생기더라도 어느 정도는 그 변화가 시스템의 검사에 영향을 미치지 않도록 하였다. 이와 같이 각 검사 기준부에 대한 검사 기준 및 검사 알고리즘을 설계함으로서 전체적으로 비전검사의 문제점인 조명에 대한 민감도를 어느 정도 개선할 수 있었다. 현재는 제품검사를 사람이 직접 현미경을 사용하여 검사하는 경우가 많은데, 이러한 방법은 검사 육안의 육체적, 정신적인 상태에 따라 검사의 신뢰도가 좌우되는 방법이며, 검사 육안의 인건비 문제에서도 막대한 추가 비용이 들어가고 있다. 따라서 제안한 미세 탐침 검사 시스템은 사람의 육안이 아닌 카메라를 이용하여 자동으로 검사하도록 하는 방법이므로, 검사의 신뢰성을 더욱 높일 수 있는 방향을 제시하였다.

제안한 자동 검사 방법을 검사에 사용할 경우, 기준의 육안 검사 방법보다 어두운 쪽으로는 200룩스, 밝은 쪽으로는 40룩스 정도의 검사 가능 범위의 확대를 가져왔으며, 이는 검사 시스템이 조명의 변화에 보다 안정적으로 동작할 수 있는 것을 나타낸다.

참 고 문 헌

- [1] Milan Sonka, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision", PWS Publishing, Page 68-137, 1999.
- [2] Bernd Jahne, "Digital Image Processing", Springer, Page 79-105, 2002.
- [3] C H Chen & P S P Wang, "Pattern Recognition and Computer Vision", World Scientific, Page 310-480, 2005.
- [4] Wesley E. Snyder and Hairong Qi, "Machine Vision", Cambridge, Page 298-325, 2004.
- [5] Maria Petrou and Panagiota Bosdogianni, "Image Processing", John Wiley & Sons Inc, Page 265-282, 1999.
- [6] Randy Crane, "A Simplified Approach To Image Processing", Prentice Hall, Page 85-184, 1996.
- [7] Maria Petrou and Panagiota Bosdogianni "Image Processing" Page 265-282
- [8] Tamal Bose, Francois Meyer, "Digital Signal and Image Processing", John Wiley & Sons, 2003.
- [9] Forsyth, David A, "Computer Vision : A Modern Approach", Prentice Hall, 2003.
- [10] Roberto Cristi, "Modern Digital Signal Processing", Thomson-Brooks/Cole, 2003.
- [11] "Matrox Inspector User Guide", Version 4, Matrox Electronic System Ltd, 2002.

저 자 소 개



강 수 민(학생회원)
 2004년 단국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2006년 현재 단국대학교
 전자공학과 석사 졸업
 2007년 현재 단국대학교
 전자공학과 박사과정
 재학 중

<주관심분야 : 시스템제어, 로봇제어, 3차원
 Display, Vision>



한 광 휘(학생회원)
 2006년 단국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2008년 현재 단국대학교
 전자공학과 석사과정
 재학 중
 <주관심분야 : 시스템제어, 로봇
 제어, 3차원 Display, Vision>



허 경 무(정회원)
 1979년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1981년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 석사 졸업
 1989년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 박사 졸업
 1993년 ~ 현재 단국대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 로봇제어, 검사자동화, 시스템 제
 어, 학습 제어, Servo Motor 제어, 디지털제어기
 설계 및 시뮬레이션, 3차원 Display, Vision>