

영상을 이용한 미세 드릴비트 측정에 관한 연구

A Study on Micro Drill-Bit Measurement Using Images

곽동규*, 최한고**
Dong-gyu Kwak*, Han-go Choi**

요약

본 연구에서는 인쇄회로 기판(PCB)의 홀 가공에 사용되는 초소형 및 경량의 마이크로 드릴비트를 검사하기 위한 방법을 제안하고 있다. 고배율의 현미경을 통해 마이크로 드릴 비트의 영상을 획득한 후 드릴비트의 주요 지점들을 검출하는 영상처리 알고리즘을 개발하였고 주요지점을 근거로 하여 드릴비트의 다양한 요소들을 측정하였다. 또한, 드릴비트의 정상 및 비정상 상태를 자동으로 분별할 수 있는 윈도우 기반 검사 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 시스템의 상대적인 성능비교를 위해 시험영상들을 사용하여 기존 검사장비와 비교하였다. 실험결과에 의하면 제안된 시스템은 기존 검사기보다 성능을 조금 향상시켰으며 기존 시스템에서 발생된 오판단된 일부 에러를 정확하게 분류하였다.

ABSTRACT

This study presents a method to test quite small-sized and light-weighted micro-drill bits which are used to make holes in printed circuit boards(PCB). After getting images of micro-drill bits through the high resolution microscope, we developed image processing algorithms to detect fiducial points, and then measured diverse factors of the drill-bit based on these points. We also developed the window-based inspection system to automatically discriminate normal and abnormal status. For the relative comparison of its performance, the system was compared with an existing inspection system using test images. Experimental results showed that the proposed system slightly improved performance, and also classified correctly some misjudged errors which were occurred in the existing system.

Keywords : *Micro-drill Bit, Image Processing, Printed Circuit Board, Inspection System*

I. 서론

전자제품의 소형화 및 경량화 추세에 따라 인쇄회로기판 제조에 다양한 형태의 극소 경유 홀 가공을 위해 미세한 직경의 드릴비트가 사용되고 있다. 마이크로 드릴링 공정에 사용되는 미세한 직경의 드릴비트를 마이크로 드릴비트라고 하는데, 마이크로 드릴비트의 생산성과 정밀성이 반도체 산업 발전에 필수 요소이다[1][4][8].

마이크로 드릴비트는 매우 미세하게 그리고 형상도 정교하게 가공되어야 하는데, 이는 형상에 따라 가공성과 내구성이 크게 좌우될 수 있기 때문이다. 또한 드릴비트의 측정요소에 따라서 품질에 서로 다른 영향을 미칠 수가 있다. 그림 1과 표 1은 드릴비트 형상에 의해 실제 미치는 영향과 중요도를 설명하고 있다[2][4][5][6].

현재 대부분의 국내 마이크로 드릴비트 생산업체들은 특별한 품질관리 없이 수입하여 납품하고 있는 실정이다. 또

한 국내 드릴가공 기업 규모가 영세하기 때문에 자체개발보다는 외산 드릴비트 검사기를 사용하고 있는데, 가격이 고가이며 많은 양의 드릴비트를 단시간에 검사하여야 하므로 다수의 검사장비가 요구된다. 따라서 대부분의 업체에서는 작업자가 직접 현미경을 통해서 육안으로 드릴비트 품질을 검사하고 있다. 그러나 이러한 검사 공정은 작업자에 의존하는 수작업 형태로서 드릴비트 생산성이 매우 저조하고 작업자의 작업 숙련도와 작업조건에 따라 제품의 불량률이 발생될 가능성이 매우 높다[3][7][8].

본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 드릴비트 영상을 이용하여 각 요소의 규격을 측정하고 검사할 수 있는 방법을 연구하고, 이를 바탕으로 자동 검사 시스템을 개발하였다. 개발 시스템의 성능을 평가하기 위해 다양한 드릴비트 영상을 사용하여 실험한 결과 기존 외산 검사기에 비해 다소 우수한 결과를 보여주었으며, 기존 검사기의 측정오류에 의한 잘못 판단된 일부 에러들에 대해서 본 연구에서는 이를 제대로 판정하였다.

* 하나텍 ** 금오공과대학교 (교신저자)
투고 일자 : 2015.6.17 수정완료일자 : 2015.7.22
계재확정일자 : 2015.8.8

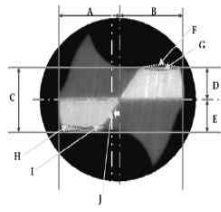


그림 1. 드릴비트 측정요소
Fig. 1. Measuring factors of a drill-bit

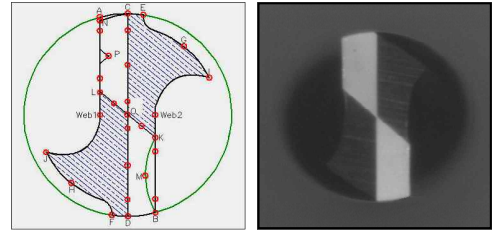


그림 2. 마이크로드릴비트의 측정요소 및 영상
Fig. 2. Measuring factors and image of a micro drill-bit

표 1. 측정요소의 영향 및 중요도
Table 1. Effect and importance of measuring factors

기호	명칭	영향	중요도
A	절삭 날 길이	A와 B의 길이 차 관리로서 Gap, Overlay, Hole 위치 영향을 받음(J 이동 없음)	매우 중요
B	절삭 날 길이		
C	웹 두께	드릴 강성에 영향	중요
D	절삭 날 폭	D와 E의 폭의 차 관리로서 강성과 고속 회전시 떨림 영향을 받음	매우 중요
E	절삭 날 폭		
F	Layback	Chip melting 영향	매우 중요
G	Hook	강성에 다소 영향	중요
H	Taper	칩핑, 강성 영향	매우 중요
I	Flare	강성배려, G 영향	일반
J	Web Offset	가공 센터링에 직접 영향을 받음	매우 중요

표 2. 측정요소 내용
Table 2. Contents of measuring factors

순서	요소	측정내용
1	Outer	CD 거리
2	Overlay / Gap	CO와 DO 수직거리
3	Web thickness	Web1 to Web2 거리 or 날 수직 거리
4	Offset	AC 거리 - BD 거리
5	Eccentric	CO 거리 - DO 거리
6	Flare / Taper	AL과 CO협각 & BK와 DO협각
7	Layback / Hook	KB와 M의 수직거리
8	Chip	AL와 P의 수직거리
9	Round	EN의 원각

II. 측정내용 및 방법

2.1 드릴비트 측정요소 및 측정내용

본 논문에서 다루는 마이크로 드릴비트의 적용분야는 PCB 기판의 드릴링을 위한 목적으로 사용되는데 이러한 드릴비트에서 고려해야 하는 요소는 그림 2와 표 2와 같이 9 항목으로서 기존 외산 검사기에서는 이러한 항목에 대해 정량적인 값을 기준으로 검사하고 있다.

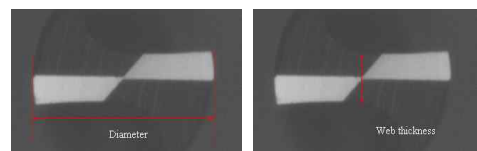
Outer 직경은 드릴비트 정면 지름의 길이로서 드릴비트 모델 종류에 따라 다르다. Gap은 드릴날 중심선 상에서 양측드릴과 떨어짐 정도로 에지 간격이 발생되면 드릴 가공시 피삭체에 대한 센터링 불안정으로 Hole 위치 및 절삭성에 영향을 줄 수 있다. Overlay는 에지 간격과 상반된 내용이며, 드릴 중심선 상에서 양측 드릴의 겹침 정도로서 Gap 발생의 경우보다 센터링이 불안정과 떨림 발생으로 Chipping이 일어나고 이에 따라 Hole 위치도 및 절삭성에 직접적인 영향을 미친다.

Offset은 드릴 양날의 폭에 대한 편차로서, 편차가 심한 경우 편측 하중에 의한 드릴 강성의 영향으로 수명을 단축시킬 수 있으며, 고속 회전 시 떨림 발생에 따른 칩 발생 등이 드릴 수명을 단축시킨다. Eccentric은 드릴 양날의 길이에 대한 편차로서, Edge Gap과 상관관계가 성립될 수 있으며 통상 절삭성 및 드릴 내구성 등에는 큰 영향이 없다.

Flare는 드릴 중심선을 기준으로 에지폭이 달라지는 상태로 퍼지는 상태이며, Taper는 반대로 좁아지는 상태를 말한다. 여기서 드릴링 시 깊은 양날 끝단부를 약하게 하는 특성으로 Taper보다는 Flare가 미치는 영향이 덜하다. Layback과 Hook은 Flare 및 Taper와는 다른 개념으로 중앙면이 밖으로 볼록한 Layback과 안으로 오목한 Hook으로서 Layback은 가공시 칩의 날 끝단부 말림 현상 등으로 드릴 수명을 단축시키고 절삭성에 영향을 준다.

Chip은 드릴 날이 손상되었던 상태를 의미하며, 이 현상은 절삭성 저하로 연결되어 드릴 수명을 단축시켜 정상적인 가공을 불가능하게 만든다. Web은 Chisel의 중심이 이동하는 현상으로 Hole Center의 부적절함으로 위치도에 영향을 주며, 드릴의 떨림 발생에 따른 칩 발생이 드릴의 수명에도 영향을 준다. Round는 가공시 칩의 날 끝단부가 뭉텅해진 경우로 드릴 수명을 단축시키고 절삭성에 영향을 준다[2].

그림 3은 각 측정요소별 드릴비트의 전형적인 불량상태의 이미지를 보여주고 있다.



(1) Outer (2) Web

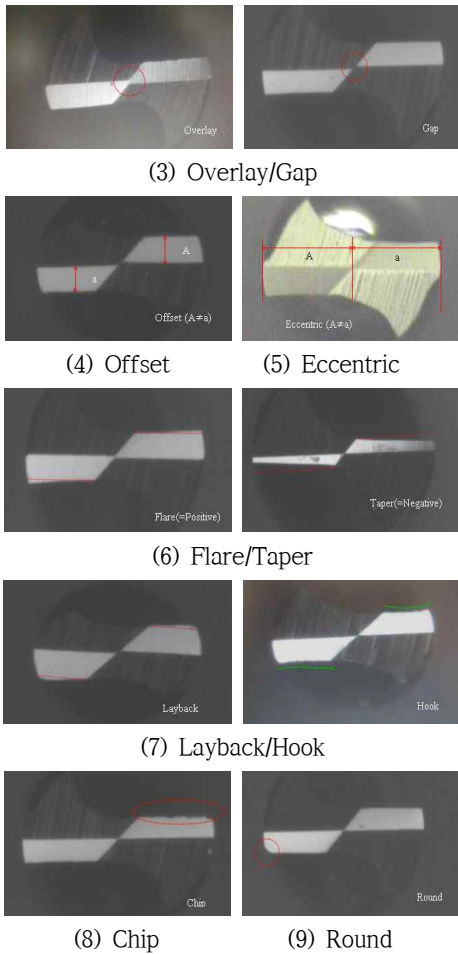


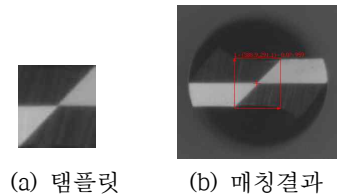
그림 3. 측정요소별 불량상태 예

Fig. 3. Examples of abnormal status in measuring factors

2.2 드릴비트 측정 알고리즘

드릴비트 영상에서 각 요소들을 측정하기 위해 우선 Edge점들과 직선성분들을 검출하고 측정내용에 따라서 Edge점들 사이의 거리와 직선성분 사이의 거리를 계산하면서 각 요소별 측정을 수행하였다[10].

본 연구를 위해서 수집한 이미지 영역 안에 드릴비트의 위치가 일정하지 않기 때문에 드릴비트 위치를 자동적으로 인식하기 위해 패턴매칭 기법을 사용하였다. 이를 위해 일반적인 드릴비트 주 날개의 중심부분을 템플릿으로 설정한 후 그 템플릿으로 패턴매칭을 수행하여 영상 내에서 드릴비트의 중심점 위치를 찾을 수 있다. 현재 검사하기 위한 드릴비트 이미지에서 템플릿으로 설정한 드릴비트의 주 날개 중심 영역의 패턴과 가장 비슷한 영역을 찾으면 검사하고자 하는 드릴비트 주 날개의 중심점 영역 위치를 알아낼 수 있다. 그림 4는 템플릿과 패턴매칭 결과로서 드릴비트의 주 날개 중심영역을 확인할 수 있다.



(a) 템플릿 (b) 매칭결과

그림 4. 패턴매칭

Fig. 4. Pattern matching

패턴매칭으로 찾은 중심점 위치를 기준으로 Clamp 함수를 사용하여 드릴비트의 Outer를 측정한다. Clamp 함수는 드릴비트 중심점 위치를 기준하여 정한 ROI (Region of Interest) 내에서 병렬로 Edge 탐색을 통해 찾은 Edge들 중 바깥 양쪽에서부터 안쪽으로 향하는 방향으로 검색하여 찾은 첫 두 점 사이의 거리를 측정하는 함수이다. 여기서 Edge는 영상 농담의 급격한 변화가 있는 부분이다. 그림 5는 Outer 측정과정을 보여주고 있다.

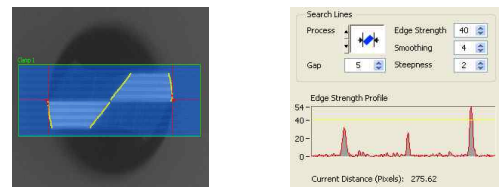


그림 5. Outer 측정

Fig. 5. Outer measurement

Overlay/Gap 요소를 측정하기 위해서 주 날개의 수평면으로 왼쪽 오른쪽 각각 Rake 함수를 사용해서 검출한다. Rake 함수는 직선을 만들기 위해 Line fitting 기법을 사용하는데, 이 방법은 두 점 이상의 점들이 한 직선 상의 점들로 주어지지 않고 직선상의 점 이외의 노이즈나 혹은 다른 원인으로 외부의 점들이 존재할 때, 그 점들에 가장 적당한 직선을 찾는 방법이다. 두 점 이상의 점들이 한 직선 상의 점들로 주어지지 않을 경우에는 초기의 주어진 점으로 식 (1)을 사용하여 대략적인 Fitting을 함으로 초기 파라미터를 세팅하고, 이것을 이용해서 반복적으로 식 (2)의 최소 자승법 계산을 하여 오차를 줄임으로써 점차 세밀하게 식 (3)의 파라미터를 세팅한다.

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \tag{1}$$

$$Mean\ Square\ Error = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} |Z_i - Y_i|^2}{n} \tag{2}$$

$$Z_i = slope \times X_i + intercept \tag{3}$$

Z_i : 초기 값 X_i 에 의해 세팅된 직선상의 y 값

Y_i : 실제 주어진 y 값, n : 샘플 개수

Edge들을 찾아낸 후 그 에지들의 길이를 연장한 직선을 만들어 두 직선 사이의 최단거리를 구한다. 그림 6은 Overlay

/Gap 측정과정을 보여주고 있다.

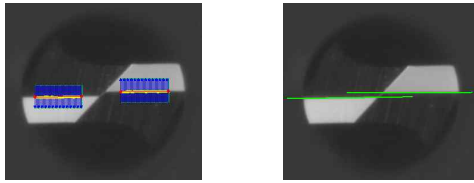


그림 6. Overlay/Gap 측정
Fig. 6. Overlay/Gap measurement

Eccentric 요소를 측정하기 위해서 Outer 측정 시 검출하였던 드릴 원의 내부와 외부의 경계점과 주 날개 중심의 에지점을 찾은 후 그 두 점사이의 길이를 구한다. 주 날개의 중심점은 왼쪽 날개와 오른쪽 날개에 따라 다르기 때문에 각각 찾아야 한다. 주 날개의 왼쪽과 오른쪽의 중심점은 동일한 방법으로 찾을 수 있는데, 주 날개의 수평 에지들의 픽셀을 연장하여 만들어진 수평 직선과 주 날개의 중심 대각선 날의 에지들의 픽셀을 연장하여 만들어진 대각선이 만나는 점을 구하여 중심점을 찾을 수 있다. 그림 7은 Eccentric 요소를 측정하기 위한 과정을 보여주고 있다.

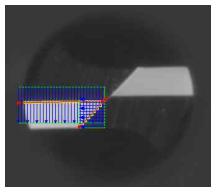


그림 7. Eccentric 측정

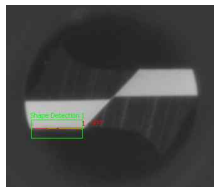


그림 8. Flare/Taper 측정

Fig. 7 Eccentric measurement
Fig. 8 Flare/Taper measurement

Flare/Taper 요소를 측정하기 위해서 주 날개의 양날 부분 영역에서 Line Detection 함수를 사용하여 직선 성분을 찾은 후 그 찾은 직선과 주 날개 수평면 부분에서 찾은 직선의 기울기를 비교한다. 만약 Chip 에러로 주 날개 양날 부분의 영역에서 직선 성분을 찾지 못하면 Flare/Taper 요소를 측정할 필요가 없으며, 주 날개 수평면 부분의 직선을 수평선에서 가장 멀리 떨어진 에지와의 거리만큼 평행이동하여 가상의 선을 둔다. 이때 주 날개 수평면에 있는 직선과 평행한 가상의 선은 Chip 에러를 측정하기 위해 사용된다. 그림 8은 Flare/Taper 요소 측정 결과를 보여주고 있다.

Round 요소를 측정하기 위해서 그림 9(a)와 같이 왼쪽 끝점인 C점에서부터 3x3의 Kernel을 사용하여 아래방향으로 이동하면서 N점을 탐색한다. 이와 같은 Kernel을 사용하면 그림 9(b)와 같이 기울기가 급격하게 변화하기 시작하는 N점을 추출하게 된다. 그림 10은 N점을 탐색하는 과정을 보여주고 있다. X는 현재 픽셀위치를 나타내고 현 위치에서 Kernel의 번호에 해당하는 위치의 픽셀 값을 조사하면서 번호순서에 따라 이동하게 되는데 더 이상 번호 위치에 존재하는 픽셀값이 없으면 그때의 X가 N점이 된다. 그림 9(c)와

같이 탐색한 N점과 Flare/Taper 요소를 측정하는 과정에서 찾은 직선사이의 거리를 측정하여 오목한 정도를 구할 수 있다.

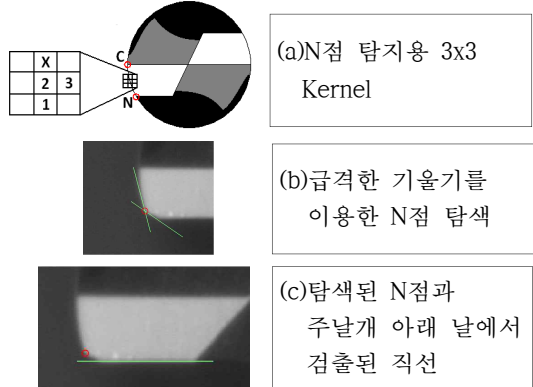


그림 9. Round 측정
Fig. 9. Round measurement

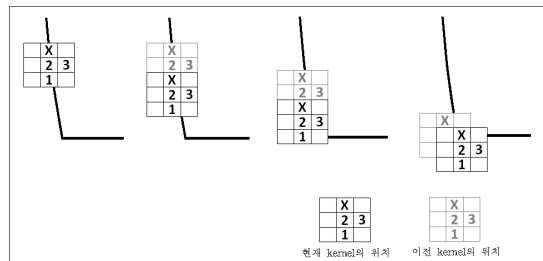


그림 10. Round 탐색과정
Fig. 10. Searching process of Round

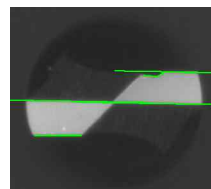


그림 11. Chip 측정

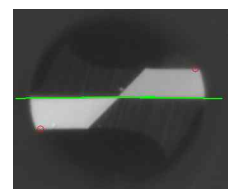


그림 12. Offset 측정

Fig. 11. Chip measurement
Fig. 12. Offset measurement

Chip 요소를 측정하기 위해서 Flare/Taper 요소 측정에서 구한 직선을 기준선으로 하여 주 날개 양날부분의 영역에서 찾은 에지들 사이의 거리를 측정한다. 거리 차이가 큰 부분이 있으면 Chip 또는 Layback/Hook error인데, 옆쪽이 짧거나 에지들과 직선사이의 거리가 일정하게 변화하지 않다면 Chip 에러로 판단하고, 옆쪽이 넓고 에지들과 직선사이의 거리가 일정하게 변한다면 Layback/ Hook 에러로 판단한다. 그림 11은 Chip 요소 측정 과정을 보여주고 있다.

Offset 요소를 구하기 위해 Round error일 것을 감안하여 Round 요소를 측정하면서 검출한 그림 9의 N점으로부터 드릴비트의 중심쪽으로 약간 떨어진 지점에서의 에지와 주 날

개 중심점을 가로지르는 수평선사이의 거리를 주 날개 중심점을 중심으로 왼쪽과 오른쪽으로 측정한 후 그 차이를 구한다. 그림 12는 Offset 요소 측정과정을 보여주고 있다.

Web 두께는 보조날개에서 측정되는 요소이다. 원 영상에서의 보조날개는 주 날개에 비해 명암이나 농담의 차이가 뚜렷하지 않아 쉽게 에지점을 찾을 수 없다. 그래서 색대조 변환으로 전처리 후 대수변환을 사용하여 보조날개 부분의 명암이나 농담의 차이를 외부 배경에 비해 뚜렷하게 나타낸다. 이 영상에서 주 날개의 중심점을 중심으로 해서 위 아래 에지점을 검색한 후 두 에지점 사이의 거리를 구하여 Web 두께로 사용한다. 대수 변환은 그림 13의 그래프와 같이 영상 내 모든 픽셀값을 식 (4)와 같이 로그화하여 명암이 낮은 영역을 뚜렷하게 한다[9]. 그림 14는 대수변환 후의 영상으로서 검출된 에지점도 보여주고 있다.

$$s = c \log(1+r) \tag{4}$$

r : 입력값, s : 출력값, $c = \frac{L-1}{\log L}$ (상수)

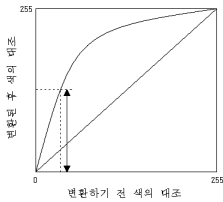


그림 13. 대수변환

Fig. 13. Log transformation

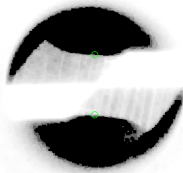


그림 14. 대수변환된 영상

Fig. 14. Log transformed image

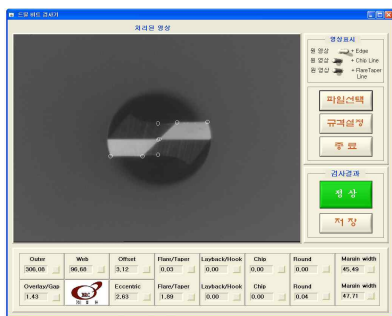


그림 15. 검사기 주화면

Fig. 15. Main window of tester

각 요소 별 측정을 구현하기 위해 NI사의 Vision Assistant 영상처리 툴을 사용하여 Clamp 함수, Edge 탐지 등의 알고리즘을 사용하였다. 자동측정과 측정값에 의한 양불량 판별을 위한 윈도우 검사 프로그램은 NI사의 Labwindows/CVI 기반 하에 C-언어로 코딩하여 개발하였다. 그림 15는 설계된 검사기 주화면으로 화면 상단에는 드릴비트 영상과 주요 측정지점을, 화면하단에는 측정값들과 검사결과를 보여주고 있다.

III. 실험결과

본 연구내용의 평가를 위해 동일한 드릴비트 이미지를 관련업체에서 사용중인 기존 검사기로 검사한 결과와 비교하였다. 기존 검사기의 측정 결과도 오판단하는 경우가 있을 수 있기 때문에 잘못 판단되어진 영상에 대해서는 전문가를 통해서 재판단하여 수정한 결과를 기준으로 하여 비교함으로써 상대적인 성능을 평가하였다. 실험에 사용된 전체 197개 영상은 110개의 정상적인 영상과 87개의 불량 드릴비트 영상으로서 표 3은 기존 검사기의 판정율을, 표 4는 본 연구에서 개발된 시스템의 실험결과를 보여주고 있다.

표 3. 기존 검사기의 검사결과

Table 3. Test results of an existing tester

검사결과 비트	정상 (정상/전체갯수)	불량 (불량/전체갯수)
정상비트	105/110 (95%)	5/110 (5%)
불량비트	4/87 (4.6%)	83/87 (95.4%)

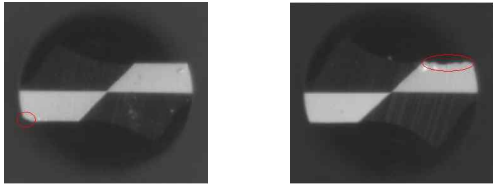
표 4. 전체 검사결과

Table 4. Overall test results

검사결과 비트	정상 (정상/전체갯수)	불량 (불량/전체갯수)
정상비트	107/110 (98%)	3/110 (2%)
불량비트	0/0 (100%)	87/87 (100%)

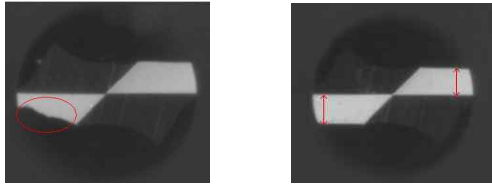
실험결과를 살펴보면 정상 드릴비트 영상에 대해서는 98% 정확도를 보여주었고, 2%의 에러가 발생하였으며, 불량 드릴비트 영상에 대해서는 100% 모두 불량으로 판정하였다. 기존 검사기와 비교해 볼 때 전체적으로 정상비트에 대해서는 3% 정확도를, 불량비트에 대해서는 4.6% 정확도를 향상시켰다. 정상영상에 대해 불량으로 판정한 3개의 영상 중 2개의 영상에 대해서는 그림 17(b)와 같이 전문가도 판단하기가 쉽지 않은 애매한 영상이므로 정상영상에 대해서는 실제 오판율은 2%보다 낮다고 할 수 있다.

표 3에서 확인할 수 있듯이 기존 검사기도 완벽하게 검사하지 못함을 알 수 있다. 예를 들면 실험에 사용된 영상 중 Round 불량이 2개, Chip 불량이 4개로서 이들의 대표적인 영상으로는 그림 16과 같으며, 실험에서는 이러한 영상을 불량으로 분류하여 실험하였다. 이러한 영상에 대해 기존 검사기에서는 불량으로 검출하지 못하는 반면 본 연구에서는 불량으로 정확히 검출하였다. 또한 그림 17(a)는 기존 검사기에서 불량원인을 잘못 판단한 경우로서 Chip 불량을 Layback/Hook 불량으로 오판한 영상이다. 따라서 본 연구에서 개발한 자동검사기는 기존 검사기보다 일부 측정요소에 대해서는 검사 정확도가 더 향상된 시스템이라 할 수 있다.



(a) Round 불량 (b) Chip 불량

그림 16. 기존 검사기에서 검출하지 못한 불량영상 예
Fig. 16. Undetected abnormal examples in an existing tester



(a) 오판정 영상 (b) 오판단 영상

그림 17. 기존 검사기의 오판정 및 오판단 예
Fig. 17. Misjudged examples in an existing tester

IV. 결론

본 연구를 통해서 개발한 드릴비트 검사기는 기존 검사기 보다는 다소 우수한 성능을 보여주었으며 일부 측정요소에서는 성능이 더 향상된 검사 시스템이라 할 수 있다. 현재 마이크로 드릴비트 검사공정은 대부분 수동검사에 의존하고 있으므로 본 연구에서 수행된 검사기법을 적용할 경우 신뢰성이 높은 검사기 개발에 기여할 것으로 예상된다.

본 연구는 드릴비트 생산에서 문제점인 경제성, 생산성, 신뢰성 등을 향상시킬 수 있는 기초 검사기술 연구로 판단된다. 또한 영상을 이용한 미세 드릴비트의 외관 자동 검사기술이 산업현장에 응용된다면 국내 기존 업체뿐 만 아니라 관련 업체들의 산업 경쟁력 확보와 제품 생산성 향상, 비용 절감 등의 효과를 줄 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Kwon, S. Y., and Lee, S. H., "Prediction of Burr Size in Micro-drilling", J. of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 00, No. 0, Apr. 2002.
 [2] 장원석, "공구 수명을 고려한 마이크로 드릴의 가공 기술 구축", 전주대학교, 석사학위 논문, 2003.
 [3] (주)유니플라텍 외, "Vision을 이용한 마이크로 드릴 가공혁신 공정 구축", 중소기업공정혁신지원사업, Dec. 2004.
 [4] 권지용, "미세 구멍가공을 위한 Micro-Drill의 최적 형상 설계", 전주대학교, 석사학위 논문, 2004.
 [5] 김건희, "마이크로 드릴의 최적 생산 설계", 한국 기계 가공 학회지, 제 1권, 1호, pp.109-116, Aug. 2002.
 [6] 김건희, "초경합금 소재 마이크로 드릴의 가공특성 평

가", 한국 공작기계 학회논문집, 제 11권, 6호, Dec. 2002.

[7] 송정우, "컴퓨터 비전을 이용한 마이크로 드릴비트 검사시스템의 개발", 서울대학교, 석사학위 논문, 2004.
 [8] Peter Muller, "Flexible Usage of Micro-drill", European Production Engineering 16, pp.79-81, 1992.
 [9] 이지홍, 고윤호, TI DSP TMS320C64xx를 이용한 디지털 영상처리, (주)한백전자 기술연구소, 2006.
 [10]곽동규, 이상락, 김종고, 최한고, "영상을 이용한 미세 드릴비트 측정에 관한 연구", 하계학술대회논문집, 한국 신호처리.시스템학회, 제 9권, 1호, pp.119-122, 경남대학교, 2008.



곽 동 규 (DongGyu Kwak)

1998년 금오공과대학교 전자공학과(공학사)
 2009년 금오공과대학교 제어임베디드공학과(공학석사)
 2011년 ~ 현재 하나텍 연구원

※관심분야 : 신호 및 영상처리



최 한 고 (HanGo Choi)

正會員
 1979년 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 Univ. of Florida, USA 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1992년 Univ. of Florida, USA 전기 및 전자공학과(공학박사)
 2001년 MIT, USA (Research Scientist)

1979년 ~ 1986년 국방과학연구소, 연구원
 1993년 ~ 현재 금오공과대학교 전자공학부 교수
 ※관심분야: 실시간 DSP, 컴퓨터비전, 신호 및 영상처리