

열연강판의 드릴링시 공구의 이상상태 검출에 관한 연구

신형곤*, 김민호(전북대 대학원 정밀기계공학과), 김태영(전북대 기계공학부)

A Study on the Detection of the Abnormal Tool State in Drilling of Hot-rolled High Strength Steel

H.G. Shin*, M.H. Kim,(Graduate School, Chonbuk Nat'l Univ.), T.Y. Kim(Chonbuk Nat'l Univ.)

ABSTRACT

Drilling is one of the most important operations in machining industry and usually the most efficient and economical method of cutting a hole in metal. From automobile parts to aircraft components, almost every manufactured product requires that holes are to be drilled for the purpose of assembly, creation of fluid passages, and so on. It is therefore desirable to monitor drill wear and hole quality changes during the hole drilling process. One important aspect in controlling the drilling process is drill wear status monitoring. With the monitoring, we may decide on optimal timing for tool change. The necessity of the detection of tool wear, fracture and the abnormal tool state has been emphasized in the machining process.

Accordingly, this paper deals with the cutting characteristics of the hot-rolled high strength steels using common HSS drill. The performance variables include drill wear data obtained from drilling experiments conducted on the workpiece. The results are obtained from monitoring of the cutting force and Acoustic Emission (AE) signals, and from the detection of the abnormal tool state with the computer vision system.

Key Words : Cutting for(절삭력), Drill wear(드릴마모), HSS(고속도 공구강)

1. 서론

드릴가공에서 공구의 마모나 파손은 공구나 가공물의 재질, 공구형상, 절삭조건 등에 따라서 다르고, 더구나 이런 현상의 발생, 성장과정은 확률적이며 현재의 기술로써는 완전하게 예측한다는 것이 불가능하다고 판단된다. 따라서 가공시 또는 가공도중에 공구의 마모나 파손을 측정하고, 가공에 나쁜 영향을 미치지 않는 단계에서 교체 등의 필요한 조치를 강구하는 일이 필요하다.¹⁾

공구의 이상상태를 감지하는 기술은 센서기술(sensor technology)과 깊은 연관이 있다. 그러나 절삭유제, 기계진동, 칩 등의 외란의 영향, 재료의 물리적 특성에 따른 감도의 변화, 응답시간, 여러 절삭조건에 대한 적합성 등의 조건들을 만족해야 하는 어려움 때문에 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔지만 실험실 단계에서 만족하는 정도이다. 플랭크 마모는

기계적 마찰부위가 증가함으로 절삭온도를 증가시키고 공작물의 표면품질을 저하시키는 요인이 되며, 절삭날의 손실량에 해당하는 가공오차를 발생시킨다. 이를 측정하기 위해 간접적인 방법으로 전기 저항, 절삭력, 공압등을 사용한 연구²⁾가 있었으며, 직접적인 방법으로 영상처리를 이용한 연구들³⁾이 있어 왔다.

Macda⁴⁾등은 공구상면에서 얻은 2차원 영상과 공구의 기하학적 해석을 통해 플랭크 마모를 측정하였고, Kim⁵⁾등은 레이저로 공구의 플랭크 부위를 조명하고 영상을 직접 얻음으로써 이를 분석하여 플랭크 마모를 측정하였다. 이런 광학적 방법들은 공구의 형상을 직접 관찰할 수 있기 때문에 시각적으로 사용자에게 편리하며, 정량적인 계산을 할 수 있어 신뢰성이 높은 장점이 있다. 특히 최근에 영상처리 기술 및 센서 기술의 발달로 이 방법을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러므로 컴퓨터 비전을 사용하여 공구의 영상을 얻고 이를 분석하는 영상처리 기법을 기반으로 공구의 이상상태를 감지할 수 있는 시스템을 구축하고자 하였고, 이 시스템을 이용하여 드릴가공시 온라인 상에서 드릴의 플랭크 마모면적을 정량적으로 측정할 수 있는 가능성을 제시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시험편 및 사용공구

본 실험에 사용한 실험재료는 광양제철에서 국내에 처음으로 선보인 인장강도 80kg/mm²급의 고강도 열연강판(A 시험편)과 기존의 자동차 frame에 사용되고 있는 인장강도 50kg/mm²급의 고강도 열연강판(B 시험편)이며, 그 각각의 화학적 성분 및 기계적 인 성질은 Table 1 및 Table 2에 나타내었다. 시험편은 열연강판을 200×130×7mm이 되도록 만들었으며, 하나의 시험편에 40회의 가공을 하였고, 실험에 사용한 드릴은 ψ 6인 고속도강 드릴로 실험하였다.

Table 1 Chemical compositions of workpiece(wt.%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Mo
specimen A	0.10	0.15	2.00	0.02	0.005	○	○	○
specimen B	0.18	0.40	1.60	0.03	0.010	○		

Table 2 Mechanical properties of workpiece

Material	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
specimen A	65	80	14	215
specimen B	37	55	20	171

2.2 실험방법

본 실험에 사용한 공작기계는 CNC 밀링머신(HNC-150)이다. 주축에 드릴을 고정시켰으며, 시험편 설치하는 테이블에 공구 동력계를 체결하고, 그 위에 시험편을 고정시킨 jig를 부착하여 드릴 가공하였다. 실험에서 사용한 장비는 CCD 카메라, 화상입력보드(Data Translation, DT3155), 컴퓨터로 구성되고 유압시스템을 이용하여 드릴마모의 면적을 측정하였다. Fig. 1은 CNC 밀링머신과 각 장비의 배치를 보여준다. 드릴의 직경이 ψ 6인 표준 트윈스트 드릴을 사용하였다. 가공형태로는 40개까지 연속으로 관통가공 하였다. 드릴의 돌출길이는 80mm이며, 절삭유제는 사용하지 않았다. 드릴의 마모량 측정은 구멍을 2~5개 가공 후 드릴작업이 멈추면 유압시스템의 ON 스위치를 작동시켜 실린더에 부착되어 있는 CCD 카메라가 이동하여 플랭크 마모를 측정한다. 마모의 영상은 CCD 카메라를 통해 프레임 그래버

(frame grabber)에 의해 256 밝기 등급으로 컴퓨터에 저장되며 이 영상을 컴퓨터에서 분석하였다. 플랭크 마모의 영상을 획득하고, 마모의 크기 및 면적을 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하여 적용하였다.

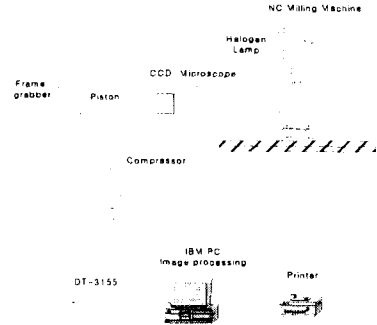
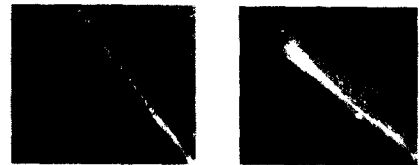


Fig. 1 Block diagram of the data acquisition system

3. 실험결과 및 고찰

3.1 컴퓨터 비전을 이용한 공구마모의 검출 방법

CCD 카메라를 사용, 드릴 플랭크 마모영역에 대하여 획득한 마모면적의 원영상은 Fig. 2와 같다. Fig. 2(a)는 구멍가공 500번째의 영상을 얻은 것이고, Fig. 2(b)는 절삭이 거의 불능상태인 900번째 가공 후 얻은 영상이다.



(a) After 500th drilling (b) After 900th drilling

Fig. 2 Original image of drill flank wear

Fig. 3은 이진영상을 얻기까지의 과정을 보여준다. Fig. 3(a)는 500번째 절삭후의 원영상이고, Fig. 3(b)는 원영상에 노이즈를 제거하기 위해 인터레이싱을 한 후의 영상이며, Fig. 3(c)는 미디안 필터링을 한 영상이고, Fig. 3(d)는 이진영상이다.



(a) Original image (b) Image by interlacing



(c) Median filtering (d) Binary image

Fig. 3 Process of binary image

여기서 얻은 이진 영상으로부터 전체 면적과 전체 마모의 면적의 70%를 플랭크 마모로 규정한 면적, 그리고 마모를 측정하기 위해, 공구현미경으로 측정한 마모길이를 계산할 수 있도록 알고리즘을 개발하였다. 그 결과 창을 Fig. 4에서 보여준다.

```

X axis length : 3.200000mm
Y axis length : 2.500000mm
*****
Total Pixel : 307200 EA
Wear Pixel : 7850 EA
Center 0.7d Pixel : 5463 EA
*****
Total wear area : 8.000000(mm²/mm)
Wear area : 0.204635(mm²/mm)
Center 0.7d wear area : 0.142266(mm²/mm)
*****
0.15 width pixel : 0.024000 mm
0.05 width pixel : 0.005000 mm
  
```

Fig. 4 Windows of calculated binary image

Fig. 5는 절삭회전수 $N = 1200\text{rpm}$, 이송량 $f = 0.1\text{mm/rev}$ 의 가공조건으로 드릴링한 후의 컴퓨터 비전으로 전체 마모면적과 플랭크마모(70%) 그리고 0.7d에서의 길이를 비교한 것을 나타내었다. 그림에서와 같이 3가지 모두 가공구멍수의 증가에 따라 모두가 비슷하게 증가하는 경향을 보여준다.

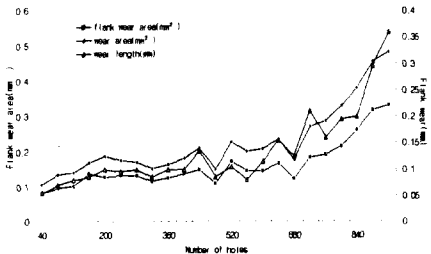
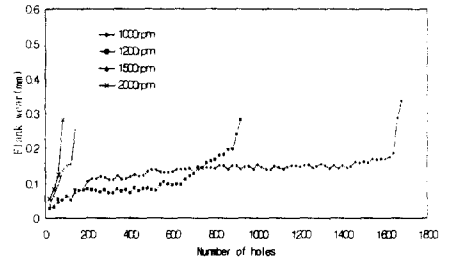


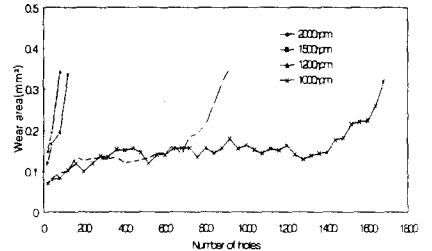
Fig. 5 Comparison of flank wear area, wear area and wear length on computer vision

Fig. 6은 공구현미경과 컴퓨터 비전으로 플랭크 마모를 측정된 결과를 비교하였다. 그림에서 보듯이 공구현미경이나 컴퓨터 비전 모두 마모에 대해 민감한 반응을 보였다. 그러므로 컴퓨터 비전을 이용한

마모면적으로 평가가 가능함을 알 수 있다.



(a) Flank wear by tool microscope



(b) Flank wear area by computer vision

Fig. 6 Comparison between flank wear measurement by tool microscope and computer vision

3.2 컴퓨터 비전을 통한 공구마모의 경향

Fig. 7은 A 시험편을 $\phi 6$ 의 드릴로 절삭회전수 $N = 1200\text{rpm}$ 과 이송량 $f = 0.1\text{mm/rev}$ 의 절삭조건으로 가공한 결과이며, 점진적인 가공횟수의 증가에 따른 공구현미경으로 측정된 플랭크 마모와 컴퓨터 비전을 이용하여 측정된 플랭크 마모 면적과의 관계를 비교한 것이다. 그림에서 보듯이, 가공 구멍수의 증가에 따라 증가하는데, 두 그래프 모두 대부분 일치하는 경향을 보여주었다.

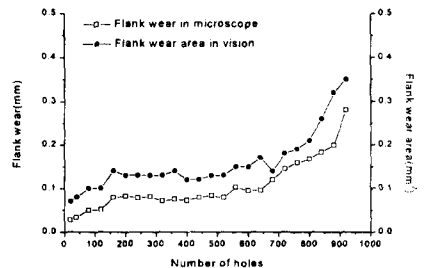


Fig. 7 Comparison of flank wear and flank wear area measurement by tool microscope and computer vision ($N=1200\text{rpm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$)

Fig. 8은 공구현미경과 컴퓨터 비전으로 플랭크 마모를 측정된 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 두 그래프 모두 가공공구명수의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었지만, 컴퓨터 비전으로 측정된 플랭크 마모가 보다 큰 값을 가지고 진폭이 큰 것으로 보아 오차의 범위가 넓은 것을 알 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8로부터, 컴퓨터 비전을 이용하여 플랭크 마모의 증가를 파악하고 마모가 급격히 상승할 때도 검출이 가능함을 발견하였으나, 미세한 변화를 확인하려면 플랭크 마모의 면적을 측정하는 것이 유리함을 알 수 있었다.

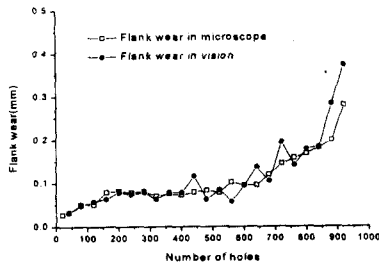


Fig. 8 Comparison of flank wear measurement by tool microscope and computer vision(N=1200rpm, f=0.1mm/rev)

Fig. 9에서는 공구 동력계로부터 얻은 thrust와 컴퓨터 비전으로 측정된 플랭크 마모면적과의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 나타나듯이, 가공공구명수의 증가에 따라 모두 증가함을 알 수가 있고, thrust의 경우는 초기 상승부분과 중간부분의 경우 거의 일정한 값을 유지하다가 마모의 급상승 부분에서 급격히 상승함을 알 수 있다. 그래서 초기의 미세한 마모 상승에 민감하지 못함을 알 수 있다. 그러나 플랭크 마모면적의 경우는 플랭크 마모의 증가에 가장 근접한 경향을 보여준다.

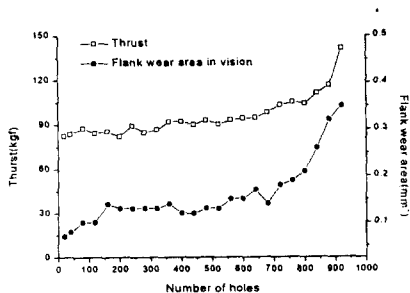


Fig. 9 Comparison of flank wear area measurement by tool computer vision and thrust(N=1200rpm, f=0.1mm/rev)

4. 결론

φ6 드릴로 두 종류의 자동차용 고강도 열연강판 재료를 드릴작업시 플랭크 마모를 컴퓨터 비전을 사용하여 영상을 얻고 영상처리 기법을 적용하여 공구 마모 시스템을 구성하였고, 획득한 영상을 가공하는 알고리즘을 적용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 영상을 통해 얻은 플랭크 마모면적과의 관계가 서로 비례관계에 있으며, 공구의 마모에 민감함을 보여 공구의 이상상태 검출에 대한 가능성을 보여 주었다.
2. 플랭크 마모면적을 컴퓨터 비전 시스템에 의해 정량적으로 해석 가능하였고, 온라인으로 측정이 가능함을 보였다.
3. 컴퓨터 비전을 온라인 상태에서 감시함으로써 공구마모와 파손의 실시간 검출이 가능하다.

후기

본 연구는 전북대학교 자동차 신기술 연구소 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Syed Mohtashim Nisam, "Performance Evaluation of a New Type of Titanium Nitride(TiN) Coated Twist Drill," King Fahd University of Petroleum & Minerals, 1996.
2. Koren, Y., Ulsoy, A. G. and Danai, K., "Tool Wear and Breakage Using A Process Model," Annals of the CIRP, Vol. 35, pp. 283-288, 1986.
3. Li, P. G. and Wu, S. M., "Monitoring Drilling Wear States by a Fuzzy Pattern Recognition Technique," Trans. of ASME, Vol. 110, pp. 297-300, 1988.
4. Y. Maeda, H. Uchida and A. Yamamoto, "Measurement of the Geometric Features of A Cutting Tool Edge with the A Digital Image Processing Technique," Precision engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 165-171, 1989.
5. Jeon, J. U. and Kim, S. W., "Optical Flank Wear Monitoring of Cutting Tools by Image Processing," Wear, 127, pp. 207-217, 1988.
6. Nobushige Sawai, Joonyeob Song and Hwayoung Park, "Automated Measurement of Tool Wear Using An Image Using An Image Processing System," JSPE, Vol. 61, No. 3, pp. 368-371, 1995.