

드릴비트 파손 검출에 적합한 센서 및 그 신호 특성

Sensor Characteristics Suitable for Drill Bit Breakage Detection

김선호*, 木原誠二**, 송준업*, 박화영*

* 한국기계연구원 자동화연구부

** (주)새일중공업 기술개발연구소

* Sunho Kim, Junyub Song, Hwayoung Park, Automation Eng. Dept., KIMM

** Seiji Kihara, Saeil Heavy Ind. Co., Ltd.

본 연구는 드릴가공중 발생하는 드릴비트(Drill Bit)의 파손검출에 적합한 센서를 선택하고, 드릴비트 파손시 나타나는 센서신호의 특성에 대한 연구를 수행했다. 연구결과 이송축 진류신호 및 주축 진동신호가 절삭시 나타나는 Power 및 진동의 특성을 잘 나타내고 있으며, 드릴비트의 파손을 판단할 수 있는 특징의 보완적 요소가 강하다는 결론을 얻었다.

1. 서론

CNC 공작기계를 중심으로한 생산시스템에서 생산성 향상과 시스템의 신뢰성 확보를 위해서는 가공상태의 감시가 필수적인 사항이 되고 있다. 마이트를 이용한 절삭공정에 대한 감시에서 드릴공정은 특성상, 기타 다른 절삭공정과 구분하여 감시하는 것이 효과적이다.

본 연구에서는 드릴공정중 발생하는 드릴비트의 파손을 검출하기 위해 전삭력, 이송축 모터 부하전류, 주축진동 그리고 공작물의 AE를 측정했다. 이러한 신호를 이용하여 감시 시스템이 현장에 적용되어 실용화되기 위해 센서가 구비해야 할 조건인 지가, 고신뢰성, 내구성, 유연성, 정확성, 민감성 측면에서[1], 드릴비트의 파손 검출에 적합한 센서를 선택하고 이들의 상호보완성 및 특성을 분석했다.

2. 지금까지의 연구 현황

절삭중 드릴비트의 상태를 감시하기 위한 많은 연구들이 있어 왔다. 공구의 상태를 감시하기 위해 전삭력, AE, 토크, 가속도 그리고 모터 부하전류를 측정하기 위한 센서가 사용되어 왔으며, 감시방법으로서 시간영역에서의 레벨감시 그리고 통계적 처리, 주파수영역의 감시등으로 연구가 수행되어 왔다.

전삭지항을 이용한 드릴감시의 정점은 전삭력 자체가 갖는 특성 즉, 민감성과 고속응답성이다. Li[2]는 전삭력의 동적기동을 이용하여 경미위한 영역에서 신뢰성 있는 감시를 수행 했으며, Kashimura[3]는 공구동력계를 이용하여 드릴비트가 절삭된 경우에 발생하는 토크와 트리스트 전삭력의 급격한 레벨값소를 이용하여 감시를 수행 했다. Mori[4]는 전삭동력계에서 얻은 신호 스펙트럼 패턴을 신경회로망에 인식시키는 방법을 이용하여 드릴의 파손을 예지했다. 그러나 이리

한 방법들이 갖는 특성에 의해, 고가, 설치 유연성등 문제들이 해결되지 않은한 현장적용에는 많은 불리한 요소들을 가지고 있다.

AE는 드릴의 파손을 검지하기 위해 가장 널리 이용되고 있으며 특히, 지각이 작은 드릴의 경우에는 절삭력이나 부하전류를 이용한 방법보다 우수하다. 상용화된 제품(CCM-1B(OKK,일), K7A-C(OMRON,일)도 가장 많다. 가장 일반적인 방법은 정상작업과 파손시 나타나는 신호레벨을 비교하는 방법이다. 小島[5]도 공작기계의 테이블 위에 AE 센서를 설치하고 신호의 진폭레벨을 이용하여 드릴의 파손을 감시하였다. AE센서의 설치 위치는 공작물 표면 또는 테이블에 부착하여 사용하였다. 그 이유로서 AE 신호는 일종의 진동파로 볼 수 있기 때문에 센서의 감도는 진동원으로 부터의 거리의 2승에 비례하면서 감도가 떨어지기 때문이다. 따라서 AE를 이용한 감시는 드릴진동기 정도의 기계에 응용이 가능하비 공작물 이동의 유연성이 요구되는 머시닝 센터의 경우에는 적용상 해기해야한 점이 많다.

Kakinol[6]는 드릴비트는 과도한 토크에 의해 부러진다는 원리를 이용하여 주축의 베어링 표면에 초음파 센서를 설치하고 드릴작업중, 주어진 토크 상한치를 넘으면 이송을 정지 시키 드릴의 파손을 방지했다.

Yee[7]는 가속도계를 공작물에 부착하고 시간영역에서 드릴의 상태를 감시하는 방법으로 드릴지경의 한계에 대한 연구를 수행했다.

모터의 부하전류를 이용한 방법은 센서의 설치장소

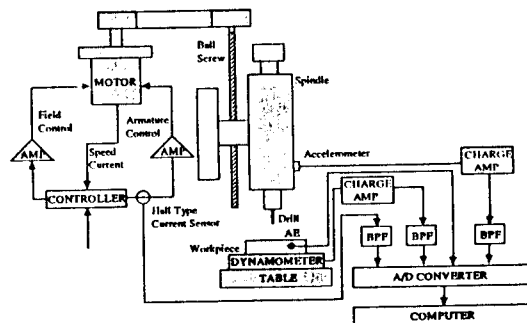


그림 1. 실험장치

가 작업에 영향을 주지 않고, 경제적이란 이유로 널리 이용되어 왔다. Liao[8]는 주축전류 신호 평균기울기 이용하에 드릴의 이상을 감지했다. 그러나 소형드릴에서는 전삭시와 부부하시의 진류변화가 명료하지 않기 때문에 적용이 어렵다. 일반적으로 5mm가 한계라고 주장했다.

이상과 같은 드릴비트의 파손검출에 관한 연구결과에서 보이듯이 지금까지의 연구는 현장에 설치하여 운용하기에는 많은 한계점과 비합리적인 요소들을 가지고 있다.

3. 실험장치 및 방법

실험에는 수직형머시닝센터(대우중공업, FZ25)가 사용되었다. 머시닝센터의 주축은 7.5KW의 AC 서보모터, X, Y 이송축은 1.1KW의 DC 서보모터 그리고 Z 이송축은 1.8KW의 DC 서보모터로 구동된다. 가공물은 구조용 탄소강 S45C(ANSI 1045+)가 공구는 직경 3.3-6.8mm의 트위스트 드릴(SKH 51)이 사용되었다. 본 실험에는 그림1와 같이 테이블에 설치된 3축 공구동력계(Kistler 9265), 공작물에 부착한 AE(904S(NF))센서, 주축의 베어링 표면에 부착된 가속도계(B&K 4383), Z 이송축 모터와 드라이버 사이에 설치된 유희형전류센서등 4개의 센서를 사용했다. 각 신호들은 지류 및 진하중폭기를 통해 적절한 신호로 변환하고 차후 사용을 위해 신호저장기(Data Recorder, Rascal V Store 8)에 저장 했으며 재생시 차단주파수 필터를 사용한후 A/D 변환기를 통해 신호를 처리했다. 처리된 신호는 진진한 차단주파수 필터를 통과 시켜 사용하였다. 본 연구에서는 135Hz로 샘플링하여 신호 처리를 수행했다. 공구의 상태정보를 얻기 위한 전류신호로서는 주축전류와 이송축전류가 있으나, 주축의 경우 동력전달부의 기어박스 때문에 관성력이 대단히 크고, 또한 공구의 직경에 비해 용량이 커서 민감성 및 Bandwidth가 이송축 전류신호보다 대단히 낮다. 그래서 본 연구에서는 전삭방향 이송모터의 전류를 측정했다.

본 실험에서 사용된 4개의 센서중 전삭력을 측정하기 위한 공구동력계와 AE 센서는 각각 전류신호 센서와 주축전동신호의 성능을 비교하기 위한 기준 신호로 사용했다.

드릴비트의 파손을 검출하기 위해 지금까지 수행된 대부분의 연구는 1번에 1구멍을 작업하는 방법(1 Step)을 이용하에 있으나, 생산현장에서는 대부분 G83을 이용한 Step Drilling을 수행하기 때문에, 본 실험에서도 G83을 이용하고 Custom Macro 프로그램을 작성하여 연속 드릴링을 수행 했다. 또한 드릴링 전에 미리 직경 4mm의 센터드릴(Center Drill)을 수행하여 드릴비트가 휘어지는 것을 방지했다(그림2 참조).

4. 실험결과 및 고찰

일반적으로 드릴의 파손은 돌발적파손과 마모의 진전에 의한 점진적파손으로 구분이 가능하다. 돌발적

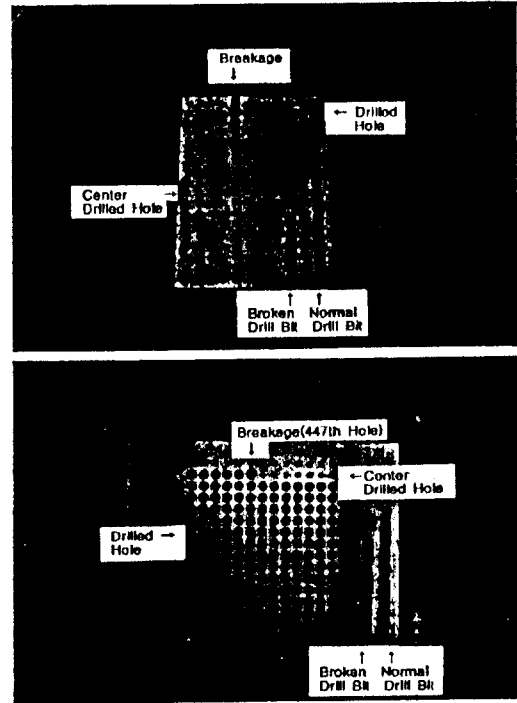


그림2. 실험이 수행된 시편의 예
위그림: 돌발적파손이 발생한 경우 드릴비트의 예
아래그림: 점진적파손이 발생한 경우 드릴비트의 예

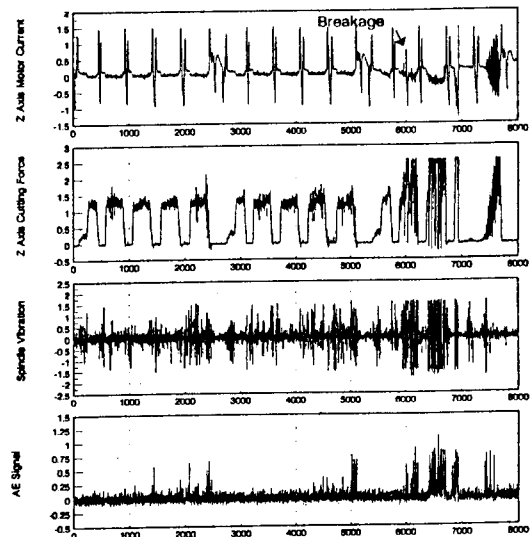


그림3. 점진적파손이 발생한 경우 전삭신호 예
(Drill ϕ 6.8mm, S1200rpm, G83Z75.R100.Q5.F128)

파손은 주로 직경이 작은 드릴비트에서 절삭환경의 급격한 변화에서 발생하기 쉬우며, 진진적파손은 비교적 직경이 큰 드릴비트에서 파모양의 증가에 따른 열화작용에 의해 파손되는 경우가 많다. 따라서 진진적파손의 경우에는 절삭신호의 레벨치 변화특성을 이용해 부분적이거나 방향이 가능하지만, 돌발적파손의 경우는 예측이 어렵다.

그림2는 돌발적파손과 진진적파손의 경우 드릴비트의 예를 나타낸 것이다. 돌발적 파손의 경우 부리진 드릴비트가 공작물에 박히는 것이 보통이다. 그러나 진진적파손의 경우는 드릴비트의 끝단이 으스리지는 형태의 파손이 일반적이다.

그림3은 진진적파손의 경우에 대한 4가지 센서의 신호를 나타낸 것이다. 절삭특성을 나타내는 Power 성분은 이송축 전류신호와 절삭력이 유사하며, 진동성분은 주축진동과 공작물의 AE신호가 유사한 신호 특성을 갖는다. 그림은 각각 5 스텝으로 이루어지는 3개의 구멍에 대한 신호를 나타내고 있다. 초입(1 Step)의 경우 센터드릴의 영향을 받아 절삭력과 부하전류의 변화가 다른 스텝과는 다르게 나타나고 있다. 진동신호의 경우 AE와 주축진동은 유사한 신호 특성을 갖는다. 447번째 구멍에서 공구가 파손된 경우 4가지 모든 신호가 특성을 갖는다. 이송축 부하전류의 경우 가공중 전류신호가 급격한 피크를 이룬 뒤 전류신호의 변동폭이 커지는 특징을 갖는다. 절삭력의 경우 공구가 부리지는 순간 변동이 크게 나타난다. 주축진동의 경우 공구가 부리진 후 부리진 드릴비트와 구멍 사이에 진동이 발생된 것이 명확하게 나타나고 있다. AE의 경우도 동일한 특성을 갖는다.

그림4는 돌발적 파손이 발생한 경우 이송축 모터 부하전류와 주축 진동신호의 예이다. 그림에서 보듯이 두번째 구멍 5번째 Step에서 파손이 발생했다. 파손이 발생한 경우, 모터 부하전류는 부하전류에서 피크를 이룬 뒤 부하전류로 복귀한다. 주축진동의 경우는 진폭이 급격히 증가했다가 감소하는 특성을 갖는다. 그림5는 드릴비트가 파손되는 순간에 대한 상세도이다.

그림6은 직경이 3.3mm에 대한 신호 예이다. 전류신호의 경우는 동일한 특성을 갖지만 공구직경이 작은 경우 부하전류와 대이전류의 차가 지다. 주축진동의 경우 부하가 적은 관계로 진폭은 작으나 특징은 동일하다. 그림7은 동일한 조건에서 4번째 Step에서 드릴비트가 파손된 경우이다. 그림에서 보듯이 4번째 Step에서 파손된 후 5번째 Step에서 다시 충돌한 경우이다.

이러한 신호를 이용하여 공구파손을 감출할때, 급속 이송부에서 나타나는 급격한 전류변화와 드릴비트의 초입(1 Step)시 드릴의 자리매기 과정에서 나타나는 진동특성은 공구파손과 구분해야 할 중요한 신호특성이다. 이러한 신호들은 두 신호의 특성을 융합하면 쉽게 패턴의 식별이 가능하다. 이를 그림 8에 나타 내었다.

이를 정리하면, 급속 이송의 경우, 모터 부하전류는 부하전류에서 급속이송 방향에 따른 싸이클 변화 후 부하 이송전류로 복귀한다. 이 경우 주축진동은 오

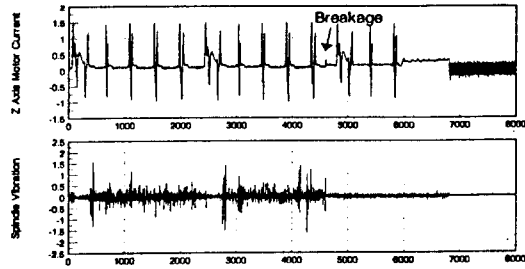


그림4. 돌발적파손이 발생한 경우 절삭신호 예 (Drill ϕ 5.2mm, S1500rpm, G83Z80.R100.Q4.F120)

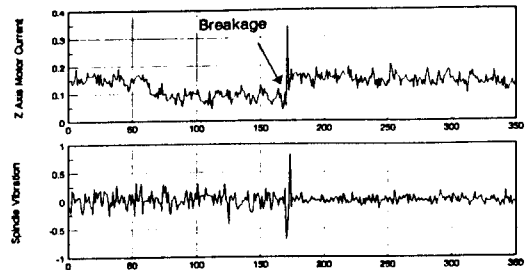


그림5. 돌발적파손이 발생한 경우 절삭신호의 상세도 (Drill ϕ 5.2mm, S1500rpm, G83Z80.R100.Q4.F120)

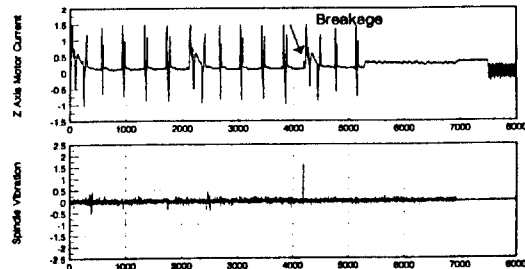


그림6. 돌발적파손이 발생한 경우 절삭신호 예 (Drill ϕ 3.3mm, S2100rpm, G83Z85.R100.Q3.F110)

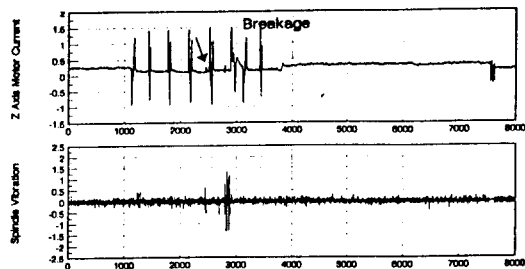


그림7. 돌발적파손이 발생한 경우 절삭신호 예 (Drill ϕ 3.3mm, S2100rpm, G83Z85.R100.Q3.F110)

히려 무부하에 따라 안정되는 특성을 갖는다. 초입 Step의 경우, 모터 부하진류는 무부하 이송진류에서 부하진류로 변한다. 이 경우 주축진동은 드릴의 자리 파기 과정에서 부분적인 진동을 유발한다. 드릴비트가 파손되는 경우, 모터 부하진류는 부하진류에서 공구파손시 발생하는 과부하에 의해 피크를 이룬후 무부하 이송진류로 변한다. 이 경우 주축진동은 공구파손력에 따른 관성에 의해 급격한 피크를 이룬후, Air Cutting에 따라 진폭이 감소하는 특징을 갖는다.

5. 결론

드릴가공중 발생하는 드릴비트(Drill Bit)의 파손검출에 적합한 센서를 선택하고, 드릴비트 파손시 나타나는 센서신호의 특성에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 이송축 모터 진류신호와 주축진동은 드릴비트의 파손 검출에 좋은 정보를 제공한다.
- 2) Power 성분인 모터 부하진류와 진동성분인 주축진동신호는 드릴비트의 파손 및 절삭상태를 판단하는데 상호 보완적인 특징이 양호하다.

참고문헌

[1] Powell, J. W., "In-Process Tool Sensing", Carbide and Tool J., Nov./Dec., pp.17-23, 1988
 [2] Li, G. S., Lau W. S. and Zhang Y. Z., "In-Process Drill Wear and Breakage Monitoring for a Machining Centre Based on Cutting Force Parameters", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.32, No.6, pp.855-867, 1992
 [3] 堅村幸辰, "ドリル損耗検出に關する研究(第1報)", 精密器械, 第50卷, 6號, pp.25-29, 1984
 [4] 森和男, 笠島永吉, 山根俊明, 茨島明, "ドリル加工インプロセス診断システムの開發(第1報)-ニューラルネットワークによる損傷豫知-", 1991年度精密工學會秋季大會學術講演會論文集, pp.1071-1072, 1991
 [5] 小島浩二, "アコースティックエミッションを利用したドリル折損の豫知", 日本機械學會論文集(C編), 第51卷 467號, pp.1838-1843, 1984
 [6] Kakino, Y., "Breakage Prevention and Life Detection System of Small Drills with Use of Torque Limiter and Ultrasonic Sound", Seminar Text of JSPE, pp.47-53, 1983
 [7] YEE, K. W., "On the Use of Drill-Up for On-Line Determination of Drill Wear", SME MS84-914, pp.1-12, 1984
 [8] Liao, Y. S., "A Malfunction Monitoring Technique in Drilling Operations", Proceed. of 21th int'l Machine Tool Design and Research Conference, pp.339-345, 1986

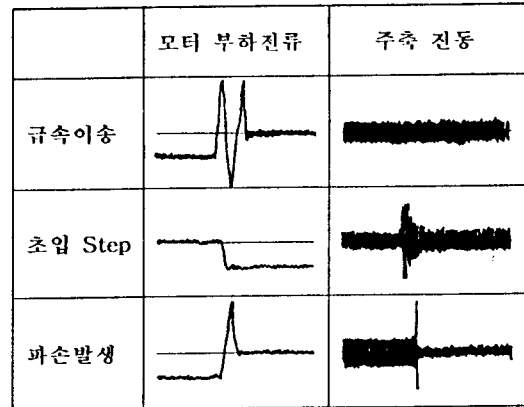


그림8. 드릴공정의 특성별 센서신호