

AE센서를 이용한 고속 탭핑용 공구 모니터링에 관한 연구.

김용규*, 이돈진(부산대원), 김선호(KIMM)**, 안중환(부산대)

A Study on Tool Monitoring for High Speed Tapping using AE Signal

Y.G. Kim*, D.J. Lee(graduate school, PNU), S.H. Kim(KIMM)**,
J.H. Ahn(Pusan National University)

ABSTRACT

In terms of productivity, the speed of machining process has been increasing in most of engineering part. But the tapping process does not reach at enough level compared with other machining processes because of its complicate cutting mechanism. In the high speed tapping process, the one of important elements is tool monitoring system to prevent tool breakage. This paper describes tool monitoring system by acoustic emission(AE) in the tapping process. We used 2 types of AE sensors in this test. The one is commercial sensor which is used in other machining monitoring system like polishing and the other is a self-fabricated sensor for this test. In this test we purpose to find out the frequency of AE signal in tapping process and verify the possibility of applying AE sensor in in-process tapping monitoring system. Also grasp of characteristic of tapping process by AE signal is handled.

Key Words : High Speed Tapping(고속 탭핑), Tool Monitoring(공구감시), AE Sensor(음향 방출 센서), Tool Breakage(공구 파손)

1. 서론

탭핑 가공은 탭을 이용하여 암나사를 가공하는 공정으로서 대부분의 제품가공공정에서 마지막에 위치하는 가공이다. 현재 대량생산을 위한 최근의 절삭가공 시스템은 생산능률의 향상과 생산원가의 절감 등 여러 가지 요인으로 인하여 자동화, 고속화되고 있으며, 특히 밀링 작업이나 선반작업 및 드릴링 작업등은 이미 상당한 고속화가 이루어져 있다.

그러나, 이런 전반적인 절삭공정의 고속화에도 불구하고 절삭가공의 마무리 단계라 할 수 있는 탭핑 공정 고속화의 미비로 생산능률의 향상에 큰 걸림돌이 되고 있다. 따라서, 고속 스피들을 이용한 고속 탭핑 기술의 실현은 생산능률의 향상에 큰 변화를 가져올 것으로 생각된다. 이러한 탭핑 가공공정의 고속화에 가장 중요한 부분이 공구인 탭의 파손과 마모에 따른 나사품질의 저하를 방지하는 것이다.

일반적으로 절삭가공 공정에 있어서의 In-process 공구 모니터링에 주로 사용하는 방법은 공구 동력계로 절삭토크를 감시는 것이다. 그러나 이 방법에는 실제 가공에 적용함에 있어서 센서의 설치와 피삭재의 형상과 크기에 따른 센서의 위치 등에 많은 제약이 따르기 때문에 보다 현실적이고 실시간으로 미세한 공구의 상태 변화를 감시하기 위해 본 연구에서는 AE(Acoustic Emission) sensor를 이용하여 가공 중의 공구 상태를 모니터링 하였다.

AE 센서는 주로 기계가공에 있어서 비교적 고주파 영역의 감시에 사용되어져 왔었는데, 작은 신호를 감지하고 세밀한 측정에 그 장점이 있어서 비교적 소구경의 탭을 이용한 가공인 고속 탭핑 가공에 적용을 시켜 토크신호와 비교 여부를 확인해보았다. 사용한 AE신호로는 AE 신호처리 방법 중 가장 널리 이용되는 AE RMS값을 이용하였다.

2. 탭의 형상 및 절삭 메카니즘

탭핑 가공은 드릴링 등과 같은 다른 가공에 비해 훨씬 복잡한 가공 메카니즘을 가지는데, 이는 이송축과 스핀들의 회전이 각각 독립적으로 움직이는 것이 아니라 탭의 피치에 따라 정확한 동기를 맞춰서 가공을 해야하기 때문이다. 또한 그러한 탭의 형상에 의해 여타의 가공과는 다른 가공신호가 측정되어 지게 된다.

2.1 탭 공구의 형상

본 실험에 사용된 탭 공구는 Fig. 1에 나타난 고속 싱크로 스파이럴(HSS, High Speed Synchro-spiral) 탭이다. 이 탭은 주축 회전과 이송축의 이송을 완전히 동기화한 NC 탭핑 머신에 적합하게 제작된 것으로서 절삭성이 뛰어나고 막힌 구멍 가공에 주로 사용되는 탭이다. 챔버(Chamber)부의 산수는 2.5산, 완전나사(Full Thread)부는 3산, 칩 배출을 위한 3개의 플루트(Flute)와 3개의 랜드부(Land)로 구성되어 있으며, Fig. 2에 각 랜드별 단면을 보여준다.

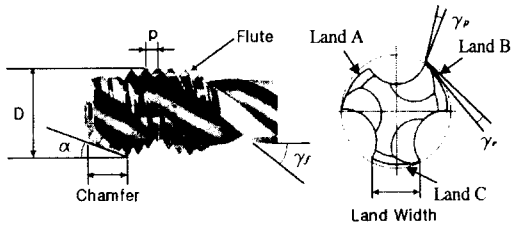


Fig. 1 Shape and geometry of HSS tap

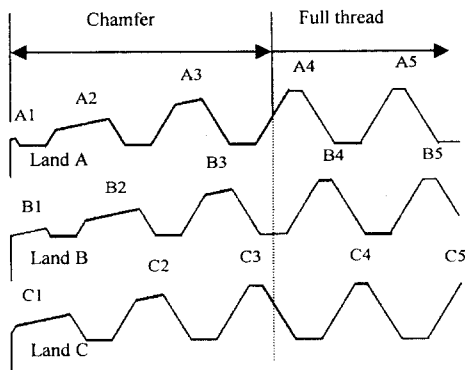


Fig. 2 Cross-sections of tap along lands

2.2 탭핑 절삭 과정

하나의 나사 구멍을 내기 위해 탭 공구의 날들이 번갈아 가면서 절삭을 하게 되는데, 편의상 Fig. 2에 나타난 것과 같이 각 날을 칭하여 설명하기로 한다. 절삭을 하는 순서는 Fig. 3에 보인 것과 같이 A1-B1

-C1- A2- ...-An-Bn-Cn의 순서로 피삭체를 가공하게 되는데, A1날의 경우는 실제적인 절삭은 일어나지 않고, 탭 전체를 안내하는 역할을 한다. 그리고 다음날인 B1날부터 절삭을 하게 되어 B3날이 마지막으로 피삭체를 깎아 내고 나면 C3 날부터는 완전한 나사산이 형성되어 챔버부 가공을 끝내고 완전나사부에 들어가게 된다. 완전 나사부에서는 실제적인 가공은 일어나지 않고 안내(guide)하는 역할로 나사 가공을 마무리하고 있다. 따라서 탭 가공에 있어서 절삭부하의 증가는 주로 절삭량이 많은 챔버부에서 일어나며 완전나사산부에서는 피삭체와 공구사이의 마찰에 의한 부하만이 걸리게 된다. 그리고 이 후 완전나사부가 끝나게 되면 후방에서 다시 챔퍼형으로 직경이 감소하여 고속 탭핑에서의 칩 배출과 마찰력을 최소화하도록 설계되었다.

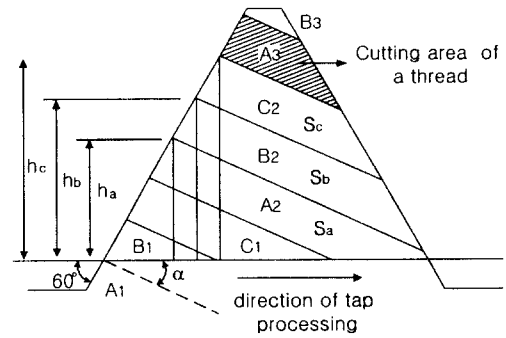


Fig. 3 Sequence of threads

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

Fig. 4은 실험 장치의 구성도이다. 탭핑 머신은 탭핑 가공 최대속도가 6000rpm인 스핀들 직결타입의 NTT 30S모델((주)코마텍)을 사용하였고, 대략적인 관련사항은 Table. 1에 나타나있다.

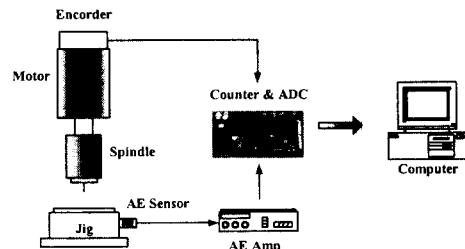


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental set-up

Table. 1 Specifications of tapping center

Spindle	Spindle Speeds	100-10,500(rpm)
	Spindle taper	BT30
	Motor	14.5 / 7.5(kw)
Feedrate	Rapid traverse(X/Y/Z)	48/48/48(m/min)
	Cutting feedrate	10,000(mm/min)
CNC	YASNAC J100M	

AE신호는 시편 아래의 Jig에 센서를 부착하여 앰프를 거쳐서 12bit 100kHz의 상용 A/D 변환기를 거쳐 실시간으로 PC로 전송되어 처리되었다.

그리고 주축과 Z축의 엔코더 신호를 받아서 각 가공에 있어서의 공구의 위치를 측정하였다. 측정에 사용된 AE센서로는 상용의 Nano 30(PAC, 작동 영역:125kHz ~ 750kHz)과 자체 제작한 센서(작동 영역:50kHz ~ 500kHz)를 사용하여 각각의 두 신호를 비교, 검토하였다.

Fig. 5은 실험에 사용된 자체 제작한 센서의 모습을 보여주고 있다.

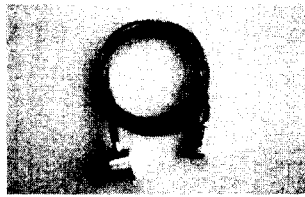


Fig.5 Photograph of fabricated AE sensor

3.2 실험 방법

본 실험에서 사용한 피삭재의 재질은 고속 텡핑 가공에 주로 많이 쓰이는 Al 50계열을 사용하였으며, 공구는 M2 × 0.4, M3 × 0.5, M5 × 0.8의 싱크로 스파이럴 텡핑을 사용하여 가공을 하였다. 각 텡핑의 가공 깊이는 각각 6mm, 8mm, 10mm로 하여 1000 ~ 5000rpm의 속도로 절삭을 하였다. 센서에서 감지된 신호는 앰프에서 증폭되어진 후 RMS값으로 계산되어져 A/D 변환기를 통해 PC로 저장되도록 하였다.

4. 실험 결과

4.1 Nano 30 Model의 경우

Fig. 6은 직경 M2 × 0.4의 텡핑을 사용하여 5000rpm으로 절삭을 한 경우 측정을 한 그래프이다. 전방가공에서 주로 절삭이 일어나서 신호가 증가하고, 주축의 회전 방향이 바뀌는 부분에서 순간적인 정지 상태가 나타나 약 0.25 ~ 0.26초 정도의 드웰

(dwell)구간이 나타난다. 그리고 후방가공에서는 직접적인 가공은 일어나지 않고 텡핑과 피삭재면 사이의 마찰에 의한 비교적 작은 신호 레벨이 나타나는 것이 일반적인 텡핑 가공에서의 경향이다.

그러나 이 경우에는 주로 절삭이 일어나는 full thread cutting구간과 chamfer cutting구간의 신호 레벨이 매우 낮고 오히려 forward cutting의 마지막 부분에 있는 정지구간에서 오히려 레벨이 커지고 있다. 이는 본 텡핑 가공에서 발생하는 AE파의 주파수 영역이 연삭 등의 가공의 경우와 달리 비교적 낮고, 실제 절삭을 하는 경우보다는 공구의 회전이 거의 정지할 때에 나오는 피삭재의 일그러짐에 의한 AE파 등의 잡음에 오히려 더 민감하게 반응한 결과로 예상된다.

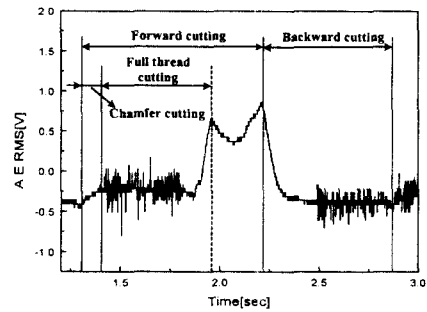


Fig. 6 AE RMS signals detected by Nano 30 Model(M2 5000rpm depth 6mm)

4.2 자체 제작한 센서의 경우

아래의 Fig. 7 과 Fig. 8은 각각 직경 M5과 M3의 스파이럴 텡핑을 2500rpm으로 가공한 상태의 AE RMS 신호에 대해 제작한 센서를 이용하여 측정된 것이다. chamfer부의 가공이 시작되면서 주로 절삭이 일어나 신호는 점차 증가하는 모습을 보이다가 완전 나사산부에 접어들면서 완성된 나사산을 따라 나사산부가 미끄러져 들어감에 따라 신호는 큰 증가 경향이 없이 안정세를 나타낸다. 그리고 전방가공의 마지막부분의 감속부에 와서 신호값이 급격히 줄어들게 되고 약간의 드웰 구간을 거친 뒤 다시 역회전해서 후방가공에 들어가면서 다시 증가하는 모습을 보인다. 여기서 특이하게 직접적인 가공이 없음에도 불구하고 전방가공에 비해 후방가공 시에 큰 신호레벨이 측정된 것은 후방 가공 시에 전방 가공 시보다 더 빠른 속도로 가공을 하기 때문으로 추정되고, 칩 배출의 원활성 여부에 따라 다소간의 변화가 생길 수 있는 부분으로 생각된다.

두 그래프의 레벨은 자체 제작한 센서의 계인값

을 변화시킴에 있어서 포화를 방지하고자 최소한의 증폭비로 측정을 한 것이므로 계인 조정을 통해 충분히 활용 가능한 크기의 신호를 얻어내는 것이 가능하다. 아울러 두 신호의 레벨을 비교해 볼 때 큰 차이가 없음을 미루어 보아 보다 더 작은 직경의 탭 가공에 있어서도 가공 모니터링의 감시 가능성은 충분하다고 판단된다.

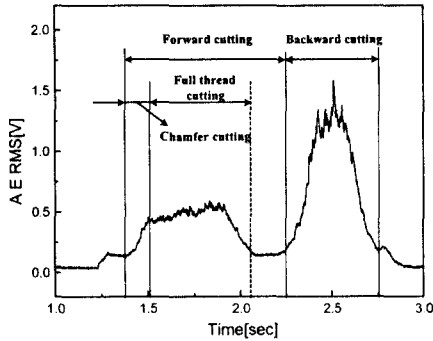


Fig. 7 AE RMS signal detected by fabricated AE sensor(M5 2500rpm depth 12mm)

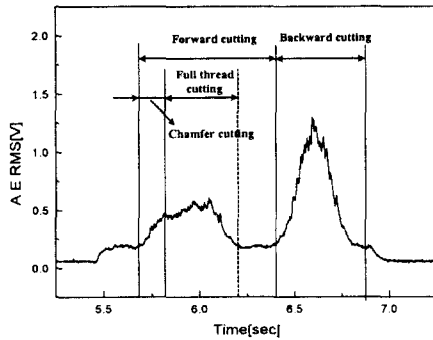


Fig. 8 AE RMS signal detected by fabricated AE sensor(M3 2500rpm depth 8mm)

5. 결론

AE 센서를 이용한 탭핑 가공에서의 공구 상태감시 실험의 결과로 아래의 사항들을 얻을 수 있었다.

- (1) 탭핑 가공 시에 발생하는 AE파의 주파수는 연삭과 같이 기존의 AE센서를 사용하여 감시를 하는 가공에 비해 비교적 낮다. 따라서 탭핑 가공을 모니터링하기 위해서는 센서 선정

단계에서 이 점을 고려하여야 한다.

- (2) AE 센서를 통한 가공 상태감시에 있어서 기존의 절삭토크를 이용한 방법의 결과에서 볼 수 있었던 부하의 변동에 따른 신호 변동을 확인 할 수 있었기 때문에 이를 이용한 공구 모니터링이 가능함을 알 수 있었다.

- (3) 공구의 직경에 따른 신호의 크기를 비교해 보았을 때 고속 탭핑에 주로 쓰이는 소구경의 탭에 있어서도 충분히 활용 가능한 레벨의 신호를 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었다.

차후의 실험에서는 절삭량의 변화에 따라 full Thread cutting부분에서의 신호레벨의 증가치를 비교하고, 또한 전·후방 가공의 가공속도의 변화에 따른 전방가공과 후방가공에서의 신호레벨의 비를 비교, 검토할 계획이다.

6. 후기

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 "첨단기계류·부품 개발 사업"의 "고속 탭핑머신 설계기술 개발" 과제로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. J.S.Agapiou, "Evaluation of the Effect of High Speed Machining on Tapping", Journal of Engineering for Industry, Transaction of ASME, Vol116, pp457-462, 1994.
2. Takeyama, "On Synchronous and Torsional Rigidity in a Threading Machine.", Annals of the CIRP, Vol.37, No.1, pp361-364, 1998.
3. 한국 OSG, "태핑작업 Technical Data", 한국 OSG, pp. 12-15, 1990
4. 김하룡 역, "구멍가공용 공구의 모든 것", 성안당, 1996
5. 강지웅, 공학석사 학위논문 2001.2, 부산대.
6. H.Y.Kim, S.R.Kim, J.H.Ahn, S.H.Kim, "Process monitoring of centerless grinding using acoustic emission", J. of Material Processing Technology, 111, pp273-278.
7. S.W.Or, H.L.W.Chan, C.L.Choy, "P(VDF-TrFE) copolymer acoustic emission sensors", J. of Sensors and Actuators, Vol, 80, pp. 237-241, 2000