

## 난삭재의 고속가공 특성 평가 및 모니터링 시스템 구축

이우영\*, 최성주\*, 이상태\*\*, 김흥배\*\*\*

### Development of Monitoring System for Super High-Speed Machining and Evaluation of Machinability of Difficult-to-cut Material

Woo Young Lee\*, Seong Joo Choi\*, Sang Tae Lee\*\*, Heung Bae Kim\*\*\*

#### ABSTRACT

High speed milling(HSM) is one of the emerging cutting process having tremendous potential not only in increased metal removal rates but also in improved surface finish, burr free edge, dimensional accuracy and a virtually stress free component after machining.

The High efficiency and accuracy in machining of die/mold materials can be obtained in high speed machining, so it is necessary to analyze the mechanism of high speed cutting process : cutting force, acoustic emission signal.

**Key Words** : Super High Speed Machining(초고속가공), Cutting force (절삭력), Machined Surface (가공면), Cutting Condition(가공조건), 음향방출(AE, Acoustic Emission)

#### 1. 서론

최근 금형업계 경쟁력을 높이기 위해 난삭성 금형 소재의 고능률 가공기술이 당면과제로써 떠오르고, 이에 대한 해결책으로 고속가공기술이 적용되고 있다.<sup>1)</sup> 현재까지는 공작기계의 측면에서 기계의 강성이나 주축회전수 등의 성능이 고속가공에 적합하게 개발되어 왔고 절삭공정중의 고속화에 따른 현상들을 분석하여 안정화시키는 기술도 연구되어지고 있다.<sup>1)</sup> 알루미늄의 고속가공은 주축회전수가 100,000rpm 이상의 절삭속도에서 가공이 행하여지고 있지만 고속단속절삭을 대상으로 한 절삭현상의 메커니즘은 아직 명확히 규명되지 않았다.<sup>2)</sup> 이러한

문제점에도 불구하고 고능률, 고정도의 가공을 실현한다는 측면에서 그 효용가치가 매우 높은 분야이므로 여러 이점을 가진 고속가공을 원활히 수행하기 위해서는 고속가공의 평가기술이 우선적으로 개발되어야 한다. 선삭이나 일반 범용 밀링가공 시에는 그 절삭주파수가 낮아 절삭력이나 AE, 가속도, 변위 등의 측정이 별 문제 없이 이루어져 왔다.<sup>2)</sup> 그러나 고속의 단속절삭 시에는 절삭주파수가 증가하고 또한 동적인 성분의 영향이 커지므로 인하여 절삭상태를 모니터링 하는 시스템의 구축에 어려움을 겪고 있고, 아직 완전히 시스템을 이분 연구가 되어있지 못하고 계속적으로 연구가 이루어지고 있는 상태이다.<sup>3)</sup>

2001년 3월 19일 접수

\* 한국기술교육대학교 기계공학부

\*\* 창원기능대학

\*\*\* 한국기술교육대학교 대학원

따라서 고속가공 시 절삭력, AE, 가속도신호를 측정하기 위한 시스템의 구축 및 측정된 신호들을 이용하여 절삭상태 및 절삭기구를 파악하는 방법을 찾는 것이 중요한 일이다.

또한, 산업의 급속한 발전과 더불어 국내의 금형 업계에서도 국제 경쟁력을 제고하기 위해 난삭성 금형 소재의 고정밀 및 고능률가공에 대한 요구가 급증하고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 고속가공에 관한 연구가 요구되고, 공작기계의 주축회전수 및 강성의 증가에 따라 고속가공에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 고속가공 시 절삭력 획득을 위한 모니터링 시스템을 구축하고 획득한 절삭력을 이용하여 금형강의 고속가공 시 스피들 회전수 및 이송량의 증가에 따른 절삭력 특성을 조사하고자 한다.

또한, 본 연구에서는 고속가공 시 AE 신호를 검출하여 가공특성을 분석하고자 한다

## 2. 실험 장치 및 시스템

### 2.1 절삭력 및 음향방출 실험장치

절삭력 측정을 위한 실험 장치는 Fig 1과 같으며, 사양은 Table 1과 같다. 특히 공구동력계의 고유진동수를 높이기 위하여 피삭재는 가능한 질량을 감소시켰으며, 공구동력계는 압전 효과를 이용한 압전식 3분력 변환기를 사용하여 가해진 힘은 전하 증폭기를 통해 전압으로 변환된 뒤 A/D보드에서 LabVIEW를 이용하여 데이터를 획득하였다.

### 2.2 모니터링 시스템 구축

절삭력 실험장치와 음향방출 실험장치를 이용하여 고속가공시의 모니터링 시스템을 National Instrument 사의 LabVIEW를 이용하여 프로그램을 작성하였으며, Fig. 2는 모니터링 시스템의 전체 모습을 나타내고 있다.

Table 1 Specification of experiment for cutting force

피삭재	STD11, 45HRc
공구동력계	Kistler사, type : 9254
증폭기(Amplifier)	Kistler사, type : 5019
A/D 보드	DAQ-MIO-16-E

## 3. 절삭속도 및 이송량의 영향

### 3.1 실험 방법 및 조건

공구는 고속가공용으로 코팅하여 제작된  $\phi$  8mm 초경 솔리드 평 엔드밀(Jabro Tool co.)을 사용하였다. Table 2는 실험에 사용한 절삭조건을 나타낸다.

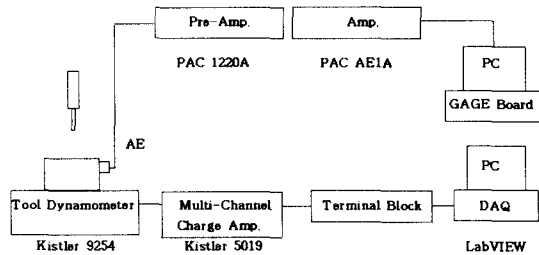


Fig. 1 Diagram of experimental system

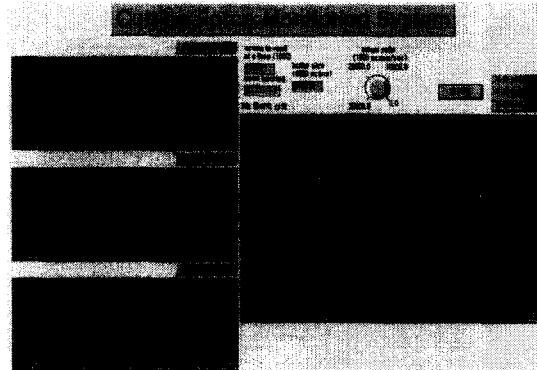


Fig. 2 Front panel of monitoring system

절삭력 신호를 측정된 결과를 X 방향(반경방향)에 대해 Fig. 3에 그리고 Y 방향(이송방향)에 대해 Fig. 4에 각각 나타내었다.

절삭력이 바뀔 때마다 새 공구를 사용하여 절삭력을 측정하였는데 런아웃(run-out)의 영향을 반영하고, 3개의 날의 단속적인 절삭력 파형을 측정하였는데 무리가 없으며, 절삭상태가 절삭력 파형을 볼 때 안정됨을 알 수 있다.

Table 2 Experimental cutting conditions

Edge	RPM	Feed/tooth (mm/tooth)	Axial depth	Radial depth
3	4,000	0.01	1mm	0.05mm
	10,000			
	20,000	0.03		
	30,000			
	40,000			

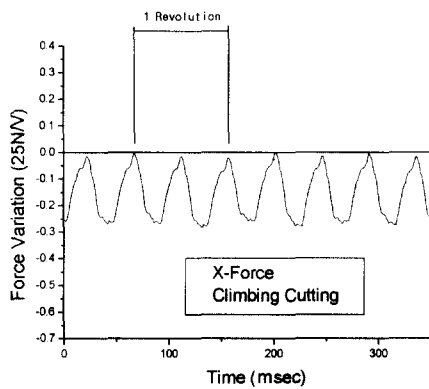


Fig. 3 Force characteristics of X-direction

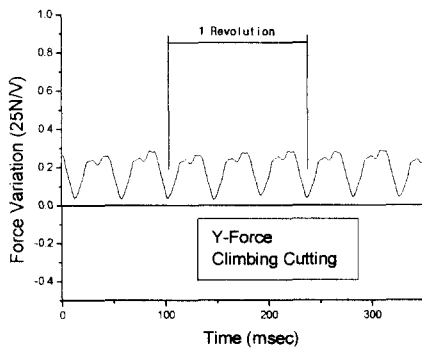


Fig. 4 Force characteristics of Y-direction

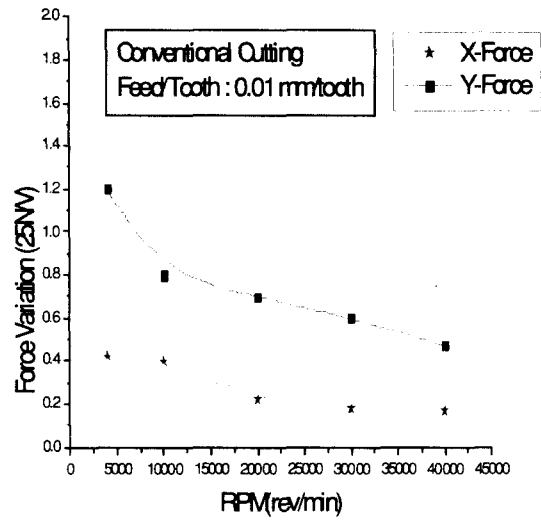


Fig. 5 Cutting force variation according to spindle speed

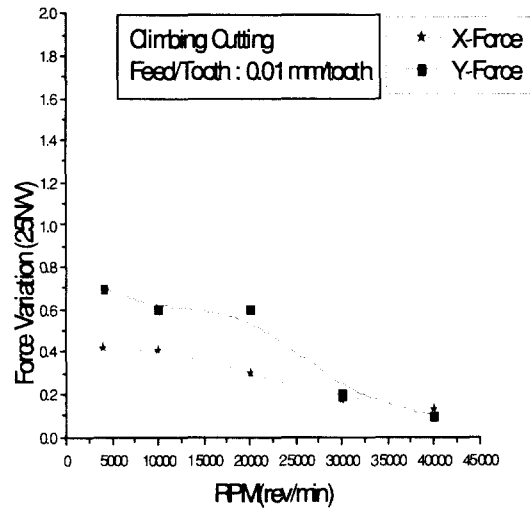


Fig. 6 Cutting force variation according to spindle speed

### 3.2 실험 결과

### 3.2.1 회전수에 따른 절삭력 측정

고속가공에서 회전수의 증가에 따른 결과를 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 나타내었다.

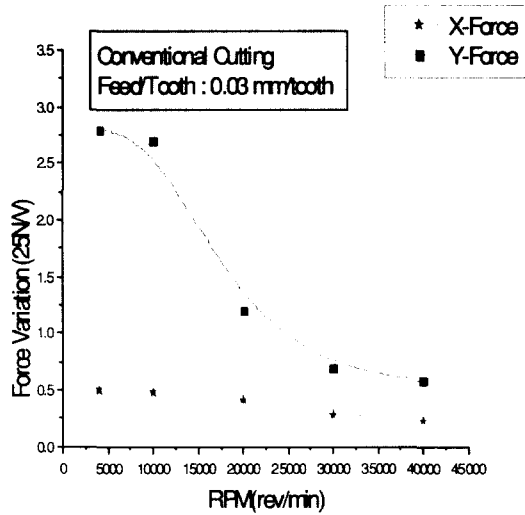


Fig. 7 Cutting force variation according to spindle speed

STD11에서는 X, Y방향 모두 회전수의 증가에 따라 힘이 점진적으로 감소하는 경향을 보인다. 상향·하향 모두 X방향보다 Y방향으로 크게 감소하다가, 하향 절삭에서만 0.01mm/tooth의 경우에는 30,000rpm 부근에서, 그리고 0.03mm/tooth의 경우 35,000rpm 부근에서 반전되어 X방향의 힘이 크게 작용한다.

고속가공에서 X 방향(반경방향), Y방향(이송방향) 힘의 크기가 바뀌는 것은 절삭속도가 증가함에 따라 법선방향의 비절삭저항이 증가하고, 반대로 접선방향의 비절삭저항은 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 배분력의 증가는 직접적으로 가공면의 파형도(waviness)에 영향을 주게되고, 런아웃도 관계되므로, 고속가공에서 공구의 설계나 절삭조건 선정 시 배분력의 조정이 중요한 요소가 될 것으로 여겨진다.

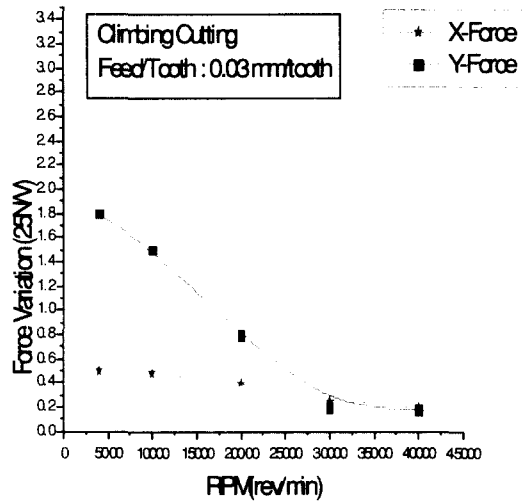


Fig. 8 Cutting force variation according to spindle speed

### 3.2.2 날당 이송량에 따른 절삭력 특성

날당 이송량에 따른 절삭실험 결과를 Fig. 9, Fig. 10에 나타내었다. 절삭력은 상향 및 하향에서 X, Y 방향 힘 모두 증가하고, 같은 증가율을 유지하는 경향을 보인다. Y방향의 4000rpm에서 날당 이송량의 증가에 따라 상향 및 하향에서 절삭력은 급속하게 증가하는 경향을 보인다.

이것으로 절삭속도가 낮은 영역에서는 이송방향으로 날당 이송량이 증가할수록 절삭저항이 커진다는 것을 알 수 있다.

## 4. 음향방출(Acoustic Emission) 실험

### 4.1 실험 방법 및 조건

음향방출(Acoustic Emission, AE)은 외부적 자극을 받게 될 때 재료에 의해 방출되는 음향파로 정의될 수 있다. AE는 많은 발생기구들에 의해서 발생될 수 있다.

결정의 파괴, 균열의 발생 및 성장, 전위에 의한 몇몇의 기구들, 재료내의 계재물의 파괴, 고체내의 상변형, 비등 그리고 전기적 방전등이 원인이 된다. 이런 모든 기구들은 원자그룹의 빠른 집단적 운동에 의해 특정 지어진다. AE 신호의 RMS

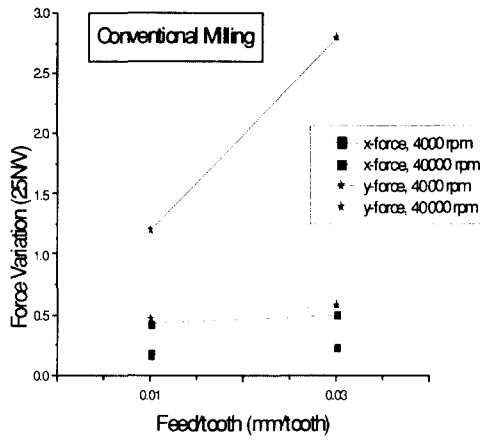


Fig. 9 Cutting force variation according to Feed/tooth in conventional milling

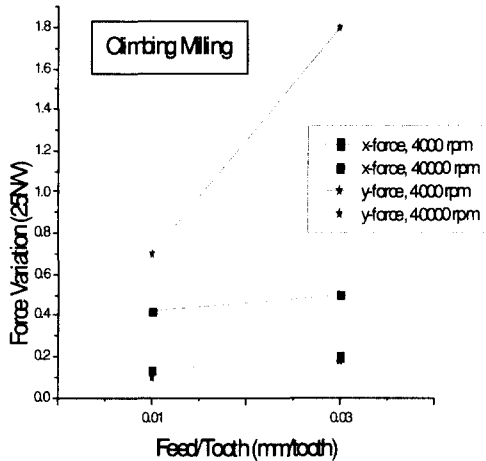


Fig. 10 Cutting force variation according to feed/tooth in climbing milling

값을 이용하여 신호의 진폭을 평균화하는 것이다. 고속가공에서 이 RMS 값의 경향을 추정하는 것이 이 실험의 목적이다.

음향방출(Acoustic Emission) 특성 실험에서는 고속 데이터 획득 위하여 최대 5MHz의 샘플링 속도의 Gage 보드를 사용하였으며, 데이터 처리는

LabVIEW를 이용하여 오실로스코프를 제작하였다. 음향방출 실험을 위하여 제작한 오실로스코프 화면이 Fig. 11에 나타나 있다.

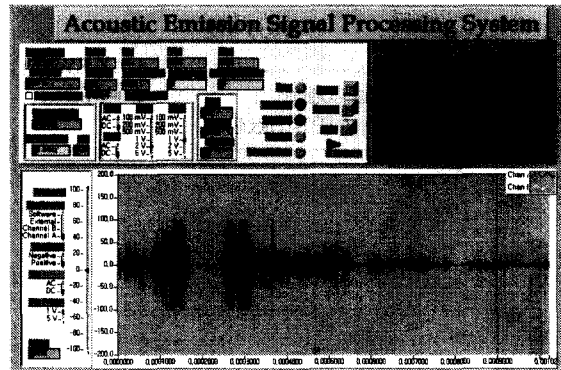


Fig. 11 Front Panel of Monitoring System for AE

#### 4.2 실험 결과

고속가공에서의 음향방출 신호의 RMS 값을 얻은 후 Fig. 12에 나타내었다.

고속가공시의 음향방출특성 실험에서는 돌출형 신호 보다 연속형 신호가 주를 이루었으며, 회전수의 증가에 따라 AE 신호의 RMS 값은 증가하는 경향을 나타낸다.

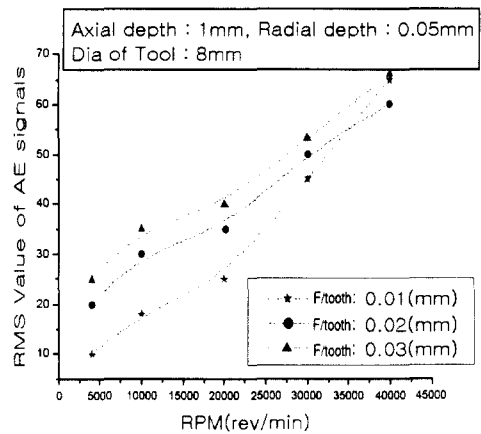


Fig. 12 RMS value variation according to RPM

### 5. 결론

금형강(STD 11)의 고속가공을 대상으로 한 절삭 실험에서 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 난삭재의 고속가공 특성을 위하여 절삭력 및 AE 모니터링 시스템을 구축하였다.
- 2) 회전수의 증가에 따라 X방향(반경방향), Y방향(이송방향) 힘은 모두 감소하는 경향을 보인다.
- 3) 상향· 하향 모두 X방향보다 Y방향으로 크게 감소하다가, 하향 절삭에서만 0.01mm/tooth의 경우에는 30,000rpm 에서, 그리고 0.03mm/tooth의 경우 35,000rpm 부근에서 반전되어 X방향의 힘이 크게 작용한다.
- 4) 날당 이송량의 증가에 따른 절삭력은 상향 및 하향에서 X, Y 방향 힘 모두 증가하고, 그 증가율은 같은 경향을 보인다. 절삭속도가 낮은 영역에서는 이송방향으로 날당 이송량이 증가할 수록 절삭저항이 커진다는 것을 알 수 있다.
- 5) 고속가공시의 음향방출특성은 돌출형 신호보다 연속형 신호가 주를 이루었으며, 회전수의 증가에 따라 AE 신호의 RMS 값은 증가하는 경향을 나타낸다.

### 참고문헌

1. T. Moriwaki, "High-Speed Machining," CIRP, Vol.41, 1992.
2. H. Schut, "High-Speed milling of Dies and Moulds-Cutting Condition and Technology," CIRP, Vol.44 1995.
3. Nam-Sub Seo, Metal Cutting Theory, Dong myoung sa, Korea, 1985.
4. Young-Ha Yum, The Cutting Theory of Machine Tool, Dong myoung sa, Korea, 1992.
5. D.G Flom, R. Komanduri and M. Lee, High Speed Machining of Metals, Annual Review of Materials Science, Vol. 4, p. 231, 1984.
6. R.I. King and R.I. Vaughn, A Synoptic Review of High Speed Machining from Salomon to the Present, Proc. of ASME, High Speed Machining Conf, PED 12, 1984, 2.
7. C. salomon, Verfahren zer bearbeitung von metallen oder bei einer bearbeitung durch

schneidende werkzeuge sich ahnlich verhaltenden werkstoffen, German Patent no. 523594, 1931.

8. G.L. Criger, High speed machining in production, SAMPE Quarterly, 12 April 1981.
9. J. Tlusty, High speed milling, Proceedings of the 6th IMEC, Osaka, Japan, pp. 35-42, 1994.
10. J. R. Coleman, No myth high speed naching, Manuf. Eng. 61, Oct 1992.
11. J. Gough, High speed machining for toolmaking applications, Prec. Toolmaker 8, 1990.
12. H. Schulz, High speed machining - some of the latest developments, Metalworking World 3, 1994.
13. F. J. McGee, High speed machining - study : method for aluminium workpiece, Am, Machanist, 1979.
14. E. M. Trent, Metal cutting, 3rd edition, Butterworth, London, ISBN 0750610689, 1991.
15. T. Moriwaki, "High-Speed Machining," CIRP, Vol.41, 1992.
16. Zhijie Tang, "Tool replacement strategies and the precision of tool monitoring system in advanced manufacturing system," Transaction of NAMRI/SME, Vol. 26, pp. 255-260, 1995.
17. 이우영 외 3인, "난삭재의 고속가공 특성평가 및 모니터링 시스템 구축," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 942-950, 1999.
18. 이우영 외 2인, "인터넷 기반 실시간 원격 고속가공 모니터링," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 952-955, 1999.