

프레스 금형 마모에 대한 음-초음파 신호 특성 분석

Characterization of Acousto-ultrasonic Signals for Stamping Tool Wear

김 용 연*

Yong Yun Kim

(2009년 1월 12일 접수 ; 2009년 3월 20일 심사완료)

Key Words : Compressing(압착), Blanking(구멍가공), Deburring(버 제거), Frequency Spectrum(주파수 범위), Tool Wear(금형 마모), Signal Process(신호처리), Fourier Transform(푸리에 변환)

ABSTRACT

This paper reports on the research which investigates acoustic signals acquired in progressive compressing, hole blanking, shearing and burr compacting process. The work piece is the head pin of the electric connector, whose raw material is the preformed steel bar. An acoustic sensor was set on the bed of hydraulic press. Because the acquired signals include the dynamic characteristics generated for all the processes, it is required to investigate signal characteristics corresponding to unit process. The corresponding dynamic characteristics to the respective process were first studied by analyzing the signals respectively acquired from compressing, blanking and compacting process. The combined signals were then periodically analyzed from the grinding to the grinding in the sound frequency domain and in the ultrasonic wave. The frequency of around 9 kHz in the sound frequency domain was much correlated to the tool wear. The characteristic frequency in the acoustic emission domain between 100 kHz and 500 kHz was not only clearly observed right after tool grinding but its amplitude was also related to the wear. The frequency amplitudes of 160 kHz and 320 kHz were big enough to be classified by the noise. The noise amplitudes are getting bigger, and their energy was much bigger as coming to the next regrinding. The signal analysis was based on the real time data and its frequency spectrum by Fourier Transform. As a result, the acousto-ultrasonic signals were much related to the tool wear progression.

1. 서 론

최근 탄성파동 및 음향방출 기술을 이용한 소재 평가와 공구 감시 및 가공 불량 검출을 위한 탄성과 전달 특성을 응용한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 등방성 평판 접합 검사와 소더 조인트의 신뢰성 검사를 위하여 음파의 전달 기술을 적용하여 그 가능성을 제시하고 있을 뿐 아니라, 절삭 가공의 표면 평가를 생산 공정에 적용하여 실

시간으로 평가한 연구도 진행되고 있다. 프레스 생산 공정에서 생산 금형의 상태는 제품 생산 품질에 절대적으로 영향을 미치기 때문에 금형 상태를 모니터링 하는 기술이 절실히 요구되고 있다. 현재는 작업자의 경험에 의존하고 있기 때문에 공정을 관리하는데 어려운 점이 많다. 따라서 가공 공정으로부터 발생하는 음향신호를 검출하여 음향신호의 특성과 제품의 품질 및 금형 상태를 분석할 수 있는 검출 시스템이 요구되고 있다. Lee와 Kim^(1,2)은 절삭력 신호를 이용한 경면생성예측에 관한 연구를 통해 절삭력을 이용한 표면조도를 예측하였고, Kwak과 Song⁽³⁾은 음향신호를 이용하여 표면조도를 예측을 하였다. 미세한 진동신호를 감지하기에 음향센서가 유리함을

* 교신저자; 정회원, 충북대학교 기계공학부
E-mail : yykim@cbnu.ac.kr
Tel : (043)261-3353, Fax : (043)263-2448

이용하여 Kim⁽⁴⁾은 압전소자를 이용한 음향센서를 제작하여 연마공정 감시 장치를 개발했다. 또한 Kim⁽⁵⁾은 엔드밀가공에서 절삭력과 음향신호의 관련성을 규명하였고, Ertekin⁽⁶⁾은 밀링가공에서 재료별로 가공 환경의 변화에 따른 음향신호를 측정하였다. Axinte⁽⁷⁾은 음향신호를 통해 브로칭 가공의 가공표면 상태 예측을 시도하였고, Ganesan⁽⁸⁾은 폴리싱 가공에 음향신호를 가공표면 측정에 이용함으로써 연삭가공을 비롯한 밀링가공, 브로칭 가공, 정밀한 폴리싱 가공에도 음향신호를 적용할 수 있음을 제시하였다. Kwak과 Ha^(9,10)는 음향신호 처리를 위한 신경회로망(neural network)이론을 도입하여 표면가공 상태를 진단하는 시도를 통해 새로운 신호처리 방법을 제시하였고, Godin⁽¹¹⁾은 복합재료의 인장시험에서 음향방출 신호를 취득해 가공 방법뿐 아니라 재료의 특성에 따라서도 가공 상태 예측이 가능함을 제시하였다. 또한 Kim과 Lee⁽¹²⁾는 알루미늄 박판 원통의 정밀 선삭 공정으로부터 음향신호를 실시간으로 분석하여 미세 크랙을 검출하는 데 적용하였다.

금형은 점진적으로 마모되어 생산 제품의 품질을 저하시키기 때문에 일정 시간 생산 후 주기적으로 연마하여 사용하지만 연마 주기는 작업자의 경험과 제품의 품질에 따라 결정되는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 헤드핀 프레스 가공 공정에서 발생하는 음향 신호를 수집하여 신호의 특성 주파수와 금형 마모와의 상관관계를 고찰하여 마모 상태를 감지할 수 있는 기술을 개발하고자 하였다. 음향신호 분석으로부터 금형 마모를 예측할 수 있고, 그에 따른 제품의 품질도 예측할 수 있었다. 소리 영역에서 마모와 관련된 특성 주파수는 가변적이고, 초음파 영역에서 금형이 마모되어도 일정 생산량까지 특성 주파수가 변하지 않았다. 또한 재료가 파손될 때 100~500 kHz 영역에서 음향 방출 신호가 발생하는 것으로 알려져 있으나, 이 연구에서는 MHz의 영역에서 음향방출 신호를 확인할 수 있었다.

2. 데이터 수집 장치

2.1 스템핑 공정

프레스와 고전압용 헤드핀의 가공 금형은 Fig. 1과 같다. 헤드핀 가공에 이용되는 프레스는 80 Ton급 싱글 크랭크 유압 프레스이고, 사양은 Table 1과

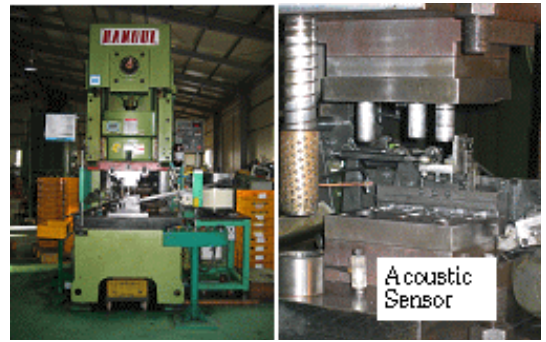


Fig. 1 Press and dies

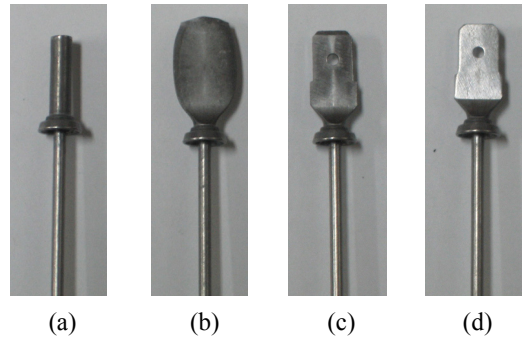


Fig. 2 Multi-stamping process

Table 1 Press specification

Model	HNCP-80
Capacity (Ton)	80
Stroke length (mm)	130
Velocity (SPM)	50~80
Height (mm)	350
Bed Area (mmxm)	1000×600
Power (HP)	15

Table 2 Specification of sensor and oscilloscope

Acoustic sensor	
Model	B1025(digital wave)
Freq. Range	1 kHz ~ 1.5 MHz
Oscilloscope	
Model	Wave Surfer424 (Lecroy)
Bandwidth	200 MHz
Sample rate	2 GS/s max.
Record length	500Kpts/Ch, 2Mpts max
Vertical resolution	1 mV/div~103 mV/div

같다. 헤드핀은 Fig. 2와 같이 원소재(a)로부터 머리부를 압착하고(b), 머리 형상 커팅과 구멍 블랭킹(c)을 동시에 하고 다지는(d) 3단계 연속공정으로 동시에 가공된다.

2.2 음향신호 수집 방법

광대역 음향방출센서를 프레스 베드에 Fig. 1과 같이 부착하여 프레스 공정으로부터 방출되는 신호를 수집하였다. 측정에 사용된 음향방출센서와 신호 수집 장치의 제원은 Table 2와 같다. 센서로부터 감지된 음향신호는 디지털 오실로스코프로 실시간으로 관찰하고 저장하였다. 디지털 오실로스코프의 샘플링 데이터 수는 오실로스코프에 내장된 메모리에 의해 결정된다. Lecroy Wave-surfer 424의 최대 버퍼 저장 용량은 2 Mpts이고, 신호 수집 속도는 10 Mpts/sec로 하였다. 금형 연마 직후부터 다음 연마 시점(240,000개 생산)까지 30,000개 생산 주기로 각각 0.05초 동안 가공공정으로부터 방출되는 신호를 수집하였다.

3. 신호해석 및 토론

3.1 단위 공정 신호 해석

Figs. 3~5는 Fig. 2에서 보여준 압착, 블랭킹, 디버링의 단위 공정으로부터 방출되는 각각의 신호의 주파수 스펙트럼이다. 10 Mpts/sec의 속도로 0.05초 동안 신호를 수집하여, 0~10 kHz, 100~400 kHz, 1~5 MHz 영역의 주파수 분포를 고찰하였다. 주파수 분포는 푸리에 변환에 의해 계산되었다. Fig. 3은 핀머리 부분을 형성하기 위해서 봉을 압착시켜 평판을 형성시키는 공정으로부터 발생되는 신호이다. $\Phi 3.42$ mm 봉을 두께 0.8 mm의 평판으로 성형하는데 프레스 램은 0.262 mm 이동하고 공정에 소요되는 시간은 램의 평균속도로부터 7.4 ms임을 계산할 수 있다. 그러나 하중이 작용할 때 속도가 느려짐을 고려하면 약 10 ms 소요된다. 왼편-위 그림은 실시간 데이터로 신호의 진폭은 크지 않으나 오른편-위 그림에서 주파수 스펙트럼을 보면 6120 Hz의 특성 주파수를 가지고 있고, 왼편-아래 그림을 보면 소재가 탄소성 변형을 할 때 발생하는 음향방출 신호로 해석될 수 있는 160 kHz와 320 kHz 특성 주파수를 볼 수 있다. 또한 오른편-아래 그림을 보면 4 MHz의

초음파 주파수에 해당되는 특성 주파수를 볼 수 있다. 신호 수집에 사용된 센서는 1 kHz~1.5 MHz의 유효 영역을 가지고 있는 비공진형 광대역 센서로 센서의 민감도는 유효 주파수 범위에서 동일하다. 유효 범위 밖에서 민감도가 떨어질 것으로 생각되지만 이 연구에 데이터를 보면 유효범위 밖에서도 충분히 신뢰성을 가지고 있는 것으로 볼 수 있다. Fig. 4는 핀의 머리부에 구멍을 형성하고, 가장자리를 전단하는 블랭킹 공정으로부터 발생하는 신호이다. α 는 전단 소성 변형이 시작되는 시점으로 α

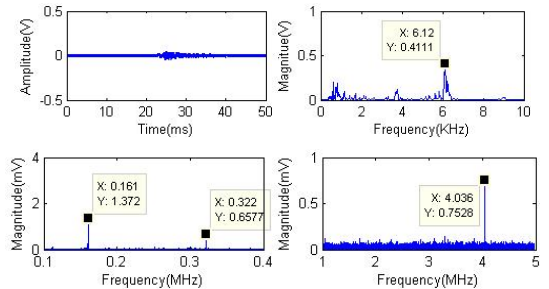


Fig. 3 Signals emitted during compressing process : real time data(top-left) and frequency spectrum of 0~10 kHz(top-right), 100~400 kHz(bottom-left), 1~5 MHz(bottom-right)

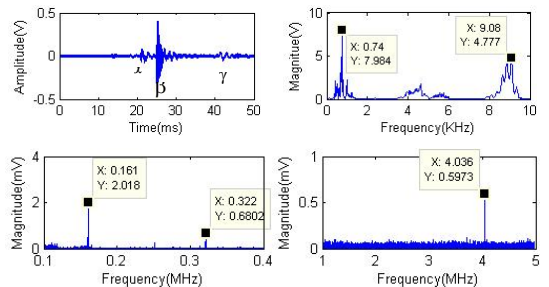


Fig. 4 Signals emitted during blanking process

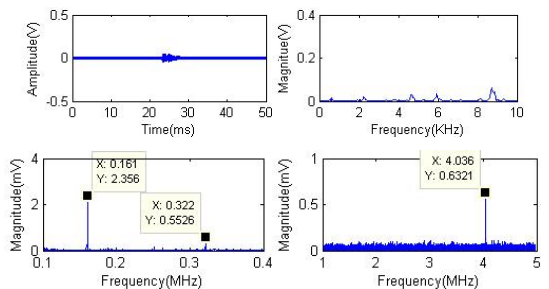


Fig. 5 Signals emitted during bur-compact process

부터 β 구간은 소성변형이 진행되고 전단 크랙이 발생하는 구간이다. β 이후는 크랙 발생으로부터 소재가 절단되는 과정으로 γ 는 burr가 절단되는 신호로 해석할 수 있다. 740 Hz, 9080 Hz, 160 kHz, 320 kHz, 4 MHz의 특성 주파수를 고찰할 수 있다. Fig. 5는 블랭킹에서 발생하는 burr를 다져주는 공정으로부터 발생하는 신호이다. 1000 Hz이하 영역의 주파수는 가지고 있지 않고 burr의 소성 변형으로부터 발생될 수 있는 160 kHz, 320 kHz, 4 MHz의 음향방출 특성 주파수만 고찰할 수 있다. Figs. 3~5부터 관찰되는 740 Hz, 6120 Hz, 9080 Hz는 가공할 때 금형의 진동으로부터 발생하는 신호로 생각할 수 있고, 160 kHz와 320 kHz는 소재의 소성 변형으로부터 발생하는 음향방출 주파수의 영역으로 해석될 수 있지만, 4 MHz는 일반적인 음향 방출 주파수로 알려지지 않았지만, 생산량에 따라 증가하는 경향을 보이기 때문에 음향방출 주파수로 해석할 수 있을 것이다.

3.2 동시 공정 신호 해석

Figs. 6~15는 금형을 연마한 직후부터 30,000개 생산량을 주기로 burr의 크기가 제품의 두께 공차를 넘어서는 시점까지의 음향신호를 수집하여 주파수 특성을 고찰하였다. 압착, 블랭킹, 다짐을 동시 가공할 때 발생하는 신호를 수집, 분석한 것으로 스트로크 수에 따라 특성 주파수의 크기가 변하는 것을 확인할 수 있다. 각각의 그림은 Fig. 3과 같이 왼편-위 그래프는 실시간 신호이고, 오른편-위 그래프, 왼편-아래 그래프, 오른편-아래 그래프는 각각 0-10 kHz, 100~400 kHz, 1~5 MHz 영역에서 신호의 주파수 분포를 나타낸다.

Figs. 6~15로부터 음파 영역의 특성 주파수(600~800 Hz, 5000~6000 Hz, 8700~9300 Hz)를 관찰할

수 있다. Fig. 16의 위 그래프는 음파 영역에서 특성 주파수(600~800 Hz, 5000~6000 Hz, 8700~9300 Hz)의 변화를 보여준다. 각각의 특성 영역은 최대

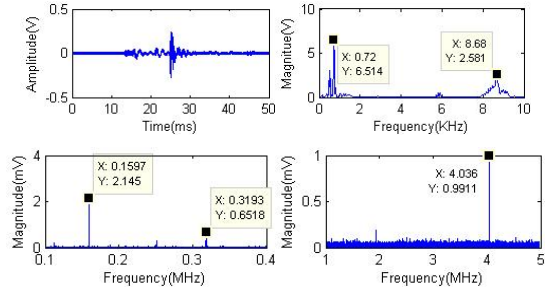


Fig. 7 Signals at about 30000 strokes

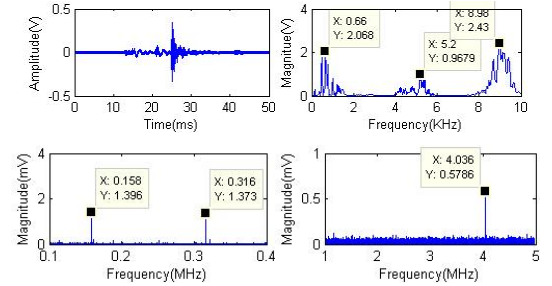


Fig. 8 Signals at about 60000 strokes

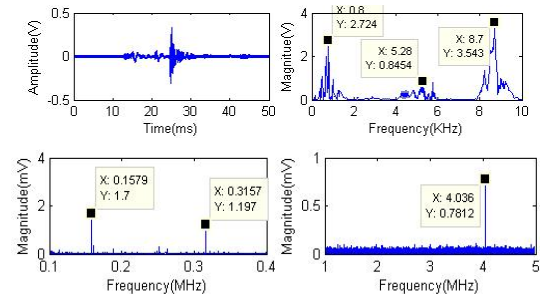


Fig. 9 Signals at about 90000 strokes

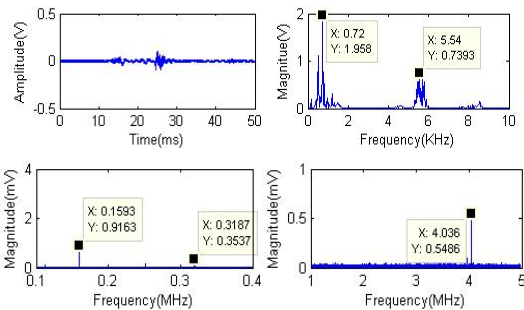


Fig. 6 Signal at right after regrinding

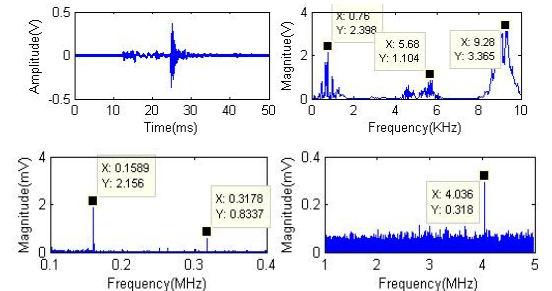


Fig. 10 Signals at about 120000 strokes

진폭을 갖는 특성 주파수가 달라짐을 알 수 있다. 8700~9300 Hz 영역에서 특성 주파수는 생산량이 증가함에 따라 지속적으로 증가함을 볼 수 있다. 특

히 금형을 연마한 후부터 초기 30,000개 까지 급격한 증가를 보였고, 210,000개 생산 후부터 지속적으로 증가하였다. 따라서 8700~9300 Hz 영역의 주파수는 금형의 마모 상태를 감시하고 연마시기를 결정하는 데 활용될 수 있음을 보여준다. 600~800 Hz의 특성 주파수의 변화가 크지만 마모와 상관관계는 크지 않은 것으로 볼 수 있다. 5000~6000 Hz 영역의 특성 주파수는 생산량이 증가함에 따라 파의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 금형의 안정성과 관계된다고 볼 수 있다. 리그라잉팅 후 금형 상태가 불안정할 때 발생하는 신호로 볼 수 있고, 금형의 안정성을 평가하는 데 적용될 수 있을 것이다.

초음파 영역의 신호는 재료의 탄·소성 변형에 따른 축적에너지의 방출 신호로 알려져 있다. Figs. 6~15로부터 160 kHz, 320 kHz, 4 MHz의 음향방출 신호를 관찰할 수 있지만, 생산을 지속할 경우 150

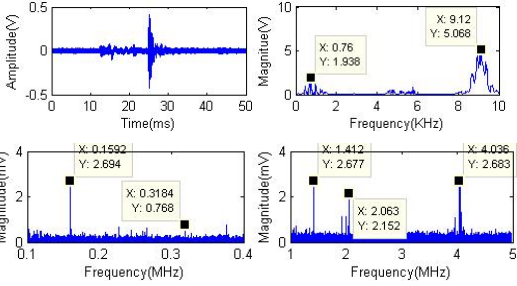


Fig. 11 Signals at about 150000 strokes

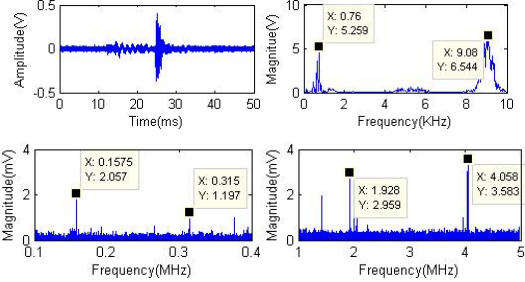


Fig. 12 Signals at about 180000 strokes

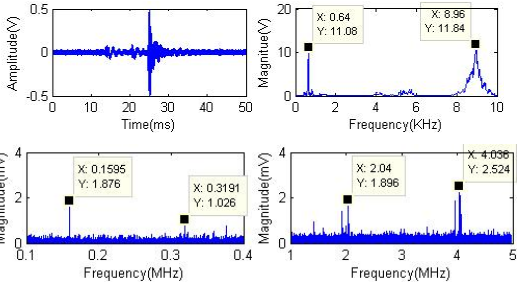


Fig. 13 Signals at about 210000 strokes

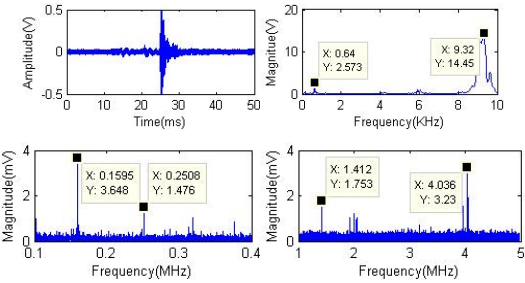


Fig. 14 Signals at about 240000 strokes

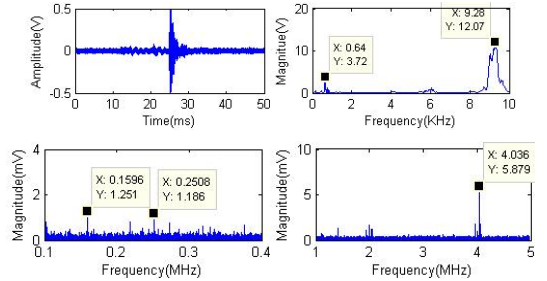


Fig. 15 Signals at about 240000 strokes

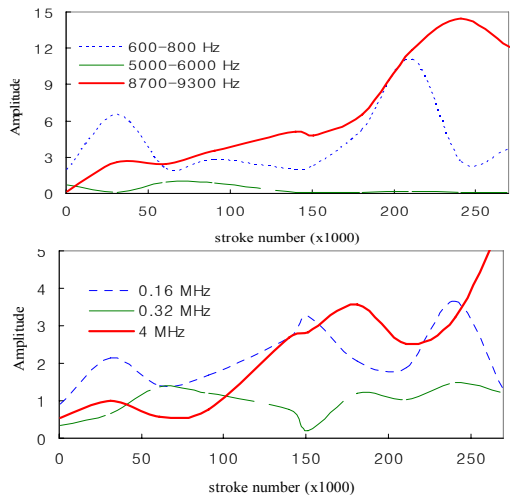


Fig. 16 Amplitude variation with respect to stroke number

kHz, 320 kHz 신호 이외의 주파수를 갖는 방사에너지가 증가함을 확인할 수 있다. Fig. 16 아래 그래프는 초음파 영역에서 특성 주파수(160 kHz, 320 kHz, 4 MHz)에 대한 신호 크기의 변화를 보여준다. 이것은 재료의 파괴 유형이 변형되고 있음을 유추할 수 있고, 15만개 생산 시점부터 광역의 특성 주파수가 나타남을 볼 수 있다. 160 kHz의 신호는 마모와 상관관계는 적은 것으로 볼 수 있다. 320 kHz 신호는 15만개 생산 시점에서 최대 크기를 갖지만 마모 상태 검출 신호로 활용하기는 어려울 것 같다. 그러나 4 MHz 신호는 18만개 생산 시점까지 마모가 증가함에 따라 신호의 크기가 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 4 MHz의 주파수는 금형의 마모 상태를 감시하고 연마시기를 결정하는 데 활용될 수 있음을 보여준다.

결과적으로 20 kHz이하 영역에서 특성주파수는 금형의 마모 또는 생산량에 따라 특성 주파수가 일정 영역에서 가변적인 반면 초음파 영역에서 특성 주파수는 일정량 생산 시점까지 특성 주파수가 변하지 않음을 고찰할 수 있었다.

4. 결 론

블랭킹 공정의 제품은 조립정도, 마모, 등, 금형 상태에 따라 그 품질이 좌우된다. 따라서 금형 상태를 파악하는 것이 제품의 품질을 관리하고, 생산량을 예측할 수 있는 척도가 된다. 따라서 음향신호 분석으로부터 금형 마모를 예측할 수 있고, 그에 따른 제품의 품질도 예측할 수 있었다. 소재의 전단신호의 변화도 확인할 수 있었다. 결론적으로, (1) 20 kHz이하의 소리 영역에서 8700~9300 Hz 영역의 주파수가 금형 마모와 상관관계가 크지만 특성 주파수가 가변적이고, (2) 초음파 영역에서는 4 MHz 주파수가 금형 마모와 상관관계가 크고, 금형이 마모되어도 일정 생산량까지 특성 주파수가 변하지 않았다. 프레스 공정의 음향방출 신호 분석 기술은 금형 마모 상태를 감시하고, 제품의 품질을 예측하고, 연마시기를 결정하는 데 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구 지원

사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

(1) Lee, E. B. and Kim, J. D., 1993, "A Study on the Prediction of Mirror-like Surface Generation by Frequency Analysis of Cutting Force and Simulation," Journal of KSME, Vol. 17, No. 3, pp. 576~585.

(2) Kim, J. D. and Lee E. B., 1993, "A Study on the Modeling of Tool Motion and High Accuracy Surface Generation by Use of Cutting Force Signal," Journal of KSME, Vol. 17, No. 8, pp. 1951~1962.

(3) Kwak, J. S. and Song, J. B., 2000, "Estimation of the Ground Surface Roughness Applied by Acoustic Emission Signal," Journal of KSPE, Vol. 17, No. 4, pp. 240~246.

(4) Kim, J. D., Kim, S. R., Kim, H. Y. and Ahn J. H., 2001, "Development of Acoustic Emission Sensor Using Piezoelectric Elements and Monitoring System for Polishing Process," Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 560~565.

(5) Kim, W. I. Wang, D .H. and Kim, Y. S., 2002, "Behaviors of Cutting Force and Acoustic Emission in Different Helix Angle End Milling," Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 15~22.

(6) Yalcin, M. Ertekin, Kwon, Y. J. and Tseng Tzu-Liang(Bill), 2003, "Identification of Common Sensory Features for the Control of CNC Milling Operations under Varying Cutting Conditions," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 43, pp. 897~904.

(7) Dragos, A., Axinte, N. G., Kate, F. and Iker, U., 2004, "Process Monitoring to Assist the Workpiece Surface Quality in Machining," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 44, pp. 1091~1108.

(8) Rajesh, G., Tapas, K. D., Arun, K. S. and Ashok, K., 2003, "Wavelet-Based Identification of Delamination Defect in CMP(Cu-Low k) Using

Nonstationary Acoustic Emission Signal,” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 16, No. 4, pp. 677~685.

(9) Kwak, J. S. and Ha, M. K., 2002, “Intelligent Diagnosis of Grinding State Using AE and Power Signals,” Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 60~67.

(10) Kwak, J. S. and Ha, M. K., 2004, “Neural Network Approach for Diagnosis of Grinding Operation by Acoustic Emission and Power Signals,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 147, pp. 65~71.

(11) Godin, N., Huguet, S., Gaertner, R. and Salmon, L., 2004, “Clustering of Acoustic Emission Signals Collected during Tensile Tests on Unidirectional Glass/Polyester Composite Using Supervised and Unsupervised Classifiers,” NDT&E International, Vol. 37, pp. 253~264.

(12) Kim, Y. Y. and Lee, C. H., 2007, “An Investigation of Acoustic Signal Characteristics in Turning of Aluminum,” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No.6, pp. 240~246.