

PDP 격벽 금형의 Micro Grooving 가공 특성에 관한 연구

이은상(인하대 기계공학부), 김남훈*(부산대 대학원 정밀기계공학과),
이득우(부산대 기계공학부), 김남경(진주산업대 자동차공학과)

A study on the machining characteristics of the micro grooving for the mold of PDP barrier rib

E. S. Lee(Mech. Eng. Dept., Inha Univ.), N. H. Kim*(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU),
D. W. Lee(Mech. Eng. Dept., PNU), N. K. Kim(Automotive Eng. Dept., Chinju NU)

ABSTRACT

This paper describes the machining characteristics of a developed micro grooving machine. Experiments have been conducted on the various grooving condition such as spindle revolution speed, feed rates and depth of groove. V and U-shaped blade tool and STD11 workpiece was used in this study. Evaluating the machining conditions, RMS and frequency spectrum analysis of AE(acoustic emission) signals according to each conditions were applied. As a result, this study presented the process to optimize micro grooving condition and possibility of application of AE technique in groove machining.

Key Words : Micro grooving(미세 홈가공), Acoustic emission(음향 방출), RMS(실효치 전압), Frequency spectrum analysis(주파수 스펙트럼 분석)

1. 서론

PDP는 두께가 3mm정도 되는 2장의 유리 기관을 사용하여 각각의 기관 위에 적당한 전극과 형광체를 도포하고, 전극간에 발생시킨 방전에 의한 발광 현상을 이용한 표시 장치이다. PDP의 제조 공정 중 격벽의 형성 공정은 방전 공간을 분할하고, 누화(Cross talk)를 방지하기 위하여 높이 100um의 격벽을 형성하는 것으로 PDP 제조 공정 중 가장 어려운 공정이다.

현재 PDP 제조사들의 통상적인 격벽의 제조 방법으로는 샌드블라스팅(Sand blasting), 포토리소그라피(Photo lithography) 등이 있으나, 이들 각각은 과도한 재료의 소모 및 제조 시간이 많이 소요되는 단점으로 인하여 대형 PDP의 가격을 고가로 만들고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위한 방안으로 격벽 재료와 바인더를 혼합하여 Forming Mold로 찍어내는 프레스 기술이 제안되어 연구가 진행되고 있다^[1].

본 연구에서는 40" 이상의 PDP 격벽 금형의 제작을 위해 3축 제어 Micro-grooving Machine을 개발

하였다. 구조적인 특징으로는 대형 PDP 금형의 크기 및 무게를 고려하여 공작물 이송에 의한 진동 문제를 배제시키기 위해 테이블을 고정하고 각 축을 이송하는 문(Door) 이동형 구조의 특징을 가지고 있다. 시스템의 구조는 정밀 래핑 가공된 석정반 베이스의 양 끝단에 석정반 프레임을 고정시키고, 그 위에 Y축 이송을 위한 Bridge 형식의 석정반을 부착하였다. X, Z축의 이송은 Y축 이송을 하는 석정반에 설치 지그를 부착하여 작동시켰다. 가공 공구는 미세한 지립의 다이아몬드와 CBN 블레이드를 각각 V와 U형상으로 제작한 후 고속 에어스핀들에 장착하여 사용하였다. 개발된 Micro-grooving Machine의 가공 특성을 평가하기 위해 가공 평가 실험에서 얻어진 AE신호를 각 조건별로 비교 분석하였으며, 표면의 형상을 관찰하여 절삭의 안정성을 비교하였다.

2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 개발된 Micro-grooving Machine을 보여주고 있다. 개발된 홈 가공기의 성능 평가를 위한 실험

으로 STD11을 피삭재로 사용하여 홈 가공의 특성을 평가하였으며, 다양한 가공조건에 따른 미세 홈의 형상을 관찰하였다.

홈 가공 중에 발생하는 AE 신호를 획득하기 위해서 공작물의 측면에 그리스(Grease)를 이용하여 AE 센서를 부착하였고, 잡음에 강인한 차동형(Differential type)으로 응답주파수 특성이 넓은 주파수 범위에서도 균일한 감도를 나타내는 광대역 센서를 사용하였다. 프리앰프(1220A(PAC))와 메인앰프(AE1A(PAC))를 사용하여 신호의 증폭(52dB)과 필터링(100 ~ 1200kHz)을 실시하였으며, 12비트의 분해능을 갖는 A/D변환기(Gagescope CS1012)를 사용하여 AE 센서에서 얻어진 전기적 신호를 5MHz의 샘플링 속도로 디지털 화 하여 컴퓨터에 저장하고, 홈 가공에 따른 AE 신호의 특성을 분석하였다^[2].

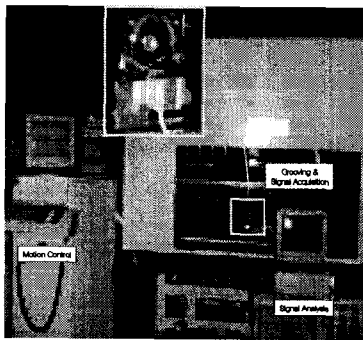


Fig. 1 Micro-grooving system

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 홈 가공기의 특성 평가

Fig. 2는 다이아몬드 블레이드를 사용한 가공 결과를 나타낸 것이다. 다이아몬드 입자로 구성된 블레이드를 사용한 STD11의 가공 결과 모든 조건에서 홈의 경계 면에 버가 심하게 발생하였다. 이것은 재료특성상 연성과피결삭으로 가공이 실시된 것을 알 수 있다.

일반적으로 CBN은 고경도 난삭재의 재료 제거에 우수한 가공 성능을 발휘하는 공구 재료이다. Fig. 3에서 보는 것과 같이 CBN 블레이드를 사용한 홈 가공에서는 다이아몬드를 사용한 경우와 비교할 때 버의 발생 및 연성과피결삭이 현저하게 줄었고, 실험 결과 30,000~35,000rpm의 주축 회전 속도에서 200 μ m 이하의 절입값과 0.6mm/sec의 이송 속도(Feed rate)가 개발된 홈 가공기의 최적의 가공 조건임을 알 수 있었다.

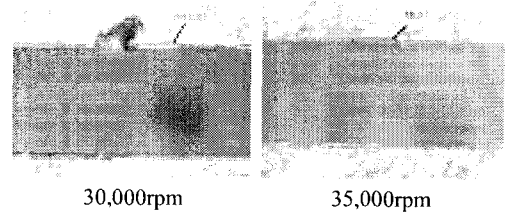


Fig. 2 Micrographs of Groove (In case of Diamond blade, Feed rate : 0.6mm/sec, Depth of Groove : 150 μ m)

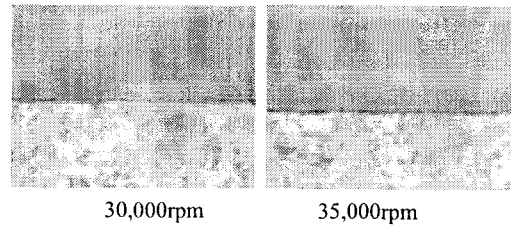


Fig. 3 Micrographs of Groove (In case of CBN blade, Feed rate : 0.6mm/sec, Depth of Groove : 150 μ m)

3.2 RMS를 이용한 홈 가공 특성 평가

Fig. 4는 가공 시간에 따른 AE_RMS 신호의 변화 경향을 보여주고 있다. 시간 영역의 신호와 가공 경향과의 연관성을 알아보기 위해 AE 원 신호를 임의의 시간 간격으로 획득하여 RMS 변환한 후, 변환된 RMS 신호의 평균값을 구하여 가공시간에 따라 그래프로 나타내었다. 신호의 경향을 살펴보면 초기에 높은 피크(High peak) 값을 가진 후에, 안정된 가공 상태로 홈 가공이 진행됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 일반적인 연삭 가공의 경우와 일치하는 것으로, 블레이드를 이용한 홈 가공이 일반적인 절삭가공의 메커니즘을 잘 반영하고 있다는 것을 알 수 있다^[3]. 그리고 향후 초기 높은 피크 값을 제어하는 연구를 수행한다면 더 나은 홈 가공 결과를 예측할 수 있을 것이다.

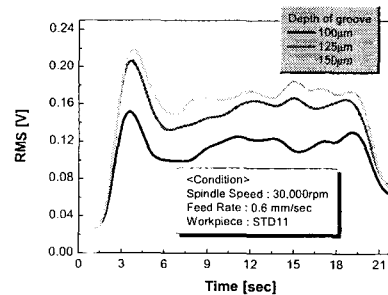


Fig. 4 RMS characteristics in accordance with grooving time

Fig. 5는 홈가공 깊이에 따른 RMS 신호의 특성을 나타내는 것이다. 가공 깊이가 증가함에 따라 RMS 신호의 값이 상승하므로, AE 신호가 홈 가공의 정상적인 특징을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

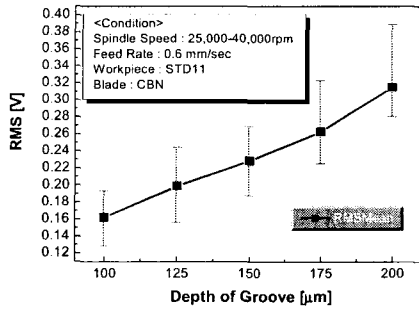


Fig. 5 RMS characteristics in accordance with depth of groove

3.3 AE 주파수 해석을 통한 가공 특성 평가

대형 PDP 가공의 인 프로세스 모니터링 기술은 가공 능력과 비용 측면에서 매우 중요하다. 본 연구에서는 AE 주파수 해석을 통해 시간 영역에서 샘플링된 신호들을 FFT 분석기(Analyser)를 이용하여 주파수 영역의 신호로 변환시켜 가공시 발생하는 물리적인 현상과의 관계를 살펴보고, 이를 이용한 인 프로세스 모니터링 기술의 활용 가능성을 검토하였다.

Fig. 6은 실험 결과에 따른 주파수 특성을 나타내고 있다. 가공 결과가 안정적인 홈 가공 영역에서 주파수 분석의 결과는 가공조건에 관계없이 일정한 주파수 영역(100kHz)에서 민감도를 나타내고 있다. Fig. 7은 버가 발생한 시편의 신호로부터 분석된 주파수 특성이다. 이 경우 주파수 영역이 불규칙하여 이상상태의 가공이 진행되었음을 예측할 수 있다. 따라서 본 실험에서 얻은 신호의 결과를 바탕으로 홈 가공시 이상상태의 감시에 AE를 이용한 인 프로세스 예측의 가능성을 기대할 수 있다.

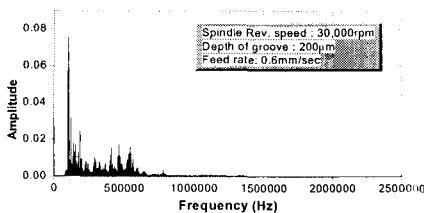


Fig. 6 AE frequency characteristics in accordance with grooving condition

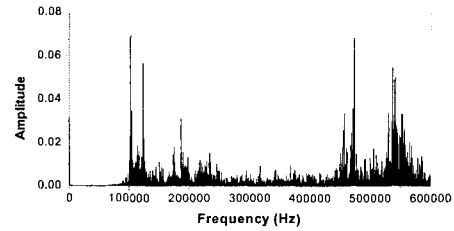


Fig. 7 AE frequency characteristics in case of burr (Spindle revolution speed : 27,500rpm, Feed rate : 0.6mm/sec, Depth of groove : 150μm)

4. 가공 상태 감시 기술

4.1 C-means 알고리즘

퍼지이론은 애매성을 수치적으로 취급하는 이론으로, 경계가 애매한 집합을 퍼지 집합이라고 볼 수 있다. 패턴인식은 이러한 퍼지 집합론의 가장 적절하며 오래된 응용 분야로, 하나의 주어진 대상물을 그와 유사한 대상물의 부류로 분할하는 방법과, 자료의 집합을 유사한 클러스터로 분할하는 방법으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 클러스터로 분할하는 방법 중에서 퍼지 C-means 알고리즘으로 홈 가공시의 AE 파라미터 중에 신호의 주파수 특성과 RMS 값을 채택하여 특징을 추출한 다음, 가공이 안정적으로 진행되고 있는지의 여부를 판단하였다[4].

C-means 알고리즘은 데이터의 집합을 균질한 요소들로 단순히 분할하는 것뿐만 아니라 그 분할된 각 클러스터들을 잘 대표하는 원소를 찾기 원하는 경우 사용하는 알고리즘이다. 즉, U 라는 각 데이터를 각각의 클러스터로 분할하는 분할 행렬을 구하는 방법으로, 최적의 U 를 구하기 위해 식 (1)과 같은 제곱오차의 합을 목적함수로 취한다.

$$J(U, v) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (1)$$

여기서 x_k 는 측정 데이터를, v_i 는 클러스터의 중심을 의미한다. 결국 노름 값은 측정 데이터와 클러스터 중심과의 유사성을 나타내는 것이고, u_{ik} 는 i 번째 데이터가 k 번째 클러스터에 속하는 멤버십함수의 크기를 나타내는 것이다.

여기서 목적함수를 최소화 하는 u_{ik} 와 v_i 는 다음 조건식을 만족해야 한다.

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|x_k - v_j\|}{\|x_k - v_i\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}, \forall i, k \quad (2)$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^2 \cdot x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m}, \forall i \quad (3)$$

계급 오차 합을 최소로 하는 u_{ik} 는 다음 알고리즘에 의해 구해진다.

- 1) U 를 추측한다.
- 2) m 과 클러스터 수 c 를 설정한다.
- 3) 클러스터 중심 v_i 를 계산한다.
- 4) u_{ik} 를 계산하고, U 에서 U^* 로 갱신한다.
- 5) 적당한 역치 ϵ 를 정의하여, $\{u_{ik}^* - u_{ik}\} \leq \epsilon$ 이 될 때까지의 앞의 순서를 반복한다.

4.2 패턴 인식을 위한 특징 추출

일반적인 패턴 인식의 과정은 주어진 환경으로부터 데이터를 수집한 후, 인식을 위한 전처리 과정을 거친 후, 데이터의 특징을 잘 나타내는 특징을 선정하여 클러스터링을 한 후 패턴을 분류하는 과정을 거치게 된다. 본 연구에서는 다양한 가공 조건에서 검출된 AE신호를 신호 처리한 후 신호의 특징을 추출하여 퍼지 패턴 인식에 활용하였다. 최종적으로 가공 상태 평가는 Normal 한 상태와 Abnormal 한 상태로 구분하여 평가하였다.

흠 가공의 상태를 판별하기 위한 AE신호에서 추출된 특징은 다음과 같다.

- n_1 : 신호의 RMS
- n_2 : 80~100kHz 주파수 대역 신호의 RMS
- n_3 : 100~120kHz 주파수 대역 신호의 RMS
(중략)
- n_{12} : 280~300kHz 주파수 대역 신호의 RMS
- n_{13} : 80~100kHz 주파수 대역 신호의 최대진폭
- n_{14} : 100~120kHz 주파수 대역 신호의 최대진폭
(중략)
- n_{23} : 280~300kHz 주파수 대역 신호의 최대진폭

세분화된 특징 중 가공 상태를 잘 나타내는 일곱 개의 구간을 특징 추출을 위해 선정하였다.

- n_1 : 신호의 RMS
- n_3 : 100~120kHz 주파수 대역 신호의 RMS
- n_7 : 180~200kHz 주파수 대역 신호의 RMS
- n_8 : 200~220kHz 주파수 대역 신호의 RMS

- n_{14} : 100~120kHz 주파수 대역 신호의 최대진폭
- n_{18} : 180~200kHz 주파수 대역 신호의 최대진폭
- n_{19} : 200~220kHz 주파수 대역 신호의 최대진폭

위에서 열거한 $n_1, n_3, n_7, n_8, n_{14}, n_{18}, n_{19}$ 를 $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7$ 로 다시 정의하고, 특징 집합으로부터 클러스터 센터를 식(2)와 식(3)을 이용하여 계산하였다.

4.3 가공 상태 판별

퍼지 C-means 알고리즘에서 c 값은 필요에 따라 물리적 메커니즘을 가장 잘 반영할 수 있도록 정하여야 하므로, 본 연구에서는 정상적인 흠 가공이 진행되고 있는 경우와, 그렇지 않은 경우의 두 가지로 분류하였다. 정상적인 가공 상태를 A, 비정상적인 가공 상태를 B라고 정의하고, 총 171개의 데이터들을 서로 다른 가공조건하에서 선택하였으며, 계산된 클러스터 센터는 Table. 1과 같다. Table. 1과 같이 가공 상태의 판별을 위한 데이터들의 클러스터 센터를 계산하고, 정상적인 가공 상태를 나타내는 클러스터 A에 속하는 정도를 가공조건에 따라 각각의 데이터에 대하여 살펴보면, CBN 블레이드로 STD11에 미세 흠 가공시 적합한 가공조건을 찾을 수 있다.

Table. 1 Cluster centers of AE features

구 분	클러스터 A의 센터	클러스터 B의 센터
q_1	0.2541	0.5014
q_2	4.356E04	4.541E04
q_3	1.404E04	2.088E04
q_4	8.194E05	9.423E05
q_5	0.0037	0.0036
q_6	0.0012	0.0018
q_7	6.243E04	6.290E04

Fig. 8은 가공조건에 따른 각 데이터들의 정상가공에 속하는 정도를 나타낸 것이다. 그래프를 살펴보면 30,000~35,000rpm의 주축 회전속도와 0.5~0.6 mm/sec의 이송 속도와 200 μ m 이하의 조건에서 선정된 데이터들은 정상가공 클러스터에 속하고 있고, 그 외의 데이터들은 정상가공 클러스터에 속하는 정도가 낮게 나타나고 있다. 따라서 퍼지 이론을 이용한 패턴 인식방법으로 AE신호의 RMS와 주파수특성을 이용한 가공 상태 모니터링의 가능성을 알 수 있었다.

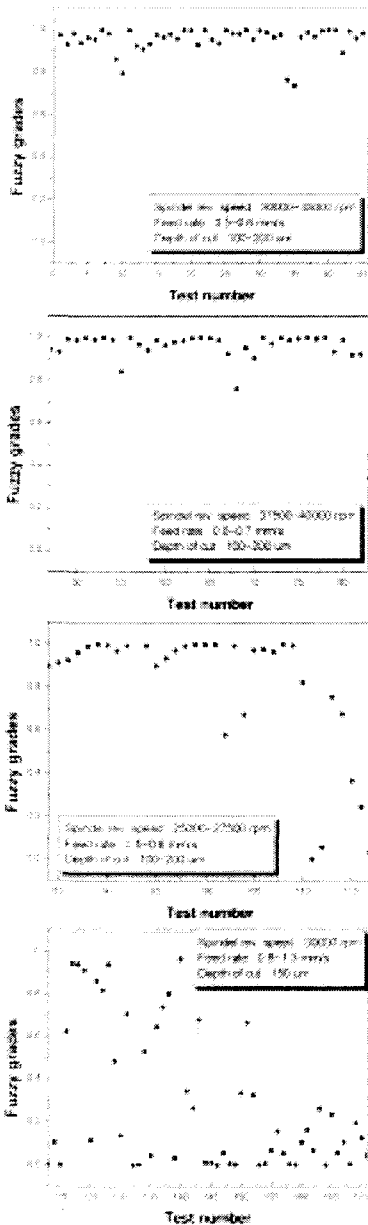


Fig. 8 Grades of membership for each machining condition

5. 결론

본 연구에서 개발된 Micro-grooving Machine의 가공 특성 평가 실험 결과, CBN 블레이드를 사용하여 30,000~35,000rpm의 주축 회전 속도에서 200 μ m 이하의 절입값과 0.6mm/sec의 이송 속도가 최적의 가공 조건임을 현미경 관찰을 통한 버의 발생을 비교함으로써 알 수 있었다. 그리고 AE 신호의 RMS를 이용한 신호의 분석으로부터 AE는 홈가공시 가공 조건

변화에 따라 일반적인 절삭가공의 메커니즘을 잘 반영하며, AE 주파수 영역의 신호는 안정된 가공 상태에서는 가공 조건에 관계없이 균일한 주파수 민감도를 나타내지만, 공작물에 버가 발생했을 때에는 불규칙한 주파수 특성을 나타낸다. 따라서 이러한 특성들을 이용하여 퍼지 이론을 이용한 패턴 인식방법으로 AE신호의 RMS와 주파수특성을 이용한 가공 상태 모니터링의 가능성을 실험을 통하여 확인하였다.

후기

"이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-041-D00045)."

참고문헌

1. In-Ho Cho, Sang-Cheol Jeong, Jun-Min Park, Hae-Do Jeong, "The application of micro-groove machining for the mold of PDP barrier ribs", Journal of Materials Processing Technology, 113, pp. 355-359, 2001.
2. H.K. Tonshoff, M. Jung, S. Mannel, W.Rietz "Using acoustic emission signals for monitoring of production processes", Ultrasonics, 37, pp. 681-686, 2000.
3. S. Malkin, "Grinding Mechanisms", Grinding Technology, pp. 107-142, 1988.
4. Li Xiaoli, Yuan Zhejun, "Tool wear monitoring with wavelet packet transform-fuzz clustering method", WEAR, pp. 145-154, 1998.