

## 원형 다이아몬드톱의 저소음 샹크

윤승원(한국생산기술연구원),  
지원호\*(신한다이아몬드공업㈜), 우종혁(신한다이아몬드공업㈜)

### Circular Diamond Saw with Low Noise Shank

S. W. Youn (Digital Manufacturing System Center, KITECH),  
W. H. Jee\*(Shinhan Diamond Co., Ltd.), J. H. Woo (Shinhan Diamond Co., Ltd.)

#### ABSTRACT

An experimental and numerical approach has been carried out for to see the noise characteristics of a circular diamond saw. The noise level measurement result for the several kinds of shanks shows us that the noise level reduction in high frequency range could be an effective way to control the noise problem. Sandwich type shank whose center part is laminated with a low Young's modulus material greatly reduces the noise level. The noise level for the shank where several curve shaped slits are provided in the circumferential direction is reduced considerably too.

The response spectrum analysis by the FEM shows us to be an alternative for predicting the noise characteristics of the shank.

**Key Words** : Diamond saw(다이아몬드톱), Low noise shank(저소음 샹크), Sandwich shank(샌드위치 샹크)

#### 1. 서론

석재와 시멘트 및 반도체 웨이퍼 등과 같은 난삭재를 가공하기 위해서는 강도와 경도가 높은 절삭재료가 요구된다. 다이아몬드는 고경도, 저마찰, 고열전도성 및 대부분의 재료에 비접착성인 우수한 절삭재료로서 난삭재 가공용으로 사용이 증대되고 있다. 원형 다이아몬드톱은 여러 가지 금속분말을 혼합한 금속알갱이와 지립 형상의 인공 다이아몬드를 일정 비율로 혼합하여 소결 성형한 절삭 립을 원형 샹크의 외주에 레이저로 용접하여 만든다.

모터의 구동력으로 원형 다이아몬드톱이 고속으로 회전하면, 금속재의 샹크 끝단에 용접된 수십 개의 다이아몬드 절삭 립이 피삭재와 연속적으로 충돌하는 형태로 접촉되면서 절단 작업이 이루어진다. 이러한 지속적인 충격력을 받게 되는 원형 다이아몬드톱은 1,000Hz 이상의 고주파 소음을 발생시킨다. 일반적으로 30 ~ 5,000 Hz에서 90 ~ 110dB 이상의 고주파성 소음이 발생되며, 10 ~ 40 마력의 동력 범위에서 2kHz 이상의 높은 주파수 소음이 발

생된다. 작업자가 높은 소음에 지속적으로 노출될 경우에는 일차적으로 청취 방해 및 작업 능률의 저하가 오며, 이차적으로 정서 불안 및 신체적인 질환이 유발되기도 한다.

소음의 일반적인 특성은 주파수가 낮을수록 시끄럽지 않고, 진동면이 작을수록 음이 낮다. 판에 구멍을 뚫어 놓거나 체진재를 부착하면 소음의 크기가 약화된다.

본 연구는 원형 다이아몬드톱에서 발생하는 고주파성 소음을 낮추는 저소음 샹크 개발에 관한 것이다. 소음을 낮추는 방법에 있어서, 사용상의 특성으로 원형 다이아몬드톱을 일정 크기 이하로 작게 만든다거나 원형톱 측면에 체진재를 부착하는 등의 방법은 적용에 제한이 있다. 반면, 탄성계수가 낮은 철금속재 및 비철금속재의 얇은 판을 복합재료 형상으로 적층하여 샌드위치 샹크를 만들거나, 원형 샹크에 여러 형상의 슬릿을 배열하여 소음을 낮추는 방법이 현실적이다. 원형 샹크에 여러 형상의 슬릿을 배열하는 방법은 샹크의 강성을 낮추면서 립에서 전달되는 충격력을 차단하여 진동 및 소음

을 감소시키는 효과가 있는 구조이다.

본 연구를 통하여 샌드위치형 생크 및 여러 개의 곡선형 슬릿이 배열된 생크 등을 대상으로 측정된 고유진동수 및 소음 레벨을 일반형 생크를 대상으로 측정된 값들과 비교 분석하였다. 또한, 소음 측정에 사용된 원형 다이아몬드톱을 대상으로 유한요소법으로 응답 스펙트럼을 해석하여 측정 소음값과 비교 분석하는 방법으로, 향후 예상할 수 있는 여러 가지 형상의 슬릿에 대한 소음 특성을 해석적으로 예측하려는 시도를 하였다.

## 2. 시험용 생크의 종류

소음 측정 및 유한요소법에 의한 진동해석용 다이아몬드톱의 외형 치수와 다이아몬드 톱의 사양은 서로 같다. 소음 측정에 사용된 다이아몬드톱의 톱은 금속가루들과 지립형 다이아몬드를 혼합하여 성형한 것이다. 조성 비율은 Co 95%, Ni 5%이며, 경도는 HRB 98±4 이다. 톱의 외형치수는 길이 40mm, 폭 6.0mm, 두께 2.8mm로 원호 형상이며 외주에 23개가 부착되어 있다. 생크의 외경은 343.6mm (14-inch), 두께는 2.0mm, 내경은 25.4mm (1-inch)이며, U슬롯의 폭은 2.2mm 이다.

### 2.1 일반형 생크

Fig. 1의 일반형 생크는 흔히 사용되는 평범한 원형 다이아몬드톱이다 (시험편 번호 Test#1).

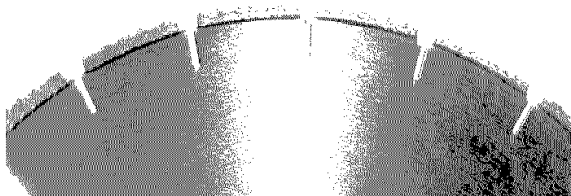


Fig. 1 Photo for circular diamond saw with normal shank

### 2.2 샌드위치 생크

샌드위치 생크는 3개 층의 박판으로 구성되어 있다. 중간층에 방진역할을 하는 구리판이 스폿 용접되어 있는 구조이다. 생크의 양쪽 바깥층은 각각 재질이 SCM435, 두께가 0.85mm이며, 중간층은 재질이 Cu, 두께가 0.3mm 이다 (시험편 번호 Test#2).

### 2.3 슬릿이 있는 생크

슬릿이 있는 생크는 Fig. 2에 보인 것과 같이 동일한 형상의 곡선형 슬릿 5개가 생크의 원주상에 등각으로 배열되어 있다. 슬릿 내에는 우레탄과 구리가 무게 비율로 같은 양이 충전되어 있다 (시험편 번호 Test#3).

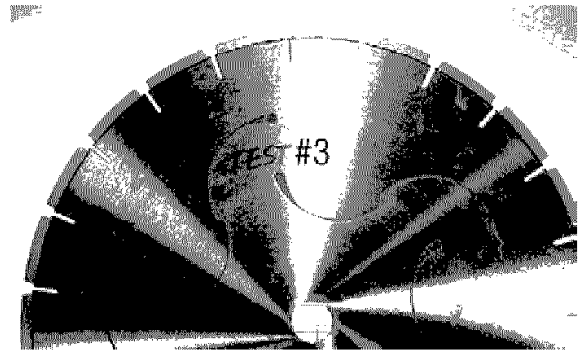


Fig. 2 Circular diamond saw with curved slits on the shank

## 3. 소음 측정

### 3.1 소음 측정 방법

소음 측정은 단면적의 크기가 300mm x 40mm인 양생 콘크리트를 다이아몬드톱으로 절단하면서 행하였다(Fig. 3). 절단기 동력은 3마력, 절단시 톱의 회전 속도는 3,600rpm이다.



Fig. 3 Photo for noise measurement arrangement

소음 측정용 마이크는 다이아몬드톱이 설치된 축의 중심과 같은 높이로 1m 떨어진 위치에 삼각대 위에 고정 설치되었다. 각 시험편 별로 1회에 10초씩, 총 10회 건식 절단하고, 이를 측정하여 평균값을 구하였다. 사용된 측정기는 일본 RION사의 NA-27이다.



Fig. 4 Photo for concrete cutting by the circular diamond saw

### 3.2 소음 측정 결과

측정된 소음 레벨을 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Measured noise level (단위 dB)

구분	LAeq	dB차이	16Hz	31.5Hz	63Hz	125Hz
주변	69.0	-	2.0	36.6	51.8	55.7
공회전	87.2	-	2.0	37.7	51.9	56.0
Test#1	104.8	-	2.0	35.3	51.7	62.5
Test#2	95.7	-9.1	2.0	36.7	52.4	63.5
Test#3	97.8	-7.0	2.0	34.6	52.0	60.4
구분	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
주변	62.3	64.0	61.5	60.0	57.9	51.9
공회전	62.1	64.4	66.9	81.4	85.4	73.8
Test#1	77.1	89.6	89.9	96.1	102.3	97.8
Test#2	75.8	79.0	86.3	89.9	91.3	88.3
Test#3	74.6	84.9	90.4	89.7	93.1	91.0

Table 1에서, 250Hz 이하의 낮은 주파수 대역에서는 dB 감소가 작으나, 500Hz ~ 8kHz의 높은 주파수 대역에서의 dB 감소가 큰 것을 볼 수가 있다. 전체적으로 볼 때, 높은 주파수 영역의 소음 수준이 낮아짐에 따라 소음 감소 효과가 크게 나타났다. 녹음된 음향 파일 소리를 들어 보면 소음 감소 효과가 높게 나타날수록 낮은 소리가 나며, 높은 주파수 대역의 dB가 낮아지는 만큼 체감 소음 또한 낮아지는 것을 알 수가 있었다.

측정 결과로부터 중간층을 구리로 만든 샌드위치형 생크(Test#2)의 경우 일반 생크(Test#1)에 비해 9.1dB의 소음 감소 효과가 있으며, 곡선형 슬릿이 배열된 생크(Test#3)의 경우에는 7.0dB만큼 소음이 감소하였다. 샌드위치형 생크는 소음 감소 효과가 좋으나 일반 생크에 비해 가격이 2~3배 비싼 관계로 경제적인 측면에서 사용에 제한이 있다. 슬릿이 배열된 생크의 경우에는 생산시 추가적인 비용이 크지 않아 가격 경쟁력도 있다.

### 4. 유한요소법에 의한 응답 스펙트럼 해석

여러가지 형상의 슬릿에 대하여 매년 시험편을 제작하고 측정장비를 사용하여 소음 레벨을 측정하는 것은 비경제적이며 비효율적인 일이다. 향후 예상할 수 있는 여러 가지 형상의 슬릿이 있는 생크에 대한 소음 특성을 해석적 방법으로 예측하기 위하여, 앞의 3장에서 실시한 소음 측정시 사용된 것과 똑 같은 조건의 다이아몬드톱 각각에 대하여 유

한요소법에 의한 고유주파수 및 진동모우드 해석과 응답 스펙트럼 해석을 실시하여 소음 측정 결과와 비교 분석하여 서로의 상관성을 살펴보았다.

#### 4.1 진동 및 응답 스펙트럼 해석 모델

원형 다이아몬드톱의 진동해석 및 응답 스펙트럼 해석을 위한 유한요소 해석용 모델은 미국 SolidWorks사의 SolidWorks 프로그램으로 모델링하였으며, 유한요소 해석 프로그램은 미국 Algor사의 Algor 프로그램 중 Natural Frequency(Modal) 및 Response Spectrum 모듈을 사용하였다.

해석에 사용된 재료의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Material properties for the FEA of diamond saw

구분	arbor	shank	dia. tip	slit
$\rho$ ( $N \cdot s^2/m^4$ ) ( $\times 10^8$ )	0.78548	0.77994	0.73953	0.5
E ( $N/mm^2$ ) ( $\times 10^4$ )	19.995	19.995	10.1490	7.0
$\nu$	0.29	0.3	0.253	0.35
G ( $N/mm^2$ ) ( $\times 10^3$ )	77.221	77.221	40.679	27.0

#### 4.2 진동 및 응답 스펙트럼 해석 결과

아버(arbor) 중심의 구멍 내면을 완전히 고정시키고 고유진동수와 진동모우드를 해석하였다. Fig. 5는 Test#3의 해석 모델에 있어서 고유진동수 4,000Hz에서의 진동모우드이다.

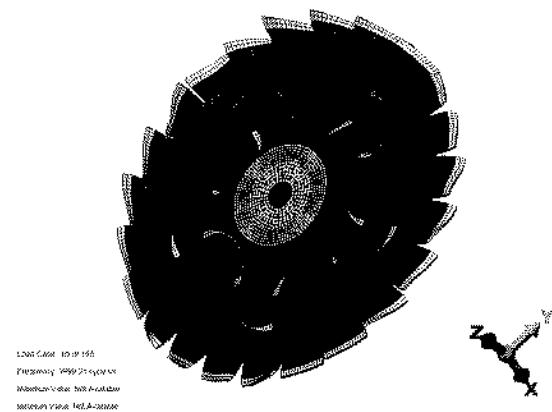


Fig. 5 Mode shape for Test#3(4,000Hz)

응답 스펙트럼 해석은 생크면과 평행한 방향(Fig. 5에서 Y방향)으로 1,380Hz (3,600rpm x 23개의 팁)의 주기로 변위를 부과하고, 고유진동수 결과를 재시동(restart)하는 방법으로 실시하였다.

각각의 생크에 대한 응답 스펙트럼 해석 결과는 각 고유주파수마다 생크면에 수직인 방향 (Fig. 5에

서 Z 방향)으로의 변위를 정리하여 그래프로 나타내었다 (Fig. 6~Fig. 8).

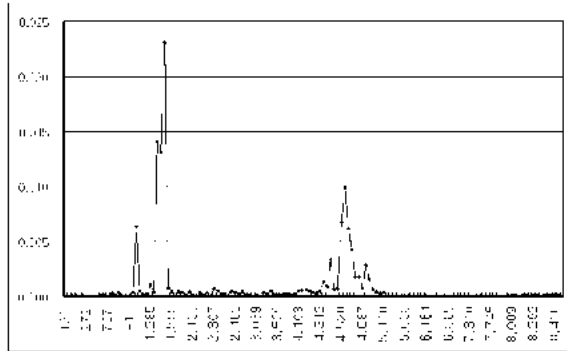


Fig. 6 Response spectrum by the FEM for Test#1

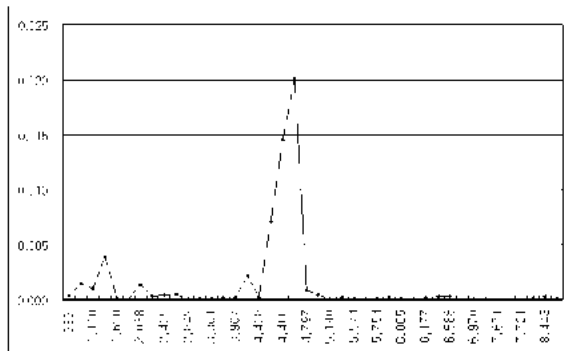


Fig. 7 Response spectrum by the FEM for Test#2

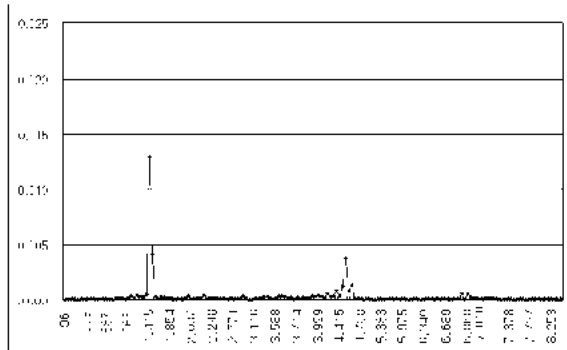


Fig. 8 Response spectrum by the FEM for Test#3

Test#1 의 경우에는 1,467Hz 와 4,520Hz, Test#2 의 경우에는 4,492Hz, Test#3 의 경우에는 1,414Hz 와 4,456Hz 의 고유진동수에서 높은 변위가 산출(?)되었다. 변위 크기를 비교해 보면, 1,400Hz 부근에서는 Test#1 에 비해 Test#3 의 크기가 56%, 4,500Hz 부근에서는 Test#1 에 비해 Test#3 의 크기가 38% 수준으로 각각 감소한 것을 볼 수가 있다. Test#2 의 경우에는 낮은 고유주파수인 1,546Hz 에서의 피크 값이 거의 없어졌으며, 4,500Hz 부근에서의 피크 값

이 Test#1 에 비해 약 2 배 크게 나타났다.

앞의 3 장에서 측정된 소음 레벨의 변화와 비교하여 볼 때, Test#1 에 비하여 Test#2 는 저주파수 대역에서의 진폭이 거의 사라진 이유로, 또한 Test#3 의 경우에는 Test#1 과 같은 고유진동수에서의 진동 진폭이 반 이하로 감소되어 소음 레벨이 낮아진 상관성이 보인다.

#### 4. 결론

원형 다이아몬드톱에서 발생하는 고주파성 소음을 낮추는 저소음 생크 개발을 위한 실험적 및 해석적 시도가 이루어졌다. 일반형 생크와 샌드위치형 생크 및 여러 개의 곡선형 슬릿이 원주상에 배열된 생크 등에 대한 소음 측정 결과와 유한요소법에 의한 응답 스펙트럼 해석 결과를 비교한 결과, 측정된 소음 수준과 응답 스펙트럼 변위 해석 결과에 서로 상관성이 있음을 알 수 있었다.

곡선형 슬릿을 원주 방향으로 배열하여 소음을 낮추는 구조의 생크가 소음 감소에 큰 효과가 있었으며, 생산에 있어서도 추가적인 비용이 크지 않아 경제성이 크다.

향후 여러 가지 모양의 슬릿이 있는 저소음 생크 개발에 있어서, 유한요소 해석을 통한 생크의 소음 수준 예측 접근 방법은, 실험에 의한 측정 대신에, 효율적인 접근 방법으로 활용이 기대된다.

#### 참고문헌

1. German. R. M., "Sintering Theory and Practice", John Wiley & Sons, Inc., 1996.
2. 소음연구회편, "현장소음대책", 도서출판 효성, 2002.
3. 이규성의 7 인 공저, "소음진동공학", 형설출판사, 1999.
4. James, M. L., Smith, G. M., Wolford, J. C., Whaley, P. W., "Vibration of Mechanical and Structural Systems", 1989.
5. Goldman, S., "Vibration Spectrum Analysis", Goldman Machinery Dynamics Corporation, 2<sup>nd</sup> ed., Industrial Press Inc., 1999.