

# 에폭시-그라나이트재를 이용한 연삭기 베드의 설계 및 동특성 해석

이 상 곤\*, 박 영 일\*\*, 맹 희 영\*\*, 정 성 균\*\*\*

## The Design and Dynamic Characteristics Analysis of the Grinder Bed using Epoxy-Granite

Sang Gon Lee\*, Yeong Il Park\*\*, Hee Young Maeng\*\*, Seong Kyun Cheong\*\*\*

### Abstract

In this study, the grinding machine bed was designed and analyzed by using epoxy-granite. Finite element technique was employed to design and analyze the composite bed structure. Von Mises stress and relative displacements between a tool and a workpiece were checked to compare a cast iron bed structure with a composite bed structure. Dynamic features of structures were also studied according to the process of modal analysis through natural frequency and mode shape measurement. Another improved model was also designed using the accumulation of knowledge based on the use of the structural analysis and experiments. Comparing with the cast iron bed structure, the composite bed structure maintains better functions.

### 1. 서론

정밀도를 요하는 공작기계의 구조물은 외력에 견딜 수 있도록 정적 및 동적 특성을 고려한 고강성의 구조물로 설계, 제작되어 시간과 온도 변화에 따라 형상 및 치수 정밀도가 안정되며 기계 작업 중 발생하는 내부 및 외부 진동의 흡수성과 감쇠성이 뛰어나야 가공기계의 정밀도를 충분히 발휘할 수 있게 된다. 특히 고속기계에서는 정하

중, 열에 따른 정적 안정성을 만족시키더라도 고속 작동시에는 진동 등의 동적 문제가 발생되어 기계의 가공정밀도와 성능에 영향을 미치게 된다. 높은 정밀도를 요구하는 공작기계의 발전추세에 비추어 볼 때 전래적인 구조재료로 주로 사용되고 있는 주물재료나 용접구조물은 정밀공작기계가 갖추어야 할 외부 진동의 흡수성, 감쇠성, 치수 안정성 등에서는 바람직하지 못한 특성을 가지고 있어 이러한 문제점을 극복하기 위하여 알루미늄, 세라믹,

\* 서울산업대학교 기계설계학과 대학원

\*\* 서울산업대학교 기계설계학과

\*\*\* 서울산업대학교 기계공학과

Zerodur, Invar와 같은 재료들이 연구 개발되고 있다. 또한 선진국들에서는 Polymer-Concrete와 수성시멘트를 연삭기 및 머시닝 센터(Machining center)베드에 적용 시키거나<sup>(1)(2)(3)</sup> Ceramics resin concrete를 이용한 공작 기계베드의 개발 및 연구<sup>(4)(5)</sup>가 활발히 진행되고 있지만 아직까지 실용화에는 문제점을 내포하고 있는 실정이다.

국내에서도 정밀가공기계의 국내 수요 조달 및 수출시장 개척을 위하여 구조재료로서 신소재인 에폭시-그라나이트의 국산화 개발과 그 적용에 대한 연구<sup>(6)(7)(8)</sup>가 진행되고 있다.

본 연구에서는 에폭시-그라나이트재를 기존의 주물재료로 제작된 연삭기의 베드에 대체 재료로서 적용하여 복합재료와 주철재의 베드 구조물의 구조해석을 수행하여 동적특성을 비교 하였고 제작된 베드구조물의 모달해석과정을 통하여 그 결과를 검증하였다. 베드 구조물의 정적특성은 주어진 하중조건에 대한 변위로 비교하였고 베드 구조물

의 동적특성은 모드해석 결과를 이용하였다. 또한 구조해석의 신뢰성과 실험을 통해 검증된 해석결과를 활용하여 개선된 모델을 설계하였다.

## 2. 연삭기 베드의 기본설계

Photo. 1과 같은 주철재 연삭기 베드를 등가의 에폭시-그라나이트재 연삭기 베드로 설계하기 위하여 먼저 강성을 기준으로 설계 변경 하였으며 베드의 외형치수는 기존 주철재 연삭기의 결합부품과의 조립을 위하여 기존 주철재 베드와 외형 치수를 같게 하였다. 외벽 두께는 새들, 테이블, 마그네틱의 무게가 상판에 굽힘력으로 작용하는 것을 피하기 위해 굽힘력이 압축력으로 바뀌도록 외벽의 두께를 변경 하였다. 에폭시-그라나이트재를 사용하는 경우 제작의 특성상 단순화한 형상의 설계를 필요로 하며 이를 위하여 바닥이 뚫린 형상으로 설계 하였고 장착될

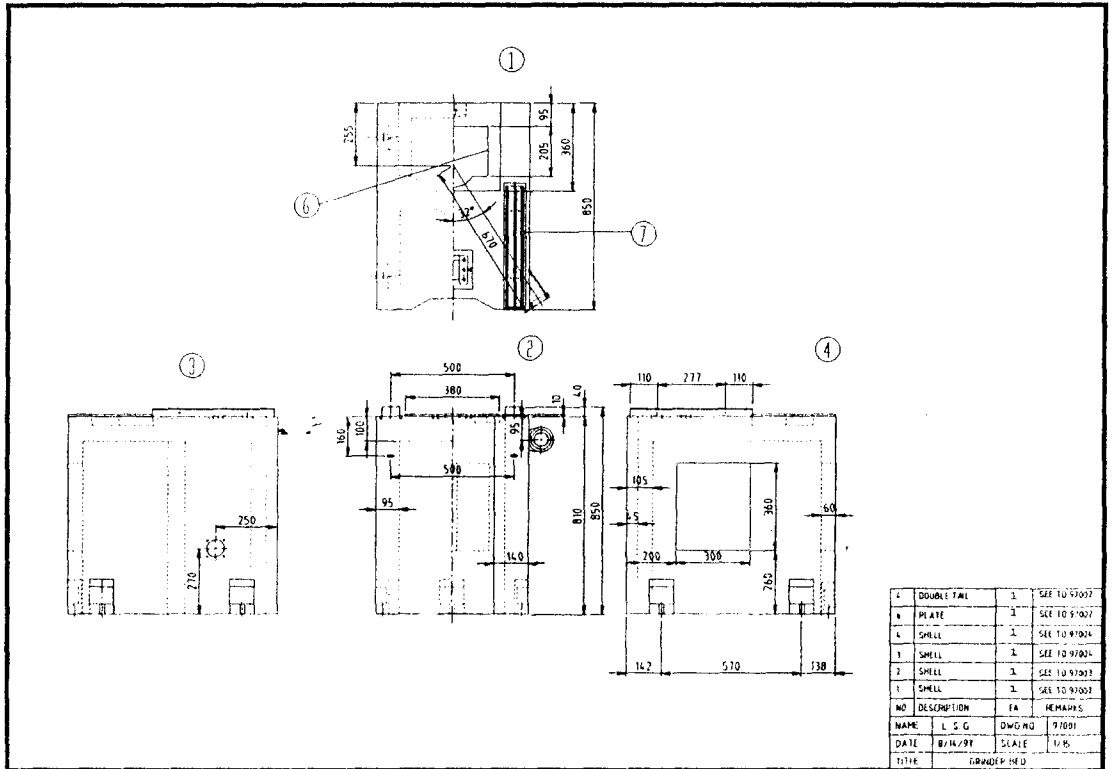


Fig.1 The Design Drawings of Epoxy-Granite Bed

칼럼, 하우징을 연결하기 위한 연결부는 조립정도의 유지와 강도를 고려하여 주철재로 제작하여 삽입하였다. Fig.1은 에폭시-그라나이트재 연삭기 베드의 기초 설계도면이다.

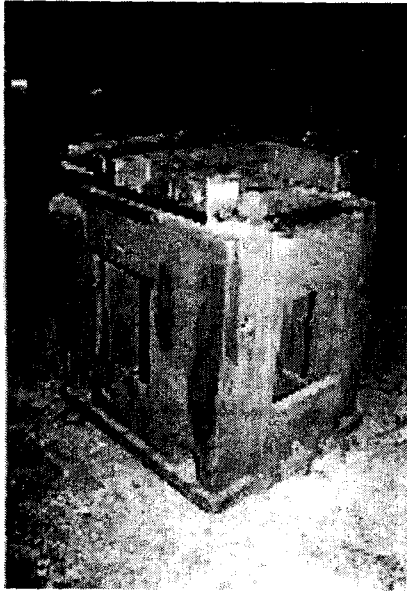


Photo.1 Structure of Cast Iron Bed

### 3. 유한요소 해석결과

Table.1 Comparison of Static and Modal Analysis Results

			Cast Iron	Epoxy-Granite
Static	Displacement	Max	0.0057mm	0.00282mm
		Min	0	0
	von Mises stress	Max	0.12 kgf/mm <sup>2</sup>	0.0243 kgf/mm <sup>2</sup>
		Min	0.00043 kgf/mm <sup>2</sup>	0.00159 kgf/mm <sup>2</sup>
Modal	Mode number 1	150 Hz	302.6104 Hz	
	Mode number 2	176 Hz	347.5680 Hz	
	Mode number 3	280 Hz	474.7393 Hz	
	Mode number 4	327 Hz	904.4988 Hz	
	Mode number 5	356 Hz	925.9732 Hz	
	Mode number 6	427 Hz	1008.695 Hz	

유한 요소해석을 위하여 Fig.2와 같은 모델링을 수행하였고, Table.1은 주철재 연삭기 베드와 에폭시-그라나

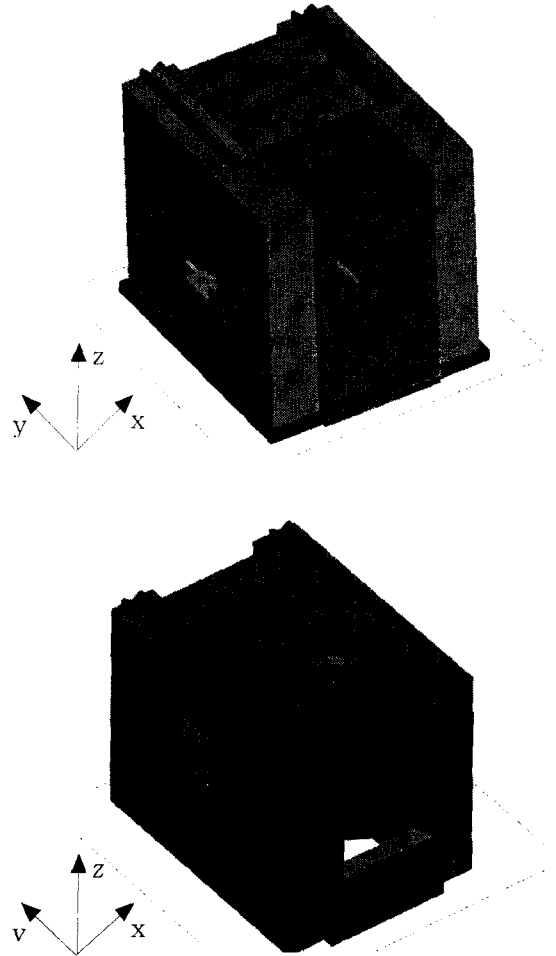


Fig.2 Modelling of The Cast Iron Bed and Epoxy-Granite Bed

이트재 연삭기 베드의 해석 결과를 비교한 것이다. 유한요소해석은 MECHANICA 7.0을 사용하였다. 정적 해석결과를 보면 최대 변위는 가이드 레일 상부에서 발생하였고 상판의 굽힘 형상이 발생하였으며, 이것은 상판 위의 가공물과 컬럼에 부착되어 있는 공구 사이에 상대 변위를 발생시키므로 상판의 굽힘이 미소한 에폭시-그라나이트 베드가 정적으로 안정한 것으로 평가된다. 최대응력(Von Mises Stress)도 우측 가이드 레일(guide rail) 상부

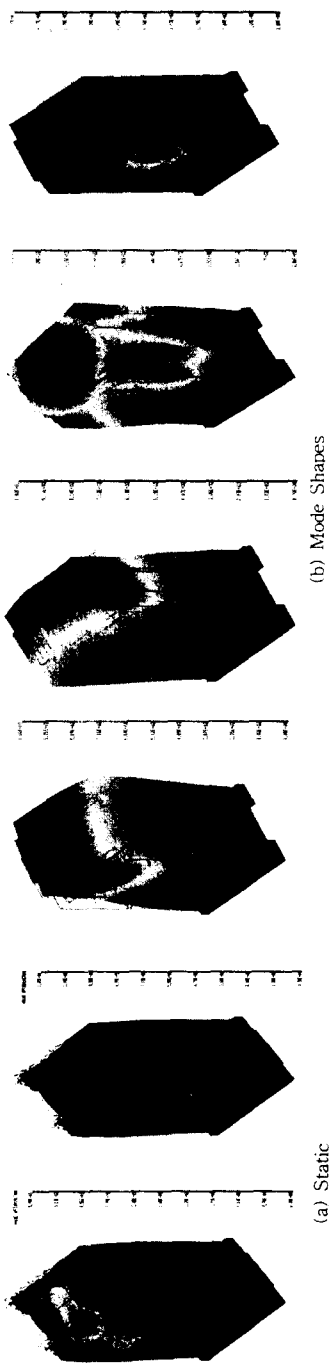


Fig. 3 Mode Shapes of the Cast Iron Bed

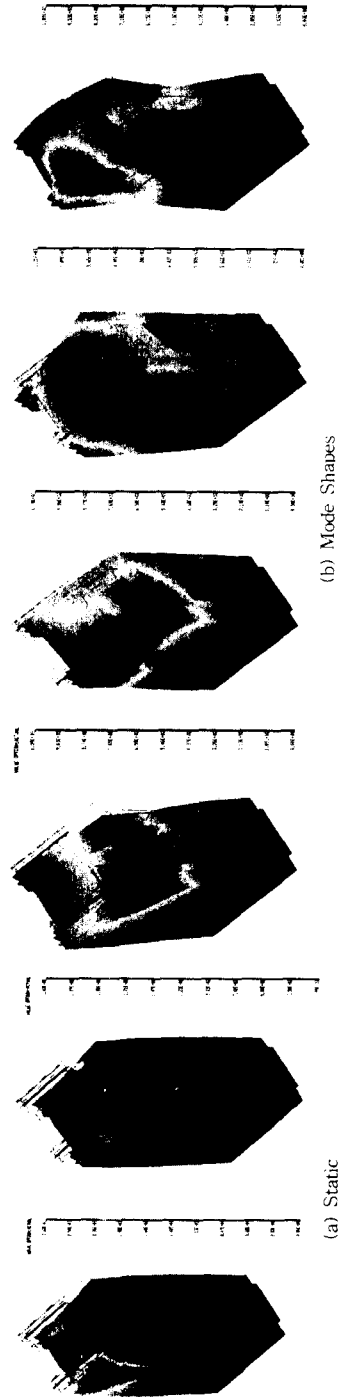


Fig. 4 Mode Shapes of the Epoxy-Granite Bed

에서 발생하였는데 에폭시-그라나이트재 베드가 기존 주철재 베드의 구조해석으로 부터 얻은 값보다 작은 값을 나타내어 주철재 베드 보다 향상된 정적 안정성을 나타내고 있다.

동적 해석결과에서는 전반적으로 에폭시-그라나이트재 베드는 연삭기에 부착될 모우터에서 발생되는 진동수인 60Hz 보다 높은 범위의 고유진동수를 나타내고 있어 안정된 구조물이라 평가할 수 있다. Fig.3과 Fig.4는 주철재와 에폭시-그라나이트재 베드의 진동형을 나타내는 것으로 주철재와 에폭시-그라나이트재는 1차, 2차, 3차 진동형이 모두 공작기계 구조물의 전형적인 진동형인 x축 굽힘모드, y축 굽힘모드, z축 비틀림 모드를 나타내었다. 4차 이후의 진동형은 차이를 나타냈으며 주철재는 외벽 중심부가 가장 많은 변위를 보이는 평판의 굽힘진동형이 발생하였는데 이것은 주철재의 외벽이 얇은 판의 형태로 되어 있으며 리브의 보강 부분이 상판의 굽힘응력에 대한 보강 위주로 설치되어 있기 때문에 발생한 것으로 평가된다. 에폭시-그라나이트재 베드의 4차 이상의 진동형들은 여러 진동이 혼합된 형태를 보이고 있다.

#### 4. 베드 구조물의 진동특성 실험

연삭기 베드 구조물의 수치해석 결과를 검증하기 위하여 기본 설계된 베드를 제작하고 기존 주철재로 사용되고 있는 연삭기 베드와 에폭시-그라나이트재로 대체된 연삭기 베드 구조물에 대하여 실험적 모우드 해석을 수행하였다.

##### 4.1 에폭시-그라나이트재 연삭기 베드의 제작

###### (1) 모듈드 및 인서트 제작

베드 구조물을 제작하기 위한 모듈드와 다른 부품들과의 결합을 용이하게 하는 인서트들을 제작하였다. 모듈드의 옆판은 가공과 형상 제작이 쉬운 20 mm 두께의 아크릴을 사용하여 만들었고 베드 상판과 인서트는 강재를 사용하여 제작하였다.

###### (2) 제품제작

제작된 분해된 모듈드 표면에 이형재를 살포하여 성형품과 모듈드가 쉽게 분리되도록 하였으며 인서트 부품들과 복합소재는 견고하게 접합되어야 하기 때문에 이들 표면에는 이형제가 묻지 않도록 하였으며 표면을 거칠게 가공하였다.

필러와 수지의 배합비는 10:1이 되도록 배합하여 모듈드에 붓고 기공이 없이 균일한 조직이 되도록 진동 다짐기로 콤팩션 작업을 실시하였다. 베드 상판의 인서트와 가이드 레일은 복합재료 주입전에 모듈드 밑판에 미리 결합시켰다.

###### (3) 큐어링 및 제품의 이형작업

본 연구에서 베드 구조물의 성형품은 안전하게 2일 정도의 큐어링 한 이후 이형시켰다. Photo. 2는 모듈드로부터 이형된 에폭시-그라나이트재 베드를 나타낸 것이다.



Photo.2 Epoxy-Granite Bed

##### 4.2 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 진동실험으로 많이 사용되어지는 충격가진에 의한 방법을 사용하였다. 전달함수를 측정하기 위하여 구조물을 가진하는 충격햄머(B&K type 8200), 충격에 의한 구조물의 응답을 측정하는 가속도계(B&K type 4381), 가속도계와 충격햄머로부터 출력된 압전신호를 증폭하는 전하증폭기(B&K type 2635)가 사용되었으며, 구조물의 전달함수를 구하여 모우드 해석을 위하여 2Ch FFT Analyser (DI-2200)가 사용되었다. Fig.5는 실험장치의 개념도 이다.

x축, y축 방향의 진동형을 분석하기 위하여 분석하기 위해 구조물의 외벽과 전면에 각각 20개, 15개의 타격점을 선정하였고 선정된 타격지점을 충격햄머로 순서대로 타격 하였으며 각각 측정된 신호를 FFT분석기로 분석하여 주파수 응답함수를 측정한뒤 이를 모드해석 프로그램

에 입력하여 진동형을 구하였다. 이때 각 타격위치에서는 3회의 타격과 측정을 반복하여 이를 평균한 데이터를 이용하였다. 모드해석은 Vibrant Technology, Inc 사의 모우드 전용 해석 프로그램인 ME'scope를 사용하였다.

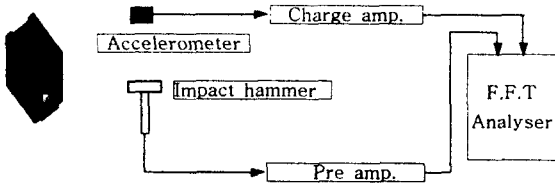


Fig.5 Schematic View of Instrument

4.3 실험 결과

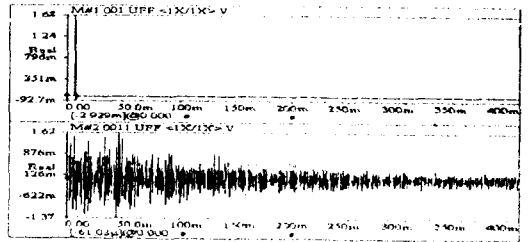
Fig.6은 전달함수 측정을 위하여 실시된 실험결과 중 시간축에서 나타난 충격해머의 입력신호와 가속도계의 응답신호를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 같은 크기의 입력에 대하여 에폭시-그라나이트재 컬럼은 주철재 컬럼에 비하여 작은 크기의 가속도 응답을 보이고 있으며 보다 빨리 감쇠되는 현상을 볼 수 있다. 즉 주철재에 비하여 에폭시-그라나이트재 베드가 외력에 대한 응답의 크기가 작아 동적인 안정성을 가지고 있음을 알 수 있다.

주철재의 경우 미리 실시한 베드 구조물의 진동형에 대한 수치해석의 결과와 거의 일치하였으며 Fig.7에서 볼수 있듯이 평판 진동형에 해당하는 진동수와 진동형이 다수 발견되고 있다. 이는 주철재 베드의 외벽이 15mm 두께의 얇은 외벽으로 되어 있어 발생하는 것으로 판단되며 기타 부분진동형은 변형에 의한 진동이 연성되어 베드의 여러 진동형과 중첩된 결과로 판단된다. x축 방향 진동형의 경우에는 4개의 진동형이 평판 진동형을 나타내고 있고 y축 방향의 경우 2개를 나타내고 있으므로 y축 보다는 x축방향 강도가 취약함을 반영한 결과로 생각된다.

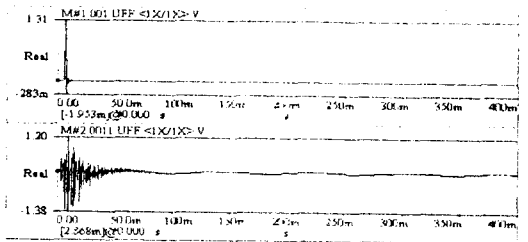
에폭시-그라나이트재 베드의 경우 1차 굽힘 진동형에서는 주철재보다 고유 진동수가 매우 큰 값을 나타내고 있다. 이 결과는 주철재 베드의 무게가 약 460kgf 이고 에폭시-그라나이트재 베드의 무게가 약 620kgf 으로 주철재보다 에폭시-그라나이트재 베드의 중량이 더 크고 중량의 증가에 의한 관성력 보다 큰 값을 가지고 있음에도 불구하고 보다 높은 영역의 고유진동수를 나타내므로 동적으로 더욱 안정되었다고 하겠다. 비틀림 진동형의 경우, 주철재는 502~510 Hz부근에서 발생하였으며 에폭시-그

라나이트재는 515~655 Hz 사이에서 발생하였다. 이것은 에폭시-그라나이트재 베드가 비틀림 강성에 대해서도 주철재 베드 보다 안전하다는 의미를 부여한다. 주철재에서 발생한 평판 진동형은 발생하지 않았는데 이는 에폭시-그라나이트재 베드의 외벽 굽힘 강성이 주철재 보다 높으며 구조물 전체가 더욱 안정적으로 설계가 되었다.

Table.2는 주철재 베드와 에폭시-그라나이트재 베드에서 측정된 고유진동수와 curve-fitting 법<sup>[11]</sup>을 이용해 구한 감쇠비인데 이 결과에서 볼 수 있듯이 에폭시-그라나이트재 베드가 주철재 베드보다 약 5배의 감쇠비를 지니고 있어 보다 안정된 동적 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.



(a) Cast Iron Bed



(b) Epoxy-Granite Bed

Fig.6 Comparison of Measured Vibration Signals

Table.2 Natural Frequencies and Damping Ratios of the Cast Iron Bed and Epoxy-Granite Bed

Mode number	Cast Iron			Epoxy - Granite		
	Mode shape	Natural frequency	Damping ratio (%)	Mode shape	Natural frequency	Damping ratio (%)
1	X.B.M	155 Hz	0.41	X.B.M	335 Hz	2.3
2	Y.B.M	185 Hz	0.43	Y.B.M	345 Hz	1.6
3	T.M	-	-	T.M	512 Hz	1.8
4	Plate.B.M	305 Hz	0.40	Com.B.M	655 Hz	2.8
5	Plate.B.M	335 Hz	0.59	Com.B.M	755 Hz	2.5
6	Plate.B.M	437 Hz	0.36	Com.B.M	945 Hz	2.7

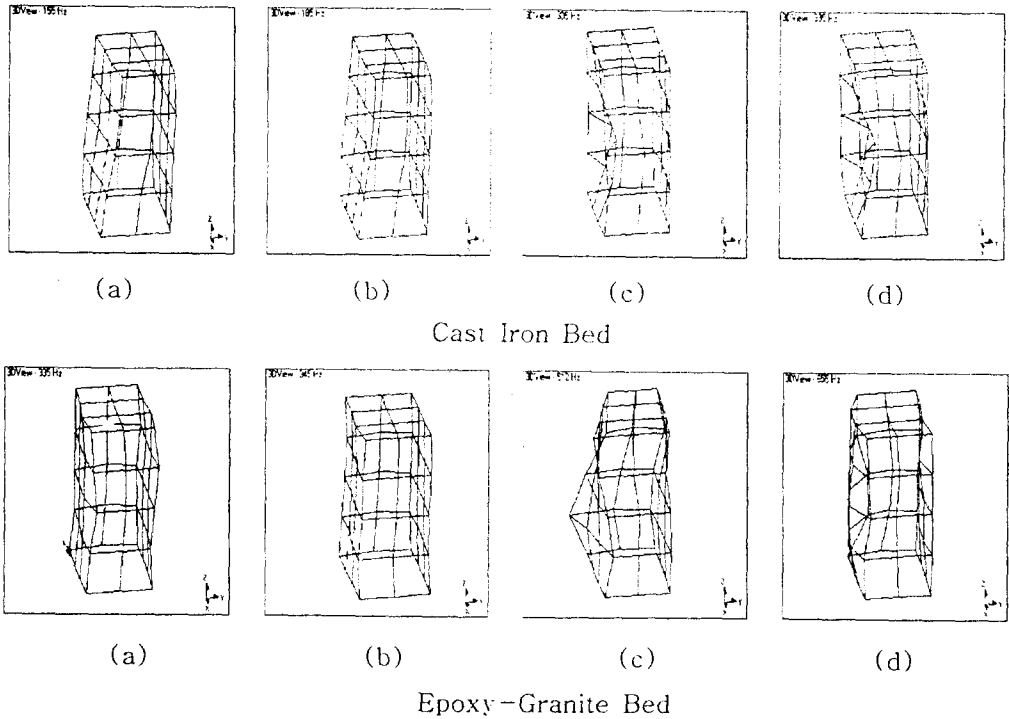


Fig.7 Comparison of Mode Shapes on X-axis

### 5. 개선 연삭기 베드 설계

구조해석의 결과로부터 기존의 주철재 연삭기 베드와 제작된 에폭시-그라나이트재 연삭기 베드의 경우 정적으로 과도 설계되어 중량 감축과 제작의 편의성을 고려하는 방향으로 개선 설계하였다.

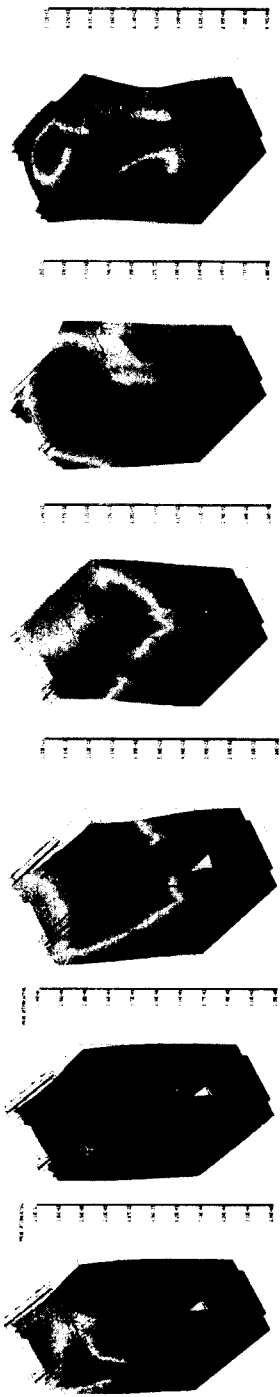
#### 5.1 개선 모델 1의 선정 및 구조해석

기존 주철재 베드의 V형 내부 지지 구조는 조립부품의 하중으로 인한 상판의 처짐을 감소시키기 위해 설치되어 있다. 상판의 변형은 공작물과 공구 사이에 상대변위를 발생시켜 실제 가공정밀도에 직접적인 영향을 미치게 된다. 에폭시-그라나이트재 베드의 제작시 V형 지지 구조물은 그 제작이 어려워 설계변경의 필요성을 가지고 있다. 따라서, 개선 모델 1의 경우 외벽의 두께는 기존 벽두께인 95mm로 하고 상판 중심부에 위치하고 있는 V형 지지 구조물을 제거하여 특성을 검토하였다.

정적 해석결과를 살펴보면 최대변위의 발생부분은 제작된 에폭시-그라나이트재 베드와 동일하게 우측 상단에서 발생하였으나 발생부분의 크기가 확산되어 있으며, 최대변위의 크기는 기 제작된 에폭시-그라나이트재 베드와 비교하여 조금 커졌으나 그 차이는 미소하였다. 최대응력의 발생부위 또한 제작된 에폭시-그라나이트재 베드와 동일하게 우측 가이드 레일 상단에서 국부적으로 발생되었으며, 그 크기도 근사한 값이 발생되었다.

동적 해석결과 기 제작된 에폭시-그라나이트재 베드 보다 개선 모델 1이 적은 범위의 고유진동수를 나타내었지만, 기존 주철재 베드보다는 여전히 높은 범위의 고유진동수 범위를 나타내고 있다. 1차, 2차 그리고 3차 진동형은 제작된 에폭시-그라나이트재 베드와 동일한 형태를 나타내었으며, 4차 이상의 모드에서는 그 형상이 거의 동일 하였다.

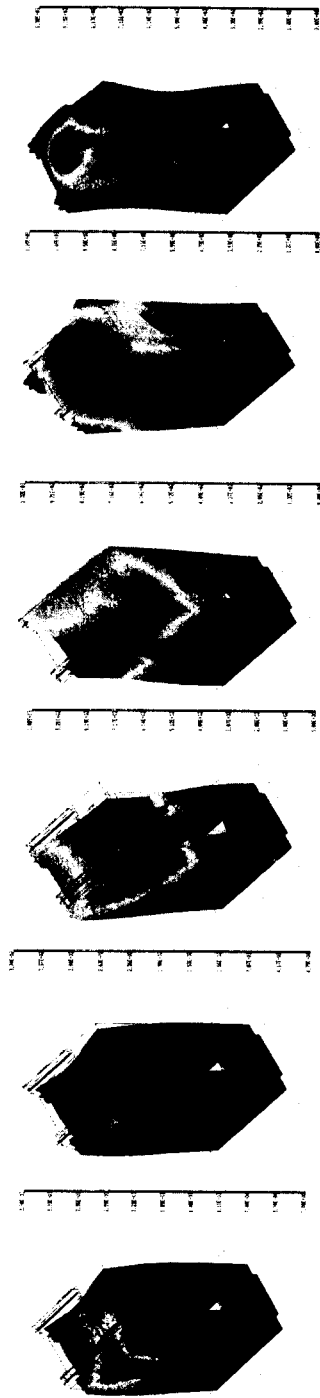
이상의 결과를 살펴 보면 에폭시-그라나이트재 베드는 V형 지지 구조물의 삭제가 구조물의 정적, 동적특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. Fig.8은 개선 모델 1의 동적 해석결과이다.



(b) Mode Shapes

(a) Static

Fig. 8 Mode Shapes of the Improved Model 1



(b) Mode Shapes

(a) Static

Fig. 9 Mode Shapes of the Improved Model 2



### 5.2 개선 모델 2의 선정 및 구조해석

개선 모델 2의 경우 먼저 실시된 개선 모델 1의 구조 해석 결과를 바탕으로 하여 외벽의 두께를 60mm로 축소시키고, V형 지지부를 삭제하여 140kg의 무게를 절감시켜 기존 주철재 베드의 중량에 근사화 시켰다. Fig.9는 개선모델 2의 동적 해석결과이다.

정적 해석결과를 살펴보면 최대변위의 발생부분은 개선 모델 1 과 동일하게 상판 우측 상단에서 발생하였으나 발생 부위의 크기는 개선모델 2가 보다 넓게 분포되어 있으며, 최대변위의 크기는 기존 모델보다는 다소 큰 값이지만 주철재에 비해서는 상당히 작은 값을 나타내었다. 최대응력의 발생부위 또한 동일하게 우측 가이드 레일 상단에서 국부적으로 발생되었으며 그 크기도 근사한 값이 발생되었다.

동적 해석결과 고유진동수의 경우 개선 모델 1보다 적은 범위의 고유진동수를 나타내었다. 1차, 2차 그리고, 3차 진동형은 개선 모델 1 과 2 모두 동일한 형태를 나타내었으며, 4차 이상의 모드에서는 그 형상이 일치 하지 않았다.

### 5.3 기존 모델과 개선 모델의 구조해석 결과 비교

Table.3은 기존 모델과 개선된 모델의 해석결과이다. 해석결과에서 정적인 경우 최대 변위는 에폭시-그라나이트재 베드의 개선 모델 2가 개선 모델 1 보다는 큰 결과를 나타내고 있다. 이것은 구조물의 외벽 두께가 축소함에 따라 구조물 외벽의 강성이 감소했기 때문이다. 하지만 외벽 두께와 중량의 감소에도 불구하고 주철재 베드 보다는 적은 양의 처짐을 나타내고 있다.

최대응력의 경우도 개선 모델 2가 주철재 베드보다 작으며 그 발생 부분도 주철재 인서트인 가이드 레일 상부에서 발생되어 정적인 안정성 면에서 주철재 베드 보다 향상될 수 있을 것으로 기대된다. 지지 구조물을 삭제한 개선 모델 1의 경우 최대 변위는 제작된 에폭시-그라나이트재와 비교하면 그 차이가 미소하고 최대응력의 경우도 같은 결과를 나타내고 있다. 따라서, 제작된 에폭시-그라나이트재 베드는 V형 지지 구조물의 삭제가 구조물의 정적 특성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가된다.

동적특성의 경우 정적 특성과 마찬가지로 2개의 개선 모델들은 제작된 에폭시-그라나이트재 베드 보다 작은 범위의 고유진동수를 보이고 있다. 이것은 지지부의 삭제와

벽 두께 축소에 의한 구조물 외벽의 강성의 감소 때문이다. 하지만 개선 모델들의 고유진동수 범위는 주철재 베드의 고유진동수 범위보다 높은 범위를 가지고 있고 이것은 실제 발생하는 가진진동수에 비해서도 높은 범위를 가지고 있으므로 주철재와 비교하여 동적으로 안정되었다고 할 수 있다. 개선 모델들의 1차, 2차, 3차 모드는 기존 모델들과 동일한 형상을 보였으며 4차 이상의 모드에서는 제작된 에폭시-그라나이트재 베드의 진동형과 거의 동일하였다.

Table.3 Analytic Results of Original Model and Improved Models

		Cast Iron	Epoxy Granite		
			Original Model	Improved Model 1	Improved Model 2
Weight (kgf)		460	620	560	479
Compression stress (kgf/cm <sup>2</sup> )		60.5	12.2		
Bending stress (kgf/cm <sup>2</sup> )		38	3.1		
Density		7.3	2.56		
Static	Displacement(mm) max	0.0057	0.00282	0.00312	0.0037
	von Mises stress (kgf/cm <sup>2</sup> ) max	0.12	0.0243	0.0285	0.0374
Modal	Mode number 1	150 Hz	302 Hz	245 Hz	236 Hz
	Mode number 2	175 Hz	347 Hz	337 Hz	297 Hz
	Mode number 3	280 Hz	474 Hz	472 Hz	456 Hz
	Mode number 4	327 Hz	904 Hz	777 Hz	707 Hz
	Mode number 5	356 Hz	925 Hz	854 Hz	842 Hz
	Mode number 6	427 Hz	1008 Hz	905 Hz	830 Hz

실제로 부품들이 조립되었을 경우 베드의 변형에 의한 컬럼과 새들의 변형으로 공작물과 공구 사이의 상대 변위가 발생하게 되는데 이에 대한 구조 해석을 수행해보았다. 주철재 베드의 경우 전체적인 상대 변위가 에폭시-그라나이트재 베드보다 크며, 특히 주철재 베드의 상판의 y방향의 굽힘강성이 취약하여 y축 방향의 상대 변위가 크게 나타난다. 이는 조립 후 컬럼의 진직도 설정 작업이 불가피하게 되며 가공 정밀도에도 영향을 미치게 된다. 제작된 에폭시-그라나이트재 베드의 경우 z축방향의 상대 변위가 크게 나타났으나 전체적으로 미소한 량의 상대 변위를 보이고 있어 주철재에 비교하여 안정되어 있다. 개선 모델들의 경우 주철재와 마찬가지로 y축 방향의 상대변위가 크

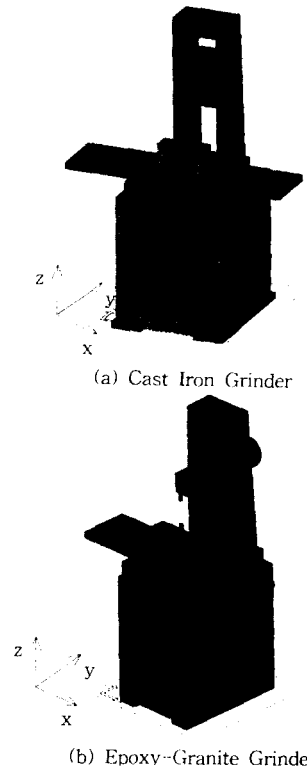


Fig. 10 Modelling of Grinder

게 나타난다. 이는 V형 지지 구조물의 삭제에 의한 상판의 y방향 굽힘강성의 감소에 의한 결과로 평가되었지만 주철재에 비교하면 상당히 적게 나타난다.

이상의 결과에서 개선 모델 2의 정적, 동적특성은 제작된 에폭시-그라나이트재 베드에 비교하여 향상된 향상이었으므로 제작의 편의성과 재료 절감의 경제성을 고려한다면 개선 모델 2는 보다 향상된 구조물이라 할 수 있다. Fig.10과 Fig.11은 부품들이 조립되었을 경우의 각 연삭기의 모델링과 그에 따른 결과이다.

Table.4 Comparison of Relative Displacements between Tool and Workpiece

(unit : mm)

	Axis	Cast Iron	Epoxy - Granite		
			Original Model 1	Improved Model 1	Improved Model 2
Relative Displacement between Tool and Workpiece	x	0.0214	0.000949	0.000798	0.000965
	y	0.9512	0.0003	0.00055	0.00067
	z	0.4229	0.0008	0.00035	0.00055

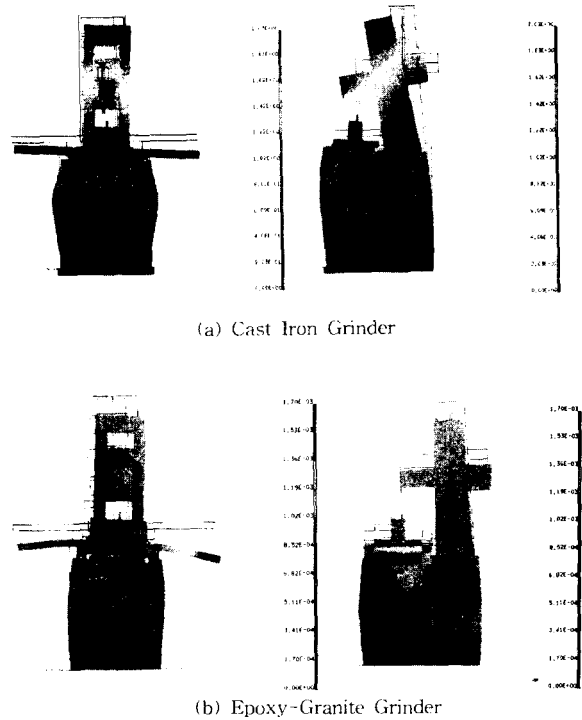


Fig. 11 Relative Displacement between Tool and Workpiece

## 6. 결론

본 연구에서는 기존 주물재를 사용한 연삭기 베드를 에폭시-그라나이트재로 대체하는 설계변경을 수행하였고, 구조해석을 통하여 설계변경에 따른 특성의 변화를 예측하였다. 에폭시-그라나이트재 베드를 제작하고 진동실험을 통하여 설계의 검증과 유한 요소 해석의 신뢰성을 마련한 후 개선 모델을 선정하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 에폭시-그라나이트재 베드와 주철재 베드의 구조해석을 통하여 고유진동수와 진동형을 파악하고, 등가의 압축강성을 갖도록 내부 형상과 치수를 설계하였으며 외측면에는 기존 연삭기의 결합 부품과 정확히 조립될 수 있도록 강재나 주철재를 삽입, 접합토록 설계하였다.
2. 연삭기 베드의 설계시 고려된 주철재와 에폭시-그라나

이트재의 FEM 구조해석 결과와 고유진동수, 진동 모드 등 구조 성능 실험결과의 신뢰성을 바탕으로 개선된 연삭기 베드의 모델을 설계할 수 있었다.

3. 실제 제작후 실험에 의한 검증과정에서 에폭시-그라나이트재를 이용한 구조물의 경우가 주철재에 비해 5배 이상의 감쇠비를 갖고 전체적으로 전달함수의 크기는 주철재 베드가 에폭시-그라나이트재 베드에 비하여 크고 부분 진동형이 많이 발생됨이 나타났다.
4. 상기의 결과로 부터 에폭시-그라나이트재 베드가 주철재 보다 우수한 정적 또는 동적 특성을 나타내고 있어 공작물의 가공정밀도 향상에 크게 기여할 것이라고 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. E. Salje, " Comparison of Machine Tool Elements Made of Polymer Concrete and Cast Iron" Annals of the CIRP Vol. 37, 1988
2. H. Sato and M. O-hori, "Development of Concrete Machining Center and Identification of the Dynamic and the Thermal Structural Behavior" , 1988
3. M.Rahman , " Evaluation of Advanced Cementitious composites for Machine - Tool Structures " , 1988
4. Ikuo Tanbe, Tetsuyuki Hongo, "Development of Ceramics Resin concrete for Precision Machine Tool Structures " , 1993
5. Ikuo Tanbe, "Development of Ceramics Resin concrete for Precision Machine Tool Structures (Young's Modulus and Compressive Strength of the Ceramic Resin Concrete)" , 1993
6. 박준호 , "복합재 기계 베드(Bed) 개발에 관한 연구" , 1987 (한국 과학기술원)
7. 원시대, 김종호, 박영일, 맹희영, "에폭시 - 그라나이트재를 이용한 공작기계 베드 모델의 구조특성에 관한 실험적 연구" ,한국 정밀 공학회지, 제11권 제1호, p89~96, 1994
8. 한국기계연구소 , "초정밀가공기 구조물의 설계기술 연구" ,1990