

이연구는 1989년도 과학기술처에서 시행한 특정연구 개발사업에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 표합니다.

초정밀 가공기계 베드 구조물용 에폭시-그라나이트제의  
특성에 관한 연구

김 중호\*, 원 시대\*, 맹 희영\*\*, 박 영일\*\*

Characteristics of Epoxy-Granite Composite Material  
For Ultra-Precision Machine Bed Structures

Jong-Ho Kim,\* Si-Tae Won,\* Hee-Young Maeng,\*\* Yeong-Il Park\*\*

Abstract

The machine tool structures for ultra-precision machining must be manufactured with materials which have high static and dynamic stiffness, high damping, a long term dimensional and thermal stability.

This study aims at the development of new composite material Epoxy-Granite which exhibits the satisfactory characteristics as a material of ultra-precision machine tool bed.

The Epoxy-Granite testpieces that use epoxy resins as a binder and granite particles as a aggregate have been manufactured so as to examine the material properties about mechanical, thermal and damping characteristics.

\* 서울산업대학 금형설계학과

\*\* 서울산업대학 기계설계학과

Experiments were carried out to obtain the proper manufacturing conditions of Epoxy-Granite specimens by varying the several testing conditions such as types of epoxy resins, particle sizes of granite and mixture ratio of epoxy resin and aggregate.

Also, when Epoxy-Granite was compared with cast iron, GRANITAN which was imported from CMS of U. K. and granite materials, it has exhibited the superior or almost the same mechanical and damping properties and thermal conductivity, except for the thermal expansion.

## 1. 서론

초정밀 가공기계의 구조물은 일반 공작기계의 특성과는 달리 시간과 온도 변화에 따라서 형상 및 치수 정밀도가 안정되어야 하고, 기계 작업중 발생하는 내부 및 외부진동의 흡수성과 감쇠성이 뛰어나야 하며, 또한 이들에 견딜 수 있도록 정적 및 동적 특성을 고려한 고강성의 구조물로 설계 제작 되어야만 그 기능을 발휘할 수 있다.<sup>1-2)</sup>

따라서 측정용 정반으로 사용되던 화강암 또는 대리석 등의 자연석이 초정밀 공작기계의 베드재료로써 사용되고 있으나<sup>3)</sup> 이들 자연석은 습기 또는 절삭유 등의 영향을 받아 장기적으로 형태가 변형되며, 그 질적 차이가 많고 공급 물량도 한정되어 있을 뿐 아니라 기계 구조물로써 응용될때 가공비가 많이 드는 단점이 있다.<sup>4)</sup>

따라서 초정밀가공기계 구조용 신소재의 개발에 주요 관심을 두게되었고 1975년 스위스의 F. Studer 사가 Synthetic Granite라 명명된 복합재 베드개발을 성공한 이래<sup>5)</sup> 현재는 복합재의 접착재 종류도 Polyester/Styrene, Styrene/TMP-TMA, Epoxy resins 등의 다양한 종류가 개발되고 있고 첨가재료도 초기에는 모래나 자갈, 시멘트분말등이 주로 사용되었으나 점차적으로 여러종류의 자연석 조각이나 철보강재 또는 유리섬유등이 사용되어 Polymer Concrete, Ferrocement, Ferrite-Resin Concrete 등과 같은 명칭의 복합재료가 개발되어 초정밀 구조용 재료로 이용되고 있다.<sup>6-9)</sup>

그러나 현재 개발되어 있는 이들 복합재료들에 있어서는 정적 및 동적 강성, 감쇠특성, 열팽창, 열전도성, 열적변형, 마모특성 그리고 경년 변화 및 제조

공정 등 제반 특성들이 초정밀 가공 기계 구조용 재료로서는 아직도 만족스러운 결과를 나타내 주고 있지 못한 실정이며, 그 밖에도 제작비나 제작후의 가공성, 그리고 부가적 기계 요소와 안내면의 설치방법 등에 관한 부수적인 문제들이 산재해 있는 상황이다.

따라서 본 연구는 초정밀 가공기계용 베드재료로 적합한 복합재료를 개발하기 위하여 결합재료는 에폭시수지와 첨가재로 화강암을 분쇄한 입자를 선정하고, 에폭시 수지종류, 첨가재의 입자크기 및 첨가재 / 수지의 혼합비를 변화시키면서 에폭시-그라나이트 복합재의 시험편을 제작하였다.

다음에 이들 시험편들에 대해 각각 앞에서 살펴본 바와같이 초정밀 가공기계용 베드 구조물 재료로서 구비하여야 할 많은 특성들 중에서 먼저 중요한 인자로 생각되는 압축강도, 인장강도, 경도등의 기계적 성질과 열전도율, 열팽창계수, 비중등의 물리적성질 및 고유진동수, 감쇠비등의 동적특성을 중심으로 조사하고 현재 베드 재료로 많이 사용되고 있는 주철재와 영국 CMS사 수입 복합재(GRANITAN)와의 특성을 상호 비교 검토 하면서 구조물 재료로 우수한 재질선정 및 제조방안을 모색 하였다.

## 2. 시험재료 및 실험방법

### 2-1. 시험재료와 시험편 제작방법

시험편 제작을 위해 결합재료로 사용한 에폭시 수지는 5293 (4022)/2100, 5294 (4022)/2101(한국 IPCO사 제품)을 모체로 하였고 첨가재로 사용한 화강암 분말 입자는 구형에 가깝게하여 입자크기는 0.075mm 이하, 0.075-0.149(mm), 0.149-0.18(mm)

0.18-0.25(重量), 0.25-0.42(重量), 0.42-0.84(重量), 0.84-2.0(重量), 2.0-4.78(重量), 4.78-10(重量) 등의 9가지로 분류하였다.

한편 그림 1은 본 실험에 사용한 시험편 규격을 나타낸 것으로서 에폭시-그라나이트 시험편의 제작은 에폭시 수지와 첨가제의 혼합비를 중량비로하여

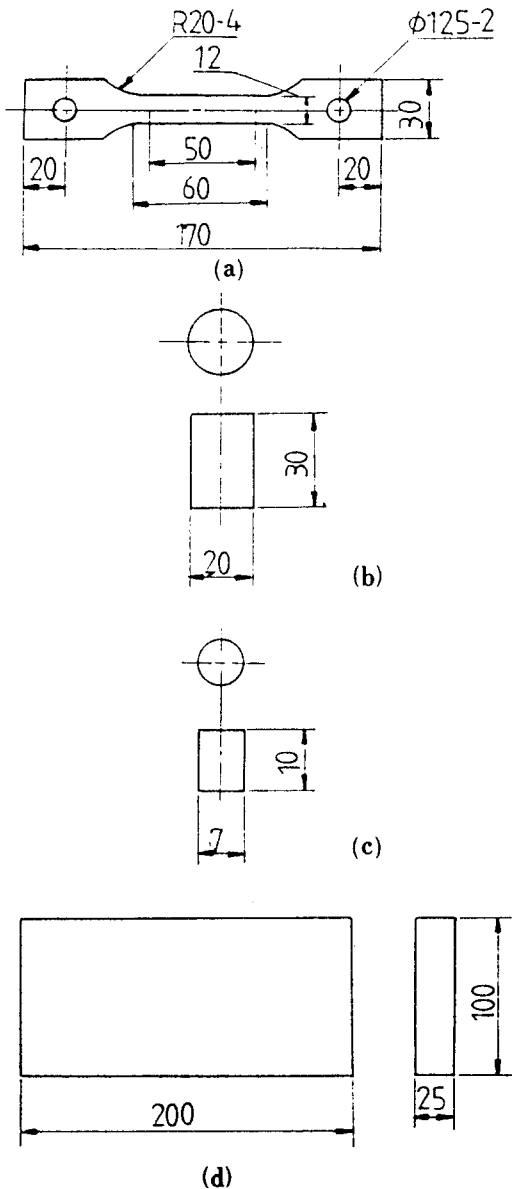


그림 1. 시험편 형상과 규격 (단위 : mm)

- (a) 인장시험편    (b) 압축시험편
- (c) 열팽창시험편    (d) 열전도도시험편
- (e) 진동시험편

Fig. 1. Geometry and dimension of test specimens (Unit: mm)

- (a) Tensile test specimen
- (b) Compressive test specimen
- (c) Thermal test specimen
- (d) Thermal conductivity test specimen
- (e) Vibration test specimen

첨가제 입자크기 및 양에 따라 혼합비를 적절한 비율로 조절하면서 배합사용하였다.

이때 배합과정에서는 가능한 재료내부에 기포가 존재하지 않고 첨가물이 균일한 분포조직을 갖도록 교반기를 이용하였다.

한편 시험편의 주형작업은 시험편규격에 맞도록 제작 준비된 아크릴수지 몰드에 이형제를 뿌리고 수지와 첨가제의 배합물을 몰드에 주입하는 방법을 이용하였고, 이때 가능한 배합물의 유동이 용이하고 내부에 존재하는 기포를 제거하기 위하여 진공장치와 진동 가진 장치를 이용하여 몰드의 구석구석까지 배합물이 채워지도록 하였다. 이후 정지된 상태에서 24시간 정도 경화 시킨후 몰드에서 시험편을 분리하였다.

그림 2는 시험편 제작에 이용된 아크릴 수지몰드의 형상과 함께 이상과 같이 설명한 시험편 제작과정을 거쳐 그림 1의 시험편 치수와 동일하게 제작된 각종 시험편의 종류를 나타낸 것이다.

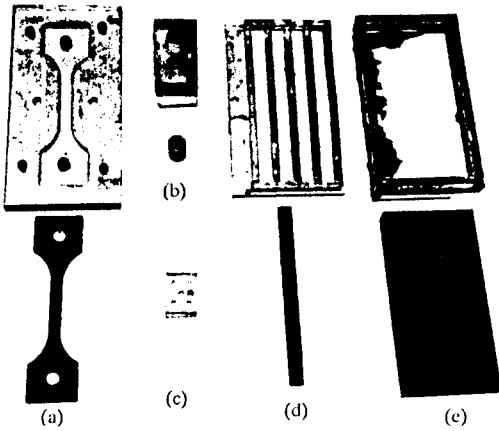


그림 2. 시험편 몰드형상과 시험편 모양

- (a) 인장시험편            (b) 압축시험편
- (c) 열팽창시험편        (d) 진동시험편
- (e) 열전도시험편

Fig. 2. Geometry of mould and test specimens

- (a) Tensile test specimen
- (b) Compressive test specimen
- (c) Thermal expansion test specimen
- (d) Vibration test specimen
- (e) Thermal conductivity test specimen

2-2. 시험기와 실험방법

제작한 에폭시-그라나이트 실험 재료의 기계적 성질인 인장 강도와 압축 강도는 상온에서 용량 10ton 인 전기 유압식 재료시험기(Instron 1331)에서 측정하였고 경도값은 D-type 쇼어 경도기로 측정하였다.

한편 물리적 성질인 열전도율은 열전도 측정 장치(Thermal conductivity mass apparatus)에서 열선법을 이용하여 측정하였고 열팽창계수의 측정은 에폭시 경화수지 및 에폭시 계통 복합재료가 경화 온도등의 조건에 따라서 거의 실질적인 열팽창이 일어나지 않는 유리 변태 온도(Glass transition temperature)가 존재하기 때문에 이들 유리 변태 온도

및 시험 조건을 고려하여 40-70℃의 온도 범위에서 열팽창 측정장치[Thermomechanical analyzer (R943)]를 이용하여 측정하였다.

또한 에폭시-그라나이트 재료의 동적특성인 진동 감쇠 성능을 측정하기 위한 FFT실험 장치는 Accelerometer pick up, Charge amplifier 및 4 channel FFT analyzer 와 Display terminal monitoring system 등 이다.

이때 실험방법은 그림 1(e)의 진동시험편에 구속의 영향을 최대로 감소시키기 위해 시험편의 1차 진동모우드의 node점을 선택하여 끈으로 고정후 시험편의 중앙위치에서 일정한 타격이 가해 지도록 강철 보울을 외팔보에 부착시켜 일정한 높이에서 이완시켜 타격하였다.

이때 시험편 타격 위치의 아래 면에는 가속도계가 부착되었고, 여기서 나타나는 출력은 Charge amp. 에서 신호를 증폭하여 FFT 분석기에 입력되어 분석된다.

한편 시험편의 감쇠는 가속도계에서의 출력신호를 FFT한 응답곡선중 공진점 ( $M_0$ )에서 진동수가  $\omega_{res}$ , 진폭크기가  $A_{max}$ 이고,  $A_{max} / \sqrt{2}$ 인 진폭 위치에서 나타나는 진동수 차이를 밴드폭( $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ )이라 하면 이 밴드폭 ( $\Delta\omega$ )과 감쇠비 ( $\zeta$ )의 관계는 다음과 같다.

$$\zeta = \frac{\Delta\omega}{2\omega_{res}} \dots\dots\dots (1)$$

이때 감쇠비 ( $\zeta$ )는  $\zeta$ 가 클수록 진동의 진폭이 빨리 감소함을 의미하고 또한 진폭(A)과 진동수( $\omega$ )의 관계에서 공진이 나타나는 첨점이 부니어짐을 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에 앞서 예비실험으로 화강암 입자크기가 5mm이하인 첨가재를 사용하여 시험편을 제작하고 이들 기계적성질을 검토하였다.

표 1. 에폭시-그라나이트의 기계적 성질

Table.1. Mechanical properties of epoxy-granite

Specimen No.	Epoxy resin	Granite particle size as a aggregate [mm]	Mix. ratio (Agg./resin)	Compressive strength [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Tensile strength [kgf/mm <sup>2</sup> ]
1 - 1	5294 / 2101	0.075 - 0.419 ( 100 % )	2	11.9	
1 - 2	5294 / 2101	0.075 - 0.149 (14%) 0.149 - 0.18 (43%) 0.42 - 0.84 (43%)	3.5	10.9	1.8
1 - 3	5294 / 2101	0.25 - 0.42 (70%) 0.42 - 0.84 (30%)	4		1.6
1 - 4	9301 / 9933(B)	Metallic powder as a aggregate		2.1	
1 - 5	5293 / 2100	0.075 (16.6 %) 0.075-0.149(16.6%) 0.25-0.42(16.6%) 0.42-0.84(16.6%) 0.84-2.0(16.6%) 2.0-4.76(15.6%)	5	13.6	
1 - 6	4022 / 2101	0.075(30%) 0.25-0.42(20%) 0.42-0.84(20%) 2.0-4.76(30%)	5.2	2.0	
1 - 7	(5293+ 4022) / 2100	0.075 (6.25%) 0.075-0.149(15.6%) 0.25-0.42(21.8%) 0.42-0.84(18.7%) 0.84-2.0(21.8%) 2.0-4.76(15.6%)	5.3	12.5	1.95
1 - 8	(5293+ 4022) / 2100	0.075(41.3%) 0.25-0.42(10.3%) 2.0-4.76(48.3%)	5.8	12.1	
1 - 9	(5293+ 4022) / 2100	0.075(38.5%) 0.25-0.42(19.2%) 0.42-0.84(11.5%) 2.0-4.76(30.8%)	6.2	12.3	2.04
1 - 10	(5294+ 4022) / 2101	0.075(40%) 0.25-0.42(20%) 2.0-4.76(40%)	5.7	12.5	
1 - 11	(5294+ 4022) / 2101	0.075(38.5%) 0.25-0.42(19.2%) 0.42-0.84(11.5%) 2.0-4.76(30.8%)	6.2	11.9	
1 - 12	(5294+ 4022) / 2101	0.075-0.149(45.4%) 0.25-0.42(9.2%) 2.0-4.76(45.4%)	7.8	12.2	

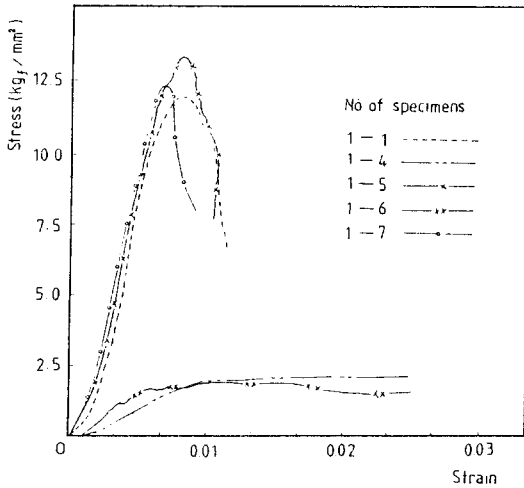


그림 3. 에폭시-그라나이트의 압축응력-변형을 특성곡선

Fig. 3. Compressive stress-strain relationships for epoxy-granite

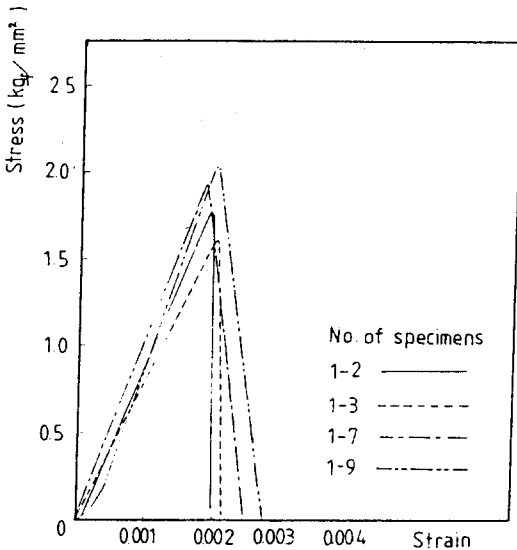


그림 4. 에폭시-그라나이트의 인장응력-변형을 특성곡선

Fig. 4. Tensile stress-strain relationships for epoxy-granite

한편 표 1은 이들 시험편의 압축 및 인장시험 결과를 정리한 것이고 그림 3과 그림 4는 압축 및 인장시험에 의한 특성곡선의 일례를 나타낸 것이다.

이 결과 금속분말이 이미 수지에 첨가된 9301/9933(B) 수지와 4022/2101 수지를 이용한 시험편의 압축강도는 약  $2\text{ kgf/mm}^2$ 로서 타 수지를 이용한 경우보다 아주 낮은 값을 나타내고 또한 이들 수지는 그림 3에서 보는 것처럼 재료의 특성곡선이 고무와 매우 유사한 거동을 갖고 있음을 알 수 있다.

한편 (5294/2101) 및 (5293/2100) 단독 수지만을 사용한 경우보다 (5293+4022)/2100 및 (5294+4022)/2101의 혼합수지를 이용하여 혼합비를 증가시킨 경우가 기계적 성질, 수지의 배합상태 등의 측면에서 더 바람직한 것으로 나타났다.

4022수지는 점도가 414 cps로 5294/2101(800 cps) 및 5293/2100(3700 cps)에 비해 점도가 낮기 때문에 이들 수지에 점도조절용으로 4022수지를 혼합하여 사용하면 첨가제의 양을 증가시킬 수 있고 또한 첨가제의 입자크기가 클수록 더욱 혼합비를 증가시킬 수 있음을 알았다.

이것은 수지의 점도가 높고 첨가제 입자가 너무 작으면 수지의 함유량이 상대적으로 높아져서 비용과 강도의 측면에서 베드 특성을 만족시키기가 어렵다.

그러나 첨가제의 입자가 너무크면 수지와 첨가제와의 결합도 상의 문제와 함께 입자사이의 공극이 너무커서 내부에 결합이 크게 존재하기 때문에<sup>12)</sup> 첨가제의 입자크기를 적절히 조절하여 입자사이의 공극을 메우고 입자와 수지의 결합도를 증가 시켜야 취성이 큰 단점을 보완하고 충분한 강도를 유지할 것으로 생각된다.

이상의 예비 시험결과를 토대로 본 실험에 이용한 에폭시-그라나이트 시험편은 (5293+4022)/2100 및 (5294+4022)/2101 수지와 시험편 치수, 및 시험조건을 고려하여 10mm 이하의 첨가제 입자크기를 조절 하면서 혼합비를 6-9의 범위에서 제작하고 실험하였다.

표2는 이들 에폭시-그라나이트 시험편과 CMS사의 GRANITAN, 주철재, 에폭시수지 경화재료의 시험결과를 종합하여 나타낸 것이다.

표 2. 에폭시-그라나이트, GRANITAN, 주철과 에폭시수지 경화재료의 기계적, 물리적 및 진동특성  
 Table 2. Mechanical, thermal and vibrational properties of epoxy-granite, granitan, cast iron, and epoxy-resin polymer.

Specimen No.	Epoxy resin	Granite particle size as a aggregate [mm]	Mix. ratio (Agg./resin)	Mechanical properties			Physical properties			Vibrational properties	
				Compressive strength [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Tensile strength [kgf/mm <sup>2</sup> ]	Hardness [Hs]	Coeff. of therm. con. [kcal/mh°C]	Coeff. of therm. expansion [μm/m°C]	Specific gravity	Natural frequency [Hz]	Damping ratio [ζ]
2-1	(5293 4022) /2100	0.149이하(47%) 0.84-2.0(17.6%) 2.0-4.76(35.3%)	7	10.4	1.4	40-50	0.93	11.1	2.21	44.8	0.041
2-2	(5293 4022) /2100	0.149이하(50%) 0.84-2.0(50%)	7	12.9	1.9	40-50	0.92	25.5	2.16	45.5	0.039
2-3	(5293 4022) /2100	0.149이하(40%) 2.0-4.78(40%) 4.78-10(20%)	7	11.1	1.4	50-55	0.98	16.7	2.26	44.5	0.042
2-4	(5294 4022) /2101	0.075-0.149(50%) 2.0-4.76(50%)	6	12.6	1.6	45-53	0.88	37.8	2.22	45.0	0.069
2-5	(5294 4022) /2101	0.149이하(47%) 0.84-2.0(17.6%) 2.0-4.76(35.3%)	7	12.9		45-55	0.89	41.0	2.22	45.7	0.049
2-6	(5294 4022) /2101	0.149이하(47%) 0.84-2.0(50%)	7	13.3		30-50	0.88	13.3	2.18	45.5	0.049
2-7	(5294 4022) /2101	0.149이하(40%) 2.0-4.78(40%) 4.78-10(20%)	7	11.9	1.4	50-55	0.91	27.7	2.26	44.4	0.048
2-8	(5294 4022) /2101	0.149이하(30%) 0.84-2.0(30%) 4.78-10(40%)	9	9.4	1.6	45-55	0.88		2.27	45.5	0.064
2-9	Granitan			12.1	1.5	50-55	(0.43 - 1.63)	(12 - 14)		45.9	0.049
2-10	Cast iron			60.5	12.5	37-40	(43 - 65)	(10 - 12)	7.28	30	0.031
2-11	(5293 4022) /2100	Epoxy resin polymer		8.4	2.1	84-86	0.21	197.6	1.20	49.2	0.102
2-12	(5294 4022) /2101	Epoxy resin polymer		8.3	3.8	80-82	0.23	179.3	1.21	47.8	0.118

(1) 기계적 성질의 검토

에폭시-그라나이트재의 압축 및 인장강도는 영국 제 GRANITAN과 거의 비슷함을 알 수 있고 주철재의 경우가 가장 큰 값을 나타낸다.

또한 에폭시-그라나이트재는 에폭시 수지 경화재료에 비해서 압축강도는 약 1.4배 이고 인장강도는 약 0.5배 정도 임을 알 수 있다.

이것은 에폭시-그라나이트가 에폭시 수지와 천연 산 화강암입자의 복합재료이므로 화강암재료<sup>1)</sup>의 압축강도가 10~30kgf/mm<sup>2</sup>의 범위를 갖고 인장강도가 0.7~2.5kgf/mm<sup>2</sup> 범위에 있는 것을 고려하면 본 실험결과 나타난 에폭시-그라나이트재의 압축 및 인장강도가 각각 에폭시 수지 경화재료와 화강암의 이들 고유값 사이에 있음을 알 수 있다.

그러나 본 실험에 사용한 에폭시-그라나이트재는 예비 실험에 사용한 시험편에 비해 혼합비가 크고 따라서 첨가재로 사용한 화강암 입자의 양이 많기 때문에 압축강도가 현저히 증가하여야 함에도 불구하고 큰 차이가 없는 것은 에폭시계 복합재료에서는 이들 에폭시 수지와 첨가재 자체의 강도뿐만 아니라 결합제의 종류, 경화온도, 가사시간등의 영향도 크게 작용하는 것으로 생각된다.

한편 경도값을 측정한 결과 에폭시-그라나이트재 ( $H_s$  30~55)는 영국제 GRANITAN ( $H_s$  50~55)의 경우와 비교할때 최대 경도값은 거의 비슷하나 측정된 경도값의 산포는 GRANITAN이 더 작음을 알 수 있었고 또한 표 2에서 보는 바와같이 에폭시-그라나이트의 경도값은 주철재보다 약간 크나 에폭시 수지 경화재료 및 화강암 ( $H_s$  85~110)의 그것보다 현저히 작음을 알 수 있다.

**(2) 물리적 성질의 검토**

먼저 열전도율을 살펴보면 다음과 같다.

에폭시 수지 경화 재료의 열전도율은 0.21~0.23 kcal/mh°C이고 주철재는 43~64.55 kcal/mh°C의 범위를 갖고 있음을 알 수 있고 또한 화강암<sup>4)</sup>은 약 0.68 kcal/mh°C 정도이다.

그러나 복합재료인 에폭시-그라나이트재의 그것은 0.88~0.91 kcal/mh°C이고 GRANITAN은 1.34~1.63 kcal/mh°C을 나타내고 있다.

이상의 결과는 에폭시-그라나이트재의 열전도율이 주철재의 그것보다 약 0.015~0.2배로 매우 작지만, 에폭시수지 경화재의 그것보다는 약 4배 정도로 크게 나타난다.

따라서 열의 불 양도체인 에폭시수지<sup>13)</sup>에 우수한 열전도체인 금속이나 무기물 첨가체를 첨가하면 열전도율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

한편 열팽창계수의 관계를 살펴보면 에폭시-그라나이트재의 열팽창계수 측정값은 (5293+4022)/2100 및 (5294+4022)/2101 수지 모두 매우 큰 범위에서 불규칙하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이것은 에폭시계 복합재료는 천이현상을 갖고 본 실험의 경우 열팽창계수를 측정한 온도 범위가 40~70°C사이이기 때문에 이들 천이현상이 생기는 위치

에 따라 나타나는 오차로 볼 수 있다.

특히 이 천이현상을 지배하는 인자로는<sup>10)</sup> 경화온도와 에폭시수지 성분등을 들수 있는데 이 성질을 잘 이용하면 복합재료의 사용온도 조건 및 용도에 따라 열팽창계수를 조절 할 수 있다. 이것은 표 2에서 보는바와 같이 GRANITAN의 열팽창계수가 (11.1~14) X 10<sup>-6</sup>/°C로서 주철재의 그것에 가깝게 제작한 것도 이와같은 이유로 생각된다.

한편 그림 5는 본 실험결과 얻어진 열팽창 특성곡선의 일예를 나타낸 것이다.

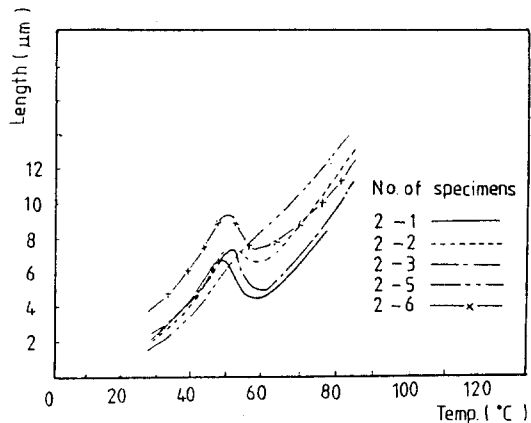


그림 5. 에폭시-그라나이트의 열팽창 특성곡선의 일예

Fig. 5. Thermal expansion characteristic curve for epoxy-granite

또한 에폭시-그라나이트의 비중을 살펴보면 2.16~2.26 정도의 주철재에 비해 약 0.3배로 가볍기 때문에 베드제작시 에폭시-그라나이트가 갖는 압축 및 인장강도 등의 결점을 보완하기 위해서 두께를 충분히 증가시켜서 단면 2차 모멘트를 크게 하면 전체 중량을 늘리지 않고 충분한 강성구조물로 설계할 수 있을 것으로 생각된다.

**(3) 동적특성의 검토**

그림 6의 (a)~(c)는 동적특성을 측정한 결과로서 시간에 대한 진폭변화율의 관계를 나타낸 일예이다.



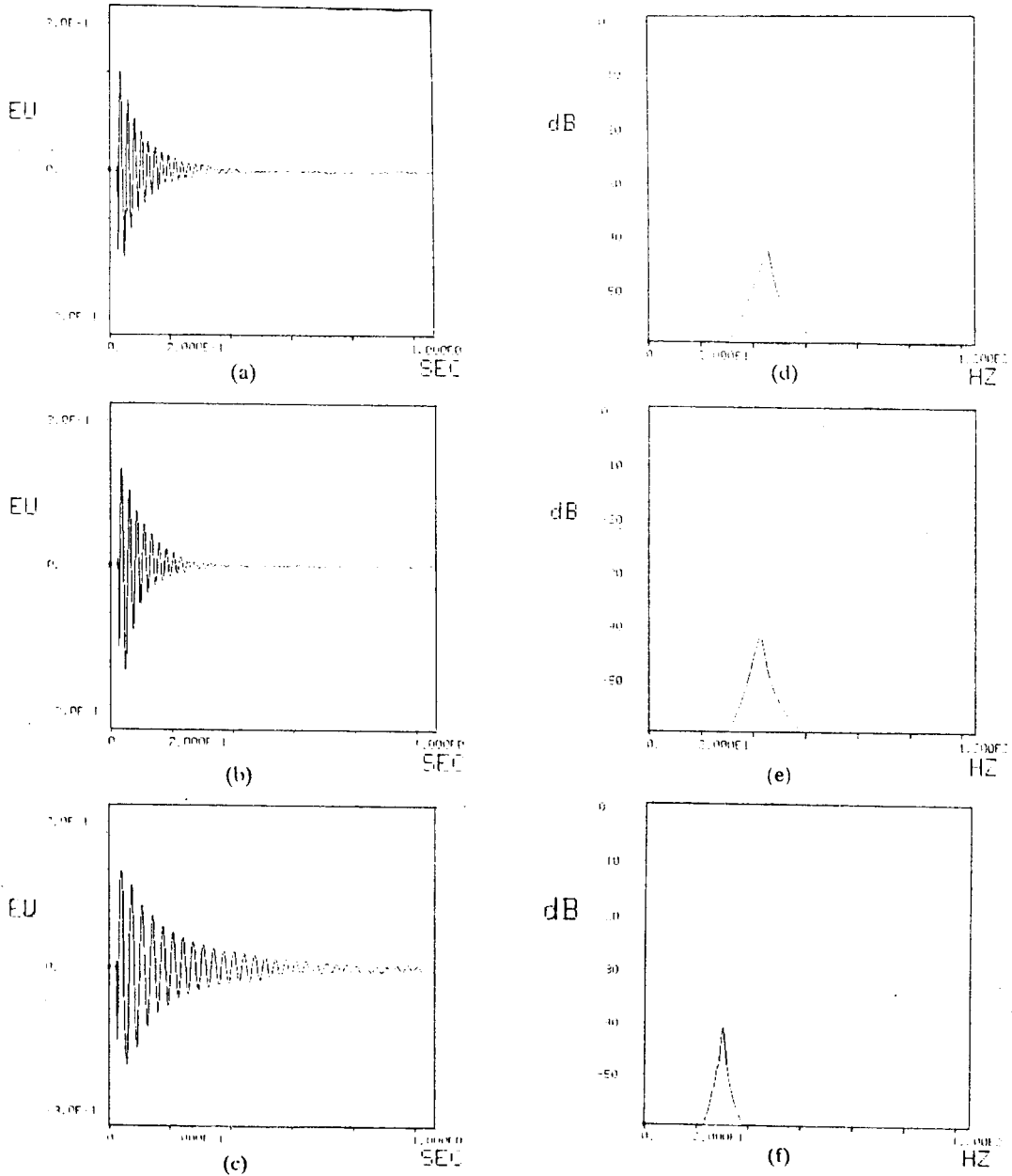


그림6. 진동 시험결과 나타나는 시간에 대한 진폭 변형율과 주파수에 대한 에너지 밀도와의 관계  
 (a) (d) 에폭시-그라나이트 [시험편 (2-8)]      (b) (e) Granitan [시험편 (2-9)]  
 (c) (f) 주철재 [시험편 (2-10)]

Fig. 6. Relationships of amplitude-time and energy density-frequency by the vibration test.  
 (a) (d) Epoxy-granite [specimen (No. 2-8)]      (b) (e) Granitan [specimen (No. 2-9)]  
 (c) (f) Cast iron [specimen (No. 2-10)]

이때 동일한 크기의 초기진폭하에서 감쇠가 시작되어 진폭이 영(zero)으로 되는 시간은 에폭시-그래나이트 및 GRANITAN재가 주철재에 비해 월등하게 빨리 나타남을 알 수 있다.

한편 그림 6의 (d)~(f)는 감쇠비( $\zeta$ )를 구하기 위하여 주파수에 대한 에너지 밀도의 관계를 나타낸 것이고 이 관계로부터 식(1)을 이용하여 감쇠비( $\zeta$ )를 구하여 표2에 정리하였다.

이 결과 에폭시-그래나이트의 감쇠비는 0.039~0.064로서 GRANITAN의 0.049와 비교할때 약간 작거나 큰 값의 범위를 갖고 있음을 알 수 있고 에폭시 수지 경화재료의 감쇠비가 실험재료들 중에서 가장 크고 주철재의 그것이 가장 작음을 나타낸다.

그러나 에폭시-그래나이트재를 초정밀 가공기계의 베드 구조물로 사용하기 위해서는 감쇠성능을 좀더 향상시키는 것이 바람직하다.

#### 4. 결론

본 연구는 초정밀 가공 기계용 베드 재료로 적합한 복합재료를 개발하기 위하여 결합재료 에폭시 수지와 첨가제로 화강암 입자를 사용하여 에폭시 수지의 종류, 첨가제/수지의 혼합비를 변화시켜 에폭시-그래나이트재를 제작하고, 이것과 함께 주철재, 영국 GRANITAN 복합재 및 에폭시 수지 경화재료 등의 기계적, 물리적 및 동적 특성을 조사하고 상호 비교 검토한 결과 이들 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 에폭시-그래나이트재의 압축강도, 인장강도 및 경도 값은 GRANITAN의 특성과 거의 비슷하다.

한편 혼합비의 결합도가 높고 점도가 낮은 수지의 개발과 함께 첨가제 입자사이의 공극, 형상 및 크기를 조절하여 증가시키는 것이 바람직하다.

2. 에폭시-그래나이트재의 열팽창계수는 유리변태 온도의 영향 때문에 매우 큰 범위에서 불규칙하다.

또한 열전도율은 에폭시 수지 경화재료의 약 4배, 주철재의 약 0.2배로 나타나 주철재에 비해 열적특성이 우수함을 알 수 있다.

3. 에폭시-그래나이트재의 동적특성인 감쇠비는 GRANITAN과 비슷하고 주철재보다 약 1.2~4배 정도 크게 나타나며 향후 초정밀 가공기계의 베드 구조

물로 사용되기 위해서는 감쇠 성능을 좀더 향상시키는 방안이 강구되어야 한다.

## 参 考 文 献

1. G. H. Morgan, P. A Mckeown and H. J. Renker, "Materials for machine tool structures" Proc. 20th. MTDR, pp 429~434, 1980.
2. D. G. Lee, "Manufacturing and testing of composite machine tool structure" MIT Ph. D. Thesis, pp 14~26, 1985.
3. J. B. Bryan, "Design and Construction of an Ultra precision 84 in. diamond turning machine" Precision Engineering, pp 13~17, 1979.
4. S. Z. Abdin, R. K. Shenoy and M. E. Visveswaran, "Investigation on granite as a material for metrology Aids", Annals of CIRP, vol 27, pp 371~381, 1978.
5. "Epoxy Concrete-A New Improved Structural Material for Production Machinery", Cranfield Research & Development LTD, 1979.
6. E. Kirlikovali, "Polymer/ Concrete composite-A Review" Polymer Engineering and science, vol 21, No. 8. pp 507~509, 1981.
7. C. Vipulanandan, N. Dharmarajan, and E. Ching, "Mechanical behavior of polymer concrete system", Materials and structures, pp 268~277, 1988.
8. M. Rahman, M. A. Mansur, K. H. Chua, "Evaluation of advanced Cementitious Composite for Machine Tool Structures", Annals of CIRP vol 137, pp 373~376, 1988.

9. M. Tsutsumi, K. Uno, M. Yoshino, F. Yamauchi, "New Material application to Ultra precision Later", proc. of International congress for Ultra precision. Tech, 1988.
10. "Composites", Engineering. materials handbook, vol, AMS. pp 779~780, 1987.
11. Robert D. Blevins, "Formulas for natural frequency and mode shape" VNR Co, pp 110, 1979.
12. R. A. Bares, "Furane resin concrete and its applications to large diameter sewer pipes", in ACI pulication SP. 58 pp 41~74, 1978.
13. 김박윤 역, "에폭시수지", 대광서림, pp 249, 1987.