

# 첨단 신소재를 이용한 조선기자재의 개발 동향

김윤해\*, 배창원\*\*, 정하돈\*\*\*

## Present Status of Development Progress of Marine Equipment Using Advanced New Materials

Yun-Hae Kim, Chang-Won Bae, Ha-Don Jung

### Abstract

High performance composites are being used increasingly for engineering applications such as space vehicles, aircraft, road transportation, fishing-rods, golf-club shafts and yachts because of their two major types of advantages of composites, namely, the high specific strength and specific modulus.

From these viewpoint, the advent of advanced new materials has been called the biggest technical revolution.

Recently, most of the topics are related to the use of advanced new materials in more demanding load, reinforcing the structures, distributing the stress concentration and increasing the fatigue life, etc.

In this paper, the present status of development progress of marine equipment using advanced new materials will be explained

## 1. 머리말

복합재료란 두 종류 이상의 소재를 조합하여 물리적, 화학적으로 원래의 원소와 상이한 상을 형성하여 원래의 소재 보다도 우수한 기능(functions) 또는 특성(characteristics)을 가

\*) 한국해양대학교 재료공학과 교수

\*\*\*) 한국해양대학교 대학원 재료공학과

\*\*\* (주) 종합해사 상무이사

지는 재료이다. 기지재료(matrix)와 보강재(reinforcement)의 혼합으로 이루어진 복합재료는 기지재료의 종류에 따라 금속기지 복합재료(metal matrix composites), 세라믹기지 복합재료(ceramic matrix composites) 및 고분자기지 복합재료(polymer matrix composites)로 분류된다. 보강섬유로는 유리섬유(glass fiber), 탄소섬유(carbon fiber), 케블라섬유(kevlar fiber), 보론섬유(boron fiber) 및 세라믹계 섬유인 실리콘 카바이드(silicon carbide)와 알루미나 섬유(alumina fiber) 등이 주로 사용되고, 기지재료(matrix)는 플라스틱, 금속 및 세라믹으로 나누어지며, 플라스틱이 많이 이용되고 있다. 플라스틱 수지는 한번 가열되어 성형되면 다시 성형할 수 없는 열경화성 수지(thermosetting resin)와 가열과 냉각과정을 반복하여도 가역반응이 일어나는 열가소성 수지(thermoplastic resin)로 나누어 진다. 이러한 복합 신소재는 우주항공 소재로서의 최대 요구 조건인 경량 및 고강도의 물성을 갖추고 있어서 1960년대부터 연구 개발이 활발하게 이루어 지고 있다. 현재 많이 이용되고 있는 섬유강화 복합재료는 보강섬유가 폴리에스테르(polyesters), 페놀(phenols), 에폭시(epoxies)와 같은 중합체 매트릭스내에 보강된 재료이다.

한편, 대형선박은 철강으로 만들어지며, 소형선박은 나무로 만들어져 왔으나, 최근에는 복합재료의 발달로 인하여 모터보트, 요트, 소형유도선, 어선 등과 같은 소형선은 대부분 FRP(fiber reinforced plastics)선이다.

선박에 사용되는 복합재료는 소형선박의 선체만이 아니고 최근에는 선박의 구동축, 공기압축기의 무급유(Oilless) 피스톤링, 프로펠러, 피스톤 등과 같은 선박의 중요 부품들도 복합재료화 되어가고 있는 실정이며 미국, 일본 및 유럽 등과 같은 선진국에서는 경량화, 토오크 향상, 진동감소 및 방식에 이점이 있는 선박용 복합재료 구동축을 개발·응용하고 있으며 이 분야에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

## 2. 복합 신소재를 이용한 조선기자재의 개발동향

### 2.1 추진축계

선박의 디젤기관은 롱스트록(long stroke)화, 고출력화, 연소압력의 증대 및 기관실 스페이스(space)의 삭감등에 따른 축의 단축화로 축계 비틀림 진동이 과대하게 되어 고도의 방진 대책의 필요성이 증가하고 있다.



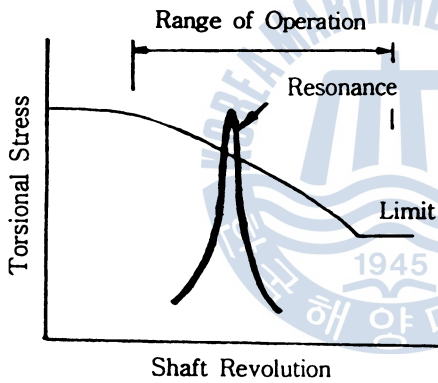
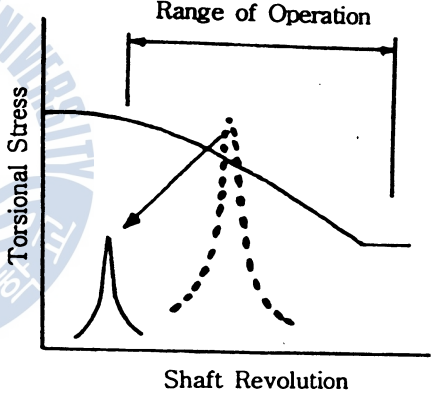
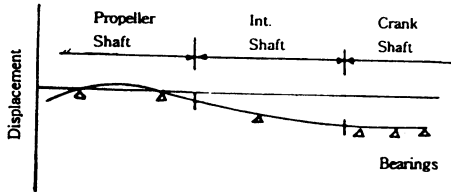
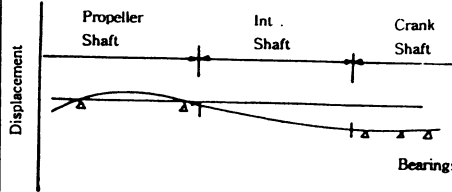
한편, 1970년대부터 미국, 독일, 영국등 선진국에서는 선박의 효율적인 운행을 대비하여 부품의 복합재료화를 이미 시작하여 상용화 단계에 이르렀다. 이러한 선진국에서는 1980년대 이후부터 이미 구동축을 개발·응용하고 있다. 구동축은 일반적으로 필라멘트 와인딩공법이나 펄트루전을 이용하여 제작 및 응용하고 있으며 일본에서도 벌써 선박용

복합재료 구동축을 응용 개발하기 시작하였다. 그러나 우리 나라에서는 헬리콥터의 구동축을 연구한 경우는 있으나 선박의 구동축을 연구한 경우는 없는 실정이다. 이러한 선박의 구동축은 금속의 구동축에 비해 부식되지 않고 무게가 50%이상 절감되고 토오크가 증가하고 회전시 진동을 현저히 감소시켜 준다.

그림1에 8만톤 탱커의 추진축에 대한 종래의 금속제 축과 CF제 축을 비교하였으며, 그림2에 CF제 축의 적층구성을, 그림 3에 CFRP제 중간축을 나타내었으며 CF축의 효과는 다음과 같다.

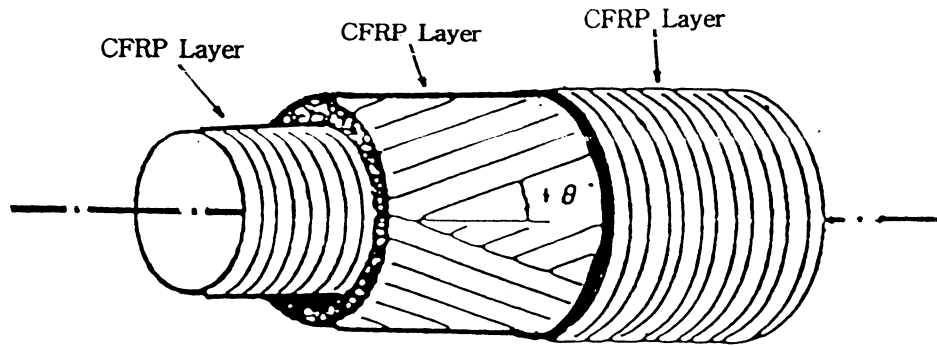
- (1) 저진동·저소음화 : 테일러링 설계에 의해 비틀림 및 쓰러스트 하중의 강도 요구조건을 만족하고 축계의 비틀림 공진점을 주기의 사용회전수 영역에서 벗어나게 함으로써 진동·소음의 감소가 가능하다.
- (2) 탄성이음의 생략 : 수지 특유의 고감쇄성을 갖는 동시에 비틀림강성을 크게 저하시킬 수 있다.
- (3) 경량화 : 복합재료의 채용에 따라 종래의 금속제 축에 비하여 대폭적인 경량화가 가능하다.
- (4) 베어링의 생략, 축얼라이먼트(alignment)의 조건완화 : 축의 경량화에 추가하여 굽힘강성을 최소한으로 조정할 수 있기 때문에 베어링을 생략할 수 있다. 축 얼라이먼트(alignment) 조건이 완화된다. 더욱이 베어링이 필요한 경우라도 무윤활 베어링을 설치할 수 있다.
- (5) 정비성(maintenance)의 향상 : CF축은 녹슬지 않기 때문에 정비성이 향상된다.

CF축의 유효성 및 내구성을 실제로 확인하기 위해 일본에서는 전장 22m의 2기관 2축선(합계 900마력)의 우현축의 일부를 중간축으로서 CF축으로 바꾸어서 축계 비틀림 진동, 선체진동, 전진후진 시험등 연장 500시간의 내구성 항주시험을 실시하였다.

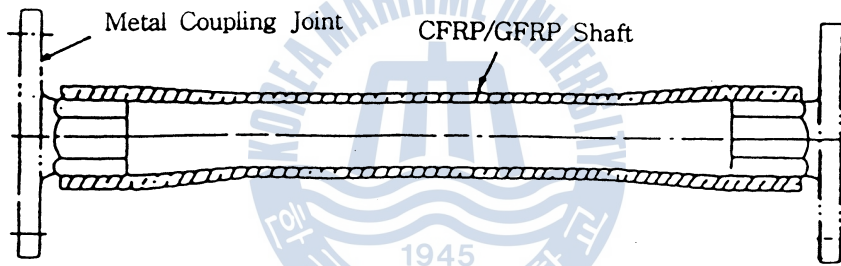
	steel shaft	CFRP shaft
shaft material	<p>Forged Steel (Solid)</p> 	<p>CF/GF Layer (Hollow)</p> 
weight (int. shaft)	10 tf	3tf
torsional vibration		
shaft alignment		

〈그림 1〉 CFRP제 고탄성축과 단강제축의 비교

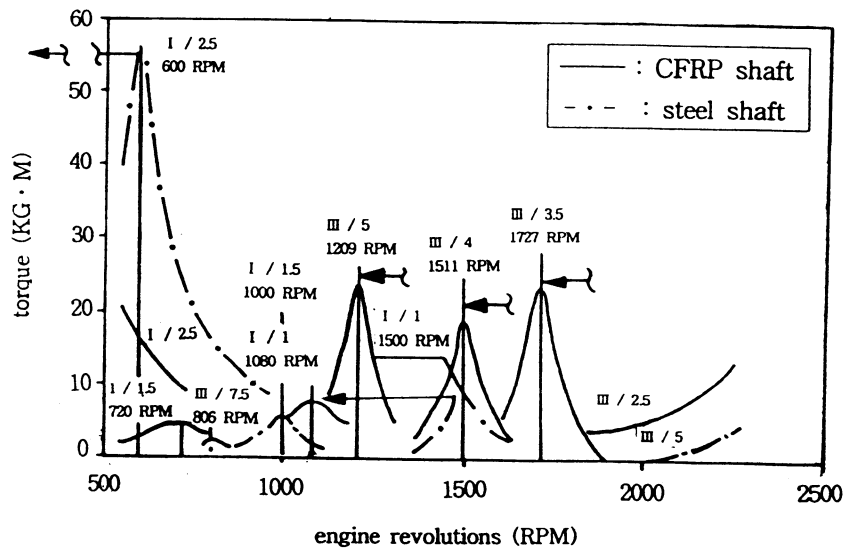
첨단 신소재를 이용한 조선기자재의 개발 동향



〈그림 2〉 CFRP제 축의 적층구성



〈그림 3〉 CFRP제 중간축



〈그림 4〉 축 비틀림 진동 계측결과

그림4는 축계 비틀림진동 계측결과이며 축비틀림 고유진동수의 저하가 현저한 것을 알 수 있다. 즉, 고유진동수가 약 30%저하하여 비틀림 진동응답량도 저감하고 있다.

현재, 2000마력 정도까지의 중간축에 적용하고 있으며, 선진국에서는 프로펠러축으로의 적용확대와 내항선 축계로의 적용화 개발이 진행되고 있는 실정이다.

## 2.2 피스톤링

최근 전자, 정밀기계, 식품, 섬유, 화학 등의 각종 산업분야에 있어서 윤활유를 필요로 하지 않는 소위 오일프리(oil free) 압축기의 수요가 증가하고 있다. 이것은 사용하는 가스나 공기 중에 윤활유가 함유되면 제품이 오염되어 사용 불가능하게 되거나 성능이 저하하기 때문이다.

이와 같은 오일프리 압축기중 소형, 중형용으로는 왕복동식이 많이 이용되고 있다. 이들 왕복동식 오일프리 압축기에는 피스톤·실린더간의 셀로서 무윤활하에서 사용 가능한 피스톤 링이 필요하게 된다.

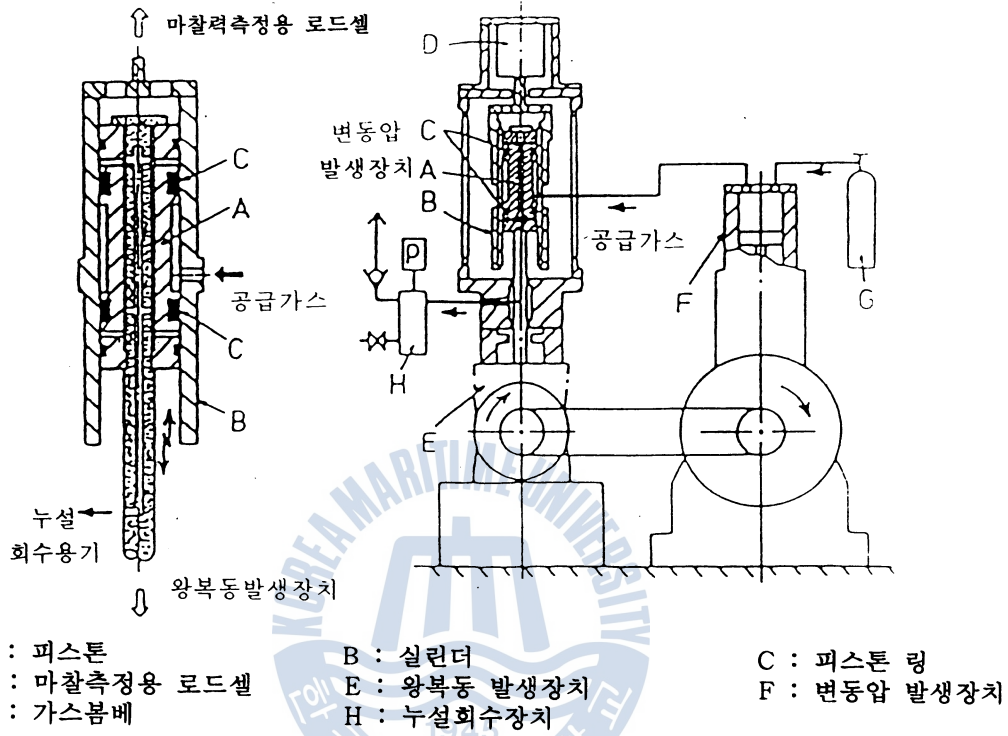
또한 최근 에너지 절약이나 환경문제 등의 관점에서 관심이 높아지고 있는 스텔링(Stirling)엔진에 있어서도 무윤활하에서 사용할 수 있는 피스톤 링이 필수적이다. 이것은 기름 등에 의해 윤활할 경우 이들이 동작가스에 혼입하여 왕복유동시의 저항이 증가하여 고온 열 교환기의 내벽이 오염되어 외부에서의 열의 유입이 저해되어 엔진의 성능이 저하하기 때문이다.

피스톤 링은 이와 같은 무윤활상태하에서의 사용을 고려할 경우 피스톤 링의 수명, 즉 그 마모특성이 큰 문제로 대두된다. 그래서 무윤활 피스톤 링에 관한 연구에서 충전재를 넣은 테프론제의 피스톤 링을 이용하여 실험시간의 진행에 수반한 마모의 변화나 가스압력등을 변화한 경우의 마모특성을 파악하기 위한 각종의 실험이 많이 행해지고 있다. 이와 같은 피스톤링 실험장치를 그림 5에 나타내었다.

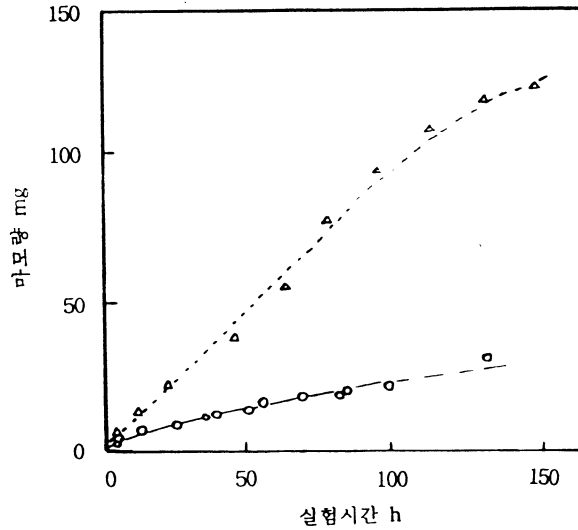
그림 6은 충전재를 넣은 CFRPTFE제의 피스톤 링의 마모진행곡선을 나타내었다. 이 그림은 피스톤 링을 이용하여 3회 실험을 행한 결과이다.

이상 한 종류의 테프론계 복합재료의 피스톤 링을 이용한 마찰마모특성이 연구 되었으나 기타의 복합재료를 이용한 경우에도 유사한 경향이 얻어지는 것으로 사료된다. 또한 피스톤 링의 성능을 평가할 때는 마찰마모에 영향을 미치는 인자로서 실험시간, 가스압력 이외에도 피스톤속도, 실린더의 표면조도, 실린더 재질, 가스의 종류 등에 대한 연구도 병행해서 이루어져야 할 것이다.

첨단 신소재를 이용한 조선기자재의 개발 동향



<그림 5> 피스톤링 실험장치

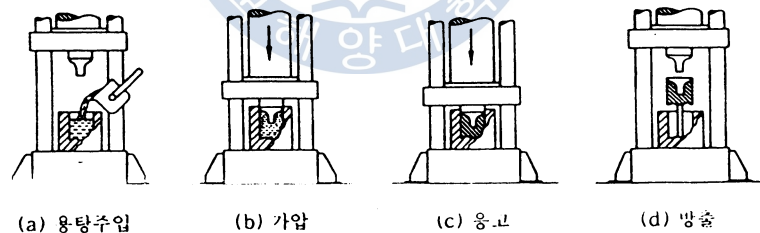


<그림 6> 피스톤 링의 마모진행곡선

## 2.3 피스톤

일본에서는 1980년에 용탕단조법을 이용하여 소형 디젤엔진 피스톤을 제조하였다. 디젤 기관의 피스톤에 금속기지 복합재료가 사용되는 것은 그 우수성이 뛰어난 뿐만 아니라 재래식 피스톤 제조단가보다도 약15%정도 저렴하게 제조 할 수 있기 때문이다. 이러한 디젤기관의 피스톤은 대부분 용탕단조법에 의해 만들어진다. 용탕단조법은 성형중에 용탕에 큰 압력을 가하여 성형시키는 방법이다. 과거에 용탄단조법은 알루미늄 합금의 주조법에 서 기공의 제어, 입도의 미세화 등을 통하여 우수한 특성을 얻고자 이용되었다. 그러나 고온강도가 요구되는 디젤엔진 피스톤의 경우, 실리콘 프리(free) 합금에 니켈이 포함된 주철(Ni-resist)을 피스톤의 상부 그루브(upper groove)에 내마모성 향상을 위하여 용탕단조법을 사용하였다. 이와 같이 내마모, 내열성이 요구되는 경우에 Ni-resist주철보다는 세라믹 섬유강화 금속기 복합재료의 이용이 확대되고 있다.

그림 7은 용탕단조법에 의한 복합재료의 제조법을 보여주고 있다. 어느 정도 기공을 포함하고 있는 예비성형체(일반적으로 불연속 stffil 형태의  $Al_2O_3$  섬유)를 금형에 장입후 예열을 하고 적당한 예열후에 용탕에 부어 가압(70~100MPa)을 하면 용탕은 예비성형체의 기공사이로 침투되어 섬유와 결합된다.

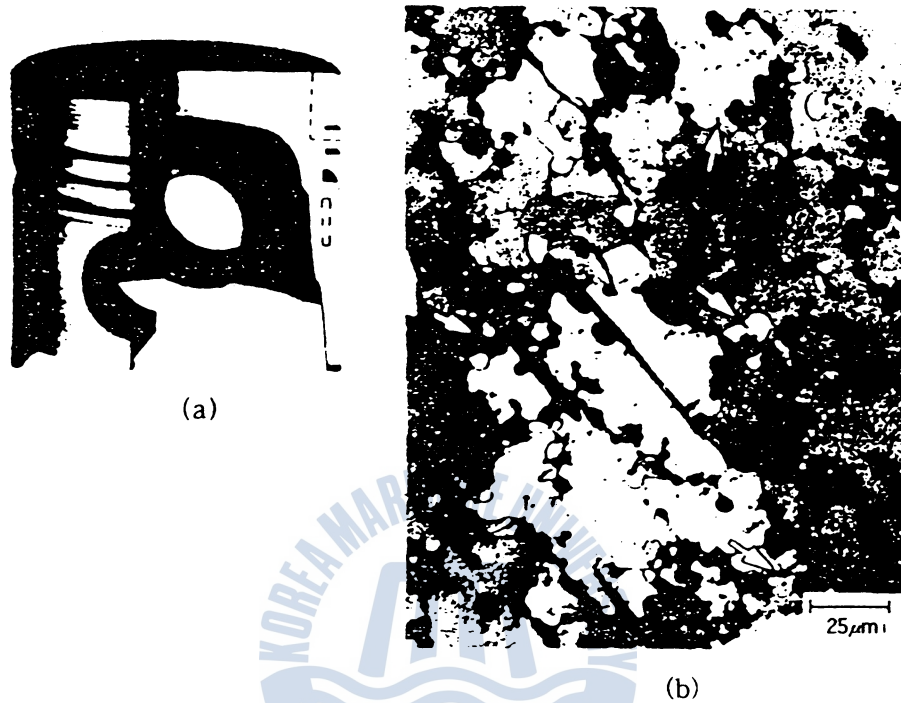


〈그림 7〉 용탕단조법에 의한 복합재료의 제조

내마모성과 내흡집성 등을 조절하는 데는 강화상의 부피분율이 매우 중요한 요소이다. 가압상태에서는 용탕의 응고가 이루어진 후 피스톤에 의하여 방출된다. 피스톤의 총무게를 고려할 때 무게가 무거운 Ni-resist주철을 사용하는 대신 가벼운 알루미늄이나 섬유강화 금속기지 복합재료를 사용하면 총무게의 5~10%의 경량화가 이루어진다. 고속의 디젤엔진의 경우 초기하중이 매우 크게 작용하게 되는 데 이러한 경우에 복합재료의 응용은 커다란 이점이 있다.

그림 8a는 용탕단조법에 의해 피스톤링 그루브가 금속기 복합재료로 강화되는 것을 보여주고 있으며 그림 8b는 saffil( $Al_2O_3$ )/Al 복합재료의 미세조직을 보여주고 있다. 특히, 섬유와 기지재간의 계면에서 우선적으로 제2상의 핵생성이 이루어진 것을 알 수 있다.





〈그림 8〉 (a) : 용탕단조법에 의해 금속기 복합재료로 제조된 피스톤 단면,  
(b) : (a)에서 점선부분의 미세조직

## 2.4 축계 베어링

플라스틱은 일용품 및 가정용품 뿐만 아니라 전기, 기계 및 공업재료에 이르기까지 사용되는 소위 엔지니어링 플라스틱으로서 점차 그 용도가 확산되어 가고 있다. 특히 내구성, 내마모성, 내열성을 지닌 엔지니어링 플라스틱(engineering plastics)의 조선기자재 분야의 적용은 필연적이라 할 수 있다.

영국 O사의 제품인 TLM Marine 베어링은 열경화성 수지를 합성섬유로 강화시킨 것으로 물리적, 화학적, 기계적 성질이 뛰어나며 스테인리스 강에 비해 무게당 강도가 약 2배가 된다. 특히 축계 베어링으로서 기존의 화이트메탈 또는 리그남바이트 등에 비해 월등한 수명을 보임으로서 유지보수 비용 절감효과가 크다.

TLM Marine 베어링의 적용범위는 선미관 베어링, 축계 베어링, 바우 쓰러스트 베어링 등 수중에서 사용 가능하고 또한 펌프베어링, 윈치 윈드라스 베어링, 데비트 베어링 등 선박보기의 각종베어링에 적용 가능하다.

< 표 1 재질별 특성비교 >

성 질 \ 종 류	Lignum	Phenoic resin	Thordon XL	TLM marine
인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	-	355.0	351.5	613.6
동마찰계수	0.22	0.44	0.22	0.18
충격강도 (cm kg/cm)	-	21.6	1.7	54.4
흡수율	3.0	1.6	1.3	0.1

각종 베어링으로 사용시는 표면조도가  $0.8\mu$  또는  $32\mu\text{RA}$  이하인 경우 베어링의 마모가 적어 수명이 길어진다. 향후 선박의 대부분의 베어링이 복합재료로 대체되리라 예상되며 특히 부식이 심한 부분, 많은 정비가 필요한 부분 등에는 복합재료의 사용이 급속히 확대되리라 본다.

### 3. 결 론

복합 신소재는 그 응용범위가 점차 확대 되어가고 있으나 선박과 같은 특수분야에는 아직 공업적 제조방법이 확립되어 있지 않아 제조비용이 비싼편이며 또한 비파괴법이 확립되어 있지 않기 때문에 제품의 품질관리를 효과적으로 할 수 없고, 복합재료의 특성 시험에 관한 기초자료가 적기 때문에 설계법이 확립되어 있지 않는 실정이다. 그러나 선진국에서는 선박의 구동축, 소형 디젤기관의 피스톤, 무급유 피스톤링 뿐만 아니라 프로펠러까지도 응용 제작하고 있다. 이와 같이 고성능·고기능을 갖는 복합재료의 개발요구는 점차 커져가고 있으며 향후 소재의 선택, 제조방법, 가공법 및 시험평가법 등 광범위한 연구·개발이 요구되는 실정이다.

우리 나라에서도 구동축의 관성모멘트, 회전속도 및 토오크 등을 고려한 복합재료의 적층각도 및 순서 등의 설계, 구동축 개발을 위한 필라멘트 와인딩법의 기술개선 및 응용, 복합재료 구동축과 금속과의 접합성 연구, 제작된 구동축의 시험평가등 일련의 연구가 빠른 시기에 이루어 져야 될 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 住友重機械技報, 40, 119(1992), 36~41
2. 日本船用機關學會誌, 27, 9(1992), 779~786
3. 複合材料 シンポジウム (1992)
4. J. Notaro : Lub. Eng., 1966, 3 (1966) 104.
5. D. Summers-Smith : Lubrication and Wear Convention 1963, (1963) 280.
6. R. R. Hart : Proc. Inst. Mech. Eng., 181 Ptl, 1 (1966-67) 13.
7. T. Nomaguchi, T. Suganami, M. Fujiwara, M. Sakai, T. Koda, K. Kawajiri & Y. Hisamori : 4th Int. Conf. on Stirling Engines, (1988) 7.
8. N. Hiraoka, N. Kawashima, H. Marumo & I. Inoue : 4th Int. Conf. on Stirling Engines, (1988) 277.
9. 內燃機關編集部 : 內燃機關, 27, 344 (1988) 78.
10. T. Donomoto, N. Miura, K. Funatani, and N. Miyaki : Ceramic Fiber Reinforced Piston for High Performance Diesel Engine, SAE Tech. Paper No. 83052, Detroit, MI, 1983.
11. M.W.Toaz and M.D.Smalc, Diesel Prog. N. Am., (June 1985)
12. Marine Engineering Manual, Orkit Composites.



