

工學碩士 學位論文

경량의 신복합 소재에 의한
소형 선박용 추진기 몸체 개발에
관한 연구

A Study on the Development of the Light
Drive Body for Small Boat by Using High
Performance Composite Materials

指導教授 金 允 海

2002년 8월

韓國海洋大學校 海事産業大學院

機械시스템 工學科

金 漢 俊

본 논문을 김한준의 공학석사 학위논문으로 인준함.

주심 : 남 청 도 ①인

부심 : 이 명 훈 ①인

부심 : 김 윤 해 ①인

2002년 8월

한 국 해 양 대 학 교

해 사 산 업 대 학 원

김 한 준

목 차

Abstract	1
제1장 서론	6
제2장 실험방법	9
2.1 실 험재료	9
2.2 특성 및 비교 평가방법	13
제3장 실험결과 및 고찰	15
3.1 추진기 몸체의 설계 및 구조	15
3.2 성형공정 및 제작	21
3.3 성형몰드의 설계 및 제작	25
3.4 외관시험	31
3.5 제작추진기의 특성 평가	37
3.5.1 기계적 특성 평가	37
3.5.2 실선장착평가	43
제4장 결론	48
참고문헌	49

A Study on the Development of the Light Drive Body for Small Boat by Using High Performance Composite Materials

Han-Jun Kim

Department of Mechanical System Engineering

Graduate School of Maritime Industrial Studies

Korea Maritime University

ABSTRACT

Traditionally, the drive body for small boats has been made with metals. Manufacturing method of metallic drive body followed with consecutive and accurate process of casting, machining, surface grinding, plating or coating and assembly.

The fabrication of FRP(Fiber Reinforced Plastics) drive body is of great advantage to reduce weight, low vibration transmission, vibration absorption, specific strength, specific stiffness, fatigue resistance and wear-corrosion characteristics in seawater. In accordance with this development, it is easy to increase production rate and

mechanical properties, whereas to get lightweight and low vibration than stainless steel and aluminum alloy.

To make specimen, we used glass roving/roving cloth as reinforcements. Hybrid fabric with carbon and aramid fiber in order to protect from rub and impact of floating matter was also used for skeg part. We also used epoxy matrix YD115 which is good for increase fiber area weight, rub property and relatively lightweight and room temperature cure. Eventually, we did co-cure together with fermate as core material.

The resin having a relatively fast reaction was injected by a low pressure machine into the airtight mold, which is RTM(Resin Transfer Molding). For the airtight tooling, a silicon O-ring was used for around the injecting hole. In consideration of multiple functional structure as well as measure stability during second process, various small metallic jigs were also designed and co-cured to be stood up to over pressure properly.

Mold assembly, resin injecting and curing with circulation water at 80°C during 4hours were conducted. Heating time is suit for ideal combination between resin and glass fabrics, which was easy to release from the mold for from 4 to 6 hours. The released FRP body from the mold was finished by above procedure and continued to be coated and final assembly.

In conclusion, we developed FRP drive body for small boats to reduce weight, to protect vibration, to save production cost, to cut down maintenance charge, thus it became to have properties of higher resistance corrosion and longer lasting mileage than common metallic drives.

요 약

현재까지의 소형선박용 추진기는 주로 금속재료로써 제작된다. 주조공정, 기계가공, 표면연마, 도금 혹은 도장공정, 조립공정 등으로 진행되며 이러한 일련의 공정은 매우 정밀하며 많은 공정이 소요된다.

소형선박용 추진기를 금속을 대신하여 복합재료 중 고분자 수지를 매트릭스로 하는 FRP로 제작하고자 한다.

복합재료는 무게감소, 재료의 감쇠 특성, 진동 등을 쉽게 흡수하는 장점과 비강도와 비강성, 피로에 의한 저항력 그리고 특히, 해수에 의한 고내식성 등의 장점을 가지고 있다.

따라서 복합재료를 이용한 선박용 추진기 본체를 개발하여 현재 사용중인 스테레스, 알루미늄 합금보다 생산성이 용이하고, 기계적 성질 향상, 경량화, 저진동의 장점을 가지도록 하는 것을 목적으로 개발하였다.

실험에서 복합재료의 보강재로는 로빙사(유리로빙)와 로빙크로스를 사용하였고, 스케그(하부 지느러미)부분은 마찰과 부유물에 의한 충격으로부터 본체가 보호 될 수 있도록 탄소섬유와 아라미드섬유를 복합 크로스하여 사용하였다.

복합재료중의 수지는 유리섬유 등의 함유량을 높일 수 있고, 가볍고 마찰에도 강한 제품을 만들 수 있다는 장점 때문에 상온 경화용인 에폭시 수지(YD115)를 사용하였고, 일체형으로 성형하기 위하여 내부에 코어를 삽입하여 성형하였으며, 코어 재료로는 SUS계를 사용하였다.

성형법은 저압주입기를 사용해서 약간 반응성이 빠른 원료를

밀폐된 금형에 주입하여 금형 내부에 경화반응을 시킨 후 후경화 공정을 거치는 성형법(RTM)을 사용하였고, RTM성형에서는 수지 주입부 가장자리는 완벽한 수밀 구조를 위하여 실리콘 오링으로된 밀폐 구조로 제작되도록 하였으며, 각종 기능상의 구조를 위한 것과 2차 가공의 치수안정을 위하여 각종 금속 지그를 몰드속에 일체 성형되도록 하고 충분한 압력을 견디도록 견고하게 설계하였다.

성형은 몰드 결합 후 성형부에 레진을 채워 넣는 주입공정을 거친 후, 몰드를 온수순환으로 80℃의 온도에서 4시간 가열하여 레진을 경화시켰고, 가열시간은 레진과 직조유리섬유와의 결합력이 최고상태가 되는 것으로 가열시간4시간에서 6시간 사이에 탈형이 가능하도록 하였다.

몰드에서 탈형한 반제품 상태의 추진기를 마감공정을 거치고 그후 외부면에 도료를 도색하는 도장공정과 기계적인 조립후 완성시켰다.

이러한 과정으로 제작된 선박용추진기는 기존금속제품보다 경량, 고내식, 고연비, 저진동의 장점과 제조원가절감 및 사용자의 유지관리 비용이 저렴한 추진기를 개발하였다.

제 1 장 서론

소형 선박의 추진기는 추진축과 방향타가 일체로 제작되어 설치가 간단하고 고정축 추진방식보다 유체저항 측면에서 저항을 최소화시킨 것을 말한다.

선박은 프로펠러가 회전하여 전후진 한다. 그리고 방향을 조절하기 위하여 별도로 타(rudder)가 장착된다. 이러한 것은 선박마다 조금씩 차이를 가지고 있다. 제작 및 장착을 용이하게 하고 저항을 최소화하기 위해서는 유선형의 표면을 가져야 한다. 또한 프로펠러 후방에 방향타가 설치되기 때문에 저항과 진동 등의 문제가 발생하므로 기계적으로 매우 튼튼해야 할 필요가 있다.

지금까지 추진기는 일반적으로 금속으로 제작되었다. 금속으로 제작되는 추진기는 통상 주조공정, 기계가공, 표면연마, 도금 혹은 도장공정, 조립공정 등으로 진행되며, 기계가공은 보링머신, 밀링머신, 드릴링 등 고가의 장비를 사용하여야 하고, 대단히 정밀한 지그 등의 치공구를 사용하여야 한다. 이러한 일련의 공정은 매우 정밀하여야 하고, 정밀가공이 어려움에 따라 제조원가가 상승되는 문제를 지니고 있다.

소형선박용 추진기의 형태를 구분해 보면 다음과 같다.

먼저 축계추진기(shaft drive)는 엔진의 동력이 직선상으로 프로펠러에 동력을 전달할 수 있어 동력 손실을 최소로 할수 있는 장점이 있고 대형선박까지 광범위하

계 사용되는 가장 고전적인 추진 시스템이다. 본연구에서는 추진축 중간에 굴절 조인트를 장착하여 조타와 트림조절이 가능하도록 한 것이다.

그리고 Z 드라이브(Z drive)는 v엔진 회전력이 1개 또는 2개의 베벨기어를 거쳐 프로펠러에 동력을 전달하는 추진시스템으로 선미판에 장착되고 엔진이 선체후방으로 배치할 수 있기 때문에 넓은 갑판면적을 가질 수 있는 장점이 있다. 선외기, 스텐드라이브등이 이에 속한다.

워트제트는 엔진동력이 튜브속의 임페라를 고속으로 회전시켜 고압의 수류를 선미로 분사시켜 그 반작용으로 선박을 전진시키는 시스템으로 수면이 낮은 수역 항해용 선박에 주로 사용하며 개발된 추진기 중 가장 효율이 낮다.

상기 열거한 추진기 중에서 굴절조인트가 장착된 축계 추진기(shaft drive)는 그 편리성이나 성능이 월등함에도 불구하고 타 추진기에 비교하여 개발된 것이 세계적으로 3종에 불과하다. 현재까지는 선외기 (2사이클 가솔린기관)을 많이 사용하고 있으나 이것은 면세 유류 공급에 의한 것이 가장 큰 요인으로 작용하고 있다. 그러나 WTO체제에서 우리나라도 조만간 면세 유류 공급을 축소 .중지로 가게 될 것이다. 그 결과로 유류비절감과 환경친화적인 측면에서 4사이클 엔진이 장착되고 가격이 저렴한 축계 추진기 시스템의 경쟁력은 무한한 가능성을 가지고 있다고 사료된다.

또한, 추진기 시스템에 사용되는 금속의 취약점은 해수에 의

한 부식과 진동을 들 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 복합재료중 고분자 수지를 매트릭스로 함으로써 무게감소와 우수한 감쇄 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 이것을 기계구조에 이용하면 높은 고유 진동수를 얻을 수 있고, 외부의 힘에 의하여 발생하는 진동을 쉽게 흡수할 수 있으며, 비강도와 비강성 및 피로특성이 우수하고, 특히, 해수에 의한 고 내식성등의 많은 장점을 가질 수 있다.

본 연구는 RTM(Resin Transfer Molding)성형법과 첨단 복합재료를 이용한 선박용 추진기 본체를 개발하여 현재 사용중인 스테인리스, 알루미늄합금보다 생산성이 용이하고 기계적 성질 향상, 경량화, 저진동의 장점을 가지도록 하는 것이 목적이다.

제2장 실험방법

2.1 실험재료

본 실험에 사용된 보강재 및 그 특성은 Table 1과 같다. 유리섬유(S2-glass roving cloth)는 가격대비 훌륭한 강도를 가진 제품을 얻을 수 있으나 마찰과 부유물에 의한 충격으로부터 본체가 보호 되어야 하는 스키프(skeg)부분은 카본섬유와 아라미드(kevlar)섬유를 복합한 크로스(cloth)를 사용하였다.

Table 1 Kinds and properties of reinforcing fiber

	S2 Glass	Carbon fiber	Kevlar29
Manufacturer	Owens-Corning Fiberglass	HITCO	DuPont
Filament diameter(μm)	9.1	-	12
Density(g/cm^3)	2.46	1.8	1.44
Tensile modulus(GPa)	87	248	62
Tensile strength(MPa)	4585	3170	2758

본 연구에 사용할 수지를 비교해 본 결과 불포화 폴리에스테르의 단점으로는 과다 압축등으로 수지함량이 부족할 시는 급격한 강도저하를 일으키고, 적정한 시간내에 작업을 하지 않으면 안된다. 그리고, 비닐에스테르 수지는 폴리에스테르보다는 강도가 높으나, 가격대비 강도는 떨어진다. 에폭시 수지를 사용할 경우 불포화 폴리에스테르 수지의 단점을 보완할 수 있으나, 재료의 가격이 비싸다는 단점이 있다. 그러나 에폭시 수지 이외의 수지를 사용할 경우 제조 공정상에 경화를 위한 특별한 조치를 하여야 하는 단점이 있다.

에폭시 수지는 유리섬유 등의 보강재 함유량을 높일 수 있고, 가볍고 마찰에도 강한 제품을 만들 수 있다는 장점 때문에 상온 경화용인 에폭시 수지(YD115)를 사용하였다. 상온 경화용 에폭시 수지에 대한 특성을 Table 2에 나타내었다.

그리고, 일체형으로 성형하기 위하여 내부에 코어를 삽입하여 성형했으며, 코어재료로는 SUS 304계를 사용하였다. 코어의 형상은 Photo.1과 같다.

Table 2 Physical and mechanical properties of hardened epoxy resin

	YD 115/ HY 3326/ DY 062
Mixed ratio(parts by weight)	100/80/3
Viscosity(cps)	700 ~ 850 at 25°C 200 ~ 300 at 40°C
Pot life (40°C, hr)	20 ~ 22 at 40°C
Density (g/cm ³)	1.21
Tensile modulus (GPa)	3.3
Tensile strength (MPa)	83
Flexural strength (MPa)	127
Ultimate strain (%)	6.4
Poisson's ratio	0.35



Photo. 1 The stainless cores in drive body

2.2 특성 및 비교 평가방법

본 연구에서 제작될 추진기의 특성을 요약 해보면

복합재료를 이용하여 제작되기 때문에 유선형의 표면을 가져야 한다. 유체저항과 진동에 견딜 수 있는 기계적으로 매우 튼튼해야 할 필요가 있다. 비강도 비강성 및 피로 특성이 우수하고, 특히, 해수에 의한 고내식성등을 가져야 한다. 이 뿐만 아니라 생산성이 용이하고, 기계적 성질 향상, 경량화, 저진동의 장점을 가지도록 해야한다.

제작된 추진기의 평가방법은 외관 평가 및 기계적 특성 평가, 실선장착평가로 나누어 하기로 한다.

외관은 유체저항을 최소화시키고 기능상 문제점이 없어야 한다. 기계적 특성평가는 경량, 저진동, 비강성, 비강도 특성이 금속재료보다 우수해야한다. 실선장착 평가는 금속추진기와 복합재료로 제조된 추진기를 탑재하여 속도, 항속거리, 진동, 사용상의 문제점등을 평가하도록 하였다.

Table 3에 복합재료와 금속재료간의 기계적 성질을 비교한 것이다. 여기서 인장강도는 탄소강이 케블라/에폭시보다 3배정도 높으나 비강도면에서는 오히려 케블라/에폭시가 3배정도 높게 나타나고 있다.

Table 3 Physical and mechanical properties of metal and composite materials

	Al 5005	Stainless Steel 305	Carbon Steel	Composite Material		
				Glass/ Epoxy	Carbon / Epoxy	Kevlar/ Epoxy
Tensile Strength (kg/mm ²)	27	53	139	49	102	58
Specific Strength (10 ⁴ M)	1.0	0.7	1.8	2.7	6.4	4.4
Specific Elasticity (10 ⁴ M)	2.6	2.5	2.6	1.4	4.6	2.3
Compressive Strength (kg/mm ²)	-	-	-	51	64	47
Bending Strength (kg/mm ²)	-	-	-	53	70	53
Specific Gravity	2.69	7.85	7.80	1.80	1.59	1.33

제 3 장 실험결과 및 고찰

3.1 추진기 몸체의 설계 및 구조

본 추진기의 개발에서 어떻게 만들 것 인가도 중요하지만, 유체역학적인 기능을 충실히 하면서도 저항이 최소인 추진기를 설계하는 디자인 부분도 중요한 것이었다.

추진기는 선박의 부속품이나 그 기능에 의하여 선박의 성능에 결정적인 영향을 미치므로 선박성능의 결정요소에 대단히 중요한 부분이다. 유체역학적인 저항테스트를 인공적인 수조에서 테스트할 수 있는 방법이 있으나 비용과 시간이 엄청나게 소요되어 거의 실현 불가능하다.

본 연구에 사용된 설계는 먼저 어떤 모양으로 할 것인가를 기본적으로 결정하고, Photo.2의 형상으로 실선에 장착하여 성능과 유체저항에 대한 내구성 등을 테스트하여 단점을 면밀히 보완한 후, Photo.3과 같은 설계가 필요하였다. 이것을 실선에 장착하여 테스트한 후, 또 다른 문제점이 도출되어 최종형상인 Fig.1과 같이 설계하고, Photo.4의 형상으로 제작하였다.

본 추진기는 디젤엔진을 사용하는 것을 목표로 하였기 때문에 가솔린 기관에 비하여 40%이상 무거운 선체 자중으로 인해 필연적으로 선미트림이 발생한다. 처음에 설계된 모델로 제작된 Photo.2로 실선테스트해 본 결과, 선미트림이 매우 심하게 발생하여 전반적인 디자인 검토가 요구되었다. 그 대책으로 터널부를 가능하면 축소하여 부력의 증가가 필요하였고, 프로펠러 회전과 피치를 증가시키고, 직경이 작아져 속도 쪽으로 치중된 디자인을 하여 선체가 활주 상황에 들어갈 수 있는 선

형이 필요하게 되었다. 이렇게 처음 설계된 모델을 보완하여 다시 재 모델한 것이 Photo.3이다. 이것은 Photo.2보다 프로펠러 크기가 작아지고 터널의 크기도 작아졌으며, 추진기의 상하 높이가 전반적으로 작아진 모습을 볼 수 있다.

재 모델된 드라이브 몸체는 첫 번째 모델보다 매우 향상된 결과를 얻었으나, 터널에서 흘러나온 수류의 일부가 환류방지판 상부로 지나가면서 트림샙프트와 충돌하여 수류가 비산되어 저항 발생 요인으로 작용하였다. 그래서 환류방지판의 높이를 더 내릴 수 있으면 좋겠다는 발상에 착안하여 Fig.1과 같은 설계를 하게 되었다.

최종설계 모델인 Fig.1은 상기의 문제점들을 보완하기 위함이었다. 최적의 환류방지판의 높이를 찾아내기 위하여 가변 가능한 환류방지판을 부착하였으며, 10차례를 넘는 실선테스트를 하였고, 그 후 최적의 환류방지판이 부착된 Photo.4와 같은 제품을 생산할 수 있었다. 이 모델은 Photo.3의 모델에 비하여 환류방지판의 크기가 매우 축소되고 후방으로 밀려 나갔으며, 환류방지판의 상부에 트림 샙프트 상부로 비산되는 수류를 차단하기 위하여 이중의 판을 부착하였다.

본 연구의 추진기의 기능은 엔진으로부터 전달되는 동력이 동력 전달축(중간축)과 프로펠러 축을 통하여 프로펠러를 회전시켜서 선박이 추진할 수 있게 하는 것이다.

그 구조는 기존 금속 드라이브 본체에서의 베어링지지 부분인 코어부분은 금속(스테인리스)으로 제작하여 성형시 일체성형이 되도록 하였다. 이것은 추진기의 제작이 용이하게 이루어질 수 있게 하면서 복합재료의 단점을 보완할 수 있도록 하기 위한 것이다.

본 연구에서 사용된 추진기는 Fig.1의 그림과 같이 프로펠러 축이 끼워져 관통되는 중앙수평부(보스)의 상하에 수직연결판과 스케그가 중앙수평부(보스)와 일체로 형성하였다.

수직연결판의 상부에는 공기유입방지판이 수직연과 일체형으로 수평되게 형성되며, 공기유입방지판의 상부에는 실린더 로드단부가 핀 결합되는 실린더 설치구가 형성되어 있다. 드라이브 상하조절 장치의 결합부분인 실린더 설치구의 힌지 부분이 마찰, 진동, 내구성 향상을 위하여 나일론 패드가 삽입하여 일체 성형되도록 하였다.



Photo.2 The first design of drive body

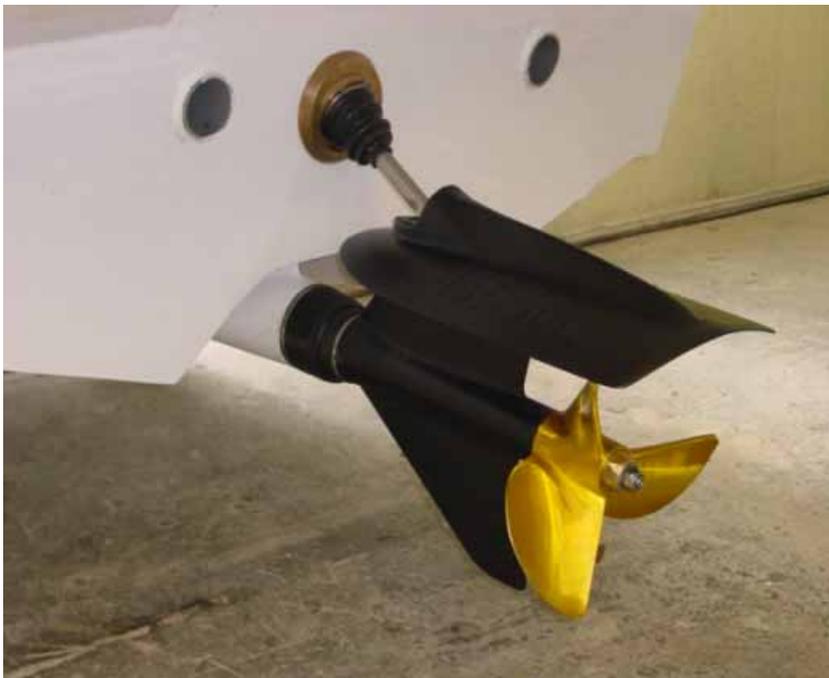


Photo.3 The second design of drive body



Photo.4 The last design of drive body

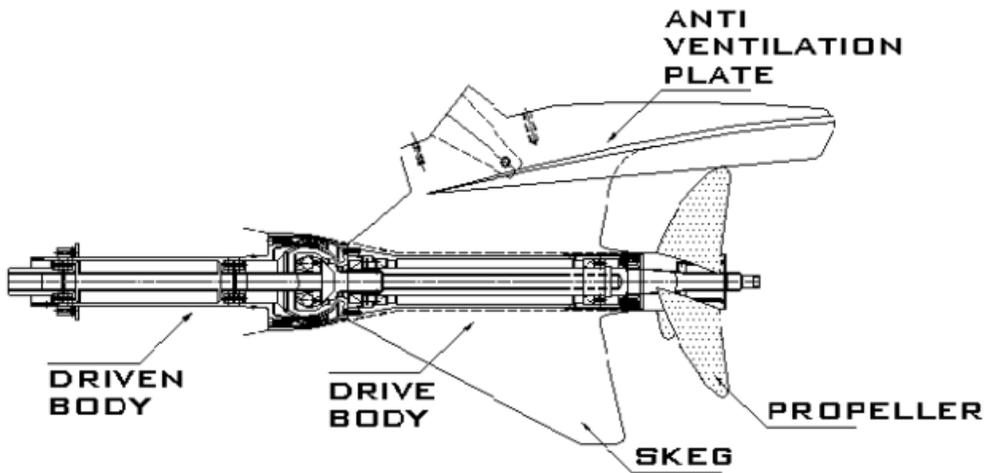
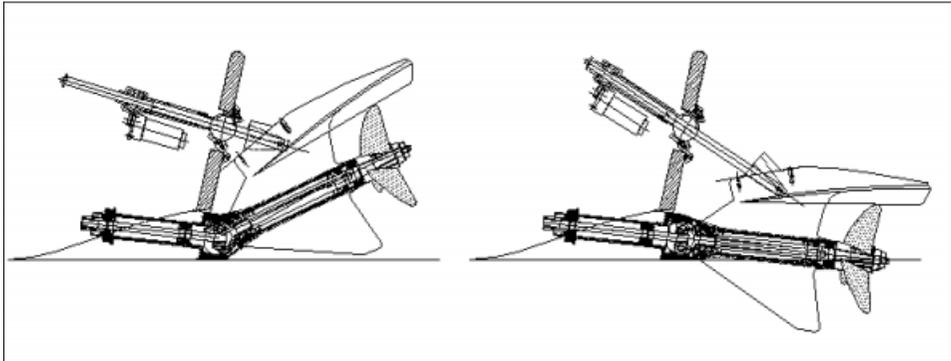


Fig.1 The structure design of drive body



(a) Assembly of drive body



(b) The picture of drive body up and down

Photo.5 The structure of drive body

3.2 성형공정 및 제작

본 실험 대상이 되는 드라이브는 3차원적으로 성형하기 때문에 상당히 복잡한 구조를 가진다. 따라서 다음과 같은 절대 조건을 설정했다.

1. 성형 후 결합방식은 진동에 의하여 분리될 수도 있으므로 일체형으로 성형 제작되어야 한다.
2. 에폭시 수지성형이 가능하여야 한다.
3. 에폭시 수지를 사용하므로 120℃ 이상의 온도에서도 변형이 적어야 한다.
4. 가격이 싸야 한다.
5. 성형수량은 1몰드에서 1일 1대 생산이 가능해야 한다.
6. 제품의 물성이 좋아야 한다.
7. 성형방법이 간단해야 한다.

위 조건을 만족하는 성형방법으로 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 RTM방식을 채택하여 사용하였다.

RTM성형법은 대형 GFRP 제품이나 소형의 제품을 동시에 다량 성형 할 때 사용하는 방법으로 female 금형과 male 금형 사이에 미리 보강섬유를 적층 시킨 다음 외부에서 압력을 가해 수지를 주입(함침)시킨 후 경화시켜 제품을 성형하는 방법을 말하는 것이다.

본 실험에서는 Fig.2의 방법으로 성형을 하였으며, 성형순서는 충분히 교반된 에폭시수지를 수지탱크에 넣고 밀폐시킨 후, 수지내의 기포를 제거하기 위해 진공펌프로 진공을 시켜 밀폐된 탱크내에 에어를 압력조절이 가능한 조절기를 통하여 적정

한 속도로 몰드에 주입시킨다.

주입이 끝나면 주입구를 폐쇄시키고 히터 속의 온수를 몰드 속으로 순환시켜 몰드 온도를 80도로 유지시킨다. 경화가 완료되면 몰드를 냉각시킨 다음 탈형하여 제품을 빼낸다.

Fig. 2는 성형방법을 나타낸다. Photo.6는 성형장비의 전체모습을 보여주고 있다. 성형의 순서는 아래의 성형방법으로 하였다.

가. Fig.2의 RTM성형 회로와 같이 먼저 교반기에 의하여 충분히 교반된 에폭시 수지를 수지탱크에 넣은 후 밸브를 잠구어 탱크를 밀폐시킨다.

나. 실험결과 수지 내부의 기포는 몰드의 온도 상승 때 팽창하여 제품에 공동률이 증가하는 원인이 되므로 진공펌프로 교반된 에폭시내의 기포를 제거시킨 다음 밸브를 잠근다.

다. 밀폐된 수지 탱크내에 공기압의 조절이 가능한 조절기를 사용하여 적정한 속도로 몰드에 주입시킨다.(공기압은 보강섬유의 함침 속도에 따라 조절되어야 하고 수지 점도에 의하여 영향을 받으므로 1 psi의 압력이 필요하였다.)

라. 주입이 끝나면 주입구를 폐쇄시키고 히터 속의 온수를 몰드 속으로 순환시켜 몰드 온도를 80℃로 유지시킨다. (수지를 상온경화형 에폭시를 사용하였으나 완전한 경화를 위하여 12시간 이상의 경화시간이 필요하였다.)

마. 경화가 완료되면 몰드를 냉각시킨 다음 탈형하여 제품을 빼낸다.

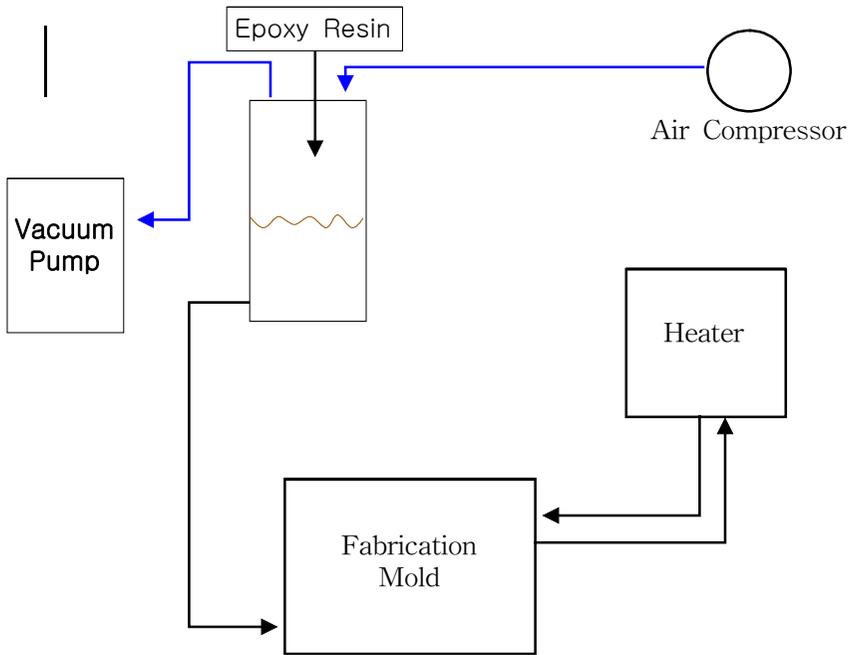


Fig.2 The manufacturing process of drive body for small boat



Photo.6 The manufacturing apparatus of drive body for the small boat

3.3 몰드의 설계 및 제작

몰드는 제품을 생산하는 데에 많은 영향을 미치므로 섬세한 주의를 필요로 하는 부분이다.

Photo.7의 (a)는 본 실험에 사용된 몰드의 옆면을 나타내며 실험에 사용된 RTM성형법은 Photo.7의 (b)와 같이 수지 주입부 가장자리는 완벽한 수밀구조를 위하여 실리콘 오링으로된 밀폐 구조로 제작되도록 하였다. 그리고 Photo.7의 (c)와 같이 각종 기능상의 구조를 위한 것과 2차 가공의 치수안정을 위하여 각종 금속 지그를 몰드속에 일체 성형되도록 하고 충분한 압력을 견디도록 견고하게 설계하였다. 이렇게 설계된 몰드의 개요도를 Fig.3에 나타내었다.

경화는 온수히터방식으로 상온 경화형 에폭시가 주입되는 몰드 내부에 온수(90℃ 이상)를 흘려보낼 수 있는 통로를 일체로 성형 되도록 하여 경화시간을 단축 시킬 수 있도록 하였다.

Fig.3과 같이 몰드 결합후 수지 주입구를 통하여 레진을 몰드 내부의 각각의 성형부에 레진을 채워 넣는 주입공정을 거친 후, 몰드를 온수순환으로 항온조절이 가능한 히터를 통하여 순환시킨다(사용된 수지가 상온경화형 에폭시이나 상온에서 완전히 경화하는데 걸리는 시간이 1주일 이상 소요되므로 가열을 하여 경화시킨다.). 이때 80℃의 온도에서 4시간 가열을 하여 경화시킨다.

만약, 가열온도 범위가 70℃ 이하의 온도로 가열할 경우에는 경화시간이 지연되어 생산성이 저하되는 문제가 있음에 따라 가열온도를 70~90℃의 온도 범위에서 경화시키는 것이 바람직하다. 이 온도 범위 이상으로 가열하면 에폭시 수지로 제작된 몰드가 손상되어 몰드의 수명이 단축되는 문제가 있다.

가열시간은 레진과 직조유리섬유와의 결합력이 최고상태가 되는 것으로 가열시간 3시간 30분 이하인 경우에는 경화가 제대로 이루어지지 않아 끈적끈적하고 무른 상태가 되고, 6시간 30분 보다 긴 경우에는 에폭시 수지로 된 몰드에 손상을 주어 몰드의 수명이 단축되는 문제가 있다.

Fig.4는 RTM공정에 의해 제작되는 추진기 몸체의 제작공정을 나타내며, 추진기 몸체 제작에 사용되는 몰드내부에 코어재료를 삽입한 후 80도의 온도로 4시간 가열후 몰드에서 탈형한다. 반제품 상태의 추진기에 형성된 버어를 핸드그라인더등의 절삭기계를 이용하여 버어를 제거한다.

실린더 설치구가 삽입된 수직연결관의 외측에서 수직연결관과 실린더 설치구의 말단부를 관통하는 핀구멍을 핸드드릴로서 관통 형성하는 마감공정을 거친다. 그 후 외부면에 도료를 도색하는 도장공정을 거쳐 완성시킨 것을 Photo.8의 (a)와 (b)에 나타내었다.

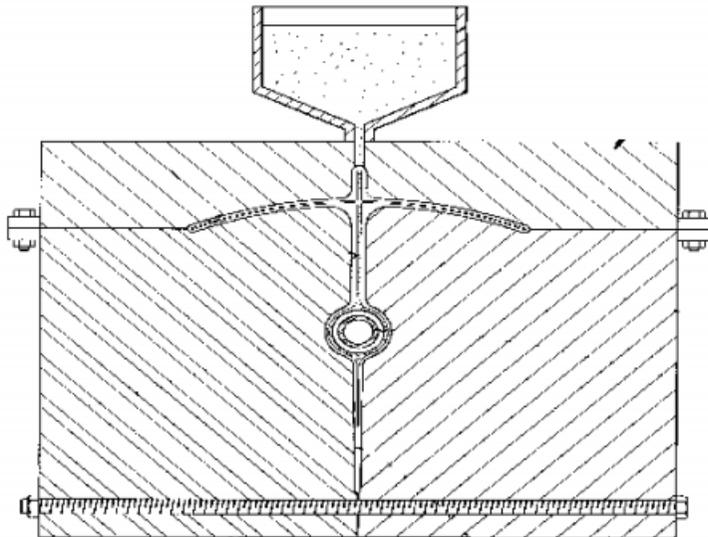
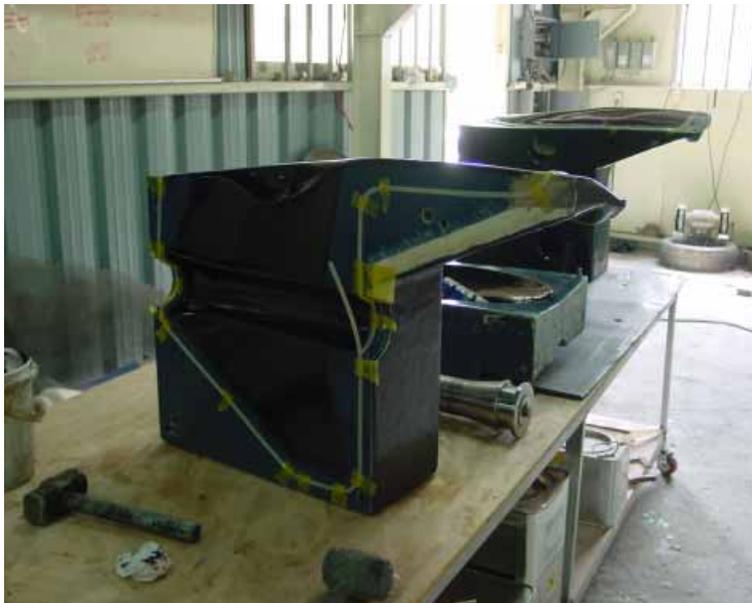


Fig.3 The outline of mold



(a) Manufacturing mold



(b) Packing installation for sealing

Photo.7-1 The manufacturing mold of drive body



(c) Installed pad and jig for combining cylinder

Photo.7-2 The manufacturing mold of drive body

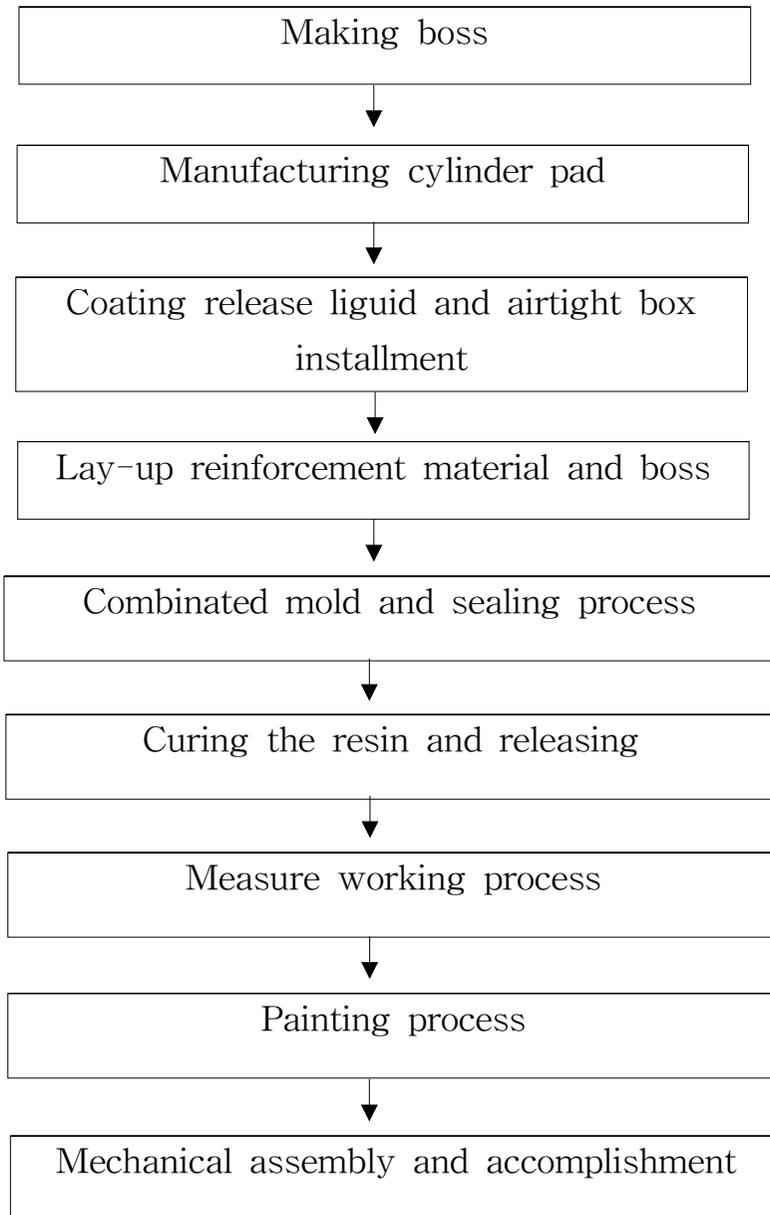


Fig.4 The procedure of the drive body fabrication for small boat



(a) Plane figure



(b) Under-side view

Photo.8 The finished product of drive body for small boat

3.4 외관검사

외관 및 성형상태는 제품의 품질 및 성능에 많은 영향을 미친다.

Photo.9부터 Photo.10까지는 추진기 몸체를 RTM성형법에 의해 제작된 상태를 보여주고 있다. 특히, Photo.10은 일체성형을 위하여 몰드내 삽입한 금속지그(boss)와 일체 성형된 모습을 보여주고 있으며, Photo.11은 금속지그와 추진기 몸체사이의 결합을 확인하기 위해 중앙부위를 절단한 모습을 나타내고 있다. 이것을 제작하기 위해 실험과정에서 많은 시행착오를 경험하였으며, 제조시 나타난 대표적인 결합들을 Photo.12에서 볼 수 있으며, 그 원인과 해결방안은 아래와 같다.

가. Photo.12의 (a) 그림은 미경화로 인한 균열을 보여주는 그림이다. 이것의 원인은 수지로 사용된 상온 경화용 에폭시에 열을 가하지 않았을 경우 48시간 정도 후 탈형하였을 때 나타나는 현상으로, 이것을 해결하기 위해 경화온도를 80℃로 5시간을 가열한 후 탈형함으로써 해결되었다. 이러한 공법으로 시공하여 생산성에 있어서도 기존에 48시간 걸리던 것이 4시간으로 단축되는 이점이 있었다.

나. Photo.12의 (b)와 (c) 그림은 내부 기포와 기포에 의한 표면결함

원인은 수지 탈포 작업을 충분히 하지 않았을 경우와 보강 유리섬유 속의 수분이 함침을 방해하여 특정부위에 몰려서 기포가 형성된다고 판단하였고, 이것을 해결하기 위해 진공펌프를 사용하여 탈포 작업을 하였다. 그리고 탈포 작업과정을 확인할 수 있도록 하기 위하여 투명호스를 별도로 설치하여 진행하였다. 확인한 결과, 4분 정도의 탈포 작업으로 수지속의 기포가 제거되었고 보강재도 건조실에서

30분 정도 건조한 후에 작업한 결과 불량이 해소되었다.

다. Photo.12의 (d) 그림은 수지의 미함침

그 원인으로서는 수지주입 속도가 함침 속도 보다 빠르고, 몰드의 간격이 좁아 수지가 함침 될 공간이 부족했으며, 보강재 배치, 설계 잘못 등으로 겹침이 과다하여 수지가 침투할 공간이 부족하다는 결론을 얻게 되었다. 이것의 해결방법으로 여러번의 실험을 거쳐 수지주입 속도의 압력을 조절하여 함침 속도와 수지주입 속도를 맞추었으며, 몰드사이의 간격이 좁아 공간이 부족한 문제에 대해서는 몰드 설계의 수정등의 보완에 의해 해결하였다.



Photo.9 The upper part of drive body on the manufacturing finished product



(a) Edge part



(b) Middle part

Photo.10 The shape of co-cure together with casing and drive body



Photo.11 The combination check to cut the middle part between boss and drive body



(a) Crack occurred under uncured condition



(b) Internal bubble

Photo.12-1 The occurred defect in manufacturing



(c) Surface defect by bubble



(d) Defect by resin starvation

Photo.12-2 The occurred defect in manufacturing

3.5 제작추진기의 특성평가

3.5.1 기계적 특성 평가

RTM 공정에 의해 완성된 소형선박용 추진기 몸체의 기계적 특성을 평가하기 위해 실체모형의 표면으로 시험편을 만들어서 인장시험, 굽힘시험, 압축시험을 하였다.

인장시험 및 굽힘시험의 경우는 KS M 3305-96규정에 의해 실시하였으며, 압축시험은 KS M 3015규정에 의해 행하였다.

1. 인장시험

KS M 3305-96규정에 의해 시험속도는 10mm/min으로 시험을 실시하였다. Table 4에 인장시험 결과를 나타내었으며, 최대 인장강도는 약 319MPa(32.5kg/mm²)로 나타났다. 이것은 Table 3의 알루미늄 5005 의 27kg/mm²보다 높은 수치를 나타내고 있다. 알루미늄 비중 2.7 과 복합재료의 비중 이 1.8-1.9인 것을 감안하면 높은 비강도를 가지는 것을 확인 할수 있었다.

Table 4 The result of tensile test

	Width (mm)	Thickness (mm)	Max Load (N)	Max Stress (MPa)
1	12.8	5.8	23,364	316
2	12.8	5.7	23,364	319
3	12.7	5.7	21,771	303
4	12.8	5.6	24,051	336
5	12.8	5.6	23,131	320
Mean	12.8	5.7	23,136	319



Photo.13 Tensile testing apparatus

2. 굽힘시험

KS M 3305-96규정에 의해 지간거리는 76mm이며, 시험속도는 3mm/min으로 시험을 실시하였다. 굽힘시험의 결과를 Table 5에 나타내었으며, 최대굽힘응력은 약 432MPa(44kg/mm²)이고, 영계수는 약 16GPa로 나타났다.

Table 5 The result of bending test

	Width (mm)	Thickness (mm)	Max Load (N)	Max Stress (MPa)	Young's modulus (GPa)
1	25.5	5.9	3,364	429	16.9
2	25.5	5.8	3,345	445	16.5
3	25.5	5.9	3,440	448	16.7
4	25.3	5.9	3,022	397	15.6
5	25.5	6.0	3,494	440	16.6
Mean	25.5	5.90	3,333.00	431.80	16.46

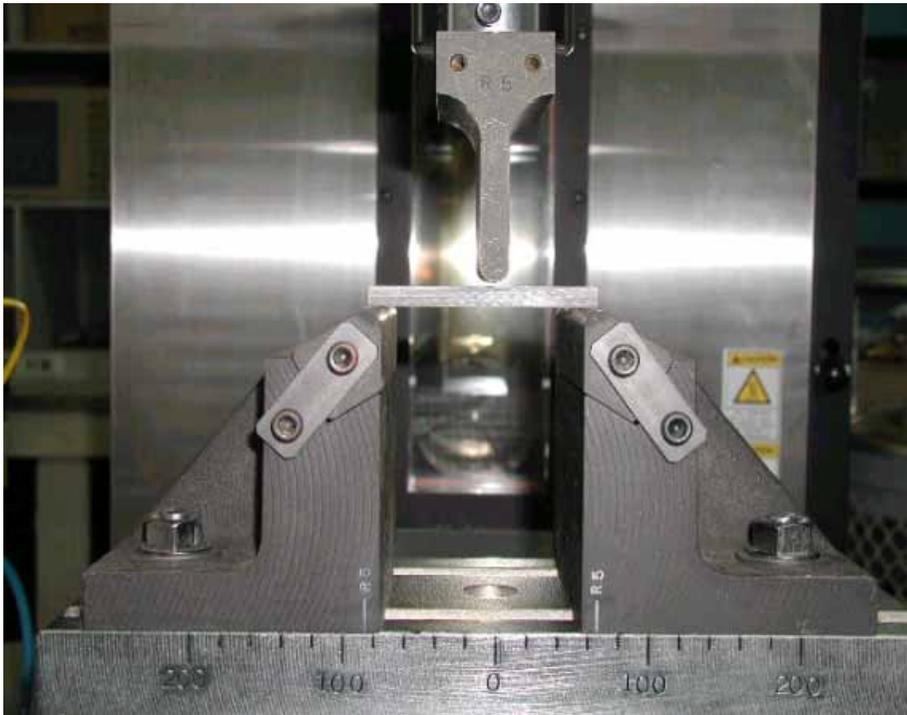


Photo.14 The figure of bending test

3. 압축시험

KS M 3015규정에 의해 시험속도를 2.0mm/min로 시험을 실시하였다. 압축시험의 결과를 Table 6에 나타내었으며, 여기에서 사용된 시험편의 크기는 폭이 약 13mm, 두께가 약 5.78mm인 시험편이며, 최대압축응력은 약 250MPa(25.5kg/mm²)이다.

Table 6 The result of compression test

	Width (mm)	Thickness (mm)	Max Load (N)	Max Stress (MPa)
1	13.0	5.8	19,429	256
2	13.0	5.7	18,137	244
3	13.0	5.8	18,855	251
4	13.0	5.8	19,259	250
5	13.0	5.7	18,236	249
Mean	13.00	5.8	18,783	250



Photo.15 Compression testing

3.5.2 실선장착평가

실선테스트를 위하여 본 추진기 장착용 실선을 Photo.16과 같이 제작하였다. 실선의 제원은 Table 7에 나타내었다.

실선 장착후 테스트에 의해 FRP용 추진기와 기존의 금속형 추진기를 비교한 데이터를 Table 8에 나타내었다.

Table 8에서 보는 것과 같이 무게 감소량이 기존의 금속형 보다 약 49%정도 감소하였고 연비는 2% 정도 상승하는 효과와 함께 2노트 정도의 속도증가를 가져왔다. 그리고 FRP라는 특수성 때문에 해수에서의 내식성 증가와 진동문제의 감소등의 장점을 보이고 있다.

Table 7 Specification of small boat

Items	Content
Length	7.9m
Width	2.2m
Depth	0.9m
Engine	135HP
Permissible torque of drive body	92kg·m



(a) Fabrication of boat body

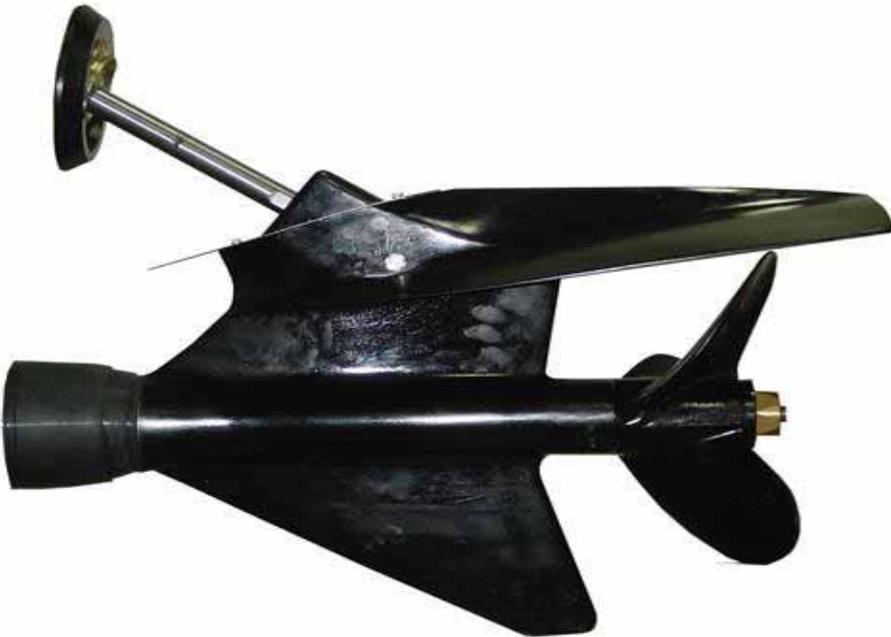


(b) Fabrication of tunnel part

Photo.16-1 The composite fabrication of a small boat



(c) Assembly between tunnel part and small boat body



(d) Installation in small boat

Photo.16-2 The composite fabrication of a small boat



Photo.17 Small boat equipped with FRP drive body for testing

Table 8 The comparison of characteristics with metal and FRP drive body

	Metallic drive body	FRP drive body
Weight (except propeller)	45kg	23kg
Wear corrosion	Corrosions occur in metal drive body rapidly (don't use zinc)	No corrosion
Mileage	-	It is possible that weight reduction and stream bend shaped body was increased approximate 2% of mileage
Velocity	24knot	26knot
Vibration	Absolute vibration by using the rubber bumper	The same ability of vibration absolution without the rubber bumper
Manufacturing cost	More complicated process and higher cost than composites	cost cut down about 40% compared with metal
Maintenance	high cost	low cost

제4장 결론

1. 기존의 스테인리스스틸 , 알루미늄합금으로 만들어진 소형 선박용 추진기를 첨단 복합재료에 의해 제작함으로써 생산성이 용이하고, 기계적 성질이 우수한 소형 선박용 추진기를 개발하는데 성공하였다.
2. 경화방법은 제작단가의 감소를 위해, 몰드내에 온수를 순환시키서 경화하는 방법을 채택했으며, 경화시간은 수차례에 걸친 시험과 80℃의 온도에서 4시간 가열하여 경화하였다. 그리고, 몰드에서 탈형한 반제품 상태의 추진기를 마감공정을 거치고 외부면에 도료를 도색하는 도장공정과 기계적인 조립후 완성시켰다.
3. 이러한 과정으로 제작된 선박용추진기는 기존금속제품보다 40%의 무게 감소효과를 가져왔다. 이런 무게감소는 여러 가지 효과를 얻을 수 있으며, 그 중에서 특히 연비의 상승을 들 수 있다. 연비의 상승은 연료절감과 항해시간연장 속도 증가 등의 효과를 얻었고 , 몰드에서 성형 생산되는 복합재료를 사용한 추진기는 미려한 곡선과 낮은 유체저항의 추진기를 설계제작 할 수 있었다.
4. 이것은 새로운 모델의 산업 디자인 부분에서 가능성을 열 수 있다고 생각되며, 저진동 및 캐비테이션 손상이 없는 고내식성의 추진기를 제작 할 수 있어 추진기의 수명연장 관리비용 절감 등의 효과를 가져올 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) 丹羽誠一, FRP船 建造技術舵社, 1981, pp.14
- (2) 村山宏, FRP 成形 加工技術 工業調査會, 1983, pp.146
- (3) 森本尙夫, FRP 成形的 實際 新高分子, 1984, pp. 139
- (4) 植村益次, FRP 設計便覽 (社) 強化 플라스틱 技術協會, 1980, pp.52
- (5) SARO社, SARO TUNNEL DRIVE SARO社, 1999,
- (6) 白石順一郎, 射出成形用 金形日刊 工業新聞社, 1986, pp. 221
- (7) (株)宇南마린, 小形船舶用 推進器 및 그制造 方法(特許) (株)宇南마린, 2001
- (8) 김영신의 4명, 복합재료, 반도출판사(1997)
- (9) E.E. Magat, Philos. Trans. R. Soc. London, A296, 463 (1980)
- (10) 김윤해, 한중원, 복합재료학, 효성출판사 (2001)
- (11) Andrew C. Marshall, Fourth Edition, Composite Basics (1994)
- (12) 이호성, 복합재료학, 광화문출판사 (1989)
- (13) 김성룡, John A. Nairn, 굽힘모드하에서의 코팅크랙킹의 분석Ⅱ, 복합재료학회, pp.48-57 (2000.6), 제13권, 제3호
- (14) 김병선, 황병선, 섬유강화 복합재료의 가공, 고분자 과학과 기술, pp.20-34(1999.2)
- (15) 이재락, 박수진, 고분자 복합재료용 매트릭스 수지의 발달 및 변화동향, 고분자 과학과 기술, pp.35-46(2000.6)
- (16) 박종래, 복합재료 보강용 고성능 섬유재료, 고분자 과학과 기술, pp.55-64(2000.6)

- (17) 주상건, 이인, 복합재료 구조물의 응력해석, 실험 및 파손 기준, 고분자 과학과 기술, pp.65-71(2000.6)
- (18) 최미애, 이미혜, 이기준, 이승중, 수지이동 성형공정중 금형충전에 대한 연구Ⅱ, 복합재료학회, pp.19-28(1998.4), 제11권, 제2호
- (19) 조기대, 한재홍, 이인, 점탄성 재료로 구속 감쇠 처리된 복합 적층판의 진동 및 감쇠 해석, 복합재료학회, pp.38-47 (1998.10), 제11권, 제5호
- (20) 최낙삼, 서지웅, 유리직물/에폭시 복합재료 보의 내부구조와 충격굽힘진동특성, 복합재료학회, pp.48-55 (1998.10), 제11권, 제5호
- (21) 강문구, 이우일, 이재원, 이종석, ARTM 공정 중의 수지 유동 해석에 관한 연구, 복합재료학회, pp.1-10 (1995.12) 제8권, 제4호

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 지도와 관심을 가지고 지켜봐 주신 김윤해 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 또한 바쁘신 와중에도 더욱 좋은 논문이 될 수 있도록 심사해주신 남청도 교수님과 이명훈 교수님께 진심으로 감사합니다.

본 추진기를 제작하면서 의 애로점은 추진기에 대한 자료가 국내외로 매우 빈약하다는(메이커의 노하우)점을 통감하였다. 특히 재료부분 .생산기술. 디자인 유체역학 .플로펠러의 설계. 선박의 저항 추진기의 저항 과 완성된 선박의 활주상황에서의 저항 등의 여러 분야의 기술이 복합되어야만 하는 연구였으나 앞으로 더 좋은 추진기제작을 위하여서는 여러 분야의 사람들이 공동으로 연구해야할 과제가 남게되었다.

끝으로 본 연구를 위하여 물심양면 도와주신 기계시스템공학과 김윤해 교수님을 비롯하여 복합재료공학과 연구실의 송영준 엄수현 그 밖의 연구원들과 조선공학과 현범수 교수님 서울대학교 조선공학과 서정천 교수님께 이 지면을 통하여 감사의 말씀을 올립니다.