

# 수상 자전거의 동력전달장치 설계

최정규<sup>1</sup>·김형태<sup>1,†</sup>  
충남대학교 선박해양공학과<sup>1</sup>

## A Design of Power Transmission System of a Water Bike

Jung-Kyu Choi<sup>1</sup>·Hyoung-Tae Kim<sup>1,†</sup>  
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National University<sup>1</sup>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The power transmission system has always been considered critical for a human powered boat(or water bike) since it first showed up at Human Powered Vessel Festival. Mechanical problems, such as abrasions and other damages of the gear system for the power transmission, lead to poor durability and low efficiency of a boat. This paper described mechanical problems and a design process of power transmission system and then suggested the method to solve the problems. It is selected a module and a type of gears that are structurally stable thus can transmit the power durable. Especially the lower gear box is applied to CRP(contra rotating propeller) system for improving the structural stability and the propeller efficiency as well. As the results, the upper and lower gear box are designed and manufactured. And from the trial test, it is confirmed that the power transmission system is reliable.

**Keywords** : Water bike(수상 자전거), Human powered boat(인력선), Power delivery(동력전달), Contra Rotating Propeller(CRP, 상호반전 프로펠러), Gear box(기어박스), Gear module(기어모듈)

## 1. 서론

1999년 인력선 축제가 개최되면서 국내 최초로 조선공학기술을 적용하여 설계, 제작된 수상 자전거가 등장하였고, 이후 주로 속도 성능을 중심으로 기술적 발전이 꾸준히 이루어져 인력선-슬라보트 행사 10주년을 맞은 2008년에는 국내의 수상 자전거 기술이 국제적으로도 손색이 없는 수준에 도달하게 되었다(Kim & Choi, 2008). 현재까지 속도 성능이 우수한 인력 수중익선이 레이스에서 두각을 나타내고 있으며, 국내 최고기록으로 100m 평균속도 7.73m/s를 기록한 바 있다(Kim, et al., 2009).

인력선에 관한 국내 연구는 주로 수중익선에 관한 연구로서 수중익 설계에 관한 연구(Ha, et al., 2003), 제작에 관한 연구(Min, et al., 2004), 인력 수중익선의 안정성에 대한 연구(Choi & Kim, 2009) 등이 있으나 아직까지 매우 부족한 실정이다. 이러한 상황에서도 최근에 인력선의 상용화를 위해 중소기업진흥공단의 지원 과제가 수행되어 운반이 쉽고, 저렴하며, 쉽게 즐길 수 있는 수상 자전거가 보급되고(중소기업진흥공단, 친환경 EPP 소재 이용 자동차 수납가능 접이식 수상 자전거 개발) 있어서 향후 관련 연구가 활발해질 것으로 기대된다. 한편 인력선(human powered boat)은 수상 자전거(water bike)라고도 불리며, 본 논문 이하에서는 더 보편적 용어인 수상 자전거를 사용하였다.

수상 자전거의 설계기술은 크게 선체, 추진기 그리고 스트럿

등의 유체성과 페달, 체인, 기어박스, 연결축 등으로 구성되는 동력전달장치의 고효율과 내구성을 구현하는 설계기술로 구분할 수 있다. 전자는 조선공학 이론과 기술의 범주에 속하며, 상당히 높은 수준의 이론과 기술을 활용하여 구현이 가능한 반면에, 후자인 동력전달장치는 신뢰할 수 있는 기준이나 표준으로 삼을 수 있는 방법이 없는 실정이다. 특히, 동력전달장치의 기어 마모 및 손상 등의 기계적인 문제는 지속적인 개선이 필요한 상황이다.

본 논문에서는 수상 자전거 동력전달장치의 기계적 문제를 해결할 목적으로, 상하부 기어박스를 설계하는 일련의 과정을 제시하고, 수중익 수상 자전거를 대상으로 이 방법을 적용하여 동력전달장치를 제작, 구현함으로써 제시한 수상 자전거의 동력전달장치 설계의 타당성을 검증하고자 한다.

## 2. 설계 주안점

수상 자전거는 육상 자전거와 같이 페달 밟기로 시작된 동력을 1차적으로 스프리켓과 체인을 통해 기어로 전달하고, 2차적으로 축을 통해 추진기에 동력을 전달한다. 통상, 이러한 동력전달 방식에서는 동력 축의 방향을 직각방향으로 두 번 변화시켜야 하고, 동력전달 방향의 변환을 위해서 기어를 사용하며, 상부기어박스(upper gear box)와 하부기어박스(lower gear box)를 축으로 연결하여 상부에서 하부로 동력을 전달한다(Fig.1).

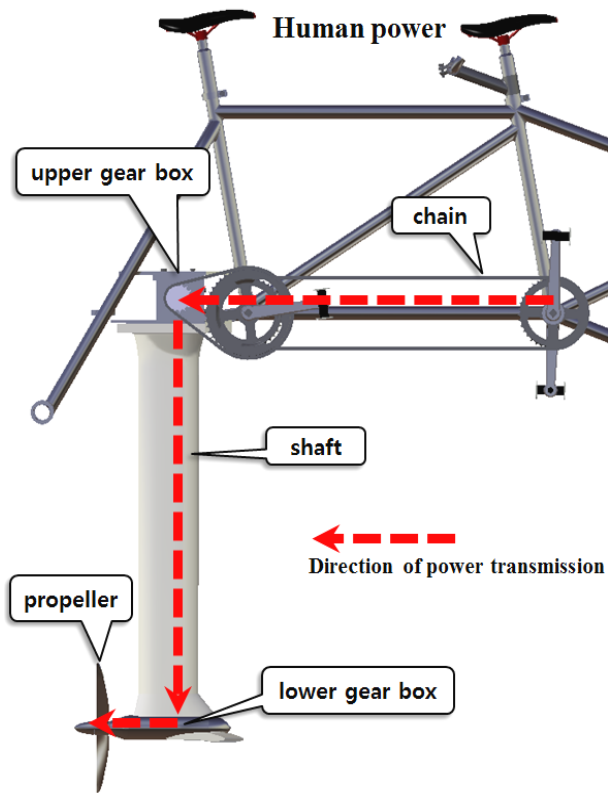


Fig. 1 Power transmission system of a water bike

체인을 이용하는 1차 동력전달 기구는 육상 자전거와 동일하여 비교적 안정되고 신뢰성이 높은 편이지만, 기어를 이용하는 2차 동력전달 기구에서는 기어와 피니언 혹은 각 기어 조합 간의 정렬이 정확하지 않으면 기어 효율이 떨어져서 동일한 추진력을 내기 위해서 더 많은 동력이 필요하고, 기어에 마모와 손상이 발생한다. 심한 경우에는 기어가 파손되고, 무리하게 힘을 가하면 페달이나 체인, 축 등 다른 부분에서 문제가 일어나기도 한다. 특히, 수중의 수상 자전거의 경우에는 구조적 특성상 상부와 하부 기어박스 사이의 거리가 멀기 때문에 상·하부기어박스 및 축의 배치와 정렬이 더욱 정밀하고 안정되며 신뢰성 높게 이루어져야 한다. 또한 상하부 기어 연결축의 원활한 회전을 위해서는 축을 감싸고 지지하는 긴 스트럿의 구조 강도와 강성이 충분해야 하고, 베어링의 배치도 적절해야 한다.

한편, 직각방향으로 동력전달 방향을 변화시키기 위해서 기어를 사용하게 되는데, 기어의 조합에는 보통 베벨기어가 많이 사용된다. 기어는 기어 이물림, 허용오차 등이 정밀하도록 설계 및 제작하지 않으면 기어 강도에 문제가 발생할 소지가 많다. 특히, 물속에서 프로펠러를 작동시켜야 하는 수상 자전거는 기어박스의 크기를 작게 만들면서도 비교적 큰 토크를 전달해야하므로 기어 강도에 대한 세심한 고려가 요구된다.

상기에 언급한 동력전달장치의 문제는 통상 복합적으로 발생하기 때문에 그 원인을 정확히 분리하여 찾기가 어려우며, 실제로 인력선-솔라보트 축제에 참가하는 대다수의 팀들은 이 부분에서 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 동력전달장치의 파손이나

실패의 대부분은 기어 및 축의 작동과 관련되어 발생하고 있고, 기어의 선택과 설계 및 제작은 동력전달 효율에 큰 영향을 주며, 기어의 마모와 수명에도 관련이 깊다.

### 3. 동력전달장치 설계

#### 3.1 수상 자전거 주요제원

최근 수년간 인력선-솔라보트 축제에 참가하고 있는 충남대 수상 자전거인 Episode를 대상으로 기어박스의 설계 및 제작 과정을 기술하고자 한다. Episode는 2인승 수중의 수상 자전거이며, 그 주요제원은 Table 1에 나타내었다. 자전거형이므로 탑승자의 중심 위치가 높아 GM이 작기 때문에, 초기 안정성을 고려하여 쌍동선형을 채택하고 있다. 중량은 탑승자의 예상체중을 포함한 것이며, 스트럿 길이는 수중의 항주 시의 이수 높이를 고려하여 설계된 것이다. 속도는 배수 상태 항주의 설계 속도로서, 배수 상태 항주로부터 선체가 완전히 부양하기 직전에 가장 큰 동력이 소요되므로 이를 고려하였다.

Table 1 Principal dimensions of water bike

| Ship name : Episode   |       |                        |       |
|---|-------|------------------------|-------|
| Ship type : Human powered boat(or water bike)<br>(Catamaran, Hydro foil boat) |       |                        |       |
| Weight  | 160kg | Strut length           | 0.8m  |
| Lpp   | 4.5m  | $C_b$                  | 0.5   |
| B(breadth)  | 0.35m | Distance between hulls | 1.6m  |
| T(depth)  | 0.16m | Frame Length           | 2.6m  |
| d(draft)  | 0.13m | Frame Breadth          | 1.6m  |
| Speed   | 3m/s  | Frame height           | 0.65m |

#### 3.2 수상 자전거의 동력추정

기어에 작용하는 힘을 구하기 위해 기어가 전달해야 하는 전달 하중을 구해야 하며, 이를 위해 본 수상 자전거의 저항을 추정하였다. 저항은 마찰저항과 잉여저항 그리고 부가물 저항의 합으로 나타낼 수 있는데, 마찰저항은 ITTC 1957 마찰공식 (Lewis, 1988)으로부터 구하고, 잉여저항은 유사선의 실험 자료로부터 간단하여 구하였다 (Faltinsen, 2005). 날개 및 스트럿 등 부가물의 저항은 약산식 (Hoerner, 1965)을 사용하여 추정하였으며, 총 저항으로부터 유효마력(EHP)을 얻었다. 페달로부터 프로펠러 바로 앞의 축까지 체인, 기어, 축 등으로 연결되어 동력을 전달하는 각 부분의 동력전달 효율을 추정하고, 프로펠러 효율이 고려된 전체 효율을 구하여 제동마력(BHP)을 계산하였다. 유효마력과 제동마력은 다음 식과 같이 계산하였으며,  $\eta_t$ 는 전체 효율이다.

$$EHP = \frac{R \cdot V}{735.5} \text{ (PS)} \quad (1)$$

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_t} \text{ (PS)} \quad (2)$$

본 연구의 대상인 수중익 수상 자전거는 앞쪽 페달에서 뒤쪽 페달, 뒤쪽 페달에서 상부기어박스까지 각각 체인으로 연결되며, 상부와 하부의 기어박스에서는 기어조합 그리고 상하부 기어박스 사이는 축 연결로 이루어진다. 또 기어 하나당 2개의 베어링을 배치하여 총 10개의 베어링과 기어, 체인, 축 등 각 부품의 전달 효율 그리고 프로펠러의 효율을 곱하여 전체 효율을 구하였다. 각 부품들의 효율은 자료 확보가 용이하지 않아 일반적으로 알려진 값을 사용하였다(Table 2). 여기서 프로펠러 효율은 수상 자전거에서 사용하는 2익 프로펠러의 자료 (Schmidt, 1999; Witt, 1997; Yanagihara, et al., 1994; Schmidt, 1985; Larrabee, 1984)를 참고하여 0.7로 가정하였다. Table 2에는 각 부품들의 동력전달 효율과 이로부터 도출된 전 효율을 나타내었으며, 이를 토대로 제동마력(BHP)을 추정하였다(Table 3).

Table 2 Efficiency of parts

|           |      |                  |      |
|-----------|------|------------------|------|
| Propeller | 0.70 | Chain            | 0.98 |
| Gear set  | 0.79 | Shaft            | 0.99 |
| Bearing   | 0.90 | Total efficiency | 0.48 |

Table 3 Power estimation

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| Resistance(N)             | 121.74 |
| Effective horse power(PS) | 0.496  |
| Break horse power(PS)     | 1.030  |

### 3.3 기어 설계 개요

수상 자전거의 기어박스 설계에서 고려해야 할 점으로는

- 높은 동력전달 효율
- 동력전달을 원하는 방향으로 변환
- 원하는 동력을 전달할 수 있는 강도 확보
- 원하는 회전수 비를 가진 기어조합
- 쉬운 유지보수

등이 있다.

이러한 고려사항을 만족하기 위해 먼저 높은 전달효율을 가지며, 동력전달 방향을 직각으로 변화시킬 수 있고, 원하는 회전수

비를 얻을 수 있는 베벨기어를 선택하였다. 동력전달효율 및 조립 오차 등의 관점에서는 기어의 물림률(contact ratio)이 중요한 요소로서, 물림률은 한 쌍의 이가 물리기 시작한 점에서 끝나는 점까지의 거리(물림길이)를 법선피치로 나눈 값이다. 물림률 값이 클수록 동시에 물리는 톱니수가 많아져서 기어 톱니 당 전달하중이 분산되어 톱니 형상이나 피치에 다소 오차가 있어도 전후의 톱니에 의해 보완되어 회전이 원활하며, 동력전달 효율이 높고, 마모가 적은 이점이 있다. 따라서 일반 베벨기어보다 물림률이 커서 효율이나 내구성 면에서 우수하며, 허용오차가 비교적 커서 유지, 보수에도 이점이 있는 스파이럴 베벨기어를 선택하였다.

한편 원하는 동력을 전달할 수 있는 강도를 가지도록 적절한 크기의 기어를 결정해야 하는데, 이를 위해 기어의 크기와 관계된 값인 모듈을 기준으로 사용한다. 모듈(M)은 미터법에 의한 기어 치형(齒形)의 크기를 나타내며 기어의 직경과 톱니수의 비로서 다음 식 (3)과 같이 정의한다.

$$M = \frac{D}{Z}(m) \quad D : \text{기어의 직경}, Z : \text{톱니수} \quad (3)$$

기어의 경우 전달하중에 대해서 충분한 면압강도를 가져야 한다. 이는 기어의 파손 및 마모에 상당한 영향을 주므로 기어의 크기와 전달하중 사이의 관계로부터 본 수상 자전거의 전달하중 만족 여부를 확인할 수 있다. 베벨기어에서의 면압강도(P)는 미국 AGMA (American Gear Manufacture's Association)에서 제시한 식 (4)로 계산할 수 있다 (Lee, 1998). 또한 면압강도로부터 전달 동력(W)을 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$P = 16.4b \sqrt{D} f_m f_s = 16.4b \sqrt{MZ} f_m f_s \quad (N) \quad (4)$$

$$W = \frac{Pv}{735.5} \quad (PS) \quad (5)$$

$b$ (mm) : 이 너비(치폭齒幅, face width)

$D$ (mm) : 기어의 피치원지름

$f_m$  : 재료에 대한 계수

$f_s$  : 사용기계에 대한 계수

$v$  : 피치원주속도(m/s)

여기서  $f_m, f_s$ 는 각각 재료 및 사용기계에 대한 계수로서  $f_m$ 은 기어 및 피니언의 재료에 의해,  $f_s$ 는 사용기계에 의해 결정되며, 미국 AGMA가 제공하는 계수표에 의해 결정되는 값이다 (Lee, 1998). 본 논문에서 재료계수는 기어와 피니언 모두 표면 경화 침탄강을 선택하여 1로 사용하였고, 기계계수는 기어박스로서 1을 사용하였다. 이 너비는 보통 원추거리의 1/3 ~ 1/4배를 사용하나 본 수상 자전거에서 사용되는 작은 기어의 기성품에서 일반적으로 사용되는 15mm를 택하였다. 또한 피치 원주 속도는

$\pi \cdot D \cdot RPS_{gear}$ 로 구할 수 있으며, 사람이 페달을 1초에 평균 약 1바퀴 구를수 있으므로 페달이 도는 초당 회전수에 체인 비(1 : 3) 및 기어비를 곱하여  $RPS_{gear}$ 를 구하였다. 기어비의 경우 페달에서 체인으로 연결된 상부기어박스는 1 : 3이며, 상부 기어박스에서 축으로 연결되고 프로펠러를 구동하는 하부기어박스는 1 : 1이다. 각 기어박스는 기어 크기와 작동하는 위치가 다르고 비교적 먼 거리에 위치하지만 축으로 연결되어 있어서 상부에서 하부기어박스로 동력이 직접 전달되기 때문에 각 기어박스에 같은 동력이 작용한다고 가정하였으며, 동력은 앞서 추정한 제동동력을 사용하였다.

한편 사람의 힘은 불규칙하고, 때에 따라서 갑자기 큰 하중이 발생할 수도 있기 때문에 전달해야할 동력보다 더 큰 동력에서도 충분한 기어 강도가 보장되어야 한다. 특히 기어비가 1 : 3인 상부기어박스의 경우에는 기어(구동기어)보다 피니언(피동기어)의 크기가 작기 때문에 피니언에 더 큰 하중이 작용한다. 따라서 다음 식 (6)과 같이 전달동력에 안전계수를 적용하였으며, 기어의 최대 전달동력이 허용동력보다 작도록 기어의 크기를 선택하여 충분한 강도를 확보할 수 있다. 본 논문에서는 안전계수를 상·하부 기어박스 모두 1.5를 적용하였으며, 이를 토대로 상·하부 기어박스를 설계하였다.

$$\text{허용동력} = \text{제동동력} \times \text{안전계수} \quad (6)$$

### 3.4 기어박스의 설계 및 제작

기어박스는 모든 부품이 분해 및 조립이 가능하도록 하여 후에 있을 수 있는 부품 교환이 용이하도록 설계하였다. 또한 상·하부기어박스가 각각 독립적으로 탈부착 할 수 있도록 설계하였는데, 이는 각 기어박스 사이의 거리가 길기 때문에 연결 축 정렬을 조립 시에 함으로써 축의 어긋남을 보정하여 효율 감소를 피하기 위한 것이다. 기어 하나당 최소 2개의 베어링을 사용하고, 베어링 고정을 견고하게 하여 회전축 및 기어가 원활하게 회전하도록 하였다.

#### 3.4.1 상부기어박스

상부기어박스는 기어비가 1 : 3이므로 톱니수는 45 : 15를 기준으로 검토하였다. 기어와 피니언의 크기가 달라서 각각에 작용할 수 있는 최대동력은 다르지만 모두 허용동력을 만족해야 하므로 이를 통해 허용동력을 만족하는 최소모듈을 도출할 수 있다.

Fig. 2에는 상부기어박스의 기어와 피니언의 모듈에 따른 최대 동력을 나타내었고, 허용동력과 비교하였다. 기어의 경우 모듈 1.5에서도 허용동력을 만족하지만 피니언은 만족하지 않으므로 기어와 피니언 모두 만족하는 최소모듈 2를 선택하였고, 기어 및 피니언의 주요 제원을 Table 4에 나타내었다.

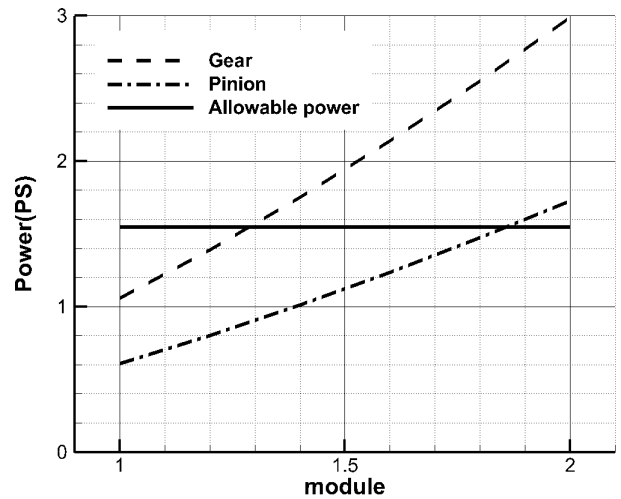


Fig. 2 Delivery power of the gear and the pinion according to module for upper gear box

Table 4 Particular characteristics of upper gear box

| Kind                            | Spiral bevel |        |
|---------------------------------|--------------|--------|
| Material Number                 | SCM21        |        |
| Module(m)                       | 2            |        |
|                                 | Gear         | Pinion |
| Number of teeth                 | 45           | 15     |
| RPM                             | 200          | 600    |
| Gear ratio                      | 3            |        |
| Pitch diameter(mm)              | 90           | 30     |
| Teeth width(mm)                 | 15           |        |
| Material coefficient            | 1            |        |
| Machinery coefficient           | 1            |        |
| Total force on teeth surface(N) | 2333.8       | 1347.4 |
| Power(PS)                       | 2.989        | 1.726  |

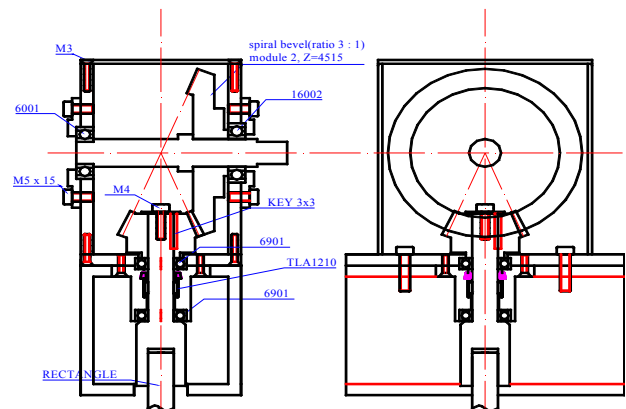


Fig. 3 Drawing of upper gear box



Fig. 4 Photograph of upper gear box

한편 상부기어박스는 페달에서 오는 힘을 체인으로 전달받아 연직 하방으로 동력을 전달하므로 불규칙적인 사람의 동력이 그대로 전달된다. 따라서 상부기어박스의 하우징(housing)은 견고한 구조여야 하는데, 기어와 피니언 사이의 조립거리는 기어가 파손되지 않고 효율적으로 작동하기 위해서 매우 중요하므로 하우징은 될 수 있는 한 분해하지 않는 것이 구조를 견고하게 유지할 수 있다. 또한 그리스(grease) 주입, 기어 손상확인 등의 작업을 제외하고, 부득이한 경우가 아니면 완전분해 하지 않는 것이 더 효율적으로 유지 관리 하는 방법이므로 축을 잡아 주는 외판들의 경우 볼트를 많이 사용하여 각 외판사이의 상대적인 거리를 견고하게 유지하도록 하였다. 이러한 내용을 토대로 상부기어박스를 설계하였으며, Fig. 3에 나타내었다.

기어는 축에 연결되고 축에는 베어링을 사용하였다. 베어링의 고정을 위해 소켓을 사용하고, 소켓은 하우징에 볼트로 고정되는데, 이는 혹시 있을지 모르는 기어 및 축의 제작 오차에 의한 조립거리 오차를 베어링 소켓에 와셔(washer)를 넣어 보정하기 위한 것이다. 이러한 설계를 토대로 실제 상부기어박스를 제작하였으며(Fig. 4), 제작 결과 기어의 원활한 회전을 얻을 수 있었고, 소음도 비교적 작게 나타났다.

### 3.4.2 하부기어박스

하부기어박스는 기어와 피니언의 회전수비가 같기 때문에 각각에 같은 힘이 작용한다. Fig. 5에는 기어에 작용하는 최대하중을 모듈에 따라 나타내었으며, 허용동력과 비교하였다. 모듈 1.5가 허용동력을 만족하는 최소 모듈로 나타나고 있으며, 하부기어박스가 물속에서 작동한다는 점을 고려할 때 모듈 2는 기어 직경 때문에 기어박스의 크기가 커질 수 있으므로 유체역학적 관점에서 불리하다고 판단하고 최종적으로 모듈 1.5로 결정하였다.

하부기어박스의 기어 주요제원을 Table 5에 나타내었다. 하부기어박스는 상부에서 수직으로 전달된 힘을 수평방향으로 바꾸어 프로펠러를 구동하는 역할을 하며, 항상 물속에서 작동을 하게 된다. 물속에서 작동하는 기어박스의 방수처리는 가능하긴 하지

만 매우 어려우므로 하부기어박스의 부품들은 녹이 슬지 않는 재료를 사용해야 한다. 또한 완전한 분해 및 조립이 가능하여 주행 후에 있을지 모르는 이물질 제거하고, 기어 및 축의 상태를 항상 확인하는 것이 바람직하다. 따라서 설계는 모든 부품이 분해, 조립이 가능하도록 설계하였다.

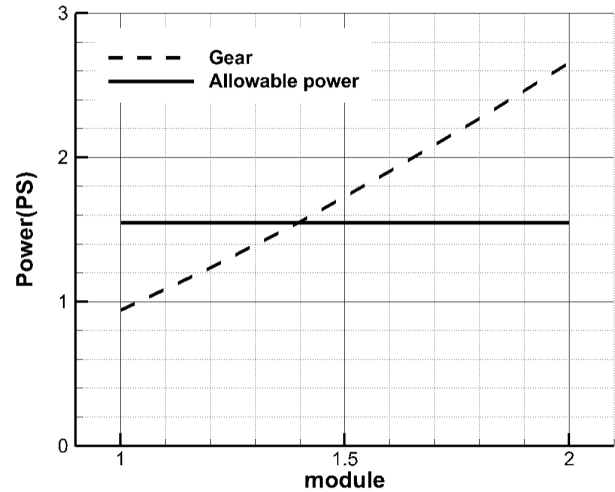


Fig. 5 Delivery power of the gear according to module for lower gear box

Table 5 Particular characteristics of lower gear box

| Kind                            | Spiral bevel |
|---------------------------------|--------------|
| Material Number                 | SCM21        |
| Module(m)                       | 1.5          |
| Number of teeth                 | 20           |
| RPM                             | 600          |
| Pitch diameter(mm)              | 30           |
| Teeth width(mm)                 | 15           |
| Material coefficient            | 1            |
| Machinery coefficient           | 1            |
| Total force on teeth surface(N) | 1347.4       |
| Power(PS)                       | 1.726        |

한편, 하부기어박스의 기어는 허용동력을 만족하는 모듈을 선택하였지만 상부기어박스에 비해 모듈이 작고, 토크에 의한 하중뿐 아니라 추력에 의한 하중도 복합적으로 작용하기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 일반 프로펠러를 장착할 경우 Fig. 6에 보인 바와 같이 두개의 기어가 맞물려 있어서 회전에 의한 기어와 피니언 사이의 면압력( $F_{AB}$ )이 작용하고, 기어 치면(齒面)간의 힘에 의한 연직상방향( $F_{AG}$ ) 및 수평방향( $F_{AT}$ ) 하중과 프로펠러 추력에 의한 하중이 작용하게 되면 기어 및 피니언이 비대칭 하중을 받게 된다.

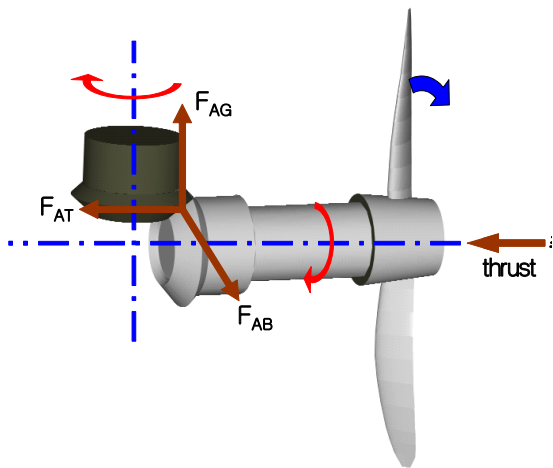


Fig. 6 Forces on gear system of a fixed pitch propeller

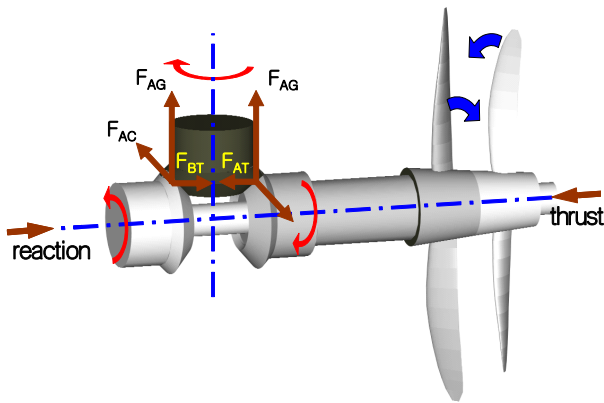


Fig. 7 Forces on gear system of contra rotating propeller

이러한 비대칭 하중은 기어 및 베어링을 심하게 마모 또는 파손시킬 수 있는 원인이 된다. 실제로 이런 사례들은 인력선-솔라 보트 축제에 참가하는 여러 팀들에 나타나고 있으며, 기어의 마모가 심하게 진행되면서 결국에는 파손되기도 한다. 또한 비대칭 하중은 상부기어박스와 연결된 축이나 프로펠러와 연결되는 축에도 영향을 주어 축의 파손까지도 발생하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 Fig. 7과 같이 피니언의 반대쪽에 똑같은 기어를 배치하여 추력에 의한 하중과 기어 치면 간의

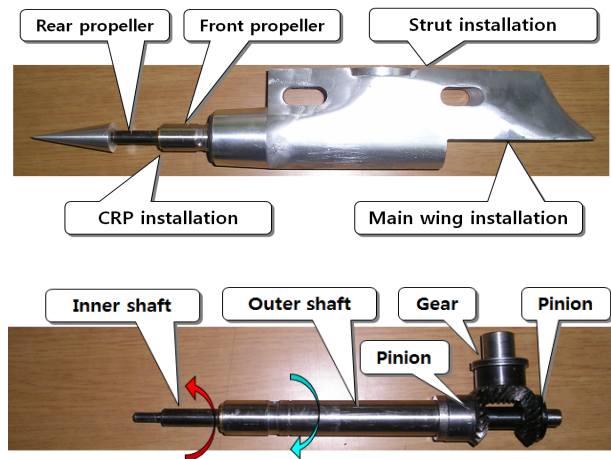


Fig. 9 Photographs of lower gear box and CRP system

수평방향 하중( $F_{AT}$ )을 반대편 기어에서 상쇄시켜서 기어가 대칭적인 하중을 받도록 하였다. 이는 상호반전프로펠러(Contra Rotating Propeller, CRP) 시스템을 적용가능하게 하며, 기어의 구조적 안정성이 더 우수할 것으로 판단하였다. 특히 CRP는 두 개의 프로펠러가 하나의 축 선상에서 서로 반대방향으로 회전하면서 프로펠러 후류 회전에너지를 흡수하여 일반 고정피치 프로펠러에 비해 높은 효율을 가질 수 있으므로 (Lee, et al., 2007) CRP를 적용함으로써 전체 시스템의 효율을 높일 수 있다.

이를 통해 본 수상 자전거에서는 완전하게 분해 및 조립이 가능하고, CRP를 적용할 수 있는 시스템으로 설계하였다(Fig. 8). 이 시스템은 상부의 기어가 두 개의 피니언을 가지는 방식이며, 뒤쪽 기어와 연결된 축을 앞쪽 기어와 연결된 축이 관통하여 두 개의 프로펠러를 반대로 회전시킨다. 재료는 스테인레스 스틸 (stainless steel, SUS304)을 사용하였고, 하부기어박스의 경우 주위를 부착해야 하므로 하우징 앞쪽에 날개 부착 부분을 만들고 볼트로 고정하였다.

또한 스트럿과의 연결은 스트럿에 미리 볼트를 심어 두어 제작하고, 하부기어박스 상부에 연결하여 너트로 고정하는 방식을 취했다. 상부기어박스와 마찬가지로 기어 하나당 2개 이상의 베어링을 사용하였으며, 제작된 하부기어박스를 Fig. 9, 그리고 상호반전프로펠러(CRP)가 장착된 모습을 Fig. 10에 나타내었다.

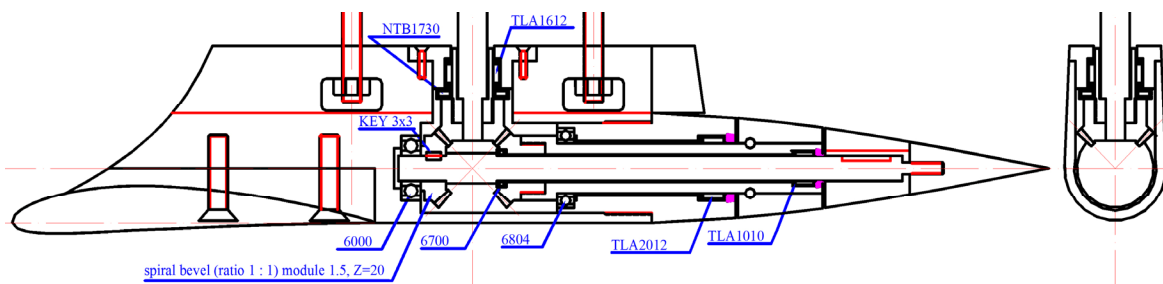


Fig. 8 Drawing of lower gear box





Fig. 10 Photograph of mounted CRP

### 4. 결론

본 논문에서는 수상 자전거에 있어서 가장 큰 문제점으로 지적되었던 동력전달장치의 저효율 및 파손과 마모에 대한 문제를 해결하기 위한 설계과정에 대해 소개하였다. 사람의 동력을 프로펠러로 전달하기 위해 기어가 구조적 안정성을 확보하면서도 동력 전달이 원활하도록 기어의 종류와 크기를 선정하였으며, 이를 바탕으로 상·하부 기어박스를 설계 및 제작하였다. 특히 하부기어 박스의 경우에는 기어의 구조적 안정성을 확보하면서도 프로펠러의 효율을 높이기 위한 CRP 시스템 도입을 시도하였으며, 실제 운항을 통해 원활한 동력전달이 가능함을 확인하였다(Fig. 11).



Fig. 11 Trial test

향후 유동 및 구조해석과 실험을 통한 전달동력 및 효율에 대한 보다 세밀한 연구는 고효율의 동력전달 시스템의 구현도 가능케 할 것으로 보이며, 이를 통해 세계적인 수준의 수상 자전거로의 발전이 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

본 논문은 2011년도 정부(지식경제부)의 재원으로 중소기업진흥공단의 지원을 받아 수행된 연구(10037434)이며 지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

Choi, J.K. & Kim, H.T., 2009. Evaluation of Longitudinal Static Stability of Human Powered Hydrofoil Boat. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(4), pp.391-397.

Faltinsen, O.M., 2005. *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. Cambridge University Press: UK.

Ha, S.H. Kim, J.S. & Kim, H.C., 2003. Design for human powered vessel "Poseria 2003" and optimization of its hydrofoil. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting of the SNAK*, 30 October - 1 November 2003, pp.386-391.

Hoerner, S.F., 1965. *Fluid-Dynamic Drag*. Hoerner Fluid Dynamics: USA.

Kim, H.T. et al., 2009. Human and Solar Powered Vessel Festival 2009. *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(3), pp.37-47.

Kim, H.T. & Choi, J.K., 2008. Human and Solar Powered Vessel Festival 2008 - 10th Anniversary. *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(3) pp.64-75.

Larrabee, E.E., 1984. Propellers for Human-powered Vehicles. *The Journal of the IHPVA*, 3(2), pp.9-11.

Lee, C.S. et al., 2007. *Propeller Design*. Munundang: Korea.

Lee, W.P., 1998. *Design of Mechanical Components*. Cheong Moon Gak publishers: Korea.

Lewis, E.V., 1988. *Principles of Naval Architecture*. The Society of Naval Architects and Marine Engineering, USA.

Min, K.S. Kang, S.H. & Lee, K.B., 2004. Design of 4-person human powered vessel. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting of the SNAK*, 20-22 October 2004, pp.702-708.

Schmidt, T., 1999. Propeller Simulation with PropSim. *Technical Journal of the IHPVA*, 48(summer), pp.3-7.

Schmidt, T., 1985. A Submerged-buoyancy. *The Journal of the IHPVA*, 3(3), pp.6-9.

Witt, D., 1997. Riding a Boat like a Bicycle. *Technical Journal of the IHPVA*, 13(1), pp.3-5.

Yanagihara, T. Fukamachi, T. & Motoyama, T., 1994. COGITO-II : Dream-Ship Race Champion. *Technical Journal of the IHPVA*, 11(1), pp.3-5.



최정규

김형태