

초고압 공간지를 이용한 포터블 인플레터블 카약 제작

박찬홍* · 박병호** · 박종대*** · 성현경**** · † 임이영

*,**,***,**** Sangji대학교 컴퓨터정보공학부, † 우성아이비

Manufacture of Portable Inflatable Kayak Using Ultra High Pressure Drop Stitch

Chan-Hong Park* · Byeong-Ho Park** · Jong-Dae Park*** · Hyeon-Kyeong Seong**** · † Lee-Young Lim

*,**,***,**** Sangji University School of Computer Information and Communication Engineering, Korea

† Woosung I.B, Korea

요 약 : 본 논문에서는 초고압 특수 공간지를 활용한 다기능 포터블 카약을 제작하였다. 초고압 특수 공간지를 활용한 설계로 기존의 인플레터블 카약의 성능을 개선하여 하드셸 카약의 성능에 근접하도록 제작하였다. 하드셸 카약의 성능과 인플레터블 카약의 기능성 및 휴대성의 장점을 모두 가진 카약을 제작하였으며, 시제품 성능평가를 통해 기존 하드셸 카약과의 성능을 비교하였다. 저항성능 검증결과는 목표속도 6knot에 대해 Hobie KONA kayak에 비해 Developed kayak이 12.33% 저항성능이 우수하였다. 경사시험결과는 동일배수량일 경우 Hobie KONA kayak 보다 Developed kayak의 무게중심이 선저를 기준으로 22.7% 낮게 분포하고 있으며, 이는 Hobie KONA kayak 보다 Developed kayak의 무게중심이 낮음으로 복원팔(GZ)에 대한 차이가 일정부분 감소된다. 선체 복원력에서는 Hobie KONA kayak이 약간 우수한 성능을 보여주었으나, 선회력과 저항계수면에서 Developed kayak이 더 우수한 결과를 보였다.

핵심용어 : 카약, 인플레터블, 공간지, 포터블, 레저스포츠

Abstract : In this paper, we manufactured portable inflatable kayak using ultra high pressure drop stitch. by improving inflatable kayaks' performance with a design using the extra-high-voltage special space paper, they were manufactured to go near to performance of hard shell kayaks. The kayaks were manufactured having all merits of the performance of hard shell kayaks and functionality and portability of the inflatable kayaks, and through performance evaluation of test products, the performance was compared with previous hard shell kayaks. About 6 knot of target speed in the verification result of resistance performance, the developed kayak was more excellent than the HOBIE-KONA kayak by 12.33%. In case of same displacement in a result of inclination test, the centroid of the developed kayak was less distributed by 22.7% than the HOBIE-KONA kayak, based on the bottoms of the ships. This makes the difference for righting arm (GZ) lessened to some degree because the developed kayak is lower than the HOBIE-KONA kayak in the centroid. In the dynamic stability of ship bodies, the HOBIE-KONA kayak showed a little excellent performance. However, in rudder force and resistance factor, the developed kayak was more outstanding than the HOBIE-KONA kayak.

Key words : Kayak, Inflatable, Drop stitch construction, Potable, Leisure Sports

1. 서 론

현재 우리나라는 수상레저스포츠의 공간인 가까운 바다나 강가가 어업인의 수산물 생산 공간으로만 활용되고 있어 수상레저 수요의 증가는 기대에 미치지 못하고 있다. 또한 수상레저스포츠의 하나인 수상보트 제조회사는 20여개로 공급시장의 규모가 매우 작아 대부분의 수상레저보트를 일본의 중고 수상레저보트를 수입하고 있는 실정이며, 국내 수상레저 스포츠 활동과 관련한 수상레저보트, 통신장비, 낚시장비 등 수상레저보트 산업의 연관 산업 또한 매우 열악한 실정이다.(Ham, 2006; Hong, 2011)

하드셸 카약의 경우 선형을 설계하기가 용이하고 직진성, 복원성, 선회력 등에서 모두 우수한 성능을 가지고 있으나 무게가 무거워 운반이 불편하고, 보관이 불편하며 구매 비용이 많이 든다. 또한 레저용 카약이 가장 보편화된 북미시장의 경우 카약을 운반하기 위한 캐리어 장비나 카약을 보관 및 관리해주는 시설을 갖추고 있으나 우리나라는 아직 수상레저를 위한 시설이 미진한 단점을 가지고 있다. 이러한 이유로 최근 인플레터블을 이용한 카약이 각광받고 있다. 그러나 기존 개발된 인플레터블 카약의 경우 가볍고 휴대성이 좋으며 적은 비용으로 공급 및 관리를 할 수 있다는 장점은 가지고 있으나 공간지의 형태가 원형을 이루기 때문에 선형을 설계하기가 어

† 교신저자 : 연희원, zebec@zebec.co.kr 032)550-8003

* 연희원, pchnaya1@sangji.ac.kr 033)738-7703

** 연희원, eden200@sangji.ac.kr 033)738-7703

*** 연희원, orient3690@sangji.ac.kr 033)738-7703

**** 연희원, hkseong@sangji.ac.kr 033)730-0481

렵고 복원성은 좋으나 직진성, 선회력 등에서 모두 낮은 성능을 보이고 있다. 또한 인플레터블을 이루는 소재가 날카로운 바위나 돌, 나무 등의 자연기물에 의한 파손이 쉽게 일어날 수 있어 안전성의 문제가 있다.

본 논문에서는 자연기물 등에 의한 파손에 강한 초고압 공간지를 이용한 포터블 인플레터블 카약을 제작하였다. 제작된 카약은 기존의 하드셀 카약과 인플레터블 카약의 장점을 유지하면서 하드셀 카약의 단점인 무게와 휴대성, 높은 비용을 보완하고 인플레터블 카약의 단점인 선형 설계, 직진성, 선회성, 내구성 등을 보완할 수 있는 초고압 공간지를 이용한 포터블 인플레터블 카약을 개발 및 제작하고 성능실험을 실시하였다.

2. 포터블 인플레터블 카약 제작

2.1 포터블 인플레터블 카약 설계

초고압 공간지를 이용한 포터블 인플레터블 카약을 제작하기 위하여 3차원 Surface 설계를 통하여 선형을 설계하였으며, 설계한 포터블 인플레터블 카약에 대하여 저항성능 수치해석을 수행하였다. 하드셀 비교 카약인 Hobie KONA의 성능과 유사한 성능을 보이도록 설계하기 위하여 기존의 둥근 형태의 공간지를 사용하지 않고 초고압 공간지를 사용하였다.

1) 선형설계

기존의 3차원 형상자료 중에 유체역학적인 계산 부분인 선체 하부에 대한 Surface를 설계하였으며, 선수와 선미 부분을 최대한 단순화하여 설계를 하였다. Fig. 1은 Hobie KONA 카약의 3차원 Surface 선형 설계를 나타낸 것이며, Fig. 2는 개발한 카약(Developed Kayak)의 3차원 Surface 선형 설계를 나타낸 것이다.

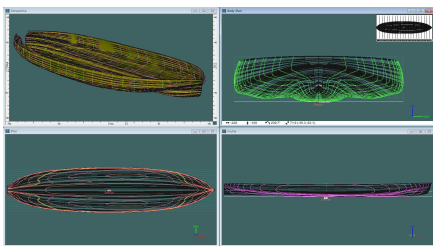


Fig. 1 Hobie KONA Kayak Hull Form Design of the 3D Surface

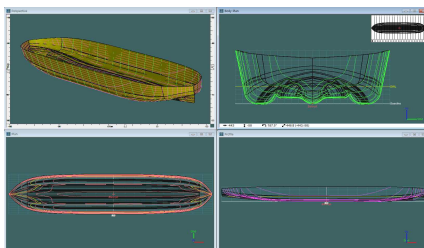


Fig. 2 Developed Kayak Hull Form Design of the 3D Surface

3차원 Surface 선형 설계에서 선수와 선미의 단순화로 인해서 Hydrostatics의 변화는 약간 발생할 수 있으나 제일 부력을 많이 차지하는 부분인 중앙에서부터 선체 길이의 약 80~95%까지는 설계도와 정확히 일치하게 Surface를 생산하였으며, 선수와 선미 부분에서의 단순화로 인해 약 1~2% 내외의 결과 값의 오차가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 저항성능 수치해석

본 논문에서는 인플레터블 카약의 저항성능 수치해석을 수행하기 위하여 유한체적법에 근거한 범용 프로그램인 Fluent를 사용하였다. 본 수치해석에서는 3차원 비정상상태 비압축성 점성유동을 고려하였다. 이에 대응하는 지배방정식으로는 다음의 연속방정식과 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes)방정식을 사용하여 저항성능 수치해석을 수행하였다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i}(-\rho \overline{u_i' u_j'}) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

여기서, x_i , u_i , p , ρ 와 μ 는 직각좌표계, 속도성분들, 압력, 밀도와 점성을 각각 나타낸다. 또한, 식(2)의 레이놀즈 응력(Reynolds Stress) 항인 $\rho \overline{u_i' u_j'}$ 은 *Realizable* $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하여 해석하였다. 속도 압력 연성은 SIMPLEC 방법을 사용하였으며, 대류항과 확산항은 2차 상류차분법과 2차 중심차분법을 각각 적용하였다(Begon, M, 2006; KFMA, 2004).

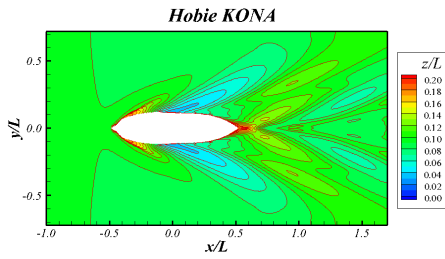
3) 저항성능 수치해석 결과

인플레터블 카약의 6knot 설계속도에서 저항성능 수치해석 결과는 Table 1에 나타내었다. Developed Kayak의 저항성능이 Hobie KONA 카약보다 향상된 것을 확인 할 수 있다.

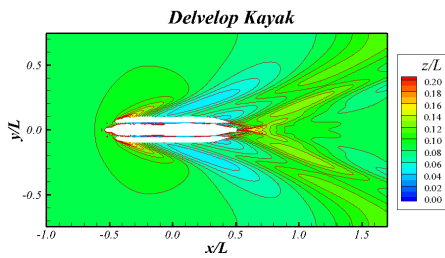
Fig. 3은 선체주변의 파형분포를 보인 것이다. Fig. 3의 파형분포에서 확인 할 수 있듯이, Developed Kayak의 폭방향의 파형 변화가 Hobie KONA 카약보다 적게 나타남에 따라 저항성능이 우수하게 나타나는 것으로 판단되어진다. 또한 Developed Kayak의 선체 어깨파의 변형에서도 높낮이의 변화가 적게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

Table 1 Resistance performance numerical results

Type	Drag(N)	Drag Coefficient (C _T ×1000)
Hobie Kona kayak	44.2583	7.7294
Developed kayak	38.8003	6.7503



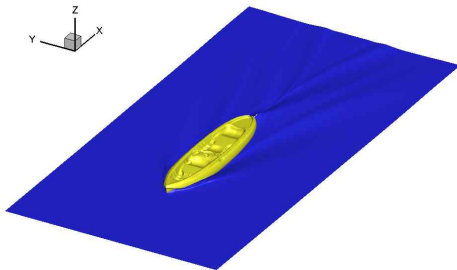
(a) Hobie KONA kayak



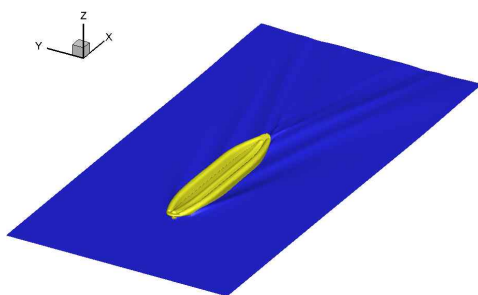
(b) Developed kayak

Fig. 3 Waveform distribution

Fig. 4는 선체주변의 자유수면의 Iso-surface을 보였다. 선수부분의 파형에서도 확인 할 수 있는 것처럼, Developed kayak의 파고가 Hobie KONA kayak보다 낮음을 알 수 있다.



(a) Hobie KONA kayak



(b) Developed kayak

Fig. 4 Running model

2.2 시제품 제작

1) 제작과정

시제품 제작은 초고압 공간지를 설계된 바닥면 벽면 등 각각의 도면에 따라 재단하여 제작하였다. 각각의 완성된 파트를 접합하여 시제품을 완성하였다. 초고압 공간지를 사용함으로써 이상적인 선형을 확보하여 유체역학적으로 설계된 도면

에 가장 근접하도록 제작하였고, 10psi 이상의 고압을 견딜 수 있도록 제작하여 안정성 문제도 해결할 수 있다. Table 2는 시제품 제작에 사용된 초고압 공간지의 제원을 보인 것이다.

Table 2 Space paper Spec

구 분	초고압 공간지
두께(mm)	150
무게(kg/m ²)	2.5
최고압력(psi)	18(15)

사용한 초고압 공간지의 경우 최고 18psi 까지 주입할 수 있으나 파손의 위험을 줄이기 위하여 15psi를 최고압력으로 하였다. 제작에 사용된 초고압 공간지의 내부구조를 Fig. 5에서 보였다.

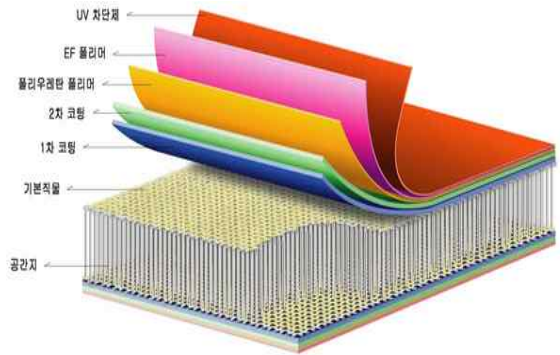


Fig. 5 Inside structure of Ultra High Pressure Space paper

Fig. 6은 제작에 사용된 초고압 공간지의 내부 형상을 보인 것이다.



Fig. 6 Inside shape of Ultra High Pressure Space paper

2) 시제품 완성

완성된 시제품은 두께가 150mm인 공간지를 사용하였으며 선수 Keel의 원단을 뾰족한 모양으로 구현하였다. 바닥 용골은 공간지 원단을 사용하였으며, 공기를 주입할 수 있는 둥근 용골의 구조로 구현하였다. 외형 치수는 승선폭 380mm, 전폭 700mm, 전장 3,800mm, 무게 17kg으로 제작이 되었다. Table 3에서 하드셀 카약인 Hobie KONA kayak과 Developed kayak의 제원을 보였다. 완성된 시제품을 Fig. 7에서 보였다.

Table 3 Hobie KONA kayak and Developed kayak Spec

구 분	Hobie KONA	Developed Kayak
전폭(mm)	860	700
전장(mm)	3,510	3,800
무게(kg)	35.15	17.0



Fig. 7 Developed Kayak completion of the prototype

3. 시제품 성능평가

본 논문에서 개발한 카약의 완성된 시제품에 대한 성능평가는 레저용 하드셀 카약 중 인기제품인 Hobie KONA 카약과 비교하여 이루어졌다.

3.1 복원성 시험

카약의 복원성은 승선인의 안전과 관련하여 중요한 사항 중의 하나이다. 카약이 바다 위에 떠있을 때 물속에 잠긴 부분의 체적에 바닷물의 비중량을 곱한 것과 카약의 전체 무게는 서로 같다. 즉 바다 위에 떠 있는 카약은 자기가 밀어낸 바닷물의 무게만큼의 부력을 받고 있다. 카약의 무게를 ‘카약이 밀어낸 물의 양’, 즉 ‘배수량(displacement)’이라고 부르게 된 것도 바로 이 때문이다. 따라서 카약을 물에 띄우면 선체가 점차 가라앉으면서 물을 밀어내게 되고, 밀려난 물은 카약을 뜨게 하는 부력을 일으킨다. 카약의 무게가 배수량과 같아지면 카약의 중량과 부력이 평형을 이루어, 카약을 뜨게 하는 부력을 일으킨다. 이때 부력의 중심은 카약의 물에 잠긴 부분의 체적 중심에 놓인다.

카약의 또 다른 성능은 카약이 쉽게 기울어지거나 전복되지 않는 특성을 갖도록 하는 것인데 기울어져도 원상태로 되돌아가려는 힘을 ‘복원력’이라고 하는데, 그 크기는 카약이 기울어졌을 때 카약의 무게중심과 부력중심의 위치에 따라 결정된다.

Hobie KONA kayak과 Developed kayak이 동일 배수량(116kg)일 때를 기준으로 하여 두 개의 카약에 대한 복원성을 평가하였으며, 116kg에 대해서 Hobie KONA kayak은 흘수가 92mm이며, Developed kayak은 흘수가 89mm이다. 복원성 평가를 위해 적용된 기준은 배수량 116kg에 대해 성인 1인(약 80kg)과 카약 무게 36kg에 해당된다.

연직상방향 VCG(vertical center of gravity)는 두 개의 카약을 동일하게 선체의 Baseline에서 200mm 위쪽으로 중심을 적용하였다. Fig. 8은 Hobie KONA kayak과 Developed kayak의 복원성 평가를 보인 것이다.

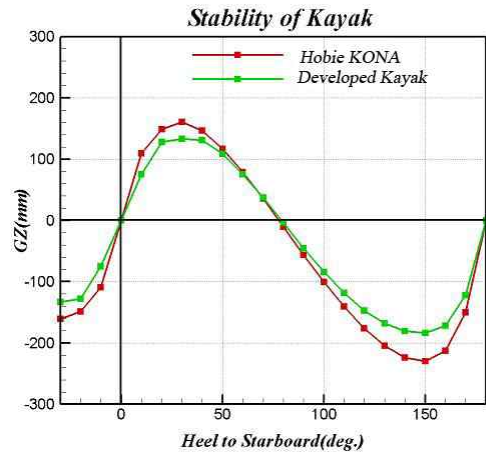


Fig. 8 Compare stability

복원성 평가결과는 Fig 8에서 보인 것처럼 Hobie KONA kayak이 약간 우수한 것으로 나타났다. 이는 Developed kayak의 접합부분이 둥글게 되어 있어 복원성이 낮고, Hobie KONA kayak은 타원형으로 되어 있어 복원성이 높다.

3.2 경사시험

경사시험은 인위적으로 선박이 횡경사하도록 하고, 그 때 경사각을 켜 뒤 계산에 의해 중심의 상하방향위치(KG)를 알아내는 방법이다(Son, 2001; Eda, 1980; Inoue, 1979). 배수량이 W인 배에 새로운 중량 W'인 물건을 실어서 배를 경사시키는 경우, 원래의 배의 KG를 구하는 방법은 Fig. 9와 같이 이루어진다.

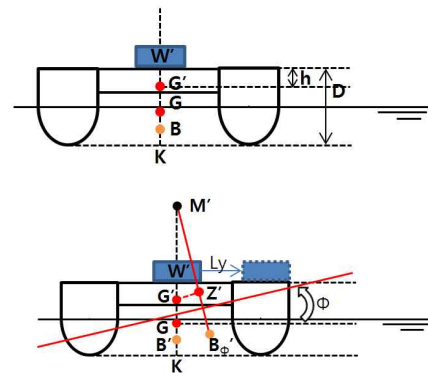


Fig. 9 Schematic View of Tilt test

Fig. 9(a)와 같이 선체중양에 W'를 실었을 때 갑판높이를 D는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$D = h + KG' \quad (3)$$

식 (3)에서 h는 G'에서 W'까지의 수직거리이다. 이때 K에 대한 중량 1차 모멘트를 구하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 KG \times W + (KG + GG' + h) \times W' \\
 = (KG + GG')(W + W') \\
 GG' = \frac{W' \times h}{W} \quad (4)
 \end{aligned}$$

다음에 Fig. 9(b)와 같이 W'를 횡축으로 거리 Ly만큼 움직이면 식 (5)와 같이 KG를 구할 수 있다.

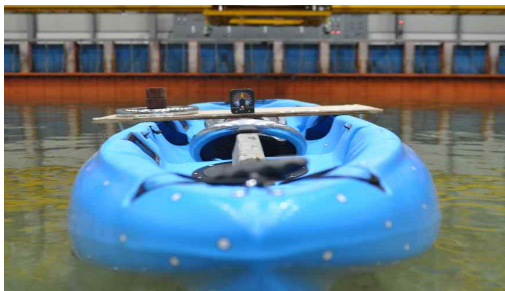
$$\begin{aligned}
 G'M' &= \frac{W' \times Ly}{(W + W')\tan\phi} \\
 G'M' &= KB' + B'M' - KG' \\
 &= KB' + \frac{I'}{V+v} - (KG + GG') \\
 KG &= KB' + \frac{I'}{V+v} - \frac{W' \times h}{W} - \frac{W' \times Ly}{(W + W')\tan\phi} \quad (5)
 \end{aligned}$$

여기서 I'는 새로운 수선면에 대한 2차 모멘트이다.

3.3 경사시험 해석 결과

Hobie KONA kayak과 Developed kayak에 대한 KG값을 추정하기 위해 실선을 통한 경사시험을 Fig. 10과 같이 수행하였다. 경사시험은 동일한 배수량인 116kg에 맞추어 무게를 고루 배분하였다.

경사를 주기위한 무게는 12.3kg으로 횡축으로 30cm 이동하였을 때에 기울어지는 각도를 계측하였다. 또한 Hydrostatics에서 계산된 부력중심(KB), 메타센터(KM) 및 무게중심(KG)의 값을 바탕으로 실제 제작되어진 Hobie KONA kayak과 Developed kayak의 최종 횡축의 무게중심(KG)을 추정하였다.



(a) Hobie KONA kayak



(b) Developed kayak

Fig. 10 Tilt test

두 카약에 대한 경사시험 결과를 Table 4에 보였다. Table 4에서 경사시험을 통한 복원성은 Hobie KONA kayak이 Developed kayak 보다 약간 우수한 결과를 보였다.

Table 4 Tilt test results

구분	Hobie KONA	Developed Kayak
Weight(kg)	12.3	12.3
Trim Angle(deg.)	2.5	4
KB'(m)	0.063	0.058
B'M'(m)	0.823	0.532
G'M'(m)	0.659	0.410
KG'(m)	0.227	0.180
KG (Ship)(m)	0.219658	0.169795

3.4 선회시험

Hobie KONA kayak과 Developed kayak에 대한 선회반경을 시험하였다. 우선 Developed kayak과 Hobie KONA kayak의 무게를 동일하게 맞추었고 성인남자 한명이 탔을 때를 기준으로 하여 선회시험을 수행하였다.

방향타는 동일하게 적용하였으며, 선회시험을 수행하기 위해서 따로 제작하였으며, 방향타의 각도는 25°로 선정하였다. 두 카약에 대한 선회반경의 결과는 Fig. 11과 같다.

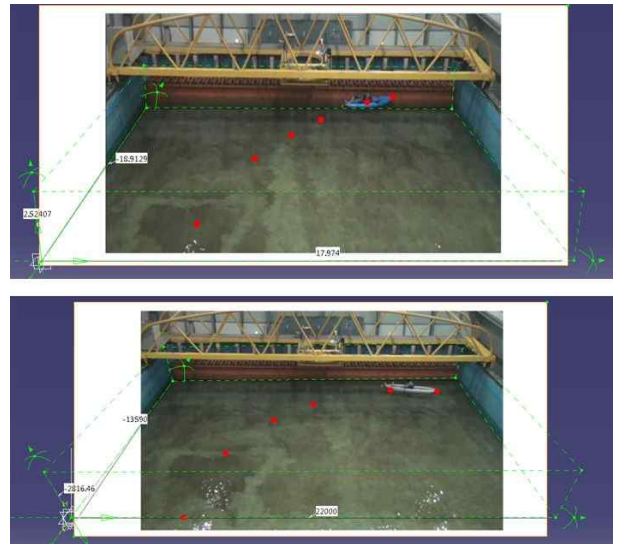


Fig. 11 Turn radius test results

Fig. 11에서 보인 것처럼 Developed kayak이 Hobie KONA kayak 보다 양호한 선회반경을 가지고 있음을 알 수 있다. 선회반경 비교에 대한 그래프는 Fig. 12와 같으며, 선회반경이 Hobie KONA kayak보다 Developed kayak이 더 우수함을 보였다.

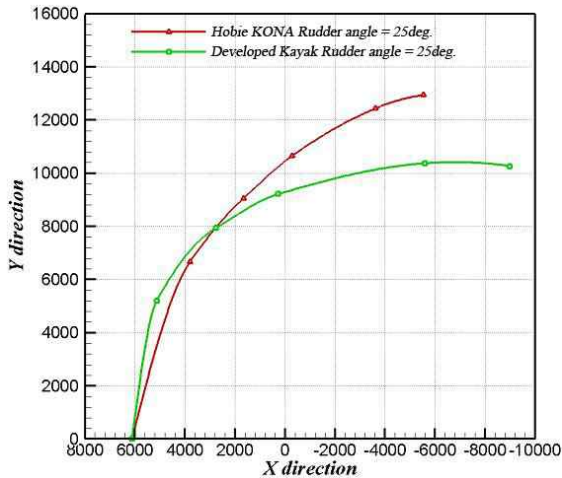


Fig. 12 Turn radius comparison graph

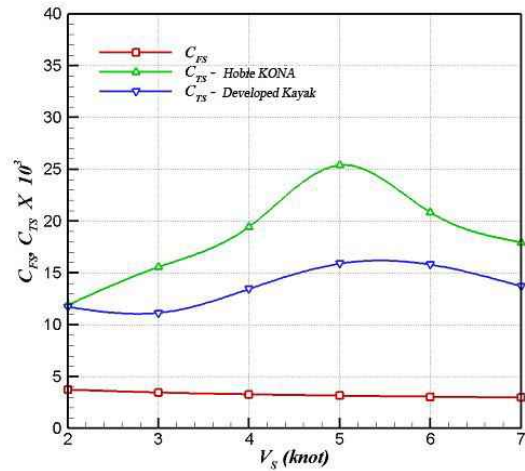


Fig. 14 Resistance coefficient curve

3.5 수조모형시험

수조모형시험은 Froude의 상사법칙에 따른 선속으로 수행하였으며, 해석방법은 ITTC 1978 해석법을 근간으로 한 2차원법을 적용하였다(Min, 2010; Lee, 1999; Sumner 2001).

Hobie KONA kayak과 Developed kayak의 저항성능 검증을 위한 회류수조 모형시험을 하였다. 중소조선연구원 회류수조에서 실험을 실시하였으며 ITTC 해석법을 근간으로 한 2차원법을 적용하였다. Fig. 13은 회류수조실험 과정을 보인 것이다. 모형선은 실측선형을 바탕으로 FRP를 이용하여 Hobie KONA kayak은 축척비 $\lambda = 3.514$, Developed kayak은 축척비 $\lambda = 3.543$ 로 축소 후 제작하였으며, 저항계수는 Fig. 14와 같이 Developed kayak이 더 낮게 측정되어 Developed kayak이 저항성능이 우수한 것으로 나타났다.

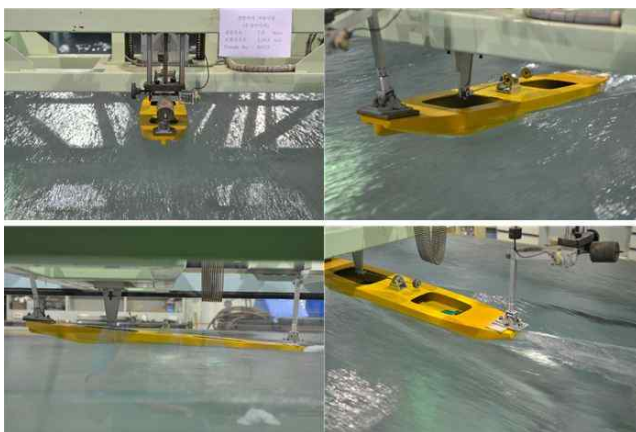


Fig. 13 Circulating Water Channel test

4. 결 론

본 논문에서는 국내 실정에 맞도록 휴대성과 경제성을 높인 인플레터블 포터블 카약을 제작하였다. 그 결과 초고압 공간지를 활용하여 튜브형식의 포터블 카약을 만드는데 성공하였으며 기존의 공간지를 사용한 카약에 비해서 초고압 공간지를 사용함으로써 높은 내구도를 가진 카약을 제작할 수 있었다. 또한 공간지의 한계인 원하는 형상을 만들기 힘든 점을 초고압 공간지로 해결하여 하드셀에 근접한 성능의 인플레터블 카약을 제작하였다. 기존의 하드셀 카약과 성능 비교결과 두 개의 카약에 대한 동일한 조건하에서 CFD 저항성능 검증결과 목표속도 6knot에 대해 Hobie KONA kayak에 비해 Developed kayak이 12.33% 저항성능이 우수하였다. 두 카약에 대한 실선의 경사시험결과는 동일배수량일 경우 Hobie KONA kayak 보다 Developed kayak의 무게중심이 선저를 기준으로 22.7% 낮게 분포하고 있다. 이는 Hobie KONA kayak 보다 Developed kayak의 무게중심이 낮음으로 복원팔(GZ)에 대한 차이가 일정부분 감소된다. 선체 복원력에서는 하드셀 카약이 더욱 우수한 성능을 보여주었으나 선회력이나 저항계수면에서 Developed kayak이 더 우수한 결과를 보였다.

추후 인플레터블의 강도 향상, 휴대성을 극대화한 경량화 및 안전성을 우선으로 성능 향상에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

후 기

이 연구는 2011년도 문화체육관광부의 “스포츠과학기반 다기능 소형 포터블 보트 및 IT융합 라이프 자켓 개발” 사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금 지원비에 의해 수행되었음

참 고 문 헌

- [1] Begon. M.(2006), “3D analysis and simulation of cyclic movements on a specific kayak ergometer (in French)”, PhD thesis, University of Poitiers, France
- [2] Eda.(1980), “Rolling and Steering Performance of High Speed Ships”, the 13th Symposium on Naval Hydrodynamics, Tokyo
- [3] Ham. D. W.(2006), “Promotion of Water Leisure Sports”, Korea Sports Society, pp. 53-71.
- [4] Hong. J. W, Lee. Y. J, Ahn. Y. S(2011), “A Study on Marina services industry of wealth creation”, Korea Maritime Institute, Research Report, pp. 1-191.
- [5] Inoue, S.(1979), “Hydrodynamic Derivatives of Ship Maneuvering Motion at Heeled Condition”, Technical Report, SP. 80, Technical Committee of the West-Japan Society of Naval Architects
- [6] KFMA(2004), “FLUENT”, Korean Fluid Machinery Association, Journal of Fluid Machinery, Vol. 7, No. 5, pp. 73-77.
- [7] Keh-Sik Min. (2010,) “Study on the form factor and full-scale ship resistance prediction method” Journal of Marine Science and Technolohy, Volume 15, Number 2, pp. 108-118.
- [8] Lee. J. S.(1999), “Performance testing of the ship by tank experiments”, The Korean Society of Mechanical Engineers, Journal of the KSME, Vol. 39, No. 10, pp. 32-36.
- [9] Son. K.H. and Kim. Y. M.(2001), “Considering heeling new mathematical model of Ship Handling Exercise Study”, Journal of the Korean Society of Marine Environment and safety, Vol. 5, pp. 147-166.
- [10] Sumner, D. (2001), “Mean aerodynamic forces acting on a pair of circular cylinders in cross-flow.” In: Proceedings of the 31st AIAA Fluid Dynamics Conference & Exhibit, Anaheim, USA, AIAA pp. 2001-2850.

원고접수일 : 2012년 11월 6일
심사완료일 : 2013년 9월 11일
원고채택일 : 2013년 10월 28일