

인플래터블 카약 개발을 위한 유체역학적 성능평가

하종규¹ · 임이영² · 기재석[†]

(원고접수일 : 2013년 8월 20일, 원고수정일 : 2013년 9월 12일, 심사완료일 : 2013년 9월 26일)

Hydrodynamic evaluation for developing the inflatable kayak

Chong-Ku Hah¹ · Lee-Young Lim² · Jae-Seok Ki[†]

요약: 본 연구는 기 개발된 인플래터블 카약(RPO-2)과 새롭게 개발된 인플래터블 카약(RD-FK-11, RD-FK-12)의 유체역학적인 성능평가를 위하여 경사시험과 선회시험은 해양공학수조에서 저항시험은 축소된 모형선을 제작하여 회류수조에서 수행되었다. 결론적으로 각각의 카약에 대한 다양한 성능시험결과 복원성 측면에서는 KONA가 유리하고, 선회력과 무게중심 측면에서는 RD-FK-12가 우수하고, 저항성능 측면에서는 RD-FK-11이 KONA와 RPO-2에 비해 우수하였다.

주제어: 수조모형시험, 유체역학적 평가, 경사시험, 인플래터블 카약, 선회시험

Abstract: This study was to evaluate hydrodynamic performance evaluation between an abroad product, a developed inflatable kayak and new developed kayaks. In order to test, inclining and turning trial test were carried out in the Ocean engineering Basin. Also, resistance test was carried out using a reduced scale model in the circulating water channel. In conclusion, stability of KONA was evaluated was the most greatest, the coefficient of resistance and center of gravity from RD-FK-12 were considerable, and turning performance of RD-FK-11 was greater than this of KONA and RD-FK-12.

Keywords: Basin test, Hydrodynamic evaluation, Inclining test, Inflatable kayak, Turning trial test

1. 서 론

한국의 국민 소득 3만불 시대가 도래함에 따라 소위 “마이 보트” 시대가 열리면서 수상레저문화에 대한 저변이 확대되고 있다. 2009년 첫 동호회 발족 이후 카약 인구는 공식적인 동호회 멤버, 약 1만명 (2012년 3월 현재)과 개인 인구를 합쳐 약 1만 5천에서 2만명 사이로 추산된다. 카약 인구는 캠핑인구와 매우 밀접한 상관관계를 가지며 한국

레저협회는 2012년 현재 캠핑인구가 100만명이 웃도는 것을 고려한다면 가족단위의 레크레이션 카약과 중장거리 투어링 카약의 수요가 증가할 것으로 예상된다[1].

현재 초기 도입 단계인 한국 카약 시장규모는 대략 450억 원 규모로써 국내 장비보다 해외장비를 선호하는 추세이다.

이러한 이유는 카약이 국내에서 아직 대중화되지 않은 레포츠이고 장비 업체 역시 후발업체이기

이 연구는 2011년도 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발 사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금 지원비에 의해 수행되었음.

† Corresponding Author: University-Industry Cooperation Foundation, Incheon University, 12-1, Songdo-dong, Yeonsu-gu, Incheon, 406-772, Korea, E-mail: joyjetki@hanmail.net, Tel: 032-835-4296

1 Korea Institute of Sports Clinic & Engineering, 165, Ogeum-dong, Sonpa-gu, Seoul, 138-738, Korea, E-mail: kuya-hah@hanmail.net, Tel: 02-2043-0242

2 Woosung.I.B. Co., Ltd. 158, Anaji-ro, Gyeyang-gu, Incheon, 407-829, Korea, E-mail: lylim@zebec.co.kr, Tel: 032-550-1002

때문에 제반기술의 낙후에 기인한다.

국내 레이보트 제작업체는 총 20개로 전체 선박 및 보트건조업 사업체수 1325개의 1.5%에 불과하며 종사자수도 총 184명으로 전체 선박 및 보트 건조업 종사자수 10만 4224명의 0.2%로 미미한 수준이다. 반면 대형 상업용 선박 등을 포함한 선박건조업은 2006년 기준 총 1305개의 사업체에 종사자 10만 4000여명 수준으로 중소형 레이보트 건조업과 비교되지 않을 정도의 규모다[2].

미국의 경우 레이보팅과 노를 사용하는 배를 이용한 패들스포츠(카약, 카누 및 인플래터블 뗏목) 인구가 약 7천만명에 달하고 있으며 보트시장의 한 분야로 빠른 성장을 보이고 있다. 2005년부터 2006까지 미국 내 카누의 판매량은 23%, 카약은 11% 증가세를 보인 반면 파워보트는 5% 감소하였다[3]. 이러한 경향은 캠핑을 수반하여 패들 스포츠가 이루어지며, 모터보팅과 비교하여 환경오염을 야기시키지 않으며 특히, 수질오염 방지에 기여하기 때문이다.

현재 시장에서 출시되고 있는 카약은 주로 플라스틱이나 복합재료로 제작되어 가볍고 견고하다는 장점이 있는 반면 충격에 의한 파손 위험이 높고 이동 시에는 중량이 무겁고 부피가 커 차량을 이용해야 하는 단점이 있다. 이에 반해, 공기주입식 인플래터블 카약은 고행카약에 비하여 경량, 작은 부피로 이동의 간편성과 안전성, 저렴한 가격의 장점으로 입문자들에게 인기가 높아 인플래터블 제품시장이 매년 약 15%가량 지속 증가하고 있는 추세이다[4].

인플래터블 카약의 세계 가격 결정을 선도하는 제품을 만들기 위한 일환으로 2012년 국내 개발품인 인플래터블 카약, RPO-2(우성)와 미국산 플라스틱 카약, KONA(Hobie)의 유체역학적 성능을 비교하였고[5], 이 결과를 토대로 인플래터블 카약 RD-FK-11과 RD-FK-12를 개발하였다. 이 신제품을 대상으로 복원성 계산, 경사시험, 선회시험과 수조모형시험을 통하여 유체역학적 성능 즉, 복원성, 무게중심, 선회반경과 저항계수를 규명하여 기 연구된 RPO-2 및 KONA와 유체역학적 성능을 비교하고자 한다.

2. 인플래터블 카약 설계

2.1 선형설계

본 실험에 사용한 2대의 카약 모델은 기 연구된 RPO-2 평가[5]에서 제기된 문제점을 해결하기 위하여 시제품을 제작하여 수차례의 현장 테스트를 거치고 전문가 집단의 의견을 수렴하여 설계 변경된 후속 모델이다. 두 가지 형태의 카약에 대하여 유체역학적 체계산과 복원성능의 평가를 위하여 RD-FK-11과 RD-FK-12의 역설계를 통하여 3차원 형상 설계하였으며 Figure 1 과 Figure 2에 도시하였다. 이에 대하여 각각의 명칭을 부여하였으며 첫 번째 카약은 내부 프레임이 있는 카약(R&D Frame Kayak 11th, 약칭 RD-FK-11)이며, 두 번째 카약은 내부 프레임이 없는 카약(R&D Frame Kayak 12th, 약칭 RD-FK-12)이다.

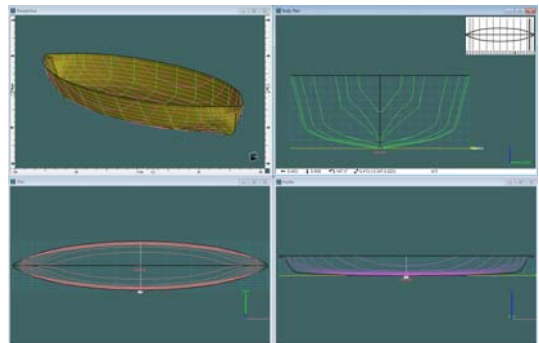


Figure 1: R&D Frame Kayak 11th(RD-FK-11)

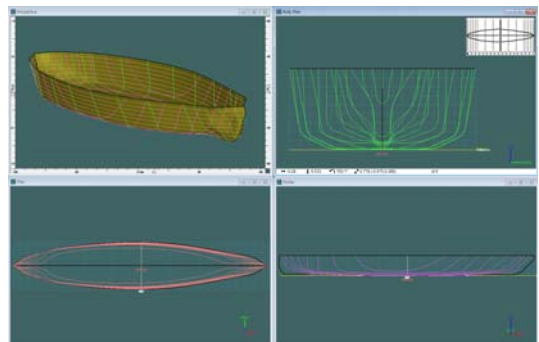


Figure 2: R&D Frame Kayak 12th(RD-FK-12)

Table 1: Hydrostatic Calculations – Draft: 87.6 ~ 131.6mm(RD-FK-11)

Designation	Units	Value								
Displacement	kg	103.7	116	128.3	140.6	152.9	165.2	177.5	189.8	202.1
Draft	mm	87.6	93.5	99.2	104.8	110.3	115.7	121.1	126.4	131.6
WL Length	mm	4080.2	4092.6	4103.4	4113.1	4121.8	4129.9	4137.4	4144.4	4151
Beam max extents on WL	mm	706.4	716.1	722.7	727.8	731.8	735.3	738.4	741.3	744.1
Wetted Area	mm ²	2139444	2215998	2283780	2346200	2403979	2458947	2511857	2563224	2613135
Prismatic coeff. (Cp)	-	0.626	0.631	0.637	0.642	0.646	0.651	0.655	0.659	0.662
Block coeff. (Cb)	-	0.401	0.413	0.426	0.437	0.448	0.459	0.468	0.477	0.485
Max Sect. area coeff. (Cm)	-	0.64	0.654	0.668	0.681	0.694	0.705	0.715	0.724	0.732
Waterpl. area coeff. (Cwp)	-	0.7	0.708	0.716	0.722	0.728	0.732	0.736	0.739	0.742
LCB from zero pt. (+ve fwd)	mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LCF from zero pt. (+ve fwd)	mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KB	mm	57.4	61	64.3	67.6	70.8	74	77.1	80.1	83.1

2.2 유체정역학 제계산

탐승자 1인의 중량 및 선체의 무게(116kg)에 대한 배수량 기준을 마련하기 위한 유체역학적인 계산을 수행하였다. RD-FK-11과 RD-FK-12에 대한 성능비교를 위해서 기본적인 배수량(Δ), 중심위치(KB), 침수표면적(WSA) 등의 유체역학적인 계산을 3D 선형설계 프로그램인 Maxsurf Hydromax Ver 17.04을 이용하여 각각의 카약에 대한 계획만재흘수(DLWL)에서의 특성 값을 계산하였다. 또한 흘수별로 변화될 때에 RD-FK-11에 대한 흘수별 유체정역학적인 결과치는 **Table 1**에 RD-FK-12에 대한 결과치는 **Table 2**에 나타내었다.

2.3 복원성 계산

복원성평가를 위해 적용된 기준은 동일 배수량(116kg) 일 때를 기준으로(성인 1명, 80 kg; 카약 36 kg)하여 두 개의 카약에 대한 복원성능을 평가하였으며, 116kg에 대해서 RD-FK-11은 흘수가 93.5mm 이며, RD-FK-12는 흘수가 77.5mm가 된다. 그리고 연직 상방향 VCG(Vertical center of gravity)는 두 개의 카약을 동일하게 선체의 Baseline에서 200mm 위쪽으로 중심을 적용하였다.

기존의 3차원 형상자료 중에 유체역학적인 계산 부분인 선체 하부에 대한 Surface를 재생산하였으며, 선수와 선미 부분을 최대한 단순화하여 설계를 하였다. 선수와 선미의 단순화로 인해서 Hydrostatics의 변화는 약간 발생할 수 있으나 부력을 가장 많이 차지하는 부분인 중앙에서부터 선체 길이의 약 80~95% 까지는 설계도와 정확히 일치하게 Surface를 생산하였으며, 선수와 선미의 부분에서의 단순화로 인해서 약 1~2% 내외의 결과값의 오차가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 유체정역학 제계산 수행 시에 통상적으로 발생될 수 있는 오차범위를 밝힌다.

3. 수조 시험

3.1 시험준비

시험을 위하여 RD-FK-11과 RD-FK-12 카약에 투입한 공기의 압력은 RPO-2와 동일한 15 Psi로 유지하였다. 시험항목으로는 경사시험(Inclining test), 선회시험(Turning trial test) 및 저항시험(Resistance test) 순서로 진행되어졌으며, 실선에 대한 시험인 경사시험과 선회시험은 해양공학수조에서 수행되

Table 2: Hydrostatic Calculations – Draft: 71.5 ~ 117.5mm(RD-FK-12)

Designation	Units	Value									
Displacement	kg	103.7	116	128.3	140.6	152.9	165.2	177.5	189.8	202.1	
Draft	mm	71.5	77.5	83.4	89.2	95	100.7	106.3	112	117.5	
WL Length	mm	4145.7	4158.4	4170	4180.8	4190.8	4200.2	4209.1	4217.3	4224.8	
Beam max extents on WL	mm	695.9	702.8	707.8	711.8	714.9	717.5	719.8	721.8	723.8	
Wetted Area	mm ²	2123722	2189329	2249501	2306259	2360977	2414294	2466637	2518298	2569358	
Prismatic coeff. (Cp)	-	0.596	0.603	0.609	0.614	0.619	0.623	0.626	0.629	0.632	
Block coeff. (Cb)	-	0.491	0.5	0.509	0.517	0.524	0.531	0.538	0.543	0.549	
Max Sect. area coeff. (Cm)	-	0.829	0.835	0.841	0.847	0.852	0.858	0.863	0.867	0.871	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	-	0.687	0.691	0.694	0.697	0.698	0.7	0.701	0.703	0.704	
LCB from zero pt. (+ve fwd)	mm	-146.7	-146.5	-146.2	-146	-145.7	-145.5	-145.3	-145.1	-144.9	
LCF from zero pt. (+ve fwd)	mm	-145.9	-144.2	-143.2	-143	-142.5	-142.3	-142.5	-142.3	-142	
KB	mm	41.9	45.3	48.7	52	55.2	58.4	61.5	64.6	67.6	

어졌다. 해양공학수조에 전경은 **Figure 3**에 나타내었다. 또한 저항시험의 경우 시험의 환경에 맞추어 모형선을 축소 후, 제작하여 회류수조에서 시험을 수행하였으며, 회류수조 전경은 **Figure 4**에 나타내었다.

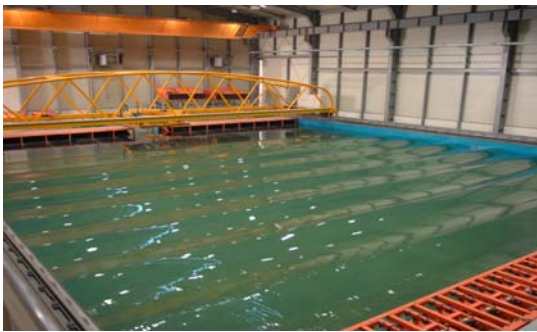


Figure 3: Photograph of Ocean Engineering Basin (From Ki, 2012, with permission)

3.2 경사시험

동일배수량(116kg)에 대한 RD-FK-11과 RD - FK-12 카약의 연직방향 무게중심(KG, Vertical center of gravity)값을 계산하기 위해서 선체를 포

함한 무게를 배수량에 맞추었으며, 수면과 카약의 견현을 평행하게 만들기 위해 무게를 배분하였다. 경사각을 고려하여 무게는 12.3kg으로 하였으며, 선체의 폭을 고려하여 횡방향으로 30cm 이동하였을 때에 기울어지는 각도를 계측하여 연직방향의 무게중심을 추정하였다.



Figure 4: Photograph of Circulating Water Channel (From Ki, 2012, with permission)

3.3 선회시험

각각의 RD-FK-11과 RD-FK-12에 대한 선회반경을 시험하였으며, 우선 두 카약의 무게(31.4kg)를 동일하게 맞추었고 성인남자(80kg) 한명이 탔을 때를 기준으로 하여 시험을 수행하였다. 이때 방향타는 동일하게 적용하였으며, 시험을 수행하기 위해서 따로 제작하여 방향타의 각도는 25도로 선정하였으며, 선회반경에 대한 캘리브레이션은 **Figure 5**와 같이 실시하였다.

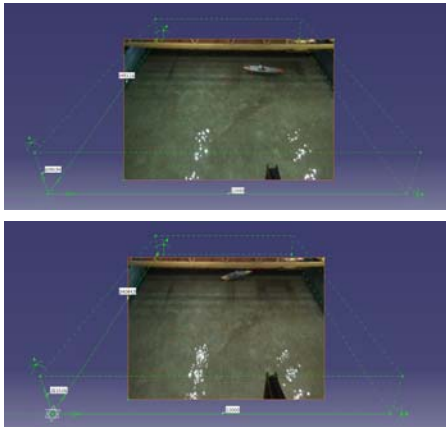


Figure 5: Calibration for Each Turning Trial

3.4 저항시험

RD-FK-11 카약(RD-FK-12 모델은 추가 연구계획의 추가모델로 제외함)에 대한 저항시험은 프루드(Froude)의 역학적 상사법칙에 따른 선속으로 수행되었으며, 해석방법은 1978 ITTC해석법을 근간으로 한 2차원법을 적용하였다. 또한 트림(Trim) 및 침하량(Sinkage)은 무차원화하여 나타내었다. 해석 방법, 트림 및 침하량을 요약하면 다음과 같다.

$$C_{TS} = C_{FS} + C_R + C_A + C_{AA}$$

$$C_A = [105(k_s/L_{WL})^{1/3} - 0.64] \times 10^{-3}$$

Hull roughness : $k_s = 150 \mu\text{m}$

$$C_{AA} = 0.001 \times (A_T/S)$$

(단, 여기서 C_{TS} : 총저항계수, C_{FS} : 마찰저항계수(ITTC 1957 곡선), C_R : 잉여저항계수, C_A : 모형선 - 실선상관수정계수(1978 ITTC 해석법),

C_{AA} : 실선 공기저항계수, A_T : 흘수 위 가로투영면적, S : 침수 표면적, L_{WL} : 수선길이)

$$T = (dA - dF) \times \frac{2g}{U^2}$$

$$S = \left(\frac{dA + dF}{2}\right) \times \frac{2g}{U^2}$$

(단, 여기서 T : 트림 무차원계수, S : 침하량 무차원계수, dA : 선미침하량, dF : 선수침하량, U : 선속, g : 중력가속도)

RD-FK-11의 저항성능 검증을 위한 회류수조 모형시험을 위하여 RD-FK-11의 선형의 모형을 제작, 중소조선연구원 회류수조 시험 연구동에서 일련의 모형 시험을 거쳐 저항 성능을 추정하였으며 회류수조에 대한 제원은 **Table 3**과 같고 모형선은 주요 제원에 나와 있는 바와 같이 목표 하중 상태일 때에 흘수를 조절(Design Load)하여 설치 및 실험을 실시하였다. 또한 시험대상 실선의 설계속도(Design speed)는 6.0knot 로서 설계속도의 전후 경우의 속도를 산정하여 시험을 수행하였다. 그리고 회류 수조에서의 저항시험은 **Figure 6**과 같이 수행하였다.

Table 3: Specification of Circulating Water Channel

Division	Specification
Body (L×B×D) m	17.6(L)×3.1(B)×6.40(H)
Observation Unit (L×B×D) m	6.0(L)×2.0(B)×1.55(H)
Water Capa (Ton)	90
Moter	about DC 30KW×2Sets
Impeller (Set)	Φ800×5Blades×2Sets (Vertical Circular Type)
Length of Model Kayak (m)	1.0 ~ 2.0
Range of Fluid Speed (m/s)	0.1 ~ 3.0

또한, 카약의 저항성능해석은 ITTC 해석법을 근간으로 한 2차원법을 적용하였으며 실측 선형을 바탕으로 모형선은 일반적으로 사용되는 FRP를 이용하여 RD-FK-11은 축척비 $\lambda = 4.558$ 로 축소 후 제작하였으며 모형선의 모양은 Figure 7에 나타내었다.



Figure 6: Photographs of Resistance Test (RD-FK-11) : 6.0 knots

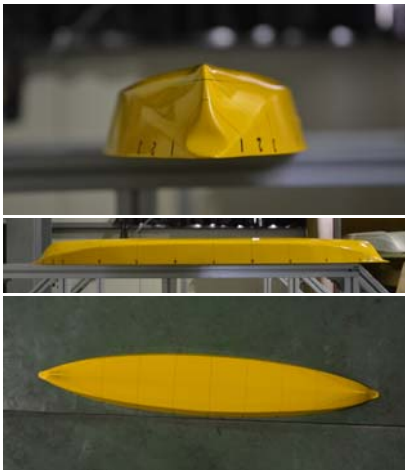


Figure 7: Reduced scale model

4. 수조시험결과 및 분석

4.1 경사시험결과

조선공학적 제계산 및 복원성 계산을 통해서 최대 경사각(30도)에 대한 복원팔(GZ, Righting Lever)은

Figure 8과 같이 RD-FK-11이 RD-FK-12에 비해 목표배수량(116kg)에 대해 14.93% 정도의 복원성이 좋은 것으로 판단되며 동일배수량 시에 KONA, RPO-2, RD-FK-11와 RD-FK-12의 복원성을 평가한 결과 KONA가 제일 복원성이 좋았으며 RD-FK-12가 복원성이 제일 좋지 못한 것으로 나타났다. 그리고 무게중심은 Table 4와 같이 RD-FK-11 > KONA > RPO-2 > RD-FK-12 순으로 나타났다.

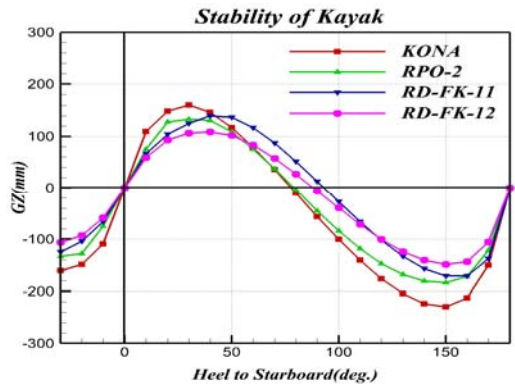


Figure 8: Comparison of righting lever

Table 4: Inclining Experiment Results

Division	Weight (kg)	Trim Angle (deg.)	KB' (m)	B'M' (m)	G'M' (m)	KG' (m)	KG (Ship) (m)
RPO-2	12.3	4	0.058	0.532	0.410	0.180	0.170
KONA	12.3	2.5	0.063	0.823	0.659	0.227	0.220
RD-FK-11	12.3	5.0	0.064	0.552	0.329	0.287	0.274
RD-FK-12	12.3	4.0	0.049	0.501	0.411	0.139	0.129

4.2 선회시험결과

카약의 조종성에 영향을 미치는 4가지의 카약에 대한 선회시험결과는 Figure 9와 같고, 동일한 방향타 25도에 대해서 RD-FK-12가 다른 카약에 비해 선회반경이 가장 작게 나타나고 Hobie KONA과 RD-FK-11은 선회반경이 크며, 이 두 카약이 전반적으로 밀림이 발생하는 경향을 보였다.

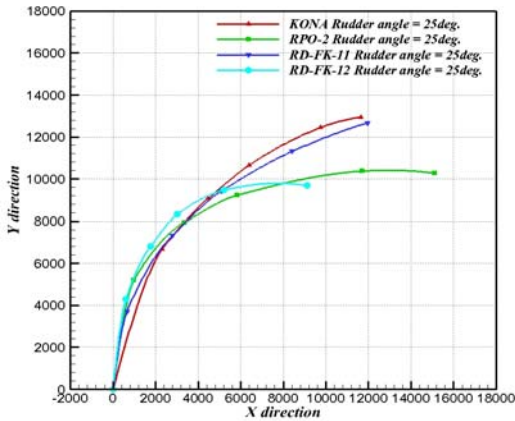


Figure 9: Curves of Turning Performance (mm)

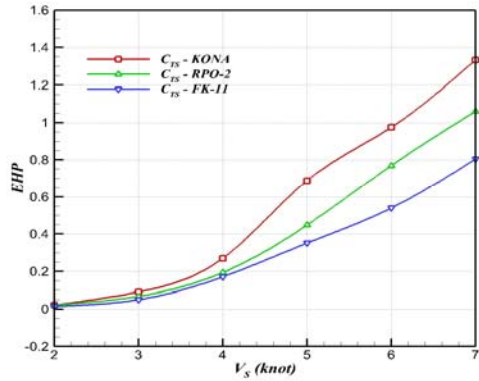


Figure 11: Curves of EHP

4.3 저항시험결과

저항계수를 비교한 결과 **Figure 10**과 같이 KONA > RPO-2 > RD-FK-11 순으로 저항이 나타났으며 RD-FK-11의 전체저항계수는 기존의 KONA와 RPO-2와 비교하였을 때에 약 39.62%와 약 19.36%가 개선되었다. 그리고 저항추정법을 통하여 추정된 유효마력(EHP)은 **Figure 11**에 나타내었으며, 설계 속도 6knot에서 KONA > RPO-2 > RD-FK-11 순으로 나타나 RD-FK-11이 가장 추진성이 좋을을 시사하며 각각 0.975hp, 0.769hp와 0.540hp로 나타났다.

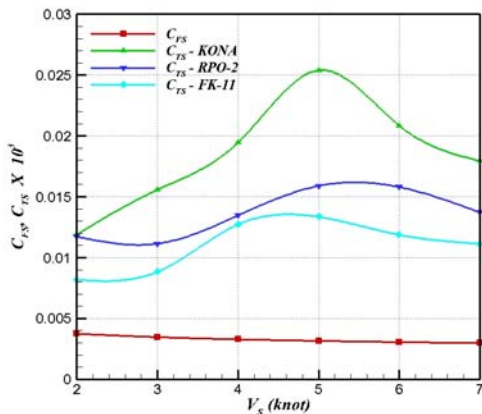


Figure 10: Curves of Resistance Coefficient

Figure 12와 같이 설계속도 6knot인 푸르드수 (Froude number)에서 침하량(Sinkage)은 RPO-2만이 양수 0.520을 보인 반면 KONA와 RD-FK-11은 거의 유사한 음수를 보였다. 이는 속도가 증가할수록 수면 위로 올라가려는 현상인 활주가 시작되는데 6knot부근에서 RPO-2는 활주를 시작하나 KONA와 RD-FK-11는 7knot에도 음수를 유지하고 있어 수면 위를 상승하지 못하는 것으로 생각된다.

그리고 6knot에서, 트림각은 RD-FK-11 > KONA > RPO-2 순으로 선수의 상승이 나타나며 속도가 증가하여도 동일한 경향을 나타냈다. 이것은 선미의 하강보다 선수의 상승이 큼을 알 수 있다.

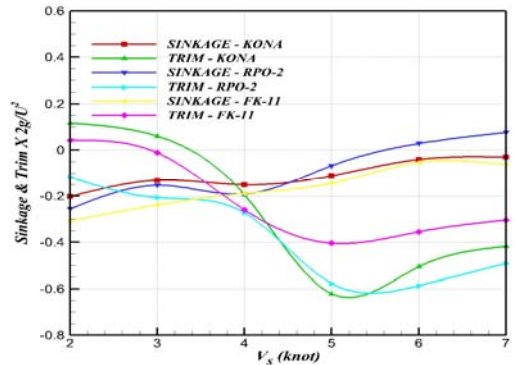


Figure 12: Curves of Sinkage & Trim

5. 결 론

기존의 RPO-2와 KONA 및 새로운 모델 RD-FK-11과 RD-FK-12의 선박계산 및 수조모형시험을 비교한 결과 요약 및 결론은 다음과 같다.

첫째, 복원성은 KONA가 제일 크고 RD-FK-12가 복원성이 가장 작았다 둘째, RD-FK-11의 전체 저항계수는 KONA와 RPO-2와 비교했을 때, 각각 약 39.62%와 약 19.36%가 개선되었다. 셋째, 무게중심은 RD-FK-11이 가장 크며 RD-FK-12의 무게중심이 가장 낮았다. 넷째, RD-FK-12의 선회반경이 가장 작고 KONA과 RD-FK-11은 선회반경이 크며, 전반적으로 밀림이 발생하였다.

결론적으로 각각의 카약에 대한 다양한 성능시험결과 복원성 측면에서는 KONA가 유리하고, 선회력과 무게중심 측면에서는 RD-FK-12가 우수하며, 저항성능 측면에서는 RD-FK-11이 KONA와 RPO-2에 비해 우수함을 알 수 있었다.

후 기

이 연구는 2011년도 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발 사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금 지원비에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [1] Hankyung Magazine, Travel & Spend, 83, 2012. (in korean).
- [2] Statistics Korea, 2006, Report of the Census on Establishment. (in korean).
- [3] T. Mangione, A. Johnson, M. Sawyer, B. Greenwald, A. Pelletier, J. Gilchrist, and J. E. Tongren, "Paddle sports fatalities-maine, 2000 - 2007", Journal of Morbidity and Mortality Weekly Report, vol. 57 no. 19 pp. 525-527, 2008.
- [4] H. J. Lee, Development of Hybrid Propulsive Inflatable Kayak for Two Persons, Final Report on Technology Development Promotion for Small & Medium Business, 2010.
- [5] J. S. Ki, C. K. Hah, and H. Y. Jang,

"Hydrodynamic evaluation method for developing the inflatable kayak" Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 36, no. 5, pp. 627-634, 2012 (in Korean).