

바람과 파랑충격을 고려한 소형경주정의 안정성해석

천승현*, 전호환**, 하문근***, M. Nakato****

Stability Analysis of a Small Racing Boat in Steady Wind and Wave Impact

by

S.H. Chun*, H.H. Chun**, M.K. Ha*** and M. Nakato****

요 약

Nakato & Ha[2]는 정상풍(steady wind) 및 파랑충격의 외력을 받는 소형경주정의 운동 및 전복에 관한 시뮬레이션 연구 결과를 발표 하였다. 경주정의 시뮬레이션은 실험 데이터를 이용하고 외력을 고려한 항공역학에서 일반적으로 사용되는 6자유도 운동방정식을 풀어서 수행하였다. 본 논문에서는 선미플랩을 부착하여 양력을 발생토록하여 Nakato & Ha의 운동 방정식을 수정하였다. 플랩에 의한 경주정의 제어는 바람과 파도의 중첩된 외부교란에 의한 전복현상을 상당히 억제시킬 수 있음을 알았다.

Abstract

The simulation results of a small racing boat running in steady wind and encountering waves are investigated by Nakato & Ha[2]. The simulation of the race running is realized by referring the measured data of boats and the motions are described by a set of equations of motion in six degree of freedom as generally used in the aerodynamics. In this report, Nakato & Ha's motion equations are modified by equipping the flaps to generate the lift. The flaps of the racing boat could restrain considerably the boat from capsizing caused by superposed external disturbances, wind and encountering waves.

발 표 : 1997년도 대한조선학회 추계학술대회('97.11.14)

접수일자 : 1998년 1월 19일, 재접수일자 : 1998년 11월 2일

*학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 대학원

**정회원, 부산대학교 조선해양공학과 (기계기술연구소)

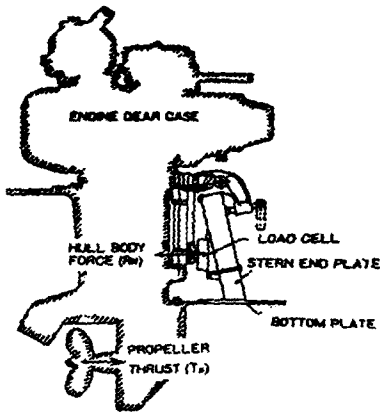
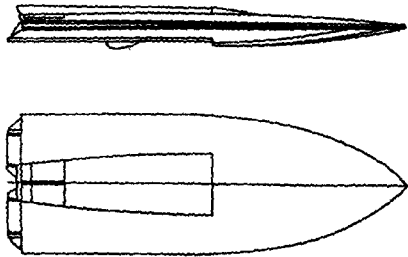
***정회원, (주) 삼성중공업

****Hiroshima University

1. 서론

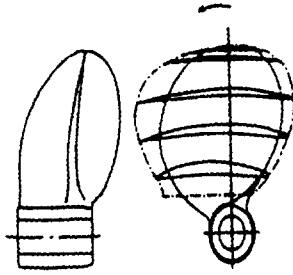
이 연구의 본래 목적 중 하나는 일본에서 열리고 있는 'Kyotei(競艇)' 라고 불리는 소형경주정의 경기에서 보우트(boat)의 안정성을 향상 시키는 것이다. Kyotei는 6척의 보우트에 의해 300m떨어져 있는 2개의 buoy주위를 도는 경주이다. 24개의 공식경기장에서 1년에 100일 이상 개최되는 모든 경기는 FPA(Federation of Prefectural Associations of Motor Boat Racing)에 의해 주관된다. 경기중 보트의 전복이 종종 발생하며, 1991년에는 전복된 횟수가 천번 이상이며 이것은 전체 사고 수의 반이상을 차지한다고 보고되고 있다. 이 논문의 목적은 경주정의 전복 현상 (capsizing mechanism)을 연구하고 안전하게 주행할 수 있는 조건을 알아내는 것이다. Ha & Nakato[1] 와 Nakato & Ha[2]는 경주정의 운동을 6자유도 운동 방정식으로 구성하여 정상풍(steady wind) 및 파

랑충격(wave impact)의 외부교란이 있을 때 경주정의 전복거동을 조사하여 발표 하였다. 운동 중에 있는 보우트에 작용하는 힘과 모멘트는 예인수조, 회류수조, 풍동에서의 많은 실험에 의한 자료를 이용 하였다. 경주정의 운동은 매우 격렬하고 복잡하므로 매순간의 힘과 모멘트의 계산은 아주 어렵다. 따라서 각각의 외력은 보우트의 선체(hull)와 핀(fin), 엔진기어케이스(engine gear case) 및 프로펠러의 각 부분에 작용하는 힘과 모멘트의 선형적 결합으로 간주하였다. 본 논문에서는 Nakato & Ha[2]의 결과에 선미 부근에 양력을 발생할 수 있는 플랩(flap)을 부착하여 운동 방정식에 힘과 모멘트를 고려하여 수정 하였다. 플랩에 의해 발생하는 양력은 주어진 위치에서의 집중력으로 가정 하였다. 기준선은 Nakato & Ha[2]에서 사용되었던 one step hydroplane이며 Fig.1에 엔진과 프로펠러와 함께 도시하였다.



| KIND OF BOAT | ONE-STEP HYDROPLANE |
|--------------------------------------|---------------------|
| BOAT NAME | YM511 |
| OVERALL LENGTH (m) | 2.885 |
| MAXIMUM BREADTH (m) | 1.266 |
| CENTER OF GRAVITY FROM STERN END (m) | 1.126 |
| HULL WEIGHT (kgf) | 71.8 |
| HULL MATERIAL | PLYWOOD |

| | |
|----------------------------|--------------------|
| TYPE | WATER COOL 2-CYCLE |
| TOTAL EXHAUST(ml) | 396.9 |
| MAXIMUM OUTPUT (ps/rpm) | 30/6600 |
| MAXIMUM TORQUE (kgf m/rpm) | 3.7/5500 |
| WEIGHT (kgf) | 42.5 |
| GEAR RATIO | 14 : 15 |



| | |
|---------------------|---------------|
| DIAMETER (m) | 0.165 |
| PITCH AT 0.7R | 0.240 |
| PITCH RATIO AT 0.7R | 1.455 |
| EXPANDED AREA RATIO | 0.450 |
| BOSS RATIO | 0.164 |
| NO. OF BLADES | 2 |
| TURNING DIRECTION | LEFT - HANDED |
| SECTION SHAPE | CRESCENT |

Fig.1 Racing boat(YM511). its gear case and propeller

2. 좌표와 운동방정식

2개의 우수 직교 좌표계가 사용되며, 공간에 고정된 좌표계와 보우트에 부착된 좌표계로서 Fig.2에 나타나 있다.

운동방정식은 아래의 일반식으로 표시될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 (M + m_x) (\dot{u} + wq - vr) &= X_t \\
 (M + m_y) (\dot{v} + ur - wp) &= Y_t \\
 (M + m_z) (\dot{w} + vp - uq) &= Z_t \\
 (I_{xx} + i_{xx}) \dot{p} + (I_{zz} - I_{yy})qr &= L_t \\
 (I_{yy} + i_{yy}) \dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})rp &= M_t \\
 (I_{zz} + i_{zz}) \dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq &= N_t
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

식에서, $X_t, Y_t, Z_t, L_t, M_t, N_t$ 는 X, Y, Z 축방향의 총외력과 3축에 대한 모멘트이며, u, v, w, p, q, r은 3방향의 속도와 각속도이다. 또한, M과 m은 질량과 부가질량이며, I 와 i는 관성모멘트와 부가관성모멘트이다. 서론에서 언급한 것처럼, (1)식의 우변의 외력과 모멘트는 선형 중첩에 의해 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 X_t &= X_H + X_F + X_G + X_P \\
 &\quad + X_A + X_W + X_{FL}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_t &= Y_H + Y_F + Y_G + Y_P \\
 &\quad + Y_A + Y_W + Y_{FL} \\
 Z_t &= Z_H + Z_D + Z_A + Z_W + Z_{FL} \\
 L_t &= L_H + L_F + L_G + L_P + L_D \\
 &\quad + L_M + L_A + L_W + L_{FL} \\
 M_t &= M_H + M_F + M_G + M_P + M_D \\
 &\quad + M_M + M_A + M_W + M_{FL} \\
 N_t &= N_H + N_F + N_G + N_P + N_A
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

위에서 첨자는 다음을 나타낸다.
 H: boat hull, F: fin, G: engine gear case,
 P: propeller, M: driver, FL: flap
 W: encountering wave, A: aerodynamic force
 D: damping force of oscillation

보우트 고정좌표의 원점은 중력중심 G로 두고, 공간 고정좌표에 대한 G 의 속도는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned}
 \frac{dX_e}{dt} &= u \cos \theta \cos \psi \\
 &\quad + v (\sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi) \\
 &\quad + w (\cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dY_e}{dt} &= u \cos \theta \sin \phi \\ &+ v (\sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi) \quad (3) \\ &+ w (\cos \phi \sin \theta \cos \psi - \sin \phi \sin \psi) \\ \frac{dZ_e}{dt} &= -u \sin \theta \cos \psi + v \sin \phi \cos \theta \\ &+ w \cos \phi \cos \theta \end{aligned}$$

순간각속도와 Eulerian angle 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= p + q \sin \phi \tan \theta + r \cos \phi \tan \theta \\ \dot{\theta} &= q \cos \phi - r \sin \phi \quad (4) \\ \dot{\psi} &= q \sin \phi \sec \theta + r \cos \phi \sec \theta \end{aligned}$$

공간고정좌표에 대한 보우트중력중심 G에서의 운동을 결정하기 위해 u, v, w, p, q, r의 시간에 대한 변화량(time histories)은 (1)식을 풀어서 계산하고, 계산되어진 속도와 각속도를 경계조건과 함께 (3), (4)식에 대입한다.

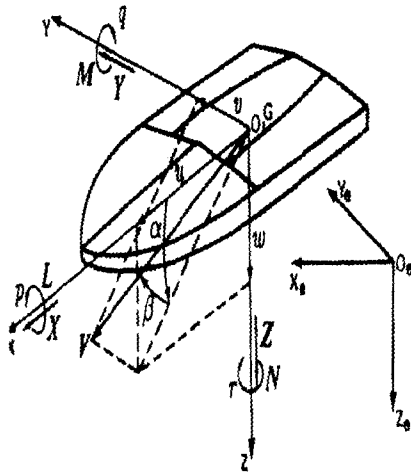


Fig. 2 Coordinate systems

3. 보우트에 작용하는 힘과 모멘트

보우트에 작용하는 힘과 모멘트는 참고문헌[1, 2]과 같은 방법으로 계산하지만, 3차원의 복잡한 운동 때문에 힘과 모멘트는 보우트의 상태와 보우트가 물에 젖는 부분과 면적에 따라 변한다. 힘과 모멘트를 계산하기 위해, Fig.3에 보여주는 바와 같이 기하학적으로 단순화하였다. 힘과 모멘트는 준정상상태(quasi - steady state)로 가정하여, 간단히 (basic force or moment) × (ratio of wetted portion to basic portion) 에 의해 계산된다.

사용된 부가질량과 부가관성모멘트는 Table 1에 제시되어 있다. 사용되는 부가질량과 부가관성모멘트는 실제 실험데이터에 의해 구해지며, 필요하다면 수정해서 사용할 수 있다.

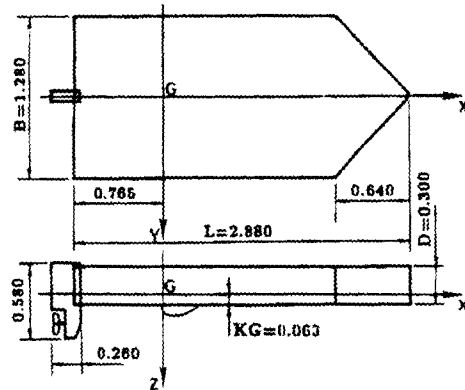


Fig. 3 Simplified boat (unit : m)

Table 1 Added mass and added moment of inertia

| Motion | Parameter | Value |
|--------|-----------|----------------|
| SURGE | m_x | 0.1M |
| SWAY | m_y | 0.1M |
| HEAVE | m_z | 1.5M |
| ROLL | i_{xx} | 0.255 I_{xx} |
| PITCH | i_{yy} | 1.5 I_{yy} |
| YAW | i_{zz} | 0.1 I_{zz} |

3.1 X방향 힘

(1) 보우트 선체와 편에 작용하는 힘은 다음으로 구한다 [1, 2].

$$X_H + X_F = -C_{TH} (u) \rho \nabla^{2/3} u^2 \quad (5)$$

C_{TH} (저항계수)는 Fig.4에 나타난 것처럼 실험으로부터 구하였다. X_H 에서 수직력(부력, 양력 등)의 X성분은 필요에 따라 첨가되어야 한다.

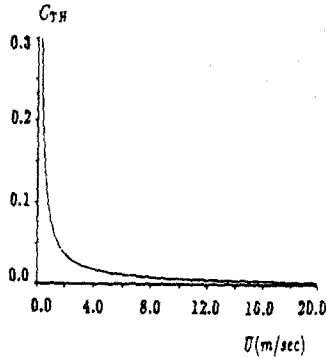


Fig.4 Resistance coefficient of racing boat

(2) 엔진기어케이스에 작용하는 힘 [1, 2].

$$X_G = -C_{TG} (u) \rho \nabla^{2/3} u^2 - F_{GN} \sin \delta \quad (6)$$

첫 번째 항의 C_{TG} 는 Fig.5에서 보여주는 저항계수이며, 두 번째 항은 기어케이스에 의해 생기는 수직력의 X성분이다. 수직력 F_{GN} 는 일반적인 배의 타에 대한 경험식에 의해 계산 가능하다.

$$F_{GN} = \left(\frac{\rho}{2}\right) \left(\frac{6.3 \times 2A_G}{4A_G + 2.25}\right) A_G V^2 \sin \alpha_G$$

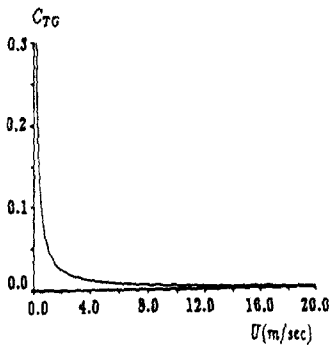


Fig.5 Resistance coefficient of gear case

(3) 프로펠러에 의한 힘(X_P)는 Fig.6로 주어지는 특성곡선에 의해 구한다 [1, 2].

$$X_P = T_P \cos \delta \quad (7)$$

$$T_P = K_T (J, \sigma_V) \rho n^2 D^4$$

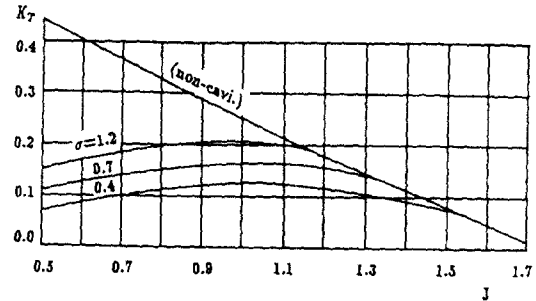


Fig.6 Propeller open water characteristics

3.2 Y방향 힘

(1) 횡력(Y_H)과 선수요모멘트(N_H)는 주항상대 중 수선하 투영된 작은 측면적상에 작용한다고 하고(Fig.7 참조), 아래의 공식에 의해 계산된다 [1, 2].

$$Y_H = \frac{\rho}{2} A_H V^2 (Y_V V_H + Y_{VV} V_H | V_H|) \quad (8)$$

$$N_H = Y_H x_H \quad (9)$$

$$V_H = V + x_H \dot{\gamma}$$

$$x_H = \frac{x_H}{L}, \quad (\text{면적중심의 } x\text{좌표})/L$$

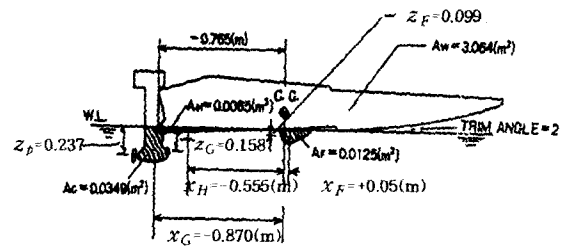


Fig.7 Schematic profile of boat

(2) 핀에 작용하는 횡력(Y_F)과 선수요모멘트(N_F) [1, 2].

$$Y_F = -\frac{\rho}{2} \pi \Lambda_F A_F V^2 \sin \alpha_F \quad (10)$$

$$N_F = Y_F x_F$$

) 엔진기어케이스에 작용하는 측면력(Y_G)과
 주요모멘트(N_G) [1, 2].

$$Y_G = F_{GN} \cos \delta$$

$$N_G = Y_G x_G \quad (11)$$

$$\alpha_F = \beta + x_F r$$

(4) 프로펠러에 의해 생기는 측면력(Y_P) 와 모
 멘트(N_P) [1, 2].

$$Y_P = T_P \sin \delta$$

$$N_P = Y_P x_G \quad (12)$$

3.3 Z방향의 힘

(1) 보우트에 작용하는 양력은 Savitsky[5, 6, 7]
 에 의해 주어진 Fig.8에 의해 계산된다. 항주정의
 양력자료는 쉽게 얻을 수 없고, 도표를 사용하여
 양력은 항력을 통해 계산된다. 양력중심과 관련해
 서, Fig.9와 같은 길이가 침수코드길이와 같으며
 면적이 침수면적과 같은 가상의 직사각형 평판이
 사용된다.

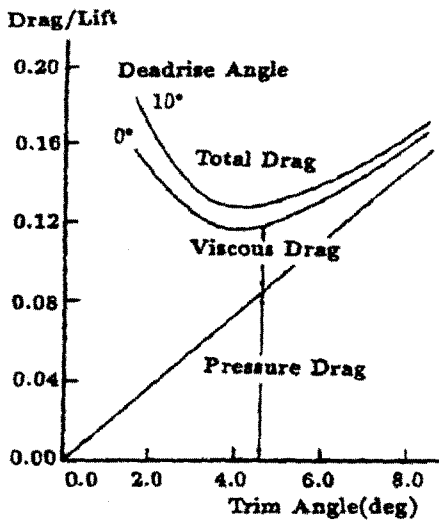


Fig.8 Drag/Lift ratio by Savitsky (1985)

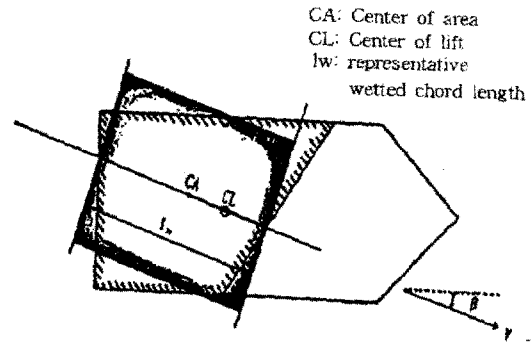


Fig. 9 Fictitious planing surface

(2) 부력

$$F_B = -\rho g \nabla(\phi, \theta, \psi, Z_e; t)$$

(3) Fitting된 선체, 엔진, 운전자의 무게, 플랩
 에 의한 양력이 고려된다.

3.4 X, Y축에 대한 모멘트

(1) 선체에 작용하는 모멘트(L_H, M_H)와 핀
 에 작용하는 모멘트(L_F, M_F)

$$L_H = -Y_H KG + F_L \cos \phi \cos \theta y_L$$

$$+ F_B \cos \phi \cos \theta y_B$$

$$L_F = -Y_F z_F$$

$$M_H + M_F = (X_H + X_F) KG$$

$$+ F_L \cos \phi \cos \theta x_L \quad (13)$$

$$+ F_B \cos \phi \cos \theta x_B$$

(x_L, y_L) : center of lift

(x_B, y_B) : center of buoyancy

z_F : area center of fin

F_L : lift

F_B : buoyancy

(2) 기어케이스로 인한 모멘트(L_G, M_G)

$$L_G = -Y_G z_G \tag{14}$$

$$M_G = X_G z_G$$

z_G : 엔진기어케이스의 면적중심

(3) 프로펠러 추력으로 인한 모멘트

$$L_P = -Y_P z_P \tag{15}$$

$$M_P = X_P z_P$$

z_P : 프로펠러의 Z좌표

(4) 운전자의 무게로 인한 모멘트

$$L_M = w (y_M \cos \phi - z_M \sin \theta) \tag{16}$$

$$M_M = -w (x_M \cos \theta - z_M \sin \theta)$$

w : 운전자의 무게

운전자는 보통 보우트가 유리하게 운행하기 위해 그의 무게를 옮긴다. 현재, 이동거리는 Fig.10 처럼 횡경사 또는 트림각에 비례하는 것으로 하였다. 롤링(rolling), 피칭(pitching), 히빙(heaving)의 감쇄력은 Lewis form에 의해 추정한다.

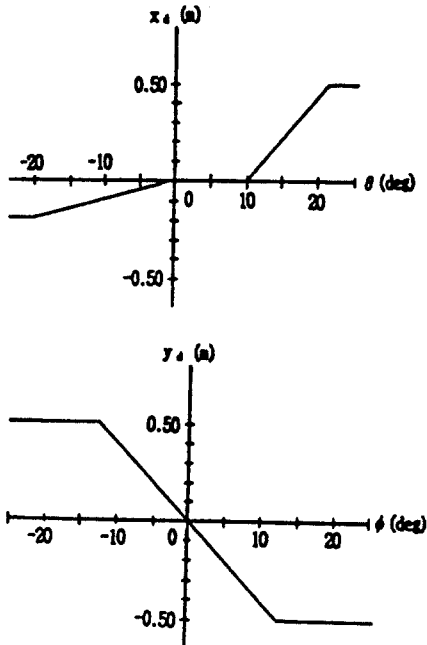


Fig.10 Shifting distance of driver's weight

(5) 플랩으로 인한 모멘트

$$L_{FL} = y_{FL} \times Z_{FL}$$

$$M_{FL} = x_{FL} \times Z_{FL} \tag{17}$$

(x_{FL}, y_{FL}) : center of flap lift

보우트의 선미부근양쪽에 2개의 플랩을 장치하여 한점(G로부터 $x = -0.7m, y = \pm 0.5m$)에 양력이 집중력으로 작용한다고 가정하고, 힘은 횡경사각에 비례하는 것으로 하였다. 양쪽 플랩 두 개를 같은 방향을 동시에 작동시키면 트림각 제어에 효과를 가져올 수 없으므로, 본 연구에서는 양쪽 플랩이 반대방향으로 같은 크기의 각으로 동시에 작동되도록 하였다.

4. 보우트에 작용하는 교란력

4.1 풍력

임의의 방향과 속도의 정상풍에 의한 교란을 고려하였다(Fig.11 참조). 횡경사각과 트림각이 변하는 보우트의 모든 방향에서의 공역학적 특성을 얻기 위해 1/6 축척의 모형선의 풍동실험을 수행하였다[1]. 실험범위는 모형선의 방향에 대해서 0° 에서 180° 까지, 트림각은 -10° 에서 40° 까지, 횡경사는 -30° 에서 30° 까지 광범위하게 수행하였으며 이들을 데이터화하여 시뮬레이션에 이용하였다. Fig.12는 트림각 0° , 횡경사각 0° 에서의 전형적인 실험결과를 보여주고 있다.

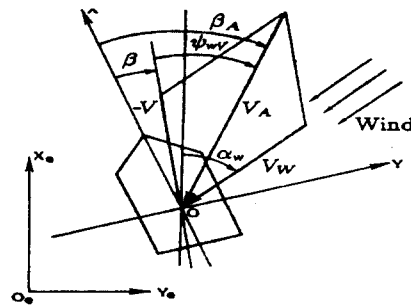


Fig.11 Wind direction and velocity

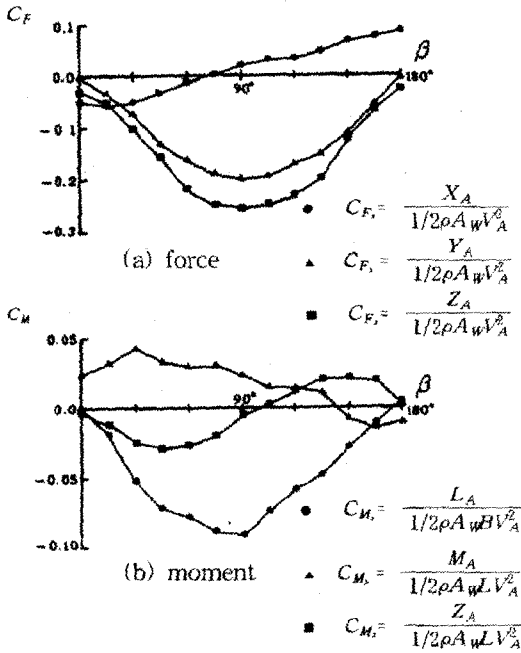


Fig.12 Aerodynamic force and moment (trim=0°, heel=0°)

4.2 파충격력

($X_w, Y_w, Z_w: L_w, M_w, N_w$)

경주정은 buoy를 회전할 때 앞선 보우트에 의해 생성되는 파를 만나는 것이 대부분이고 이때 파의 충격에 의해 자세가 변하고 과도한 횡경사에 의해 전복이 발생한다고 한다. 이때 만나는 파의 방향은 사진이나 비디오에 의해서 관찰해보면 대개 경주정의 표류방향과의 합성속도 \vec{V} 의 방향이 된다고 한다[1]. 이러한 사실로부터 파충격에 관한 보우트의 운동은 Fig.13에서 보여주는 것처럼 파는 V 방향으로 입사되어 A-A에서 B-B까지 아주 짧은 시간에 통과하고 그 사이의 파충격은 $c \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow e$ 의 선상(파정길이의 중앙)을 이동하는 집중력으로 표시한다. 운동을 시뮬레이션 할 때, 충격강도는 가속도에 의해 표시된다. 실험데이터를 이용해서 각속도(p, q, r)를 구한 후 파충격력을 계산하였다.

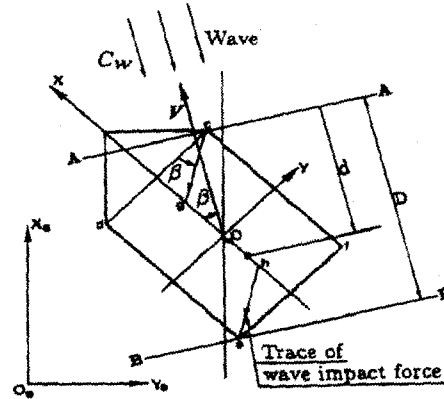


Fig.13 Encountering wave impact

5. 운동시뮬레이션

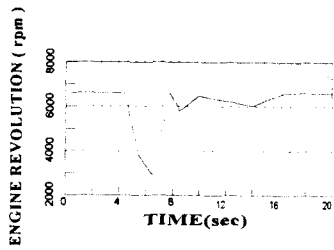
운전자는 조타, 프로펠러 회전속도와 그의 몸무게를 옮김으로서 경주정을 조종한다. 시뮬레이션의 기본적인 입력은 시간에 따른 타각의 변화량과 프로펠러의 회전수이다.

운동 시뮬레이션에 사용되는 기호는 논문 마지막에 주었다. 시뮬레이터의 조종은 정수에서의 실선의 운동기록에 의해 수행되고, 그 결과가 Fig.14에 주어져 있다. Fig.14의 기록은 경기의 표준상태(정수중, 무풍)로 간주하며 이후로 교란중의 기록은 이것과 비교한다. 위험상태의 전복기준은 트림각 $\geq \pm 35^\circ$, 횡경사각 $\geq \pm 30^\circ$ 로 하였다. 이것은 많은 전복데이터와 시뮬레이션 데이터에 의해 가정되었다.

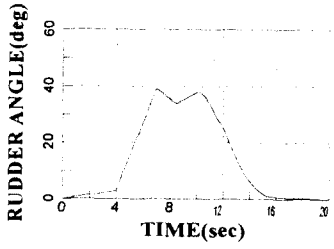
5.1 정상풍(steady wind)에서의 경주

직선코스에서 보우트는 23m/s의 속도를 내고 회전할 때에도 10m/s이상의 속도로 달리기 때문에 바람에 의한 공기력은 매우 심각하게 된다. Fig.15와 Fig.16은 그와 같은 조건에서의 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에서, 타각은 진행방향및 각속도의 변화율에 따라 어떤 규칙에 의해 지배된다. 일반적으로, 직선코스에서 맞바람의 힘에 의해

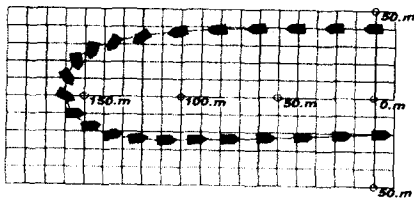
보트의 트림은 커지며 Fig.16의 경우는 보우트가 전복됨을 알 수 있다.



Time history of engine control



Time history of rudder control



Boat Trajectory

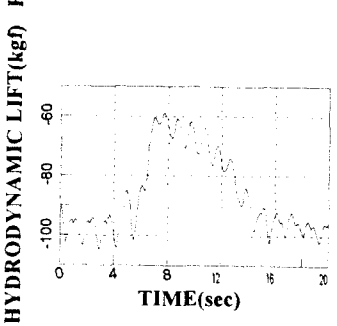
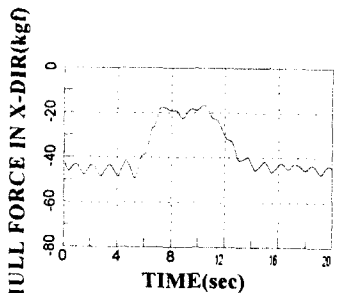
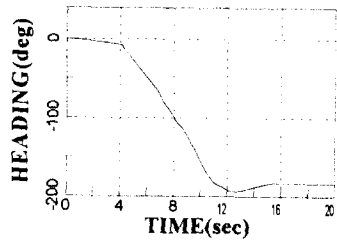
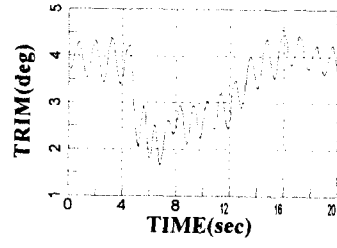
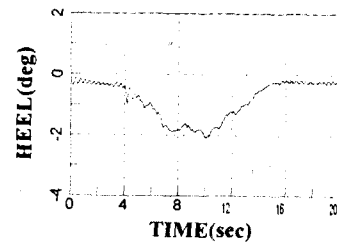
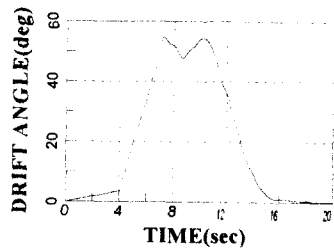
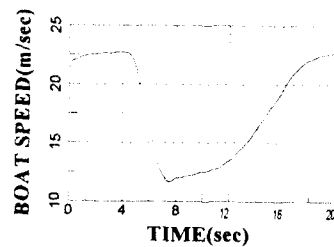


Fig.14 Simulated race running in still water

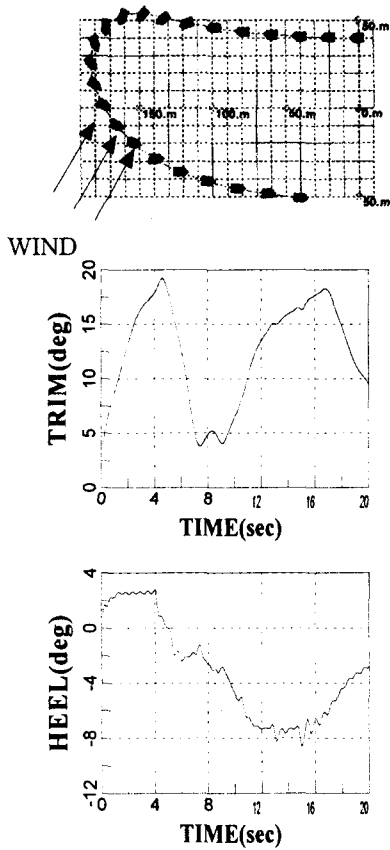


Fig.15 Simulated race running in wind
(wind : 10m/s, -60°)

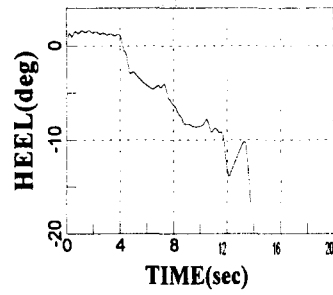
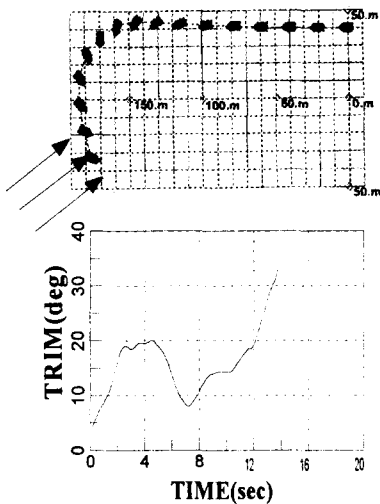
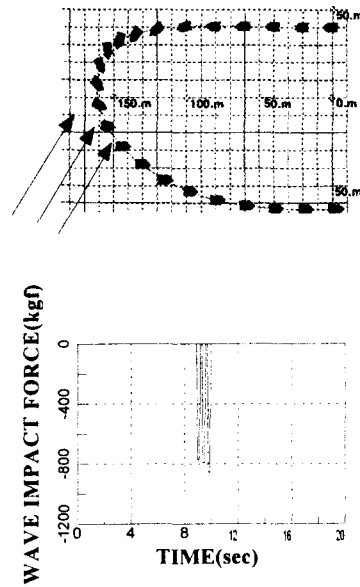


Fig.16 Simulated race running in wind
(wind : 9m/s, -30°)

5.2 정상풍과 파랑충격을 고려한 운동

Fig.17과 Fig.18에서 보우트는 정상풍에서 달리며 회전하는 도중 서로 다른 2개의 파충격력을 만난다(5g's, 10g's, g: 중력가속도). 충격의 시간간격은 조우되는 파의 주기와 같다. 보우트의 적절한 조종에 의해 보우트는 파중에서 경로를 유지할 수 있지만, 만약 보우트의 트림과 횡경사가 커지면 Fig.18에서 보여주는 바와 같이 트림과 횡경사는 다시 돌아올 수 없게 된다.



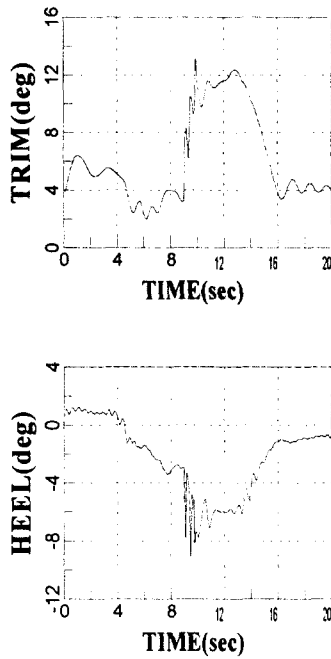


Fig.17 Simulated race running in wind and wave
(wind:6m/s, -60° , impact:5g's)

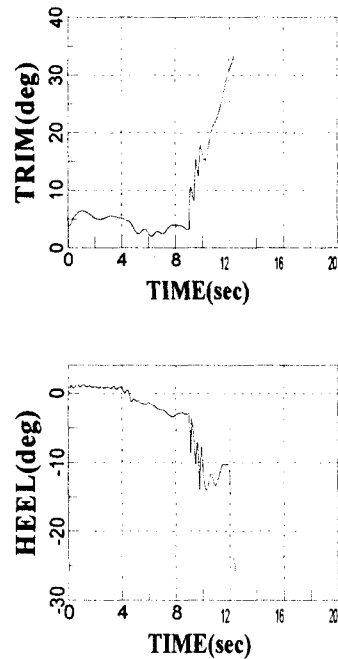
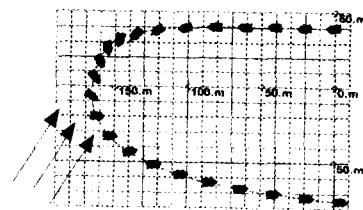
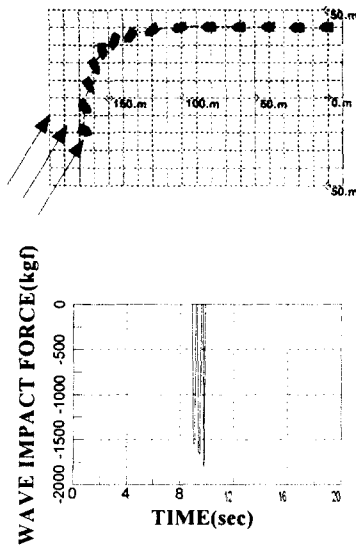


Fig.18 Simulated race running in wind and wave
(wind: 6m/s, -60° , impact :10g's)

5.3 플랩을 작동시켰을 때

Fig.19는 플랩을 작동시켰을 때의 시뮬레이션결과를 보여주고 있다. 플랩에 의해 발생하는 양력은 집중력으로 고려하고, 횡경사각이 10° 이하일 때는 70N까지 선형적으로 작용하고 그 이상이면 70N으로 일정하게 작용한다. Fig.18의 결과와 비교할 때 횡경사와 트림각이 플랩에 의해 상당히 줄었으며, 전복없이 주행을 끝낼 수 있음을 알 수 있다.



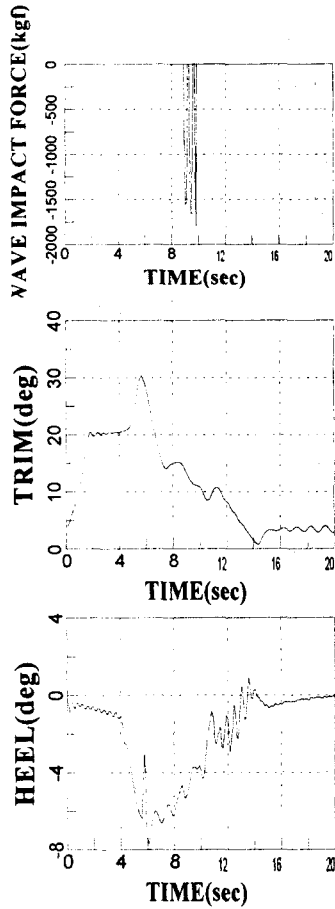


Fig.19 Simulated race running in wind and wave with flap (wind : 6m/s, -60°, impact : 10g's)

6. 결론 - 경주중 보우트의 안전구역

많은 시뮬레이션을 수행하여 운행중 보우트의 안전구역을 얻기 위해 바람과 파도교란을 바꾸어가며 반복되었다. 플랩효과를 고려한 것이 Fig.21에 나타나 있으며, 이것이 이 논문의 결론이다. 반면, 플랩을 장치하지 않은 결과가 Fig.20에 제시되어 있다. 2개의 결과를 비교해보면 플랩을 부착한 것이 훨씬 우수함을 알수 있다. 그림에서 안전구역은 선 안쪽이며, 3가지 파충격가속도에서의 결과를 보여주고 있다.

만약, 유일한 교란이 정수 중에서의 바람이고 6m/s이하이면, 5g's의 파충격에서 보우트는 어떤 방향에서도 안전하다. 이것을 플랩으로 제어한다면 9m/s의 바람에서도 안전함을 알 수 있다.

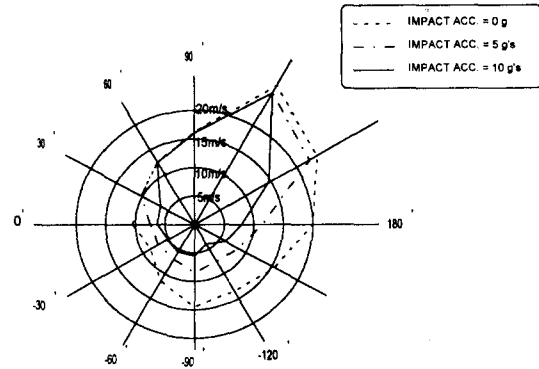


Fig.20 Safety zone of running boat (with no flap)

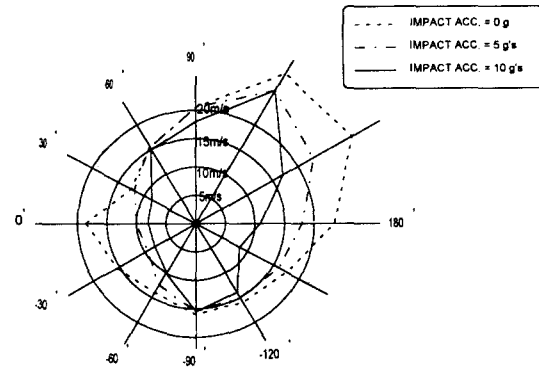


Fig.21 Safety zone of running boat (with flap)

참 고 문 헌

[1] Ha, M.K. and Nakato, M., "Motion of Small Racing Boat Encountering Steady wind and Waves", Transaction of West-Japan Soc. of Naval Architects No.85, pp.71~87, 1993
 [2] Nakato, M. and Ha, M.K., "Motion of a Small Racing Boat Running in Steady wind and Encountering waves", FAST'

93 , pp 1433~1448 , 1993

[3] Nakato, M. Yamada, K. and Higashi, E., "On Capsizing Condition of a Small Racing Boat (A Methodological Trial)", Proc.Korea-Japan Joint Workshop on Hydrodynamic in Ship Design , 1991

[4] Yazaki, A. Wakamatsu, S. Tagori, T. Nakato, M. Kato, H. Tanaka, H. and Abe, M., "Performance Analysis of Small Racing in Smooth Water and its Design Application", SNAME Trans., Vol.96, pp.309~332, 1988

[5] Savitsky, D., Planing Craft, Naval Engineers Journal pp.113~332, 1985

[6] Savitsky, D. and Brown P.W., "Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water", Marine Technology, Vol. 13 No.4, pp.1381~1400, 1976

[7] Savitsky, D., Roper J.K. and Benen L., "Hydrodynamic Development of a High Speed Planing Hull for Rough Water", Proc. 9th ONR, pp419~461, 1972

NOMENCLATURE

general

- $o - x, y, z$: 보트고정좌표
- $o_e - x_e, y_e, z_e$: 공간고정좌표
- u, v, w : 속도
- p, q, r : 각속도
- v : 보트의 속도
- ϕ, θ, ψ : heel, trim, drift에 대응되는 오일러각
- δ : 엔진타각
- w : 보트의 무게 (driver 포함)= 168 (kgf)
- ∇ : 배수용적

- M : 보트의 질량 = 17.2(kgf sec²/m)
- m_x, m_y, m_z : 부가질량
- I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} : 관성모멘트
 $I_{xx} = 1.5$ (kgf m/sec²)
 $I_{yy} = 9.7$ (kgf m/sec²)
 $I_{zz} = 10.0$ (kgf m/sec²)
- i_{xx}, i_{yy}, i_{zz} : 부가관성모멘트
- X_t, Y_t, Z_t : 외부힘
- L_t, L_l, L_r : 외부모멘트
- ρ : 물의 밀도
- g : 중력가속도
- A_w : 바람에 대한 유효측면적 = 0.725(m²)
- L : 보트길이=2.88(m)
- engine rudder(gear case)
 $a_G = \delta - r_G (\beta + x_G r')$: 유효유입각
- A_G : 측면적의 aspect ratio = 1.50
- A_G : 측면적 = 0.0349(m²)
- x_G : 측면적중심의 x좌표 = -0.870 (m)
- r_G : 타의 유효계수
- x_G' : x_G / L
- r' : $r \times L / V$
- propeller
- $J = V/nD$: 전진계수
- K_T : 추력계수
- n : 프로펠러 rpm.
- D : 지름 = 0.165 (m)
- σ_v : 케비테이션 NO.
- Y-force
 $v_H = v' + x_H' r'$
- A_H : 침수측면적= 0.0065 (m²)
- x_H : 침수측면적의 중심

| | | | |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| x'_H | : x_H/L | (x_L, y_L) | : 양력중심의 좌표 |
| Y'_V, Y'_{VV} | : 조종운동의 공역학적 미분계수 = -0.063, -0.937 | (x_B, y_B) | : 부심의 좌표 |
| v' | : v/V | z_F | : 핀의 z좌표 |
| fin | | KG | = 0.063(m) |
| Λ_F | : aspect ratio = 0.185 | z_G | : 타중심의 z좌표 |
| A_F | : 면적 = 0.0125(m^2) | z_F | : 프로펠러의 z좌표 = 0.237(m) |
| x_F | : 면적중심의 x좌표 = 0.05(m) | driver | |
| x'_F | = x_F/L | w | : driver의 무게 = 52.0(kgf) |
| α_F | = $\beta + x'_F r'$ | z_a | : driver의 중력중심의 z좌표 = 0.5(m) |
| moment (L, M) | | x_a, y_a | : driver무게의 이동거리 |
| | | flap | |
| | | (x_{FL}, y_{FL}) | : 플랩의 양력중심=-0.7m, ±0.5m |