대 한 조 선 학 회 논 문 집
제47권 제3호 2010년 6월

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 47, No. 3, pp. 462-468, June 2010
DOI: 10.3744/SNAK.2010.47.3.462

조종자 입력패턴을 활용한 RIB형 무인선의 침로제어기 설계

윤근항†*, 여동진*, 윤현규**

한국해양연구원 해양시스템안전연구소*
창원대학교 조선해양공학과**

Design of Course Keeping Controller for RIB-type USV Using a Pilot's Steering Pattern

Kun Hang Yun†*, Dong Jin Yeo* and Hyeon Kyu Yoon**

Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI*
Changwon National University**

Abstract

A new course keeping controller for RIB(Rigid Inflatable Boat)-type USV(Unmanned Surface Vehicle) is developed using pilot's steering pattern. A pilot's simple steering pattern is found out from various course change tests. It is used to course keeping algorithm, suitable for large course change more than 60 degrees. To validate the course keeping controller, sea trial tests are conducted. From sea trial test, new course keeping controller shows good performance with less overshoot, maximum roll angle less than 20^0, which makes it possible that fast course changes without slip motion of USV.

※Keywords: USV(무인선), RIB(고형부력선), Course control(침로제어), Pilot(조종자), Steering pattern(입력패턴)

1. 서론

무인선(USV, Unmanned Surface Vehicle)은 수상에서 선원 없이 원격으로 운항되는 선박을 통칭하는 말로서, 일반적으로 위험한 운항 환경, 지속적인 인력이 소요되는 상황에서, 정찰, 감시, 해양관측, 인명구조 등의 용도로 사용되고 있으며, 용도와 임무에 맞게 다양한 크기와 형태로 개발되고 있다.

무인선의 개발을 위해서는 여러 가지 기술이 필요한데, 그 중 무인선의 운항을 위한 조종제어체계 기술은 무인선의 자율도 높은 운항을 위한 전제조건으로, ACL(Autonomous Control Levels)을

접수일: 2009년 11월 9일, 승인일: 2010년 4월 12일
†교신저자: gnangi@moeri.re.kr, 042-866-3650

높이기 위한 연구가 무인시스템 개발 선진국을 중심으로 이루어지고 있다.(OSD 2001)

한국해양연구원은 이와 같은 연구동향에 맞추어 방위사업청 민군겸용기술개발과제인 “원격 선박통제 제어기술 개발”에서 (주)GMB와 함께 RIB (Rigid Inflatable Boat)형태의 7m급 무인시제선 및 제어기술을 개발하였고, 제작된 무인시제선의 조종성능 분석을 통한 조종운동 모델링 연구 (Yoon et al. 2007)와 경유점 추종제어 관련 연구를 수행하였다.(Son and Yoon 2009) 현재 한국해양연구원은 새로 제작된 무인선에 보다 향상된 성능을 보장하는 조종제어체계를 적용하기 위하여, 침로제어기와 경유점 추종제어기를 새로 개발하고 있다.

본 논문에서는 RIB형태로 제작된 무인선의 침로제어기 설계를 위해 새로 제작된 무인선의 조종자 입력패턴을 변침단계별로 분석하고, 이를 바탕으로 조종자 입력패턴을 반영한 침로제어 알고리듬을 설계하였다. 또한 해상시험을 통하여 새로 설계된 침로제어 알고리듬이 조종자 입력패턴을 모사하고 있는지 확인하고, 무인선의 운항정보를 분석하여 침로제어기의 성능을 검증하였다.

2. 조종자 입력패턴 분석

무인선의 효율적인 침로변경을 위한 침로제어기를 개발하기 위해서는 무인선의 조종 및 운동특성을 고려하여야 한다. RIB형태의 선박은 조종과 운동이 연성되어 있어, 워터젯의 노즐각에 따라 선수동요각속도와 횡동요각이 즉각적으로 변하는 특성을 가지고 있다.(Yoon et al. 2008) 즉 침로제어기를 설계함에 있어 과도한 조종입력은 무인선의 불필요한 운동을 야기하고, 결과적으로 침로제어의 성능을 떨어뜨리게 한다. 따라서 침로제어기를 설계할 때에는 이를 반드시 고려하여야 하며, 조종자의 직관적인 조종패턴을 사용하면 효율적인 침로제어알고리듬을 설계할 수 있다.(Yun et al. 2009)

이를 위하여 숙련된 조종자가 RIB형태로 제작된 무인선을 사용하여 30도, 60도, 90도, 120도, 150도, 180도의 변침각을 갖는 조종시험을 20노트와 10노트 두 가지의 초기속도에 대하여 수행하였다. 조종시험에 사용된 무인선은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1 Prototype of USV developed by GMB & KORDI

본 무인선의 주요 제원은 Table 1과 같다. 추진장치로는 워터젯 장비를 사용하고 있으며, 워터젯의 노즐각과 RPM을 변화시켜 방향 및 속도를 조절할 수 있다.

Table 1 Principal particulars of USV

Displacement(ton)	3.4
Length(m)	7.9
Breath(m)	2.8
Draft(m)	0.53
Maximum Speed(knot) Operation Speed(knot)	38 20

조종시험에서 얻은 조종자의 노즐각 변화 및 그에 따른 운항 상태로, Fig. 2와 같은 60도 변침의 예를 들 수 있다.

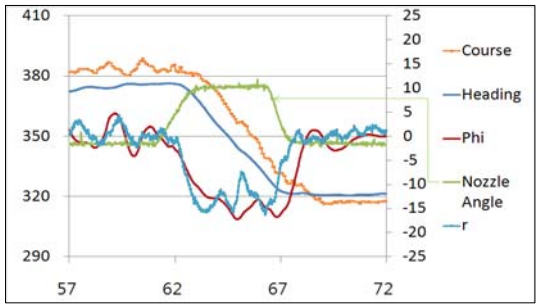

Fig. 2 60° course change (20knot)

여기서 Course는 무인선의 침로각, Heading은 선수동요각, Phi는 횡동요각, Nozzle Angle은 노즐각, r은 선수동요각속도를 의미한다. 그래프에서 보듯이 조종자는 60도를 변침하기 위하여 약 11도의 노즐각 크기를 5초가량 사용하는 조종입력을 수행하였다. 조종자는 선수동요각속도를 고려하여 미리 노즐각의 크기를 0으로 변화시키고, 그 이후 미소의 노즐각 조정을 통하여 변침각의 최종오차를 조정하였다. 30도에서 180도의 변침각 조종시험 모두 이와 비슷한 경향을 나타내었으며, 20노트, 10노트의 속도에 대하여 변침각별 조종입력 결과를 비교하면 Fig. 3, Fig. 4와 같다.

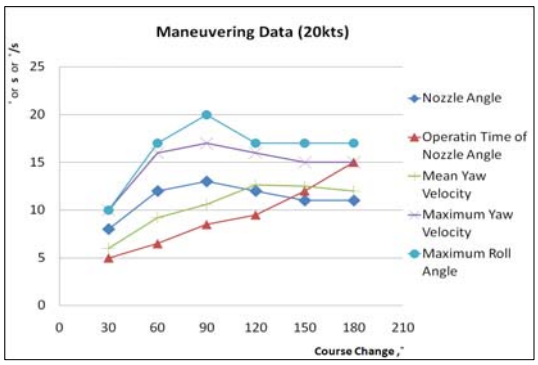

Fig. 3 Maneuvering data (20knot, pilot)

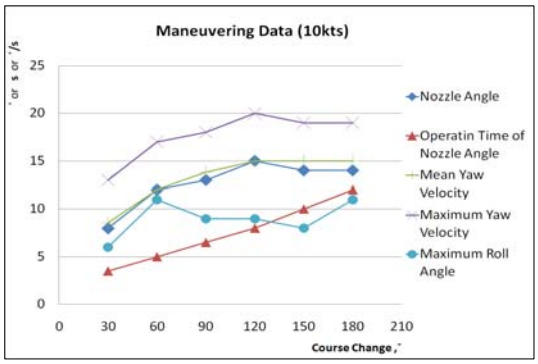

Fig. 4 Maneuvering data (10knot, pilot)

20노트의 경우, 그래프에서 보듯이 사용자는 60도 이상의 변침각을 갖는 조종시험에서는 노즐각을 약 12도 미만으로 일정하게 사용하고 있으며, 최대 횡동요각은 20도를 넘지 않는 것을 볼 수 있다.

10노트의 경우, 조종자가 사용한 노즐각은 15도를 넘지 않는 것을 볼 수 있으며, 60도 이상의 변침각에서는 어느 정도 일정한 값을 가진다고 판단할 수 있다. 이때, 최대 횡동요각은 15도를 넘지 않는다.

두 가지 속도에 대한 조종자의 입력 분석을 통하여, 60도 이상의 대각도 변침의 경우, 조종자가 사용하는 노즐각의 크기는 운항속도에 대응하는 일정한 값을 가지는 것을 알 수 있었다. 60도 이하의 변침각의 경우, 노즐각의 크기는 0도에서 60도의 변침각에 대하여 사용한 노즐각의 크기를 선형 보간하여 그 값을 결정할 수 있을 것으로 판단하였다.

조종자가 운항속도에 따라 노즐각의 크기를 다르게 사용한 이유는, 최대 횡동요각의 경우, 같은 변침각, 같은 노즐각이라 하더라도 운항속도에 따라 다르게 나타나므로, 횡동요각에 영향을 주는 노즐각의 크기를 운항속도에 따라 다르게 적용하고자 한 것임을 알 수 있다. 이와 같은 조종자의 입력 노즐각 크기 제한은 최대 횡동요각을 20도 미만으로 줄임으로써, 선미가 급격히 회전하면서 속도가 급격히 줄어드는, 무인선의 위험한 운항상태를 피할 수 있게 해준다.

선수동요각속도의 경우, 최대선수동요각속도 및 평균선수동요각속도 모두 두 속도에 대하여 노즐각의 크기에 비례하는 것을 확인할 수 있다.

3. 침로제어 알고리듬 설계

앞서 분석한 조종자의 입력패턴 분석은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 조종자는 60도 이상의 변침각의 경우, 노즐각의 사용에 있어 일정 값 이상을 사용하지 않음. 이 값은 변침 당시 운항속도에 영향을 받으며, 결과적으로 횡동요에 영향을 미침.
- 운항속도가 빠를수록 사용하는 노즐각의 크기는 줄어들며, 20노트 기준으로 12도를 넘지 않음. 이때의 최대 횡동요각은 20도 정도임.

- 변침 중 선박은 노즐각의 크기에 따라 일정한 선수동요각속도를 유지하며, 조종자는 이를 미리 감지하여, 원하는 변침각에 도달하기 전에 노즐각을 0으로 되돌림. 이후 미소의 노즐각을 사용하여 최종 변침을 완료함.
- 조종자는 60도 이하의 변침각에서는 변침각이 작을수록 사용하는 노즐각의 크기를 줄임.

따라서 조종자의 입력패턴은 60도 이상의 대각도 변침에 사용하기에 적절한 것으로 판단되며, 조종자의 입력패턴을 활용한 RIB형 무인선의 침로제어 알고리듬을 Fig. 5와 같이 설계하였다.

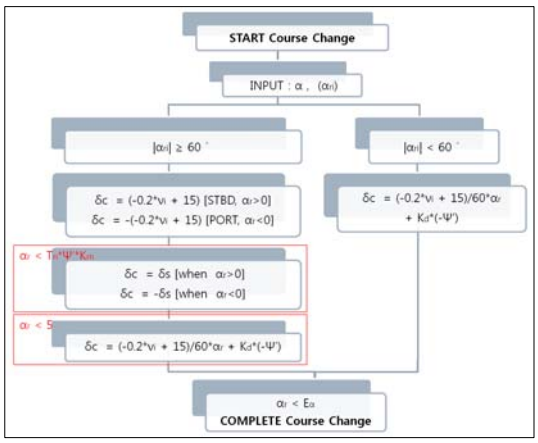

Fig. 5 Algorithm for course change using pilot's steering pattern

침로제어 알고리듬은 조종자 입력패턴 분석결과와 동일하게, 변침각 60도를 기준으로 작동한다. 변침각이 60도 이상일 경우, 운항속도와 변침각의 크기에 의해 결정되는 노즐각 크기로 일정하게 유지되는데, 선수동요각속도와 노즐각의 이동속도에 의해 결정되는 제한각보다 상대변침각이 작아질 때까지 유지한다. 이후 노즐각의 크기는 사용자가 입력한 작은 값으로 잠시 유지되고, 상대변침각이 5도 아래일 경우 비례미분제어로 변화된다. 변침각이 60도 보다 작을 경우에도, 동일한 비례미분제어로 침로를 변경하게 되며, 각각의 제어 계수는 운항속도와 변침각의 크기에 의해 결정된다. 여기에 사용된 약자의 설명은 Table 2와 같다.

Table 2 Symbol of algorithm

α	Ordered Course Angle
ψ	Heading Angle
$\dot{\psi}$	Rate of Turn
α_{ri}	Initial Relative Course Angle (−180°~180°)
α_r	Relative Course Angle (−180°~180°)
δ_c	Ordered Nozzle Anlge
δ_s	Defined Small Nozzle Angle
v_i	Initial Speed
T_n	TIme for Nozzle to go 0 Angle
K_d	Differential Gain
K_m	Timing Gain
E_α	Final Error

4. 해상시험

4.1 해상시험 수행

조종자의 입력패턴을 활용한 침로제어기의 성능검증을 위하여 2009년 10월 29일, 부산 광안리 근처에서 다음과 같이 해상시험을 수행하였다. 원격으로 운항 중인 무인선에 대하여 원격관제소(Fig. 6)에서 변침명령을 내렸으며, 무인선에 추가로 설치된 계측 장비(Fig. 7)와 기존에 설치된 일반 센서 장비로부터 오는 항해정보를 기록하였다.

Fig. 6 Control center & USV

침로제어를 하기 위한 되먹임신호로는 무인선에 설치된 자이로콤파스에서 나오는 선수각(10Hz)을 활용하였으며, 계측장비 중 VG400센서는 횡동요각, RTK dGPS는 COG(Course of Ground)를 계측하여, 침로제어의 성능 판정을 위한 요소로 사

용하였다.

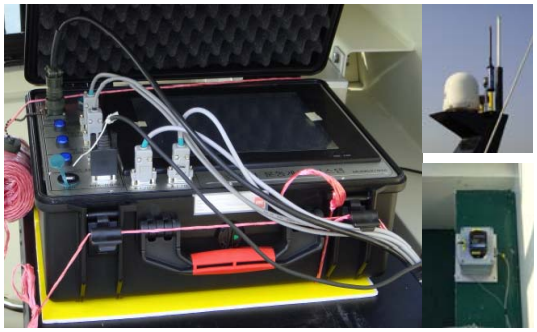

Fig. 7 Maneuvering data acquisition system

해상시험 시나리오는 조종자의 입력패턴을 활용한 변침이 가능하도록, 약 20노트로 운항 중인 무인선에 대하여 운항 방향을 기준으로 60도 크기의 변침각을 주었으며, 같은 조건에 대하여 4번의 실험을 수행하였다.

4.2 시험 결과

Fig. 8은 GPS에서 얻은 정보를 활용하여 무인선의 변침 궤적을 전자해도에 나타낸 것이다.

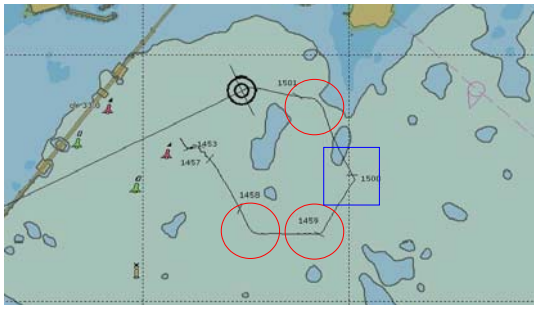

Fig. 8 Sea trial test - trajectory

무인선은 반시계방향으로 진행하였으며, 궤적에서 보듯이 무인선의 직진 항해(침로유지) 및 침로변경이 잘 이루어진 것을 확인할 수 있다. 무인선의 조종입력 및 운항정보는 Fig. 9와 같으며, Course_C는 침로변경 명령, Heading은 선수동요각, Vel(GPS)는 운항속도, WJ Nozzle_C는 노즐각 명령, WJ Nozzle_F는 실제 노즐각을 의미한다.

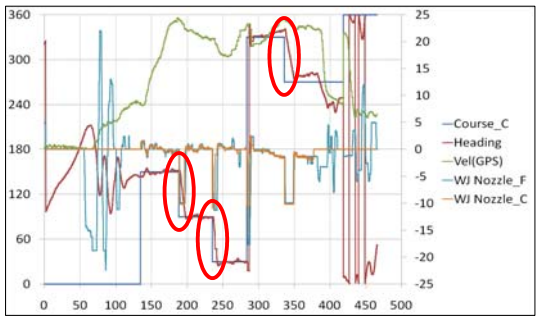

Fig. 9 Sea trial test - maneuvering data

여기서 3번째 침로변경의 경우(사각형 표시), 노즐각제어기의 오작동으로 인해 실제 노즐각(17도)이, 명령 노즐각(10도)을 벗어났다. 이 경우, 과도한 조종입력으로 인한 횡동요각 때문에 앞서 설명한 선미가 급격히 회전하는 위험한 운항 상태가 나타났다. 따라서 3번째 침로변경의 경우는 침로제어기 성능분석에서는 제외하고, 세 구간(원형 표시)에 대해서만 분석을 수행하였다.

4.3 침로제어기 성능분석

Fig. 10은 약 20노트의 운항속도에서 약 60도의 변침과정 중, 조종자 입력패턴을 활용한 침로제어기의 노즐각 입력과 조종자의 노즐각 입력을 비교한 그림이다. 그림에서 보듯이, 새로 설계된 침로제어 알고리듬이 만들어내는 노즐각 움직임은 그 형태와 크기, 사용시간 면에서, 조종자 입력패턴을 잘 모사하고 있는 것을 확인할 수 있다.

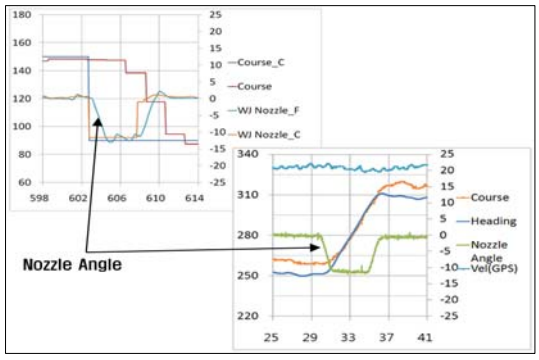

Fig. 10 Steering pattern - algorithm(L) & pilot(R)

Fig. 11은 조종자 입력패턴을 활용한 침로제어기를 사용하여 침로변경을 수행한 처음 두 구간에 대한 운항정보를 나타낸 그림이다. 위쪽 그래프는 무인선에 기본으로 설치된 일반 센서에서 기록된 정보로, 침로변경 명령, 선수동요각, 운항속도, 노즐각 명령, 실제 노즐각을 확인할 수 있고, 아래쪽 그래프는 무인선에 추가 설치한 계측장비에서 기록된 정보로, COG, 횡동요각을 볼 수 있다.

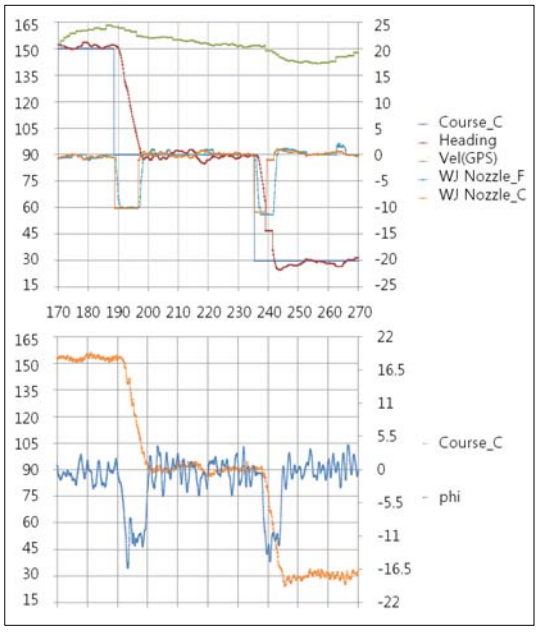

Fig. 11 Sea trial test - detailed data 1, 2

60도 변침명령에 대하여 10도 내외의 노즐각을 일정시간 사용하고 있고, 변침이 끝나가는 시점에서 비례미분제어로 바뀐 것을 볼 때, 침로제어기의 조종입력은 조종자 입력패턴을 모사하고 있다고 볼 수 있다. 특히 두 번째 변침구간의 경우 운항속도가 20노트로 감속되어 사용하는 노즐각의 크기가 첫 번째 변침구간에 사용한 노즐각의 크기보다 큰 것을 확인할 수 있다.

또한 무인선의 선수동요각과 COG값은 변침 중일 때를 제외하고는 거의 같은 값을 보인다는 것을 확인할 수 있다. 이는 고속 운항을 전제로 제작된 무인선의 선형에서 오는 특성으로 판단된다.

Fig. 12는 마지막 한 구간에 대한 운항정보를 나타낸 그림으로, 앞서 설명한 두 개의 구간과 동일한 경향을 보이고 있다. 다만 선수동요각과 COG값으로 볼 때, 변침 전 및 후에 무인선이 우현으로 편향되는 것을 볼 수 있는데, 이는 시험 당시 외력의 영향으로 판단된다.

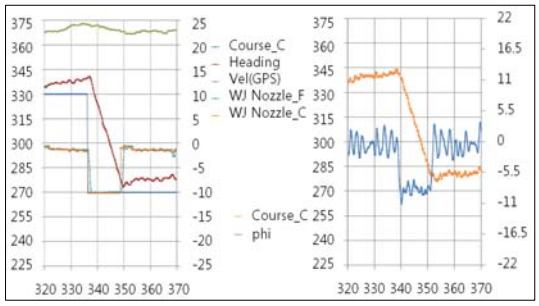

Fig. 12 Sea trial test - detailed data 3

세 변침 구간을 그래프에서 종합하여 볼 때, 조종자 입력패턴을 활용한 침로제어기의 60도 변침 성능은 Table 3과 같이 정리할 수 있다.

Table 3 60° course change result

Risetime	about 10s
Overshoot Angle	less than 5°
Final Error	less than 3°
Maximum Roll Angle	less than 17°

5. 결론 및 향후연구사항

본 논문에서는 RIB형태로 제작된 무인선에 적합한 침로제어기 개발을 위하여, 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- RIB형태 무인선의 단계별 변침시험을 통하여 운항속도, 변침각에 영향을 받는 조종자의 입력패턴을 얻어내고, 이를 반영한 침로제어 알고리듬을 설계하였다.

- 설계된 침로제어 알고리듬의 성능검증을 위하여, 60도 이상의 대각도 변침을 하는 해상시험을 수행하였다.

그 결과 조종자의 직관적인 조종입력패턴을 반영한 침로제어기를 활용할 경우, 오버슈트각이 작

고, 횡동요각을 최대한 억제하면서도 빠르게 변침이 가능하다는 것을 확인하였다. 또한 침로변경 이후 침로유지에도 좋은 성능을 보임을 확인하였다.

향후 연구사항으로는 침로제어를 하기 위한 되먹임신호로 쓰인 선수각 대신 COG를 활용한 침로제어의 결과를 비교해볼 필요가 있으며, 이를 통하여 고속으로 운항중인 RIB형태의 선박에 적절한, 침로제어 되먹임 신호를 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 되먹임신호가 10Hz보다 낮을 경우, 되먹임신호의 갱신주기에 따른 침로제어알고리듬의 성능을 확인할 필요가 있다.

후 기

본 논문의 내용은 방위사업청 민군겸용기술개발사업인 “원격 선박통제 제어기술 개발”과제의 협동과제로, 한국해양연구원에서 수행 중인 “무인선 제어시스템 알고리즘 최적화 기술 개발” 과제(PNS123A)의 연구내용을 일부 정리한 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

• Son, N.S., Yoon, H.K., 2009, "Study on a Waypoint Tracking Algorithm for Unmanned Surface Vehicle (USV)", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 33, No. 1, pp. 35-41.
• Yoon, H.K., Yun, K.H., Park, I.H., 2008, “Identification of Four-DOF Dynamics of a RIB using Sea Trial Tests (I) - Sea Trial Test, Resistance and Propulsion Model -", Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 815-822.
• Yoon, H.K., Yeo, D.J., Fang, T.H., Yoon, K.H., Lee, C.M., 2007, "Simplified Horizontal Maneuvering Model of a RIB-Type Target Ship”, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 6, pp.572-578
• Yun, K.H., Jeong, J.W., Cho, D.R., 2009, “Analysis of Pilot's Steering Pattern of RIB for Developing the Manoeuvring Control System of USV”, Proceedings of KAOST, pp.192.
• Office of The Secretary of Defense, 2001, Unmanned Aerial Vehicles Roadmap.

< 윤 근 항 > < 여 동 진 > < 윤 현 규 >