수중운동체에 대한 비연성 제어기 설계 및 성능 평가

Decoupled Controller Design of an Autonomous Underwater Vehicle and Performance Test Results

현 철*

(Chul Hyun¹)

¹M&S R&D CENTER, LIG Nex1

Abstract: In this paper, decoupled course, depth and roll controller design for an Autonomous Underwater Vehicle (AUV) and its performance test results are presented. Control system design is done using the PD control scheme based on a mathematical model of the AUV. Details of system implementation are given and the results of simulations and experiments using the prototype vehicle model are discussed. The designed controller was successfully applied to the nonlinear and coupled system under non-ideal actuator conditions.

Keywords: AUV, course and depth control, PD controller, actuator modeling

I. 서론

자율 수중운동체(AUV)는 해양 탐사 활동부터 국방 분야까 지 다양한 활용 범위를 갖는다. 해양 탐사 활동이나 호밍 어 뢰 등의 대표적인 AUV는 목적에 따라 운용 시간이나 요구 성능이 각각 다르지만, 모두 정밀한 조종제어 알고리즘이 요 구되는 시스템이라 할 수 있다. 이에 비해, 적의 호밍 어뢰로 부터 아함을 보호하기 위하여 적 호밍 어뢰를 기만하여 아함 이 회피 기동할 수 있는 시간을 확보하거나, 적 어뢰가 추진 연료를 소모하여 자침하도록 사용하는 수중운동체는 상대적 으로 높은 정밀도를 요구하지 않는다[1]. 이러한 AUV에 대 해서는 소형 저가의 MEMS 관성 센서를 이용하여 간단하고 저렴한 형태의 조종 제어 시스템을 구성할 수 있다.

AUV의 제어 시스템 중에서 심도제어기와 경로 제어기로 구성되는 자동 조종장치는 AUV의 자율 제어에 있어서 매우 중요한 기능을 하게 된다[2]. 수중운동체의 심도나 경로를 제 어하는 방법으로는 부력을 조절하는 형태[3], 링형의 제어면 을 이용하는 방법[4] 등도 있으나, 보통 추진기와 4개의 방향 타를 사용하는 방법이 일반적이다[5-15]. 이에 대한 제어 기 법은 대표적으로 PID제어[6,7,9,13-15], 슬라이딩 모드 제어 [5,11,12]가 많이 적용되고, 그 밖에 퍼지 제어나 LQ [3], H_∞ 제어[2,16] 등의 현대 제어기법을 적용한 사례들도 있다.

어뢰 형태의 소형 AUV는 여러 계수의 불확실성, 연성된 형태의 비선형성, 환경적 외란 등의 이유로, 일반적으로 이에 대한 제어기의 설계는 용이하지 않다[5]. 더구나 AUV의 크 기가 소형인 경우는 항체 자체의 안정성이 떨어지기 쉽기 때 문에, 목표 성능과 안정성을 충족시킬 수 있도록 충분한 마 진을 갖는 제어기가 필수적이다.

앞선 수중운동체들은 일반적으로 안정성은 좋으나, 3~4노

Manuscript received May 15, 2013 / revised June 10, 2013 / accepted June 30, 2013

트의 저속으로 운용하여 제어성이 좋지 못하고 외력이나 모 델링 오차에 큰 영향을 받는 경우가 많다[4,6,7,10-13]. 본 논 문에서는 이와는 상반된 경우의, 10노트 이상의 속력으로 기 동하여 제어타의 효과는 좋은 반면, 소형 경량이어서 기본적 인 안정성이 좋지 않은 AUV에 대한 제어기를 설계하였다. 간단한 형태의 설계와 구현을 위하여 비연성과 선형 시스템 의 가정 하에서, 가로축과 세로축, 그리고 롤 방향에 대한 제 어기를 각각 설계하고, 설계된 제어기의 기본적인 성능과 유 체력 계수 불확실성에 대한 안정성은 비선형 연성 모델을 이 용한 시뮬레이션을 이용하여 평가하고, 해상 시험을 통하여 검증하였다.

II. 운동 방정식

6자유도 운동을 하는 AUV의 운동은 그림 1과 같이, 일반 적으로 지표고정 좌표계와 동체고정 좌표계를 이용하여 표 현된다[6-8]. 이 때 지표고정 좌표계는 AUV의 위치와 오일러 각을 표시하고, 동체 고정 좌표계는 선속도 및 각속도를 표 현한다[8].



그림 1. AUV의 좌표계.

Fig. 1. The coordinate system of AUV.

^{*} 책임저자(Corresponding Author)

현 철:LIG Nex1 M&S 연구 센터(chul.hyun@lignex1.com)

본 논문의 AUV 운동방정식은 식 (1), (2)와 같이 뉴튼의 제 2법칙으로부터 유도된 일반 AUV의 비선형 방정식을, xz 평 면을 기준으로 대칭인 형상과 평형상태에 대해서 선형화하 여 적용하였다.

$$X = m(\dot{U} + QW - RV)$$

$$Y = m(\dot{V} + RU - PW)$$

$$Z = m(\dot{W} + PV - QU)$$
(1)

$$L = I_{x}P + (I_{z} - I_{y})QR - I_{xz}(R + PQ)$$

$$M = I_{y}\dot{Q} + (I_{x} - I_{z})RP - I_{xz}(R^{2} - P^{2})$$

$$N = I_{z}\dot{R} + (I_{y} - I_{x})PQ - I_{xz}(\dot{P} - QR)$$
(2)

롤 안정화 제어에 의해 롤각은 0으로 평형상태를 유지한 다는 가정하에, 형상과 질량분포가 수직면과 수평면에 대해 대칭인 운동체가 연직면에서 직선 운동하는 경우에 대해 운 동방정식을 정리하면 식 (3),(4)와 같다.

$$m(\dot{u} + W_0 q) = X_u u + X_{\dot{u}} \dot{u} - (W - B) \cos \Theta_0 \theta$$

$$m(\dot{v} - W_0 p + U_0 r) = Y_v v + Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_r r + Y_r \dot{r}$$

$$+ (W - B) \sin \Theta_0 \psi + (W - B) \cos \Theta_0 \phi + Y_{\delta_r} \delta_r \qquad (3)$$

$$m(\dot{w} - U_0 q) = Z_w w + Z_{\dot{w}} \dot{w} + Z_q q + Z_{\dot{q}} \dot{q}$$

$$- (W - B) \sin \Theta_0 \theta + Z_{\delta_r} \delta_e$$

$$I_x \dot{p} = L_p p + L_{\dot{p}} \dot{p} + L_{\delta_a} \delta_a$$

$$I_y \dot{q} = M_w w + M_{\dot{w}} \dot{w} + M_q q + M_{\dot{q}} \dot{q}$$

$$- x_B B \sin \Theta_0 \theta + M_{\delta_r} \delta_e \qquad (4)$$

$$I_z \dot{r} = N_v v + N_v \dot{v} + N_r r + N_r \dot{r}$$

$$- x_B B \sin \Theta_0 \psi - x_B B \cos \Theta_0 \phi + N_{\delta_r} \delta_r$$

수중운동체가 일정 심도에서 특정 속도로 수평 직선 등속 운동을 하는 조건에서는 가로의 운동과 세로운동간의 연성 을 무시할 수 있다. 본 논문에서는 제어기 설계의 편의를 위 해 위의 비선형 운동방정식을 상태변수 [*ν p r Ø ψ*]^T를 갖 는 가로 운동 방정식과 상태변수 [*u* w q θ z]^T를 갖는 세로 운동 방정식으로 나누었다. 그리고 가로축 운동 방정식에서 롤링 모드와 요잉 모드가 비연성됐다고 추가적으로 가정하 여 식 (5-7)과 같이 각각 가로축, 세로축, 롤축에 대한 선형화 된 상태 공간 방정식을 얻어냈다. 식 (5-7)의 각 계수들은 수 중 모형 시험을 통하여 얻은 대상 수중운동체의 유체력 계수 들을 기반으로 하여 도출되었다. 다음 절에서는 이를 이용하 여 제어기 설계 및 안정성 평가를 하게 된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.1432 & 2.6833 & 0 \\ 10.5197 & -10.4568 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 6.5087 \\ 26.5229 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_r \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.1432 & 2.6833 & 0 & 0 \\ 10.5197 & -10.4568 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -8.2304 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w \\ q \\ \theta \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 6.5087 \\ 26.5229 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_e \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -17.0768 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ \phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 6.492 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_e \quad (7)$$

III. 제어기 설계

AUV의 가로축, 세로축과 롤 방향에 대한 제어기는 PD제 어기와 유사한 형태로, 비연성을 가정한 각 축에서 자세측정 장치(AHRS)와 각속도 센서 그리고 심도계의 출력을 이용하 여 식 (8)과 같이 설정하였다[8].

$$\delta_{r} = K_{\psi} \left(\psi_{d} - \psi \right) - K_{r} r$$

$$\delta_{c} = K_{z} \left(z_{d} - z \right) - K_{\theta} \theta - K_{q} q \qquad (8)$$

$$\delta_{a} = -K_{\theta} \phi - K_{p} p$$

이 때, δ_r 은 방향 제어를 위한 방향 타각(rudder), δ_e 는 피 치 및 심도 제어를 위한 승강 타각(elevator), δ_a 는 롤 제어를 위한 롤 타각(aileron)이고, p,q,r은 자이로스코프를 통하여 얻을 수 있는 동체 고정 좌표계의 각속도 측정치, ϕ, θ, ψ 는 AHRS의 롤, 피치, 요 오일러 자세각이며, z는 심도계에서 측정하는 심도 값이다. 아래첨자 d가 붙은 변수 ψ_d, z_d 는 각 각 가로축의 목표 방향각과 세로축의 목표 심도를 의미한다. 위 식 (8)에서 롤각은 언제나 0이 되어야 하므로 목표 롤각 은 따로 설정하지 않는다. 그리고 $K_{\psi}, K_z, K_{\theta}, K_{\phi}$ 는 비례 이 득, K_u, K_a, K_r 은 미분 이득과 관련된 이득 값이다.

제어기를 포함한 가로축과 세로축의 블록 다이어그램은 그림 2에 도시하였다. 세로축은 가로축과 비슷한 형태이지만, 식 (6)에서와 같이 심도에 대한 상태가 추가되어 있음을 볼 수 있다. 롤축에 대한 블록선도는 입력명령이 0으로 고정되 는 것을 제외하면 가로축의 블록선도와 동일하기 때문에, 본 논문에서는 생략하였다.

식 (8)의 적절한 이득값은 극점배치기법을 통하여, AUV 기 동의 안정성을 유지하면서 비선형 오차, 구동기 특성, 센서 오차등에 의한 성능 저하 요소를 극복할 수 있도록 충분한 마진을 가질 수 있게 얻어내었다.

설계된 제어 이득에 대하여 각 축 별로 이득여유(GM: Gain Margin) / 위상여유(PM: Phase Margin)와 나이키스트 선도 (Nyquist Plot)는 그림 3에 도시되어 있다. 가로축은 무한대의 GM에 83.3도의 PM을 가졌고, 세로축은 20.1dB의 GM에 74.9 도의 PM, 롤축은 무한대의 GM과 87.9도의 PM을 보였다. 이 는 일반적인 폐루프 시스템의 기준에서 충분히 안정적인 결과이지만 여러 가정하에서의 선형모델에 대한 분석 결과이



그림 2. 선형화 모델과 제어기의 블록도.

Fig. 2. Block diagram of linear model and controller.





Fig. 3. Stability analysis of each decoupled axis.





Fig. 4. Perfomance of linear controller under parameter uncertain condition.

므로 실제 안정성과 성능은 비선형 연성모델에 대하여 검증 될 필요가 있다.

비연성을 가정한 가로축, 세로축과 롤 방향의 선형 운동방 정식의 계수가 30%의 범위에서 랜덤하게 변할 때, 설계된 제어기를 포함한 폐루프의 계단입력에 대한 반응특성은 그 림 4와 같다.

세 개의 그림은 각각 가로축의 요(yaw)각 출력, 세로축의 심도출력, 롤축의 롤(roll)각 출력을 나타낸다. 세 경우 모두 계수의 불확실성이 있는 경우에도 안정성이 유지됨을 확인 할 수 있다. 선형 제어기 적용에 가장 중요한 롤축 제어를 가장 빠르게 수렴하도록 설정하였고, 세로축은 불안정해질 가능성이 있고, 제어과정 중 오버슈트(overshoot)가 발생하면 해저면과의 충돌 우려가 있기 때문에, 반응속도가 다소 느리 더라도 안정성 확보와 오버슈트 방지에 중점을 두었다. 그림 4의 두 번째 그림에서 심도출력은 계수 불확실성 조건에서 도 위 조건을 충족함을 볼 수 있다.

IV. 구동기 모델

앞 절의 제어기 설계 및 성능 평가는 이상적인 구동기에 대하여 이루어진 결과이다. 그러나 실제의 구동기는 물리적, 기계적인 특성으로 인하여 제어 타각과 타각구동 속도에 한 계가 있고, 명령 전달 과정에서 시간 지연 등도 발생할 수 있다. 이와 같은 구동기의 제한요인들은, 폐루프 제어 시스템 의 전체적인 성능 저하를 유발할 수 있고, 심할 경우는 안정 성을 해칠 수도 있다. 이러한 견지로, 대상 AUV에 적용되는 구동기의 특성을 파악하고 이를 반영하여 통합적인 제어 성 능을 도출하는 것이 필수적이라 하겠다. 본 논문에서는 간이 해상 시험으로부터 획득된 제어 타각 구동기의 특성으로부



그림 5. 구동기 반응 특성. Fig. 5. Response property of Actuator.

터 구동기 모델을 유도하고, 이를 시뮬레이션 모델에 포함하 여 통합 제어성능을 파악할 수 있도록 하였다.

간이 해상 시험에서 얻은 구동기 특성은 그림 5에 나타나 있다. 점선으로 표현된 제어 타각 구동 명령에 대하여 실제 구동기 동작은 점과 선으로 표시하였다. 그림 5의 구동기 타 각 변위는 구동 타각의 최대치에 맞추어 정규화 된 값이다.

구동기는 식 (9)와 같이 순수 시간 지연(ta)과 1차 지연 성 분(ta)으로 모델링하였다.

Actuator Transfer Fuction : $e^{-t_d s} \times \frac{1}{t_c s + 1}$ t_d : pure time delay term (9) t_c : 1st order delay term

설정된 모델에 최소자승법(Least Square)를 적용하여 각 지 연 성분(t_a, t_a)마다 적절한 값을 얻어내었고, 이는 그림 5에 원 과 선으로 함께 표시되어 있다. 그림 5의 결과로부터 순수 시간 지연과 1차 지연 성분으로 모델링 된 구동기 모델은 간 이 해상 시험 결과에 잘 부합함을 확인하였다.

V. 시뮬레이션 및 시험 결과 비교

앞 장에서 설계된 제어기는 선형, 비연성의 가정하에 단순 화된 운동 방정식을 이용하여 얻어진 것이므로, 실제 비선형 연성 시스템에 적용 가능한지 검증할 필요가 있다. 본 논문 에서는 우선 설계된 제어기를 6자유도 비선형 연성 수중운 동체 모델에 적용하여 시뮬레이션을 수행하고, 실제 해상 시 험에 적용한 결과와 비교해 보았다. 이를 통하여 가정의 정 당성과, 설계된 제어기의 성능과 더불어 6자유도 운동 모델 의 적합성까지 확인해 볼 수 있다.

그림 6은 본 논문의 대상 AUV 시스템에 대한 비선형 운 동 방정식을 MATLAB Simulink에서 구현한 운동 모델이다. 6 자유도 운동 모델과 중력/부력 모델, 제어타각과 유체력 모델, 추력 모델 등으로 구성되어 있으며, 이를 이용하여 AUV 시 스템의 특성과 설계된 제어기의 성능을 모사할 수 있다.

시뮬레이션 및 해상 시험 시나리오는 다음과 같다. 수중 운동체 발사 후 초기 거동 안정화가 완료된 후 60초간 5m 아래의 심도를 유지하면서, 10노트 이상의 정속 주행을 하며 30도와 150도의 침로 변경을 반복적으로 수행하였다. 이는 그림 7에 정리되어 있다. 그림 7(a)는 30도와 150도로 반복되



그림 6. 시뮬레이션용 비선형 6자유도 모델. Fig. 6. Nonlinear 6DOF Model for Simulation.

는 침로 변경 명령을 시간대별로 도시한 그림이고, (b)는 이 러한 침로 변경을 성공적으로 수행했을 때의 전체 주행 경로 를 도시한 그림이다.

그림 7과 같은 시나리오에 따라 시뮬레이션과 해상시험을 수행한 결과가 그림 8~10에 각각 정리되어 있다. 각 그림에 서 점선은 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과이고, 실선은 해상 주행 시험 결과 데이터를 정리한 결과이다.

동체 고정 좌표계의 각속도계 출력이 그림 8에, 지표 고정 좌표계에서의 오일러 각이 그림 9에 나타나 있다. 그림 8에



그림 7. 방향 명령 과 AUV 시험 경로. Fig. 7. Yaw command and AUV test trajectory.



그림 8. 각속도 출력. Fig. 8. Gyroscope output.

 그림 9에서 침로 명령에 대하여 5초 정도의 시간 경과 후

 수렴하고 있고, 침로 변경 시 롤각과 피치각에 연성 효과가

 발생하지만, 곧 안정화 되고 있음을 확인할 수 있다. 롤각과

 침로각에 다소의 정상상태 오차가 발생은 하지만, 작은 값을

 유지하고 안정적인 주행을 하면서 침로 명령을 잘 추종하고

 있음이 나타나 있다. 정상상태 오차는 향후 연구에서 제어

 ⁶⁰

 제인의 조절이나 적분기의 적용 등으로 해결할 수 있을 것으

 로판단 된다.

 그림 10은 위와 같은 시나리오 수행시의 방향타와 승강타

 이 제어 티가운 전극하려서 드셔치 전과이다. 트러가이 다가

그림 10은 위와 같은 지나리오 두행시의 방양타와 중강타 의 제어 타각을 정규화하여 도시한 결과이다. 특정각의 타각 제한 조건 하에서도 AUV 제어를 성공적으로 수행하고 있음 을 볼 수 있다.

그림 &~10에서 나타난 시뮬레이션 결과와 시험 결과가 상 당히 유사한 결과를 보이는 것으로부터, 시뮬레이션에 사용 한 6자유도 모델이, 10노트 이상의 등속 직선 운동을 하는 실 제 수중운동체의 정상상태 거동을 잘 모사하고 있음을 더불 어 확인할 수 있었다.

이러한 방식으로 검증된 운동 모델은 수중운동체의 거동 특성 파악이나 제어기 튜닝 등, 향후 연구 진행에도 많은 도 움이 될 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 10노트 이상의 높은 속력으로 정속 기동하는 수중운동체에 대하여 비연성, 선형의 가정하에서 가로축과 세로축, 그리고 롤 방향에 대한 PD제어기를 설계하였다.

AUV의 6자유도 모델에 적용한 시뮬레이션 결과와 해상 시험 결과를 통하여, 구동기 성능 제한이 있어도, 설계된 선 형 제어기는 비선형 시스템에 효과적으로 적용됨을 확인할 수 있었으며, 더불어 시뮬레이션과 시험 결과가 대체로 유사 한 결과를 보이는 것으로부터, 시뮬레이션에 사용한 6자유도 모델이 실제 수중운동체의 정상상태 거동을 잘 모사하고 있 음을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- A. Hwang, S. Yoon, C. Choi, and H. Cho, "Verification of the underwater vehicle control algorithm with MEMS inertial sensor based on hardware in the loop simulation," *Proc. of the* 2009 KIMST annual Conference (in Korean), pp. 1988-1991, 2009.
- [2] K. Y. Jung, I. S. Kim, S. Y. Yang, and M. H. Lee, "Autopilot design of an autonomous underwater vehicle using robust control," *Transaction on Control Automation, and Systems Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 264-269, 2002.
- [3] K. S. Yoon, K. C. Park, and M. H. Lee, "Controller design for depth control of vehicle under seawater," *Transactions of the KSME A (in Korean)*, vol. 20, no. 1, pp. 24-34, 1996.
- [4] R. McEwen, *Modeling and Control of a Variable-Length AUV*, PhD Thesis, Monterey Bay Aquarium Research Institute, 2006.
- [5] T. Salgado-Jimenez and B. Jouvencel, "Using a high order sliding modes for diving control a torpedo autonomous underwater vehicle," *Proc. OCEANS 2003*, pp. 934-939, 2003.
- [6] B. Jalving, "The NDRE-AUV flight control system," *IEEE Journal of Oceanic Engineering, IEEE*, vol. 19, no. 4, pp. 497-501, 1994.



20

10

Euler Angle

30

50

60

40



그림 10. 제어 타각.

Fig. 10. Control Surface output.

서 전체적으로 수중운동체의 각속도는 침로 변경을 할 때를 제외하고는 0에 가까운 값을 유지하며 안정적인 운동을 하 고 있음을 보여 준다.

20

10

- 10

-20

20

10 (ded)

(deg)

- [7] B. Jalving and N. Storkersen, "The control system of an autonoumous underwater vehicle," *Proc. of the 3rd IEEE Conference on Control Applications*, vol. 2, pp. 851-856, 1994.
- [8] T. I. Fossen, *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons, 1994.
- [9] C. Hyun, "Course and depth control of autonomous underwater vehicle," Proc. of the International Conference on Electronics, Information and Communication, pp. 70-71, 2012
- [10] S. T. Kwon, W. K. Baek, I. Kang, H. S. Choi, and M. G Joo, "A study on way-point tracking of AUV using state feedback," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 12, pp. 1266-1272, 2011.
- [11] S. T. Kwon, D. H. Shin, and M. G Joo, "Way-point tracking of AUV using sliding mode controller," *Journal of Korean Institute* of Information Technology (in Korean), vol. 10, no. 10, pp. 17-22, 2012.
- [12] S. J. Ma, B. H. Jun, P. M. Lee, and S. B. Kim, "Design on yawing and depth controller and analysis of disturbance characteristic about the AUV ISIMI," *Proc. of the 2006 KSOE fall conference (in Korean)*, pp. 351-354, 2006.
- [13] P. Maurya et al., "Control of the MAYA AUV in the vertical and horizontal planes: Theory and practical results," *Proc. of the MCMC2006*, 2008.
- [14] J. H. Hwang, D. H. Baek, S. K. Hong, H. J. Cho, and S. S. Kim, "Design of micro-integration attitude controller of the unmanned underwater vehicle using MEMS inertia sensor," *Proc. of the CASS2008 (in Korean)*, pp. 368-373, 2008.
- [15] J. H. Hwang, S. K. Hong, and H. J. Cho, "Implementation of integrated simulator for design of control system for autonomous underwater vehicle - verification using HILS," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 14, no. 4, pp. 42-50, 2008.
- [16] S. Y. Yang, "H_∞ depth and course controllers design for autonomous underwater vehicles," *Transactions of the KSME A* (*in Korean*), vol. 24, no. 12, pp. 2980-2988, 2000.



현 철

2001년 2월 서울대학교 공과대학 전기공 학부(학사). 2011년 2월 서울대학교 공과 대학 전기컴퓨터공학부(공학박사). 2011 년 2월~현재 LIG넥스원 M&S 연구센터 선임연구원. 관심분야는 관성센서 제어, 항법유도제어, 수중운동체 제어 및 항 법 시스템.