

외란과 시간 지연에 의한 수중 운동체의 오차 해석

나 윤철*, 이 정규**, 권 순홍*, 이 만형**
 * 부산대학교 공과대학 조선공학과
 ** 부산대학교 공과대학 제어 기계공학과

Error Analysis of Underwater Vehicle under Influence of Disturbance and Time Delay

Yun Cheol Na*, Jeong Kyu Lee**, Sun Hong Kwon*, Man Hyung Lee**
 * Dept. of Naval Architecture Engineering, Pusan National University
 ** Dept. of Control and Mechanical Engineering, Pusan National University

ABSTRACT

The disturbance and time delay can often cause a significant error in the estimation of trajectory of a underwater vehicle. The time delay considered in this study is due to the delayed rudder response to the rudder input from the guidance control part. The simulation tests are performed on maneuver with constant rudder angle, zigzag maneuver, dive-climb maneuver, and corridor pattern maneuver. The results are compared with those of without delay cases.

1. 서 론

고속 수중 운동체의 성능을 향상시키기 위해서는 유힘 탐지부, 유도 제어부 및 구동 장치부 등의 내부 오차 특성과 시스템의 외부 환경으로 인한 외란 오차 영향을 분석하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

특히 고속 수중 운동체의 구동 장치부는 수중 운동체가 수중에서 고속으로 가동됨에 따라 타에 미치는 비정상 유동 특성으로 인해 큰 비중의 외란 오차의 발생이라는 문제점을 내포하고 있기 때문에 이의 영향을 최소화 하기 위한 최적의 구동 장치 개발이 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 구동 장치부의 모델링 및 내/외부 외란 특성 등을 분석하여, PID 제어기를 설계한 후, 유도 제어부로부터 주어지는 타각의 명령에 대해서 구동 장치부의 응답의 지연 내지는 오차가 수중 운동체의 6자유도 운동에 미치는 영향을 분석하였다. [1] 오차 해석은 유도 제어부에 주어지는 타각의 입력에 대해서 구동 장치부가 이상적인 응답을 나타내는 경우와 정상 상태에 도달하기까지 미소한 지연이나 오차를 가진 실제 구동 장치부의 응답의 경우에 대해서 운동 특성을 비교하였다.

우선 주어진 수중 운동체의 운동 방정식을 이용하여 일정 수평 타각 유지 선회 시험과 일정 승강 타각 유지 선회 시험을 행하여 타에 대한 수중 운동체의 선회 특성을 알아 보았다.

실제의 타는 계단 함수 형태로 조작되어지고 있지 않으므로 구동 장치에서 시뮬레이션된 타의 조작을 수중 운동체의 운동 방정식에 직접 이산화(discrete)된 입력으로 처리하여 그 결과의 오차를 해석할 목적으로 지그재그 선회 시험(Z-Maneuver), 승하강 시험(Dive-Climb Maneuver), 복도형 기동 시험(Corridor Pattern Maneuver)에 직접 적용하여 그 결

과들을 비교하였다.

2. 운동 방정식

수중 운동체에 미치는 힘과 모멘트는 속도와는 무관한 정적인 것과 추진력(thrust), 저항과 양력에 의한 동적인 것, 그리고 구동 장치부에서 운동체에 전달되는 타력에 의한 것으로 이루어진다.

이에 따른 수중 운동체의 운동은 운동체의 길이 방향의 축을 포함하는 연직면 내에서의 상하요(heaving)와 중요(pitching)의 연성 운동과 수평면 내에서의 좌우요(swaying)와 선수요(yawing) 및 횡요(rolling)의 연성 운동 그리고 전후요(surging) 운동으로 6 자유도를 갖게 된다. 따라서, 본 연구에서 사용된 수중 운동체의 운동 방정식은 아래와 같다. [2][3]

$$\begin{aligned} (m - X_{\dot{u}}) \dot{u} &= X \\ (m - Y_{\dot{v}}) \dot{v} - Y_{\dot{p}} \dot{p} - Y_{\dot{r}} \dot{r} &= Y \\ (m - Z_{\dot{w}}) \dot{w} - Z_{\dot{q}} \dot{q} &= Z \\ -K_{\dot{v}} \dot{v} + (I_x - K_{\dot{p}} \dot{p}) - K_{\dot{r}} \dot{r} &= K \\ (I_y - M_{\dot{q}}) \dot{q} - M_{\dot{w}} \dot{w} - M_{\dot{u}} \dot{u} &= M \\ (I_z - N_{\dot{r}}) \dot{r} - N_{\dot{p}} \dot{p} - N_{\dot{r}} \dot{r} - N_{\dot{v}} \dot{v} &= N \end{aligned} \tag{2.1}$$

(2.1)식에서 X, Y, Z, K, M 및 N은 수중 운동체에 미치는 모든 힘과 모멘트이다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 일정 수평 타각(δr=14°) 유지 선회 시험

δr = 14°로 유지하고 계속 운동할 때의 X-Y평면에서의 운동 궤적을 그림 1에 나타내었다. 이 때의 시간에 대한 u,

$v, \phi, \dot{\phi}, \ddot{\phi}$ 를 각각 그림 2부터 그림 6에 나타내었다. 원운동 반경은 35 m로 추정되었고, 이 때의 소요 시간은 약 15 초였다.

3.2 일정 승강 타각($\delta e=14^\circ$) 유지 선회 시험

$\delta e=14^\circ$ 로 유지하고 계속 운동할 때의 X-Z 평면에서의 운동 궤적을 그림 7에 나타내었다. 이 때의 시간에 대한 $v, w, \theta, \dot{\theta}$ 를 각각 그림 8부터 그림 11에 나타내었다. 이 때의 원운동 반경은 98 m로 추정되었고 소요 시간은 40 초이다.

3.3 지그재그 선회시험(Zigzag Pattern Maneuver)

타각을 $+14^\circ$ 부터 -14° 로 변화시키면서 이 때의 운동을 조사했다. 이 때 사용한 2가지 타각은 그림 12에 나타낸 바와같이 계단 함수 형태로 표현되는 타각 변화와 구동 장치에서 시뮬레이션된 타각 조작을 각각 사용하였다.

각각의 타각 조작에 대해 계산된 수중 운동체의 X-Y 평면에서의 궤적을 그림 13에 나타내었다. 그리고 시간에 대한 $u, v, \phi, \dot{\phi}$ 의 변화를 그림 14에서 그림 17에 나타내었다. 계산결과 12초 동안의 타 조작에 의한 최종 위치는 12.4 m의 거리차를 보였다.

3.4 승하강 시험(Dive-Climb Pattern Maneuver)

승강타를 $+14^\circ$ 로부터 -14° 로 변화시키면서 이 때의 운동을 조사했다. 이 때의 승하강 타의 변화를 그림 18에 나타내었다. 3.3절의 경우와 마찬가지로 2가지 승강타 조작에 대한 X-Z 평면에서의 궤적을 그림 19에 나타내었다.

이 때 시간의 변화에 대한 $v, w, \theta, \dot{\theta}$ 를 각각 그림 20에서 그림 23에 나타내었다. 계산결과 18 초 동안의 타 조작에 의한 최종 위치는 10.8 m의 거리차를 보였다.

3.5 복도형 운행 시험(Corridor Pattern Maneuver)

수평 타각에 의한 X-Y 평면에서의 궤적을 그림 24에 나타내었고, 고정 좌표계의 시간에 대한 위치를 표 1에 나타내었다. 이 두 결과는 미소한 차이를 보이는 것으로 계산되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 구동 장치부의 응답을 수중 운동체에 인가하였을 때, 운동 궤적에 발생하는 오차등을 분석하였다.

유도 제어로부터 주어지는 타각의 명령에 대하여 구동 장치부의 응답 지연 내지 오차들의 수중 운동체의 6자유도 운동에 미치는 영향을 유도 제어부로부터 주어지는 타각의 입력에 대하여 구동 장치부가 이상적인 응답을 나타내는 경우와 정상 상태에 도달하기 까지 미소한 지연이나 오차를 가진 실제 구동 장치부의 응답의 경우에 대하여 분석을 실시하였다. 이상의 연구 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- 고속 수중 운동체의 구동 장치부 시스템의 동적 모델링 및 동특성을 분석 하였다.

- 지그재그 선회 시험이나 승하강 시험의 경우 계단 함수 형

태로 표현되는 타각을 입력으로 하는 시뮬레이션과 구동 장치부에서 시뮬레이션된 타각을 입력으로하는 시뮬레이션 결과는 다소 큰 차이를 보였다.

- 계단형 운행의 경우의 타 조작에 의한 계산 결과는 미소한 것으로 나타났다.

앞으로의 연구 과제로는 구동 장치부에서 타각을 입력으로 하였을 경우, 수중 운동체의 실제 운행 결과에 미치게 될 여러 가지의 오차의 분석과 불확실한 매개변수들의 변동에 따른 관련 연구가 필요로 하며, 외란이 실제의 수중 운동체에 미치는 영향에 관한 연구도 행해져야 할 것이다.

Reference

- [1] 이만형, 권 순홍, "구동 장치부 외란 오차 해석", 부산대학교 기계 기술 연구소 최종 보고서, 1991.12.
- [2] Humphreys, D.E., "Development of the equations of motion and transfer function for underwater vehicle", NCSL Technical Report 287-76, July 1976
- [3] Humphreys, D.E., K.W. Watkinson, "Prediction of acceleration and hydrodynamic coefficients for underwater vehicles from geometric parameters", NCSL Technical Report 327-78, Feb. 1978

표 1 Corridor Pattern Maneuver ($\phi = 30^\circ$) 단위 : M

Time (sec)	Actuator Simulation		Step Function	
	X-distance	Y-distance	X-distance	Y-distance
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
5.0	86.69	0.00	86.69	0.00
10.0	165.00	-30.84	165.70	-31.77
15.0	249.63	-44.36	249.69	-43.87
20.0	329.20	-13.36	328.70	-11.76
25.0	404.48	30.06	404.09	31.65
30.0	489.04	43.11	488.80	43.56
35.0	568.15	11.82	567.63	11.55
40.0	642.67	-31.03	642.15	-31.38
45.0	726.16	-44.06	725.95	-43.13
50.0	805.31	-13.17	804.73	-11.11
55.0	880.55	30.13	879.91	32.18
60.0	964.87	43.14	964.37	44.05

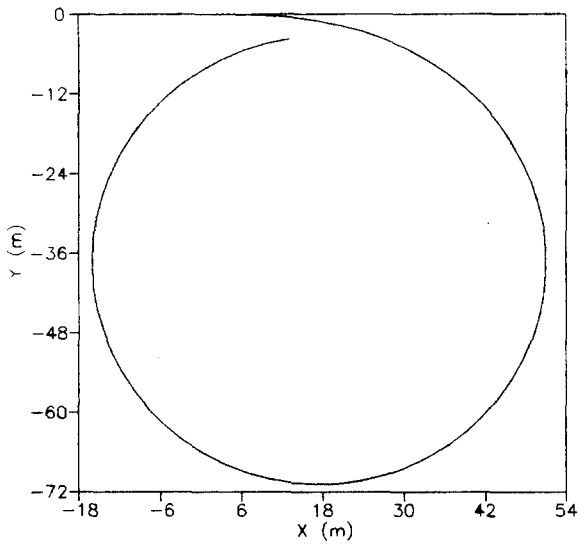


Fig. 1 X-Y trajectory ($dr = 14^\circ$ steady turn)

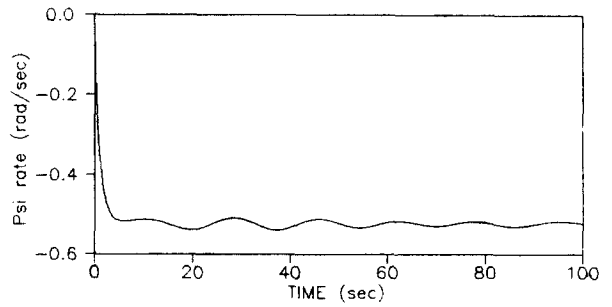


Fig. 5 Yaw rate time history

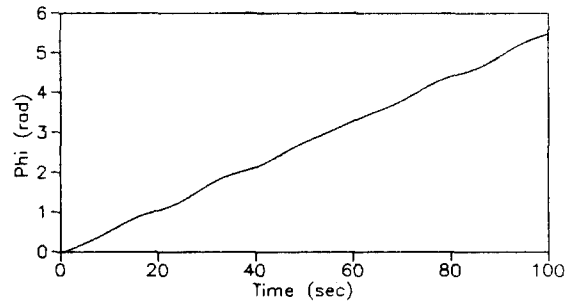


Fig. 6 Roll angle time history

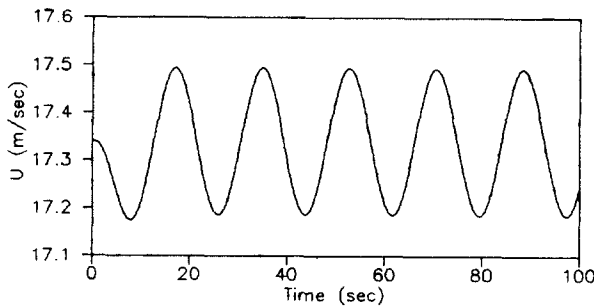


Fig. 2 U time history ($dr = 14^\circ$ steady turn)

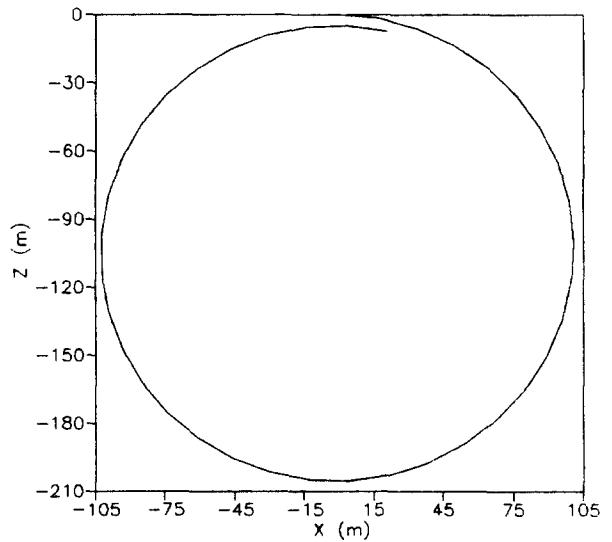


Fig. 7 X-Z trajectory ($de = 14^\circ$ steady turn)

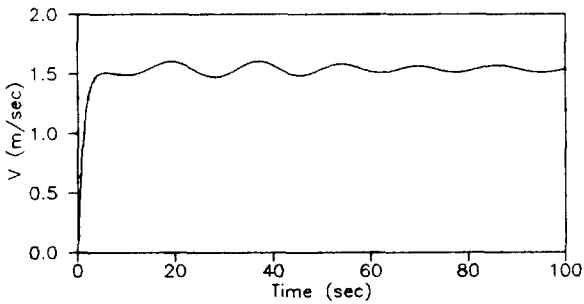


Fig. 3 V time history ($dr = 14^\circ$ steady turn)

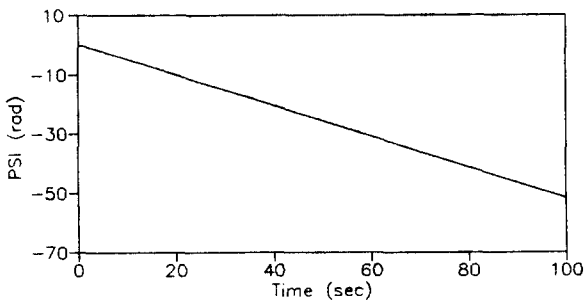


Fig. 4 Yaw Time history ($dr = 14^\circ$ steady turn)

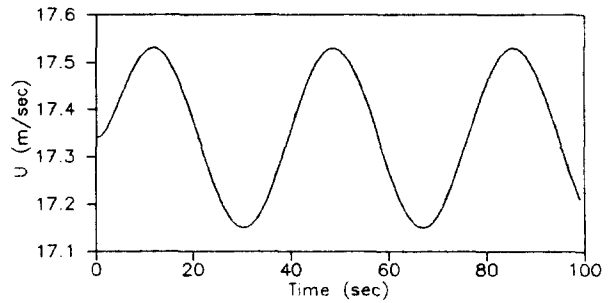


Fig. 8 U time history ($de = 14^\circ$ steady turn)

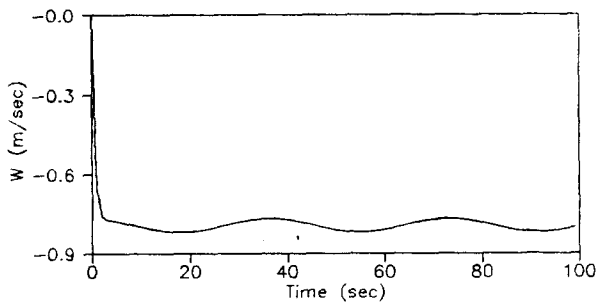


Fig. 9 W time history ($de = 14^\circ$ steady turn)

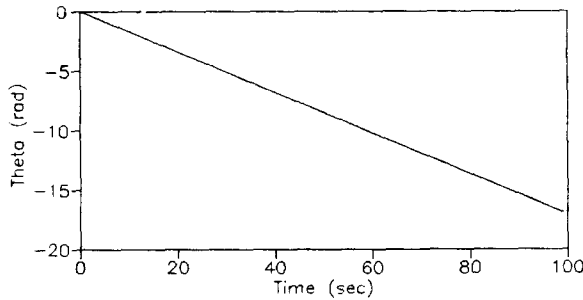


Fig. 10 Pitch angle time history

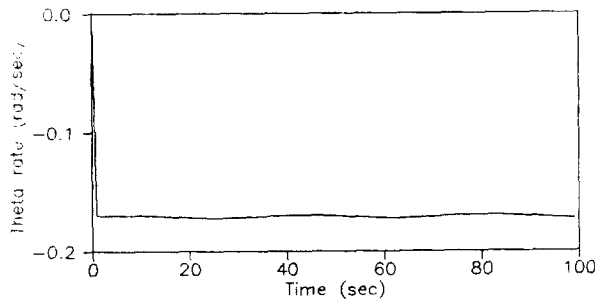


Fig. 11 Pitch rate time history

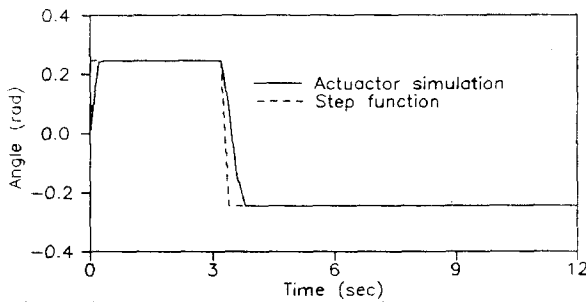


Fig. 12 Rudder angle time history (Z maneuver)

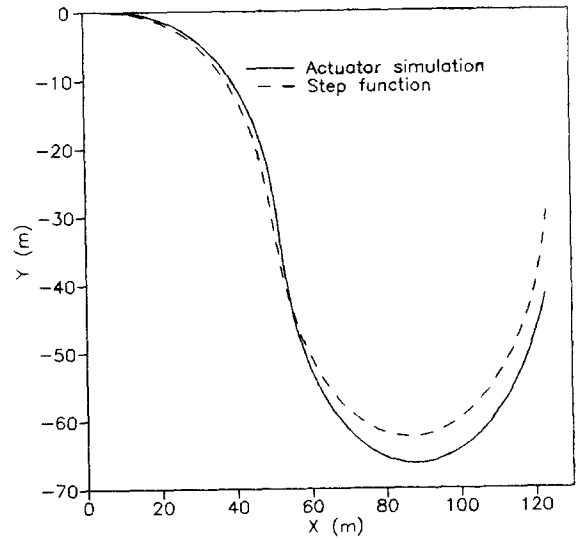


Fig. 13 X-Y Trajectory (Z maneuver)

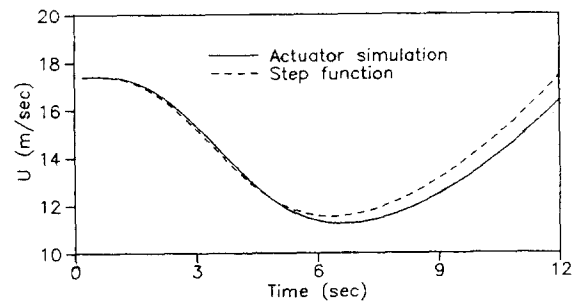


Fig. 14 U time history (Z maneuver)

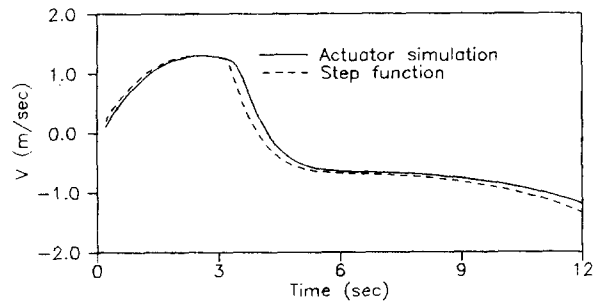


Fig. 15 V time history (Z maneuver)

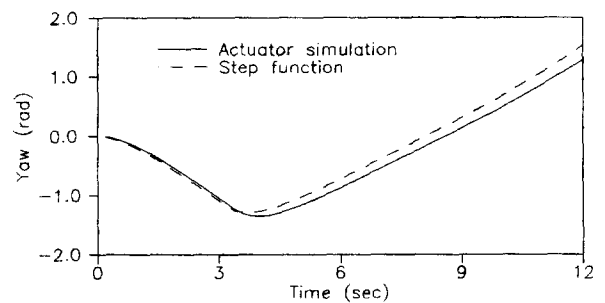


Fig. 16 Yaw angle time history (Z maneuver)

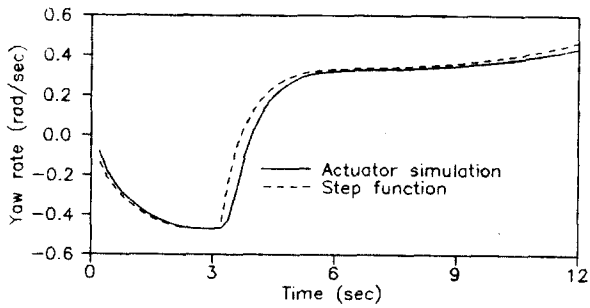


Fig. 17 Yaw rate time history (Z maneuver)

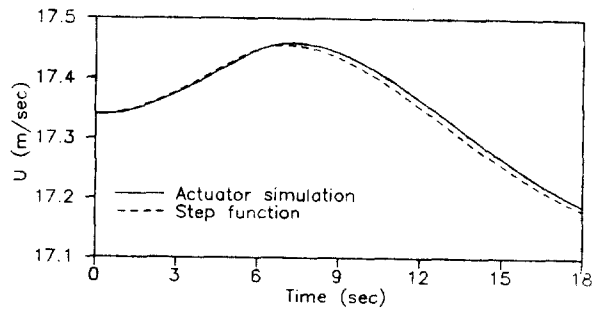


Fig. 20 U time history (Dive-Climb maneuver)

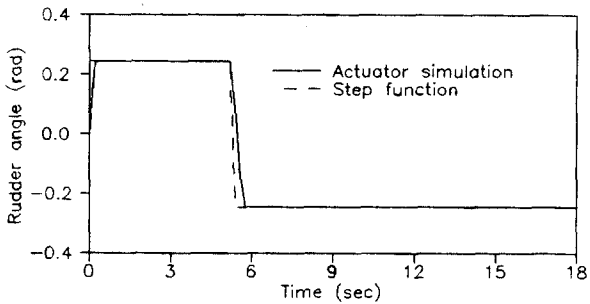


Fig. 18 Rudder angle time history ($\delta_e = 14^\circ$)

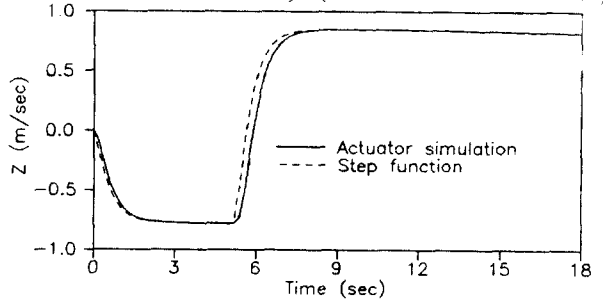


Fig. 21 W time history (Dive-Climb maneuver)

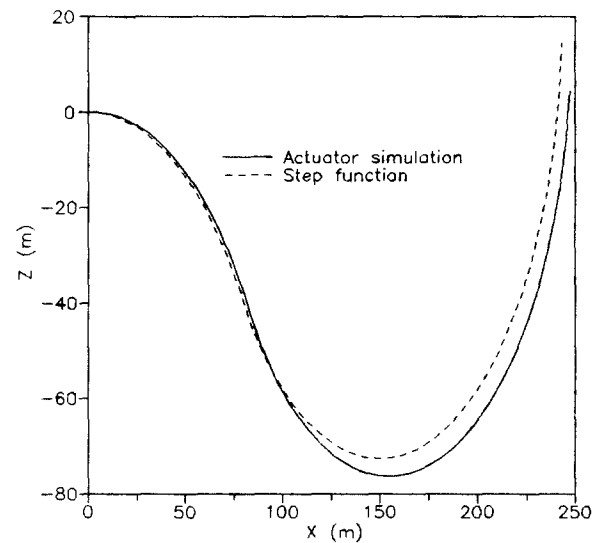


Fig. 19 X-Z trajectory (Dive-Climb maneuver)

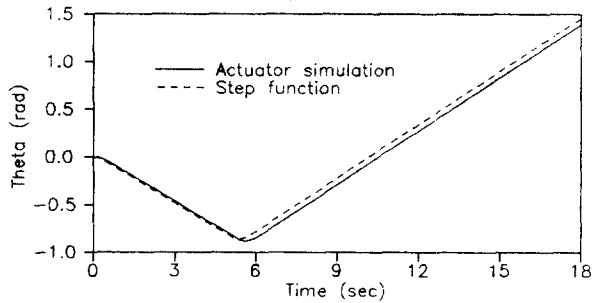


Fig. 22 Pitch time history

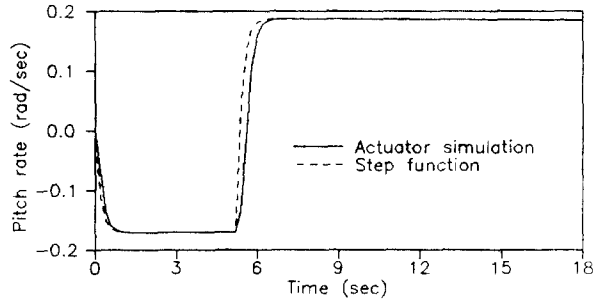


Fig. 23 Yaw rate time history

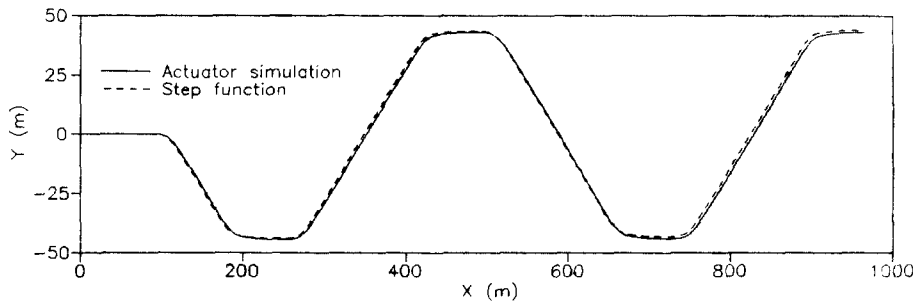


Fig. 24 X-Y trajectory (Corridor pattern maneuver)