

공학석사 학위논문

동요 안정화 Pedestal의 파라미터 식별에
관한 연구

A Study on the Parameter Estimation of Stabilized
Pedestals

지도교수 황 승 욱

2008년 2월

한국해양대학교 대학원

제어계측공학과 김 종 민

*A Study on the Parameter Estimation of Stabilized
Pedestals*

Jong-Min, Kim

Department of Control and Instrumentation Engineering, Graduate
School, Korea Maritime University

Abstract

In this paper, a methodology for estimating the parameters of non-linear system including stabilizing system(Night Vision Pedestal System) was presented. To deal with optimization problems occurring regarding parameter estimation, a real-coded genetic algorithm(RCGA) is used. The parameters of the pedestal system are estimated using both the model technique and a RCGA.

The performance of the proposed algorithm is demonstrated through some simulation.

Abstract i

제1장 서론

1.1 서론 1

제2장 동요 안정화 Pedestal 시스템

2.1 선박의 운동 4

2.2 선박용 NVS의 개요 7

2.3 선박용 NVS의 설계9

 2.3.1 선박용 NVS의 구조10

 2.3.2 Stabilized Pedestal의 구조 설계11

 2.3.3 Pedestal의 제어구조 14

제3장 Pedestal 시스템의 모델링과 파라미터 추정

3.1 시스템 모델링 17

 3.1.1 서보모터 17

3.1.2 서보모터 드라이버와 서보모터	19
3.2 최적화 도구로서의 유전알고리즘	20
3.2.1. 유전알고리즘	21
3.2.2. 실수코딩 유전알고리즘(Real-Coded Genetic Algorithm: RCGA)	22
3.3 파라미터의 추정	24

제4장 실험 및 결과

4.1 실험 환경	26
4.2 데이터 취득	27
4.3 파라미터 추정	29
4.4 모델의 검정	33

제5장 결론

5.1 결론	38
--------	----

제 1장 서론

1.1 서론

선박용 동요안정화(Stabilized) 야간감시장치(NVS: Night Vision System)는 Pedestal에 장착된 원거리 망원 카메라를 이용하여 표적을 자동 추적하는 기능을 갖는 장비로써 고정도 동요 안정화 기능이 요구된다. 이러한 NVS를 개발하기 위해서는 정교한 제어기 설계가 필수적이고 이에 앞서 Pedestal 시스템의 모델과 파라미터를 추정하는 일련의 작업이 요구된다.

시스템 식별 분야는 디지털 기술의 발전과 더불어 지난 30 년 동안 획기적인 발전을 해왔으며, 많은 연구자들에 의해 여러 가지 강력한 방법들이 제안되어 왔다.[6-9] 현재까지 주로 이용되고 있는 식별법으로는 최소자승법(Least-Squares Method), 최우법(Maximum-Likelihood Method), 기구 변수법(Instrumental Variable Method) 등이 있으며, 이러한 방법들은 파라미터가 선형이고 탐색공간이 완만한 것에 기초한 모델에 적합한 방법으로 구배(Gradient)에 기초하여 최적점을 탐색하는 지역해 탐색법이다. 그러나 일반적으로 구배에 의한 방법은 구배를 얻는 것이 불가능하거나 파라미터가 비선형일 때는 전역 최적점을 찾지 못하는 문제가 발생하게 된다. 실제 환경에서는 계측 잡음과 모델의 부정확성 등으로 인해 탐색공간이 협소할 수 있어 구배에 기초한 기존의 추정법들은 지역해(Local solution)에 수렴할 가능성이 높다는 단점을 가지고 있다.

이를 해결하기 위한 방법으로 최근 유전알고리즘과 같은 강인한 탐색법을 모델 조정기법과 결합하여 기존의 방법들의 단점을 보완하면서 추정성

능을 높이려는 연구들이 진행되고 있다.[10-12] 자연선택과 유전학에 기초한 유전알고리즘은 복잡한 최적화 문제를 해결하려는 도구로서 목적함수 외 탐색공간에 대한 사전지식을 필요로 하지 않고, 매우 크고 복잡한 공간일지라도 전역해(Global solution)쪽으로 수렴해 가는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징 때문에 유전알고리즘은 여러 복잡한 최적화 문제를 해결하는 도구로서 이용되고 있다.

유전알고리즘을 이용한 파라미터 추정 방법에 대한 연구를 살펴보면, Goldberg는 유전알고리즘을 이용하여 이산시간 시스템의 파라미터를 추정하는 문제에 대해 다루었고[10], Kristinsson 과 Dumont 는 이를 더욱 일반화하였다.[11] Jin[12] 등은 시간지연을 가지는 연속시스템의 파라미터를 추정하는 문제를 다루었다.

이 파라미터 추정법은 시스템과 모델의 출력오차가 최소가 되도록 모델의 파라미터를 반복적으로 조절하는 방식으로써, 파라미터의 수가 적을 때 빠르고 정밀하게 파라미터를 추정하는 장점이 있으나, 파라미터의 수가 많은 문제에 있어서 지역해 수렴문제를 극복하기 위해 큰 집단을 취하면 연산부담이 급격히 증가하게 되는 단점이 있다.

본 논문은 선박용 동요안정화 야간감시장치의 제어기 개발에 앞서 Pedestal 시스템의 모델과 파라미터를 추정에 관한 내용을 다룬다. Jin 등이 제안한 유전알고리즘과 제어기법을 결합하여 시스템 파라미터 식별을 하였으며, 식별한 모델의 출력이 기준모델의 출력을 정밀하게 추종할 수 있도록 시스템의 파라미터 추정한다.

본 논문은 제1장 서론에 이어, 제2장 전체 동요안정화 Pedestal 시스템의 개요와 구성, 제3장 시스템 모델링 및 RCGA(Real_Coded Genetic Algorithm)를 이용한 파라미터 추출 기법, 제4장 RCGA를 이용하여 선박용 동요안정화 야간감시장치의 Pedestal 시스템 파라미터를 추정, 제 5장 결론으로 구성된다.

제 2 장 동요안정화 Pedestal 시스템

2.1 선박의 운동

운항중인 선박은 그림 2.1과 같이 6자유도(6-Degree) 운동을 하게 된다. 선박의 운동은 직교 좌표 상에서 회전운동 및 병진운동 성분으로 나눌 수 있으며, 병진 운동은 서어징(Surging), 스웨이잉(Swaying) 및 히이빙(Heaving)등 3 성분으로, 회전 운동은 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 및 요잉(Yawing) 성분으로 구성된다.

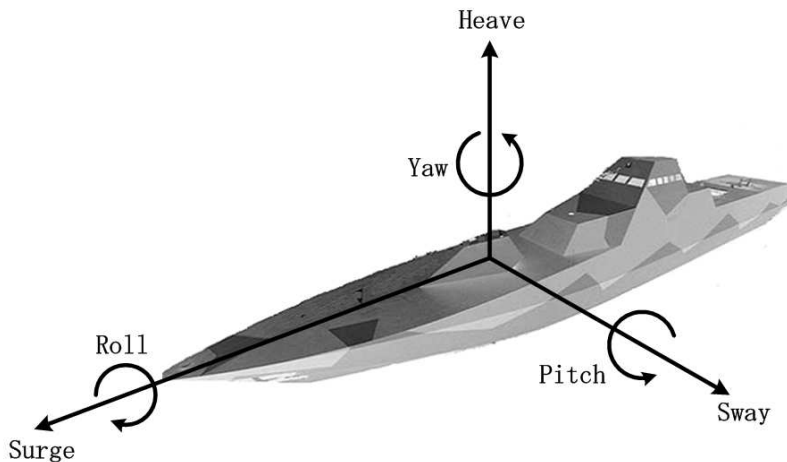


그림 2.1 선박의 6-자유도 운동 성분

Fig. 2.1 6-Degree of freedom motions of ship

선박과 같은 이동체의 움직임은 표적의 위치를 나타내기 위한 좌표계 기준 프레임의 변화를 유발한다. 이동체의 운동에 따른 좌표계 기준 프레임의 변화에는 평행이동과 회전등이 있다. 그림 2.2와 같이 프레임에 평행하게 이동하는 좌표계 변위(Coordinate displacement)의 경우, 패럴랙스(Parallax)문제가 유발되며, 그림 2.3 과 같이 방향만이 변하는 좌표계 회전(Coordinate rotation)이 일어났을 때, 안정화(Stabilization)의 문제가 야기된다.

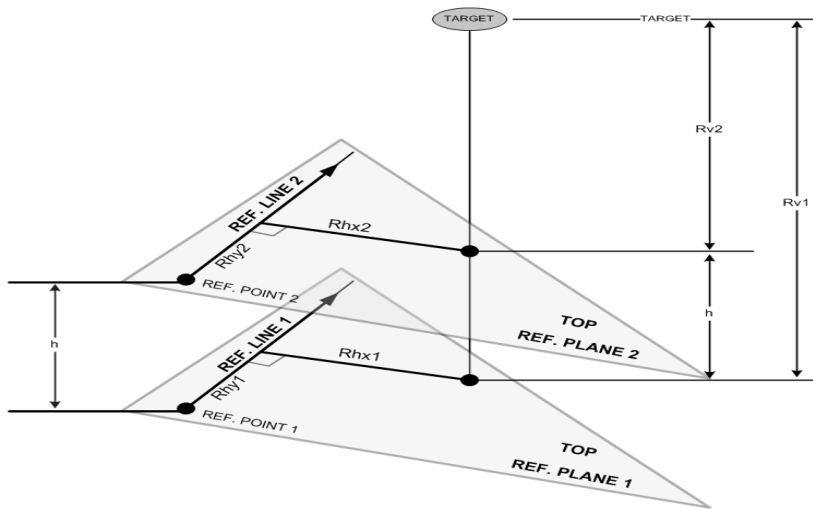


그림 2.2 좌표계의 변위

Fig. 2.2 Displacement of the coordinate system

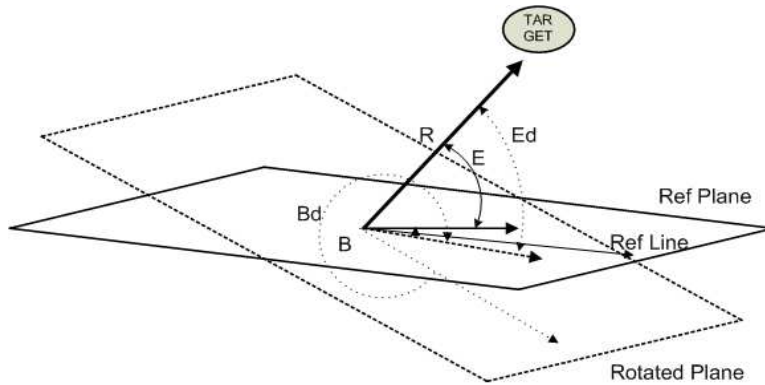


그림 2.3 구면좌표계에서의 회전

Fig. 2.3 Rotation in the spherical coordinate system

이동체용 추적 장치에서 이동체의 움직임에 따른 기준 프레임의 변화는 패럴랙스의 안정화를 고려한 좌표계의 변환이 필요하게 된다.

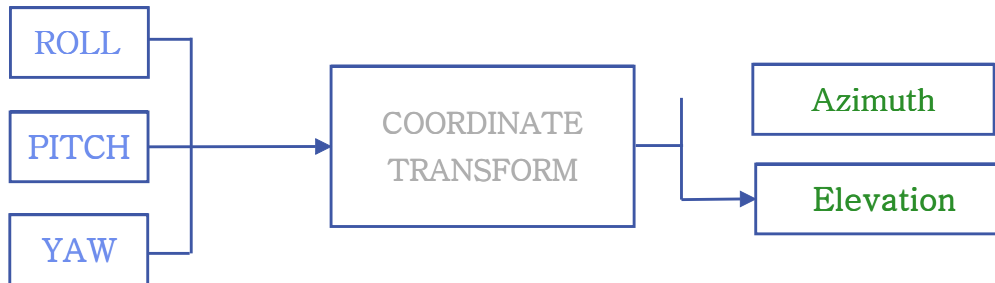


그림 2.4 좌표계의 변환

Fig. 2.4 Coordinate transformation

2.2 선박용 NVS의 개요

선박용 동요안정식 NVS는 ARPA 레이더로부터 표적 정보, GYRO로부터 자선의 선수 정보, GPS로부터 자선의 위치정보를 받아서, 표적까지의 상대방위 및 거리를 도출하고, Pedestal이 표적을 지향, 추적하는 기능을 갖는다. Pedestal에는 주야간 겸용 CCD, IR 카메라 등이 탑재되며, 이러한 카메라에 포착된 표적 영상은 전용 모니터에 전송되어 표시되며, 또한 DVR에 기록된다.

ARPA 레이더의 표적정보는 아래 그림 2.5와 같이 IMO Resolution 820:1995에 정의된 TTM(Tracked target message) 포맷으로 전송되는데, 이 메시지에는 표적번호, 자선의 위치 및 방위로부터 표적까지의 거리 및 상대 방위각 등이 포함된다.

IMO Resolution A.820:1995 and MSC 64(67) Annex 4: Data associated with a tracked target relative to own ship's position.

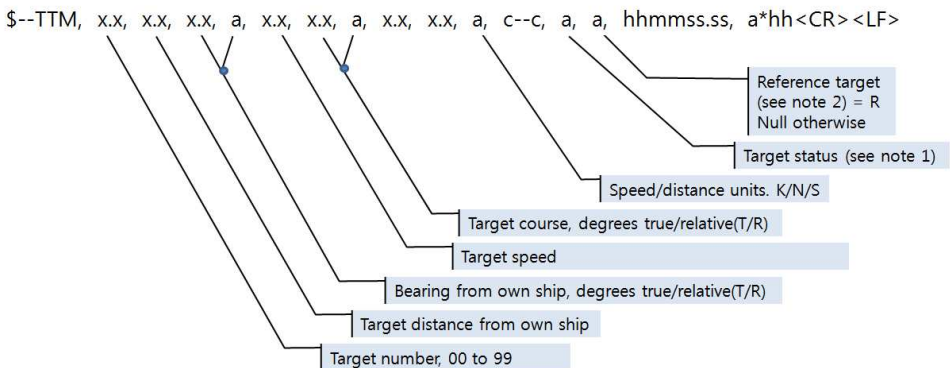
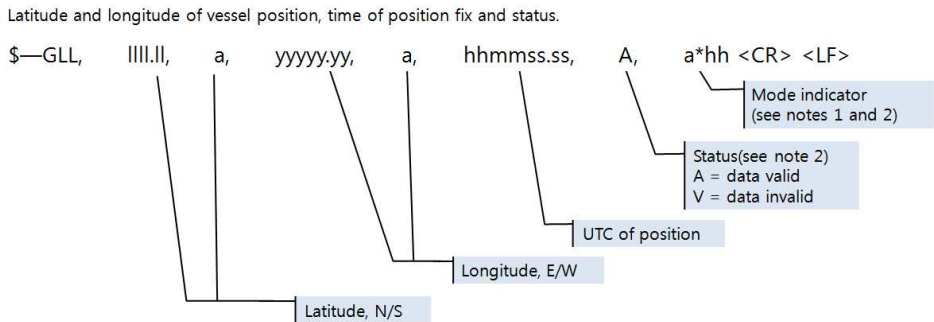


그림 2.5 ARPA 레이더의 TTM 메시지 형태

Fig. 2.5 TTM Message format of ARPA radar

IEC 61162-1에 의한 Gyro의 선수정보 및 GPS의 위치정보의 표준 형태는 그림 2.6, 그림 2.7과 같다.

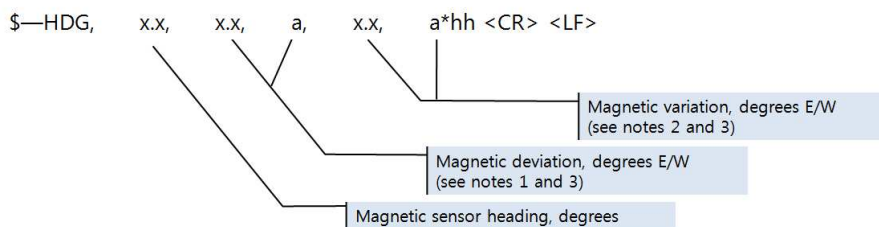


Note 1 Positioning system Mode indicator:
A = Autonomous
D = Differential
E = Estimated (dead reckoning)
M = Manual input
S = Simulator
N = Data not valid

Note 2 The Mode Indicator field supplement the Status field (field 6). The Status field shall be set to V = invalid for all values of Operating Mode except for A = Autonomous and D = Differential. The positioning system Mode indicator and Status fields shall not be null fields.

그림 2.6 Gyro의 HDG 메시지 형태
Fig. 2.6 HDG Message format of gyro

IMO Resolution A.382 (X). Heading (magnetic sensor reading), which if corrected for deviation will produce magnetic heading, which if offset by variation will provide true heading.



Note 1 To obtain magnetic heading : add easterly deviation (E) to magnetic sensor reading;
subtract westerly deviation (W) from magnetic sensor reading.

Note 2 To obtain heading: add easterly variation (E) to magnetic heading;
subtract westerly variation (W) from magnetic heading.

Note 3 Variation and deviation fields will be null fields if unknown.

그림 2.7 GPS의 GGL 메시지 형태

Fig. 2.7 GGL Message format of GPS

NVS는 ARPA 레이더, GYRO, GPS로부터 이러한 정보를 수신, 분석하여 Pedestal의 위치로부터 상대 표적까지의 상대 방위 및 거리를 도출하고, 동요안정화 상태에 있는 Pedestal이 표적을 정확히 지향하도록 하여야 한다. NVS의 핵심 장비인 Pedestal은 동요안정화 제어가 가능한 기구적 메커니즘에 IR 카메라, 주야간 겸용 CCD 카메라, 망원렌즈, 서치라이트 등이 탑재되며, 이를 이용하여 안정된 표적 영상을 획득하는 기능을 수행한다.

2.3 선박용 NVS의 설계

본 논문에서 NVS의 구성을 그림 2.8과 같이 제안한다. MCU(Main control unit)는 ARPA 레이더, GYRO, GPS등의 항해 장비로부터 취득한 목표 정보로부터 목표 지향각(방위각 및 고각)을 도출하여

PCU(Pedestal control unit)로 전송하는 역할을 한다. 또한 유저 인터페이스로부터 Pedestal 제어 정보를 수신하여 PCU에 전송하며, DVR, 모니터, 망원렌즈, CCD등을 직접 제어하는 기능도 갖는다.

레이더에 의한 목표정보는 약 3 초에 한번 정도 수신되는 관계로 목표물의 추종을 레이더에만 의존 할 수 없다. 효율적인 표적의 추종을 위해서는 레이더 신호를 보완할 수 있는 영상추적 등의 다양한 방법이 적용되어야 한다.

2.3.1 선박용 NVS의 구조

PCU(Pedestal control unit)는 Pedestal을 직접 제어하여, Pedestal의 동요안정화 및 목표지향 기능을 수행하게 하는 제어장치로써, ARM 코어의 프로세서, PCL6045 모션 콘트롤 IC, 광 자이로 센서 인터페이스로 구성하였다. PCU는 MCU로부터 표적 지향각 정보를 수신하여 Pedestal이 표적을 지향할 수 있도록 제어 하며, 또한 OGS로부터 실시간으로 계측된 선박의 운동성분을 수신하여 Pedestal의 동요안정화 제어를 수행하도록 설계하였다.

OGS로부터 계측된 선박의 회전운동 성분은 PCU에서 축 변환 알고리즘을 거쳐 Pedestal의 축 제어 정보로 변환 되며, 이 때 Pedestal의 축 구조 형태에 따라 다양한 축 변환 알고리즘이 적용될 수 있다.

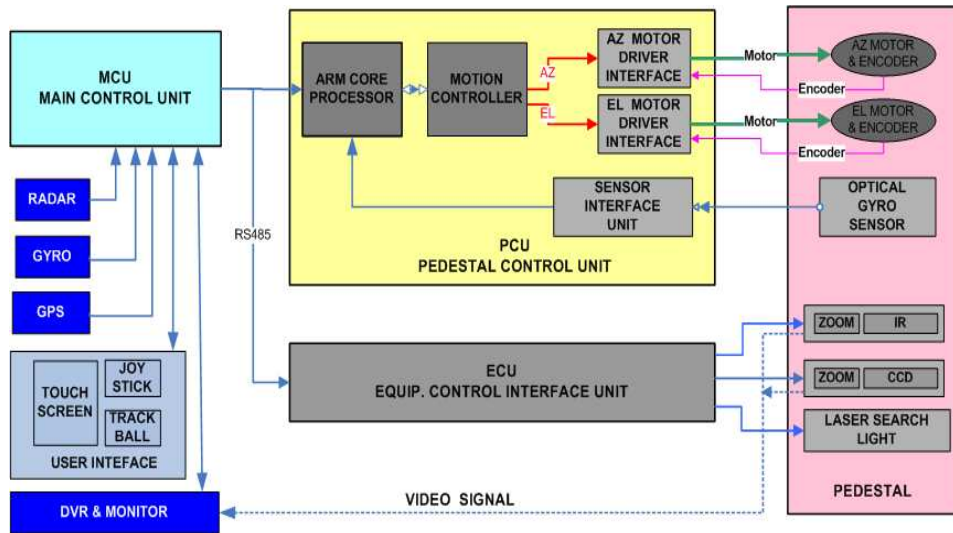


그림 2.8 Night vision system의 구성도

Fig. 2.8 Block diagram of the night vision system

2.3.2 Stabilized Pedestal의 구조 설계

본 논문에서는 그림 2.9와 같이 2개의 구동부를 갖는 2 축 구조의 Pedestal을 설계 및 제작하였다. Pedestal의 기구부는 프레임, 각 축에 부착되는 DD(Direct-drive) 방식의 서보 모터, 19비트 엔코더 등으로 구성된다. Pedestal의 프레임 재질은 Aluminum 6061을 사용하였다. 최적 설계를 위하여 탑재 하중이 최대 60Kg일 때 Nastran을 이용하여 구조해석을 한 결과는 표 2.1과 같은 결과를 얻었다.

해석 결과, Pedestal 질량이 약 115kg에서 변위는 0.00121mm이며 응력은 최대 0.231kg이었으며, 질량 62.58kg에서 변위량은 0.00431mm이며 응력은 최대 0.543kg 이었다.

표 2.1 Nastran 을 이용한 구조해석

Table 2.1 Constructure analysis with Nastran

Pedestal 질 량	Total Translation	Von Mises Stress (응력)	Arm 두께
114.79 kg	0.00121mm	최대 0.231kg	100mm
62.58 kg	0.00431mm	최대 0.453kg	50mm

Pedestal의 2축은 방위각(Azimuth)과 고각(Elevation)에 해당되며, 선박운동의 보상 즉 동요안정화를 위한 각 축의 제어 성분은 광자이로 센서에 의해 계측된 선박의 회전운동 성분이 축 변환 과정을 통하여 생성된다. 또한 이러한 제어성분에 ARPA 레이더 등에 의하여 도출된 목표물의 지향각이 더해지게 된다.

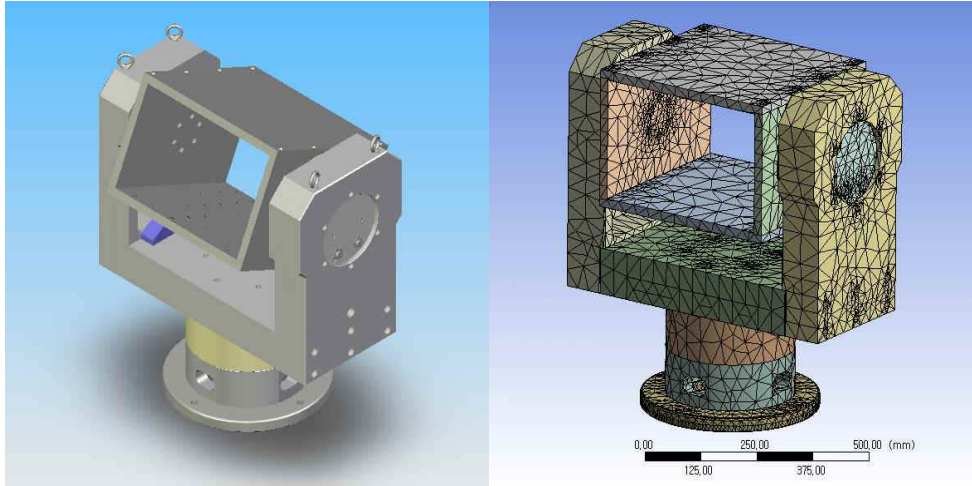


그림 2.9 Pedestal 도면

Fig. 2.9 Schematic diagram of the pedestal

Pedestal에 탑재되는 장비의 제원, 인터페이스 및 제어신호는 표 2.2와 같다. 탑재 장비의 제어 신호는 ECU(Equipments control unit)을 통하여 MCU에 연결되며, MCU와 ECU사이의 통신은 RS-485 기반의 Pelco-D 프로토콜을 사용하도록 설계하였다.

표 2.2 Pedestal 탑재 장치 재원

Table 2.2 Equipment resources on the pedestal

	POWER	SIGNAL	MASS
CAMERA	DC 12V, 1.2A	RS 485, VIDEO SIGNAL, DAY,NIGHT, MOTION DETECT	0.6 KG
LENSE	DC 12V, 0.5A	NEAR INFRARED SET, IRIS, FOCUS, ZOOM CONTROL, RS232	5.2 KG
LASER ILLUMINATOR	DC 12V, 3.5A	RS232, MOTOR CONTROL, POWER CONTROL	2.1 KG
THERMAL CAMERA	DC 12V, 1.5A	VIDEO SIGNAL, RS 422 OR RS 232	7.7 KG
DC MOTOR	220V 3 PHASE FG	POWER, FG	
ENCODER	DC 5V	SIGNAL	
LIMIT S/W	DC 12V	SIGNAL	

2.3.3 Pedestal의 제어구조

선박용 동요안정화 시스템은 그림 2.10과 같은 제어과정을 수행한다. 실제 제어를 행하는 전에 언급한 Pedestal은 2축 구조로 각 축은 DD(Direct drive) 모터와 엔코더 그리고 모션 센싱 유닛인 광자이로 센서로 구성된다.

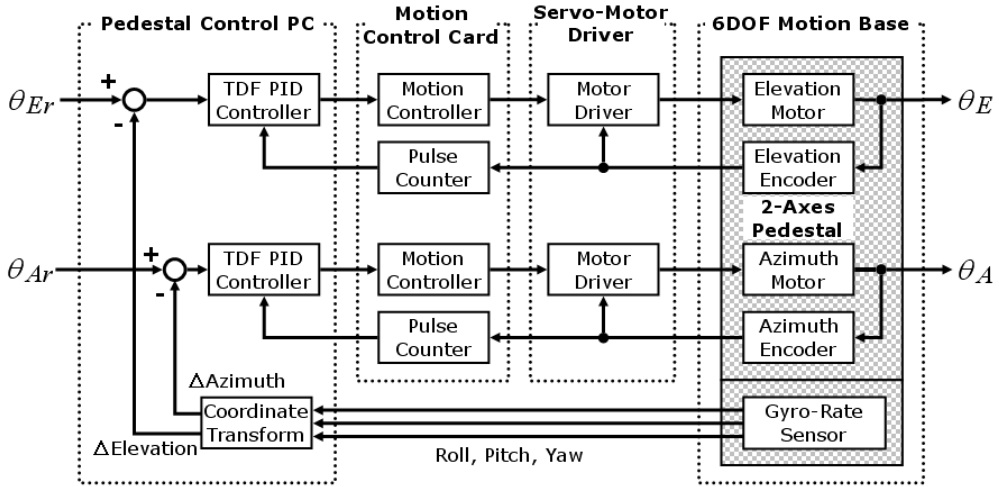


그림 2.10 선박용 동요안정화 시스템의 제어블록

Fig. 2.10 Control block of the stabilized night vision system

광자이로 센서 인터페이스부는 Xilinx사의 FPGA Spartan3를 이용하여 축 단위로 수신된 데이터를 묶어서 단일 채널로 CPU의 시리얼 포트에 송신하도록 설계하고 구현하였다. 내부에 115.2kbps의 UART를 포함시켰으며, KVH 데이터 수신부와 UART 사이에 16 바이트 크기의 FIFO(First in first out) 버퍼를 배치하였다.

Xilinx FPGA Spartan-3와 메인 컨트롤러는 RS-232로 연결하였으며, 115.2kbps의 속도로 데이터 비트는 8bit, 패리티 없음, 정지비트 1로 구성하였다. 데이터 프레임은 센서데이터 8 bytes, preamble로 2바이트, check_sum 1바이트 등 총 11바이트로 구성된다.

이 광자이로 센서에서 선박의 3축 회전운동 성분인 롤링(Rolling), 피칭(Pitching), 요잉(Yawing)의 세 가지 회전 운동을 검출 하여 메인 컨트롤러

유닛으로 검출된 데이터를 전달한다. 검출된 3축 회전운동성분은 그림 2.4와 같은 축변환(Coordinate transform)과정을 거치게 된다. 이로써 Pedestal의 제어 성분이 고각과 방위각 성분으로 변환되며, 기존의 고각과 방위각의 보상치에 변환된 보상치가 더해져서 2자유도(TDF) PID 제어기로 전달하게 된다. 이에 제어기는 Pedestal부의 엔코더 값과 메인 컨트롤러에서 전달된 보상치를 모션 컨트롤 카드에 전달하고 모션 카드는 모터 드라이버에 전달한다. 모터 드라이버는 출력을 각 차원의 값을 내보내며, 이는 Pedestal의 각축을 구동하는 제어 입력으로 쓰이게 된다. 이와 같은 Pedestal을 제어하는 일련의 과정을 반복적으로 수행함으로써, Pedestal의 동요안정화 기능은 유지된다.

제 3장 Pedestal 시스템의 모델링과 파라미터 추정

3.1 시스템 모델링

동적 시스템의 식별은 모델링과 파라미터 추정 두 단계로 구분된다. 모델링은 시스템의 구조(차수포함)를 정의하는 것이고, 파라미터 추정은 관측된 입출력 데이터를 이용하여 정의된 구조의 시스템으로부터 파라미터 값을 얻는 과정을 말한다.

3.1.1 서보모터

앞에서도 언급하였듯이 PCU는 3축의 회전성분을 방위각과 고각의 2축의 회전성분으로 변환하여 2축 Pedestal의 방위각 서보모터와 고각 서보모터를 독립적으로 제어하도록 설계되어 있고, Pedestal의 2축에는 구동용 모터와 경사각을 검출하는 센서가 부착되어 있다. 방위각과 고각 2축을 구동하는 장치의 구조가 비슷하고 또 이들은 독립적으로 제어되므로, 먼저 각 축의 모터로부터 경사각 센서까지의 모델 방정식을 쓰면 다음과 같다.

Pedestal의 각 축을 구동하는 모터는 전기신호를 기계적인 운동으로 변환하는 DC모터로서, 전기자제어 방식이며 전기자 입력전압 $u(t)$ 를 변경함으로써 회전자에 토크가 발생하게 된다. DC모터를 포함한 구동부의 운동방정식을 얻기 위해 먼저 전기자 회로에 키르호프 법칙을 적용하면 다음 방정식을 얻을 수 있다.

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + e_b(t) = u(t) \quad (3.1.11)$$

여기서 $u(t)$ 와 $i(t)$ 는 전기자의 입력전압과 전류, $e_b(t)$ 는 역기전력(Back emf), L 과 R 은 전기자 등가 저항 및 인덕턴스이다. 자속이 일정하면 역기전력 $e_b(t)$ 는 회전자의 각속도 $\omega(t) = d\theta(t)/dt$ 에 비례하며 다음과 같은 관계식으로 표시될 수 있다.

$$e_b(t) = K_b \omega(t) \quad (3.1.12)$$

여기서 K_b 는 역기전력 상수이다.

한편 전기자에 흐르는 전류는 토크 $T(t)$ 를 발생시키므로 회전계의 운동 방정식은 다음 식으로 표시된다.

$$J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B \frac{d\theta(t)}{dt} = T(t) \quad (3.1.13)$$

$$T(t) = K_t i(t) \quad (3.1.14)$$

여기서 $\theta(t)$ 는 회전각, $T(t)$ 는 토크, J 는 구동부의 등가 관성모멘트, B 는 등가 점성마찰계수, K_t 는 토크상수를 나타낸다.

전기자 회로에서 인덕턴스 L 은 보통 작기 때문에 무시할 수 있고, $u(t)$ 와 $\theta(t)$ 간의 전달함수는 식(3.1.13)~(3.1.14)를 Laplace 변환하면 다음으로 표현된다.

$$G(s) = \frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{K}{s(1 + \tau_s)} \quad (3.1.15)$$

$$\text{단, } K = \frac{K_t}{(RB + K_t K_b)}$$

$$\tau = \frac{RJ}{(RB + K_t K_b)}$$

3.1.2 서보모터 드라이버와 서보모터

앞서 구한 식 (3.1.15)는 방위각 또는 고각 축의 서보모터만을 고려한 것이지만, Pedestal 축을 구동하는 서보모터에는 각각의 서보모터 드라이버가 결합되어 제어입력에 따른 전력이 인가되어 구동되며 제어대상은 그림 3.1의 점선과 같이 표시된다.

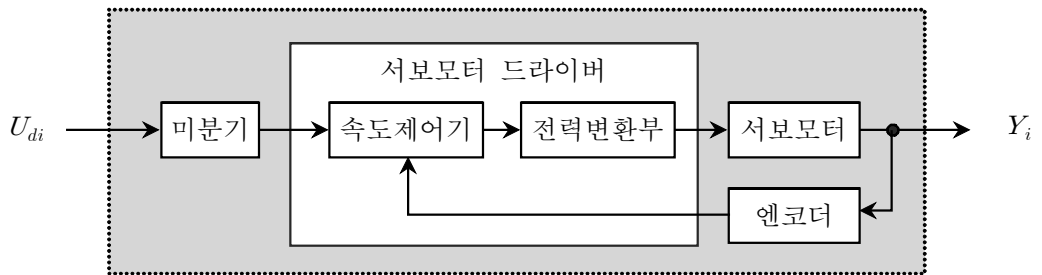


그림 3.1 전체 제어대상

Fig. 3.1 Overall controlled object

서보모터 드라이버는 내부에 피드백 루프와 속도제어기를 가지고 있고, 앞 단에는 미분기가 결합된다. 식 (3.1.15)와 기계 동력전달부에서 작지만

비선형 지연요소가 존재할 수 있으므로 이를 고려하면, 각 축의 제어대상은 다음과 같은 근사 전달함수로 표시될 수 있다.

$$G_i(s) = \frac{Y_i(s)}{U_{di}(s)} = \frac{K_i e^{-L_i s}}{1 + \tau_i s} \quad (i = a, e) \quad (3.1.21)$$

여기서 $Y_i(s) = \Theta_i(s)$ 는 회전각을 의미하는 출력이고, $U_{di}(s)$ 는 제어대상의 입력이고, K_i , τ_i , L_i 는 각각 제어대상의 이득, 시정수, 시간지연을 의미하며, 첨자가 $i = a$ 일 때는 방위각을, $i = e$ 일 때는 고각을 의미한다. 그림 3.2는 식 (3.1.26)을 블록선도로 표시한 것이다.

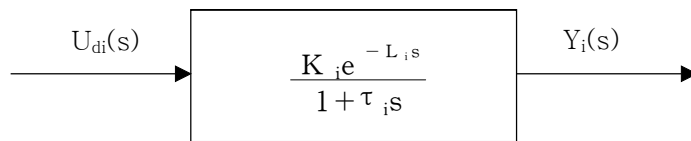


그림 3.2 제어대상의 블록선도

Fig. 3.2 Block diagram of the controlled object

특히 외부 환경의 요인으로 움직이는 선박의 운동은 제어시간에 비하면 매우 느리므로 제어대상에 부과되는 외란은 제어시간동안은 일정한 것으로 간주한다.

3.2 최적화 도구로서의 유전알고리즘

식 (3.1.21)과 같은 모델이 얻어지면 다음은 그 파라미터를 추정하는 작

업이 요청되며, 이 과정에서 최적화 문제가 발생되므로 최적화 도구로 이용되는 유전알고리즘에 대해 간단히 살펴본다.

3.2.1 유전알고리즘

여기서는 최근 최적화 도구로 광범위하게 이용되고 있는 유전알고리즘(Genetic algorithm)의 원리와 그 구조에 대하여 알아본다. 유전알고리즘은 1975년 J. H. Holland에 의해서 제안된 확률적 탐색법으로서 유전적 계승과 다윈의 자연선택 원리를 컴퓨터 알고리즘으로 구현한 최적화 도구이다. 유전알고리즘은 구배에 기초한 탐색 알고리즘과는 달리 연속성, 미분가능성, 단봉성과 같은 탐색공간에 대한 부가정보를 요구하지 않고, 목적함수 외의 어떤 보조정보도 요구하지 않으며, 매우 복잡하고 규모가 큰 탐색공간에서도 원만히 동작하고, 다봉의 특성을 가지는 탐색환경에서도 전역해에 수렴하는 특징이 있다.

유전알고리즘의 탐색 과정은 크게 초기화, 적합도 평가, 재생산, 교배, 돌연변이의 5단계로 구분된다. 초기화 단계에서는 주어진 문제의 해가 될 가능성이 있는 개체들의 집합인 집단이 형성된다. 다음 단계에서 개체들은 복호화되어 목적함수를 제공하고 이로부터 적합도가 계산된다. 적합도는 자연계에서의 환경과 같은 역할을 수행한다. 개체들의 상대적인 적합도 값에 따라 현재 집단 내의 개체들이 재생산을 위해 선택된다. 성능이 좋은 개체들은 더 많이 선택되어 복제되고 반면에 성능이 나쁜 개체들은 집단으로부터 소멸되게 된다. 선택된 개체들은 교배를 통해 재결합되는데 서로 간에 유전정보를 교환함으로써 집단에 새로운 개체를 도입하게 된다. 돌연변이는 선택된 개체의 유전정보를 임의

로 변경하여 집단에 새로운 정보를 도입하는 수단을 제공한다. 이렇게 해서 새롭게 형성된 집단은 다시 평가되고 최적의 해가 발견될 때까지 앞서 수행한 일련의 연산 과정은 반복된다.

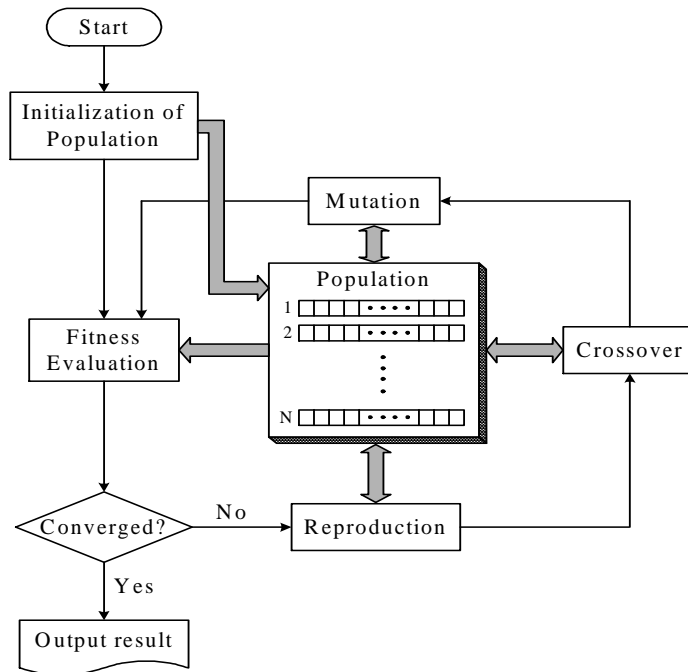


그림 3.3 유전알고리즘의 연산과정

Fig 3.3 Operational Process of a GA

3.2.2 실수코딩 유전알고리즘(Real-Coded Genetic Algorithm: RCGA)

가. 염색체

전통적으로 유전알고리즘의 염색체 표현법은 이진코딩이었다. 기존의 이진코딩은 고정밀도가 요구되는 최적화 문제에는 계산부담이 증가할 수

있는 상황이 연출되므로 적용하기가 어렵다. 기존의 이진코딩의 문제점을 해결하기 위하여 제안된 한 방법이 실수코딩이다.

나. 초기집단

자연계(Natural system)에서 무리를 이루며 진화해가는 생물체들과 같이 RCGA도 계속적으로 모의진화(Artificial evolution)를 일으킬 다수 염색체(개체)들의 집합을 필요로 하는데 본 연구에서 집단은 무작위적으로 초기화된다.

다. 유전 연산자

기존의 유전알고리즘과 마찬가지로 본 연구에서 사용되는 RCGA도 재생산(Reproduction), 교배(Crossover) 및 돌연변이(Mutation)를 기본 연산자로 채용한다. 또한 집단내 최적의 개체가 소멸되지 않고 다음 세대로 전달되는 것을 보장하도록 엘리트 전략(Elitist Strategy)을 채용한다. 그림 3.4 는 엘리트 전략을 채용하는 RCGA의 연산을 보여주고 있다.

```

Real_CodedGeneticAlgorithm
{
    k= 0;
    Initialize P(k)
    Evaluate P(k)
    While(not termination condition)
    {
        k= k+ 1;
        Reproduce P(k) from P(k-1)
        Crossover and mutate P(k)
        Evaluate P(k)
        Apply elitism;
    }
}

```

그림 3.4 엘리트전략을 채용하는 RCGA

Fig. 3.4 A RCGA with the elite strategy

3.3 파라미터의 추정

Pedestal 시스템의 모델(구조와 차수)이 얻어지면 선박용 동요안정화 시스템용 제어기를 설계하기 위한 다음 작업은 식 (3.1.21)으로 주어지는 모델의 파라미터 K_i , τ_i , L_i ($i = a, e$)를 추정하는 것이다. 이를 위해 입출력 신호의 계측이 필요한데, Pedestal 시스템이 동작점(평형상태)에 있을 때, 조화함수의 조합된 입력을 인가하여 데이터를 수집하였다.

RCGA와 모델조정기법으로 방위각과 고각 축 모델의 파라미터를 얻기 위한 구성도는 그림 3.5와 같다. RCGA는 시스템과 모델의 출력 차가 최

소가 되도록, 즉 모델의 동특성이 시스템의 동특성에 가깝도록 계속적으로 모델의 파라미터를 조정하게 된다.

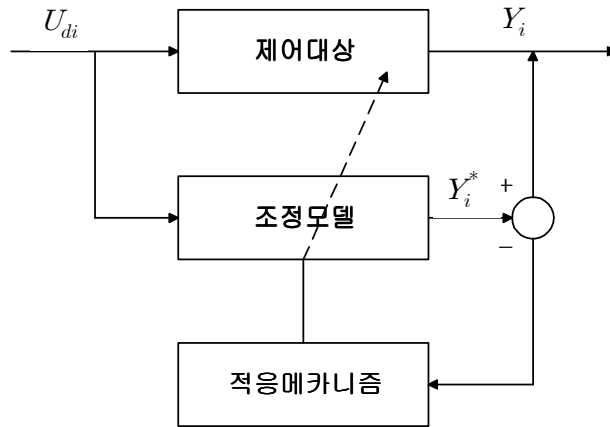


그림 3.5 모델의 파라미터 추정 구성도

Fig. 3.5 Parameters Estimation Block Diagram of Model

개체집단이 진화해 가는 동안 RCGA는 개체간의 우열(각 개체로부터 복호화된 변수로 설정된 모델의 성능)을 가리기 위하여 적합도를 필요로 하는데, 적합도는 다음 목적함수로부터 계산된다.

$$J(\phi_i) = \int_0^{t_f} [y_i(t) - y_i^*(t)]^2 dt \quad (3.31)$$

여기서 $\phi_i = [K_i \ \tau_i \ L_i]^T$ 는 조정되는 파라미터 벡터이고, t_f 는 적분 상한시간으로서 연산시간과 절단오차 사이에 적절히 타협되어 결정된다.

제 4 장 실험 및 결과

이 장에서는 실험장치를 통하여 실제 제어 대상 시스템의 파라미터를 식별함으로써 성능을 확인한다.

4.1 실험 환경

그림 4.1은 본 연구에서 사용된 실험 환경이다. 그림의 상단에 보이는 것이 실제 선박용 동요안정식 NVS의 Pedestal이며 중앙의 빈 공간에 주/야간 카메라, 열상카메라, IR Search Light 등이 탑재된다. 아래쪽에 보이는 모션베이스는 6개의 독립적인 모터를 이용하여 선박의 움직임을 구현하는 장비이다.

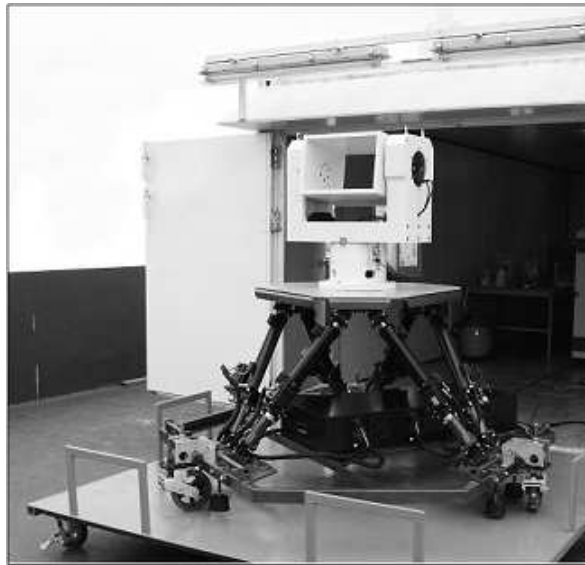


그림 4.1 Pedestal 실험 환경

Fig. 4.1 Pedestal test environment

4.2 데이터 취득

앞서 잠깐 언급하였듯이 Pedestal 시스템의 파라미터를 식별하기 위해서는 각 축에 대한 입출력 신호의 계측이 필요하다. 각 축의 파라미터 추정방법은 유사하므로, 편의상 본 연구에서는 Pedestal의 방위각 축에 대해서만 실험을 행하며, Pedestal이 하나의 평형점에 있을 때 식 (4.21)의 입력을 인가하여 제어입력과 각 신호, $\{u_{di}(t), y_i^*(t)\}$ 를 6,000개 수집하였다. 이 때 샘플링 시간은 $T=0.01[\text{sec}]$ 로 선정하였다.

$$u_{di}(t) = 15\cos(\pi t) + 8\cos(0.75\pi t) + 2\cos(154\pi t) \quad (4.21)$$

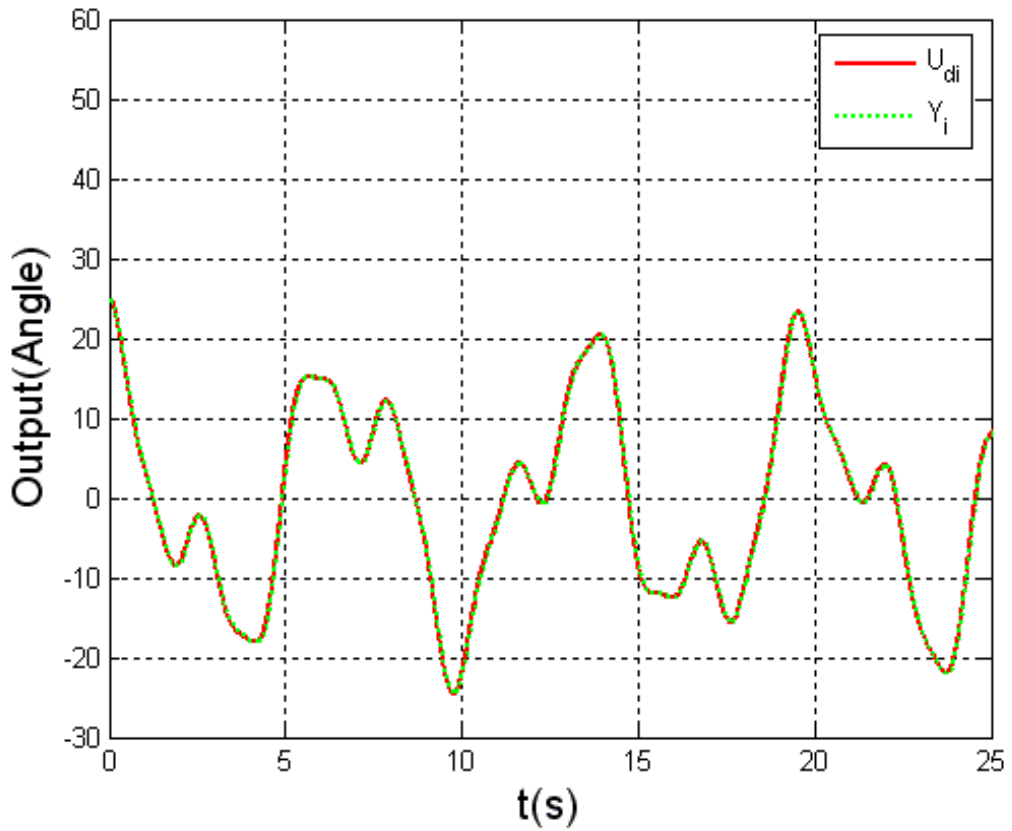


그림 4.2 입출력 신호

Fig. 4.2 Input-output signals

그림 4.2은 취득한 입출력 신호를 25초 동안만 그린 그래프이며, 그림 4.3은 이를 확대한 것이다.

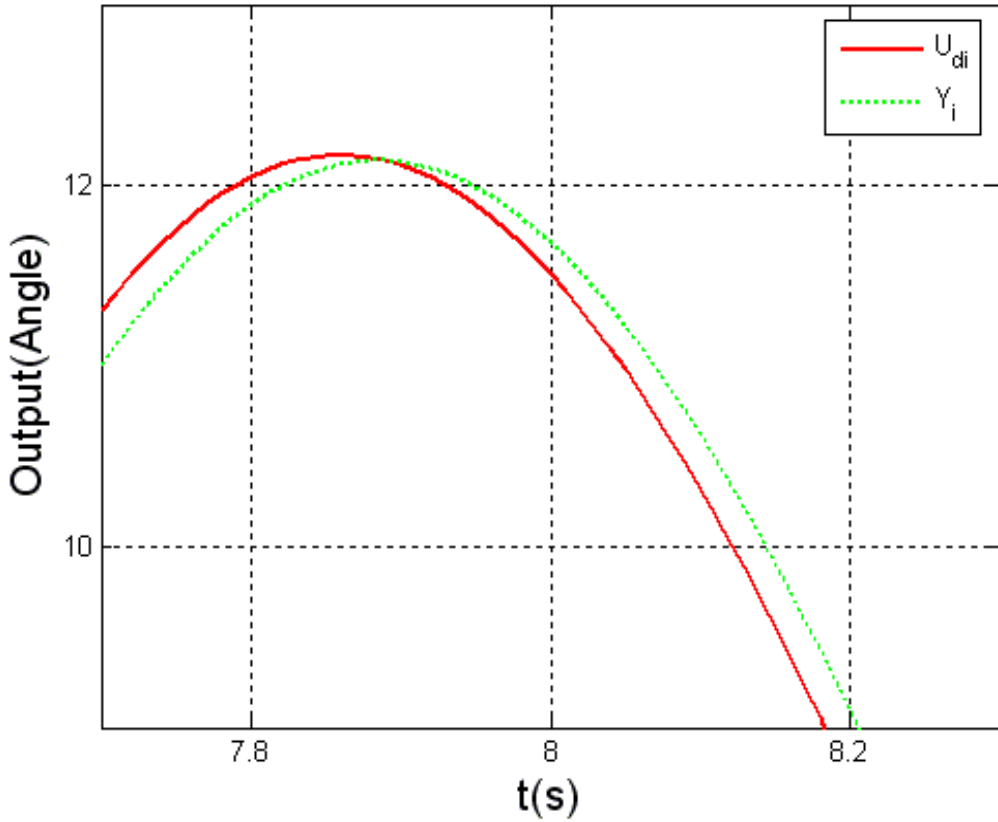


그림 4.3 확대된 입출력 신호

Fig. 4.3 Magnified input-output signals

4.3 파라미터 추정

계측된 신호로 파라미터를 추정하기 위해 3장에서 설명한 RCGA를 사용한다. RCGA의 제어파라미터들은 문헌에서 알려진 일반적인 결과들을 바탕으로 실험과 경험을 통해 선정되었다. 표 4.1은 이를 보여준다.

표 4.1 RCGA의 제어파라미터

Table 4.1 Control parameters of a RCGA

Control parameters	Values
개체 집단수	20
최대 세대수	100
재생산 계수	1.8
교배 확률	1.0
돌연변이 확률	0.1

한편 방위각 모델의 파라미터 K_i , τ_i , L_i 의 탐색 구간은 $0 < K_i, \tau_i \leq 10$, $0 < L_i \leq 1$ 로 설정하여 탐색하였다.

그림 4.4와 그림 4.5는 RCGA를 통해 파라미터를 추정하는 과정을 나타낸 그래프이다

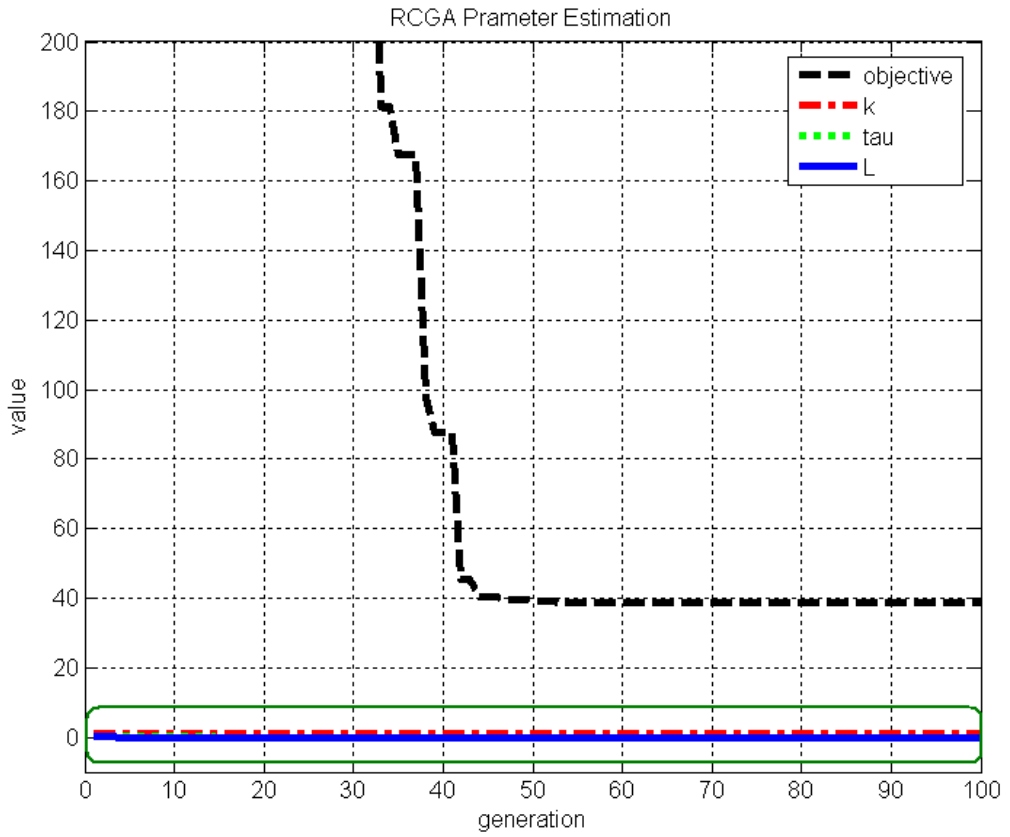


그림 4.4 RCGA를 통한 Parameter 추정 과정

Fig. 4.4 Estimation process of the parameters with a RCGA

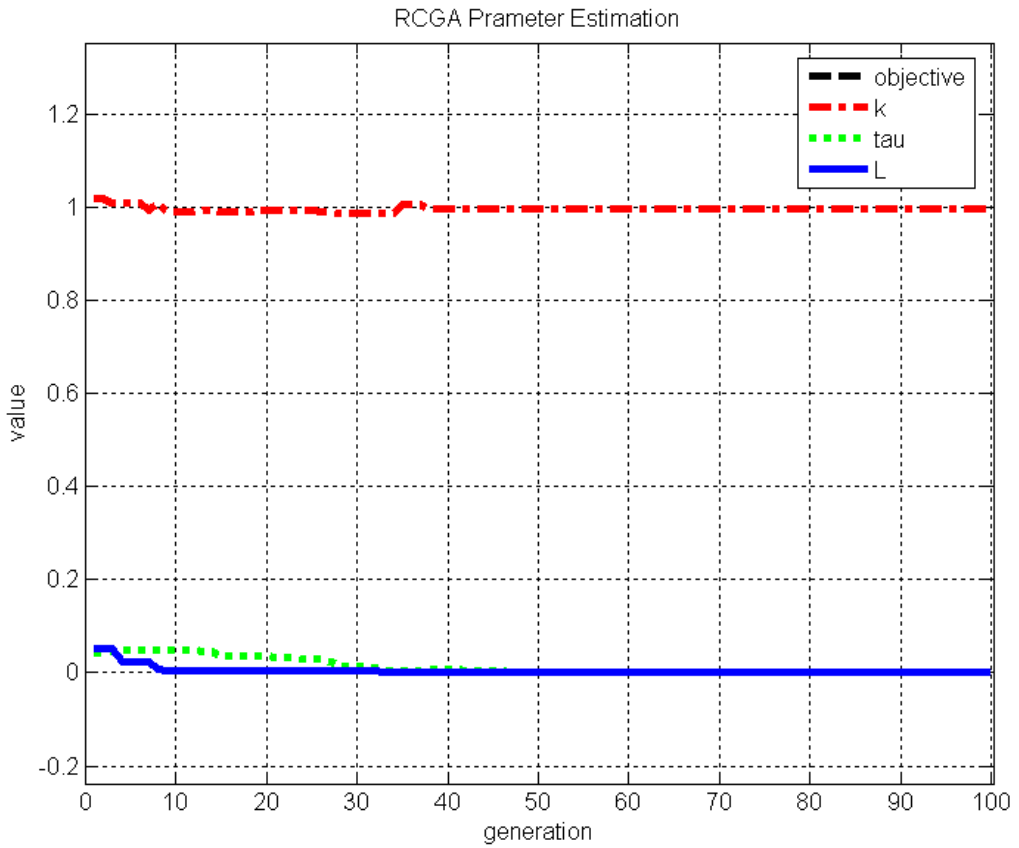


그림 4.5 그림 4.4의 확대 그래프
 Fig. 4.5 Magnified graph of Fig. 4.4

탐색 결과 표 4.2와 같은 값이 추정되었다.

표 4.2 방위각 모델의 추정된 파라미터

Table 4.2 Estimated parameters of the azimuth model

Parameters	Estimated values
K _i	1.00046
τ _i	0.02094
L _i	0.00486

4.4 모델의 검증

여기서는 2세트의 계측된 신호로 추정된 모델의 검정한다. 먼저 표 4.2의 값을 식 (3.1.21)에 넣으면 식 (4.41)와 같은 전달함수가 완성된다.

$$G_i(s) = \frac{1.00046}{1 + 0.02094s} e^{-0.00486s} \quad (4.41)$$

먼저 앞에서 파라미터 추정에 사용한 데이터 세트를 이용하여 모델의 출력을 MATLAB으로 구하고 시스템의 출력과 같이 그렸다.

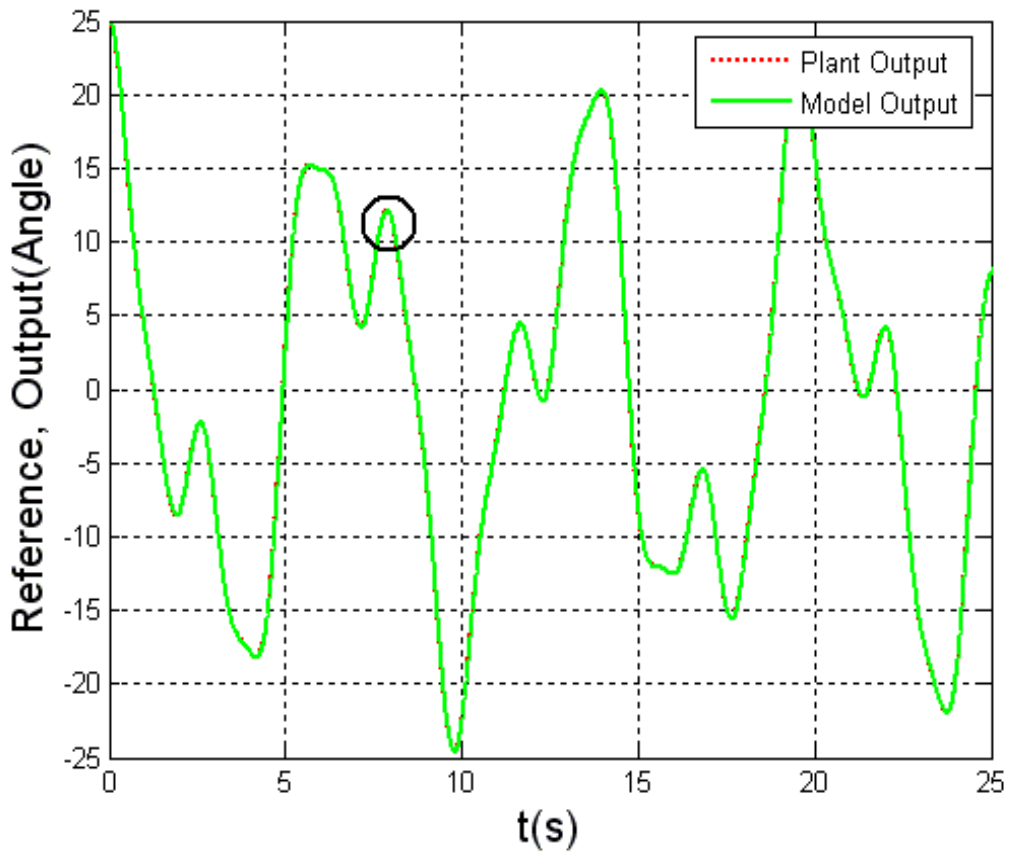


그림 4.6 추정에 사용된 데이터를 이용한 모델 검증

Fig 4.6 Model verification using data used for estimation

그림 4.7은 그림 4.6의 결과 그래프에 원형 부분을 확대하여 그린 그래프이다.

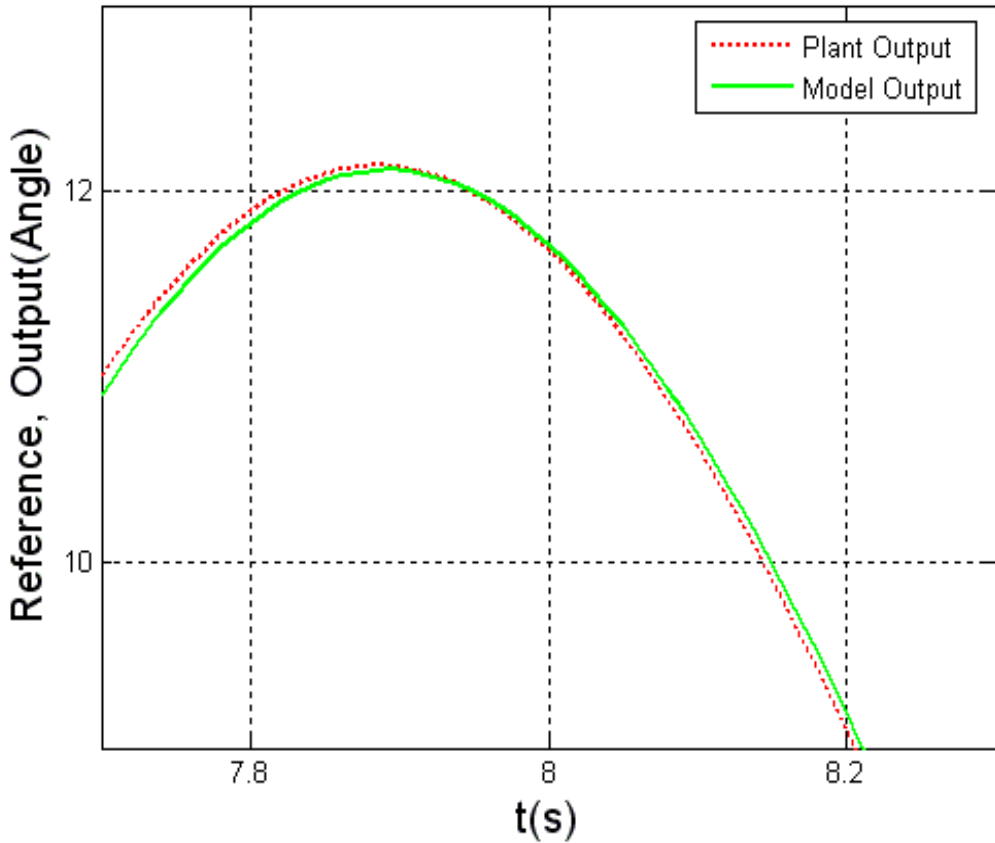


그림. 4.7 Reference와 실제 Plant 그리고 Model의 출력 확대

Fig. 4.7 Magnification of Fig 4.6

시뮬레이션 결과 위 출력 그래프에서 알 수 있듯이, RCGA를 이용하여 파라미터를 추정한 모델의 출력이 실제 시스템의 출력을 정밀히 추종함을 알 수 있다.

실제 해상에서 선박의 움직임은 양호한 바다 상태에서 그림 4.8과 같이 분당 약 $\pm 2^\circ$ 정도로 시간당 각의 변화가 크지 않는데 반해, 식 4.21과 같은 입력은 바다에서 선박의 움직임이 최악의 상황일 때를 고려하여 선

정하였다.

다음은 실제 해상에서 선박의 움직임과 유사한 움직임인 식 (4.42)를 입력 하여 실험하였다.

$$u_i(t) = 0.2\cos(2\pi t) + 0.5\sin(0.4\pi t) + 0.85\cos(0.6\pi t) \quad (4.42)$$

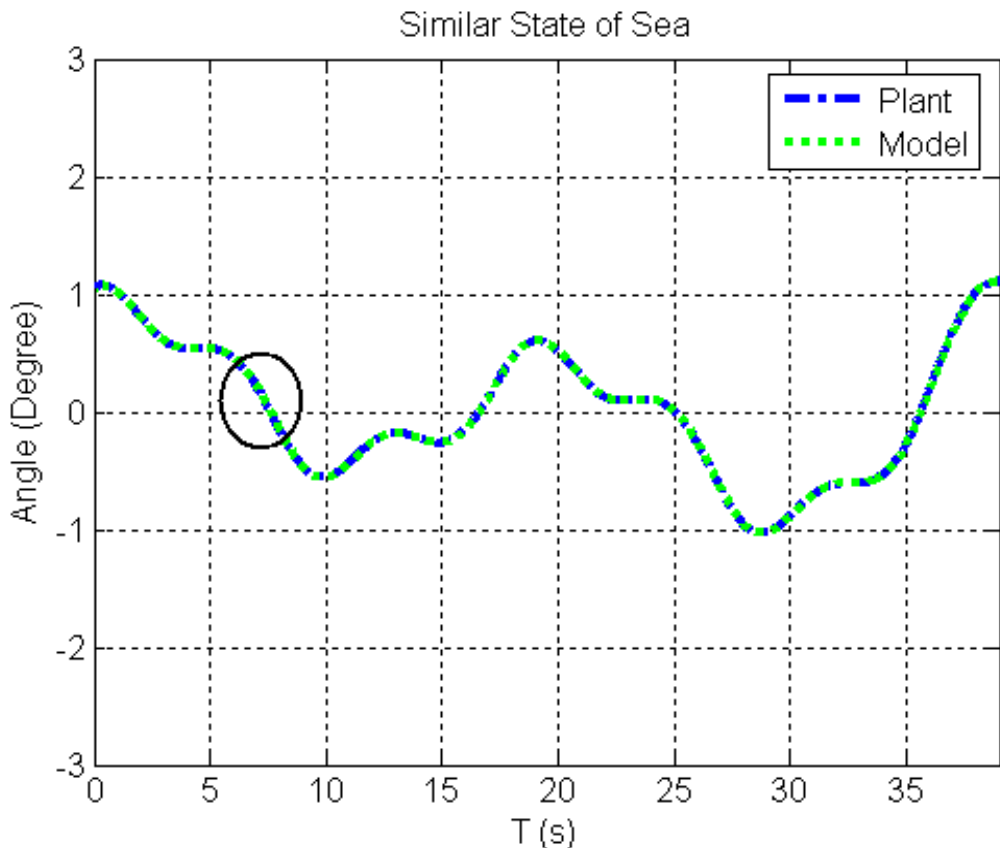


그림 4.8 추정으로 미사용 데이터를 이용한 모델 검증

Fig 4.8 Model verification using data not used for estimation

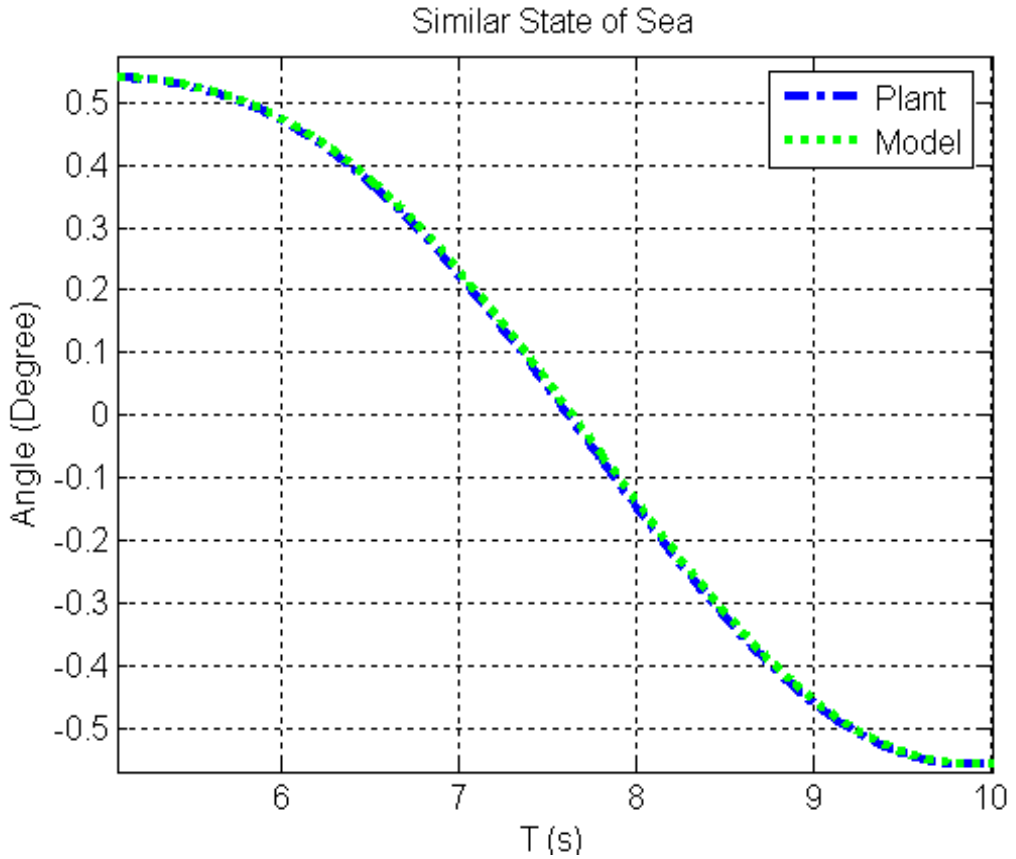


그림 4.9 그림 4.8의 확대 그래프

Fig 4.9 Magnified graph of Fig 4.8

위 실험 결과에서도 전 실험과 마찬가지로 RCGA를 이용하여 파라미터를 추출하여 만들어진 모델의 출력이 실제 Plant의 출력을 정밀히 추종함을 알 수 있다.

제 5 장 결론

본 연구에서는 시스템의 파라미터 추정 메커니즘으로 유전알고리즘의 한 종류인 RCGA를 사용하여, 실제 선박용 동요안정화 시스템의 Pedestal 모델을 얻고 그 파라미터를 추정하였다. RCGA 사용의 타당성을 검증하기 위해 파라미터 추출의 방법 중 광범위 하게 사용되는 최소자승법과의 비교를 통하여 효율성을 알아보았다.

실제 제어 대상 시스템의 경우, 모델링한 전달함수와 그 파라미터를 추정하고, 모델과 실제 시스템에 실제 해상의 선박 움직임과 유사한 입력과 해상의 최악의 조건을 감안한 입력을 인가하여 그 출력 파형을 분석한 결과, 실제 시스템과 모델의 출력 파형이 지연향을 제외하면 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 RCGA를 통한 시스템 파라미터추출 방법의 유효성을 확인할 수 있었다.

차후 시스템 운용 중에 가변적인 파라미터들의 탐색과 더불어 자동적 파라미터 수정에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Myung-Ho, Shin "Optimal Tuning of a Digital PID Controller Based on the PPGA and Model," University of Korea Maritime, 2004
- [2] 진강규, *유전알고리즘과 그 응용*, 교우사, 2000.
- [3] J. H. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems," *The University of Michigan Press*, Michigan, 1975.
- [4] 김도웅, 진강규, "RCGA를 이용한 PID 제어기의 모델기반 동조 규칙," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제8권, 제12호, pp. 1056-1060, 2002
- [5] 진강규, 주상래, "실수코딩 유전알고리즘에 관한 연구," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제6권, 제4호, pp.268-275, 2000.
- [6] P. Young, "Parameter Estimation for Continuous-Time Models-A Survey," *Automatica*, vol. 17, no. 1, pp. 23-39, 1981
- [7] I. D. Landau, *System Identification and Control Design*, Prentice-Hall, Inc., N.J., 1990.
- [8] Jong-Kap Ahn, Yun-Hyung Lee, Gang-Gyoo Jin, and Myung-Ok So, "System Identification by Real-Coded Genetic Algorithm," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering* vol. 31, no. 5, pp. 599 ~ 605, 2007
- [9] 이현식, 진강규, "유전알고리즘을 이용한 연속시스템의 온라인 퍼래미터 추정," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제4권, 제1호, pp. 76-81, 1998.

- [10] R. Das and D. E. Goldberg, "Discrete-time Parameter Estimation with Genetic Algorithms," Proc. 19th Annual Pittsburgh Conf. on Modeling and simulation, pp. 2391-2395, 1988.
- [11] K. Kristinsson and G. A. Dumont, "System Identification and Control Using Genetic Algorithms," *IEEE Trans. Syst., Man and Cybern.*, vol. 22, no. 5, pp. 1033-1046, 1992.
- [12] G. Jin, "Intelligent fuzzy logic control of processes with time delay," *PhD Thesis, University of Wales Cardiff, UK*, 1996.