

---

# RCGA기법을 이용한 선박용 디젤 주기관의 속도제어

소명옥\* · 이윤형\*\* · 최명성\*\* · 김성건\*\* · 윤학진\*\*

Speed Control of Marine Diesel Engine using RCGA

*Myung-Ok So\* · Yun-Hyung Lee\*\* · Myung-Seong Choi\*\* · Seong-Gun Kim\*\* · ack-Jin Yoon\*\**

## Abstract

The conventional PID controller has been extensively used to an industrial world though modern control theory has been developed in these days. Because control action of PID controller depends on three parameters engineers easily understand how to deal with control parameters. As a result many kinds of tuning methods of PID controller such as Ziegler-Nichols method, Cohen-Coon method, Pole-Zero placement method, IMC method etc. But these methods need the experience on the controlled system.

Genetic Algorithm which is a sort of optimization methods can search the control parameters for the selected plant via systematic procedure.

In this paper, the author present searched PID control parameters using a GA for a marine diesel engine and prove the excellence of GA through a simulation.

**Key word** : Marine Diesel engine(선박용 디젤 주기관), PID Control(PID제어), RCGA(Real-coded genetic algorithm : 실수코딩 유전알고리즘)

## 1. 서 론

PID 제어기는 고전적인 제어기이기는 하나, 그 역사가 오랜 만큼 실용적인 면에서 많은 연구가 축적되어 현대제어 이론이 발전된 오늘날에도 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있

제어기이다. 그 이유로는 만족할 만한 효과를 얻고 있고, 단순한 제어 동작으로 구성되어 직관적으로 이해되기 쉬운 장점 등 때문이다.

현재 선박에서 사용되고 있는 제어기 대부분이 PID 제어기라는 사실도 이를 반영해 주고 있다.

---

\* 해양수산부 항만교통정보센터 관제관

\*\* 한국해양대학교 해양경찰학과 부교수

PID 제어기는 세 개의 정수인 비례이득, 적분 이득, 미분이득의 파라미터의 값에 따라서 제어 기의 성능이 좌우되므로 세 개의 파라미터를 적절히 조절할 필요가 있으며 이러한 일을 동조 (Tuning)이라고 한다.

동조에는 여러 방법이 제시되었으며, 그 대표적인 방법으로 Ziegler-Nichols법(Z-N), Cohen-Coon법(C-C), 극-영점 배치법, IMC법 등이 있다.<sup>[1]-[4]</sup>

이러한 방법은 설계자의 경험과 직관에 의존하는 경향이 있다. 이에 반해 유전알고리즘은 체계적인 절차를 통해 주어진 시스템에 대해 최적의 계수를 찾아낸다.

본 논문에서는 1975년 Holland 교수가 제안한 유전학과 진화원리를 알고리즘 형태로 구현한 최적화 탐색기법의 하나인 유전알고리즘 (Genetic algorithm : GA)을 사용해 PID제어기를 동조하기로 한다.

GA는 기본적으로 두 부모의 유전자를 통해 자손의 유전자를 형성하는 유성생식과 자연현상에서 일어나는 진화원리를 흉내 내고 있다. 이를 위해 다수의 유전 연산자가 사용되지만, 대부분의 GA에서는 재생산, 교배, 돌연변이의 유전 연산자(Genetic operator)를 사용한다. 자연진화와의 가장 큰 차이점은 매우 빠른 속도로 진화가 이루어진다는 것이다.

GA는 구배(Gradient)에 기초한 일반 탐색 알고리즘과는 달리 연속성, 미분가능성, 단봉성과 같은 탐색공간에 대한 부가정보를 요구하지 않고, 매우 크고 복잡한 탐색공간에서도 전역해에 수렴하는 장점 때문에 함수의 최적화, 신호 및 화상 처리, 시스템 식별 및 제어 등 다양한 분야에서 최적화 도구로서 응용되고 있다.<sup>[5]</sup>

본 논문에서는 이러한 GA를 실제 선박용 디젤 주기관에 적용해 보고자 한다. 이를 위해 선

박용 디젤 주기관의 각 회전수 영역의 PID제어기 계수를 GA를 이용해 찾아보고, 이들 계수를 사용한 PID제어기가 실제로 만족할 만한 제어 성능을 나타내는지 시뮬레이션을 통해 고찰해 보고자 한다.

## II. 선박용 디젤 주기관의 모델링

본 논문에서 취급하는 선박용 디젤 주기관 속도제어 시스템은,<sup>[6]</sup> Fig. 1의 개략도에 표시한 것과 같이, 제어기와 액츄에이터로 이루어진 조속기(governor) 그리고, 연료펌프를 포함한 디젤 주기관으로 구성되어 있다. 속도제어에는 PID 제어기를 사용하고 있으며, 액츄에이터는 모터 및 볼-스크루(ball-screw) 등으로 구성된다. 또한 액츄에이터의 모터를 제어하는 모터제어장치는 PI 제어기를 사용한다.

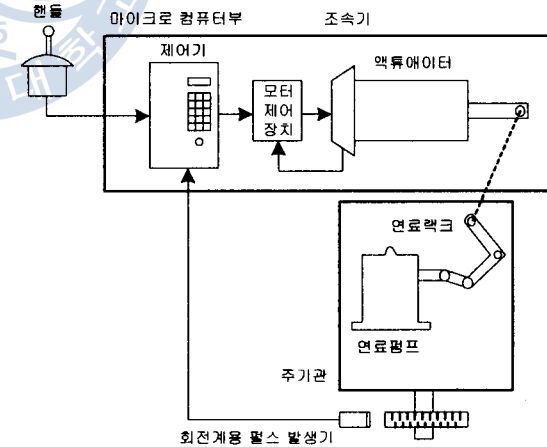


Fig. 1 Speed control system of marine diesel engine

### 2.1 선박용 디젤 주기관의 모델링

주기관은 크게 연소계통과 회전계통으로 나누어서 모델링을 할 수 있다.

연소계통을 1차계로 간주하고 연소계통의 이득을  $K_c$ , 연소계통의 시정수를  $T_c$ , 연료랙크의 위치를  $z(t)$ , 주기관의 구동토크를  $q_e(t)$ 라 하면 연소계통의 전달함수  $G_c(s)$ 는 다음과 같이 된다.

$$T_c \dot{q}_e(t) + q_e(t) = K_c z(t-L)$$

$$G_c(s) = \frac{Q_e(s)}{Z(s)} = \frac{K_c}{1+T_c s} e^{-Ls} \quad (1)$$

여기서,  $L$ 은 연료 펌프의 랙크를 조정하는 순간부터 증감된 연료가 분사될 때까지의 분사 지연기간과 연료가 분사 밸브에서 분사된 후 연소가 일어나기까지의 착화지연기간을 포함하는 시간지연을 의미하며 보통 기관의 연소계통에 포함된다.

기관의 회전은 기관의 연소실에 랙크 위치에 상응하는 연료가 분사되어 폭발이 일어나 토크  $q_e$ 가 발생하며, 토크가 부하에 걸려서 기관의 회전이 이루어진다. 이를 운동방정식으로 나타내면 아래와 같다.

$$J_e \frac{d\omega_e(t)}{dt} = q_e(t) - q_i(t) - q_f(t) \quad (2)$$

여기서,  $J_e$ 는 기관의 관성모멘트,  $q_i$ 은 부하 토크이다.  $q_f$ 는 마찰 토크로서 기관의 회전속도  $\omega_e$ 에 비례하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_f = B_e \omega_e \quad (3)$$

여기서,  $B_e$ 는 기관의 축계 마찰계수이다.

(3)을 (2)에 대입하여 정리하고, 전달함수로 표시하면 주기관의 회전계통은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Omega_e(s) = \frac{K_r}{1+T_r s} (Q_e(s) - Q_i(s)) \quad (4)$$

여기서, 회전계통의 이득  $K_r = \frac{1}{B_e}$ , 회전계통의 시정수  $T_r = \frac{J_e}{B_e}$ 이다.

부하토크를 무시하고 (1)과 (4)를 결합하면 다음과 같다.

$$\frac{\Omega_e(s)}{Z(s)} = \frac{K_c K_r}{(1+T_c s)(1+T_r s)} e^{-Ls} \quad (5)$$

여기서,  $K_c K_r = K_E$ 로,  $T_c$ 는 아주 미소하므로 무시하여  $T_c T_r \approx 0$ ,  $T_c + T_r = T_E$ 로 하여 근사화 하면, 연소계통과 회전계통을 통합한 주기관은 다음과 같이 모델링을 할 수 있다.

$$\frac{Q_e(s)}{Z(s)} = \frac{K_E}{1+T_E s} e^{-Ls} \quad (6)$$

## 2.2 액츄에이터의 모델링

액츄에이터는 직류모터 및 볼스크루로 구성되어 있으며 우선 전기자 제어방식의 직류모터에 대한 수학적 모델을 구한다.

직류모터에 대해 키르히호프 법칙을 적용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$L_a \frac{di_a(t)}{dt} = v(t) - R_a i_a(t) - K_b \omega_m(t) \quad (7)$$

여기서,  $i_a(t)$ 와  $v(t)$ 는 전기자 전류와 전기자에 인가되는 입력전압이고,  $R_a$ 와  $L_a$ 는 전기자 회로의 저항과 인덕턴스이며,  $K_b$ 는 역기전력 상수,  $\omega_m(t)$ 는 모터 회전자의 각속도이다.

그러나 일반적으로  $L_a$ 는 전기자 회로에 미치는 영향이 작은 것으로 간주되어 무시한다.

또한, 모터의 점성마찰과 쿨롱마찰을 무시한 운동방정식은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$J_m \frac{d\omega_m(t)}{dt} = K_t i_a(t) \quad (8)$$

여기서,  $J_m$ 은 회전자의 등가 관성모멘트 이며  $K_t$ 는 토크 상수이다.

(7)과 (8)을 라플라스 변환하여 전달함수로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{\Omega_m(s)}{V(s)} = \frac{\frac{1}{K_b}}{1 + \frac{J_m R_a}{K_t K_b} s} \quad (9)$$

다음으로 볼 스크루에 대해 모델링 하면 다음과 같다.

$$\dot{z}(t) = K_V \omega_m(t) \quad (10)$$

$$Z(s) = \frac{K_V}{s} \Omega_m(s) \quad (11)$$

### 2.3 선박용 디젤 주기관 속도 제어시스템

이상의 식을 참고하여 디젤 주기관의 속도 제어시스템의 블록선도를 나타내면 Fig. 2와 같다.  $N_r$ 과  $N$ 은 각각 목표 회전수 값과 실제 회전수 값이고,  $z_r$ 과  $z$ 는 각각 PID 출력 값(랙크 위치 목표 값)과 실제의 랙크 위치이며,  $e$ 은 회전수 오차,  $\tau_d$ 는 외란으로서 부하 변동 값이다.

$z_r$ 이  $z$ 와 비교되고, 그 차이가  $K_A$ 배 증폭되어 모터의 목표속도로 된다. 이것이 모터의 각속도

피드백 값과 비교되어 그 차가 PI 제어기의 입력 신호가 된다. PI 제어기의 출력신호는 전압 신호이며, 이 신호는 전류로 변환된다. 전류 신호에 의해 모터에 토크가 발생하여 회전운동이 일어나고, 각속도  $\omega_m$ 이 발생한다.

이 각속도는 볼-스크루에 의해 직선운동으로 변환되고, 랙크 위치  $z$ 가 결정되어 최종적으로 실제의 랙크 위치와 목표위치 값이 같아지게 된다.

Fig. 2에서,  $K_A$ 는 증폭기 이득,  $K_N$ 은 비례이득,  $T_N$ 은 적분시간,  $R_a$ 는 전기자 저항,  $K_t$ 는 토크 상수,  $J_m$ 는 모터 및 부하의 관성모멘트,  $K_b$ 는 역기전력 상수,  $K_{TG}$ 는 타코 제너레이터 피드백 이득,  $K_V$ 는 운동 변환정수이다.

설계 값을 참고하여<sup>[6]</sup> 각 파라미터 값을 Table 1과 같이 설정한다.

Table 1 Parameters of an actuator

Parameters	Value	Unit
$R_a$	0.25	[ V/A ]
$K_t$	4.29	[ kgf · cm / A ]
$J_m$	0.0226	[ kgf · cm · s <sup>2</sup> ]
$K_{TG}$	0.03184	[ V · sec / rad ]
$K_V$	0.0796	[ cm/rad ]

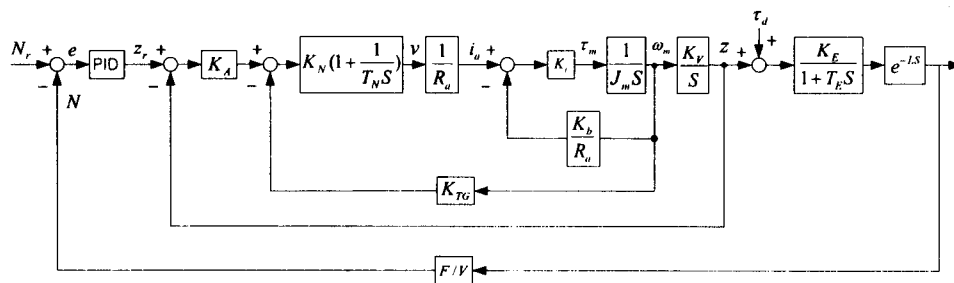


Fig. 2 Block diagram of marine diesel engine speed control system

Fig. 2에서 시간지연 블록과 PID 제어기 블록을 제외한 부분에 대해 상태벡터  $[x_1, x_2, x_3, x_4]^T$ 를 도입하여 상태공간형태로 표현하면 아래와 같다.<sup>[7]</sup>

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_E} & \frac{K_E}{T_E} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_V & 0 \\ 0 & -\frac{K_I K_N K_A}{R_s J_m} & -\frac{(K_I K_N K_{TC} + K_I K_D)}{R_s J_m} & \frac{K_I}{R_s J_m} \\ 0 & -\frac{K_N K_A}{T_N} & -\frac{K_N K_{TC}}{T_N} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \\ &+ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_I K_N K_A}{R_s J_m} \\ \frac{K_N K_A}{T_N} \end{pmatrix} z_r + \begin{pmatrix} \frac{K_E}{T_E} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tau_d \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,  $x_1$ 는 시간지연을 포함하고 있지 않는 기관 회전수이고,  $x_2$ 는 랙크 위치 [mm]를 표시하며,  $x_3$ 는 모터의 회전속도 [rad/s]이다.

### III. RCGA기반의 PID 제어기 설계

#### 3.1 GA의 기본이론 [8]

일반적으로 GA는 해 파라미터를 자연 파라미터로 변환하여 사용하며, 가장 보편적인 방법은 이진코딩(Binary encoding)방법이다. 이진코딩은 폭넓게 사용되어 좋은 성능을 보이고 있으나, 몇 가지 단점을 가지고 있다. 첫째, 해의 탐색영역을 확대하거나 해의 정밀도를 높일 경우 염색체의 길이가 길어지고, 이로 인해 연산 부담이 증가하게 된다. 둘째, 실수집합 안에서 정의된 탐색공간의 염색체는 부호화 및 복호화의 과정이 필요하고, 이 역시 많은 연산시간을 소모한다. 셋째, 해공간에서 가까운 두 점이 부호공간에서도 가깝게 사상되지 않는 해밍절벽

(Hamming cliff)이 발생한다.

이러한 단점을 보완하기 위해 실수코딩 유전 알고리즘(Real-coded genetic algorithm : RCGA)<sup>[8]</sup>을 자주 사용한다. RCGA는 프로그래밍이 간단하고, 해의 정의역을 크게 확대할 수 있으며 이진코딩에 요구되는 복호화의 과정을 생략할 수 있으므로 연산속도를 높일 수 있다.

RCGA도 기존 이진코딩 GA가 사용하는 재생산, 교배, 돌연변이의 기본 유전연산자를 사용하며, 현 세대에서 가장 강한 개체가 다음 세대로 변경되지 않고 전달되는 것을 보장하기 위해서 엘리트 전략을 사용한다.<sup>[8]</sup>

기본 연산자 중에서 재생산(Reproduction)은 자연계의 적자생존 또는 자연도태 현상을 모방한 것으로, 개체의 적합도를 기반으로 하여 집단내의 개체를 선택해 새로운 집단을 형성하는 과정이다. 재생산 연산자에는 룰렛휠 선택에 기초한 재생산(Roulettwheel selected-based reproduction), 토너먼트 선택에 기초한 재생산(Tournament selected-based reproduction), 구배와 유사한 재생산 (Gradient-like reproduction) 등 여러 가지 기법들이 있으나, 본 논문에서는 구배와 유사한 재생산을 사용하였다.

구배와 유사한 재생산은 룰렛휠 재생산을 채용하는 유전알고리즘이 작은 집단을 다룰 때 생기는 문제점을 보완하기 위해 Jin<sup>[9]</sup>등에 의해 제안된 연산자로서, 구배법과 유사한 수식을 통해 개체들을 재생산 하도록 한다.

교배는(Crossover) 자연계 생물의 성적 결합을 모방한 것으로서 이를 통해 부모세대의 유전 인자를 서로 교환할 수 있게 된다. 이를 위해 부모 염색체의 교배점 이후 비트를 서로 교환하여 탐색공간상의 새로운 점을 찾는다. 이때 교배점은 염색체 내에서 임의로 결정되며, 자손의 수가 아버지 집단의 크기와 같을 때까지 반복된

다. 주로 사용되는 교배 연산자는 플랫폼교배(Flat crossover), 단순교배(Simple crossover), 산술적 교배(Arithmetical crossover)등이 있으며, 본 논문에서는 산술적 교배를 사용하였다.

돌연변이(Mutation)는 유전알고리즘이 세대 초기에 유전자의 다양성 결핍으로 인해 지역해(Local solution)나 사점(Dead corner)에 빠지게 될 경우, 이를 벗어나기 위한 메커니즘이다. 이를 위해 염색체 내 임의의 비트를 확률적인 방법에 의해 변경시킨다.

돌연변이 연산자로는 균등돌연변이(Uniform mutation), 경계돌연변이(Boundary mutation), 동적돌연변이(Dynamic mutation) 등이 있고, 본 논문에서는 동적돌연변이를 사용하였다.

엘리트 전략(Elitist strategy)은 한 세대의 최적 개체의 소멸을 방지하는 전략으로, 이전 세대의 최적 개체를 저장하고 있다가 일련의 모의 진화를 수행한 후 최적 개체가 소멸된 것이 확인 되면, 현 세대의 가장 약한 개체 또는 임의로 선택된 개체를 저장된 최적 개체와 교환함으로써 집단 내에서 가장 강한 개체가 다음 세대로 전달되는 것을 보장한다.

적합도 평가는 자연계에서 한 생물의 환경에 대한 생존능력을 모방한 것으로, GA에서는 개체간의 우열을 적합도를 평가하는 과정을 통해 이루어진다. 세 연산자를 통해 새로운 집단이 완성되면 개체들의 적합도는 목적함수에 의해 평가된다. 적합도에 따라 다음 세대에서의 재생산 선택 비율이 조정되며 적합도가 큰 개체가 더 많이 선택된다. 이를 위해 적합도 함수는 최대화 문제 형태로 표현되고, 양의 값을 가져야 한다. 따라서 적합도 함수는 목적함수의 적절한 사상(mapping)이 요구되는 경우가 발생하기도 한다.

### 3.2 모터제어장치의 PI제어기

우선 액츄에이터부의 PI 제어기의 파라미터를 구하기 위하여 Fig. 2의 랙크 위치 목표값  $z_r$ 을 계단상으로 변화시켜, 가장 적합하다고 판단되는  $K_A$ ,  $K_N$ ,  $T_N$ 의 값을 결정하였고, 값은  $K_A=10$ ,  $K_N=4$ ,  $T_N=0.5$ 이다. 이때 랙크 위치 목표값  $z_r=80$ 인 경우의 시뮬레이션 결과를 Fig. 3에 표시하였다.

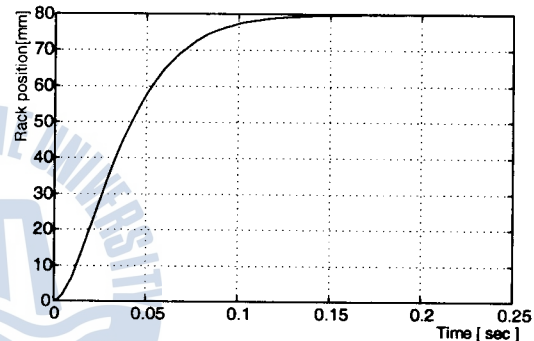


Fig. 3 Step response of an actuator

### 3.3 RCGA기반의 PID제어기 설계

이어서 전체 회전수 제어 시스템에 대해 RCGA를 이용하여 PID제어기를 설계한다. 이때 주기관의 회전수는 4가지 영역 즉, 초저속(Dead slow : 20rpm), 저속(Slow speed : 40rpm), 중속(Half speed : 60rpm), 전속(Full speed : 80rpm)으로 구분하고 각 회전수 영역에서 RCGA를 이용하여 제어기를 동조하도록 한다. Fig. 4는 RCGA와 제어대상을 기반으로 PID제어기를 동조하는 과정을 나타낸다.

RCGA의 목적함수로는 절대오차의 적분(Integral of the Absolute magnitude of the Error : IAE)을 사용하며, 이 목적함수가 최소가 되도록 제어기의 계수를 동조한다.

$$J = \int_0^{t_f} |e(t)| dt \quad (13)$$

(13)에서  $t_f$ 는 이 시간 이후의 적분값은 무시해도 좋을 정도의 충분한 시간이 되도록 설정한다.

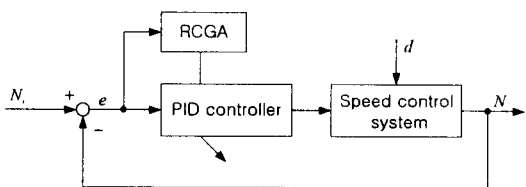


Fig. 4 Parameter tuning of the PID controller using a RCGA

#### IV. 시뮬레이션

##### 4.1 PID 제어기의 동조

시뮬레이션을 행할 때에는 시간지연  $L$ 과 주기관의 정상이득  $K_E$  그리고 기관의 시정수  $T_E$  등과 같은 중요한 주기관의 파라미터들을 고려해야 한다. 왜냐하면 주기관의 회전수가 변화함에 따라 시간지연과 주기관의 이득, 시정수도 변하기 때문이다.

그러나 본 논문에서 시간지연은 각 회전수 영역(동작점)의 시간지연을 사용하고, 주기관의 이득은 회전수의 변화에 따라 아주 미소하게 변화하므로 변화량을 무시하기로 한다. 마지막으로 시정수는 회전수의 변화에 따라 바뀌기 때문에 하나의 고정된 값으로 간주한다.<sup>16)</sup>

Table 2 Parameter of marine diesel engine

Parameters \ RPM	20	40	60	80
시간지연	1.35	0.68	0.45	0.33
주기관 이득	1.057	0.939	0.773	0.642
시정수	1.85	1.85	1.85	1.85

Table 2는 위에서 언급한 주기관의 파라미터 설정값을 나타낸다.

이제 RCGA를 이용해 각 회전수 영역의 PID 제어기를 최적으로 동조한다. 이때 설정한 매개변수는 집단크기  $N=90$ , 재생산 계수  $\eta=1.7$ , 교배확률  $P_c=0.9$ , 돌연변이확률  $P_m=0.1$ 을 사용하였다. Table 3은 RCGA를 통해 최적으로 동조된 제어기의 계수를 나타낸다.

Table 3 Tuned PID controller parameters

Engine speed	20	40	60	80	
PID Parameter	$K_P$	1.4984	2.3462	4.0815	5.8476
	$K_I$	0.5779	0.7873	1.0949	1.4572
	$K_D$	0.7812	0.6541	0.8279	0.8859

##### 4.2 동조된 PID제어기의 속도추종 실험

RCGA를 이용해서 최적으로 동조된 PID 제어기의 계수들을 이용하여, 각 회전수 영역에서 시뮬레이션을 실시한다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 5에 나타낸다.

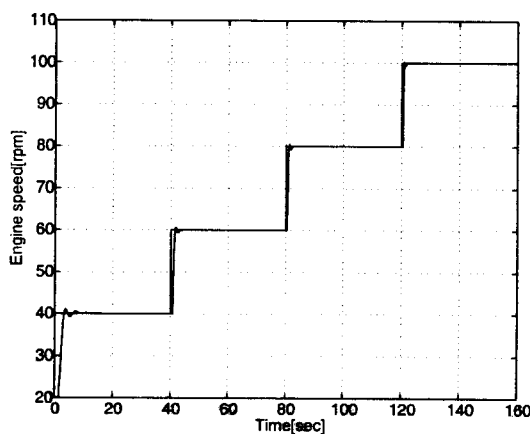


Fig. 5 Step response of adapted PID controller using a RCGA

각 회전수 영역에서 약간의 오버슈트가 나타나고 있지만 비교적 작은 값을 알 수 있다. 또한 도달시간이 짧고, 정상편차 없이 주어진 회전수 목표치에 잘 도달 하는 것을 확인 할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 선박용 디젤 주기판 시스템에 대하여 RCGA를 기반으로 하여 PID 제어를 동조 하였다.

시스템에 대하여 자연계의 현상을 알고리즘으로 표현하여 체계적으로 동조하는 GA는 아주 정밀한 동조가 가능 할 뿐 아니라, 실제 제어기에 적용시킨 결과 만족할 만한 제어 성능을 나타내고 있음을 확인하였다.

차후에는 각 회전수 영역에서 설계된 이서브 제어를 소속함수로 결합하여 전체 회전수 영역에 대하여 강인한 제어를 행할 수 있는 제어를 설계할 수 있을 것이다. 또한 기존의 제안된 동조 방법과 RCGA로 동조된 제어를 비교 검토하는 것도 의미가 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum Setting for Automatic Controllers", Trans. ASME, Vol. 64, No. 11, 1942.
- [2] G. H. Cohen and G. A. Coon, "Theoretical Considerations of Retarded Control", Trans. ASME, Vol. 75, 1953.
- [3] C. E. Garcia and M. Morari, "Internal Model Control : A Unifying Review and Some New Results", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., Vol. 21, No. 2, 1982.
- [4] King R. and A. Stathaki, "Fuzzy Gain Scheduling Control of Nonlinear Processes", Proc CSCC'99, Athens, 1999.
- [5] 김병만, "DC 모터의 속도제어를 위한 모델 기반 퍼지제어기 설계", 한국해양대학교, 석사논문, 2001.
- [6] 소명옥 외, "선박용 디젤 주기판의 강인한 속도제어기 설계", 해사산업연구소 논문집, 第12輯, 2002.
- [7] K. Ogata, "Modern control engineering", Prentice Hall, 1999.
- [8] 진강규, "유전알고리즘과 그 응용", 교우사, 2000.
- [9] G. Jin, "Intelligent Fuzzy Logic Control of Processes with Time Delays", Ph.D. Thesis, Univ. of Wales Cardiff, United Kingdom, 1995.