

---

# DC 서보모터의 속도제어를 위한 GAs의 PID 계수조정에 관한 연구

박재형\* · 김성곤\*\* · 이상관\*\*\*

A Study on the PID Order tuning by GAs for Velocity Control of DC Servo Motor

Jae-Hyung Park\* · Seong-Kon Kim\*\* · Sang-kwan Lee\*\*\*

## 요 약

본 논문에서는 유전 알고리즘을 사용하여 PID의 각 계수를 자동적으로 조정함으로써 DC 서보모터의 속도제어에 적용하였다. DC 서보모터는 산업현장 및 로봇분야에 널리 적용되고 있으며 적절한 제어성능을 얻기 위하여 많은 시행착오에 의한 다양한 제어방법이 사용되고 있다. 그러나 산업현장, 플랜트의 변화 및 외란에 강인한 제어알고리즘을 선택하기가 매우 어려우며 많은 시행착오를 통하여 원하는 계수값을 얻어 낼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고 DC 서보모터의 제어성능을 향상시키기 위하여 유전 알고리즘을 적용함으로써 우수한 응답특성을 얻을 수 있었다.

## ABSTRACT

In this paper, does by purpose DC servo motor speed controller design about PID coefficient tuning techniques that use genetic algorithm. DC servo motor is used in application field of a great many control machine or robot etc. and in this field, selection of controller parameters requires user's expert knowledge. Therefore, general amount of work engineers must continuously iteration tuning in controller parameters by trial and error. With this, when must tuning parameter coefficient about change of dynamic system or disturbance, can improve the efficiency according to following that is more precised and parameter coefficient value that is optimized by using genetic algorithm. In this paper, from dynamic character modeling get in analyze dynamic character of DC motor design controller drive control possible that is fast response character and improved speed precision using a Genetic Algorithms

## 키워드

유전알고리즘, PID 제어, PID 계수조정

## I. 서 론

최근에 들어서 DC모터의 성능을 향상시키기 위해

서 제어 파라미터를 최적화하기 위한 연구가 계속되고 있다. 시변 파라미터를 이론적으로 계산해내는 것은 매우 어려우며, 이는 비선형성이 강한 동적시스템을

---

\* (주)오토일렉스 선임연구원

\*\* 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부

\*\*\* 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부

정확하게 모델링하기가 어렵기 때문이다. 따라서 시변 동적시스템을 제어할 때 일반적으로 제어 파라미터는 조작자의 파라미터 조절에 대한 경험과 지식을 바탕으로 하여 많은 실험을 통해 조정된다.[1]

이러한 시변동적시스템의 제어 파라미터 조정과정을 자동화하기 위해서 퍼지 논리를 이용한 기법이 개발되고 있다. 그러나 이러한 기법은 지식베이스를 구축하기 위해서는 시스템의 거동에 대한 일반화된 규칙을 얻기 위한 많은 실험과 전문가의 경험적 지식이 필요하다는 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용하여 PID제어기의 제어 파라미터를 효율적으로 최적화하고자 한다. 유전알고리즘은 자연계의 적자생존과 유전학에 근거를 둔 탐색알고리즘이다.[2]

DC 모터 제어를 위해 전류제어를 위한 PD제어루프와 외부의 속도제어 PID제어루프의 이중루프를 구성하였다. 본 논문에서는 DC모터의 시변 속도제어를 위해 유전 알고리즘을 이용하여 PID 각 계수 값을 최적화 하였다.

## II. 유전알고리즘

### 2.1. 유전알고리즘

유전 알고리즘의 진화과정은 생물학적 유전인자인 염색체에 해당하는 문자열(string)을 가지고 생물과 같은 재생산(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)를 거쳐 다음세대의 자손(offsprings)을 만들어 낸다. 전형적인 유전 알고리즘의 탐색과정은 아래와 같다.

**단계 1. 파라미터 부호화 및 초기화 (parameter coding and initialization) :** 유전 알고리즘에서 염색체에 해당하는 파라미터를 부호화된 스트링으로 표현하여 초기집단을 구성한다.

**단계 2. 평가(evaluation) :** 각 문자열을 디코딩하여 목적함수에 대한 적합도(fitness)를 계산하여 평가한다.

**단계 3. 복제 (reproduction) :** 자연생태계의 적자생존의 원리를 이용하여 높은 적합도를 가진 문자열에 대하여 다음세대로 복제될 확률을 높게하여 현재 집단에서 부모세대 스트링을 선택한다.

**단계 4. 교배 및 돌연변이(crossover and mutation) :** 선택된 부모세대 스트링간의 교배 및 돌연변이의 진

화과정을 통해 새로운 정보를 갖는 자손세대 스트링을 생성한다.

**단계 5.** 새로 생성된 자손에서 스트링에 대한 적합도를 평가하여 부모세대와 교체하여 최적해를 구할 때까지 단계 3 이하의 과정을 반복한다.

유전 알고리즘의 성능은 실제 파라미터의 부호화 기법, 교배율 및 돌연변이율, 평가함수 설정 등에 크게 좌우된다.

### 2.2. 유전알고리즘과 PID 제어기의 결합

그리고 평가함수는 시스템에 있어서 적합한 유전자 인가를 평가할 수 있는 적합도 함수이며, 교배율은 한 개의 부모와 다른 부모의 교배될 확률을 나타내며, 돌연변이율은 국부 최소점에 빠지는 거나 조기 수렴하는 현상을 방지하기위한 확률이다. 여기서 사용한 평가함수는 오차를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 따라서 다음과 같이 오차 제곱 누적을 평가함수의 항으로 사용하였다. 그림1은 유전알고리즘과 PID 제어기를 결합한 형태를 나타내고 있다.

$$\text{목적함수(Fitness)} = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^m e_i(k)^2}$$

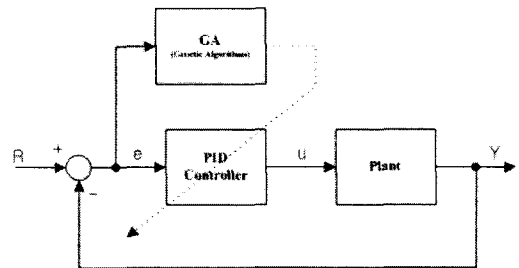


그림 1. 유전알고리즘을 이용한 PID 제어기의 계수조정

Fig. 1. A PID parameter tuning using Genetic Algorithms

## III. DC모터의 동특성 모델링

### 3.1 전류 제어부

모터의 동특성 분석은 전기적 방정식과 운동방정식

으로 분류할 수 있다. 모터의 전압방정식은 식(1)과 같다.

$$V_a = L_a \frac{dI_a}{dt} + R_a I_a + E \quad (1)$$

여기서, E는 역기전압으로서 그 크기가 모터의 속도에 비례하며, 그 비례상수를  $K_E$ 라 하면 식(2)와 같은 모터의 전기적 방정식으로 표현된다.

$$V_a = L_a \frac{dI_a}{dt} + R_a I_a + K_E \omega \quad (2)$$

모터의 자기장이 일정하다면 전류는 토크에 비례한다. 따라서 모터의 토크  $T$  와 모터의 속도  $\omega$ 의 관계식은 식(3)과 같다.

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + D\omega \quad (3)$$

여기서, 전체관성 모멘트  $J = J_M + J_L$ 이고,  $J_M$ 과  $J_L$  각각 모터의 관성 모멘트와 부하의 관성 모멘트이다. 그리고  $D$ 는 점성 댐핑 요소이다.

토크를 토크계수와 전류의 식으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$T = K_T I_a \quad (4)$$

위의 식을 모두 라플라스 변환으로 표시하면 식(5),

(6) 및 (7)인 관계식이 얻어진다.

$$V_a(s) = (sL_a + R_a)I_a(s) + K_E \omega(s) \quad (5)$$

$$T(s) = K_T I_a(s) \quad (6)$$

$$T(s) = sJ\omega(s) + D\omega(s) \quad (7)$$

입력전압  $V_a(s)$ 와 모터속도  $\omega(s)$ 의 전달함수는 식(8)과 같다.

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_T}{(L_a s + R)(J s + D) + K_E K_T} \quad (8)$$

전류제어부의 블록다이어그램으로 표시하면 그림 2와 같다. DC모터의 전류 제어를 위해서는 PWM 방식을 사용했다. 또한 그림 1에서  $G_C(s)$ 는 PI제어기로 구성된 전류 제어기이고,  $K_{PW}$ 는 PWM증폭기의 파워 증폭 이득으로서, PWM을 이용한 실제 모터 인가 전압으로의 증폭기를 나타낸다. 이 때, PWM에 사용한 삼각파 발생기의 스위칭 주파수는 20Khz로 설정하였다.

### 3.2 속도 제어부

속도 제어 루프는 모터의 기계적인 시정수를 외관상 줄일 수 있고, 모터의 유기전압과 전원전압의 변동에 대해 회전 속도의 변동을 억제시킬 수 있으며 부하 토크의 변동에 대해서도 회전 속도의 변동을 억제시킬 수 있는 장점이 있다.

속도 제어기는 PID 제어기로 구성하였다. PID제어는 시스템 파라미터의 변동이나 외란에 대한 강인성

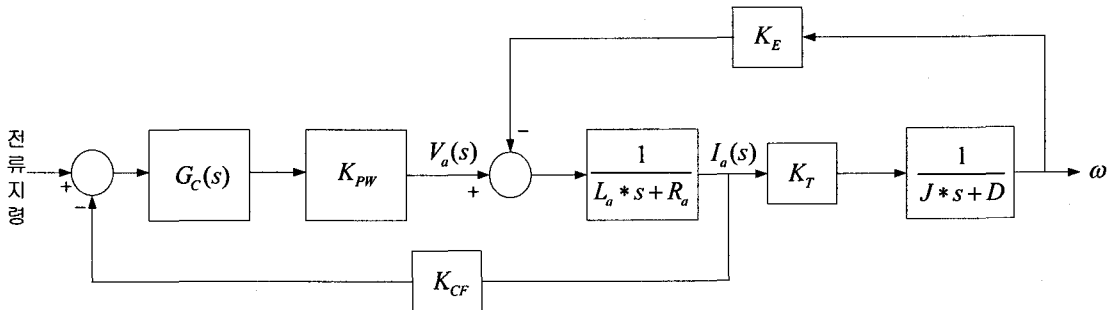


그림 2. 전류제어의 블록다이어그램  
Fig. 2 Blockdiagram of Current Control

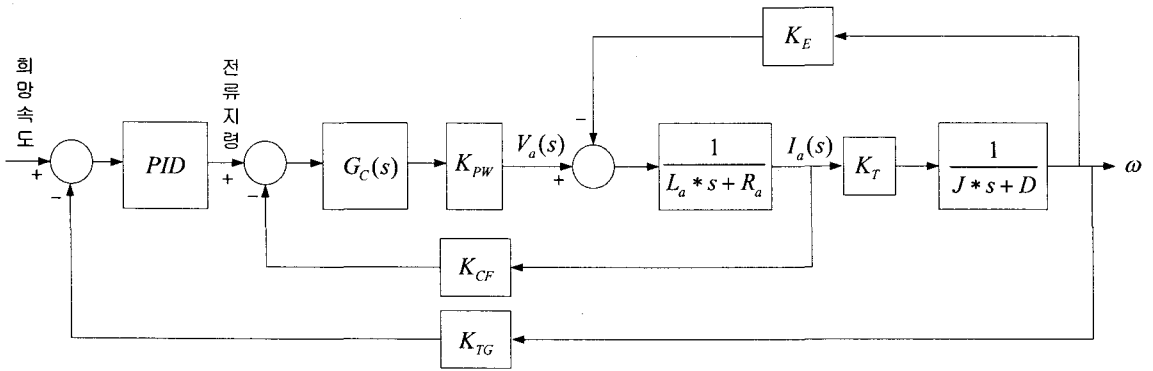


그림 3. 전류제어를 갖는 속도제어의 블록도  
Fig. 6 Blockdiagram of Velocity Control with Current Control

특성이 매우 우수하다. 그림 3은 속도 제어부에 대한 블록다이어그램을 나타내고 있다.

#### IV. 유전알고리즘을 이용한 PID계수 자동 조정

유전 알고리즘은 탐색 공간에서 일정 크기의 가능해들(possible solutions)을 동시에 고려하여 탐색을 진행한다. 본 논문에서 이러한 유전알고리즘의 병렬 처리를 이용함으로써 지역적인 극점으로 수렴하는 것을 방지하고 전역해를 찾을 수 있다. 그림 4는 유전알고리즘의 제어파라미터를 최적화하는 흐름도를 나타내고 있다.

본 논문에서 염색체의 선택방법은 일반적으로 가장 많이 사용하는 룰렛휠을 이용하였고 교배는 2점 교배 연산자를 사용하였다.[2]

##### 4.1 population size와 string length

Reeve는 string length가 20인 경우에 있어서 population size가 10일 때 초기의 population에 하나의 유전인자(0 or 1)가 최소한 한번이상 나타날 확률이 95% 이상이 되며, 이 경우에 위의 조건이 만족됨을 보였다.[3] 따라서 본 논문에서는 population size는 10이고, string length는 20을 취하였다.

##### 4.2 교배율(crossover rate)

일반적으로 교배율은 0.7~0.9의 값을 사용하며, 본 논문에서는 0.7을 선택하였다.

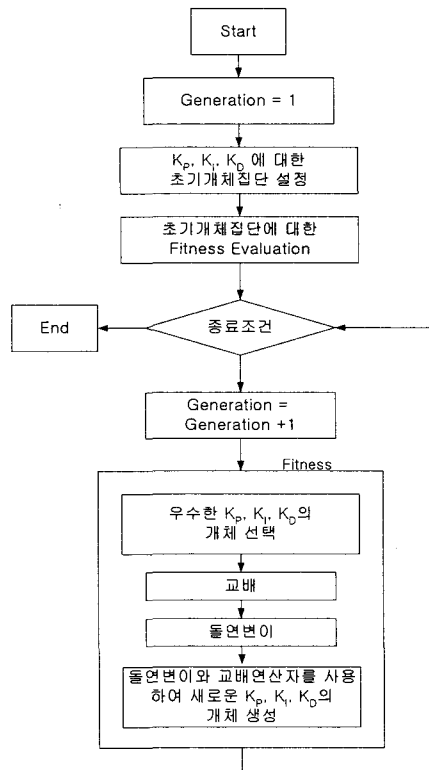


그림 4. GA를 사용한 PID계수조정 알고리즘  
Fig. 4 Auto tuning algorithm of PID parameter using

##### 4.3 돌연변이율(mutation rate)

일반적으로 돌연변이율은 0.01~0.05의 값을 사용하며, 본 논문에서는 0.02를 선택하였다.

V. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션 대상 모터로는 자동화 장비에 많이 사용되는 50W급의 DC 모터를 선정했으며, 모터의 파라미터들은 표 1과 같다.

표 1. DC모터의 사양T  
Table. 1 DC Motor specification

파라미터	값
$P_n$	50W
$R_n$	24.03Ω
$L_n$	18.1mH
$K_T$	2.30Kgcm/A
$K_E$	23.6V/Krpm
$J$	0.078mKgcm <sup>2</sup>
$K_{CF}$	6.8/3 V/A
$K_{TG}$	6/3000 V/rpm
정격속도	3000rpm
최대속도	4500rpm
지령신호	±6

그림 5, 6, 7은 각각 개체군에 따른  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ 의 초기 랜덤한 값을 나타내고 있다.

초기 세대는 10개의 개체군을 사용하여 각 개체에 대하여 랜덤하게 PID 파라미터의 값의 상태를 10진수로 나타낸 것이다. 한 세대에 10개의 개체군을 세대진화시킴으로써 원하는 최적의 해를 얻을 수 있었다.

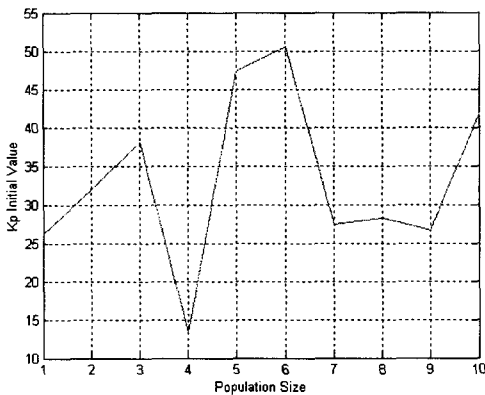


그림 5. 초기 개체에 따른 랜덤한  $K_P$ 값  
Fig. 5 A Value of Random  $K_P$  during Initial Generation

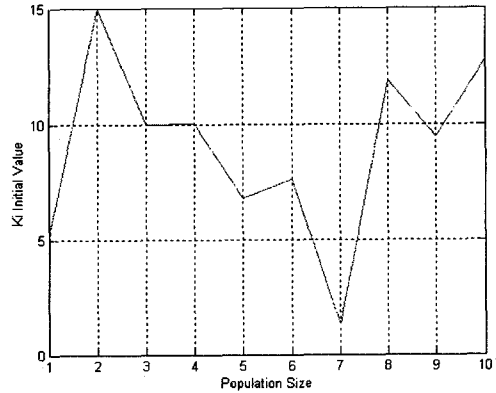


그림 6. 초기 개체에 따른 랜덤한  $K_I$ 값  
Fig. 6 A Value of Random  $K_I$  during Initial Generation

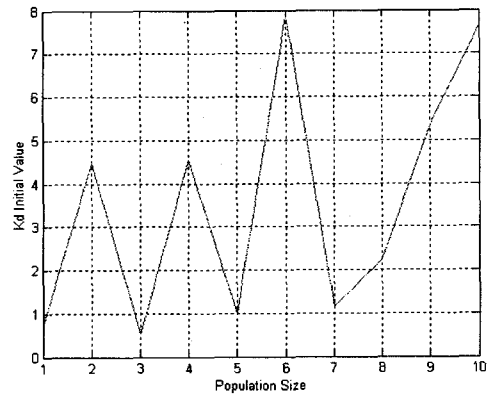


그림 7. 초기 개체에 따른 랜덤한  $K_D$ 값  
Fig. 7 A Value of Random  $K_D$  during Initial Generation

위에서 제시한 유전 알고리즘을 적용하여 각 세대별 PID계수를 최적화하여 비교하면 표 2와 같다.

표 2. 최적 제어 계수의 비교  
Table. 2 Comparison of optimization control gain

generation \ 계수	$K_P$	$K_I$	$K_D$
50	22.2242	11.1998	0.0117
100	54.8863	11.2330	0.1434

그림 8과 그림 9는 각각 50세대와 100세대에 따른 최적 해를 의미한다. 여기서 세대가 증가함에 따라 목

적합수는 증가하지만 크기가 작아지고 있기 때문에 최소화 문제에 적합함을 알 수 있다.[4]

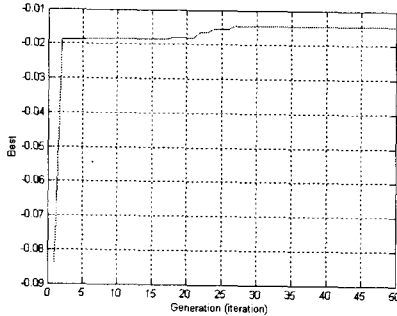


그림 8. 50 세대의 최적해  
Fig. 8 A optimized value of 50 generation

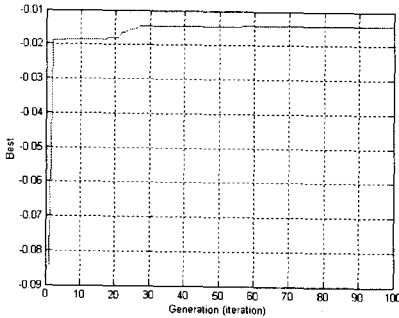


그림 9. 100 세대의 최적해  
Fig. 9 A optimized value of 100 generation

그림 10과 그림 11은 유전알고리즘에서 구한 PID계수의 최적 값을 인가했을 때의 DC 모터의 응답특성을 나타내었다.

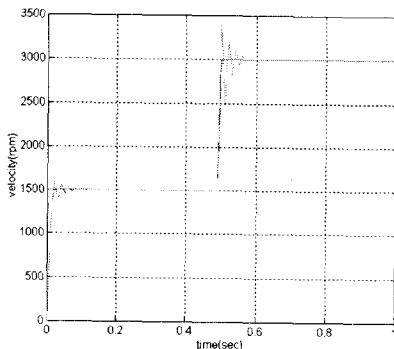


그림 10. 세대 50일 때 DC 모터의 응답  
Fig. 10 A response of DC Servo Motor when 50 generation

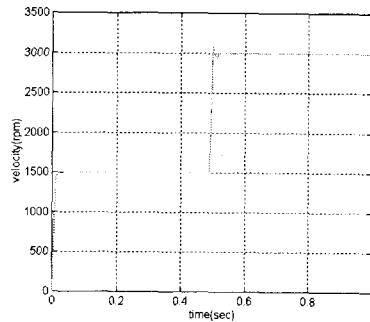


그림 11. 세대 50일 때 DC 모터의 응답  
Fig. 11 A response of DC Servo Motor when 1000 generation

## VI. 결론

그림 10과 11을 비교하였을 때 50세대일 때의 경우 매우 큰 오버슈트와 진동이 발생하였다. 그러나 세대수가 증가함에 따라 최적의 해를 얻을 수 있었으며, 그 결과 원하는 DC 모터의 응답특성을 표 3과 같이 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 제어대상인 모터의 동특성을 고려하여 빠른 응답 특성과 속도 정밀도를 향상하였고, 동특성이 변화해도 PID계수를 유전 알고리즘을 이용하여 간편하게 조절할 수 있었다. 시뮬레이션 결과, GA를 사용하여 최적해를 구하는데 많은 세대수 진화가 필요하였다. 또한 적합도 함수의 선택에 따라 원하는 응답 특성을 얻을 수 있으나 그렇지 않은 경우 응답특성이 미치지 못하고 국부최소점에 빠지는 상태가 발생하였다. 따라서 향후 이러한 문제를 해결하고 좀 더 플랜트에 적합한 알고리즘으로 TS-Fuzzy와 같은 제어기에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

표 3. 응답특성  
Table 3. A characteristic of response

세대수	속도	1500rpm		3000rpm	
		정착시간	상승시간	정착시간	상승시간
50세대		0.041s	0.0326s	0.63s	0.479s
100세대		0.025s	0.0186s	0.53s	0.489s

참고문헌

- [1] K. Inoue, J. Yoshitsugu, S. Shirogane, P. Boyagoda, M.Nakaoka, "DC Brush-less Servo Drive Systems Using Automatic Learning Control-Based Auto Gain Parameter Tuning Scheme" Proceedings of the 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation. Volume 3, 1997 -08 -01
- [2] Goldberg D.E., "Genetic Algorithms in search, optimization, and machine learning", Addison-Wesley, 1989
- [3] Reeves, C. R., 1993, "Using Genetic Algorithms with Small Populations," in Proc. of the Fifth Intern. Conf. on Genetic Algorithms, pp. 92~99.
- [4] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs" Springer-Verlag, 1992
- [5] B. S. Cho, sohee Han, S. H. Son and K. B. Park, "Improvement of Evolutionary computation of Genetic Algorithm using SVM", Proc. ICCAS2003, Gyeongju, Korea, pp.1513-1516, 2003
- [6] Donga Hwa Kim, "Intelligent tuning of a PID controller using an immune algorithm", Trans. KIEE, Vol. 51-D, No. 1, pp. 2002
- [7] Reato A Krohling and Joost P. Rey, "Design of Optimal Disturbance Rejection PID Controllers Using Genetic Algorithms", IEEE Trans, Evolutionary and computaiton. Vol. 5, No. 1, Feb. 2001
- [8] B-S Kang and K-H Cho, "Design of PLCs for Automated Industrial Systems Based on Discrets Event Models", IEEE ISIE 2001, Busan, Korea, pp. 1431-1434, 2001

저자소개

**박재형(Jae-Hyung Park)**



- 1987. 2 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1990. 2 동아대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2000. 2 동아대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

2005년 현재 (주) 오토일렉스 선임연구원  
 ※ 관심분야 : 지능시스템, 신경회로망, Fuzzy이론

**이상관(Sang-Kwan Lee)**



- 1982. 2 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1984. 2 동아대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1996. 8 동아대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

2005년 현재 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 부교수  
 ※ 관심분야 : 지능시스템, 신경회로망, RFID시스템

**김성곤(Seong-Kon Kim)**



- 1983. 2 경희대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1985. 2 경희대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2000. 2 동아대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

2005년 현재 부산가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부 부교수  
 ※ 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 의료영상해석