

---

# 퍼지 추론을 이용한 적응적 DC/AC 인버터 설계

김윤호\*

Adaptive DC to AC Inverter Design based on Fuzzy Inference  
for Power Consumption monitoring

Yoon-ho Kim

## 요약

본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용하여 소비전력 모니터링이 가능한 100[W]급 직류입력/교류출력 변환 인버터를 설계하였다. 또한 입출력 제어와 소비전력정보 모니터링을 외부환경에 적응적으로 대응하기 위해 퍼지추론 시스템을 설계하였다. 추론결과를 PIC16C711 프로세서에서 처리함으로써 입력전압의 변화와 소자의 온도특성 등에 적응적인 인버터 설계가 가능함을 보였다. 제작된 시스템을 이용하여 효율실험 및 부하실험을 수행하였고 오차는 2% 이내임을 확인하였다.

## ABSTRACT

Design and implementation method of the 100[W] DC/AC inverter using PIC16C711 processor is described in this paper. Especially, fuzzy inference algorithm is involved in this system which can be adaptive to the environment variation. Input/output control and power consumption monitoring is controlled based on PIC16C711 processor, which compute the optimal values acquired from inference engine. Such experimental as function, efficiency, motoring are performed and experimental results showed that monitoring error is less than 2% and widely used in the area of industrial fields.

## 키워드

Inverter, Circuit circuit, Power consumption, Fuzzy inference,

## 1. 서론

태양전지발전소, 풍력발전 및 차량, 선박 등에 많이 사용되는 직류입력/교류출력 변환 인버터(DC to AC inverter)는 직류전압을 교류출력으로 변환시켜 주는 장치이다. 파형에 따라 인버터를 분류하면 순사인파 출력 인버터(True sine wave inverter), 구형파 출력 인버터(Rectangular wave inverter), 계단파형 출력 인버터(Ladder wave or modified sine wave inverter), 로 나눌 수 있으며 구현 방식으로는 아날로그와 디지털 구현 방식이

있다. 가격면에서는 구형파출력 인버터가 경쟁력이 있으며 효율적인 측면에서는 구형파출력 인버터가 우수하고 고조파 발생은 순사인파 타입이 가장 적은 고조파를 발생하는 특징이 있다 [1]-[3].

국내에서는 펄스폭 변조방식 제어기(PWM controller)칩을 사용한 아날로그 방식의 구형파출력 인버터가 생산되고 있으며 계단파 출력 인버터로 마이콤을 이용하여 제어회로를 설계한 방식 및 마이콤 및 필터회로를 추가한 DSP\_INV 모델

---

\*목원대학교 공과대학 컴퓨터멀티미디어공학부

접수일자 : 2003. 12. 10

의 순사인과 형태도 생산되고 있다[1]—[3].

한편 국외에서 생산되는 대표적인 구형과 출력 인버터는 영국의 on-line-merlin에서 CHER-OKEE 를 상용화하였고 Mobitronic은 순 사인과 인버터이며, 오스트레일리아 LAKE MACQU-ARIE에서 판매하는 SEA가 있다 [4]—[6]. 기존의 시스템이 갖는 기능을 살펴보면 출력 파형과 소비 전력, 구현 방식에 관계없이 다음과 같은 기능을 대부분 가지고 있다.

- 입력전압 극성연결 실수 시 보호기능 (Reverse polarity protection)
- 출력 단락 시 보호 기능 (Output short circuit protection)
- 축전지 전압이 높거나 낮을 시 동작을 중지 하는 보호 기능(Shut down protection for low and high battery)
- 케이스 내부 70 ℃ 이상의 온도에서 동작 중지 기능

본 연구에서는 소비전력을 디지털 방식으로 모니터링 해주며 가격 경쟁력이 있고 소비전력 정보 모니터링 및 입출력 제어가 가능한 프로세서 기반의 구형과 출력 인버터를 설계하였다. 또한 추론 기반의 퍼지제어기를 설계하여 부하의 변동에 기인된 외부환경 변화에 적응 할 수 있는 추론 알고리즘을 프로세서에 추가하였다. 실험결과 제안한 방법은 소비전력 모니터링이 가능하며 부하의 변동에 유연하게 적응 할 수 있는 소형 시스템에 적용 가능함을 확인 하였다.

## II. DC/AC 인버터 시스템 설계

### II-1. 입/출력단의 설계 사양

직류입력/교류출력변환 인버터의 사양은 축전지 규격에 의존되는 부분이 많은 바, 본 연구에서는 24[V] 축전지를 사용한다고 가정하였고 100[W] 출력을 목표로 하였다. 출력단의 사양은 상용 교류전압에 의존하며 출력 파형인 경우 순사

인파가 가장 이상적이지만 가격대비 성능 및 시장성을 고려하여 구형과 출력을 위주로 하였다. 입력단 및 출력단의 설계사양은 각각 표 1 및 표 2 와 같다.

표 1. 입력단의 설계사양  
Table 1. Design spec. for input stage

DESCRIPTION	UNIT	VALUE	
Input voltage	DC [V]	normal 24	
Input voltage range	DC [V]	20 ~ 30	
Quiescent current	DC [A]	0.25	
Efficiency	60[Watt]	[%]	> 80
	80[Watt]	[%]	> 85
	100[Watt]	[%]	> 87
Battery low and high shutdown	DC [V]	<20    30 <	
Restart voltage	DC [V]	20	
Thermal protection	[℃]	70	
Reverse polarity protection	-	OK	

### II-2. 직류입력/교류출력 스위칭회로

입력단 회로설계에 있어서 축전지에서 입력되는 입력의 극성이 바뀔 시 스위칭 소자에 치명적인 영향을 준다. 따라서 입력의 극성이 바뀔 시 (축전지의 +극성과 -극성이 바뀌어 입력되는 경우)에 동작이 되지 않도록 하는 방법과 자동으로 내부에서 입력을 교환시켜 주어 정상적으로 동작하도록 설계 할 수 있다. 본 연구에서는 예서는 가격경쟁력과 소형화라는 측면에서 전자를 택하여 동작이 되지 않도록 하는 방법으로 설계 하였으며 이 방법은 제어회로에 순방향다이오드를 릴레이와 직렬로 삽입하여 정방향일 때만 제어회로에 전압이 인가되며 릴레이 접점을 통하여 스위치 소자에 전압이 인가되도록 구성하였다.

표 2. 출력단의 설계사양  
Table 2. Design spec. for output stage

DESCRIPTION	UNIT	VALUE	
Output regulation	AC [V]	220 ± 5 %	
Output wave		rectangular	
Output freq accuracy	[HZ]	60,50 ± 1	
Continuous output power	[Watt]	100	
Efficiency	60[Watt]	[%]	> 80
	80[Watt]	[%]	> 85
	100[Watt]	[%]	> 87
Power consumption monitoring	[%]	5	
Dimension(L × W × H)	Cm	12 × 8.5 × 5.6	
Weight	Kg	0.6	

또한 축전지에서 과충전, 과방전은 축전지의 수명을 단축시키는 요인이 되므로 본 시스템에서는 과방전을 막기 위하여 축전지가 20[V]이하에서는 인버터의 동작을 중지토록 하였으며, 30[V]이상 시에는 축전지의 이상 또는 축전지 이외의 비정상 입력으로 간주하여 시스템 보호 차원에서 인버터의 동작을 중지토록 하는 회로를 구현하였다. 이 회로의 구현 방법은 크게 2가지 방법으로 대별되는 바, 기준전압과 축전지 전압을 비교기를 이용하여 비교하여 트랜스에 연결된 스위치 소자인 FET를 개방시키는 방법이 있고 두 번째 방법은 축전지 전압을 아날로그/디지털 컨버터로 읽어서 내부에서 설정한 값과 비교하여 스위치 소자인 FET를 개방시키는 방법이 있다. 본 시스템에서는 시스템에서 적용하고 있는 마이콤 소자가 아날로그/디지털 컨버터를 4채널 가지고 있으므로 두 번째 방법을 이용하였다.

인버터에서 온도가 상승 시 야기될 수 있는 문제는 매우 많지만 이 중에서 상업용이나 산업용에서 가장 큰 영향을 받는 것은 변압기와 전해콘덴서이다. 대부분의 인버터는 규소강(Si-Fe 합금) 또는 퍼멀로이(Ni-Fe 합금)를 사용치 않고 와전류(eddy current)가 작아 음 손실이 적은 페라이트를 사용하여 크기를 소형화시킨다. 본 설계에서는 페라이트 코어를 이용한 트랜스포머를 적용하고 있는 바, 페라이트 코어는 특성상 온도가 상승

하면 포화자속밀도(Saturation flux density)가 감소하게 되어 있다 [7]—[8].

전해콘덴서인 경우 콘덴서 중에서 가장 수명이 짧은 부품으로 전해액 증발, 용량 감소, 누설전류 증가 등으로 열화고장 또는 돌발 고장이 많고 기계적인 접점과 발열을 주로 하는 제품을 제외한 능동 또는 수동 소자부품 중 제일 수명이 짧은 부품이며 온도에 매우 취약하다. 전해콘덴서인 경우 수명은 다음 식 (1)로 정의되며 더미스터의 저항치와 온도 사이의 관계는 식 (2)와 같다.

$$L = L_o \times 2^{\frac{T_1 - T_2}{10}} \quad (1)$$

L : 전해콘덴서의 수명

T1 : 전해콘덴서의 최고 허용온도

T2 : 전해콘덴서의 사용온도

$$R = R_o \exp B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \quad (2)$$

R<sub>o</sub> : 주위 온도 T<sub>o</sub>(oK)인 때의 저항

R : 더미스터의 온도가 T(oK)인 때의 저항

B : 더미스터의 상수(oK)

$$B = \frac{2.303(\log R_2 - \log R_1)}{1/(T_2 - T_1)}$$

직류입력을 교류출력으로 변환시키는 방법에는 절연형으로 포워드(Forward)방식, 플라이백(Fly-back)방식, 반 브리지(Half-bridge)방식, 전 브리지(Full-bridge)방식, 푸쉬 풀(Push-pull)방식이 있다. [12] 포워드와 플라이백 방식인 경우 한 개의 FET로 스위칭을 담당하고 있는 바 고출력시 대전류를 FET 하나로 감당해야 하는 단점이 있고, 반 브리지 방식인 경우 대용량의 전해콘덴서가 2개나 삽입되어야 하므로 부품 및 가격 경쟁력에서 매우 불리하다. 전 브리지 방식인 경우는 4개의 FET가 소요되므로 역시 가격 경쟁력에서 불리하다. 이상의 단점을 모두 보상하는 방식이 푸쉬 풀 방식이며 본 시스템은 푸쉬 풀 방식을 사용하였다 [9].

변압기의 설계는 시스템의 설계 사양과 가장 밀접한 관계가 있는데 본 시스템은 24[V] 입력시 100[W] 출력을 위한 인버터설계를 고려하였으며 변압기의 허용 전류는 아래와 같은 식(3)과 같으며 최대 인가전압에 따른 최대 자속의 관계는 식(4)와 같이 정의된다.

$$I_p = (P_m / VI) \times 1 / \eta \quad (3)$$

$I_p$  : 변압기에서 허용해야 할 전류  
 $P_m$  : 시스템에서 최대 전력(120[W])  
 $VI$  : DC 입력전압(축전지 전압)  
 $\eta$  : 시스템 효율(80%)

$$B_m = V_m / (k \cdot f \cdot S \cdot N) \quad (4)$$

$B_m$  : 최대 자속 밀도  
 $V_m$  : 최대 인가 전압(30[V])  
 $k$  : 정현파시  $\sqrt{2\pi}$ , 구형파시 4  
 $f$  : 인가 전압의 주파수  
 $S$  : 자로의 면적  
 $N$  : 권선수

출력단은 변압기의 1차 측에서 스위칭 된 교류 신호를 승압시켜 2차측에서 다시 직류로 정류를 한다. 이 정류된 직류전압을 다시 스위칭 시켜 원하는 AC 전압으로 만들어준다. 직류입력/교류출력 변환을 위한 출력단 스위칭 부분의 구현회로는 그림 1과 같다.

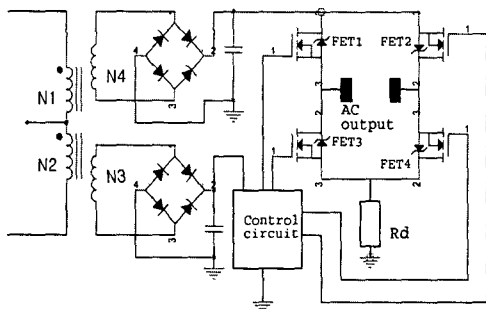


그림 1. 직류입력/교류출력 변환 스위칭 회로  
 Fig. 1. DC input/AC output switching circuit.

전력정보를 모니터링 하는 방법은 홀 센서나 루프를 이용한 방법과 출력 전류가 흐르는 경로에 저항을 직렬로 연결하는 방법으로 나눌 수 있다 [11]. 본 설계에서는 출력 단락 시 검출신호를 위해 삽입한 저항  $R_d$ 를 이용하여 전력을 계산하고 RS232C 포트를 이용하여 전송하도록 하였고 LCD를 이용하여 디스플레이 하였다. 여기서  $R_d$ 를 크게 할수록 전력정보 모니터링의 정확도는 올라갈 수 있으나 인버터 시스템 관점에서 효율을 저하시키고 열 문제를 야기 시킬 수 있기 때문에 적당한 값의  $R_d$ 를 선정하여야 하며  $R_d$ 에서 측정되는 전압은 식(5)로 정의되며 전력정보 모니터링을 위한 회로도는 그림 2와 같다.

$$V_{R_d} = \frac{R_d}{R_L + 2F_r + R_d} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T V_{dc} dt \quad (5)$$

$V_{R_d}$  : 저항  $R_d$  양단 전압  
 $R_L$  : AC 출력단의 부하  
 $F_r$  : FET의  $v_{ds(on)}$   
 $R_d$  : 전력정보 검출저항  
 $V_{dc}$  : H 스위치에 인가되는 직류 전압

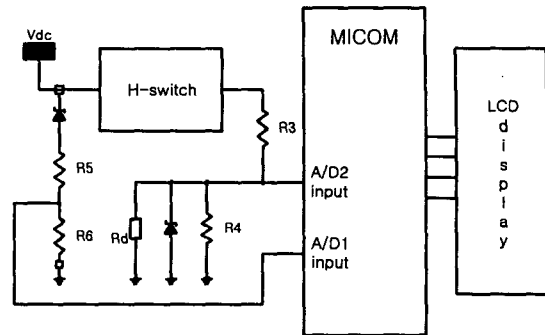


그림 2. 전력정보 모니터링 회로의 블록도  
 Fig. 2. Block of power information motoring circuit

### III. 전력정보 및 입/출력단 제어를위한 퍼지제어기 설계

본 설계에서는 OTP(One Time Program)형으로 4채널의 A/D 컨버터를 내장하고 있는 PIC-

16C711 프로세서를 사용하였으며, 이 프로세서는 C 콤팩파일러로 MPLaP-C, CCS-C와 같은 도구를 이용하여 쉽게 구현 할 수 있는 장점이 있다 [10].

입력단 프로그램의 골격은 스위칭소자 FET1과 FET2를 반복하여 스위칭 시켜주는 무한루프를 만들어주어야 한다. 이 스위칭 시간동안 축전지의 입력전압을 측정하여 입력전압의 범위를 넘어서면 서브루틴을 사용하여 FET1과FET2를 개방하게 된다. 또한 출력단을 위한 프로그램은 그림 1에서 스위칭 소자인 FET1과 FET4를 동시에 FET2와 FET3를 동시에 스위칭 시켜주는 무한루프를 만들어주어야 한다. 출력 단락시 검출전압 단자인 Rd 양단의 전압을 측정하여 출력전류가 6[A] 이상이면 서브루틴으로 점프하여 스위칭 소자인 FET3, FET4, FET5, FET6를 개방시켜준다. 개방후 인버터의 동작 상태를 표시하는 LED를 점등시켜 출력이 단락되어 동작이 중지되었음을 알려준다. 전력정보 모니터링 프로그램의 기본 골격은 그림 2에서 R4의 양단 전압 Vdc를 측정하고 R6의 양단 전압 VRd를 측정하여 WL을 산출한 후 RS-232 포트를 통하여 LCD에 전송시켜주도록 하였다.

이렇게 입력단과 출력단에 관련된 4개의 FET를 이용하며 입력전압의 단계별 상승에따른 스위칭 지연시간이 시스템의 전반에 걸쳐 전력소비 모니터링의 중요한 요인이 되는 바, 입력전압의 범위와 FET1 - FET6의 개폐시기를 결정하는 온도 특성의 데이터를 퍼지 추론화 함으로써 외부환경에 적응적인 시스템을 설계 할 수 가 있다. 입·출력단을 프로그램 하기위한 알고리즘 다음과 같다.

```

Step 1: Set up ( input parameter setting)
    · Device on(FET1)
    · Measure the battery input volt.
Step 2: while Voltage range is not over
        setting value
        repeat step 2 - step 5
        begin
Step 3: If The value of input volt LT 30
        and GT 20
        then FET1 is Off and FET2 is On
Step 4: . Set Temp. for volt measure
        If Temp. GT 70 then set the time delay
    
```

```

        and FET2 is Off
    else set the FET1 and FET2 are Off
        goto step 3
    else FET1 and FET2 are Off
        goto step 1.
Step 5 : Set up ( Output parameter setting )
    · Device on(FET1 and FET4)
    · Measure the voltage cross the Rd
    If Rd GT volt
    If FET1 and FET4 are On after 8m sec.
        then FET1and FET4 are On
        . Delay 0.3 sec.
        . FET2 and FET3 are On
        · Measure the voltage cross the Rd
    else FET1, FET2, FET3, FET4 are Off
    end
Step 6 : End of algorithm.
    
```

한편, Rd를 통하여 흐르는 입력 및 출력 전압의 편차와 FET 각각의 개폐에 영향을 주는 온도특성 및 시간지연요소를 퍼지추론을 수행하여 환경 변화요인들에 적용할 수 있도록 하였다. 그림3은 퍼지추론을 위한 블록도이다. 먼저 입력 전력정보 및 입력전압과 온도 특성, 시간지연간격을 퍼지데이터로 생성하였다. 소속함수는 실시간처리를 고려하여 삼각형 함수를 이용하였고 추론 방식은 각각의 입력파라미터를 이용하여 규칙형 추론기를 설계하였다.

#### IV. 실험 및 고찰

설계된 인버터 시스템을 이용한 전력정보를 모니터링의 효율성을 검증하기 위하여 실험을 수행하였다. DC 24[V] 28[A]의 용량을 갖는 DC power supply를 이용하였고, 부하로는 220[V]용 30[W], 60[W], 100[W] 전구를 이용하였으며 설계된 시스템은 그림 5와 같다.

퍼지추론 엔진으로부터 출력된 퍼지데이터를 실제 데이터로 변환하기위한 비퍼지화 과정에서 식 (6)과 같은 중심법을 이용하였다.

여기서  $V_j$  는  $B_j$  의  $j$ th 파라미터 값이고  $w_j$  는  $j$ th 퍼지규칙의 웨이트 값이다.

그림 3은 소비전력이 변화량을 측정하여 최대

오차를 등급별로 퍼지화 데이터로 만들고 규칙 기반 추론 엔진을 설계하여 이 데이터를 추론 엔진의 입력값으로 설정하였다 [11] - [13].

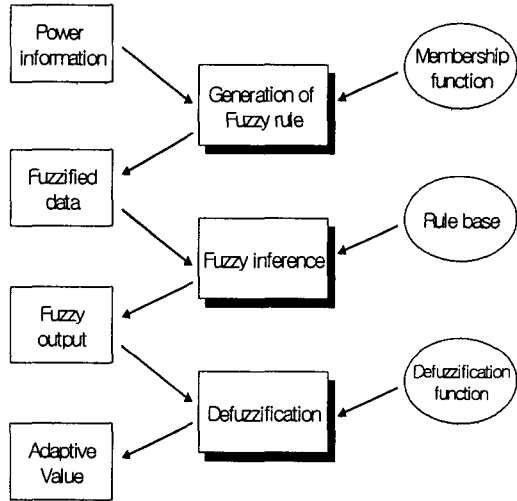


그림 3. 퍼지추론을 위한 블록도  
Fig. 3. Block diagram for fuzzy Inference

$$\begin{aligned}
 y = F(x) = Centroid(B) &= \frac{\int yb(y)dy}{\int b(y)dy} \\
 &= \frac{\sum_{j=1}^m w_j Volume(B_j) Centroid(B_j)}{\sum_{j=1}^m w_j Volume(b'_j)} \\
 &= \frac{\sum_{j=1}^m w_j V_j a_j(x) c_{yj}}{\sum_{j=1}^m w_j V_j a_j(x)} \quad (6)
 \end{aligned}$$

그림 4는 부하별로 소비전력을 측정된 데이터이다. 부하는 각각 20watt, 40watt, 60watt의 부하에 해당하는 백열전구를 이용하였고 각 부하별로 30분간의 소비전력을 측정된 결과이다.

결과적으로 설계된 직류입력/교류출력변환 인버터 시스템을 이용하여 다음과 같은 기능을 실험

을 수행하였다.

- 축전지 역전압 인가시 보호기능
- 축전지 전압 낮을시 혹은 높을시 동작 중단 기능 (Battery Low & High Shutdown Protection)
- 온도 70℃ 이상시 동작 중단기능
- 출력 단락시 보호기능

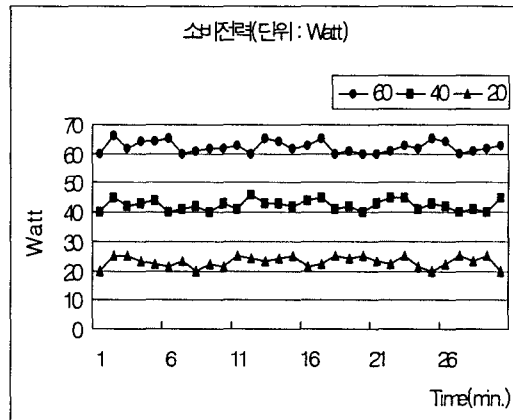


그림 4. 각 부하별 소비전력  
Fig. 4. Power consumption for each loads

표 3. 효율 실험 결과  
Table 3. Experimental results for power efficiency

	입력전력	출력전력	효율
30W Load	38.4[W]	30	78%
60W Load	72[W]	60	83.3%
100W Load	114[W]	100	87.7%

효율실험은 부하 연결 시 축전지 입력에서 소비되는 입력전력과 교류출력의 전력을 측정하여 산출하였고, 30[W], 60[W], 100[W]전력에서 각각의 효율을 구한 결과 표 3 과 같다.



그림 5. 소비전력 정보 모니터링 시스템의 구현  
Fig. 5. Implementation of power consumption monitoring system

### V. 결 론

출력방식이 구형파인 디지털 방식이 직류입력/교류출력변환 인버터로서 소비전력정보 모니터링이 가 한 100[W]용 시스템을 설계하여 일련의 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 프로세서 기반의 소비전력 모니터링 DC/AC 인버터를 설계하였고 외부환경에 적응적인 시스템을 설계하기 위하여 퍼지추론 알고리즘을 적용하였다.
- 입/출력 변화량과 온도특성등 외부 환경 요소를 입력 파라미터로 결정하여 퍼지화 데이터를 생성하였다.
- 생성된 퍼지 데이터를 설계된 추론 알고리즘에 입력하여 그 결과를 비퍼지화 함으로써 각 파라미터의 변량에 따른 최적 모니터링 시스템을 설계할 수 있었다.
- 입/출력단의 사양설계 항목 중, 효율을 더욱 높이기 위해서는 스위칭 시간인 시비율의 최적점을 찾는 수학적 방법이 필요하다.
- 소비전력정보 모니터링 시 소비전력이 클수록 오차범위가 확대됨은 적용 마이컴의 메모리가 1K로 표본수를 제한하였기 때문이며 메모리가 큰 프로세서를 사용할수록 정확한 연산이 가능하다.
- 소비전력정보 모니터링시 LCD를 제외하고 RS232C 포트만 장착한다면 대량 생산시 시스템의 구현에 드는 원가는 매우 저렴하다.

향후 직류입력/교류출력변환 인버터의 소비전력 정보 모니터링알고리즘을 ASIC화 하여 USB 통신포트 등으로 데이터를 전송하는 통신모듈이 부가적으로 설계되면 더욱 사용범위가 클 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] 월간 전자기술, 2000.12, (주)침단, 2000
- [2] Fine Suntronix catalogue(1999/2000), (주) 화인전자
- [3] <http://www.the-merlin-group.com/>, 2001.1
- [4] <http://www.ferotech.co.za/html/> 2001.1
- [5] <http://www.on-line-marline.com>, 2001.1
- [6] Ferrite core Catalogue, (주)삼화전자, P7 - P16, 2000.
- [7] 장현역, 실용 SCR 원리응용장치, 일신서적, P187, 1974. 4
- [8] Microchip Technical Library(CD), 1999
- [9] Compile Technology, PIC 마이컴용 C 언어 입문, Compile. co. Ltd, 2000. 10
- [10] Mohan, Undeland,Robbins, Power Electronics-converters-Applications-Design, John wiley & sons, 1989.
- [11] John Yen, REZA LANGARI, Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent System , IEEE PRESS, 1995.
- [12] Y. H. Kim and J. S. Lee " Effective Design of Inference rule for Shape Classification", AFSS'98, June 18 -21, 1998, Korea
- [13] Bart Kosko, Fuzzy Engineering, Prentice hall Press, 1997.

### 저자 소개



김윤호(Yoon-Ho Kim)

1983년 : 청주대학교 공학사  
1986년 : 경희대학교 공학석사.  
1992년 : 청주대학교 공학박사  
현재 : 목원대학교 IT공학부 부교수

※ 관심분야 : 회로 및 시스템, 영상처리