

특집 : 홈어플라이언스 제품의 기술동향

유도가열 제품의 기술동향

정 용 채

(남서울대학교 전자정보통신공학부 교수)

1. 서론

유도가열 (IH : Induction Heating) 기술의 역사를 거슬러 올라가면, 그 근본이 되는 원리는 1831년 패러데이의 의해서 발견된 전자기 유도현상이다.

이 원리를 약간 변형시켜서 코일에 교류전류를 흘려주면, 이 코일 안에 있거나 또는 위에 있는 금속체에 와전류 (eddy current)가 유기되어 금속체가 가열되는 현상이 유도가열의 원리이다.

이 원리를 이용하여 처음으로 금속을 녹이는 도가니형 유도로를 상용화한 것이 1900년대 초의 일이다.^[1] 1970년대에 이르러 반도체 소자들의 급속한 개발과 보급에 따라서 유도가열 기술은 아주 폭 넓게 응용분야가 확장되어 현재는 주조, 열처리, 표면처리, 용접, 예열, 반도체 제조 등 산업용으로 상당히 폭 넓게 사용되고 있다.^{(1~2), (4~5)}

가정용으로도 1968년 미국의 웨스팅 하우스와 1972년 일본의 마쯔시다에 의해서 처음으로 개발되어 소개되었다가 1980년대 후반기에 들어서 시장이 형성되기 시작하였다. 국내에서는 1983년 금성사(현 LG전자)에 의해서 처음으로 고주파용 IH Cooker가 개발되었다.

홈어플라이언스 제품 중 유도가열 기술을 이용한 제품에는 크게 유도가열 밥솥 (IH Jar)과 유도가열 조리기 (IH Cooker)로 나눌 수 있다. 이 두 제품의 차이점은 유도가열 밥솥은 고정부하를 갖는 반면에 유도가열 조리기는 용기의 종류나 용기의 위치에 따라서 변하는 가변부하를 갖는다는 것이다. 따라서 제어의 측면에서 보면 유도가열 조리기가 훨씬 제어하기가 어렵다.

따라서 본 고에서는 IH 제품의 적용시 장단점에 대해서 먼저 논하고 IH 제품의 시장동향과 적용기술에 대해서 소개하고 각각의 특성을 검토하고자 한다.

2. IH 기술의 적용배경

가정용으로 사용되는 가열원은 가스가 가장 대중적이다. 이는 가격과 화력면에서 우수하기 때문이지만 가스배관 설비, 폭발의 위험성, 가스 누설, 저효율, 주방의 산소농도 저하, 저저분한 주방환경 등의 단점들이 있어서 선진국에서는 주로 전기를 이용한 가열원을 사용하는 가정이 늘고 있으며 국내에서도 맥화점이나 콘도, 호텔, 오피스텔 등에서는 이미 전열기구로 가스를 대체하고 있다. 전기를 이용한 가열원에는 저항선을 이용한 열선방식이 주류를 이루고 있지만 화력이 부족해서 할로겐 히터를 첨가한 할로겐 레인지가 각광을 받고 있다. 하지만 이도 용기로의 전달효율이 70%대로 낮기 때문에 가스와 같은 고효력을 기대할 수는 없다.

하지만 유도가열 제품은 와전류로 용기를 직접 가열하는 방식이기 때문에 전달효율이 90%이상을 얻을 수 있어서 가스와 같은 고효력을 얻을 수 있다. 게다가 불꽃이 없어서 위험하지도 않으며 위에서 지적된 가스 사용시 단점들이 하나도 없어서 깨끗하고 쾌적한 주방환경을 만들 수 있다. 단지 단점으로는 사용할 수 있는 용기가 철허용기 (스텐레스 430, clad-metal 등)로 제한된다는 것이지만 최근에는 유도가열용 용기들이 많이 나오고 있기 때문에 사용하는 데는 큰 어려움은 없다.

3. IH 제품의 시장동향

3.1 IH Jar의 시장동향

IH Jar는 1988년 일본의 마쯔시다에서 처음으로 상용화를 하였고 국내에서는 1993년 LG와 삼성에서 출시를 하여 국내에 선을 보였는데 기존의 열판식 밥솥에 비해서 화력이 강하기 때문에 가마솥 밥맛을 낼 수 있다는 것이 이 제품의 차별

화 포인트였다. 1996년에는 설문조사를 통해서 한국인이 가장 좋아하는 가마솥 밥에 적당한 압력이 가해진다는 것에 착안해서 IH 압력밥솥을 LG에서 개발하여 출시하였고 뒤이어 삼성에서도 출시를 하였다. 그래서 지금은 초기의 IH 밥솥은 단종되고 IH 압력밥솥 만 나오고 있다.

현재의 시장규모는 년 15만대 수준 (전체 전기밥솥230만대의 6.5%) 이고 이 중 LG가 80% 이상을 점유하고 있으며 나머지는 삼성이 차지하고 있다. 이 제품에서 이렇게 큰 차이가 나는 이유는 LG가 선 출시했다는 것도 있지만 LG는 개발과 양산을 모두 자체에서 하고 있지만 삼성은 OEM방식으로 노비타 (구 한일가전)에서 납품 받아서 판매하고 있다는 점이다. 참고로 일본의 IH 밥솥에 대한 시장규모는 370만대로 전체 전기밥솥 시장의 58%를 차지하고 있다.

3.2 IH-Cooker의 시장동향

IH-Cooker는 휴대형 (portable)과 삽입형 (built-in)으로 나뉜다. 가열할 용기를 놓는 곳을 하나의 버너라고 하면 휴대형은 1버너와 2버너가 있고 삽입형은 주로 2버너와 4버너가 있다. 물론 삽입형에도 상업용으로는 1버너가 있다.

국내의 시장동향을 살펴보면 1983년 금성사 (현 LG전자)에서 처음으로 개발하였고 1990년대 중반에 일부 판매도 하였으나 국내에 시장이 형성되지 않아서 IH Cooker사업은 포기한 상태이다 하지만 중소기업체인 신화인터랙이 거의 유일하게 IH Cooker를 개발하고 생산하고 있는 실정이다 주로 용도는 호텔이나 콘도, 오피스텔, 식당 등 상업용이고 년 24,000대 정도 생산하고 있다.

해외에서는 1버너는 주로 일본, 중국, 대만 등에서 많이 사용하고 있고 2버너나 4버너 같은 삽입형은 시스템 키친 (system kitchen)으로 유럽과 미국시장에서 고급형 상품으로 각광을 받고 있는 실정이다.

4. IH 제품의 적용기술

4.1 회로방식

가정용으로 사용되는 IH 제품은 소비전력의 크기에 따라서 1.3(kW) 정도의 소전력에 사용되는 의사공진형 인버터 (quasi resonant inverter)와 2.8(kW) 정도의 대전력에 사용되는 직렬공진형 하프 브릿지 인버터 (series resonant half bridge inverter)로 나뉜다.

(1) 의사공진형 인버터^[6-9)] : 그림 1은 의사공진형 인버터이고 그림 2는 이 회로를 사용한 IH-Cooker의 내부사진이다. 이 내부사진에 보이는 원판이 유도가열을 위해서 감겨있는 코일이다. 이러한 회로 방식은 하나의 스위칭 소자만을 갖기 때문에 회로구조와 제어가 간단하고 저가로 시스템을 구현할 수 있다.

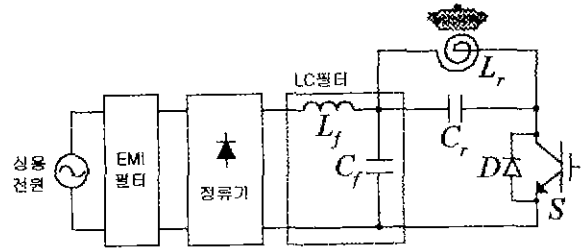


그림 1 IH 제품용 의사 공진형 인버터

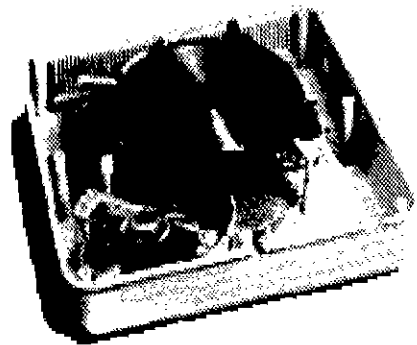


그림 2 IH Cooker의 내부사진

먼저 간단하게 그림 3의 파형을 기초로 회로의 동작을 살펴보면 다음과 같다. 초기 조건으로 공진 캐패시터의 전압이 입력전압하고 같은 조건에서 스위치의 역병렬 다이오드와 공진 인덕터를 통해서 DC-link 캐패시터로 감소하는 전류가 흐르다가 이 전류가 영이 되는 순간부터 회로의 동작을 설명하겠다. t_0 이전에는 스위치 양단의 전압이 영으로 있기 때문에 미리 온시켜 놓은 상태이다. 위의 전류가 영이되면 공진 인덕터에는 입력전압이 걸려있기 때문에 위와는 반대방향으로 선형적으로 증가하는 전류가 흐른다. 제어기에 의해서 미리 결정된 시간이 지나면 스위치를 영전압의 조건에서 오프시킨다. 그러면 두 공진소자가 공진을 하여 공진 캐패시터의 전압이 반대방향으로 충전되었다가 다시 DC-link 전압으로 충전되면 공진인덕터의 전류는 방향이 반대방향으로 바뀐다. 공진 캐패시터의 전압이 DC-link 전압과 같아지면 스위치의 역병렬 다이오드가 순방향으로 바이어스되어 도통하게 된다. 이때 전류 경로는 '역병렬 다이오드-공진 인덕터-DC-link 캐패시터'로 되어 공진 인덕터에는 다시 DC-link 전압이 걸리고 이에 의해서 전류가 선형적으로 감소한다. 이때 스위치 양단에는 영전압이 걸리고 있기 때문에 역병렬 다이오드가 도통하고 있는 구간에서 온시켜 준다. 공진 인덕터의 전류가 감소

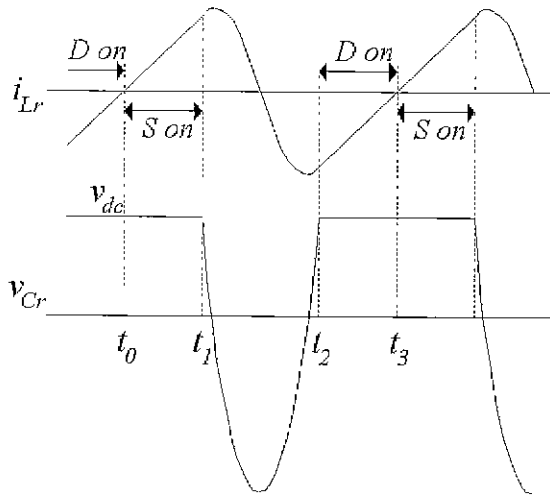


그림 3 의사 공진형 인버터의 동작파형

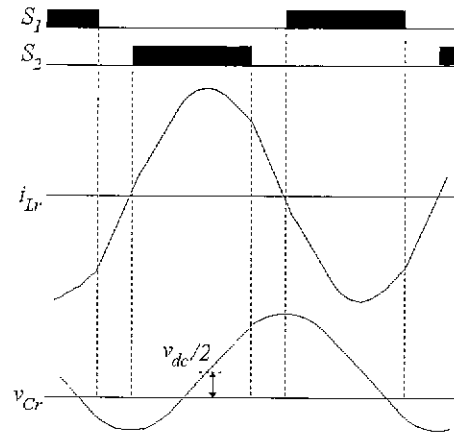


그림 5 직렬 공진형 인버터의 동작파형

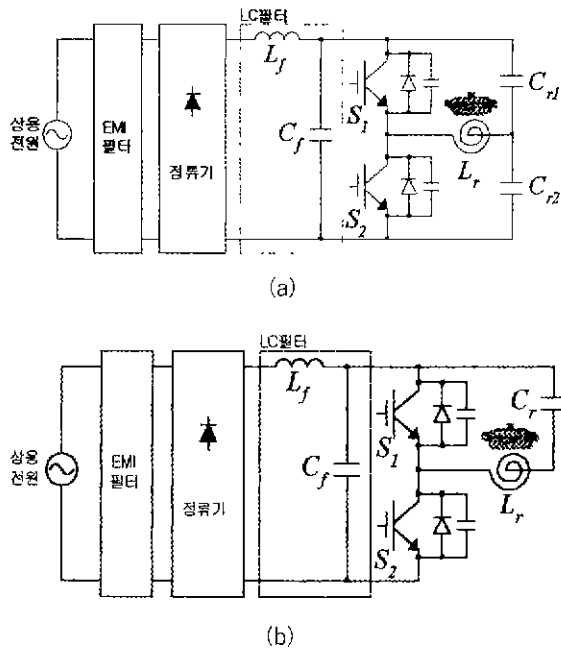


그림 4 직렬 공진형 하프 브릿지 인버터

하여 영이되면 그림 3의 한 주기가 모두 끝난다. 이런 동작을 반복하면 부하에 적절한 전력을 공급시켜줄 수 있다. 공급전력의 제어는 스위치의 온시간을 제어해주면 달성할 수 있다. 즉, 온시간을 늘리면 큰 전력을 공급하고, 반대로 온시간을 줄이면 적은 전력을 부하에 공급할 수 있다.

직렬 공진형 하프 브릿지 인버터^{(3) 71, [10-13]} : 그림 4는 IH 제

품에 적용되고 있는 두 가지 형태의 직렬 공진형 하프 브릿지 인버터를 보이고 있다. 이 두 회로는 같은 동작을 하는 회로인데 차이점은 공진 캐패시터의 숫자이다. 각 회로의 공진 캐패시터 사이의 관계는 식 (1)과 같다.

$$C_1 = C_{r1} + C_{r2} \quad (2)$$

그림 4(b)의 회로가 하나의 캐패시터만을 갖기 때문에 재료비가 적을 것 같지만 리플전류가 그림 4(a)의 회로에 비해 2배가 되기 때문에 큰 차이가 없다. 그림 5는 그림 4(b) 회로의 동작파형을 보이고 있는데 이 회로의 동작은 참고문헌 [3]과 [10]에 잘 나와 있으며 의사공진형 인버터에 비해서 큰 출력을 낼 수 있고 제어도 간단하다.

직렬 공진형 하프 브릿지 인버터 회로는 다부하를 갖는 2버너와 4버너 IH Cooker에도 적합하다.^{[6] [12-13]} 현재 유럽에서 주목을 끌고있는 4버너 IH Cooker는 그림 6와 같은 회로구조를 갖고 있다. 이 회로는 그림 4의 회로에 비해서 용기를 가열할 수 있는 코일이 두 개가 있고 각 코일을 선택할 수 있는 릴레이가 두 개가 있다. 4버너를 구성하기 위해서 그림 6의

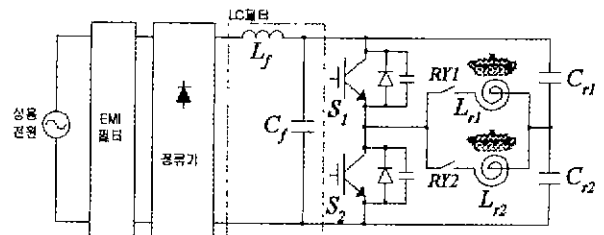


그림 6 두 개의 부하를 갖는 직렬 공진형 하프 브릿지 인버터

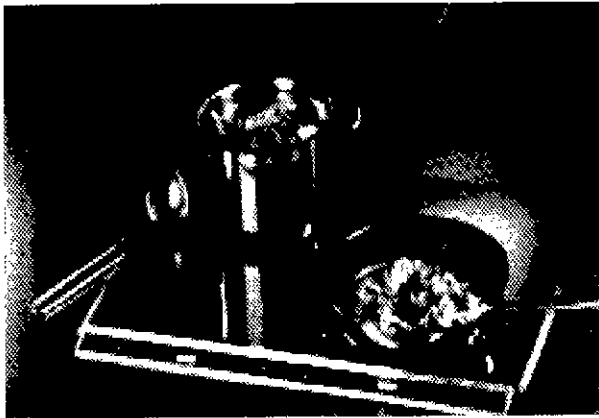


그림 7 삼입형 4버너 IH Cooker

회로 2개를 사용한다. 그림 7은 시스템 키친용으로 사용되는 삼입형 4버너 IH Cooker의 사진을 보이고 있는데 제품 위에 검붉은 색의 세라믹 판을 장착하여 사용상 편리성과 세련된 이미지를 갖게 한다. 초창기의 4버너 IH Cooker는 1버너 IH Cooker 4개로 결합하여 제작을 하였는데 각 버너 사이에서 동작할 때 동작주파수의 차이로 간섭음이 발생하였다. 그림 6의 회로는 이러한 간섭음을 제거하기 위해서 릴레이를 제어하여 각 부하를 번갈아 시분할 제어를 한다. 따라서 하나의 버너에서 최고 소비전력이 2.8[kW]이나 두 버너를 동시에 사용할 경우에는 두 버너의 소비전력의 합이 최대 2.8[kW]가 된다. 하지만 이 제품에서도 작긴 하지만 릴레이의 절환소음이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 제거할 수 있는 새로운 방식의 이중 하프 브릿지 직렬 공진형 인버터가 제안되었다.^[12-13] 이러한 회로를 이용하여 LG전자에서는 4버너 IH Cooker를 개발하였지만 4버너 시장이 현재는 정체기에 있기 때문에 양산을 보류한 상태이다.

그 밖에도 고정주파수로 제어될 수 있는 소프트 스위칭 유사 공진 인버터가 제안되는 등 활발한 연구가 이뤄지고 있다.^[14]

4.2 제어방식

산업용으로 사용되는 유도가열 제품은 주로 풀 브릿지 형태의 회로를 가지며 제어도 주로 위상제어를 하고 있다 하지만 가정용으로 사용되는 유도가열 제품은 주로 주파수 제어를 통해서 출력을 제어한다. 그 외에도 고정주파수에서 통류율(duty)제어를 하는 방식도 있다

그림 8은 주파수 제어를 할 때 스위칭 주파수에 따른 출력 전력의 분포를 보이고 있는데 가장 낮은 주파수에서 최대 출력이 나가도록 Gaussian 분포의 오른쪽 면을 사용하고 있다. 특히 가정용에서는 소음문제에 상당히 민감하기 때문에 최저 스위칭 주파수가 가정주파수 대역으로 내려가지 못하도록

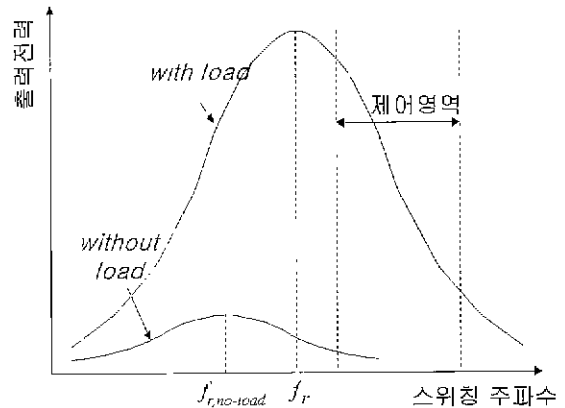


그림 8 주파수별 출력특성

특 보통 20[kHz] 정도를 최저로 하고 있다. 따라서 그림 4의 직렬 공진형 회로에서의 공진주파수는 20[kHz] 이하에 위치시킨다.

그 밖에 IH 제품의 제어를 위해서 용기검출 및 판단, 전자계 및 온도분포 해석 등 다양한 연구가 진행되고 있다.^[6]

4.3 각 부품의 역할 및 종류

(1) 스위칭 소자 : 의사 공진형 인버터회로에 사용되는 스위칭 소자는 1500[V]나 1200[V] 정격전압에 40[A] 정도의 전류정격을 갖는 IGBT가 사용되고 있는데 일본의 도시바나 미쯔비시 그리고 페어차일드 (구 삼성전자 전력소자사업부)에서 생산되는 IH용 소자를 사용한다. 직렬 공진형 하프 브릿지 인버터에 사용되는 스위칭 소자도 위에서 언급한 회사들에서 만드는 900[V] 또는 600[V]에 60[A] 정도의 정격을 갖는 소자를 사용한다.

(2) 공진 캐패시터 : 공진 캐패시터는 주파수 특성이 좋은 polypropylene 계열의 것을 사용하지만 리플전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 사용해야 한다. 국내에서는 주로 고려전기의 캐패시터가 많이 사용되고 있으며 해외에서는 이탈리아의 ICEL 캐패시터를 주로 사용한다.

(3) LC필터 : 브릿지 다이오드 다음에 사용되는 LC필터는 여러 가지를 고려하여 선정되어야 한다.^[15] 먼저 제품 특성상 컴팩트하게 구성하기 위해서는 이 필터의 크기는 작아야 한다. 즉, 직류전압을 얻기 위해서 큰 인덕터와 전해 캐패시터를 사용할 수 없다. 따라서 IH 제품은 120[Hz] 리플성분을 그대로 통과시키도록 작은 용량의 필터를 선정한다. 게다가 역률제어특성을 고려하여 필터를 선정해야 한다. 그래서 보통 LC필터로 사용되는 인덕턴스는 수 백[μH]이고 캐패시턴스는 5 ~ 10[μF] 정도이다.

5. 맺음말

본 고에서는 가정용으로 사용되는 유도가열 제품의 시장 동향에 대해서 언급했고 각 제품에 적용되는 회로방식과 제어방식 및 각 부품의 선정 시 고려해야 할 사항을 제시하였다. 특히 국내에서는 유도가열 기술을 한국 고유의 밥맛을 낼 수 있는 압력밥솥에 접목해서 IH 압력밥솥을 개발하였고 주방 문화를 개선하기 위해서 꾸준히 연구가 진행되고 있다. 게다가 효율이 우수한 IH Cooker는 많은 사람이 모이는 호텔이나 콘도 등을 중심으로 확산되고 있다. 하지만 문화적인 차이에 의해서 가정으로까지는 보급되고 있지 못하는 실정이다. 앞으로도 꾸준한 연구를 통해서 IH 압력밥솥과 같은 새로운 개념의 제품을 개발해야 할 것으로 사료된다. ■

후 기

본 고를 위해서 도와주신 LG전자 CA연구실의 이민기 책임님과 신화인터텍의 권용재 이사님께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Zinn and S. L. Semiatin, "Elements of Induction Heating: Design, Control, and Applications," ASM International, 1988.
- [2] 林靜男, "특설/클로즈 업 테크놀러지 - 유도가열," 월간 전기기술 6월호, pp. 39~48, 1996.
- [3] 성환호, 신진호, "유도가열 응용 시스템(상) / (하)," 월간 전기기술 9-10월호, pp. 59~64 / 51~69, 1996.
- [4] Mokhtar Kamli, Shigehiro Yamamoto and Minoru Abe, "A 50-150kHz Half-Bridge Inverter for Induction Heating Applications," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 43, No. 1, pp. 163~172, 1996.
- [5] Hideaki Fujita and Hirofumi Akagi, "Pulse-Density-Modulated Power Control of a 4 kW, 450 kHz Voltage-Source Inverter for Induction Melting Applications," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 32, No. 2, pp. 279~286, 1996.
- [6] 변진규, 박일한, 최경, 정현교, 한송엽, 노희석, 권경안, 정용채, "유도가열 조리기 내의 전자계 및 온도해석," 대한전기학회 논문지 제46권 제2호, pp. 198~206, 1997.
- [7] L. Hobson, D. W. Tebb and D. Turnbull, "Dual - Element Induction Cooking Unit using Power MOSFETs," IEE International Journal of Electronics, Vol. 59, No. 6, pp. 747~757, 1985.
- [8] H. Omori and M. Nakaoka, "New Single-Ended Resonant Inverter Circuit and System for Induction Heating Cooking Apparatus," IEE International Journal of Electronics, Vol. 67, No. 2, pp. 277-296, 1989.
- [9] H. W. E. Koertzen, J. A. Ferreira and J. D. van Wyk, "A Comparative Study of Single Switch Induction Heating Converters using Novel Component Effectivity Concepts," IEEE Industry Applications Society Conf. Rec., pp. 298~305, 1992.
- [10] H. W. E. Koertzen, J. D. van Wyk and J. A. Ferreira, "Design of the Half-Bridge. Series Resonant Converter for Induction Cooking," IEEE Power Electronics Specialists Conf. pp. 729~735, 1995.
- [11] K. Izaki, I. Hirota, H. Yamashita, M. Kamli, H. Omori and M. Nakaoka, "New Constant-Frequency Variable Powered Quasi-Resonant Inverter Topology using Soft Switched Type IGBTs for Induction-Heated Cooking Appliance with Active Power Filter," IEE 6th European Conf on Power Electronics and Applications (EPE '95), Vol. 2, pp. 129~134, 1995.
- [12] 정용채, "다부하를 갖는 유도가열기기를 위한 고역률 이중 하프 브릿지 직렬공진 인버터," 전력전자학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 307~314, 1998.
- [13] Yong-Chae, Jung, "Dual Half Bridge Series Resonant Inverter for Induction Heating Appliance with Two Loads," IEE Electronics Letters, Vol. 35, No. 16, pp. 1345~1346, 1999.

〈 저 자 소 개 〉



정용채(鄭龍采)

1966년 2월 28일생. 1989년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1995년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사) 1995년~1999년 LG전자 홈어플라이언스연구소 선임연구원. 1999년 11월~현재 상신전자(주) 기술고문. 1999년~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 전임강사