

가전제품의 유도가열 기술현황

정용재*, 박병욱**, 조관열**

(*남서울대 전자정보통신공학부, ** LG전자 디지털 어플라이언스 연구소)

1. 서론

유도가열(IH, Induction Heating) 기술은 산업 전반에 걸쳐서 아주 폭 넓게 사용되는 기술이다. 그 근본이 되는 원리는 1831년 패러데이에 의해서 발견된 전자기 유도현상이다. 이 현상을 약간 변형시켜서 코일에 교류전류를 흘려주면 이 코일 안에 있거나 또는 근처에 있는 금속체에 와전류(eddy current)가 유도되어 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)

가정용으로는 1968년 미국의 웨스팅 하우스와 1972년 일본의 마쓰시다에서 이 기술을 도입하였지만 실제 상용화는 1980년대 초부터이다. 국내에서는 1983년 금성사(현 LG전자)에서 처음으로 고주파용 IH Cooker를 개발하였다. 이 후로 다양한 제품들에 유도가열 기술을 적용하였지만 주요 제품은 유도가열 밥솥(IH Jar)과 유도가열 조리기(IH Cooker)이다. 이 두 제품의 차이는 유도가열 밥솥은 고정부하를 갖는 반면에 유도가열 조리기는 용기의 중류나 용기의 위치에 따라서 변하는 가변부하를 갖는다는 점이다. 따라서 제어측면에서는 유도가열 조리기가 유도가열 밥솥에 비해 복잡하다. 그 외에도 전기포트나 보일러 시스템에도 적용하여 상품화되는 등 유도가열 기술을 적용한 제품이 늘어나고 있는 추세이다.

따라서 본 고에서는 유도가열 기술을 이용한 가전용 제품의 장단점에 대해서 논하고 유도가열 제품에 적용된 회로 토폴로지(topology) 및 각각의 회로특성을 검토하고자 한다.

2. 유도가열 제품의 장단점

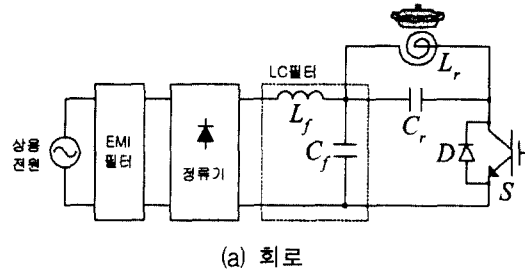
가정용으로 사용되는 가열원에는 가스를 이용한 가스기와 전기를 이용한 전기기기로 크게 나뉠 수 있다. 이 중 국내에서 가장 폭 넓게 사용되는 가열원은 가스기기이다. 이는 가격과 화력면에서 우수하기 때문이지만 가스배관 설비, 폭발의 위험성, 가스 누설, 저효율, 주방의 산소농도 저하, 지저분한 주방환경 등의 단점들이 있어서 유럽과 미국에서는 주로 전기를 이용한 가열원을 사용하는 가정이 늘고 있으며 국내에서도 백화점이나 콘도, 호텔, 오피스텔 등에서는 이미 전기기구로 가스를 대체하고 있다.

전기를 이용한 전기기기는 전자레인지, 열선기기 및 유도 가열 제품으로 나뉠 수 있다. 전자레인지는 유전가열의 원리를 이용하는 제품으로 전 세계적으로 폭 넓게 사용되는 제품이지만 주 용도는 데우기이고, 용기의 제한과 50% 정도의 저효율 때문에 급속용기를 사용하는 조리에는 적합하지 않다. 저항선을 이용한 열선기기는 전도열을 이용하기 때문에 용기의 제한이 없지만 60% 대의 낮은 효율과 가정에서의 사용전력의 제한 때문에 가스기기에 비해서 화력이 부족하다. 예를 들면 중간 크기의 가스구를 갖는 가스기기의 화력을 전력으로 환산하면 약 2.6kW 정도가 용기에 전달되어야 하는데 65%의 전기기기로 이 정도의 화력을 내려면 4kW의 전력을 소비해야 한다. 이는 가정에서 사용하기에는 너무나 큰 전력이다. 따라서 좀 더 큰 화력을 낼 수 있는 할로겐 히터를 첨가한 할로겐 레인지가 각광을 받고 있다. 하지만 이것도 용기로의 전달효율이 70%대로 낮기 때문에 가스기와 같은 고효율을 기대할 수는 없다.

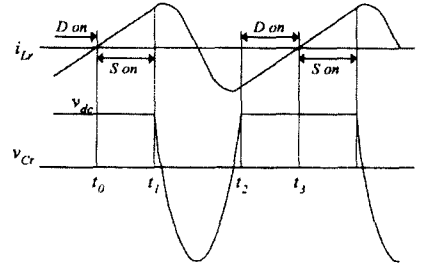
반면에 유도가열 제품은 와전류로 용기를 직접 가열하는 방식이기 때문에 90%이상의 전달효율을 얻을 수 있어서 가스기와 같은 고효율을 얻을 수 있다. 게다가 불꽃이 없어서 위험하지도 않으며 위에서 지적된 가스사용시의 단점들을 제거함으로써 깨끗하고 쾌적한 주방환경을 만들 수 있다. 반면 유도가열 제품의 단점으로는 사용할 수 있는 용기

출력의 IH Cooker와 IH 압력밥솥은 이와 같은 회로구조를 채택하고 있다.

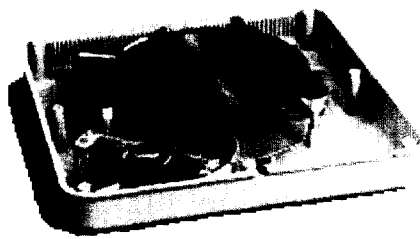
이 회로의 동작은 스위치가 온(on) 되었을 때 코일에 전류를 상승시켜주고 스위치가 오프(off)되면 L_r , C_r 공진탱크가 공진을 한다. 따라서 스위치의 온시간에 따라서 동작주파수가 변한다. 이 동작주파수가 낮을 때 정격출력이 나오므로 이 때의 주파수를 가청주파수 이상인 20[kHz] 이상으로 선정한다. 그림 1(b)는 스위치 도통상태에 따른 구간별 전류 및 전압파형을 나타낸다. $t_0 < t < t_1$ 구간은 다이오우드 D는 off, 스위치 S는 on상태로 전원에서부터 부하로 전력이 공급되는 구간이다. 부하에 걸리는 전압의 변동이 적으므로 인덕터(inductor) 성분인 부하에 흐르는 전류는 직선적으로 증가한다. $t=t_1$ 에서 S를 off하면 부하에 흐르던 전류가 공진콘덴서(C_r)로 흐르기 시작하면서 LC 공진을 하게된다. LC 공진은 공진콘덴서(C_r)의 전압이 하락한 후 다시 전원전압 V_{dc} 와 같아지는 $t_1 < t < t_2$ 까지 지속된다. $t=t_2$ 에서 C_r 의 전압이 V_{dc} 까지 커지면 다이오우드 D는 on되고 부하전류는 점차 감소하게 된다. 부하전류가 영(zero)이 되는 $t=t_3$ 시점에서 스위치 S를 on하면 ZVS(Zero Voltage Switching)상태로 초기 mode로 넘어간다.



(a) 회로



(b) 동작파형



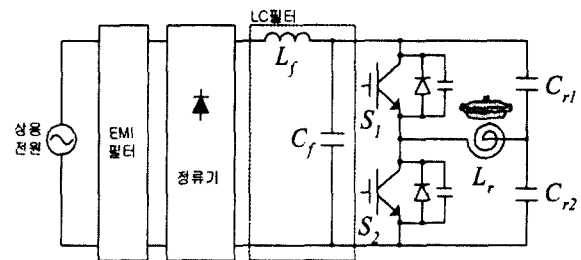
(c) 내부사진

그림 1. 의사공진형 인버터.

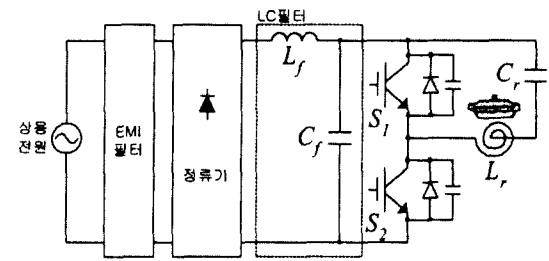
4.2 직렬공진형 하프브릿지 인버터

그림 2는 IH 제품에 적용되고 있는 두 가지 형태의 직렬공진형 하프브릿지 인버터(6-9)를 보이고 있다. 이 두 회로는 같은 동작을 하는 회로인데 차이점은 공진 콘덴서의 숫자이다. 각 회로의 공진 콘덴서 사이의 관계는 식 (1)과 같다.

$$C_r = C_{r1} + C_{r2} \quad (1)$$



(a)



(b)

그림 2. 직렬공진형 하프브릿지 인버터.

그림 2(b)의 회로가 하나의 콘덴서만을 갖기 때문에 재료가 적을 것 같지만 리플전류가 그림 2(a) 회로에 비해 2배가 되기 때문에 큰 차이가 없다. 그림 3은 그림 2(b) 회로의 동작파형으로 3개의 mode로 구분할 수 있다. 먼저 powering mode는 다이오우드 D2는 on, 다이오우드 D1

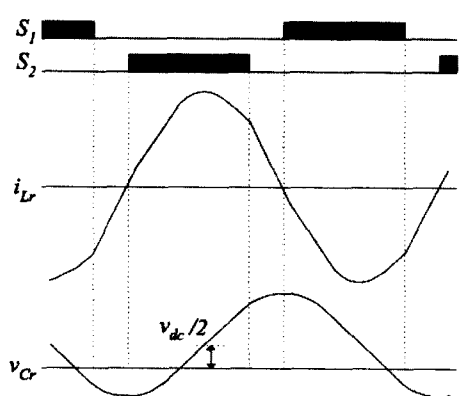


그림 3. 직렬공진형 하프브릿지 인버터의 동작파형.



및 스위치 S1은 off상태에서 스위치 S2의 전압은 영(zero)이므로 부하전류가 영(zero)인 시점에서 스위치 S2를 on 시키면 부하전류는 스위치 S2로 흐르면서 점차 증가하게 된다. Degeneration mode는 공진콘덴서 Cr의 전압이 전원전압 Vdc에 달하면 D1이 on되므로 S1은 전압이 영(zero) 상태에서 turn on이 가능하게 된다. 이때 스위치 S1을 on 시키면 R, Lr, Cr로 구성된 직렬 공진탱크에 의해 D1에 흐르는 전류는 서서히 상승하여 양의 값으로 반전되면서 D1 대신에 S1로 전류가 흐른다. Resonance mode는 S1, S2가 모두 off 상태가 되므로 부하공진 전류는 Cr을 충전 및 방전을 반복함으로써 Cr의 전압이 Vdc 또는 -Vdc에 도달하게 된다. 이때 부하전류는 영이 되므로 S1, S2가 ZVS(Zero Voltage Switching) 할 수 있는 영역을 확보해준다.

직렬공진형 하프브릿지 인버터 회로는 다부하를 갖는 2버너와 4버너 IH Cooker에도 적합하다.(7-9) 현재 유럽에서 주목을 끌고있는 2버너 IH Cooker는 그림 4와 같은 회로구조를 갖고 있다. 이 회로는 그림 2의 회로에 비해서 용기를 가열할 수 있는 코일이 두 개가 있고 각 코일을 선택할 수 있는 릴레이가 두 개가 있다. 4버너를 구성하기 위해서는 그림 4의 회로 2개를 사용한다. 그림 5는 시스템 키친용으로 사용되는 삽입형 4버너 IH Cooker의 사진으로 IH Cooker 위에 검붉은 색의 세라믹 판을 장착하여 사용상 편리성과 세련된 이미지를 갖게 한다. 초창기의 4버너 IH Cooker는 1버너 IH Cooker 4개로 결합하여 만들었기 때문에 각 버너 사이에서 동작할 때 동작주파수의 차이로 인한 간섭음이 발생하였다. 그림 4의 회로는 이러한 간섭음을 제거하기 위하여 릴레이(relay)를 제어함으로써 각 부하를 번

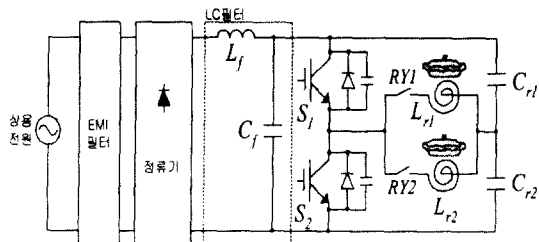


그림 4. 4버너 IH Cooker용 인버터 회로.

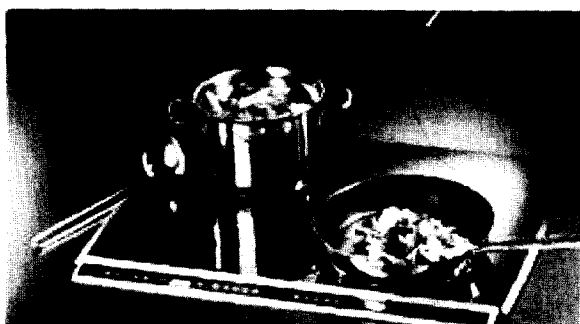


그림 5. 삽입형 4버너 IH Cooker의 사진.

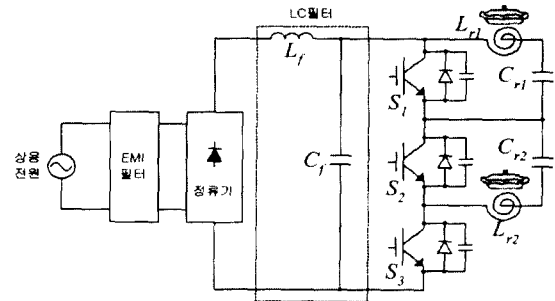


그림 6. 이중 하프브릿지 직렬공진형 인버터.

갈아 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.

그림 6은 이러한 문제점을 제거할 수 있는 새로운 방식의 이중 하프브릿지 직렬공진형 인버터이다.(8-9)

4.3 의사공진형 ZVS-PWM 하프브릿지 인버터

그림 7은 고정주파수로 제어될 수 있는 소프트 스위칭(soft switching) 의사공진형 ZVS(Zero Voltage Switching)-PWM 하프브릿지 인버터이다.(10) 이 회로는 고정주파수로 동작하기 때문에 2버너나 4버너로 확장하더라도 간섭음이 발생하지 않는다.

4.4 자성 및 비자성 겸용 가열용 인버터

유도가열 제품의 가장 큰 단점은 사용할 수 있는 용기가 자성용기로 제한된다는 것이다. 따라서 오래 전부터 용기의 종류에 무관하게 모든 금속용기를 가열할 수 있는 유도가열 제품에 관한 연구가 활발하게 이루어졌다.(11) 그림 8은 자성 및 비자성 용기를 모두 사용할 수 있는 유도가열 조리기의 회로도이다. 자성용기에 비해 알루미늄과 같은 비자성 용기는 비투자율이 거의 1이고 저항률이 작기 때문에 충분한 에너지를 공급하기 위해서는 높은 주파수에서 동작해야 한다. 따라서 그림 9와 같은 출력특성을 갖도록 부하

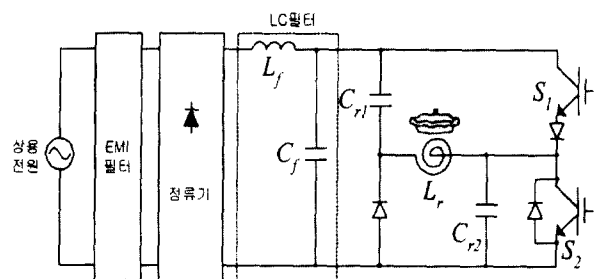


그림 7. 의사공진형 ZVS-PWM 하프브릿지 인버터.

용기에 따라 공진점이 이동해야 한다. 공진점을 이동하기 위해서 부하의 종류에 따라서 그림 8과 같이 릴레이를 이용하여 절환을 해야 한다. 따라서 그림 8의 회로는 비자성 용기가 부하로 올려지면 용기검출 알고리즘에 의해 비자성 용기임을 판단하고 L_{r1} 과 C_{r2} 가 공진탱크로 선택이 된다. 그러면 공진주파수가 높아지기 때문에 50kHz 이상의 높은 주파수에서 동작을 하여 부하에 에너지를 공급한다. 반면에 자성용기가 부하로 올려지면 L_{r1} , L_{r2} , C_{r1} , C_{r2} 전체가 공진탱크로 선택이 된다. 그러면 공진탱크의 공진주파수가 낮아지고 20kHz 정도의 주파수로 동작을 하여 부하에 에너지를 공급한다.

이 외에도 자성 및 비자성 부하를 모두 가열할 수 있는 많은 회로들이 제시되었지만 비자성 용기에 대한 전달효율이 70%대로 낮게 나오기 때문에 아직까지는 실용화되지 못하고 있다.

4.5 보일러용 위상제어 PWM 인버터

유도가열 제품의 다른 응용 예로서 그림 10은 보일러와 같이 관을 통해서 이동하는 액체나 기체를 가열할 수 있는 위상제어 PWM 인버터를 보이고 있다.(12) 이러한 시스템의 큰 장점은 정밀한 온도제어를 할 수 있다는 것이다. 그래서 보일러 뿐 만 아니라 화학물질의 온도제어에도 적용할 수 있는 예라 할 수 있다.

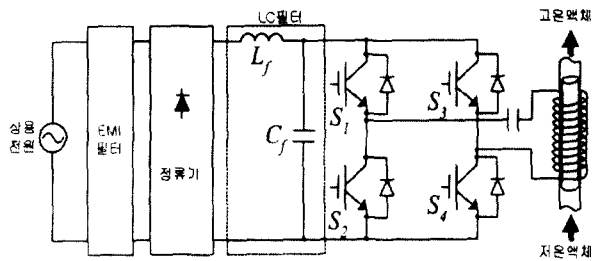


그림 10. 보일러용 위상제어 PWM 인버터.

4.6 회로의 소자선정

앞에서 고찰한 각각의 회로에 공통으로 사용되고 있는 회로부품들의 종류와 특성은 아래와 같다. 먼저 의사공진형 인버터회로에 사용되는 스위칭 소자는 1200[V]나 1500[V] 정격전압에 40[A] 정도의 전류정격을 갖는 IGBT가 주로 사용되고 있는데 일본의 도시바, 미쯔비시 및 페어차일드(Fairchild)에서 생산되는 IH용 소자를 사용한다. 직렬공진형 하프브릿지 인버터에 사용되는 스위칭 소자도 위에서 언급한 회사들에서 만드는 600[V] 또는 900[V]에 60[A] 정도의 정격을 갖는 소자를 사용한다.

공진 콘덴서(resonant capacitor)는 주파수 특성이 좋은 폴리프로필렌(polypropylene) 계열을 주로 사용하지만 리플 전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 사용해야 한다. 국내에서는 주로 고려전기의 콘덴서가 많이 사용되고 있으며

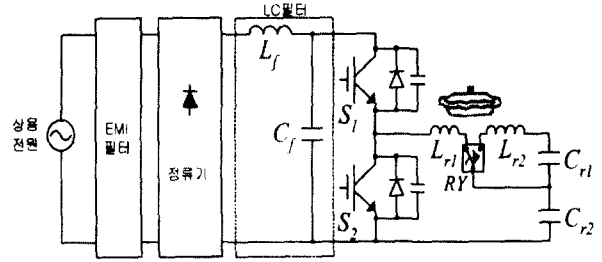


그림 8. 자성 및 비자성 겸용 가열용 인버터.

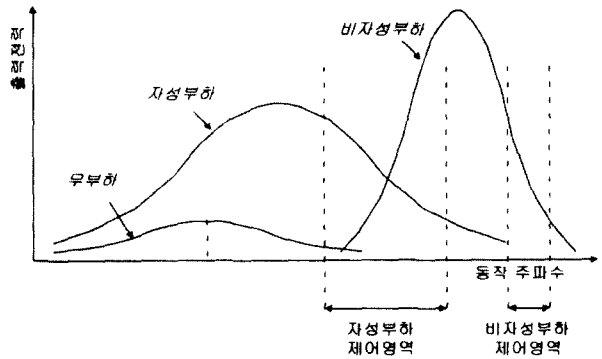


그림 9. 주파수에 따른 부하별 출력특성.

해외에서는 이탈리아의 ICEL 콘덴서를 주로 사용한다.

브릿지 다이오우드 뒤편에 사용되는 LC필터는 여러 가지를 고려하여 선정되어야 한다. 먼저 제품특성상 콤팩트(compact)하게 구성하기 위해서 이 필터의 크기는 작아야 한다. 즉, 직류전압을 얻기 위해서 큰 인덕터와 전해 콘덴서를 사용할 수 없다. 따라서 IH 제품은 120[Hz] 리플성분을 그대로 통과시키도록 작은 용량의 필터를 선정한다. 또한 필터선정시 역률 제어특성을 고려하여야 하므로 통상 LC필터로 사용되는 인덕턴스는 수백 μ H이고 콘덴서는 5~10[μ F] 정도의 용량을 사용한다.

5. 결론

본 고에서는 가정용으로 사용되는 유도가열 제품의 장단점 및 시장동향을 살펴보고 각 제품에 적용되는 회로방식들을 소개하였다. 또한 각각의 회로특징 및 인버터의 동작원리를 간략하게 고찰하였다.

유도가열은 응용제품별로 구분하면 IH 압력밥솥, IH Cooker, IH 포트, 보일러 등에 다양하게 적용되고 있으며 에너지 저감요구가 더욱 증대되고 있는 시대를 맞아 앞으로 유도가열 기술을 적용한 새로운 개념의 제품들이 계속해서 개발될 것으로 예상된다.

참고문헌

[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] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[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] 정용채, "다부하를 갖는 유도가열기기를 위한 고역률 이중 하프 브릿지 직렬공진 인버터," 전력전자학회 논문지, 제3권, 제4호, pp. 307-314, 1998.

[9] 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.

[10] 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.

[11] T. Tanaka, T. Kakizawa, S. Ito and Y. Matsumoto, "Induction Heating Range for Aluminum Vessels," Toshiba Review, Vol. 43, No. 7, pp. 609-612, 1988.

[12] T. Iseki, S. Sirogane, and et. al., "Innovative Induction Heating Type Superheated Steamer Using Voltage Fed High Frequency Inverter," 48th Annual International Appliance Technical Conference, pp. 117-131, 1997.

저 자 소개



정용채 (鄭龍采)

1966년 2월 28일생. 1989년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 1995년~1999년 LG전자 디지털 어플라이언스 연구소 선임연구원. 1999년~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 전임강사. 주요 관심분야: Resonant Converter, EMI 해석, Power Factor Correction, Motor Drive



박병욱 (朴炳旭)

1964년 8월 20일생. 1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업. 1990년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1990년~현재 LG전자 디지털 어플라이언스 연구소 선임연구원. 주요 관심분야: Resonant Converter, EMI 해석, Power Factor Correction, Motor Drive



조관열 (趙官烈)

1963년 2월 20일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1988년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 1993년~현재 LG 전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원. 전력전자학회 편집위원. 주요 관심분야: Motor Drive, Power Converter, Control