

고주파 유도가열장치 기술 현황



배종수

(KIMM 시험평가부)

- '70-'74 서울대학교 공과대학 재료공학과 (학사)
- '76-'79 삼미종합 특수강(주) 연구소
- '83-'84 독일 TÜV & DVS 기술연수, SFI
- '86-'88 동아대학교 대학원 금속공학과 (석사)
- '80-현재 한국기계연구원 선임연구원



신완호

(KIMM 시험평가부)

- '83-'87 충북대학교 전기공학과 (학사)
- '87-'89 충북대학교 대학원 전기공학과 (석사)
- '91-현재 한국기계연구원 연구원

1. 서론

우리나라에서 사용되고 있는 산업로용 에너지는 산업용 공급 전력의 57%를 상회할 만큼 대량의 전력을 차지하고 있다. 이것은 가열장치의 종류에 따라 그 효율이 약 15%에서 80%까지 크게 차이가 있으며, 낭비되고 있는 에너지도 그만큼 크다고 할 수 있으므로 에너지 절약의 지표는 효율이 높은 가열장치의 개발, 보급에 있다고 할 수 있다.

최근에는 에너지절약 뿐만 아니라 환경오염 규제 때문에도 회석연료를 사용하는 가열로 또는 열처리로는 점차 줄어들어 특별한 일부를 제외하고는 효율이 우수하고, 자동화, 생산성향상, 품질고급화 등으로 고주파 유도가열장치의 수요가 크게 증가되고 있는 경향이다.

고주파 유도가열장치는 1920년대 미국의 AJAX에서 산업용 용해로 개발을 시작으로 '60년대에 반도체 기술의 혁신적인 발전으로 대용량 사이리스터(Thyristor)가 개발되면서 본격적으로 생산, 보급 되면서 발전 성장해 왔으며, 현재는 미국 등 선진국에서는 관련산업의 퇴조와 더불어 자국내 공급이 성장, 포화기를 거치면서 외국시장 특히 한국 등 동남아 시장개척에 집중적인 노력을 보이고, 경쟁 기종에 대해서는 저가공급 공세를 취하고 있는 실정이다.

'80년대 이후부터 유도가열장치의 국내 산업수요가 급속도로 늘자 선진국의 유명 제작사들이 이전까지 독자적으로 공급해 오다 국내 기업체와 기술제휴 또는 다국적 기업 형태의 현지 지점을 통해 국내의 용해로 시장을 점유하게 되었으며, 현재는 국내 총 생산공급 18업체중 13업체가 기술제휴를 하고 있으며 기술자립을 고수하고 있는

기업은 5개업체 뿐으로 가열 및 열처리분야까지 진출분야를 확대해 나가고 있다.

본문에서는 국내의 기술수준 분석 및 개발과제 도출을 보다 명확히 하기 위해 그 동안 관련분야의 연구개발 수행과정에서 파악하였던 결과와 기업 현장을 방문하여 실태조사한 자료를 토대로 국내의 고주파 유도용융기기의 연구개발동향, 기술 개발과제, 보급현황 및 향후 전망등에 대해 기술 하였다.

2. 고주파 가열의 원리

유도가열(induction heating)의 기본인 전자계 유도는 1831년 Michael Faraday에 의하여 밝혀지고, 이 이론은 160여년간 전동기, 변압기, 및 라디오 방송등에 응용되었다. 이 이론은 1차회로에 교류 전류가 흐르면 2차측 회로에 자속이 쇄교하여 전류가 흐른다는 것으로 이 이론을 바탕으로 근접한 도체에 흐르는 유도전류에 의하여 가열하는 것을 고주파 가열이라고 한다.

이 유도전류는 1868년 Foucault에 의해 제시된 와전류손(eddy current loss)과 가열재의 자화곡선에 의해 히스테리시스 손실(hysteresis loss)과 함께 발열을 일으키는 근거가 된다.

고주파 가열은 크게 유도가열(induction heating)과 유전가열(dielectric heating)로 구분되며, 일반적으로 유도가열은 금속물질을 가열하는데 이용되고 비금속물질의 가열에는 유전가열을 이용한다. 유도가열시 사용되는 전원의 주파수는 60Hz에서 1MHz정도인데 반해 유전가열은 10MHz이상의 microwave region의 주파수 전원이 이용되고 고주파 가열장치의 전력범위는 수백 watts에서 수 Mega watts로 그 범위가 용도에 따라 대단히 광범위하며 그에 따른 에너지 변환 응용기술도 다양하다.

고주파 가열 전원장치의 개발에는 고도의 power switching 기술이 필요하나 국내 산업계에서는 기술수준의 빈약으로 개발보다 필요에 따라 수입에 의존하고 있는 실정이다. 표1에 고주파 유도 가열용 전력변환기의 종류와 특징을 비교하였고, 그림1은 유도가열장치 전력변환 회로이다.

표1. 고주파 변환기의 종류 및 특징비교

구 분	전동 발전기	진공관식 변환기	싸이리스터식 전 원	트랜지스터식 전 원
주파수	1KHz~10KHz	30KHz~500KHz	500Hz~10KHz	1KHz~200KHz
출 령	10kW~600kW	2kW~500kW	10kW~2000kW	2kW~300kW
주파수 변동	일정	자려발진 변동	일정, 변동	일정
전력 조정	자려전압→ 일정전압	양극전압	직류전압, 주파수	직류전압, 직류전류
변환기 효율	70%	60%	92%	92%
소모품	베어링	진공관	없음	없음
설비 면적	크다	중간	작다	작다
수리 소요시간	장시간	단시간	단시간	단시간
병렬 운전	가능	불가능	불가능	불가능
냉각 수량	많음	많은	적음	적음
평 음	있음	없음	있음	없음
소입 대상·경화층 심도	3~15mm	0.5~5mm	3~15mm	0.5~5mm
용 제	열처리	열처리	열처리	열처리

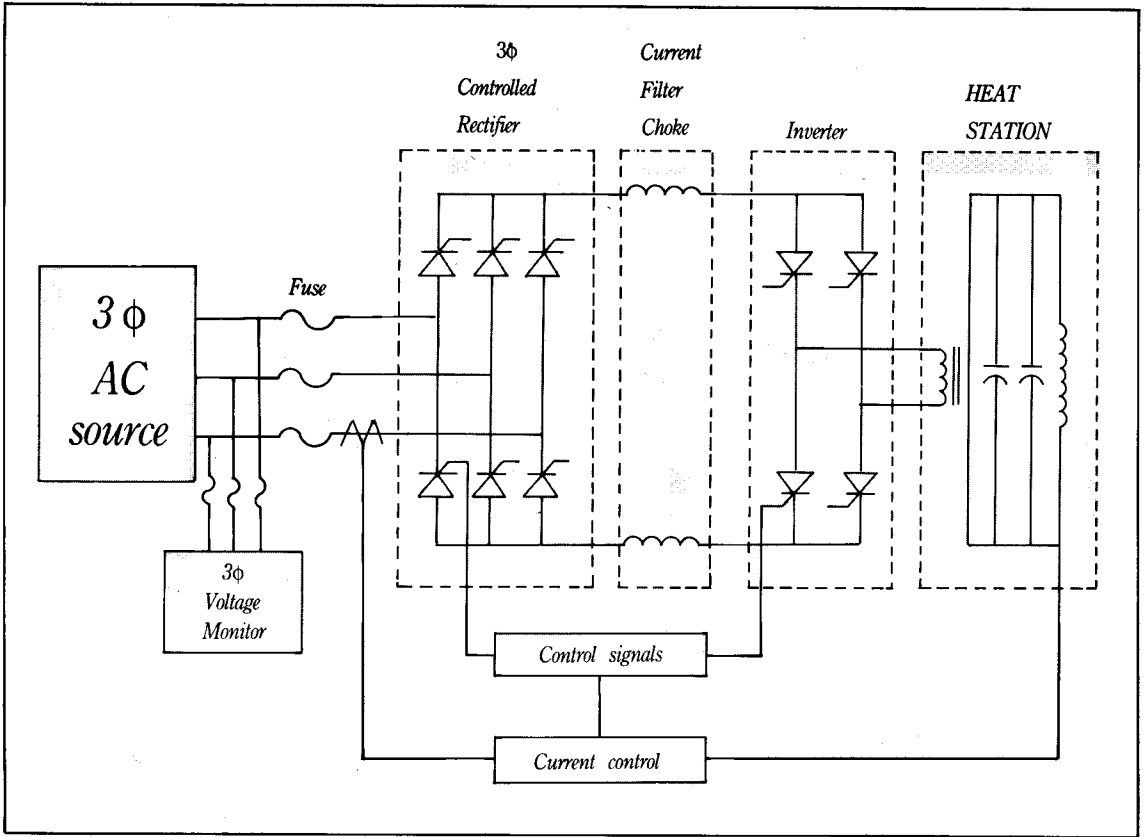


그림1. 고주파 유도가열장치의 전력변환회로

3. 연구개발 동향

현재 국내에 제작하거나 수입하여 운영하고 있는 유도가열기는 약 2,000여기에 달하고 총 사용전력량도 그림2에서와 같이 600MW에 육박하고 있다. 그러나 국내에서 제작 보급한 것은 약 27%에 불과하며, 고부가가치의 기술인 대용량 유도로나 반도체식 라디오 주파수의 유도로는 그실적이 3%미만으로 극히 적은 실정이다.

'93년까지 국내에서 연구개발한. 과제는 표2에서와 같이 한국기계연구원 6건, 한국전기연구소 2건, 기계공업진흥회, 생산기술연구원, 동서제어기술연구소가 각 1건으로 모두 11건의 연구과제를 수행한바와 같이 연구지원환경은 조성되어 있으나 연구지원 규모나 건수는 미미한 실정이며, 산·학·연에서 보다 빈번한 교류를 통한 공동 연구개발이 활성화 되어야 할 것이다.

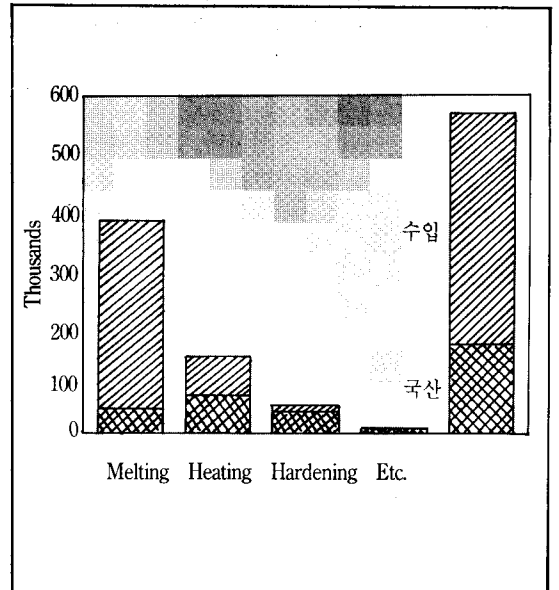


그림2. 고주파 유도가열장치 설치현황

표2. 국내 연구개발 실적

과 제 명	시행연도	주관 기관	참여 기업	설치 업체
10Khz 100Kw 고주파유도 가열장치 국산화개발	1987	과학기술처 (한국기계연)	두성인덕션	삼립 산업
볼트 국부가열장치 개발	1987	에너지관리공단 (한국기계연)	두성인덕션	신일 볼트
비동조 고주파장치 개발	1989	과학기술처 (한국기계연)	아성산업	
강관유도광휘 열처리 장치의 개발	1990	과학기술처 (한국기계연)	두성인덕션	대영 스텐
Inverter전원제어장치 개발(IGBT)	1990	과학기술처 (한국전기연)	상용전장	
Thyristor Inverter 고주파기기 개발	1991	상공부(생기연)	아성산업	
Inverter전원제어장치 개발(5kw 300khz)	1992	과학기술처 (동서제어연)	동서제어	
2Mw급 고주파유도가열 장치 개발	1993	국민은행 (한국기계연)	두성인덕션	남성 정밀
Inverter전원제어장치 개발(5kw 450khz)	1993	과학기술처 (한국전기연)	진영엔지니어링	
50khz 30Kw급소형반도체식 유도가열장치 개발	1993	과학기술처 (한국기계연)	두성인덕션	

4. 핵심기술

고주파 유도가열장치의 핵심기술은 크게 두가지로 나누어지는데 하나는 고주파 전력을 제어하는 전력용 반도체소자와 콘덴서를 제작하는 기술이며, 다른 하나는 대전력을 고속으로 제어하는 기술이다.

반도체 소자를 개발하는 기술은 국내의 여건상 현단계에서는 어려운 실정이며, 전력제어기술은 전자회로기술과 전력전자기술이 합치되어 이루어

지는 것으로 기술력이 뒷받침되면 적은 자본으로 충분한 효과를 얻을 수 있는 유망한 기술이다.

외국업체에서도 높은 부가가치로 말미암아 첨단기술의 이전을 기피하고 있으며 국내에서 기술제휴한 몇몇의 업체에서도 보편적인 500kw미만의 제작기술만 부분적으로 답습하고 있을 뿐이다.

고주파 유도가열장치 관련 핵심기술 내역을 표3에 나타내었다.

표3. 첨단핵심기술 내역

기 술 명	국내 현황	수입선(제작사)
대용량 고속반도체제작 기술	제작불가, 전량수입	미국(Westing House, G.E,PRX) 영국(West code), 일본(Toshiba, Fujii, Mity)의
대용량 고주파콘덴서제작 기술	시험제작(삼화콘덴서)	스웨덴(ABB), 미국(G.E), 일본(Suzuki)의
대용량 유도가열장치제작 기술	2000 Kw	5000 Kw
반도체식 대용량 고주파 유도가열장치제작	50Khz 30Kw	200Khz 400Kw
가열로용 Cu Coil생산 기술	저순도 일반동 사용	고순도 전기동 사용
고주파철심용규소강판제 기술	0.3m/mt 이하제작불가 전량수입	미국(Hunterdon, Jaxon)의 0.1m/m 사용중

5. 기술개발 과제

5.1 현기술 수준 분석

5.1.1 고주파 전원장치 설계·제작 기술

고주파 전원을 발생하는 방법으로는 M-G set (motor-generator set)와 진공관을 이용하여 필요한 주파수의 전원을 얻는 vacum-tube generator, 전력용 반도체를 switching제어 함으로 고주파 전원을 얻을 수 있는 방법이 있다.

실용화의 시작은 상용전원에 capacitor를 사용하여 피상전력(reactive power)을 보상하여 용해에 이용한 것이 처음이었고, M-G set를 이용한 것은 1927년 EPCO(Electric Furnace Company)사가 최초의 기업이다.

그후 반도체 기술의 발달로 반도체가 제어할 수 있는 전력이 대용량화되고 고속화 됨에 따라 그 이용 범위가 급격히 증가하여 현재는 대부분의 고주파 유도가열용 전원으로 반도체를 주제어소자로 사용하고 있다. 현재 국내 설치된 장치의 반도체식 제어가 90%이상으로 대부분이며 이에 관하여 중점적으로 연구개발이 추진되어야 할 것이다.

고주파 전원반의 설계기술은 전력전자제어기술

에 속하며 외형적으로 제어기능을 수행하는 전자회로와 대전력을 직접 제어하는 주회로 부분으로 나누어진다. 사용하고자 하는 주파수와 용도에 따라서 주회로와 제어회로의 구성이 달라지게 되며 각각의 분류와 현기술수준에 대한 내역을 표4에 나타내었다.

5.1.2 가열코일 설계 제작기술

가열코일을 설계하는 주요 요소로는 피가열재의 외형과 온도에 따른 전기저항, 열전도율, 표면방사율, 생산량등에 의하여 결정되므로 보다 실용적인 이론적 근접이 필요하다. 가열코일의 종류는 공심형이 주종이며 주로 단조가열용이나 용해용으로 쓰이고, 철심형은 channel형 보온로등에 사용된다.

가열코일의 구성은 크게 동권선(Cu coil)과 권선간 절연물, 지지용 외함으로 구성되며 특히 효율이 높은 가열코일을 구성하려면, 전기저항이 적은 고순도의 전기동이 필요하고, 고온에서도 강도와 변형이 없고 단열성이 있는 내화재가 있어야 하며, 고온절연체에 의하여 전기적 절연이 양호하여야 한다.

참고로 유도가열로에 사용하는 가열코일의 효율은 표5에서 보이는 바와 같다.

표4. 반도체식 고주파 유도가열장치의 현기술수준

(1) 용도별 최대 주파수 제작실적

용도	최대 제작용량		제작처	비고
	주파수(Khz)	용량(Kw)		
단조	8	200	부리전기	
열처리	50	30	두성인텍선	기업특정연구

(2) 용도별 최대 용량 제작실적

용도	최대 제작용량		제작처	비고
	주파수(Khz)	용량(Kw)		
단조	1	2000	두성인텍선	기업특정연구
용해	1	800	부리전기	
열처리	8.5	600	두성인텍선	

표5. 가열코일의 주파수별 효율

Frequency	Coil Efficiency(%)
500 Hz	60~92
1 Khz	70~93
3 Khz	70~95
10 Khz	76~96

5.2 개발기술의 도출

국내의 각 분야별 기술수준 분석을 통하여 표6과 같이 향후 개발기술할 과제를 도출하였다.

표6. 개발기술 과제

기	명	범	위	비	고
1.	고주파 유도가열장치 대요량화 기술 <ul style="list-style-type: none"> 이론정립, 자료조사 회로설계, 부품설계 전원반의 설계 전원반의 제작 전원반의 성능평가 가열로의 설계 가열로의 제작 가열로의 성능 평가 표준화 	4000Kw 300~1000hz		단조가열, 용해등에 직접이용	
2.	고주파 유도가열장치 고속화 기술 <ul style="list-style-type: none"> 이론정립, 자료조사 회로설계, 부품설계 전원반 설계 전원반 제작 전원반 성능평가 진공관식 장비와 대체평가 표준화 	200khz 200Kw 400khz 200Kw		진공관 장치 영역까지 반도체화 함	
3.	핵심부품의 개발 <ul style="list-style-type: none"> 전력용 반도체소자의 개발 고주파 capacitor의 개발 고주파용 페라이트코어의 개발 고주파용 규소강판의 개발 가열용 동선의 개발 	생산적용을 위한 양산화 개발		현재 전량 수입의존	
4.	고주파 유전자열기술의 개발 <ul style="list-style-type: none"> 이론정립, 자료조사 회로설계, 부품설계 전원반 설계 전원반 제작 전원반 성능평가 표준화 	30~50Kw		현재 전량 수입에 의존	

6. 보급현황 및 특성화 방안

현재까지 국내에 보급된 유도가열 장치의 분포는 총시설 용량으로 보아 용해용 66%, 가열용 24%, 열처리용 9%, 기타 1%이며, 그 분포를 그림3에 나타낸바와같이 거의 대부분의 전력은 용해 및 가열용이며 열처리용 및 기타는 10%에 불과하다.

수량별 분포에서도 그림4와 같이 용해용 45%, 가열용 27%, 열처리용 24%, 기타 4%로 나타나서 기타용분야를 제외한 용도로는 대체적으로 고른 분포를 보인다. 이것은 용해용이나 단조가열용의 것은 상대적으로 단위기당 용량이 큰 것을 의미하며, 특히 용해로 분야는 국산보급율이 현저하게 낮아 총용량 대비 10%로써 90%를 수입에 의존하고 있다.

이는 국내 제작기술이 800kw급 이하의 소규모 용량의 제작수준에 머물러 있기 때문이며 이러한 현상을 타개하기 위하여 부분적으로 외국업체와 기술 제휴하고 있다. 또한 단조, 열처리용 가열장치에서도 500kw미만에 한해서 설계기술을 제공하고 그 이상의 용량은 직접 수입하여 설치하고 있다. 이러한 결과로 용해부분은 1,500kw이상, 단조가열용은 3,000kw이상인 중점적으로 국내에서 개발되어야 할 것이다.

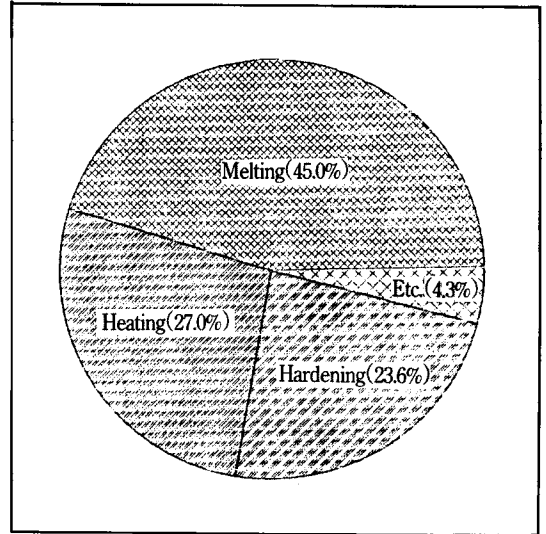


그림4. 국내 유도가열장치의 용도별 수량분포

7. 보급 추이 및 전망

'87년의 국산화율은 그림5에서와 같이 약10%에 달하였으나 매년 평균 7~8% 성장을 거듭하여 '92년도에는 약 40%에 이르렀으며, 향후 산·학·연 공동으로 기술개발을 추진할 경우 매년 10% 이상의 안정적인 성장을 이루어 '97년 이후에는 90%이상의 국산화를 달성할 수 있을 것으로 전망된다.

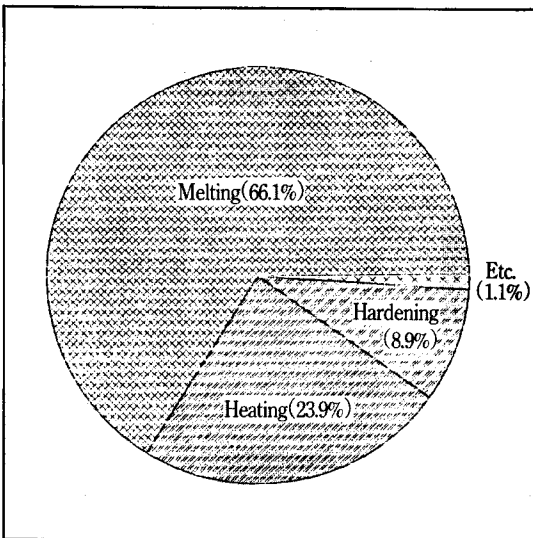


그림3. 국내 유도가열장치의 용도별 용량분포

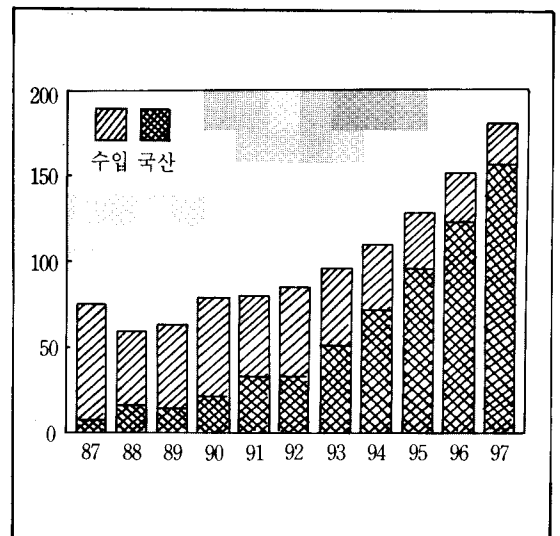


그림5. 연도별 보급추이 및 전망

8. 맺음말

이상과 같이 고주파 유도가열장치의 연구개발 동향, 기술개발과제, 보급현황 및 향후전망등을 살펴볼때 반도체 스위칭 소자를 사용한 고주파 유도가열장치는 에너지절약 기술 측면에서 불태 우수한 효과와 생산공정의 자동화, 생산성향상, 품질고급화, 환경공해 감소등 여러 방면에서 비교 우위를 보이고 있으므로 고주파 가열장치의 수요는 앞으로도 계속 증가될 전망으로 분석되었다.

제품의 국산화율을 높이기 위해서는 정부주도 하에 전기전자, 기계, 금속재료에 관련한 산·학·연 협동체제를 구축하여 대용량화기술, 고속화기술, 핵심부품기술, 자동화기술 개발등을 촉진 하여야 할 것이며, 국산화 보급 확대를 위해서는 향후 제품 표준화 및 공인 품질인증제도의 확립이

요구된다.

참고문헌

1. Joan Davies et al, "Induction Heating Handbook," Mc Graw-Hill Book Company, 1979.
2. E.J.Dede, et al, "Transistors are replacing electronic tubes and thyristor in induction heating generators," IEW, PP. 26-32, April 1992.
3. W.E.Frank, "Solid state RF generator for induction heating applications," IAS 82, PP. 939-944.
4. 상공부, "중전기 산업의 경쟁력 강화를 위한 '90년대 추진전략," 1991.
5. 상자부, "고성능로 및 가열장치 개발에 관한 연구," 1993.