

# 전기에너지의 효과적 이용을 위한 전열기술



에너지자원기술개발지원센터  
공학박사 고 요

## 1. 개요

전열기술이란 전기를 이용 가열하여 가정, 상업, 산업에 응용하는 기술을 통틀어 일컫는 것이다. 우리나라의 경우 별도의 통계는 없지만 전열기기에 의한 전력소비는 전체 전력소비량의 10% 이상에 이를 것으로 추정된다. 이는 전동력응용분야의 60%, 조명 20%에 이은 수치이고 이것은 앞으로 우리가 전열분야에 지대한 관심을 기울일 필요가 있다는 것을 의미한다.

전열기술은 전기에너지의 안전성, 청결성, 제어의 용이성 등을 이용하여 각 분야의 열 프로세스에 도입 적용되고 있다. 이러한 열전기술은 선진국에서 전기에너지의 효과적 이용을 위한 기술로 각광받고, 지구온난화 등의 환경대책, 열 프로세스의 코스트 저감을 목표로 그 보급이 확대 일로에 있다.

열전기술의 종류에는 저항가열, 유도가열, 아크가열, 유전가열, 원적외선, 마이크로파, 플라즈마, 히트펌프 등이 있으며, 이의 발전 추세는 크게 두 가지로 나뉜다. 그 하나는 저항가열, 유도가열, 아크가열 등 고전적인 전열기술의 하이테크화이고,

다른 하나는 원적외선, 마이크로파, 플라즈마, 히트펌프 등 최근 각광받고 있는 전열기술의 진전에 있다.

우리나라에서 이들 기술의 보급을 확대하기 위해서는 전기가열기반기술, 전기가열수요 신분야 개발, EMI대책 등의 조사연구, 전기가열수요실태, 수요예측, 시장조사, 전기가열에 대한 규격 및 표준의 심의 제정, 국제전열연합(UIE)과의 제휴, 해외정보수집, 국내정보교류, 출판, 교육자료 제작, 홍보, 연구인력양성 등이 선행되어야 한다.

여기에서는 이러한 전열기술들에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 마이크로파 가열

### 2-1 가열의 원리

가열의 원리상 마이크로파 가열은 고주파 유도 가열과 같이 내부가열에 속한다. 반면에 저항가열, 아크가열, 원적외선가열은 마이크로파 가열이 피 가열체가 발열체가 되는 내부가열인 반면에 표면을 가열하여 열전도에 의하여 내부가 가열되는 외

부가열이다. 마이크로파란 300메가헬즈에서 300기가헬즈 범위의 전파로 극초단파를 지칭하고 이는 손실계수(유전손)가 큰 유전체(절연물)을 만나면 도파되지 않고, 에너지를 잃어 이 에너지가 유전체를 가열하는 성질을 가지고 있다. 마이크로파는 방출등과 혼동하지 않기 위하여 국제적으로 ISM(International Scientific and Medical Use) 밴드가 할당되어 915메가헬즈, 2,450메가헬즈가 이에 해당된다. 마이크로파 가열의 원리를 부연하면 유전체가 전계내에 노출되면 유전체의 모든 곳이 전기적으로 평형상태가 교란되고, 유전체 표면에 전하가 발생하며, 이때 빠른 속도로 전계의 방향이 바뀌면 쌍극자는 반전하고 주위의 분자간에 마찰이 발생하며 이 마찰로 가열이 이루어진다.

## 2-2 마이크로파 가열의 특징

마이크로파 가열은 다른 가열에 비하여 가열시간이 짧고, 비교적 단시간에 가열이 가능하며, 가열효율도 화염가열에 비하여 50% 이상의 효율 증가를 보이고 있으며 진공속에서도 가열이 가능하고 반감심도가 큰 포대에 넣어 포대가열도 가능하다. 마이크로파 가열의 특징은 유전체의 손실계수의 차를 이용하여 복합재의 선택가열이 가능하다는 것이다. 예를 들면 목재 사이에 넣은 접착제를 오븐에 넣고 가열하면 접착제만 가열되어 목재가 서로 접촉되는 등의 효과를 볼 수 있다.

## 2-3 마이크로파 가열 응용

냉동식품의 해동, 과자류의 처리, 복합 컵식품의 멸균, 인스턴트 식품의 처리 등 식품분야와 염색 제품을 포함한 각종 섬유제품의 건조, 다층지의

균일건조등 섬유, 종이 분야, 도자기의 예비건조, 특수유리의 용융 등 요업, 주조 분야, 목재제품의 건조, 성형합판의 접착, 연필접착 등의 목재 분야, 고무제품의 가열, 가스, 발포 등 고무분야, 환경보전, 프라즈마응용, 충해방지, 화학약품의 건조, 경질 고강도 암반의 파괴, 각종 원재료의 수분측정 등이 있다.

## 3. 히트펌프

### 3-1 가열의 원리

히트펌프는 온도가 낮은 방향에서 높은 방향으로 열을 운반하는 기기의 총칭이다. 물을 낮은 곳에서 높은 곳으로 압력을 가하여 올리는 펌프와 같은 원리로 열을 이동시킨다는 점에서 그 이름에 펌프가 들어 있다. 이 히트펌프의 원동력이 전기여서 전기가열기술에 속한다. 주요한 열원으로는 공기 혹은 물이며, 태양열이나 지열을 이용한다는 지 온배수등의 배열을 재이용할 수 있는 장점이 있다.

히트펌프의 구성은 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기와 이것을 연결하는 배관으로 되어 있고 이 속에는 아주 낮은 온도에도 증발하는 냉매가 순환하고 있다. 냉매는 증발기로 공기등의 열원에서 열을 흡수하고, 증발하여 압축기에 흡입되어, 고온·고압의 가스로 압축되어 응축기로 이동된다. 여기서 냉매는 열을 방출하고 액체로 되고 이어서 팽창밸브를 감압시켜 증발기로 보내진다. 이때 사용하는 전기는 열에너지로 사용되지 않고, 동력원으로만 사용되기 때문에 소비전력의 약 3배의 열이동이 가능하고, 이것이 유지비용을 절감하는 최대 요인이다.

### 3-2 히트펌프의 특징

석유나 가스를 열원으로 하는 열원기기에 비하여 훨씬 에너지 이용 효율이 높아 에너지절약성이 좋게되고 유지비용이 저렴하여 경제적이다. 히트펌프 1대로 가열·냉각·제습의 일을 하기 때문에 산업분야에도 응용범위가 넓고, 설비의 이용효율이 우수하여 생산면으로 품질향상에 공헌한다. 연료의 공급이 필요하지 않고 이 때문에 운전조작이 스위치 하나로 가능하기 때문에 유지보수가 매우 간단하다. 히트펌프는 불을 사용하지 않기 때문에 화재 염려가 거의 없고, 상시 안전하고 청결한 운전이 가능하다.

### 3-3 히트펌프 응용

히트펌프는 고온, 고온·저온, 저온에 각각 이용이 가능하다. 고온에의 이용 분야에는 온천가온, 온수 풀, 융설 등 난방, 급탕, 가열이 있고, 고온·저온 이용 분야에는 냉난방, 제습, 건조 등으로 화초, 포도, 메론, 딸기, 토마토, 버섯, 가지등의 온실재배와 목재, 면류, 감, 채소 등의 건조, 활어 양식, 간장, 된장 등의 발효 및 숙성, 도금공정의 가열 및 냉각등이 있다. 저온 이용 분야에는 동결면, 두부의 급속냉각, 키위, 오렌지 등의 저온 저장, 당근 저장, 양상치 등 연약한 야채의 예비 냉각 등이 있다.

## 4. 원적외선 가열

### 4-1 가열의 원리

물질을 구성하고 있는 원자와 분자는 물질 자체

가 갖고 있는 온도에 따라서 분자운동을 한다. 물질은 외부에서 에너지를 받으면 원자와 분자가 격렬히 운동을 일으키고, 이것은 물질의 온도를 상승시키게 된다. 플라스틱, 도료, 섬유, 식품 등의 물질은 고분자물질로서 이는 원적외선을 잘 흡수하는 성질을 가지고 있다. 고분자물질의 원자와 원자의 연결은 용수철 운동과 비슷하며, 이 운동의 진동수와 원적외선의 파장(진동수)이 일치하면 원적외선에너지가 용수철을 급격히 신축한다. 즉, 원적외선에너지가 분자 진동에너지로 변환되어 고분자물질의 온도가 상승한다. 원적외선의 방사파장밴드와 고분자물질의 흡수파장밴드가 일치하여 근적외선보다 원적외선이 효율적으로 흡수된다.

### 4-2 원적외선 가열의 특성

피가열물에 직접 흡수되어 열운동을 활성화 할 수 있기 때문에 비접촉가열이 가능하다. 피가열물의 흡수 파장대가 방사된 원적외선의 파장과 일치하기 때문에 효율적인 가열이 가능하다. 가열속도가 빠르기 때문에 가열 및 건조시간이 대폭 축소되어 생산라인의 속도가 높아지게 되어 양산이 가능하고, 연속생산시 비용절감이 가능하다. 설비의 소형화, 간이화가 용이하여 설치면적의 축소가 가능하고, 가열효율이 높아 운전비용의 저감, 설비축소가 가능하다. 원적외선 히터는 장시간 사용하여도 성능이 안정하고, 내구성이 높다. 그리고 피가열물의 온도차가 적어 전체를 균일하게 가열할 수 있으며, 도장건조의 경우 도장면이 균일하게 가열된다. 세밀한 온도 조절이 가능하여 자동화가 용이하며, 가열온도의 제어는 조사거리, 전압의 조절도 조작성이 가능하여 취급이 간단하다.

### 4-3 원적외선 가열의 응용

원적외선 가열의 응용분야는 기계, 금속, 자동차, 플라스틱, 전기, 전자, 목재, 건축, 유리, 도기, 섬유, 종이, 인쇄, 식품등 다양하다. 이는 기계기구나 부품등의 도장 및 건조, 도금, 알루미늄이트 가공, 에칭가공시의 건조, 플라스틱, 고무, 금속부품의 접착, 거울의 도장 및 건조, 플라스틱 성형전예열, 고무의 가황, 진공성형, 프레스성형, 겔화가열발포, 형광막, 액정재료의 건조 이외에 천정난방, 업무용 사우나 등 매우 다양하다.

## 5. 고주파 유전자열

### 5-1 가열의 원리

고주파 유전자열은 마이크로파 가열과 같이 분자의 진동에 의한 마찰열에 의한 발열이다. 유일하게 다른 점은 고주파 유전자열로 사용되고 있는 주파수의 범위가 마이크로파 가열의 경우와는 다르다는 점이다. 마이크로파 가열의 사용 주파수가 주파수 범위 300메가헤르츠에서 300기가헤르츠 중 915MHz와 2,450MHz인데 반하여 유전자열은 1MHz~300MHz의 주파수를 사용한다. 유전자열은 이 주파수 범위의 전계의 작용으로 유전체를 주로하여 전하의 원자 혹은 분자 레벨의 운동에 의하여 열을 발생시켜 가열한다. 그러나 실제로 사용되는 주파수는 4MHz~80MHz의 범위이다. 고주파 유전자열장치를 제작하는 경우 상용전원에 고주파 발생기를 넣어 고주파 에너지를 발생시키며, 주파수 변환장치로는 주로 전자관이 이용되고 간혹 반도체가 이용되는 것도 있다. 이 전자관은 특수한 것으로 발진 주파수가 최고 80MHz 정도여서 고주파 유전자열의 주파수 이용 범위가 한정

되어 있다.

### 5-2 고주파 유전자열의 특성

고주파 유전자열은 마이크로파 가열과 같이 가열시간이 짧고, 단시간에 균일가열이 가능하며, 열효율이 높고, 진공중에 가열이 가능하며, 포대속의 물질도 직접가열이 가능하며, 선택가열과 균일건조가 가능하고, 가열전력의 제어가 용이하여 응답이 빠르고, 환경 개선이 가능하며, 가열장치의 점유면적이 작고, 가열공정의 자동화, 에너지절약이 가능하며, 재고가 최소화 되며, 마이크로파 가열과 다른 점은 복잡한 형상의 물체는 균일 가열되지 않는 경우도 있으며, 국부가열이 가능하고, 전극전압이 피 높기 때문에 형상이 복잡한 물체와 평행판 전극의 간격을 극도로 좁게하면 방전이 일어나기도 한다.

### 5-3 고주파 유전자열의 응용

고주파 유전자열의 응용은 주로 수지, 목재, 요업, 섬유, 식품등에 주로하며 이를 열거하면 수지의 용착, 예열, 가열, 목재의 접착, 가공, 건조, 도자기, 타일의 건조, 섬유의 건조 및 접착, 식품의 가열 및 해동, 표면처리, 에칭등 프라즈마 응용, 살충, 살균, 약품, 연초, 피혁, 제지, 제염의 건조, 온열요법, 류마티스, 신경통, 피로회복, 암의 치료 등이 있다.

## 6. 유도가열

### 6-1. 가열의 원리

교류전원에 접속된 코일중에 금속봉을 삽입하면

코일과 금속봉은 떨어지지 않고, 금속봉은 표면이 가열된다. 이를 유도가열이라고 한다. 교류전류에 의하여 발생된 교번자속이 피가열물을 관통하여 상당히 밀도가 높은 전류를 유도하고(이를 전자유도라 함) 그 주울열로 피가열물의 표면이 가열된다. 이 방식은 피가열물에 전류를 흘리는 직접가열방식으로 피가열물이 도전체여야 한다는 조건이 있다. 세라믹 등의 절연체를 유도가열하는 경우에는 도전성의 용기에 피가열물을 넣어 용기를 유도가열하고 열전달시킨 간접가열방식이 된다. 유도가열에 사용된 주파수는 상용주파수에서 450kHz 정도이다. 효율 높은 유도가열을 하기 위해서는 피가열물의 외경과 가열코일의 내경간의 간격을 최소로 하고, 코일은 가열부분의 크기와 피가열물의 형상에 맞는 것으로 하여 최적 주파수를 선택하여야 한다.

### 6-2 유도가열의 특징

유도가열의 3대 특징은 직접가열, 고에너지밀도, 제어의 용이성 등이다. 이를 자세히 열거하면 가열효율이 높고, 초고온의 가열이 가능하며, 주위가 고온으로 되지 않는다. 연소에 따른 재가 없으며 화학반응을 일으키지 않고, 진공중에 가열이 가능하며, 가스분위기중에서도 가열이 가능하여 방폭형이다. 급속가열이 가능하며, 스케일 발생량이 적고, 장치가 컴팩트하다. 국부가열이 가능하며, 야금적으로 개선 효과가 있고, 가열을 세밀하게 할 수 있으며, 조작성이 좋고 자동화가 용이하다.

### 6-3 유도가열의 응용

유도가열 분야는 용해, 열가공, 열처리, 반도체

제조, 용접, 접합 등 다양하게 응용된다. 용해분야에는 3배주파 유도, 정밀주조용 진공유도로, 자동주탕로, 반응해합금압연용 초소형용해로, 고전력형 고주파로, 부유용해로 등의 각종 로에 의한 승온, 온도유지, 성분조정, 주탕 등의 용도로 응용된다. 그외에 열가공, 열처리 분야에도 다양하게 이용되고 있으며, 기타 분야로 고주파유도가열프리즈마, 기체가열, 절연가속수명시험, 코로나방진, 오존발생, 프라즈마발광분석, 전자유도가열식조리기, 접착용가열, 도로건조장치, 세라믹코팅, 액체가열, 진공환원, 증류, 질화, 재료가열시험기 등이 있다.

## 7. 저항가열

### 7-1 가열의 원리

전기기구를 사용할 때 전기코드가 따뜻해져 있을 때가 있다. 특히 전선에 정격이상의 전류를 흘리면 열이 나서 위험할 수 있다. 이것은 주울열이라고 부르는 것으로 전선에 저항이 있기 때문에 발생한다. 이러한 전선의 발열현상은 바람직스럽지 못한 것이지만 이러한 현상을 이용한 것이 저항가열이다. 저항가열은 전기를 이용한 가열중 가장 단순한 것으로 일종의 물질의 온도를 상승시키는 기술이다. 이 기술은 일반 가정용기기에서 산업용기기까지 여러 분야에 필요로 되어 가열된 대상물도 여러 가지이고 가열된 온도도 온실의 가온같이 저온영역에서 3,000℃ 가열의 고온로와 같이 초고역까지 있다. 현재 저항가열을 하는 기기와 부품은 시중에 여러 가지가 나와 있다. 이것을 크게 나누면 열을 만드는 저항발연체, 열을 목적으로 하는 장소에 봉입하는 내화, 단열, 보온재, 목적물의

온도를 유지하기 위한 제어기기 및 이것을 사용목적에 합치시킨 저항가열로 등의 장치가 있다.

### 7-2 저항가열의 특징

저항가열은 원리적으로 극히 단순한 장치로 사용되고, 청결하며, 가열효율도 높고 다른 전기가열과 다른 특징이 있다. 이를 들여보면 연소가열방식과 달리 소음, 배가스, 오염물질이 없어 청결하며, 외부에 열손실이 적고, 급속가열이 가능하며, 높은 가열효율을 얻을 수 있다. 제어방식이 전자방식으로 구성되어 극히 세밀한 온도제어가 가능하다. 저항발열체의 종류가 금속발열체, 비금속발열체로 다양하여 저중온도에서 3,000℃의 초고온까지 광범위한 열원으로 사용된다. 상용주파수의 교류전원이 사용되어 별도의 전원장치가 필요없다. 가열에 의한 에너지를 직접 전력량으로 측정하는 것이 가능하여 전력계, 전압계, 전류계 등에 의하여 측정관리가 용이하다. 제어기기에 전자회로를 채용하여 무인운전이 가능하므로 자동화, 야간전력을 사용하여 운전비용이 대폭 저감된다. 피

가열물을 간접적으로 가열하므로 피가열물의 가열에 적합한 형상을 가질 수 있어 피가열물의 재질, 형상이 거의 무제한이다. 제어가 용이하고 보호안전회로 등이 있어 매우 안전하다. 연소방식이 아니므로 각종 가스 혹은 진공분위기에도 가열이 용이하다. 노의 기동 및 정지 조작은 스위치로 하므로 기동, 정지시간이 매우 짧다.

### 7-3 저항가열의 응용

저항가열의 응용장치에는 500~600℃에서 2, 3회 행해지는 다이스강의 소루장치, 금속의 진공열처리로, 소형범용로, 무산화로, 피트형소루로, 철강, 동합금, 소재의 열처리로, 세라믹 소성, 도자기소성로, 재생용전기요, 전기온상선에 의한 지중가온재배, 업무용전기주방, 여러 산업에 사용되는 시즈히터, 전기보일러 등이 있으며 그밖에도 야간전력을 이용하는 시스템을 예로 들면 전기온수기, 축열식전기난방기, 야간형 알루미늄 용해로, 도자기 소성용 전기요 등이 있다.

