기/술/해/설

유도가열에 의한 DPH 기술의 응용

박정민 · 이옹엽 <히팅파워코리아>
김용주 <특허청>

1. 서 론

전자유도가열 발열체와 유체이동에 의한 새로운 열교환방식은 파이프라인 시스템에 있어서 여러 가지의 기체, 액체 및 증발체 등을 저온(상온)에서 초고온에 이르기까지 고정도의 가열이 가능한 방법으로 일체의 연소과정이 없다는 점에서 작업환경의 개선이 가능하며 온도제어 신뢰성(±0.1℃)에 뛰어난 특성을 보이는 전자유도 유체 가열기술은 IGBT대응의 고주파 인버터를 사용하여 고성능·고효율의 시스템화가 가능한 고주파 PE(Power Electronics)의 새로운 분야로 주목받고있다[1, 5].

이러한 고주파 인버터는 상용교류·다이오드전류 비평활 직류로부터 수[kHz]~수[MHz]의 고주파교류를 발생시킬 수 있다.

고주파 인버터는 모듈타입의 IGBT를 사용한 위상지연 PWM공진형 고주파인버터를 도입하여 부하로서 고주파자속을 발생시키는 유도자 워크코일, 즉 이동유체를 가열시키기 위해 와전류를 이용하는 특수하게 설계된 넓은 전열면적을 갖는 적층형 타입의 충진발열체를 사용한다. 부하계는 이러한 구조물을 내장한 유체가열 용기, 용기출구의 유체 온도를 안정하게 제어하기 위해 열전대 일점 검출에 의한 자동튜닝 PID제어부로 구성된다. 이러한 전기에너지→열교환 시스템은 절연체의 파이프내부에 새롭게 설계된 유도발열체 구조물을 통과하는 이동유체의 난류(亂流)를 이용하여 유체를 내부로부터 가열하는 방식(DPH: Dual Packs Heater)과 유도발열체를 내장한 자성(磁性)스테인레스와 알루미늄의 2중 구조의 금속합판 구조의 발열체인 용기 파이프의 내벽을 유체가 접촉 이동하여 외부로부터 내부로 향하는 가열방식(SPH: Single Pack Heater)으로 나누어볼 수 있다[4].

2. DPH 기술

DPH 자체는 전자유도가열기술과 증류기술을 바탕으로 한 기술로서 증류탑에서 사용되는 규칙 충진물을 개량하여 발열체로 사용하는 기술로 발열체는 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 단순한 구조로서 스테인레스스틸의 두께가 1[mm]이하의 얇은 금속판 사이를 박막(薄膜)상태로 발열체내부를 기체 및 액체가 계속 통과함과 동시에 순간 가열되는 구조로 되어 있으며 그림 2는 실제 발열체 구조를 나타낸다[2].

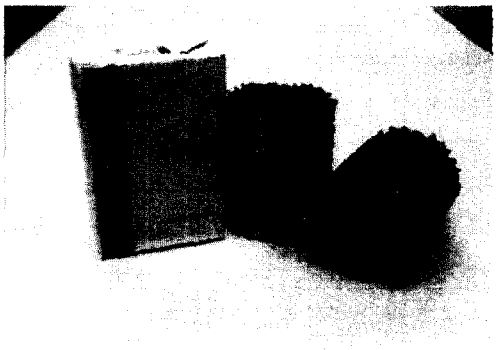

그림 1. DPH 발열체

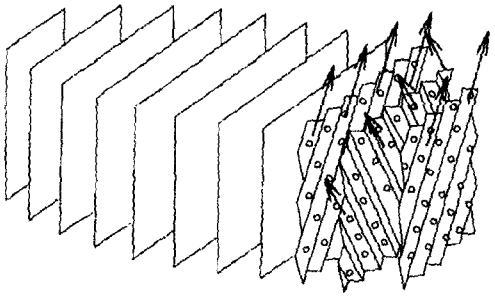

그림 2. 발열체구조

이 발열체의 구조는 규칙 충진물의 구조와 거의 동일한데 그 근원은 정체형 혼합기(Static Mixer)로서 이것은 동력 또는 압력을 이용하지 않고 유체만을 흘려보냄으로서 유체를 혼합시킨다는 것을 그 특징으로 들 수 있다. 예를 들면 한 쪽에서 백색과 적색의 두가지 액체를 따로따로 흘려보내면 다른 쪽에서는 완전하게 섞인 핑크색의 액체가 흘러나오는 것과 같은 것이다. 화학에서는 액체와 기체가 다 존재하므로 이 동작을 「휘산·방산·확산·분산」이라고 표현하며 증류탑은 이 혼합작용과 표면적의 크기를 이용하여 원료액을 효율적으로 반응 혹은 분리시킨다.

DPH에서 이용되고 있는 발열체의 표면적 크기를 살펴보면 직경 100[mm], 높이 200[mm] 크기로 약 22,000[㎠]의 표면적을 보유하고 있는 반면에 동일한 크기의 원통의 표면적을 살펴보면 약 1/35인 627[㎠]에 지나지 않는데 표면적이 크다는 것은 히터로 사용할 경우 전열면적을 많이 사용할 수 있다는 것으로 가열 시에 표면 온도를 낮게 잡을 수 있다는 것을 의미한다. 이렇게 복수로 적층되어 있는 금속판에 의해 작은 용적임에도 불구하고 충분한 전열면적을 확보할 수 있으며 금속판 자체가 자기발열을 한다는 특징을 갖고 있으며 그 물리적 특성은 표 1과 같다.

또한 이러한 타입의 DPH시스템는 현재 히터 유니트와 인버터, 온도조절기를 갖춘 제어반으로 구성되어 있는데 출력용량별로 3[kW], 5[kW], 15[kW], 20[kW]급으로 나누어 볼 수 있다.

표 1. 발열체 물리적 특성

직 경	100[mm]
높 이	200[mm]
체 적	1570[cc]
공간율	90[%]
실공간	10[%]
표면적	22000[㎠]
단위면적당 공간	0.07[cc/㎠]
재 질	스테인레스
발열체금속의 비열	0.11[cal/g]
발열체금속의 중량	1000[g]

3. DPH시스템의 구성

그림 3은 DPH 본체의 구성을 나타낸 것이고 그림 4는 DPH 본체와 그 제어반을 나타낸 것으로 제어반 내부기기는 고주파 직렬공진 전류형 인버터와 온도조절기, 시퀀스 회로 등으로 구성되어 있다.

그림 5는 고주파인버터로서 정주파 PWM방식 전류형 직렬부하 공진형 인버터를 나타내는데 이것은 절연파이프의 두께, 내부의 적층형 규칙 충진발열체의 소재 그리고 가열 유체계에 의해 변화하는 인덕턴스와 저항분으로 구성되는 전기회로 모델로 볼 수 있다.

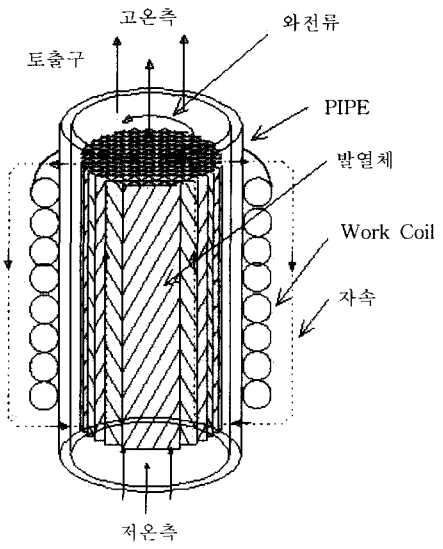

그림 3. DPH 구성

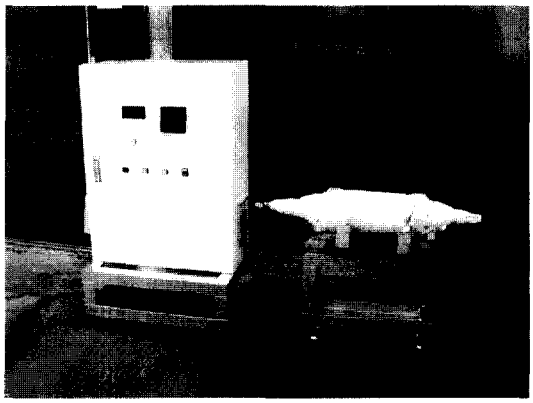

그림 4. DPH 기본형

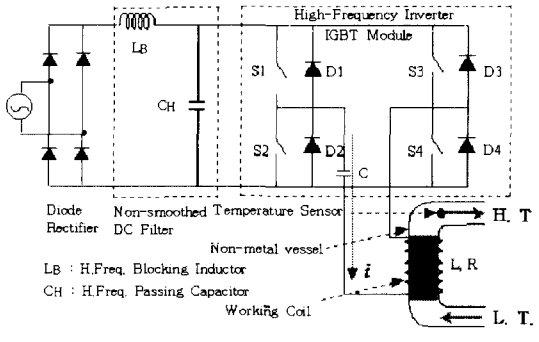

그림 5. 전류형 직렬부하 PWM 공진형 인버터

실제로 워킹코일과 피가열 물체계의 사이에 정합 트랜스가 사용되는데 R-L부하와 L을 보상하는 C로부터 직렬공진 회로계를 위한 고효율 운전을 위하여 인버터의 동작 주파수 선정이 매우 중요하다. 이는 R-L회로에 직렬보상 콘덴서 C를 사용하여 R-L-C직렬부하 공진회로 부하계를 구성하는데 발열체를 극한정도까지 가열하지 않으면 전기회로 정수는 거의 변화하지 않기 때문에 R-L회로계로 볼 수 있으므로 직렬부하보상 콘덴서 C는 R-L부하계의 L을 보상하는 최적동조조건 하에서 사용 가능하다.

R-L부하계의 R이 IGBT의 도통저항에 비해 비교적 큰 경우에는 직렬공진회로계가, R-L부하계의 R이 IGBT의 도통저항에 비해 작은 경우에는 직렬 인덕턴스를 갖는 병렬공진회로가 효율적 측면에서 유리하다고 할 수 있다[4, 5].

그림 6은 상용전원을 수십[kHz]의 HFAC로 변환 및 변조하기 위한 전력변환 프로세서와 가열용기(질화계 불소수지관) 출구의 유체의 온도를 제어하기 위한 신호변환 제어계의 구성도를 나타낸다.

일반적으로 열 교환기라는 것은 2개의 기체 및 액체 등의 증발체의 온도차를 격벽 등을 이용하여 혼합하지 않고 열 이동을 행하게된다. 그러나 본 방식은 그림 2와 같은 적층형 규칙 충진 금속발열체의 내부까지 가열하므로 발열체의 직경, 체적 및 재질, 절연파이프 등의 두께 등의 항목에 따라 다소간 차이는 있으나 수십[kHz]대의 고주파전류가 필요하므로 인버터의 스위칭소자로서 저전압강하 타입의 IGBT모듈(100A/1200V)을 적용한 전류공진방식을 적용하였으며 특히 IGBT의 VCE(sat)가 낮은 것일수록 유리한데 이러한 관점에서 IGBT보다 MCT 및 B-SIT의 도입도 유용하리라 판단된다.

또한 다이오드 정류기의 출력 측에 비평활 LC필터를 사용하므로 상용주파수의 전원 측에서 보면 복잡한 액티브 PWM제어를 행하지 않고 고효율 특히 선 전류의 정현파화 기능을 갖도록 하였다. 따라서 본 시스템은 전원환경에 뛰어난 특성, 즉 부하 측에

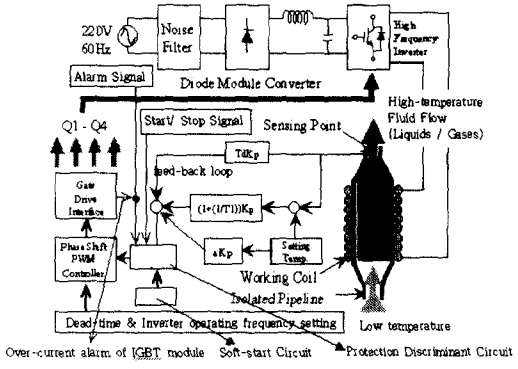

그림 6. DPH시스템의 제어 구성도

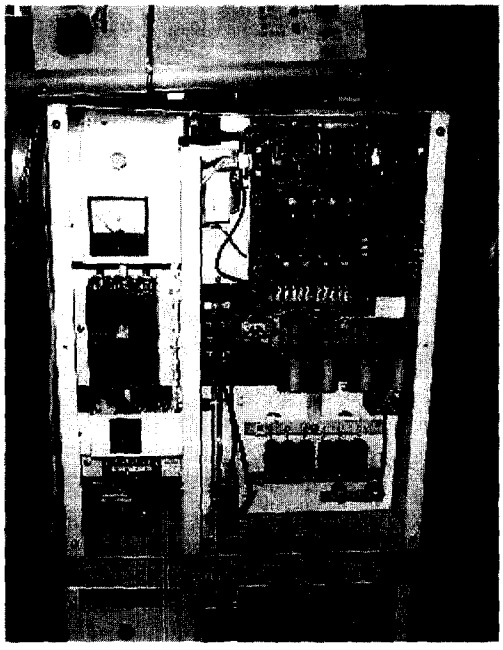

그림 7. DPH시스템의 직렬공진 인버터

서 보면 그림 6과 같이 간단히 제어시스템을 구성할 수 있기 때문에 항상 공진주파수에 가까운 동작점 이른바 최대출력 공급 정합조건 근처에서 스위칭이 이루어지도록 위상지연 PWM제어에 의해 부하에 적합한 정합환경을 만족시킨다. 더욱이 고주파 인버터에 의한 DC-HFAC 변환부의 크기축소 및 무게의 경량화라는 고밀도화가 가능한 직렬 공진회로에 의한 ZCS동작 모드를 이용하므로 IGBT처럼 MOS 게이트 드라이브로 turn-on, 바이폴라 모드에서 turn-off하는 스위칭소자에서는 테일전류에 의한 과도손실도 극히 적으므로 노이즈필터의 소형화가 가능하며 급격한 전압서지에 대해서는 클램프형 무손실 스너버회로의 구성만으로 시스템의 안정동작을 도모할 수 있다. 특히, 위상지연 PWM Full-Bridge 인버터에서의 기준암은 lossless 인덕턴스 스너버제어 상(相)암이 lossless 캐패시턴스 스너버로 구성되어있다. 그림7은 실제 사용된 공진형 인버터회로장치를 나타낸다[5].

4. DPH시스템의 응용

식품가공분야에서 DPH를 과열증기로 사용하여 보일러에서 증기를 일정한 품질로 만드는 증기보충기계통과 식품을 운송하는 컨베어 시스템, 동력전기계통, 신호전기계통 등을 설계하여 전후반부에 접속되는 타 기기메이커와의 연계를 취하고 있는데 식품업계는 특히 세정성이나 청결도의 문제 때문에 DPH시스템의 구조물 전체를 스테인레스로 구성하며 사용온도, 컨베어 속도, DPH 출력을 수시로 기록하는 시스템이나 계측, 진단 시스템과 조합하는 경우도 있다.

화학공정 등과 같은 곳에서는 수증기 이외에도 다양한 가스나 액체를 흘려보내는 경우가 대부분으로 가스는 결로하지 않은 경우가 많기 때문에 수증기와 같은 드레인 대책을 세울 필요가 없는 반면 내부식성(內腐食性) 등의 위험을 동반하는 경우가 대부분이므로 프로세스 설계팀과 공동작업 및 시스템설계를 진행해야 하며 폭발을 방지하는 규격과 같은 일정기준을 만족시키는 장치를 구성할 필요가 있는 플랜트도 있으므로 특히 주의하여야 한다.

또한, 반도체방면은 고순도 가스·고순도 액체를 통과시키는 경우가 많다. 최근에는 반도체 방면에서 회로의 미세화가 진전되고 있어 아주 미세한 먼지(분자수준)에까지 영향을 받는 경우가 있으므로 전문지식이 필요한 장치는 공동개발이라는 형식을

취하여 DPH의 최첨단 파생형 시스템이 구성 가능하다.

이처럼 화학이나 반도체 방면에서는 반응온도를 제어하는 일이 매우 중요한데 400℃를 전후한 온도에서도 ±0.04℃ 정도로 온도제어가 가능하며 또한 파생형 DPH에서는 차세대 에너지원으로 주목을 받고 있는 수소 이용분야에 응용될 가능성이 높게 나타나고 있는데 수소흡착 합금이용 분야와 GTL기술(Gas To Liquid) 분야에 DPH의 응용 연구가 진행되고 있다[2].

이처럼 각 업계마다 중요시하는 목적에 따른 각각의 기술분야는 다르다고 할 수 있으나 DPH시스템 자체가 단순구조를 하고 있으므로 산업계 거의 모든 분야에 폭넓게 응용 가능하다고 판단된다.

4.1 식품가공에 사용되는 과열증기의 예

과열증기를 열처리에 이용하는 가장 큰 특징은 무산소(無酸素) 분위기에서 가열을 한다는 점에 있다. 가스나 시즈히터를 이용하여 가열할 경우에 공기중에 존재하는 산소가 가열중의 식품에 접촉함으로서 식품의 지질이나 향 성분, 색소에 산화현상을 일으켜 지방질을 떨어뜨리고 향 성분과 색소를 절감시키는 등과 같은 악영향을 미친다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 과열증기의 경우 이와 같은 악영향을 미치는 일 없이 지방질 산화 방지, 풍미개선, 유통기간을 연장시키는 등 식품가공면에 있어서 매우 큰 효과가 있다. 또한, DPH 구조와 가열방법이 수증기의 이온화를 촉진시키는 현상, 정확한 온도제어로서 열가공 후의 재현성의 우수함과 가공식품의 유통기간 연장성 및 완전 살균이라는 뛰어난 효과가 있다.

그림 8은 실제 폭 600[mm], 길이 5[m]인 컨베어 시스템이다. 20[kW]급 DPH 2대를 탑재한 것이며 그림 9는 실제 폭 300[mm], 길이 4[m]인 컨베어시스템으로 20[kW]급 DPH를 1대 탑재하고 있다[3].

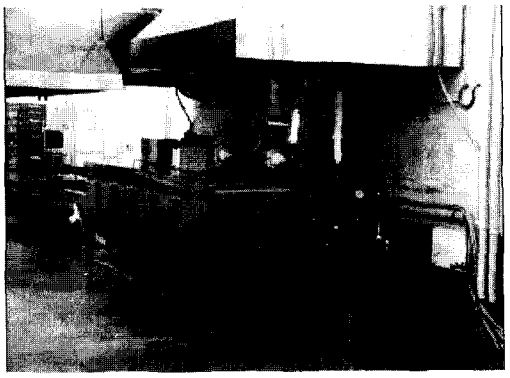

그림 8. 폭 600mm 컨베어시스템

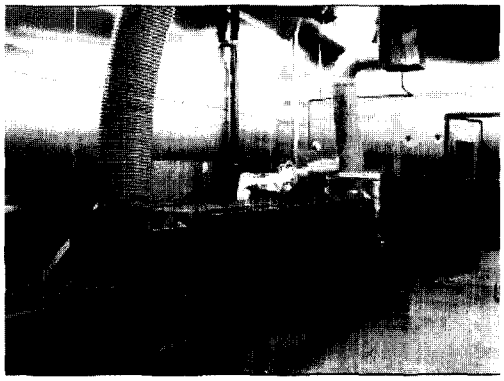

그림 9. 폭 300mm 컨베어시스템

4.2 식품 이외에 사용되는 DPH

공업분야에서는 「열적 조작」, 「기계적 조작」, 「확산적 조작」이라는 표현을 사용하여 구분설명하기로 한다[1].

4.2.1 화학플랜트

(1) 열적조작

증류탑에서는 조작온도 150℃정도 이상부터는 보일러의 증기압을 높여 운전하는 대형설비의 경우 열매유 히터를 이용하여 가열시키는 경우가 있는데 이에 반하여 DPH는 열매유를 가열시키는 방법과 직접 원액을 가열시키는 방법에 모두 유효하며 특수한 증류조작으로 600℃ 내외인 가열도 가능하다.

(2) 기계적 조작

가열반응기에서 교반시 가열과정에서 점도가 높은 종류의 오일계 원액을 흘려보내 가열, 반응을 시키고 있는데 이때의 점도는 상당히 높다. 통상적으로는 점성이 높은 액체는 교반이 어렵고 균일하게 열을 전달시키기가 매우 곤란하여 부분가열방식을 취하게 되는데 이때 제품의 균일성 문제가 대두되는데 DPH를 사용하여 이와 같은 문제의 해결이 가능하다.

(3) 확산적 조작

DPH에 사용되는 적층형 충진물(GTL 기술의 근원에 있는 촉매반응기)은 체적당 표면적이 매우 크며 뛰어난 믹싱 성능효과를 가지고 있으며 그림 10은 촉매용 발열체의 확대부를 나타낸 것으로 실제 발열체에 형성된 홀과 홀 사이의 간격은 10[mm]이다.

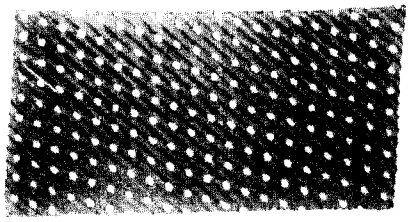

그림 10. 촉매용 발열체

4.2.2 전자 · 일반 공업, 반도체 제조장치

열적조작에 있어서 DPH는 특수한 가스 및 소재를 가열하는데 사용되며 특히 온도에 대해 민감한 물질은 여분의 열이 투입되게 되면 분해되거나 역으로 분해과정을 이용하는 경우도 있다.

어닐링로에 사용되는 시간에 대한 온도 배분이 필요한 분위기온도제어 프로세스인 경우 DPH는 빠른 온도상승 및 하강과 정밀한 온도제어성이 중요시되고 있다. 이러한 과정에서는 불활성가스 이외에 무산소분위기가스로 수증기가스가 사용 가능한데 이는 낮은 온도에서의 응용분야인 식품가공 분야에서는 과열수증기가 그대로 사용되지만 전자업계에서는 용존산소분이 검출되므로 탈기기술을 병용할 필요가 있다.

4.2.3 기타

그 외의 DPH 응용으로 승화기술을 들 수 있는데 승화대상물은 정밀한 온도제어를 필요로 하게된다.

그림 11은 연구개발용 DPH를 나타낸 것으로 본체 내부에는 2대의 인버터가 탑재되어 있으며 소형보일러부(1차 가열부)와 슈퍼히터부(2차 가열부)의 DPH로 각각 구성되어 있다.

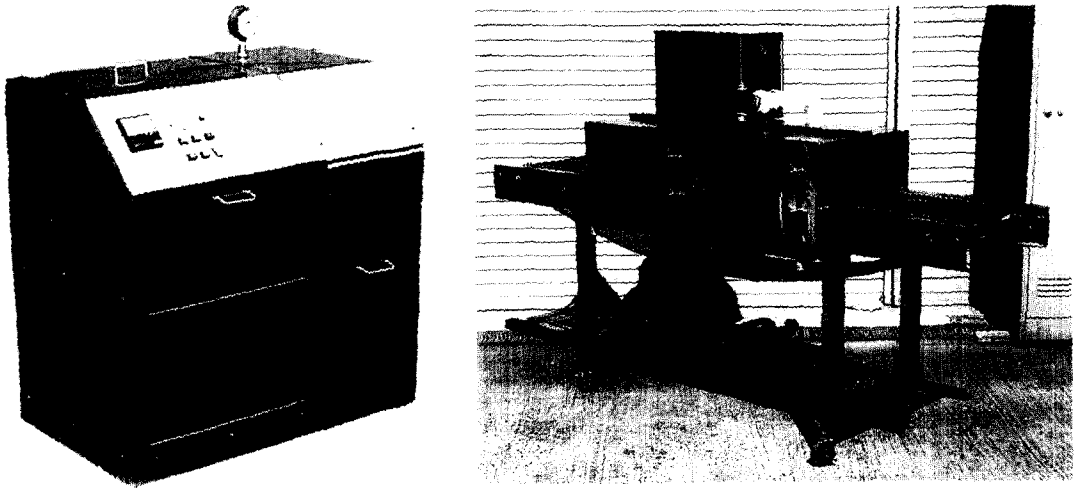

그림 11. 일체형 및 조합용 DPH시스템

그림 12은 수소흡착합금용 DPH를 나타낸 것으로 차세대 수소저장기술의 하나인 수소흡착합금은 수소를 방출하는데 열에너지가 필요한데 이때 DPH기술을 이용하여 수소흡착합금을 용기에 넣은 채로 내부 금속을 가열할 수 있다는 점에 착안하여 그림 12와 같이 분말 상으로 만든 수소흡착합금을 용기에, 충진하여 가열시킴으로서 기존의 (투입전력량에 따라 다르지만) 몇분 단위를 무리없이 몇초 단위로 합금온도를 올리는 것이 가능하다. 이처럼 수소를 급속하게 방출시키는 기술에 의해 냉각기술, 수소저장, 수소순도개선 등과 같은 분야에 광범위하게 응용될 가능성이 높다[1].

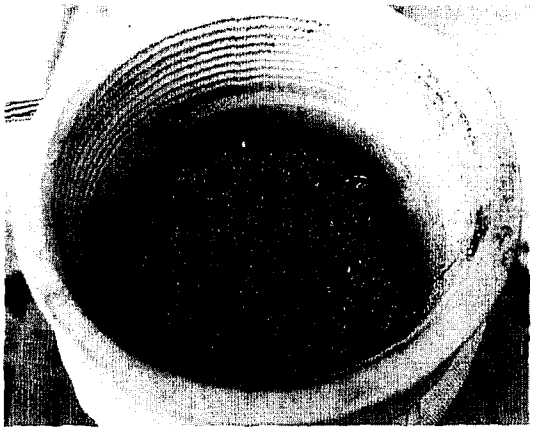

그림 12. 수소흡착합금

5. 결 론

DPH는 새로운 발상 속에서 만들어진 가열장치로 그 응용분야가 매우 광범위한데 이러한 전자유도가열의 유효성은 인지도가 매우 높아져서 현재 전자조리기로 대표되는 IH 기술로 일반 가정에 보급되어 생활환경을 크게 개선시키기도 하였다.

한편 DPH 기술이란 「기존에 있던 유도가열기술」과 「기존에 있던 화학공학」을 융합시킨 「새로운 가열방법」을 실현시키는 기술이라고 할 수 있으며 이러한 가열기술을 널리 확산보급하기 위해서는 그 업계에 적합한 엔지니어링이 필요할 것이며 단순히 종래형 히터시스템과 교체한다는 발상만으로는 본 DPH시스템의 가치를 최대한 활용할 수 없을 것이다.

마지막으로 DPH시스템이 응용 가능한 분야를 정리하면 아래와 같으며 상온에서 1000℃까지의 열원을 사용하는 전 산업에 크게 이용 가능할 것이다.

- 식품업계 : 소성·살균·컨베어 시스템, 소성·살균·로터리 시스템, 프라이기, 조미 액 순환기, 오븐, 농축장치, 훈제장치, 세정장치 등
- 화학업계 : 증류장치, 열매유순환, 승화장치, 리히팅 시스템, 수증기증류기, 농축장치, 어니얼링로, 촉매장치 색소추출기, 향 성분 추출기, 가열반응기, 섬유가공기, 수지개선기 등
- 전자업계 : 어닐링로, 가스가열기, 반응기, 세정장치, 수소흡착합금 DPH, GTL DPH(Gas To Liquid) 등
- 기타 : 드라이클리닝, 의료·양호 계통에 관한 장치, 의료폐기물 처리 장치, 고온수 순환기, 금속표면처리 장치 등

참 고 문 헌

[1] 内堀、中岡他, "電磁誘導加熱方式デユアルパックスヒータとその應用", エレクトロヒータ, 日本電熱協會, No98, pp. 52-56, 1998.

[2] 内堀他, "デユアルパックスヒータと封印されていた過熱蒸氣技術", エレクトロヒータ, 日本電熱協會, No114, pp. 44-50, 2000.

[3] 内堀、井尻他, "DPHを用いた常壓・高溫蒸氣による食品の殺菌について", 食品機械裝置, ビジネスセンター社, 2000年 12月.

[4] Y.J.Kim, D.C.Shin, K.H.Kim, Y.Uchihori, Y.Kawamura, "Fluid Heating System using High-Frequency Inverter Based on Electromagnetic Indirect Induction Heating", ICPE' 2001, pp. 69~79, Seoul Korea, Oct. 2001.

[5] 김용주, 신대철, 김기환, "전압형 고주파 인버터를 이용한 간접유도가열 열유체 Energy system과 그 성능평가", 전력전자학회 논문지 제7권 제1호, pp. 48-54, 2002년 2월.

◇ 저 자 소 개 ◇

김 용 주(金龍柱)

1960년 3월 19일생. 1984년 건국대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 Univ. of Kobe(공학박사). 1995년 일본전자통신학회 국제학술조사위원. 1996년 SDI 선임연구원. 현재 특허청 전기심사담당관실 심사관, 호서대 전기공학과 겸임교수, 전력전자학회 학술위원.

이 웅 엽(李擁曄)

1962년 10월 17일생. 1988년 인하대 기계공학과 졸업. 1989년 이구산업(주). 1998년 사이나미드 의료기(주) 과장. 2000년 헬드코리아(주) 부장. 현재 히팅파워코리아(주) 연구부장.

박 정 민(朴丁民)

1974년 11월 27일생. 2001년 대전산업대 정보통신공학과 졸업.
현재 히팅파워코리아(주) 연구원.