

공진유도가열에 의한 DPH 기술

김용주 · 内堀 義隆 <특어청 전기심사담당관, 勢田興産化工(株)>

1 서 론

수년 전부터 소개해온 식품, 화공 및 열원을 사용하는 모든 산업계에 널리 사용 가능한 DPH(Dual Packs Heater)System을 각 분야의 관계자들에게서 본 시스템을 적용하여 “다른 회사와 다른 경쟁력이 있는 독자의 상품을 개발한다”, “제조방법을 새롭게 변화시키고싶다”, “새로운 제조방법 및 가공방법에 적용하고싶다” 등의 여러 요구가 있었다.

DPH에서는 「새로운 가열방법」이라는 개념에서 종래의 방법과는 전혀 다른 새로운 발상으로 경쟁력이 있는 보다 부가가치가 높은 상품에 적용하여 일부 성공한 기업도 현재 나타나고 있다.

시장에서 우위를 점하기 위하여 가격경쟁력이 있는 제품 또는 자사 고유의 상품, 영업력, 조직력, 기술력 등을 들 수 있겠지만 DPH시스템에 사용되는 발열체인 충전물은 20년 전부터 일본의 勢田興産化工(株)가 개발하여 화학관련 업계(증류탑 관련)에서 널리 사용되었고 그에 대한 우수성은 이미 확보된 증류 데이터를 기반으로 하여 전력전자공학의 공진형인버터라고 하는 기술과 새롭게 접목되어 전혀 다른 새로운 가열방식을 선보이게 되었으며 필자 또한 당시 일본 유학 중 勢田興産化工(株)의 DPH시스템 개발에 수년간 참여하였다.

본 DPH시스템은 본 학회지의 6월호 기술해설에 그 기본적 개념을 정리한바 있으며 본고에서는 본 시스템의 실시 예와 새로운 분야로의 전개에 대하여 좀 더 상세히 서술하고자한다.

2. DPH기술

DPH라는 것은 전자유도가열 기술과 증류기술을 기본으로 한 것으로서 그림 1과 2에서 나타낸바와 같이 증류탑에서 사용하는 규칙충진물을 개량하여 이것을 유도가열기술에서 발열체로 이용한 것이다.

발열체는 그림 3에 나타낸바와 같이 복잡한 구조를 한 SUS304계열의 스틸 등의 합금으로 두께가 1[mm] 이하의 박판의 금속판을 다수 적층하여 가열하고자하는 액체나 기체를 발열체 사이를 통과시킴으로서 순간적으로 가열되어 원하는 목표치의 온도를 얻을 수 있는 구조로서 실제 발열체의 구조는 그림 4와 같다.

이 발열체의 구조는 규칙충진물의 구조와 거의 동일한데 이것은 정치형 혼합기와 같은 원리라고 할 수 있다. 이러한 정치형 혼합기의 동작의 특징은 동력을 사용하지 않고 액체만을 흘려보냄으로서 혼합 가능하다는 것이다.

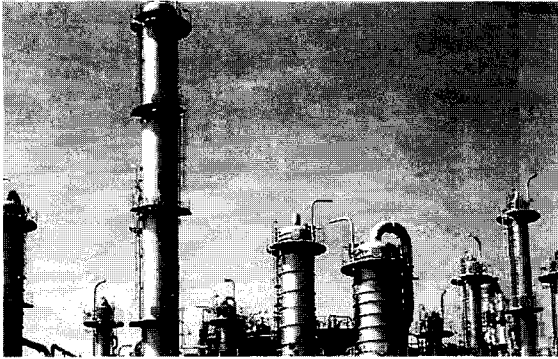


그림 1. 증류탑



그림 2. 증류탑에 사용되는 규칙충진물

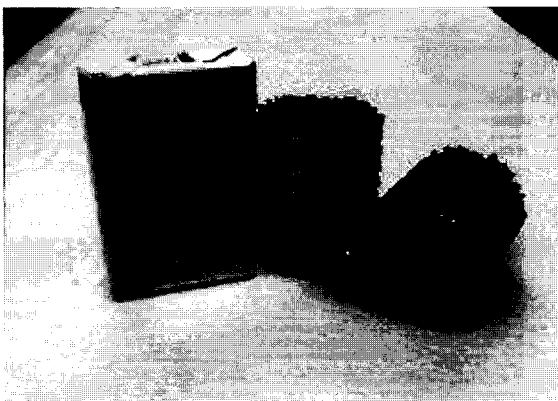


그림 3. DPH 발열체

예를 들면 한쪽방향에서 각각 백색과 적색 2가지의 액체를 흘려보내면 다른 한쪽의 출구 쪽에서는 이 두 가지색의 액이 완전하게 혼합된 상태의 핑크색이 될

것이다. 화학에서는 액체 및 기체 양쪽 모두를 고려하여 휘산(揮散), 방산(放散), 확산(擴散), 분산(分散) 등으로 표현하는데 증류탑은 이러한 혼합작용과 발열체의 넓은 표면적을 이용하여 원료 액을 효율적으로 반응 또는 분리시키는 것이다.

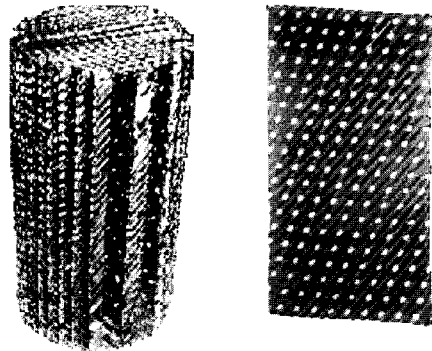
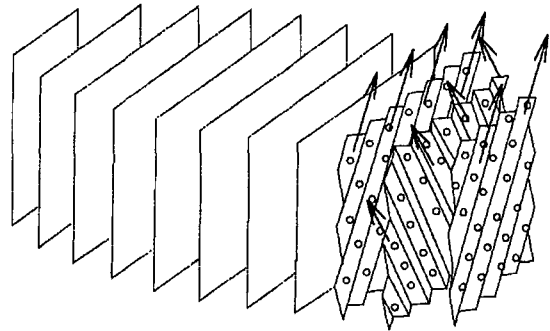


그림 4. 발열체의 구조

표면적의 크기에 대해 살펴보면 DPH시스템에서 사용되는 발열체는 직경 100[mm], 높이 200[mm]의 매우 작은 크기에 표면적이 22000[cm²]로 일반적 소재의 같은 크기의 원통형 타입(628[cm²])보다 35배의 표면적으로 그만큼 효율이 높다고 할 수 있다. 히터에 있어서 표면적이 크다는 것은 전열면적이 그만큼 크다는 것을 의미하며 결국 발열체의 표면 온도를 낮게 유지 가능하다는 것을 의미한다.

금속의 박판을 다수 적층함에 따라 적은 용적임에도 전열면적을 충분히 확보 가능하며 더욱이 금속판

자체가 자기(自己) 발열한다는 것으로 종래의 히터가 후라이팬을 가열하는 속도라면 DPH시스템은 알미늄 박판을 가열하는 것과 같다고 생각해도 좋을 것이다. 표 1은 DPH에 사용되는 발열체의 물리적 특성을 나타내며 표 2는 DPH와 종래기술인 시즈히터와의 특성을 비교한 것이다.

표 1. DPH발열체의 물리적 특성

직경	100mm
높이	200mm
체적	1570cc
공간율	90%
실공간	10%
표면적	22000cm ²
단위면적 당 공간	0.07cc/cm ²
재질	스테인레스
발열체 금속의 비열	0.11cal/g
발열체금속의 중량	1000g

표 2. DPH와 시즈히터의 특성비교

가열방식	단위	시즈히터	DPH
최고사용온도	도	260	500이상
전열방법		열매유	직접가열
총 전기용량	kW	14	14
발열용량	kcal	8170	11000
모터 출력	kW	3.8	/
냉각수		모터냉각용	/
총중량	kg	600	20
목표온도 도달시간		약1시간	30~40초
전열면적	cm ²	약4400	약22000

또한 이러한 금속박판 구조의 발열체는 높은 점도를 갖는 액체를 고효율로 가열 가능한데 이때 파이프 내에 발열체인 규척충진물과 피가열체(유체)가 동시에 존재하므로 이것을 DPH(Dual Packs Heater)

라고 부르게 되었으며, 이러한 타입의 DPH시스템은 현재 히터 유니트와 인버터, 온도조절기를 갖춘 제어반으로 구성되어 있는데 출력용량별로 3(kW), 5(kW), 15(kW), 20(kW)급으로 나누어볼 수 있다.

3. DPH의 전개

그림 5은 DPH 본체의 구성 및 시스템의 구성도를 나타낸 것이고, 그림 6는 기본적인 DPH 본체와 그 제어반을 나타낸 것으로, 제어반 내부기기는 고주파 직렬공진 전류형 인버터와 온도 조절기, 시퀀스 회로 등으로 구성된다.

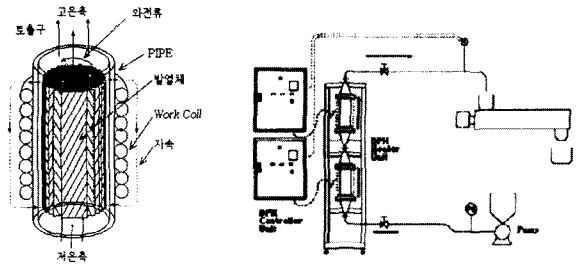


그림 5. DPH 구성 및 시스템 구성도

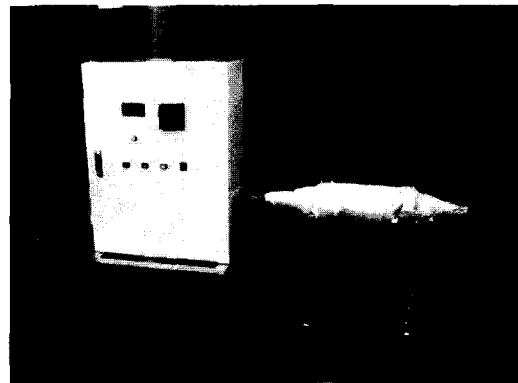


그림 6. DPH 기본형외관

그림 7은 실제 사용된 공진형 인버터회로장치 및

그 사양을 나타내는데 1차 측은 5(kW), 2차 측은 3(kW)로 정합 설계되어 DPH부하를 오토튜닝 PID 제어방식에 의해 동작이 가능하도록 구성된 시스템을 나타낸다. 표 2은 공진형 인버터를 이용한 DPH시스템의 사양을 나타내며, 그림 8는 DPH시스템의 정상 상태에서의 동작특성을 나타내는 것으로 직류형 직렬 공진 인버터의 출력이 정주파수의 위상차 Ψ 를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 가변시킴에 따라 연속적으로 시스템이 운전 가능함을 나타내고 있다.

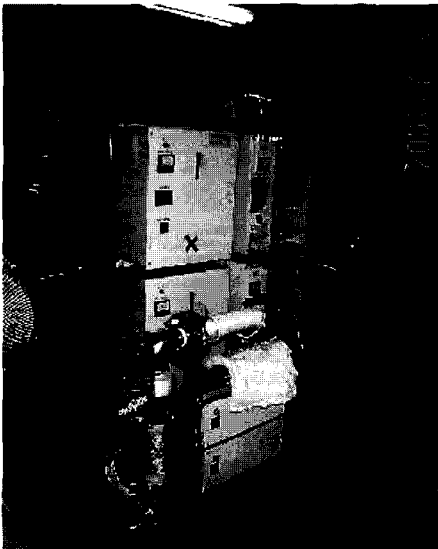


그림 7. DPH 시스템의 실험장치 및 사양

표 2. 직렬공진인버터의 사양

항목	단위	DPH
1차측용량	kW	5
2차측용량	kW	3
증발증기량	kg/hr	6.5이상
사용압력		상압
온도제어방식		2자유도PID제어
급수방식		직렬방식
사용전원		3상 220V
설비전력	kVA	8.5

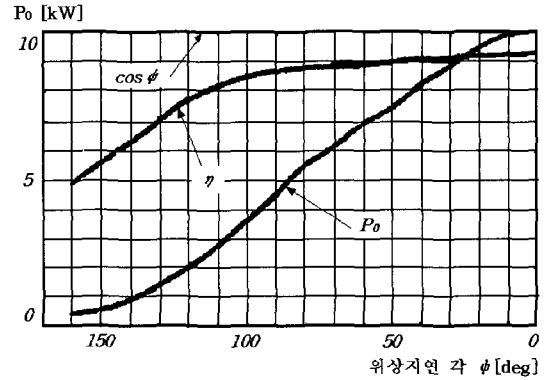


그림 8. 인버터유도가열기의 정상상태특성

본 시스템의 전력변환 효율은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$P_{OUT} = c \Delta T \frac{\Delta Q}{860} \times 1000[W] \quad (2)$$

- 여기서, $\cos\Psi(\times 0.1)$: Power factor
- $C \cong 1.0$ (Specific Heat)
- $\Delta T = T_2 - T_1$
- $\eta(\times 10\%)$: Power conversion efficiency
- P_{OUT} [kw] : output power,
- P_{IN} [kw] : input power
- T_1 : Vessel의 1차 검출온도,
- T_2 : Vessel의 2차 검출온도이다.

그림 9은 유체로서 공기를 사용하여 가열한 열풍발생장치의 경우 온도추종특성을 나타내는데 DPH시스템은 절연 파이프라인에 흐르는 기체는 공기만이 아닌 다양한 증발체의 급속 가열이 가능하며, 또한 발열부의 열용량이 작기 때문에 출구온도의 응답성 및 제어성이 우수하고 내부발열체가 단선 및 단락 되는 부

분이 없으므로 내열성이 뛰어나며 저압 고온의 온도 변화에 적합한 특성을 갖는다. 그림 10은 온도응답 특성 그래프로서 급격한 온도상승 및 하강에 대해서도 뛰어난 온도추종특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이처럼 본 DPH시스템은 온도특성이 뛰어나며 그림 6과 같은 단체(單體) 만으로도 충분히 고효율의 열 변환운전이 가능하다.

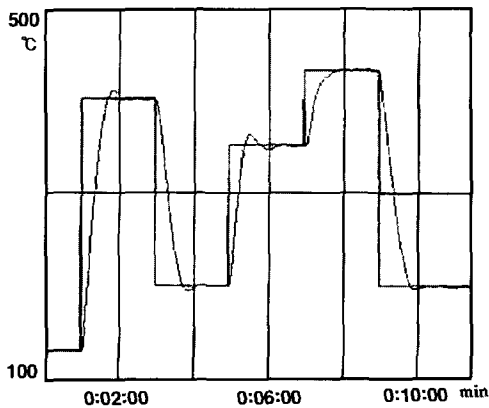


그림 9. DPH의 온도추종 특성

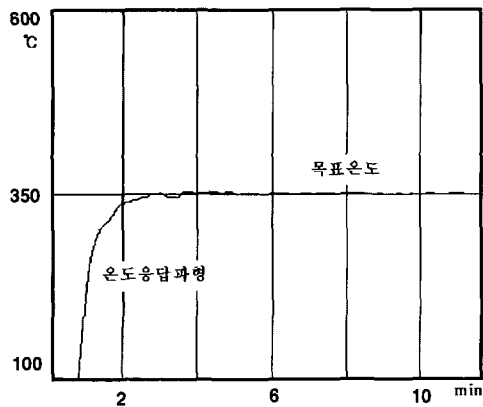


그림 10. DPH의 온도응답 특성

이하 DPH시스템의 이용 가능한 분야에 대하여 간략히 서술하기로 한다.

식품가공분야에서 DPH를 과열증기로 사용하여

보일러에서 증기를 일정한 품질로 만드는 증기보충기 계통과 식품을 운송하는 컨베어 시스템, 동력전기계통, 신호전기계통 등을 설계하여 전·후반부에 접속되는 타 기기메이커와의 연계를 취하고 있는데 식품업계는 특히 세정성이나 청결도의 문제 때문에 DPH시스템의 구조물 전체를 스테인레스로 구성하며 사용 온도, 컨베어 속도, DPH 출력을 수시로 기록하는 시스템이나 계측, 진단 시스템과 조합하는 경우도 있다.

한편 화학공정 등과 같은 곳에서는 수증기 이외에도 다양한 가스나 액체를 흘려보내는 경우가 대부분으로 가스는 결로 하지 않은 경우가 많기 때문에 수증기와 같은 드레인 대책을 세울 필요가 없는 반면, 내부식성(內腐蝕性) 등의 위험을 동반하는 경우가 대부분으로 프로젝트 설계팀과 공동작업 및 시스템설계를 진행해야 하며, 폭발을 방지하는 규격과 같은 일정 기준을 만족시키는 장치를 구성할 필요가 있는 플랜트도 있으므로 각별한 주의가 필요하다.

또한, 반도체방면은 고 순도의 가스 및 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 시스템의 구성도 가능하리라 판단된다.

이처럼 DPH시스템은 화학이나 반도체 분야에서의 반응온도를 정밀하게 제어가능한데 특히, 400 [°C]를 전후한 온도에서 ± 0.04 [°C] 정도의 고정밀 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 응용연구가 현재 진행되고 있다.

이처럼 DPH에 대한 각 업계마다 중요시하는 그 목적과 효과에 따른 각각의 기술분야는 서로 다르다

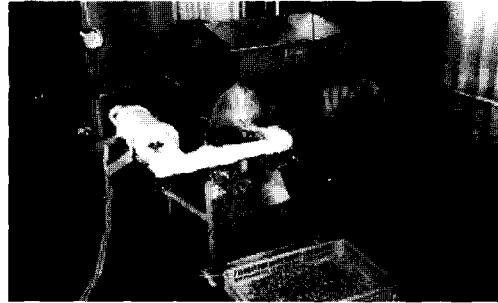
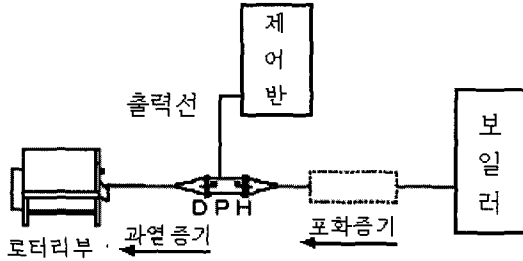


그림 11. 배전기와 그 가공예

고 할 수 있으나 기본적으로 DPH시스템 자체가 단순 구조를 하고 있으므로 산업계 거의 모든 분야에 폭넓게 응용 가능하다고 판단된다.

4. 식품가공에 사용되는 과열증기의 실시에

과열증기를 열처리에 이용하는 가장 큰 특징은 무산소(無酸素) 분위기에서 가열을 한다는 점이다. 가스나 시즈히터를 이용하여 가열할 경우에 공기 중에 존재하는 산소가 가열중의 식품에 접촉함으로써 식품의 지질(脂質)이나 향미(香味) 성분, 색소에 산화현상을 일으켜 지방질을 떨어뜨리고 향미 성분과 색소를 절감시키는 등과 같은 악영향을 미친다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 과열증기의 경우 이와 같은

악영향을 미치는 일 없이 지방질 산화 방지, 맛의 개선, 유통기간을 연장시키는 등 식품가공 면에 있어서 매우 큰 효과가 있다. 또한 DPH 구조와 가열방법이 수증기의 이온화를 촉진시키는 현상, 정확한 온도제어로서 열 가공 후의 재현성의 우수함과 가공식품의 유통기간 연장성 및 완전 살균이라는 뛰어난 효과를 지니고 있다.

그림 11은 식재(食材)생산에 사용되고있는 시간당 100[kg]을 생산할 수 있는 로터리식 DPH배전기를 나타낸다.

DPH에 있어서 과열증기의 이용방법에 대해서는 초기에는 단순히 과열증기를 식재의 가열에 사용하는 정도의 장치에 불과하였으나 현재는 용도에 따른 이용방법에 까지 검토가 완료된 상태로 과열증기로서

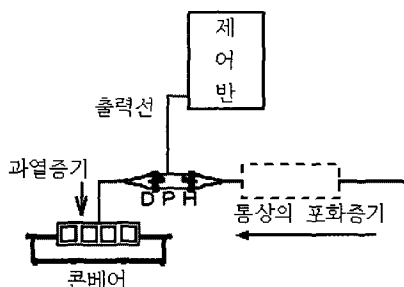


그림 12. 폭 600(mm), 길이 5(m)의 컨베어시스템

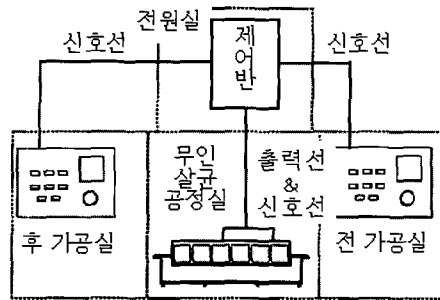


그림 13. 폭 300(mm), 길이 4(m)의 컨베이어시스템

혼제가공모드, 가열가공모드, 살균모드 등으로 사용할 수 있게 되었다.

그림 12는 실제 폭 600(mm), 길이 5(m)인 컨베이어시스템으로 20(kW)급 DPH 2대를 탑재한 것이며, 그림 13은 실제 폭 300(mm), 길이 4(m)인 컨베이어시스템으로 20(kW)급 DPH를 1대 탑재하고 있으며 이러한 컨베이어식 DPH시스템은 현재 6종류로 용도에 따라 새로운 모델로 발전할 가능성이 충분하다.

5. 식품 이외의 DPH사용분야

DPH시스템을 식품가공분야에서는 혼제, 가열, 살균 및 건조모드 등의 표현을 사용하였지만 공업분야에서는 「열적 조작」, 「기계적 조작」, 「확산적 조작」이라는 표현을 사용하여 구분설명하기로 한다. 이것은 DPH가 단순히 과열증기를 발생시키는 장치만이 아닌 현재 식품업계로부터 화학분야, 열 변환관련분야 및 반도체 관련분야(세정 및 핫척)등에 새롭게 도입될 단계에 와 있는 것으로 종래의 시스템을 크게 변혁시킬 수 있는 전혀 새로운 기술이라고 말할 수 있다.

5.1 화학플랜트

5.1.1 열적조작

증류탑에서는 조작온도 150(°C)정도 이상부터는

보일러의 증기압을 높여 운전하는 대형설비의 경우 열매 유 히터를 이용하여 가열시키는 경우가 있는데 이에 반하여 DPH는 열매 유를 가열시키는 방법과 직접 원액을 가열시키는 방법 즉, 증기로 분류(유분 분리유출/油分分離油出)하여 캐리어 가스에 수증기 등을 사용하는 경우 온도의 제어성을 중시하게되는데 이러한 특수한 증류조작 시 600(°C) 내외인 가열시스템이 특히 효과가 있다.

5.1.2 기계적 조작

가열반응기에서 교반시 가열과정에서 점도가 높은 종류의 오일계의 원액을 흘려보내 가열, 반응을 시키고 있는데 이때의 점도는 상당히 높다. 통상적으로는 점성이 높은 액체는 교반이 어렵고 균일하게 열을 전달시키기가 매우 곤란하여 부분가열방식을 취하게 되고, 이때 제품의 균일성 문제가 대두되는데 DPH를 사용하여 이와 같은 문제를 해결할 수 있다.

5.1.3 확산적 조작

DPH에 사용되는 적층충진물(GTL 기술의 근원에 있는 촉매 반응기)은 체적 당 표면적이 매우 크고 뛰어난 믹싱 성능효과를 가지고 있는데 그림 14은 촉매용 발열체의 확대부를 나타낸 것으로 실제 발열체에 형성된 홀과 홀 사이의 간격은 10[mm]이다.

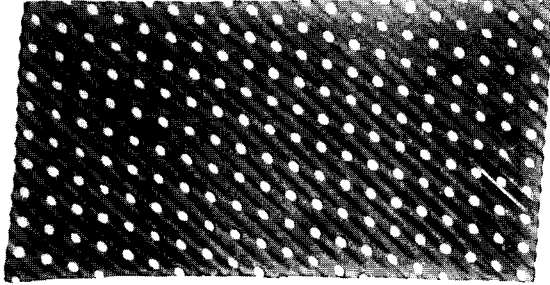


그림 14. 촉매용 발열체

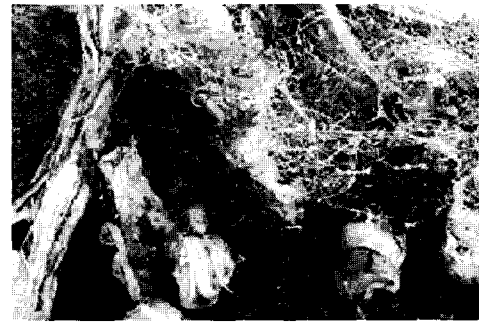
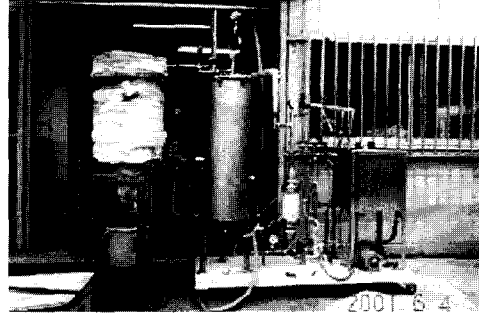


그림 16. DPH 소각로와 처리된 Pet병

5.2 전자·일반 공업, 반도체 제조장치

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

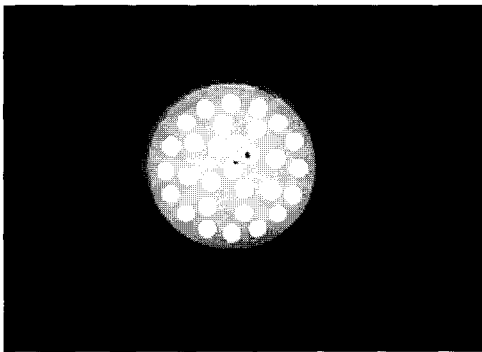


그림 15. 고온에서의 금속가공

어닐링로에 사용되는 시간에 대한 온도 배분이 필요한 분위기온도제어 프로세스인 경우 DPH의 빠른 온도상승 및 하강과 정밀한 온도 제어성을 이용할 수 있다. 이러한 과정에는 불활성가스 이외에 무 산소 분위기가스로 수증기가스가 사용 가능한데 이는 낮은 온도에서의 응용분야인 식품가공 분야에서는 과열수증기가 그대로 사용되지만 전자업계에서는 용존산소분(溶存酸素分)이 검출되므로 탈기기술을 병용할 필요가 있다.

그림 15, 16은 무 산소 가열기술에 관한 것으로 고온의 무 산소 과열증기를 사용하여 산소가 없는 고온의 분위기를 만들어내어 산화의 과정이 없이 공정을 진행하는데 이는 금속가공과 수지의 용해 및 성형에 이용할 수 있다. 원래 가스는 수증기뿐만이 아닌 다른 불활성 가스에서도 무 산소의 상태를 만들 수 있지만 과열수증기를 이용하는 편이 시스템의 간단화, 원가절감 및 제어의 우수성에 크게 기여할 것으로 판단된다.

5.3 기 타

그 외의 DPH기술의 응용으로 승화기술을 들 수 있는데 승화대상물은 정밀한 온도제어를 필요로 하게 된다.

그림 17은 연구개발실용을 목적으로 한 DPH를 나타낸 것으로 본체 내부에는 2대의 인버터가 탑재되어 있으며 소형 보일러부(1차 가열부 : 5~20(kW))와 슈퍼 히터부(2차 가열부 : 5~15(kW))로 각각 구성되어 있으며 현재 용량별로 8종류의 모델이 구비되어있다.

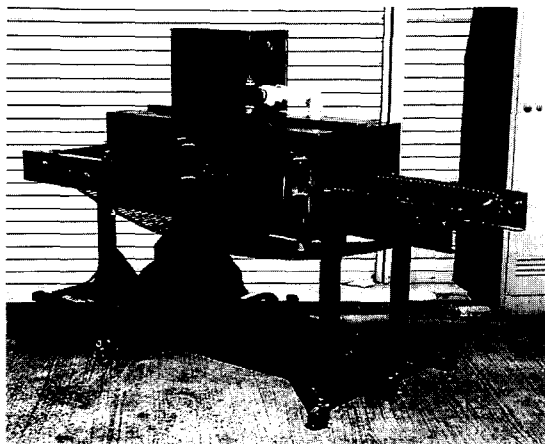
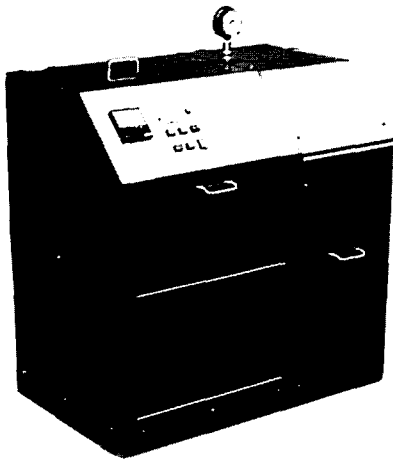


그림 17. 일체형 및 조합용 DPH시스템



그림 18. 전선의 탄화분해 및 수지(樹脂)의 고온반응



그림 19. 촉매반응

그림 18은 반응 및 분해기술에 관한 것으로 무 산소상태의 과열수증기 중에서 산화현상이 일어나지 않고 반응분해가 이루어진 결과물(전선의 탄화분해 및 수지(樹脂)의 고온반응)을 나타낸 것이다.

그림 19는 촉매반응에 관한 도면으로서 일반적으로 DPH에 사용되는 내부의 금속 발열체는 박판의 스

텐레스를 사용하는데 이때 촉매를 이용하거나 또는 촉매금속으로 발열체를 제조하여 고효율로 정확한 반응온도로 촉매반응을 일으킬 수 있다.

그림 20은 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 분말상태로 만든 수소흡착합금을 용기에 충전하여 가열시킴으로서 기존의(투입전력량에 따라 다르지만) 수십분의 1의속도(몇분 단위를 무리 없이 몇초 단위로 온도를 올리는 것이 가능하다. 이처럼 수소를 급속하게 방출시키는 기술에 의해 냉각기술, 수소저장, 수소순도개선 등과 같은 분야에 DPH기술이 광범위하게 응용될 수 있을 것이다.

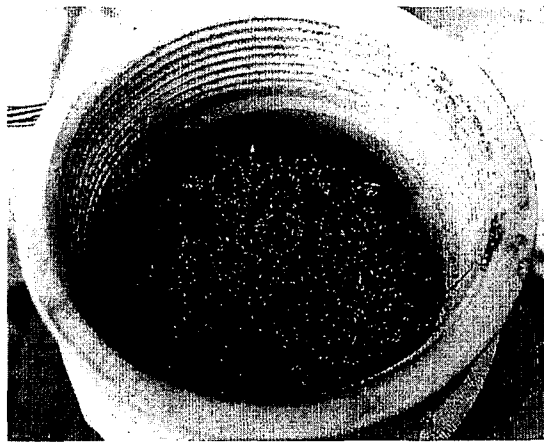


그림 20. 수소흡착합금

6. 결 론

종래의 사고를 벗어난 전혀 새로운 발상의 전환 하에서 만들어진 고효율의 가열장치로 그 응용분야가 매우 광범위한 이러한 전자유도가열의 유효성은 인지도가 매우 높아져 산업설비에서부터 현재 가정용 전

자조리기로 대표되는 IH(Induction Heating)기술은 일반 가정에 보급되어 생활환경을 크게 개선시키기도 하였다.

한편 DPH 기술이란 「종래의 유도가열기술」과 「종래의 화학공학」을 융합시킨 「새로운 가열방법」을 실현시키는 기술이라고 할 수 있으며, 이러한 가열기술을 널리 확산보급하기 위해서는 반듯이 DPH시스템을 사용하고자하는 업계에 적합한 리엔지니어링이 필요할 것이며 단순히 종래의 히터시스템과 교체한다는 발상만으로는 본 DPH시스템의 가치를 최대한 활용할 수는 없을 것이다.

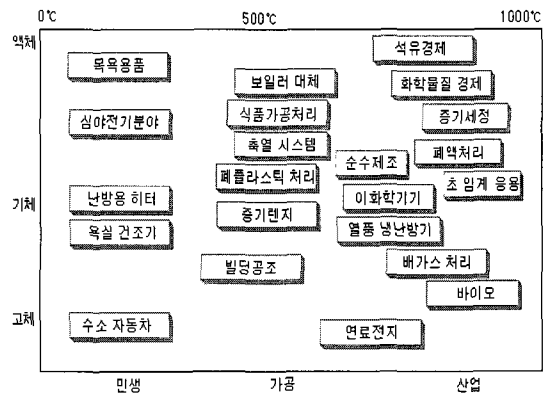


그림 21. DPH 시스템의 응용범위

표 3. DPH 시스템의 초고온 영역에서의 응용

용도 목적	처 리 내 용	온도영역(°C)
탈취	악취가스성분의 산화분해에 의한 탈취	650~800
탈 염소화	염소를 함유한 물질의 무해화, 재자원화	500~900
HACCP 대책	재생관리기준에 준한 과일수증기를 이용한 살균	150~500
탄화	RDF의 이용화, 액 회수 등	500~900
폐기물 처리	각종 폐기물의 건조, 탄화, 감용화	500~900
白煙(mist) 제거	H2+CO의 분해, 백연 제거	650~800
흑연(黑煙) 제거	매연, 가연성 입상물질을 포함한 흑연 제거	750~1100

마지막으로 DPH시스템이 응용 가능한 분야를 정리하면 그림 21과 같으며 상온에서 1000(°C)까지의 열원을 사용하는 전 산업에 크게 이용 가능할 것이며, 특히 표 3에 초고온 영역에서의 응용(산화분해/酸化分解, 탄화/炭化, 환원분해/還元分解, 건조/乾燥, 세정/洗淨 & 살균/殺菌)에 대하여 온도영역에 따른 목적과 그 처리내용을 요약하였다.

- 2001.
- [7] 김용주, 신대철, 김기환, "전압형 고주파 인버터를 이용한 간접유도가열 열유체 Energy system과 그 성능평가", 전력전자학회 논문지 제7권 제1호, pp. 48-54, 2002년 2월
- [8] 김용주, 이용엽, 박정민, "유도가열에 의한 DPH 기술의 응용", 조명·전기설비학회지 기술해설, Vol.16, No. 3, pp.54-61, 2002년 6월.

참 고 문 헌

- [1] 内堀, 川村, 金龍柱, 中岡, "オートチューニング PID制御インバータによるデュアルパック構造形電子誘導器液加熱システム, (電氣關係學會關西支部聯合大會GS-1, 1994年11月)
- [2] Y. Uchihori, Y. Kawamura, Y. J. Kim and M. Nakaoka, "New Induction Heated Fluid Energy Conversion Processing Appliance incorporating Auto tuning PID control based PWM Resonant IGBT Inverter with Sensorless Power Factor Correction", (Proceedings of the IEEE Power Electronics Specialist Conference, pp. 1191-1197, 1995. June)
- [3] 内堀, 中岡他, "電磁誘導加熱方式デュアルパックヒータとその應用", エレクトロヒータ, 日本電熱協會, No98, pp. 52-56, 1998
- [4] 内堀他, "デュアルパック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
- [5] 内堀, 井尻他, "DPHを用いた常壓・高温蒸氣による食品の殺菌について", 食品機械装置, ビジネスセンター社, 2000年 12月
- [6] 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.

◇ 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.