

DPH용 고주파 공진형 인버터시스템

신대철 · 권역민 <호서대학교 교수, 호서대학교 대학원 박사과정>

1 서 론

최신의 고주파 전력용 반도체 소자(IGBT, MOS FET 및 SIT)를 응용하여 고주파 스위칭 제어동작을 행하는 전력변환장치 및 각종 응용시스템에 관련된 제어장치에 관한 일반 이론과 실제의 각종 응용에 연관되는 기술분야로서 고주파 P.E(Power Electronics)기술은 최근 고주파 전력용 반도체소자 및 관련되는 부품기술의 진보에 힘입어 전기설비 및 가정용 전기기기에 널리 사용되고 있다.

종래의 전력변환장치는 하드스위칭방식으로 장치의 대형화 및 효율문제로 인하여 미국과 일본을 중심으로 10여년 전부터 전력변환 시스템의 고주파화가 추진되기 시작하여 현재 전력변환장치에 있어서 동작 주파수가 가청주파수대인 20[kHz] 이상에서 동작 가능한 시스템이 속속 출현하고 있다.

특히, 유도가열기술분야에 있어서 전자(電磁)유도가열 발열체와 유체이동과의 새로운 열 교환 방식은 파이프라인 시스템에 있어서 여러 가지의 기체, 액체 및 증발체 등을 상온에서 초고온에 이르기까지 고정도의 가열을 가능하게 하는 전혀 새로운 방법으로 일체의 연소과정이 없다는 점에서 작업환경의 개선 및 온도제어 신뢰성에 뛰어난 특성을 보이는 전자유도 유체가열기술은 IGBT대응의 고주파 인버터를 사용

함으로써 고성능 및 고효율의 시스템화가 가능하여 고주파 P.E의 새로운 분야로 주목받고 있다.

본고에서는 주파수 범위가 20[kHz]에서 50[kHz]인 전류형 직렬공진 고주파 인버터를 이용하여 열 기체를 발생시키는 일반 상용전원에 적용할 수 있는 소형의 간접 유도가열시스템 및 알미늄박판 가열시스템에 대하여 논하고자 한다.

2. 유도가열시스템

2.1. 유도가열의 원리

유도가열의 원리는 패러데이-렌쯔의 전자기 유도현상으로 그림 1과 같이 유도코일에 교류를 공급해주면 패러데이-렌쯔의 전자기 유도현상에 의하여 피가열물체에 $e = -N \frac{d\phi}{dt}$ 의 유기기전력이 발생되어 피가열물체에 와전류가 흐르게 되는데 이 와전류는 표피효과에 의하여 피가열물체에 분포하게 되고, 피가열물체에서는 이 와전류와 저항에 의하여 $P = I^2 R$ 의 전력크기 만큼 열을 발생하게 된다. 따라서 피가열물체는 이 열에 의하여 가열이 되는 것이다.

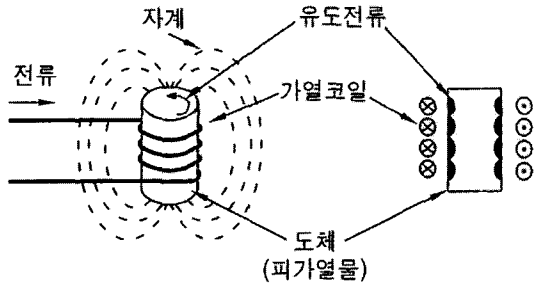


그림 1. 유도가열의 원리

2.2. 유도가열 시스템의 구조

그림 2에 나타낸 유도가열시스템의 구조는 절연 파이프내의 가열용기 내부에 특수발열체인 적층형 규칙 충전물을 워크 코일로부터 전자유도에 의해 와전류로 발열시켜 절연파이프 용기에 물이나 공기 등의 이동 유체를 전자유도 발열체인 적층형 규칙충진물에 접촉 시킴에 따라 작은 비열의 규칙충진물을 급속가열 가능하게 하는 유체가열 시스템의 구조를 나타낸다.

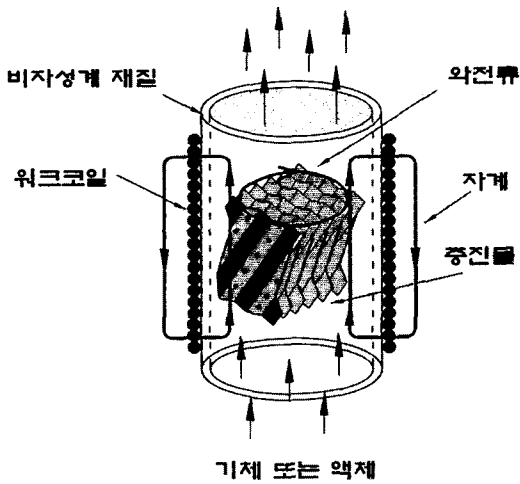


그림 2. 유도가열시스템 구조

그림 3은 발열체로서 특수하게 설계된 적층형 규칙 충전발열체를 나타내는데 이 발열체는 금속선이 아닌

금속박판을 이용하기 때문에 고온 가열시 단선, 단락 및 전기절연 성능이 뛰어나며 열 용량이 작은 발열부의 구성이 가능하고 유체 통과저항이 극히 작아 출력부의 온도응답특성이 빠르며 정밀 온도제어가 가능하다는 종래의 유체가열장치에서 얻을 수 없었던 뛰어난 특성을 갖는다.

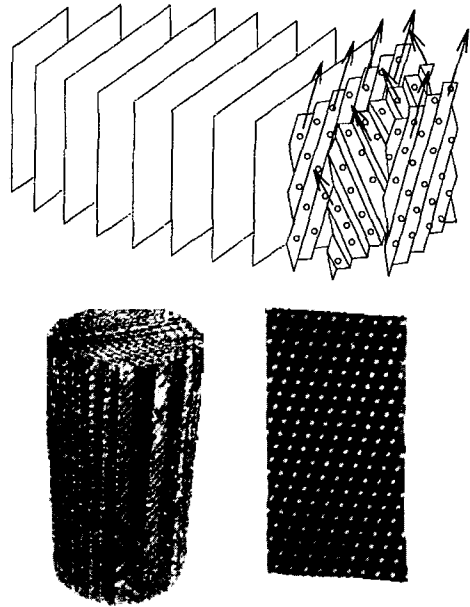


그림 3. 충전발열체

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

으며 그 물리적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 발열체 물리적 특성

직 경	100mm
높 이	200mm
체 적	1570cc
공 간 율	90%
실 공 간	10%
표 면 적	22000cm ²
단위면적당 공간	0.07cc/cm ²
재 질	스테인레스
발열체금속의 비열	0.11cal/g
발열체금속의 중량	1000g

3. 유도가열용 고주파 공진형 인버터와 실험 결과

그림 4와 그림 5는 고주파인버터로서 하프브릿지 와 풀브릿지 전류형 직렬부하 공진형 인버터를 나타 내는데 이것은 절연파이프의 두께, 내부의 적층형 규 칩 충전발열체의 소재 그리고 가열 유체계에 의해 변 화하는 인덕턴스와 저항분으로 구성되는 전기회로 모 델로 볼 수 있다.

실제로 워킹코일과 피가열 물체계의 사이에 정합 트랜스가 사용되는데 R-L부하와 L을 보상하는 C로 부터 직렬공진 회로계를 위한 고효율 운전을 위하여 인버터의 동작 주파수 선정이 매우 중요하다.

이는 R-L회로에 직렬보상 C를 사용하여 R-L-C 직렬부하 공진회로 부하계를 구성하는데 발열체를 극 한정도까지 가열하지 않으면 전기회로 정수는 거의 변화하지 않기 때문에 R-L회로계로 볼 수 있으므로 직렬부하보상 콘덴서 C는 R-L부하계의 L을 보상하 는 최적동조조건 하에서 사용 가능하다.

R-L부하계의 R이 IGBT의 도통저항에 비해 비교 적 큰 경우에는 직렬공진 회로가, R-L부하계의 R이

IGBT의 도통저항에 비해 작은 경우에는 직렬 인덕턴 스를 갖는 병렬공진회로가 효율적 측면에서 유리하다 고 할 수 있다.

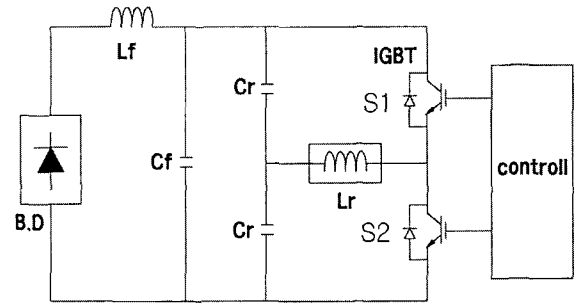


그림 4. 하프브릿지 공진형 인버터

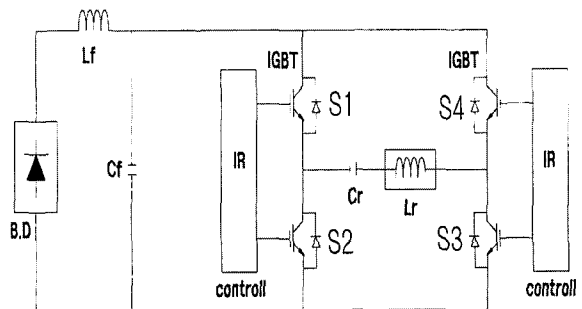


그림 5. 풀브릿지 공진형 인버터

그림 6은 전류형 직렬공진 스위칭펄스 패턴을 나타 낸 것이다.

스위치 S1과 S3가 동시에 on, off되고 스위치 S2와 S4는 S1, S3와 180° 위상차를 두고 동시에 on, off된다.

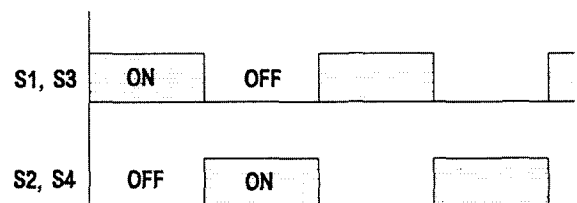


그림 6. 전압형 직렬공진 스위칭패턴

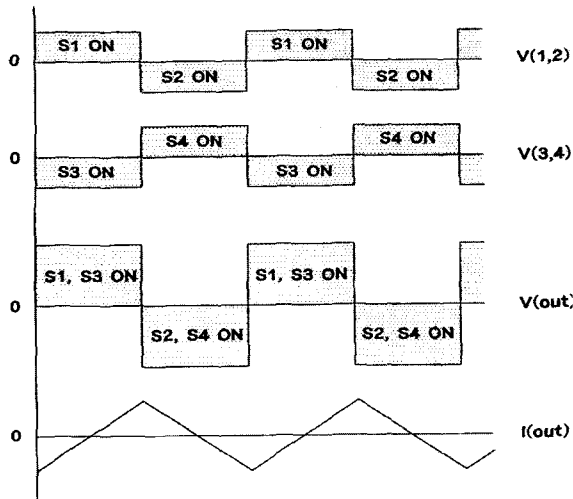


그림 7. 정상상태에서 각부 파형

단상 풀브릿지 인버터의 실제 회로구성은 서로 독립적으로 스위칭을 할 수 있는 2개의 폴로 이루어지며, 각 폴의 구성과 동작은 단상 하프브릿지 인버터에 서와 같다.

그림 7은 각 폴의 폴전압이 구형파이고 두 폴전압이 180° 위상차가 되도록 제어할 때, 인덕터 L을 부하로 갖는 단상 풀브릿지 인버터의 각부 파형을 나타낸다. 이때 인버터의 출력전압 V(out)은 그림7과 같이 크기가 V(DC)인 구형파가 된다.

인덕터 L에 구형파의 전압이 인가되면 부하전류 I(out)은 $V(out)=V(DC)$ 인 동안은 증가하고 $V(out)=-V(DC)$ 인 동안은 감소하게된다.

본 실험에서 사용한 IGBT는 후지(주)의 IMBH 65D-090A제품으로 내압이 900[V], 65[A]이다. 또한 1차측의 파라메타로 용량이 0.1[μF]인 여러개의 콘덴서를 사용하였으며, 코일 값인 인덕턴스는 100[μH]~350[μH]의 값으로 가변 조정하였다.

공진 콘덴서는 주파수 특성이 좋은 폴리프로필렌계 열을 주로 사용하지만 리플전류를 고려해서 적절한 용량의 것을 선정 사용하였으며, 브리지 다이오드 후

단에 사용되는 LC필터는 상용주파수의 전원 측에서 보면 복잡한 액티브 PWM제어를 행하지 않고 고효율 특히 선 전류의 정현파화의 기능을 갖도록 설계하는데 소형화로 구성된 시스템의 특성상 120Hz 리플성분을 그대로 통과시키도록 작은 용량의 필터를 선정하였다. 또한 필터선정시 역률 제어특성을 고려하여 통상 LC필터로 사용되는 인덕턴스는 수백 [μH], 콘덴서는 수 [μF]정도의 용량을 사용하였다.

이상의 조건하에서 설계된 하프브리지와 풀브리지의 입력/출력관계를 살펴보면 다음의 표 1과 같다.

표 1. 하프브리지와 풀브리지의 입,출력 특성

(IGBT: 900V/65A, C: 다수의 0.1 μF (직/병렬연결), 부하 L: 100 μH , 350 μH)

	입력			출력			
	V	A	KW	V	A	KW	kHz
하프브릿지	220	8	18.6	400	16	6.4	23
풀브릿지	110	8	0.9	200	16	3.2	23

그림 8은 60Hz 입력의 상용전원 파형을 나타낸 것이며 그림 9와 그림 10은 하프브리지와 풀브리지인버터의 Pspice 시뮬레이션에 의한 출력전압 및 전류 파형과 실측 파형을 비교한 것이며, 그림 11은 본 실험에 사용한 단상 하프브리지 및 풀브리지 공진형 인버터 실험장치이다.

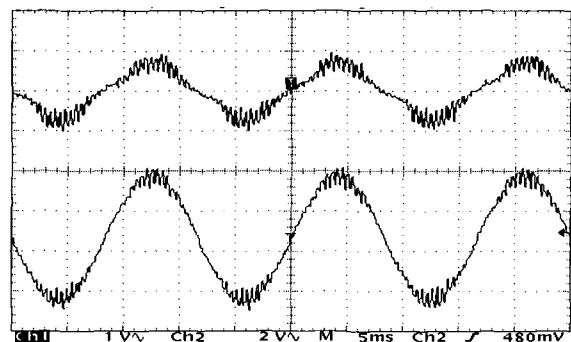
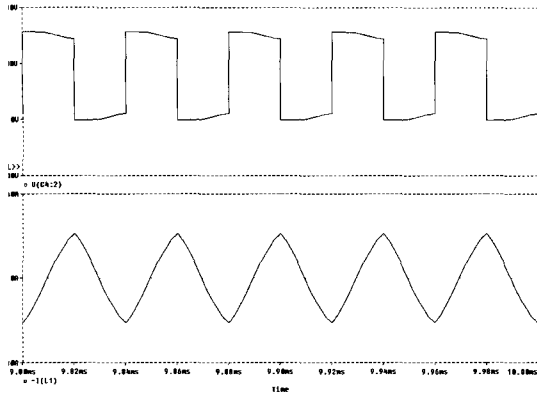
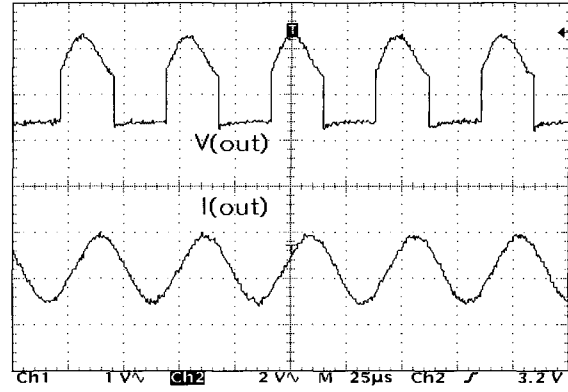


그림 8. 입력전압 및 전류 파형

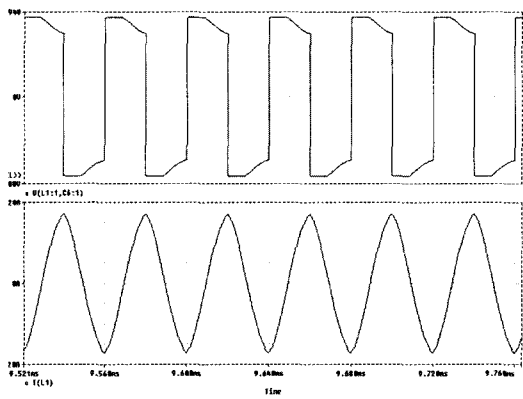


(a) 하프브리지의 시뮬레이션 파형

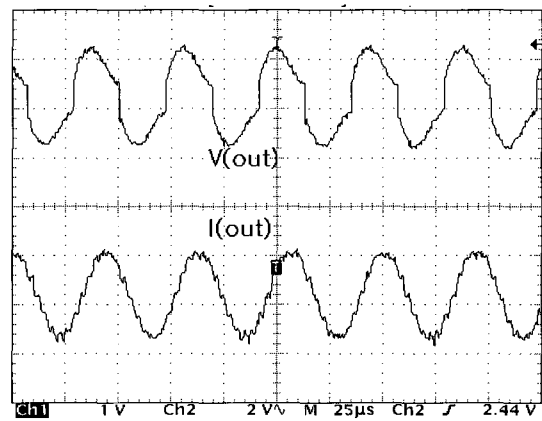


(b) 하프브리지의 실측 파형

그림 9. 시뮬레이션 파형과 실측 파형(하프브리지)



(a) 풀브리지의 시뮬레이션 파형



(b) 풀브리지의 실측 파형

그림 10. 시뮬레이션 파형과 실측 파형(풀브리지)

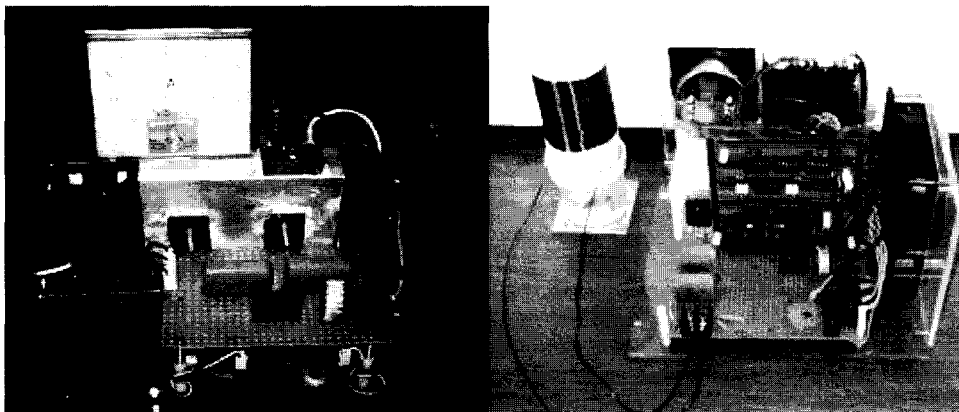


그림 11. 단상 하프브리지 및 풀브리지 공진형 인버터 실험장치

3. 결 론

유도가열에 의한 유체가열방식은 절연체 용기 내에 특수 스텐레스 합금의 박판 적층형 규칙 충전발열체를 수납하여 용기 외부의 고주파 공진형인버터 접속의 워킹코일로부터 비접촉 상태로 전자유도 와전류를 구조체에 흘림으로서 발열하게 된다. 이러한 전자유도가열시스템은 열교환 효율이 높고 고정도의 온도제어와 순시가열이 가능한데 본 시스템 장치는 비접촉이므로 히터의 신뢰성이 높으며 스케일 부착에 따른 유체품질의 저하가 없으며 시스템전체를 소형화 할 수 있는 특징을 가지고 있다.

이러한 유도가열 방식이 연소에 의한 종래의 발열 방식과 비교하여 가열효율이 높아 경제적이고, 온도에 대한 신속한 응답성으로 인하여 시스템의 Warming Up 등에 수반되는 열 손실을 줄일 수 있으며, 출력온도 제어의 용이성 및 안전성이 뛰어나며, 배출가스 등의 오염 물질의 발생이 없어 위생적이며 청결하다는 우수한 장점을 갖는다고 할 수 있다.

앞으로 고주파 공진형 인버터의 스위칭손실 및 노이즈 대책, 회로방식의 고성능화에 따른 보호회로 설계에 대한 연구가 계속 필요하며, 특히 유체 가열부의 새로운 구조의 제안과 그 열 교환효과에 대해 보다 체계적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

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ルクス構造形電子誘導器液加熱システム", 平成6年電氣關係學會完済支部聯合大會 GS-1, 1994年 11月.
- [2] 石間, "誘導加熱用インバータの新型マッチング技術", 鳥田理化技報, vol. 3, No. 1, pp. 29~31, 1993年 1月.

- [3] Y J KIM, D C SHIN, "Soft-Switched PWM DC-DC Converter with Quasi Resonant-Poles and Parasitic Resonant Components of High-Voltage Transformer", 전력전자학회 논문지, vol. 4, No. 4, pp. 384~395, 1999년 8월.
- [4] 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-PESC, pp. 1191~1197, 1995, June.
- [5] 金龍柱, 中岡, 陸雄, "部分共振高周波負荷共振PWM Inverterを使用した小型電子ボイラ應用", 日本電氣學會全國大會, pp. 4~124, 1999年 3月.
- [6] 김용주, 김기환, 신대철, "직렬공진 PWM인버터를 이용한 전자간,접유도가열 열유체 에너지시스템과 그 성능평가", 전력전자학회 논문집, 2002년 2월.
- [7] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학", pp. 361~370, 2002년 1월.

◇ 저 자 소 개 ◇

신 대 철(申大徹)

1973년 건국대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원(공학박사). 1989~1990년 나가사키대학 visiting scholar. 1989년~현재 호서대 전기공학과 교수.

권 혁 민(權赫敏)

1999년 호서대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 동 대학원 박사과정.