

# 3상 다이오드 정류기와 벡 컨버터를 사용한 고역률 유도가열 전원장치

이창우\*, 최승수\*, 김인동\*, 정장한\*\*, 서동환\*\*  
 부경대학교 전기공학과\*, (주)가온\*\*

## Design of high power factor induction heating system with 3 phase diode rectifier and buck converter

Chang Woo Lee, Seung Soo Choi\*, In Dong Kim\*, Jang Han Jung\*\*, Dong Hoan Seo\*\*  
 Pukyong National University\*, Gaon Co., LTD.\*\*

### ABSTRACT

유도가열은 전자기 유도현상을 이용하여 금속체를 직접 가열하는 방식이므로 높은 변환 효율로 전기에너지를 열에너지로 변환시킬 수 있다. 현재 널리 사용되고 있는 단조용 유도 가열 전원 장치는 주로 위상제어 정류기를 이용한다. 하지만 입력단의 저 역률 및 입력전류 THD가 높은 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위한 3상 다이오드 정류기와 벡 컨버터를 사용한 고 역률 유도가열 전원 장치를 제안한다.

그림 2는 기존의 단조용 유도가열 장치에 널리 사용되는 전력 회로도이다. 하지만 기존의 전원장치는 직류전원을 얻기 위해 위상제어 정류기(Phase controlled rectifier)를 사용하며, 이로 인해 부하와 전원 변동에 따라 전원에서 본 입력 역률이 가변 할 뿐만 아니라 현저히 낮으므로 전기료에서 역률 할증금을 내야 하는 큰 단점을 지니고 있다. 또한 전원에서의 전류 파형이 구형파이므로 인해 큰 THD 특성을 지니며 유도장해 현상을 발생시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 위에서 언급한 기존 방식의 단점들을 해결하는, 즉 부하변동에 관계없이 높은 역률값을 가지며, 전원 전류 파형이 정현파와 유사한 낮은 THD 전원 전류를 가지는 새로운 단조용 고역률 고효율 대전력 유도가열 전원장치에 대해 연구하고자 한다.

### 1. 서 론



그림 1 유도가열의 원리

유도가열은 그림 1과 같이 전자기 유도현상을 이용하여 금속체를 직접 가열하는 방식이므로 높은 변환 효율로 전기에너지를 열에너지로 변환시킬 수 있다. 즉 열전달 매질을 이용하지 않고 많은 양의 에너지를 짧은 시간에 피가열체에 투입 가능하므로 큰 용량의 피가열체를 금속 가열할 수 있다. 이로 인해 철강산업과 기계산업의 발달과 더불어 금속의 단조, 용해, 표면경화, 풀림 등 주요 응용분야에 널리 사용되고 있다.

특히 단조분야에 있어서 유도가열 장치는 금속가열을 통해 생산성을 향상시키며, 화석연료대신 전기에너지를 사용하므로 공해문제를 해결하며, 장치의 디지털화 및 정밀제어로 인해 품질관리가 용이하다. 이로 인해 현재 널리 사용되고 있는 단조용 유도가열 전원장치는 그림 2와 같은 SCR과 같은 전력반도체를 사용한 전원장치로 병렬공진회로 방식을 압도적으로 많이 채택하고 있다. 하지만 이와 같은 전원장치는 입력단의 저 역률 및 입력전류 THD가 높은 단점을 가진다. 이러한 단점을 보완하기 위해 3상 다이오드 정류기와 벡 컨버터를 사용한 고 역률 유도가열 전원 장치를 제안한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 기존의 단조용 유도가열 전원장치

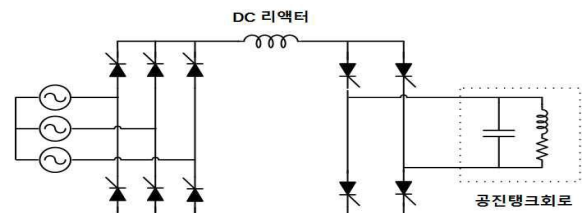


그림 2 기존의 단조용 유도가열 전원장치

#### 2.2 새로운 단조용 고효율 대전력 유도가열 전원장치

그림 3은 본 논문에서 연구하는 새로운 단조용 고효율 대전력 유도가열 전원장치의 회로도이다. 제안하는 회로는 다이오드 정류기 + 초퍼 + IGBT 인버터로 구성된 회로이다. 정류기의 출력전류를 조절하기 위해 위상제어를 사용하는 SCR과 달리 초퍼를 이용하여 출력전류를 제어하므로 제어가 간단할 뿐만 아니라 위상제어 정류기에 비해 입력 역률이 높은 특성을 가진다. 또한 입력 전류의 THD개선을 위하여 적절한 입력 필터를 추가하여 출력이 가변되는 경우에도 비교적 일정한 역률을 유지할 수 있다.

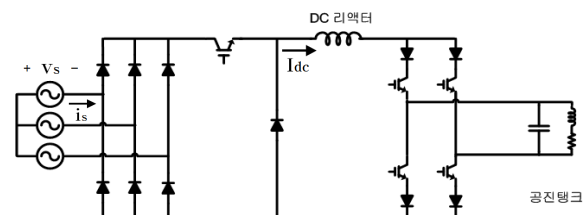


그림 3 새로운 단조용 유도가열 전원장치

## 2. 3 시뮬레이션

표 1 시뮬레이션 사양그림 3 새로운 단조용 유도가열 전원 장치

사양 항목	상세 규격
입력전압( $V_{S\ line}$ )	440 [Vrms]
출력 전류	200 ~ 320 [A]
입력 주파수 ( $f_s$ )	60 [Hz]
공진 주파수 ( $f_0$ )	4 [kHz]
컨버터 스위칭 주파수 ( $f_{conv}$ )	5 [kHz]

표 1은 그림 2와 그림 3의 토폴로지 특성을 비교하기 위한 시뮬레이션 사양을 나타낸다. 컨버터 스위칭 주파수는 벽컨버터의 스위칭 주파수를 나타내며 출력변동에 따른 비교를 하기 위하여 위상제어 정류기의 지연각을 0~50°로 변경하였고, 다이오드 정류기의 초과 듀티는 0.64~1로 조절하여 동일한 출력값을 가질 때의 파형을 비교하였다.

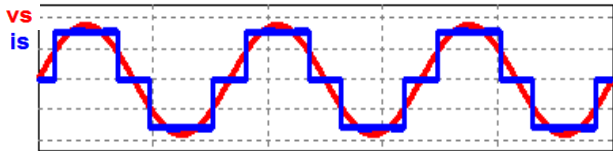
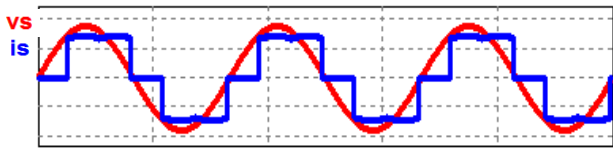
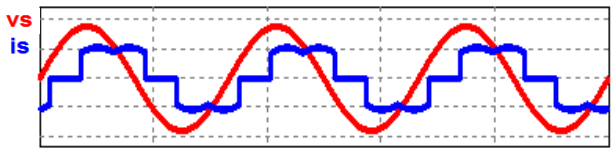


그림 4 최대 출력 시 전압 전류 파형(빨강:  $v_s$ , 파랑:  $i_s$ )

그림 4는 최대 출력 시 입력단의 전압 전류 파형을 나타낸다. 위상제어 정류기의 지연각이 0°이며 다이오드 정류기 초과 듀티가 1이므로 동일한 파형이 나타난다.

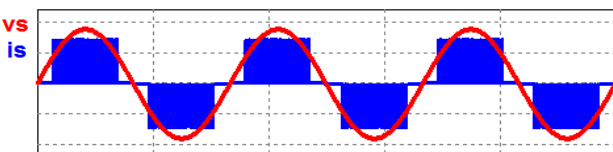


(a)

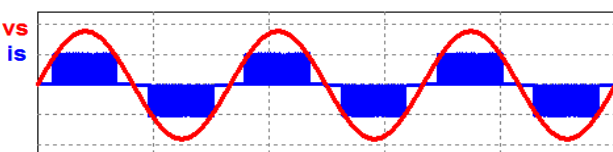


(b)

그림 5 SCR정류기 지연각 변동에 따른 전압 전류파형 (a) 지연각이 25° 일 때 (b) 지연각이 50° 일 때 (빨강:  $v_s$ , 파랑:  $i_s$ )

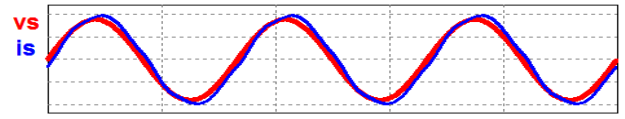


(a)

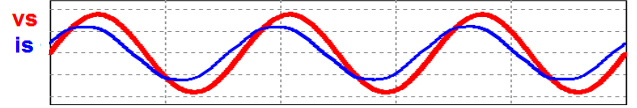


(b)

그림 6 Diode 정류기의 초과 듀티에 따른 전압 전류 파형 (a) 듀티가 0.9 일 때 (b) 듀티가 0.64 일 때 (빨강:  $v_s$ , 파랑:  $i_s$ )



(a)



(b)

그림 7 입력 필터 추가 시 전압 전류 파형 (a) 듀티가 0.9 일 때 (b) 듀티가 0.64 일 때 (빨강:  $v_s$ , 파랑:  $i_s$ )

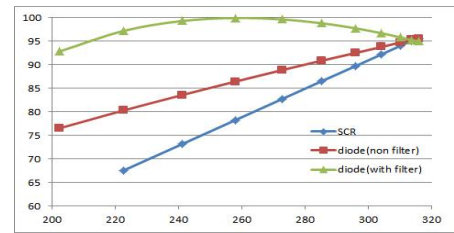


그림 8 DC link 전류 ( $I_{dc}$ ) 변동 시 입력단 역률 비교

그림 5는 위상제어 정류기의 지연각에 따른 전압 전류 파형을 나타낸다. 그림 4에 나타났듯 지연각에 따라 입력전압과 전류의 위상차이가 남을 확인할 수 있다. 그림 6, 7은 다이오드 정류기 초과듀티에 따른 전압 전류 파형을 나타낸다. 그림 5에 나타났듯이 입력단에 필터가 없는 경우에도 입력전압과 입력전류의 기본파의 위상은 동일한 것을 확인할 수 있으며 필터 추가 시 입력 전류의 THD가 개선됨을 확인할 수 있다. 그림 7은 출력 변동에 따른 SCR 정류기와 다이오드 정류기 + 초과 듀티의 입력단 역률 나타낸다. 그림 8에서 알 수 있듯이 위상제어 정류기에 비해 다이오드 정류기 + 초과 회로가 입력 역률 및 입력전류 THD에서 우수한 특성을 나타낸다.

## 3. 결론

본 논문에서는 단조용 고역률 고효율 대전력 유도가열 전원 장치를 위한 정류기 토폴로지들을 연구하였으며, 시뮬레이션을 통해 각각의 토폴로지들을 분석 및 비교 하였다. 비교 검토 결과 입력단 역률, 입력전류의 THD 측면에서 그림 3의 다이오드 정류기 + 초과로 구성된 정류기의 특성이 더 뛰어나다는 것을 확인하였다. 따라서 대전력 단조용 유도가열 시스템에서 그림 3과 같은 다이오드 정류기 + 초퍼를 이용한 전원장치 시스템이 많이 사용 될 것으로 예상된다.

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학협력력 기술개발사업(No.C0442428)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## 참고 문헌

- 1] R. Fuentes, "Design Aspects and Experimental Results of a High Power Factor Induction Heating System" 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, pp. 373 377, 2009