

수냉형 인버터의 최대 효율 출력 추적 방법

김상현, 김광섭, 인동석, 이종학, 박영민, 원선민
(주)POSCO ICT 기술연구소

Maximum Efficiency Point Tracking Method for Liquid Cooled Inverter

Sang Hyun Kim, Kwang Seob Kim, Dong Seok In, Jong Hak Lee, Young Min Park,
Seon Min Won
POSCO ICT Corporation R&D Center

ABSTRACT

수냉형 인버터는 냉각 시 칠러를 사용하게 되는데 칠러는 입력 냉각수의 온도가 높을수록 열교환 효율이 높아져 소비전력이 감소한다. 하지만 인버터는 입력 냉각수의 온도가 높을수록 손실이 증가하게 되므로 수냉형 인버터는 각각의 출력 부하에 따라 최대 효율 점이 존재한다. 본 논문에서는 각각의 출력 부하에서 냉각수 온도 제어를 통해 수냉형 인버터의 최대 효율 점을 추적하는 방법을 제안한다.

1. 서론

최근에 전력용 반도체 소자인 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)는 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있으며, 반도체 소자의 발달로 대전력이 요구되는 분야에서 단일 제품의 대용량 인버터 및 컨버터의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 대용량의 산업 제품은 시스템의 발열량이 커서 효율적인 시스템 냉각을 위해 수냉형 냉각시스템을 채택하는 경우가 증가하고 있다. 수냉형 냉각시스템은 인버터의 손실에서 비롯되는 발열을 공기가 아닌 냉각수에 의해 방열하는 방식으로 공냉형에 비해서 냉각효과가 뛰어난 장점이 있지만 일반적으로 소비전력이 큰 단점이 있다. 이에 냉각시스템을 포함한 수냉형 인버터를 효율적으로 운용할 수 있는 알고리즘이 절실히 요구되어져 왔다.

그림 1은 수냉형 인버터의 구성도이다. 기존의 냉각시스템은 초기 온도 설정에 의해서 냉각수 기준온도가 결정되며, 이에 따라 수냉형 인버터에 일정한 온도의 냉각수가 공급되는 방식이다. 본 논문에서는 냉각수 공급 온도에 따른 인버터와 냉각시스템의 효율을 분석하고 출력 전력에 따른 냉각수 온도 제어를 통해 수냉형 인버터의 최대 효율 점을 추적하는 알고리즘을 제안한다.

2. 본론

2.1 칠러(chiller)의 구조 및 특징

수냉형 인버터의 칠러는 그림 1에서와 같이 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기 그리고 순환펌프를 포함하고 있으며, 압축, 응축, 팽창, 증발을 반복하며 인버터의 손실 열을 외부로 방열한다. 냉각시스템의 냉각열량은 식 (1)과 같이 공급되는 냉각수의 온도와 회수되는 냉각수의 온도의 차로 계산할 수 있으며, 이는 인버터의 손실과 같다.

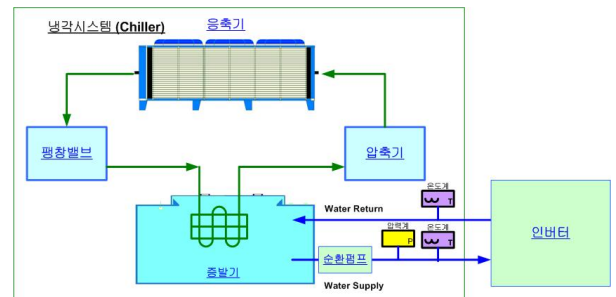


그림 1 수냉형 인버터와 칠러의 구조

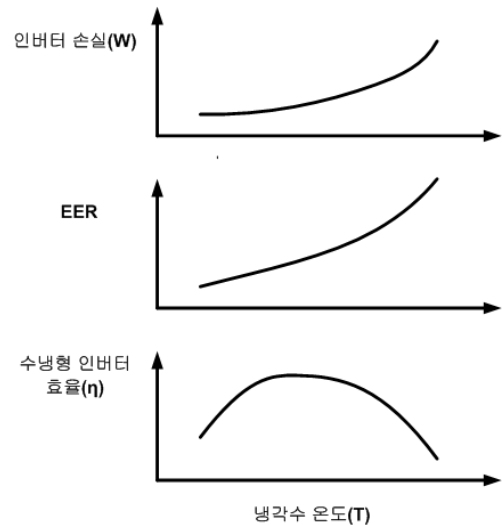


그림 2 냉각수 공급 온도에 따른 인버터 손실, 냉각시스템 에너지 효율, 수냉형 인버터 효율

$$Q_{ch} = m_{ch} c_p (T_{ch-out} - T_{ch-in}) \quad (1)$$

여기서, m_{ch} 와 c_p 는 냉각시스템의 냉각 유량과 냉각수의 비열이며, T_{ch-out} 과 T_{ch-in} 은 냉각수의 회수 온도와 공급 온도이다. 냉각시스템의 에너지 효율(EER; Energy Efficiency Ratio)은 냉각능력(Q_{ch})과 냉각시스템의 소비 전력(Q_{total})의 비율로서 식 (2)와 같다. 냉각수 공급 온도(설정 온도)가 상승되면 열교환 효율이 증가하여 냉각능력은 상승되고 소비전력은 감소하며, 냉각시스템의 에너지 효율은 점차 상승하여 그림 2에서와 같은 결과를 얻을 수 있다^[1].

$$EER = \frac{Q_{ch}}{Q} \quad (2)$$

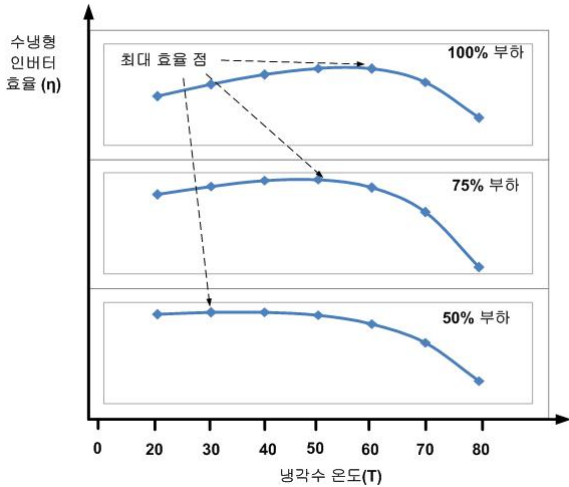


그림 3 냉각수 온도에 따른 출력 부하 별 최대 효율 점

2.2 수냉형 인버터 특징

인버터에 사용되는 스위칭소자의 전력 손실은 DC 전압과 컬렉터 전류에 비례하며, IGBT Junction 온도가 상승함에 따라 스위칭 손실은 증가한다^[1]. 반면 냉각시스템은 설정 온도가 높을수록 냉각 효율이 증가하므로 수냉형 인버터의 효율은 설정온도에 대하여 그림 2에서와 같이 냉각수 온도 한 지점에서 최대 효율 점을 갖는다.

IGBT의 Junction 온도는 식 (3)과 같이 냉각수 공급온도와 IGBT의 손실과 각각의 열저항에 의해 결정된다. 공급되는 냉각수의 온도가 증가할수록 IGBT의 손실은 증가하고 이는 Junction 온도의 증가로 이어지므로 IGBT의 손실은 기준온도에 대하여 비선형적인 특성을 보인다. 또한 일반적인 IGBT의 Junction 온도는 150도의 제한 온도를 가지고 있기 때문에 본 논문에서 제안한 알고리즘에서도 제한적인 공급 냉각수 온도 범위를 갖는다.

그림 3에서는 냉각수 온도에 따른 인버터출력 부하 별 최대 효율 점을 보여주고 있다. 냉각시스템을 공급 온도에 대하여 모델링하였으며, 인버터의 손실 또한 냉각수 온도에 대하여 모델링하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과, 각각의 출력 부하에 따라 각각의 최대 효율점이 존재하였으며, 출력 전력에 따라 알고리즘을 수행한다.

2.3 수냉형 인버터의 최대 효율 출력 추적 방법

그림 4에서는 본 논문의 알고리즘의 순서도를 보여주고 있으며, 그림 5는 그 개념도이다. 수냉형 인버터의 입력전력과 출력전력 그리고 공급되는 냉각수의 온도를 계측하였으며, 수냉형 인버터의 효율은 입력 전력과 출력 전력의 비율로서 나타낼 수 있으므로 출력전력 대비 입력 전력을 모니터링 하여 최대 효율 추적 알고리즘을 실행하였다.

본 논문에서의 알고리즘을 사용하면 수냉형 인버터는 그림 5에서의 C 지점에서 최대 효율 출력을 얻을 수 있다.

$$T_j = P_{loss-IGBT} \times (R_{th-hi} + R_{th-ch} + R_{th-jc}) + T_{ch-in} \quad (3)$$

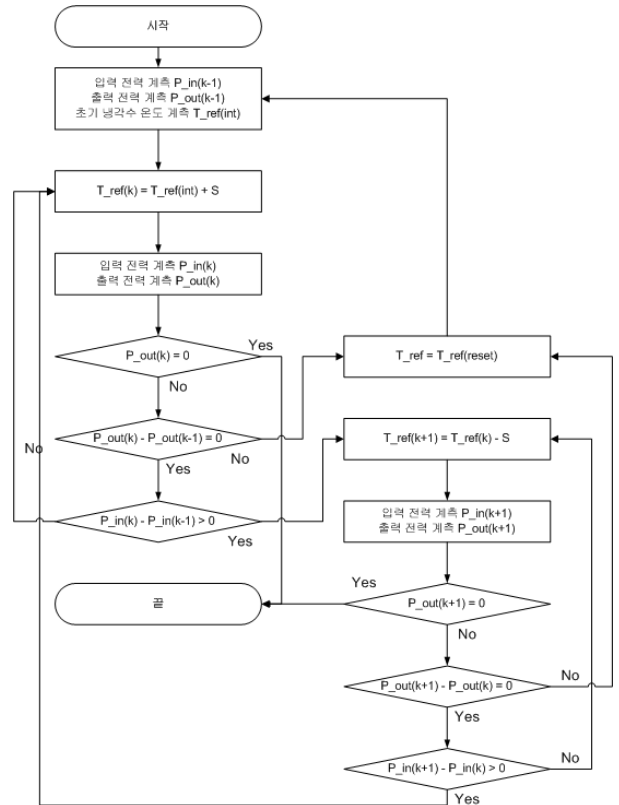


그림 4 최대 효율 추적을 위한 알고리즘

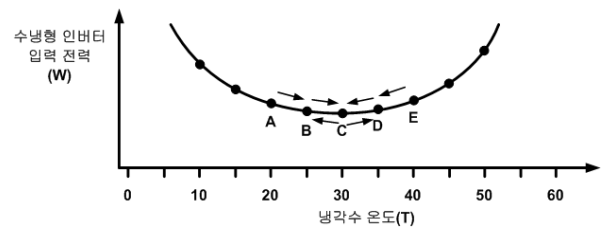


그림 5 최대 효율 추적을 위한 알고리즘 개념도

3. 결론

본 논문에서는 냉각수 온도에 대하여 냉각시스템의 에너지 효율과 인버터의 손실 특성을 분석하였으며, 이를 모델링하여 각각의 출력에 대하여 최대 효율 점을 도출하였고 냉각수 온도 제어를 통해 수냉형 인버터의 최대 효율 점을 추적하는 방법을 제안하였다.

참고 문헌

- [1] 김현중, 권오경, 차동안, 김용찬, "반도체 공정용 칠러의 채널별 제어특성에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 논문집 B권, 제35권, 제12호, pp. 1285-1292, 2011..
- [2] P.R. Palmer, J.C. Joyce, P.Y. Eng, J.L. Hudgins, E. Santi, and R. Dougal, "Circuit simulator models for the diode and IGBT with full temperature dependent features," IEEE PESC Rec., June 2001.