

# DC-DC 컨버터의 경부하 효율개선을 위한 비선형 인덕터 적용 기법에 대한 정량적 분석

오세용, 강동영, 성원용, 조남진, 이병국<sup>†</sup>  
성균관대학교 전자전기공학부

## Analysis about Application of Non-linear Inductor for Light Load Efficiency Improvement for DC-DC Converter

Se Yong Oh, Dong Yeong Kang, Won Yong Sung, Nam Jin Cho, Byoung Kuk Lee<sup>†</sup>  
College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문에서는 DC DC컨버터의 경부하 영역 효율 개선을 위한 비선형 인덕터 적용기법에 대한 분석을 수행한다. 시뮬레이션 툴을 이용하여 비선형 인덕터를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 비교를 통해 비선형 인덕터 적용 기법의 경부하 효율 개선효과에 대한 정량적 분석을 수행한다.

### 1. 서론

최근 화석연료의 고갈과 지구 온난화 문제가 부각됨에 따라 신재생 에너지의 보급이 가속화 되고 있다. 하지만, 이러한 신재생 에너지는 주변 환경에 따라 그 출력이 변화하는 간헐적 특성을 가지고 있기 때문에, 안정적으로 이용하기 위해서는 전력변환 장치를 이용한 전압, 전류의 제어가 필요하다. 특히, 태양광, 연료전지 등과 같은 대표적 신재생 에너지원은 출력이 직류이기 때문에 그 출력에 DC DC 컨버터를 이용한 승/강압이 많이 이용되고 있다. 이에 따라 DC DC 컨버터의 효율 개선에 대한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 특히 효율의 저하가 심화되는 경부하 동작영역에서의 효율 개선에 대한 연구가 다방면으로 진행되어왔다.<sup>[1]</sup> 이러한 경부하 효율 개선 기법의 하나인 비선형 인덕터 적용 기법은 경부하 영역에서의 인덕터 전류 리플 저감을 통한 효율 개선 기법으로 알려져 있으나 아직까지 효율 개선 성능에 대한 정량적 분석은 이루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 회로 시뮬레이션 툴을 이용하여 DC DC컨버터를 구성하고, 비선형 인덕터를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 시뮬레이션 결과 비교 및 분석을 통해 경부하 및 정격부하에서의 효율 개선 효과에 대한 검증을 수행한다.

### 2. 비선형 인덕터를 이용한 경부하 효율 개선

#### 2.1 DC-DC 컨버터의 효율개선

DC DC 컨버터의 손실은 부하의 크기가 증가함에 따라 증가하는 부하 의존적 손실과 부하의 크기에 관계없이 크기가 일정한 부하 독립적 손실로 분류될 수 있다. 부하 의존적 손실에는 전력반도체 소자의 스위칭 손실, 도통 손실, 자성 소자의 동손 등이 있으며, 부하 독립적 손실에는 자성 소자의 철손, 전력반도체 소자의 구동 손실, 보조 전원 구동 전력 등이 있다. 부

하 의존적 손실은 전부하 영역에서의 효율에 영향을 미치며 특히 도통손실에 영향을 많이 받기 때문에 중부하에서 차지하는 비율이 매우 크다. 반면에, 부하 독립적 손실은 부하에 따라 그 변화폭이 적기 때문에, 중부하에서 차지하는 비중이 적지만, 경부하에서는 부하 의존적 손실에 비해 더 큰 비중을 차지하고 있어 경부하 효율 개선을 위해서는 부하 독립적 손실의 저감이 효과적이라고 볼 수 있다.

이러한 부하 독립적 손실 개선기법으로는 스위칭 주파수 가변기법, Phase shedding 기법과 본 논문에서 분석할 비선형 인덕터 적용기법 등이 있다.

#### 2.2 비선형 인덕터를 이용한 경부하 효율 개선

DC DC 컨버터의 인덕터에서 발생하는 손실은 크게 동손과 철손으로 구분할 수 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 동손은 인덕터의 권선저항에서 발생하는 손실로, 부하 의존적 손실이다. 이에 반해 철손은 일정한 스위칭 주파수에서 연속도통모드(Continuous Conduction Mode, CCM)로 구동될 때, 부하에 상관없이 그 크기가 일정한 특징을 가지고 있다.

앞서 언급한 바와 같이, 인덕터의 동손은 인덕터의 권선 저항과 도통 전류의 실효치에 의해 결정되며 이는 식 (1)과 같다.

$$P_{copper\ loss} = I_L^2 R_w \quad (1)$$

또한 인덕터의 철손은 히스테리시스 손실과, 와전류 손실로 구분되며, 코어의 제조사에서 제공하는 데이터에 기반하여 steinmetz 방정식에 의해 계산가능하며, 이는 식 (2)와 같다.

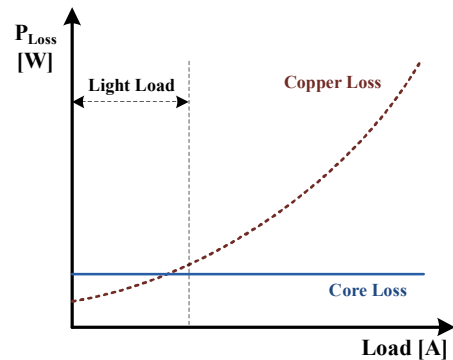


그림 1. 부하크기에 따른 인덕터 손실.

Fig. 1. Inductor losses for variable load current.

$$P_{core\ loss} = P_h + P_e = k_h f B_m^n + k_e f^2 B_m^2 \quad (2)$$

여기서  $k_h$ 는 히스테리시스 손실계수,  $k_e$ 는 와전류 손실계수,  $f$ 는 자계의 주파수,  $B_m$ 은 최대자속밀도,  $n$ 은 Steinmetz 상수이다.

식 (2)에서 볼 수 있듯이, 인덕터의 철손은 자속 밀도에 의해 크게 변동하며, 자속밀도는 암페어 법칙을 통해 인덕터 전류 리플에 영향을 받음을 알 수 있다.

일반적으로 인덕터의 설계 시, DC Bias 특성에 의해 중부하 영역에서 인덕턴스가 저하되지 않도록 설계하지만, 비선형 인덕터 적용기법은 중부하 영역에서 DC Bias 특성에 의한 인덕턴스 저하와 함께 경부하에서 투자율이 크게 상승하는 재질로 설계함으로써, 경부하에서의 더 높은 인덕턴스를 통해 인덕터 전류 리플을 저감하여 철손을 개선하는 기법이다. 그림 2는 일반적인 인덕터와 비선형 인덕터의 부하에 따른 인덕턴스 변화를 나타낸 그림이다.

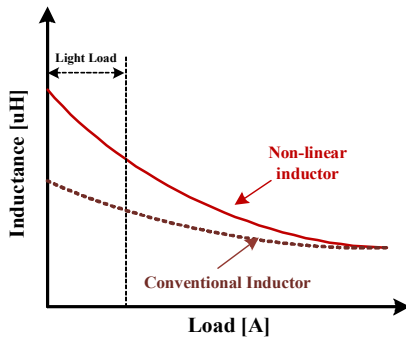


그림 2. 일반적인 인덕터와 비선형 인덕터의 인덕턴스 변화.  
Fig. 2. Inductance variation of normal inductor and non-linear inductor.

### 2.3 시뮬레이션을 통한 경부하 손실 개선 효과 검증

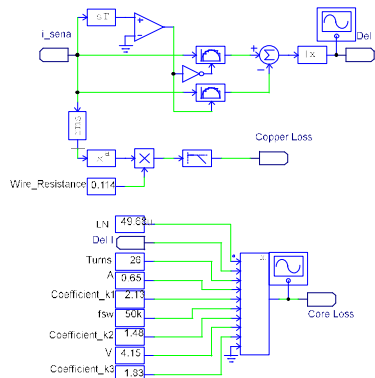


그림 3. 시뮬레이션 블록도.  
Fig. 3. Schematic block of simulation.

본 논문에서는 1kW급 태양광 발전 시스템을 기반으로 시뮬레이션을 구성한다. 입력전압은 48V, 출력 전압은 200V로 설계하였으며, 스위칭 주파수는 50kHz로 구성하였다. 비선형 인덕터와 일반 인덕터의 모의를 위해, high flux 재질인 CH270060에 권선 수를 조절하여 비선형 인덕터와 일반인덕터를 설계하였다.

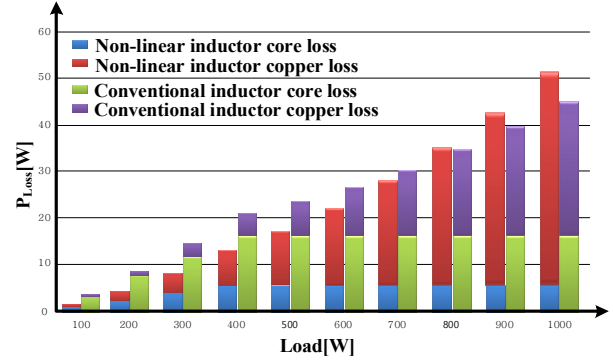


그림 4. 일반적인 인덕터와 비선형 인덕터의 손실 비교.  
Fig. 4. Comparison of loss of conventional inductor and non-linear inductor.

그림 3은 앞서 언급된 사양으로 설계된 DC DC 컨버터에서의 인덕터 손실 시뮬레이션 블록도를 나타낸다. 이를 통해 인덕터의 종류에 따라 동손과 철손을 각각 계산할 수 있다. 철손의 경우에는 각 인덕터의 턴수 및 계수 등의 정보를 입력하여 계산이 가능하다.

그림 4는 앞서 언급된 시뮬레이션 툴을 통해 일반적인 인덕터와 비선형 인덕터의 철손을 계산한 결과이다. 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있듯이, 비선형 인덕터의 경우 일반적인 인덕터에 비해 경부하 영역에서 부하에 따른 철손이 최대 33% 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 경부하 영역에서 비선형 인덕터의 인덕턴스가 일반적인 인덕턴스에 비해 급격하게 증가하기 때문이다. 중부하 영역부터는 비선형 인덕터와 일반적인 인덕터는 코어의 포화에 의해 철손은 일정하게 유지되지만, 비선형 인덕터의 권선이 일반적인 인덕터에 비해 많기 때문에 동손이 최대 약 60% 증가한다. 따라서 실제 비선형 인덕터를 적용할 때에는 경부하 효율과 중부하 이상의 효율에 대한 trade off를 고려해야 한다.

### 3. 결론

본 논문에서는 경부하 효율을 개선하기 위한 방법인 비선형 인덕터 적용기법에 대해 알아보고 그에 대한 성능을 정량적으로 분석하였다. 그 결과 DC DC 컨버터에 비선형 인덕터를 적용한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 경부하 영역에서의 철손이 약 30% 낮게 나타남을 확인하였다. 향후 다양한 입출력 조건에서 비선형 인덕터가 적용되는 시스템을 설계시에 본 논문을 참고할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No.10038825)입니다.

### 참고 문헌

[1] Jong Pil Lee, Byung Duk Min, Tae Jin Kim, Dong Wook Yoo, Byung Kuk Lee, "A Novel Topology for Photovoltaic Series Connected DC/DC Converter with High Efficiency Under Wide Load Range", Power Electronics Specialists Conference, 2007. PESC 2007. IEEE