

# DCM 부스트 컨버터의 인덕터 설계 및 최적 설계점 도출

주동명, 김동희, 이병국  
성균관대학교 정보통신공학부

## Inductor Design for DCM Boost Converter and Optimal Design Point Selection

Dong Myoung Joo, Dong Hee Kim, Byoung Kuk Lee  
School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문에서는 전류 불연속 모드(DCM)로 동작하는 연료전지용 900W급 부스트 컨버터에서의 인덕터를 설계하고 이에 따른 인덕터 손실을 분석한다. DCM 구간을 만족하는 인덕턴스 조건에서 인덕터 권선수를 변화시켜 이 때의 손실을 설계 소자의 파라미터를 사용하여 분석한다. 분석한 결과를 이용하여 900W급 부스트 컨버터에서 인덕터의 손실이 최소가 되는 최적 설계점을 도출한다.

### 1. 서 론

최근, 전 세계적으로 에너지 소비 문제 및 환경 문제에 대한 관심이 높아짐에 따라 환경 친화적인 신재생 에너지에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 신재생 에너지 중 연료전지를 이용하여 발전을 하는 경우 저전압 대전류 발전 특성을 갖고 있기 때문에 승압을 위해 부스트 컨버터가 필요하다<sup>[1]</sup>. 이 때, 부스트 컨버터를 DCM으로 동작시키면 연속 전류 모드에 비해 스위칭 손실을 줄일 수 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 인덕턴스값을 작게 설계하여 DCM으로 동작시키면 CCM동작에 비해 인덕터 전류 리플이 커지게 된다. 따라서 인덕터에서 철손 및 동손이 증가할 수 있기 때문에 컨버터의 고효율화를 위해서 인덕터의 손실 분석 및 최적 설계가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 연료전지용 900W급 DCM 모드로 동작하는 부스트 컨버터의 인덕터를 설계하고 손실을 인덕턴스에 따라 이론적으로 분석하였으며, 실제 코어의 파라미터를 이용하여 손실이 최소가 되는 인덕턴스 설계점을 도출하였다.

### 2. 인덕턴스에 따른 손실 분석

#### 2.1 시스템 구성

단상 부스트 컨버터 토폴로지는 승압이 가능한 비절연형 토폴로지 중 사용되는 소자의 수가 적어 시스템의 구성이 간단하지만 하드 스위칭시 주파수가 증가할수록 스위칭 손실이 증가하는 단점이 있다<sup>[2]</sup>. 이에 대한 해결 방안으로 컨버터를 전류 불연속 모드에서 동작하도록 하면 스위치가 영전류 구간에서 턴온 되므로 스위칭 손실을 저감할 수 있다. 부스트 컨버터가 전류 불연속 모드로 동작하기 위한 인덕턴스 값은 식 (1)과 같으며 이를 만족하는 값을 전기적 인덕턴스로 선정하였다. 인덕턴스 외에 부스트 컨버터의 손실 분석에 필요한 전체적인 사양

을 표 1에 정리하였다.

$$L < \frac{D(1-D)^2 V_o}{2f_{sw} I_o} \quad (1)$$

표 1 부스트 컨버터 사양  
Table 1 Specification of Boost Converter

Parameter	Value	Unit
입력전압	60 ~ 70	V
출력전압	90	V
출력전류	10	A
정격출력	900	W
스위칭주파수	20	kHz
듀티	0.31 ~ 0.14	
인덕턴스	13 ~ 30	uH

#### 2.2 인덕터 설계

인덕터의 코어는 일차적으로 부피 및 무게를 결정할 뿐만 아니라, 손실 및 온도를 결정하는 중요한 요소이며, 따라서 뛰어난 직류중첩특성, 주파수 안정성, 온도 안정성 및 낮은 손실을 가져야 한다. 이를 위해 위의 조건을 만족하는 여러 종류의 코어 중 창성사의 High Flux 코어를 선정하였다.

인덕터 코어의 Size를 결정하기 위해 인덕터의 에너지 저장 능력을 계산하고 그 결과를 통해 CH330 코어를 선정하였다. 코어의 사용 영역에서 높은 인덕턴스 안정성을 확보하기 위하여 125u 투자율을 갖는 코어 대신 60u 투자율을 갖는 Core를 사용한다. 60u 코어는 자기장의 변화에 대한  $A_L$  값의 변동이 작기 때문에 인덕턴스 안정성이 125u코어보다 상대적으로 높으므로 최종적으로 CH330060 코어를 이용하여 분석을 진행하였다. 마지막으로 Turn수를 결정하기 위해 코어에 인가되는 자기장의 세기를 계산하고, 그 때의  $A_L$  값을 이용하여 최종 Turns수를 식 (2)를 사용하여 계산하였다.

인덕턴스가 결정되면 인덕터에 흐르는 전류의 RMS값을 계산할 수 있고, 이를 이용해 권선에 흐르는 전류밀도를 고려하여 권선의 굵기를 2.4mm으로 선정하였다. 위의 과정을 통해 실제적으로 설계된 자기적 인덕턴스와 그 때의 인덕터 전류 변화량 및 전류 RMS값은 표 2와 같다. 인덕턴스는 권선을 감은 횟수에 의해 정해지고, 그 값이 인덕터 전류의 파형을 결정한다. 인덕턴스 값이 작아질수록 인덕터 권선에 흐르는 전류의 변화량이 증가하게 되고, 전류의 RMS 값 또한 증가한다.

표 2 설계된 인덕터 사양

Table 2 Specification of designed inductor

Parameter	Value [Condition]	Unit
인덕턴스	13 30 [60V]	uH
	11 28 [70V]	
턴수	16 25	Turn
턴당 길이	5	cm
전류 변화량	41 26 [60V]	A
	51 33 [70V]	
전류 RMS	19 15 [60V]	A
	23 18 [70V]	

### 2.3 인덕터 손실 분석

인덕터에서 발생하는 손실은 철손과 동손으로 나뉘며 최적 인덕턴스 설계점을 찾기 위해 입력 전압에 따른 각각의 인덕턴스 조건에서 손실 분석을 수행하였다.

인덕터의 철손은 인가되는 주파수와 자속밀도의 변화량 ( $\Delta B$ )에 의해 결정되며, 손실 계산을 위해 식 (2)를 이용하여  $\Delta B$ 를 계산하고 그때의 코어 손실을 제조사의 데이터 시트를 토대로 계산하였다. 동손은 인덕터 권선의 비저항, 권선의 길이, 포피효과를 고려한 권선의 유효 단면적, 권선에 흐르는 전류의 RMS값을 이용하여 식 (3)를 토대로 계산할 수 있다.

$$\Delta B = \frac{L \times \Delta I}{N \times A} \times 100 [G] \quad (2)$$

$$P_{copper} \left( \rho \cdot \frac{l}{A} \right) I_{rms}^2 \quad (3)$$

표 2에 정리한 인덕터 사양과 식 (2) 및 식 (3)를 이용하여 입력 전압조건에서 설계된 인덕터 값에서 변화하는 전류의 RMS값 및 전류 변화량을 적용하여 손실을 계산하여 그림 1 및 그림 2에 도시하였다.

입력전압이 70V 일 때 자속밀도의 변화량 측면에서 식 (2)를 바탕으로 철손을 분석해보면 턴 수가 감소함에 따라 인덕턴스가 감소하여 어느 정도까지는 자속밀도 변화량이 감소하여 철손이 감소한다. 그러나 특정 점 이상에서는 인덕턴스 값의 감소에 따른 영향보다 증가한 전류 변화량 및 감소한 턴 수가 더 큰 영향을 미치기 때문에 자속밀도 변화량이 증가하여 철손이 증가한다. 분석한 시스템에서는 20uH의 인덕턴스에서 최소값의 철손을 갖고 그 이외의 인덕턴스에서는 철손이 증가한다.

동손의 경우에는 턴 수에 따라 권선의 길이가 정해지고, 그에 따라 권선의 저항 값이 결정된다. 턴 수가 줄어들수록 권선의 길이가 짧아지게 되므로 저항 값이 작아지지만 인덕턴스가 작아짐에 따라 권선에 흐르는 전류의 변화량이 커지게 되고 그에 따라 전류의 RMS값이 증가하게 된다. 이 경우 턴수의 변화에 대해 두 가지 손실에 미치는 성분이 상보적으로 상쇄되기 때문에 동손은 인덕턴스에 따른 거의 변화가 없게 된다.

입력전압이 60V가 되는 경우 부하에 동일한 에너지를 전달하기 위해 70V일 때보다 더 많은 전류가 흘러야 하고, 따라서 인덕터에서의 전류 최대값 및 RMS가 증가한다. 이에 따라 코어에 걸리는 자화력이 증가하고, 따라서 자속밀도의 변화량이 증가하게 되어 철손이 증가한다. 이때 인덕터의 동작 영역에서 자속밀도의 변화량이 크므로 철손의 변화가 적지만 그림 2에서 그림 1과 유사하게 철손은 포물선 모양으로 움직인다.

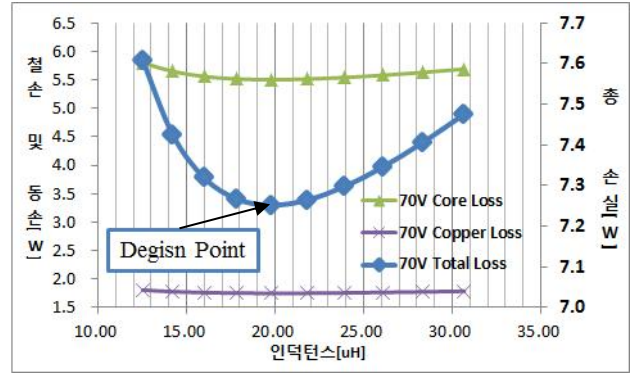


그림 1 70V 입력일 때 인덕턴스에 따른 인덕터 손실  
Fig 1 Inductor loss according to inductance at 70V pu

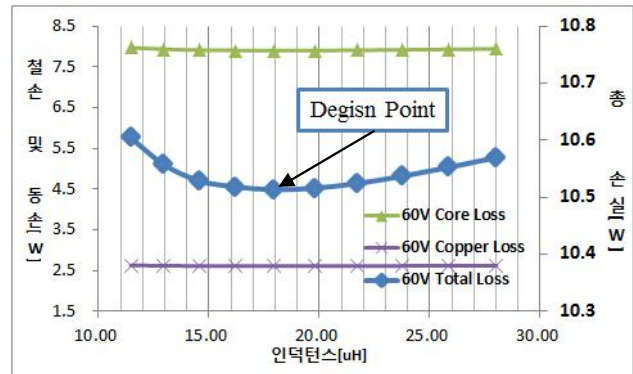


그림 2 60V 입력일 때 인덕턴스에 따른 인덕터 손실  
Fig 2 Inductor loss according to inductance at 60V pu

동손은 RMS 값이 증가하였으므로 전체적으로 상승하였지만 앞서와 같은 이유로 변화는 거의 없게 된다.

인덕터의 최적 설계는 철손과 동손의 합이 최소가 되는 지점이 이상적이며 이 점은 인덕턴스에 따라, 즉 코어에 감은 권선의 횟수에 따라 단순하게 증가하거나 감소하지 않으며 특정 인덕턴스 값에서 최소값을 갖는다. 분석한 900W급 부스트 컨버터의 인덕터에서는 20턴을 감아 각각 20uH/18uH의 인덕턴스를 가질 때 최소의 손실을 나타낸다.

### 3. 결론

본 논문에서는 실제 소자의 파라메타를 이용하여 900W급 부스트 컨버터의 인덕터를 설계하고 그 때의 철손 및 동손을 분석하였다. 인덕터의 손실은 인덕턴스에 따라 선형적으로 변하지 않으며, 최소 손실점을 가지는 것을 확인하였다. 이러한 손실 분석을 통해 최소의 손실을 갖는 인덕터의 설계가 가능하며 고효율 컨버터의 설계에 도움이 될 것으로 예상된다.

### 참고 문헌

[1] 김동희, 최규영, 김종수, 이병국, “연료전지용 다상부스트 컨버터 불연속 모드 특성해석,” 전기학회논문지, 제 59권 제1호, pp.88 95, Jan., 2010.  
[2] 김동희, 최규영, 이병국, 이태원, “부스트 컨버터 토폴로지의 스위칭 주파수에 따른 손실 분석,” 전력전자학회 추계 학술대회, pp.171 172, 2010.