

# LCD 구동 Backlight Inverter용 변압기의 설계 방법과 특성 분석

論 文

55B-7-3

## The Characteristic Analysis and Design of Transformer for LCD Backlight Inverter

金倫賢<sup>†</sup>  
(Youn-Hyun Kim)

**Abstract** – This paper presents the design scheme of transformer for backlight inverter and discuss the characteristics related to its design, including driving inverter. A few studies have so far been made at design and characteristics analysis of transformer. Therefore, this paper manages the presentation of the advisable design methodology of transformer for backlight inverter supplying CCFL. To verify the proposed method, this paper accomplishes the analysis by FEM coupled with circuit and finally shows that the proposed design method is very useful.

**Key Words** : Transformer, Backlight Inverter, Resonant Frequency, Finite Element Method and Design Methodology.

### 1. 서 론

LCD(Liquid Crystal Display)를 포함한 디스플레이 산업과 관련 기술은 최근 10여 년 동안 눈부신 성장을 이루어왔다. 특히 국내에서는 국가 주도형 첨단 산업으로 집중적인 지원을 하고 있으며 국내업체가 전 세계 LCD 생산량의 1, 2위를 차지하고 있는 우리나라 주 수출품으로 자리 잡고 있다. 그러나 LCD 분야의 고 성장에도 불구하고 우리나라의 LCD 모니터의 부품 산업, 특히 LCD의 핵심 부품인 백라이트 인버터와 변압기, 구동용 IC 등의 인버터 구성 부품의 개발 및 생산은 동반 성장을 하지 못하고 수입 의존율이 높으며 다양한 LCD 시리즈에 대응 가능한 설계 기술력을 보유하고 있지 못한 현실이다. 최근 들어 백라이트 인버터의 개발이 이루어지고 있으나 이것도 백라이트 인버터의 중요 구동 기술이 원천 특허로 제약을 받고 있어 대부분의 구동 IC와 부품을 수입에 의존하며 세트 메이커로서만 개발하고 있는 실정이다 [1]. 이에 인버터의 필수 소자이면서 가장 고부가가치가 높은 변압기의 설계기술을 우선적으로 확보하고자 하는 의지와 필요성이 각 업체로부터 대두되었다. 또한 다른 선진국에서도 백라이트 인버터의 구동방법과 구동회로에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있고 그에 관련한 연구가 기존 문헌에서도 발표되고 있으나 놀랍게도 인버터의 성능을 좌우하는 인버터용 변압기의 설계나 특성에 관한 연구는 전무한 상태로 기술자료 형식으로 간략한 소개가 전부이다 [2][3]. 결론적으로 백라이트 인버터용 변압기의 최적 설계와 정확한 해석을 위해서는 해결해야 할 과제가 아직 많이 존재하고 있다. 따라서

본 논문은 15인치 LCD 모델의 사양으로 CCFL(Cold Cathode Fluorescence Lamp)을 사용하는 백라이트의 구동 인버터용 변압기의 효과적이며 현실성 있는 설계 방향을 제안하며 설계과정에 필요한 변압기 특성분석 결과를 제공하여 향후 체계적인 개발 및 연구의 유용한 자료로 이용될 수 있는 기반을 마련하고자 한다. 백라이트 인버터는 현재 공진형 컨버터 토플로지가 적용되고 있다. 즉 인버터는 고주파수로 동작하는 공진형 뱅크 회로를 구성하고 있으므로 백라이트 인버터용 변압기는 일반 변압기와 달리 전압의 상승 외에 변압기의 2차 누설 인덕턴스가 주성분으로 작용하는 공진 회로의 인덕턴스 역할도 하고 있다. 따라서 백라이트 인버터용 변압기는 일반 변압기와 다른 방법으로 해석과 설계가 수행되어야하고 백라이트 인버터용 변압기 뿐만 아니라 인버터 전반적인 성능 향상을 위해 최적 효율 점에서 운전될 수 있도록 변압기의 누설 인덕턴스가 선정되어야 하며 그에 따른 포화와 손실을 고려한 1차, 2차 턴 수가 설계되어야한다. 또한 Zero Voltage Switching(ZVS) 구현을 위한 인버터 구동방식에 따라 변압기 설계 방법도 달리해야하므로 인버터 구동에 연계한 특성 분석도 검토하여야 하며 변압기의 해석은 공진현상과 ZVS를 고려한 회로 연계 자계 해석이 기반이 되어 수행되어야 한다. 여기서 상기 이유에 의해 본 논문의 연구를 제안하게 된 계기가 되었으며 이에 본 연구에서는 백라이트 인버터에 최적 인 변압기 요구 특성을 도출하고 특성 분석 결과를 통한 요구 성능을 만족하는 변압기 설계 방향을 제공하고자 한다.

### 2. 백라이트 인버터용 변압기 사양

그림 1은 백라이트 인버터의 구성을 도시하였다. 그림에서 백라이트 인버터는 구동 인버터부와 공진뱅크 회로로 구성되고 변압기는 공진 회로의 전압상승과 인덕턴스의 역할을 하며 그림 1에 그 위치를 나타내었다. 본 연구에서

† 교신저자, 正會員 : 한밭大學校 電氣工學科 助教授 · 工博  
E-mail : yhyunk@hanbat.ac.kr

接受日字 : 2006年 5月 3日

最終完了 : 2006年 6月 24日

설계하고자 하는 백라이트 인버터 구동용 변압기는 노트북의 15.4" 금 LCD에 적용하는 모델로 그 설계 사양과 모델을 표 1과 그림 1에 함께 나타내었다. 그림 1에서는 변압기의 구성뿐만 아니라 코어의 형상과 치수도 보여주고 있다. 백라이트 인버터 구동용 변압기는 누설을 높이기 위해서 폭 대비 길이를 증가시켰으며 LCD의 높이의 제한으로 변압기의 높이도 최대한 얕게 제작되어야 한다. 변압기의 개발은 현재 FDK 나 Ferroxcube사 등에서 제공되는 상용 코어를 이용하여 최적 동작이 이루어지도록 턴수와 공극을 산정하여 보빈 제작 및 권선작업과 양산을 고려한 공정 개선으로 진행되고 있다. 본 논문은 공극에 따른 턴수 산정, 코어 선정을 위한 코어 길이에 따른 턴수 산정에 주안점을 두고 수행하였다.

표 1. 백라이트 인버터 구동용 변압기의 설계 사양  
Table. 1. Specifications of transformer for backlight inverter

항 목	값	단위	항 목	값	단위
시동전압	1600	[Vrms]	정상상태 전압	690	[Vrms]
정상상태 구동 전류	6	[mA rms]	램프 출력	4.14	[W]
배터리 전압	9~21	[V]	구동 IC	MP101 5	
정격 동작주파수	60	[kHz]	Core	6H20 (FDK)	

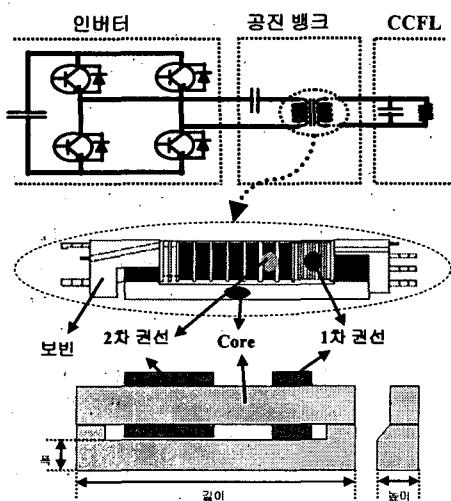


그림 1. 백라이트 인버터용 변압기와 코어의 형상  
Fig. 1. transformer for backlight inverter and core shape

### 3. 구동 방식과 구동 회로의 특성 검토

#### 3.1 백라이트 인버터 구동 방식

본 논문에서 적용하는 15" 백라이트 구동 인버터는 풀 브릿지 인버터로 구성되어 있고 구동 소자로 MPS사의 MP1015를 사용하고 있다. 백라이트 인버터의 구동방식은 일반적으로 주파수 변조 방식과 위상 변조 방식의 두 가지

법주로 분류된다[4]. MP1015는 주파수 변조 방식을 채택 하였으며 스위칭 손실을 최소화하기 위해 ZVS를 근간으로 동작한다. 그림 2, 3은 MPS 구동 IC의 구동 동작원리를 보여주고 있다. 동작원리는 전류가 영일 때 소자를 턴 온하고, 턴 오프는 CCFL의 전류를 피트백하여 요구 전류가 흐르도록 오프 각을 조절한다[5]. 따라서 온 동작 시에는 소자의 스위칭 손실이 없으나 오프 동작 시에는 위단 소자에 손실이 발생한다. 또한 CCFL 전류 검출에 의해 펄스폭이 가변되어 동작 주파수도 변하며 동작원리에 의해 CCFL이 요구하는 전압을 발생하기 위해 인버터는 펄스폭을 가변시키다가 요구전압에 이르면 펄스폭은 일정하게 유지되어 구동 주파수도 고정된다. 전압과 전류의 위상각  $\phi$ 는 공진회로 RLC 파라미터가 정해지면 주파수에 대해 결정되는 값이며 마찬가지로 역률도 산정되고 MPS계열 구동 원리에 의해 구동 펄스폭도 식(3)과 같이 구해질 수 있다. 즉 회로의 파라미터에 대해 정상상태의 펄스폭, 구동주파수, 위상차, 역률 등이 특정 값을 가지게 되며 펄스폭에 대해 여러 구동 주파수가 나올 수 없다. 그림 3에서는 구동 펄스폭과 그 기본파 성분을 나타내었으며 펄스폭과 구동주파수 및 위상차 사이의 관계식은 식 (3)과 같이 계산될 수 있다.

$$T = \frac{1}{f}, \quad f : \text{주파수}, \quad T : \text{주기} \quad (1)$$

$$x = \frac{T\phi}{360}, \quad x : \text{각도 } \phi(\text{위상차}) \text{에 해당하는 시간} \quad (2)$$

$$p = T\left(\frac{1}{2} - \frac{\phi}{180}\right) [\text{sec}], \quad p : \text{펄스 폭} \quad (3)$$

따라서 펄스폭이 결정되면 그와 함께 구동 주파수뿐만 아니라 인버터 출력 기본파 전압도 식 (4)와 같이 계산 될 수 있으며 이 현상을 고려하여 인버터와 변압기의 특성 분석 및 설계에 적용할 수 있다.

$$V_1 = \frac{4}{\pi} V_s \cos \phi \quad (4)$$

여기서  $V_s$ 는 구동 펄스 전압의 크기이다.

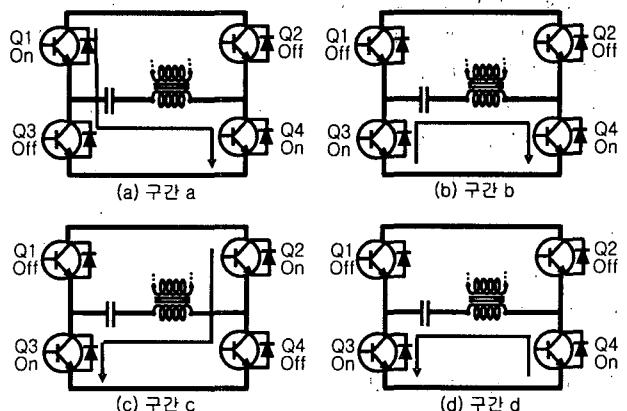


그림 2. 백라이트 인버터 구동 원리

Fig. 2. the operation principle of backlight inverter

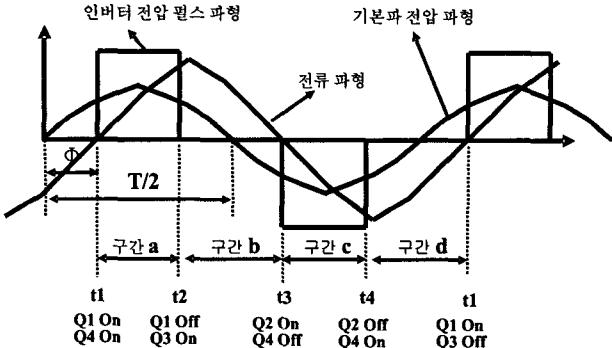


그림 3. 백라이트 인버터 구동 전압 펄스 파형과 기본파 성분

Fig. 3. drive voltage pulse and fundamental waveform of backlight inverter

### 3.2 구동 회로 분석

구동회로의 설계를 위해서는 구동 공진회로를 분석하여 출력 특성을 평가하여야 하며 파라미터에 따른 특성을 검토하여 요구 성능을 위한 파라미터를 도출하여야 한다. 특히 변압기의 인덕턴스는 회로의 가장 중요한 파라미터로 이 회로 분석은 변압기의 설계를 위해서는 필수적인 작업이라 할 수 있다. 본 논문에서는 회로의 분석을 통하여 출력 특성식을 유도하고 파라미터 스타디어를 할 수 있는 기반을 마련하여 파라미터에 따른 성능을 비교 검토하고 변압기 설계의 방향을 제시하고자 한다. 그림 4(a)는 인버터, 변압기와 CCFL을 포함하고 있는 백라이트 구동 회로의 등가 회로를 나타내고 있다. 여기서  $C_p$ 는 CCFL과 주변 지지구조물 등에 의해 발생되는 기생 커파시턴스로 약 10[pF] 값을 가지고 있고 CCFL의 등가 저항은 종류에 따라 다른 값을 가지지만 시동 시 무한대의 값에서 정상상태에서는 약 120[k]의 값을 변한다.

그림 4(b)는 그림 4(a)의 공진회로를 테브난 정리하여 간략화 시킨 2차측 환산 등가회로이다. 그림 4(a)의 회로에 의해 인버터 출력전압( $V_{in}$ )에 대한 CCFL 인가 전압( $V_{out}$ ) 관계식을 직접 유도하는 것은 결과 유도과정과 결과식이 복잡하여 현실적으로 실현 불가능하므로 그림 4(a)의 회로를 그림 4(b)와 같이  $V_s$ 에 대한  $V_{out}$ 의 값을 간단하게 계산할 수 있도록 간략화 시켰으며 이 과정을 통해 입력전압( $V_{in}$ )에 대한 출력전압( $V_{out}$ )의 비를 구할 수 있고 결국 전압 공진점과 출력 전압을 계산할 수 있었다. 즉 그림에서  $V_s$ 와  $R_s$ ,  $C_s$ ,  $L_s$ 는 테브난 정리 과정에서 그림 4(a)의 입력전압  $V_{in}$ , 주파수  $f$ ,  $C_{12}$ ,  $R_1$ ,  $L_{11}$ ,  $L_m$ ,  $L_{12}$ ,  $R_2$ ,  $C_p$ 의 값으로 구해질 수 있으며  $V_s$ 에 대한  $V_{out}$ 의 값은 식 (5)와 같이 유도될 수 있다.

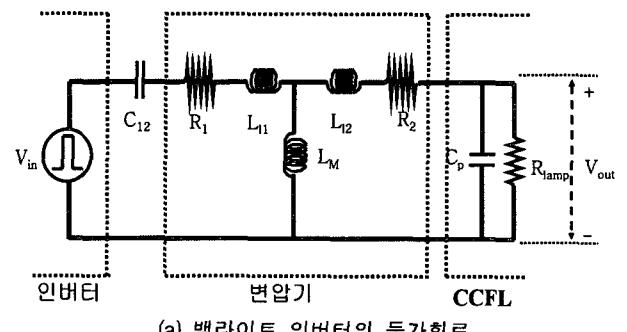
$$\left| \frac{V_{out}}{V_s} \right| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\alpha^2} (\alpha'' + 1 - \Omega^2)^2 + \frac{1}{Q^2} (Q_R + \Omega - \frac{1-\alpha}{\Omega})^2}} \quad (5)$$

여기서 식 (5)의 각 인자는 다음과 같다.

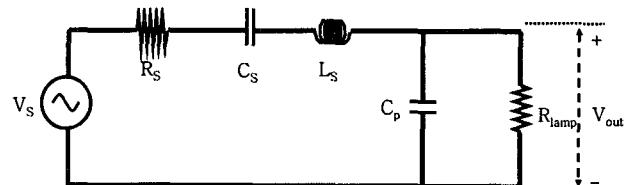
$$\alpha'' = \frac{R_S}{R_{lamp}} \alpha, \quad C' = \frac{C_S C_P}{C_S + C_P}, \quad Q = \frac{R_{lamp}}{\sqrt{\frac{L_S}{C}}},$$

$$Q_R = \omega R_S C_P Q, \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_0} = \omega \sqrt{L_S C}, \quad \alpha = 1 - \frac{C'}{C_S}$$

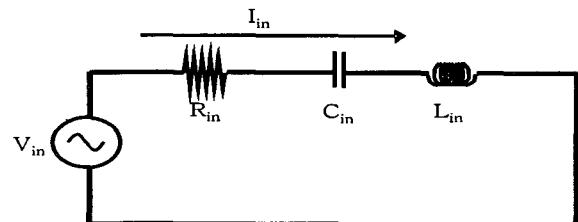
그림 4(c)은 그림 4(a) 공진회로의 1차측 환산 등가회로로 그림 4(b)의 2차측 환산 등가회로와 마찬가지로 특성식의 간편한 계산을 위해 간략화 시킨 회로이다. 그림에서  $R_{in}$ ,  $C_{in}$ ,  $L_{in}$ 은 간략화 정리 과정에서 그림 4(a)의 입력전압 주파수  $f$ ,  $C_{12}$ ,  $R_1$ ,  $L_{11}$ ,  $L_m$ ,  $L_{12}$ ,  $R_2$ ,  $C_p$ ,  $R_{lamp}$ 의 값으로 구해질 수 있고 1차측 환산 등가회로로부터 입력전압( $V_{in}$ )에 대한 입력전류( $I_{in}$ ) 값과 전압과 전류 위상각  $\phi$ 를 식 (6)과 (7)과 같이 구할 수 있다. 따라서 식 (3), (4)와 함께 회로 파라미터와 주파수에 따른 구동 펄스폭, 출력전압, 전류, 역률 등 동작 특성을 검토 할 수 있으며 이 회로의 특성 분석을 기반으로 변압기에 관련된 파라미터인  $L_{11}$ ,  $L_m$ ,  $L_{12}$ 의 최적값을 도출할 수 있고 이 파라미터가 나오도록 변압기의 설계 방향을 설정할 수 있다.



(a) 백라이트 인버터의 등가회로



(b) 공진회로의 2차측 환산 등가회로



(c) 공진회로의 1차측 환산 등가회로

그림 4. 백라이트 인버터 등가 회로

Fig. 4. The equivalent circuit of backlight inverter

$$\left| \frac{I_{in}}{V_{in}} \right| = \frac{1}{\sqrt{R_{in}^2 + (\omega L_{in} - \frac{1}{\omega C_{in}})^2}} \quad (6)$$

$$\phi = -\tan^{-1} \frac{\omega L_{in} - \frac{1}{\omega C_{in}}}{R_{in}} \quad (7)$$

### 3.3 구동회로에 의한 특성 비교와 검토

3.2절에서 구동회로를 분석할 수 있는 기반을 마련하였다. 본 절에서는 이 기반으로 회로 파라메터 특히 변압기의 인덕턴스에 따른 구동 특성을 검토하고자 한다. 이 때 변압기 코어의 형상이 고정되면 변압기의 인덕턴스는 턴수에 의해서 정하여진다. 따라서 본 논문에서는 표 2와 같은 기준 모델을 정하여 변압기 턴 수의 변화에 따른 구동 특성을 비교 검토하였다.

그림 5는 3.1절에서 제시한 구동회로의 특성분석 기반으로 표 2의 기준모델에 대해서 CCFL이 시동 시에서 정상상태로 변할 때 인버터 전압에 대한 CCFL의 인가전압 즉 전압 게인과 본 논문의 구동방법에 의한 동작점의 추이를 보여주고 있다. 이때 CCFL의 기동 시는 내부 임피던스가 무한대에 가깝고 정상상태에서는  $120[\text{k}\Omega]$ 으로 변한다. 따라서 전압게인은 그림 5와 같이 변하고 인버터의 동작점은 A점에서 B점으로 이동하며 B점의 주파수는 정격주파수가 되도록 설계되어야 한다. 결론적으로 인버터의 동작점은 변압기의 설계치 즉 공진회로의 인덕턴스 값에 종속적이므로 백라이트 인버터용 변압기는 이상의 구동 특성을 고려하여 시동전압을 만족하면서 정상상태의 요구전압을 발생할 수 있고 최대 효율 동작점에서 작동할 수 있도록 설계되어야 한다.

다음은 파라미터, 즉 인덕턴스 변화에 직접적으로 영향을 미치는 턴수에 따른 특성을 비교 검토하였다. 그림 6은 변압기의 1차, 2차 턴수를 같은 비율로 조절하여 전체 인덕턴스를 변화시킬 때 정상상태에서의 주파수에 따른 출력전압(CCFL인가전압) 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 M1은 표2의 기준 모델의 인덕턴스 값이고 M2와 M3는 기준모델보다 턴수를 감소시킨 경우의 곡선으로 각각의 턴수와 인덕턴스 값은 표3에 제시하였다. 특성 결과로부터 전체 인덕턴스가 작을수록 공진 주파수는 Mf1에서 Mf3로 이동하며 증가하고 전압 게인도 커짐을 알 수 있다. 또한 정상상태 요구전압(본 논문에서의 모델은 표1과 같이  $690[\text{Vrms}]$ , 피크치는  $975[\text{Vpeak}]$ )이 발생하는 동작 주파수도 전체 인덕턴스가 작을수록 Ma에서 Mc로 증가하게 된다. 그림 7은 변압기의 2차 턴수를 조절하여 턴수비를 변화시킬 때 출력전압 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 N1은 표2의 기준 모델의 인덕턴스 값이고 N2는 1차 턴수는 고정하고 2차 턴수를 조절하여 기본모델의 80% 턴수비가 되도록 하였고 N3은 기준모델보다 120% 턴수비인 경우로 각각의 턴수와 인덕턴스 값은 표3에 제시하였다. 특성 비교 결과는 2차 턴수가 증가하면 전압 게인도 증가하고 인덕턴스도 증가하므로 공진 주파수와 정상상태 요구전압이 발생하는 동작 주파수는 그림 7의 Nf3와 Nc와 같이 작아짐을 보여주고 있다. 그림 8은 변압기의 턴수는 고정하고 1차 누설 인덕턴스 값을 변화시킬 때 출력전압 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 F1은 표2의 기준 모델의 인덕턴스

표 2. 특성 검토 모델의 파라미터들

Table. 2. parameters of the research model

파라미터	값	단위	파라미터	값	단위
Ll1	27.58	[uH]	Lm1	157.7	[uH]
Ll2	217.9	[mH]	공극	0.05	[mm]
Cp	20	[pF]	Cb	100	[pF]
C12	1.47	[uF]	CCFL 저항	120	[kΩ]
1차 턴수	36		2차 턴수	3530	

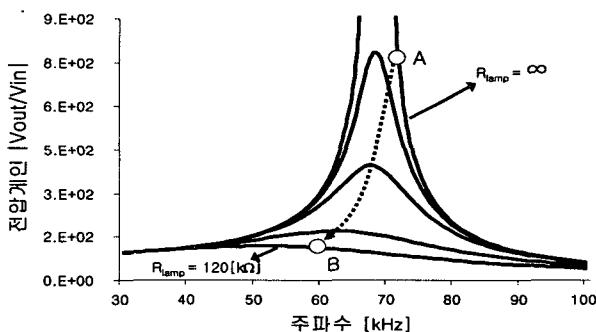


그림 5. 기동과 정상상태의 전압 게인

Fig. 5. The voltage gain of the ignition and steady state

값이고 F2는 기준모델보다 1차 누설 인덕턴스 값만 낮추었고 F3는 기준모델보다 1차 누설 인덕턴스 값만 높인 경우로 각각의 인덕턴스 값은 표3에 제시하였다. 특성 비교 결과는 1차 누설 인덕턴스가 감소하면 전압 게인도 증가하고 공진 주파수와 정상상태 요구전압이 발생하는 동작 주파수는 그림 8의 Ff2와 Fb와 같이 높아짐을 알 수 있다. 그림 9는 변압기의 턴수는 고정하고 2차 누설 인덕턴스 값을 변화시킬 때 출력전압 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 S1은 표2의 기준 모델의 인덕턴스 값이고 S2는 기준모델보다 2차 누설 인덕턴스 값만 낮추었고 S3는 기준모델보다 2차 누설 인덕턴스 값만 높인 경우로 각각의 인덕턴스 값은 표3에 제시하였다. 특성 비교 결과는 2차 누설 인덕턴스에 대해 전압 게인은 일관성을 유지하지 않으나 공진 주파수와 정상상태 요구전압이 발생하는 동작 주파수는 2차 누설 인덕턴스가 감소하면 그림 9의 Sf2와 Sb와 같이 높아짐을 알 수 있다.

인덕턴스 변화에 따른 종합적인 회로 분석 결과 인덕턴스 변화에 따라 전압게인 및 공진주파수와 동작주파수는 변화하고 있지만 전체 인덕턴스 값이 큰 것이 좋은지 작은 것이 좋은지, 또 누설인덕턴스도 적을수록 좋은지에 대해서 파라미터 분석을 통해서 결정할 수가 없다. 다만 인덕턴스 값에 따라 동작점 즉 동작 주파수가 변하므로 요구 출력 전압을 만족하면서 동작주파수가 인버터 정격 주파수인  $60[\text{kHz}]$ 에서 동작하는 동작점을 인덕턴스를 조절하여 찾을 수 있다는 사실만 알 수 있다. 따라서 유한요소법을 이용한 상세 해석 기반으로 가장 최적의 동작점을 결정하는 구체적이고 체계적인 방법을 제시가 필요하다.

#### 4. 백라이트 인버터용 변압기 설계 방향

그림 10은 표2의 기준모델에 대해 주파수에 따른 출력전압(CCFL 인가 전압), 변압기 역률 및 효율을 분석하여 보여주고 있다. 이때 분석은 3.1절의 회로분석 방법과 변압기와 회로를 연계한 회로를 고려한 시간차분 유한요소 연계 해석 방법에 의해 분석하였다. 즉 회로분석에 의해 주파수에 대한 입력전압에 해당하는 인버터 출력 펄스 전압과 출력전압에 해당하는 CCFL의 인가전압을 구할 수 있고 연계해석에 의해 이 펄스 전압에 대해 변압기에 흐르는 전류와 위상관계로부터 역률, 동순을 산정할 수 있다. 또한 자계해석으로부터 자속밀도와 철손을 산출하였으며 결과적으로 효율을 도출하였다. 이때 철손은 각 해석모델인 변압기의 분할된 요소의 각 자속밀도 크기와 주파수의 데이터를 기반으로 본 논문의 모델에 적용한 코어인 FDK사의 6H20의 철손 자료를 이용하여 환산 산출하였다. 그 결과 그림 10과 같이 변압기는 공진주파수에서 가장 좋은 역률과 효율 특성을 나타내고 있음을 알 수 있고 결론적으로 변압기는 공진주파수에서 동작하는 것이 가장 최적의 운전점이고 동작점 A와 같이 공진주파수에서 동작하도록 설계하는 것이 최적의 설계라 할 수 있다. 즉 공진주파수에서의 출력전압이 요구전압이 되도록 설계하는 것이 설계방향이라 할 수 있다. 그러나 본 논문에서 적용하고 있는 구동방법, 즉 주파수 변조 방식에 의해서는 공진주파수에서 동작하는 것은 거의 불가능하다. 첫 번째 이유로, 본 논문에서 적용하고 있는 LCD는 배터리 전원으로 구동되는 노트북용으로 배터리 전압의 변동을 원인으로 들 수 있다. 즉 9~21[V] 범위의 배터리 전압 변동에 대해서도 안정하게 동작하여야 하므로 최저 전압인 9[V]에서도 요구전압이 발생하여야 하고 그 동작주파수는 공진주파수가 되어야 한다. 그러나 변압기는 일반적으로 21[V]에서 동작하므로 9[V]에 공진주파수에서 동작하도록 설계하면 21[V]는 그보다 큰 주파수에서 동작하게 된다. 두 번째는 파라미터의 오차 등에 의한 원인을 들 수 있다. 만약 파라미터의 오차 등에

표 3. 비교 모델들의 파라미터들

Table. 3. parameters of the comparison models

비교 항목	모델	턴수 (1차/2차)	Ll1	Lm1	Ll2
전체 인덕턴스 변화	M1 (36/3530)	27.58[uH]	157.7[uH]	217.9[mH]	
	M2 (30/2942)	19.16[uH]	109.5[uH]	151.3[mH]	
	M3 (26/2550)	14.39[uH]	82.3[uH]	113.8[mH]	
턴수비 변화	N1 (36/3530)	27.58[uH]	157.7[uH]	217.9[mH]	
	N2 (36/2824)	27.58[uH]	157.7[uH]	139.5[mH]	
	N3 (36/4236)	27.58[uH]	157.7[uH]	313.8[mH]	
1차 누설 인덕턴스 변화	F1 (36/3530)	27.58[uH]	157.7[uH]	217.9[mH]	
	F2 (36/3530)	9.58[uH]	157.7[uH]	139.5[mH]	
	F3 (36/3530)	57.5[uH]	157.7[uH]	313.8[mH]	
2차 누설 인덕턴스 변화	S1 (36/3530)	27.58[uH]	157.7[uH]	217.9[mH]	
	S2 (36/3530)	27.58[uH]	157.7[uH]	62.2[mH]	
	S3 (36/3530)	27.58[uH]	157.7[uH]	518.9[mH]	

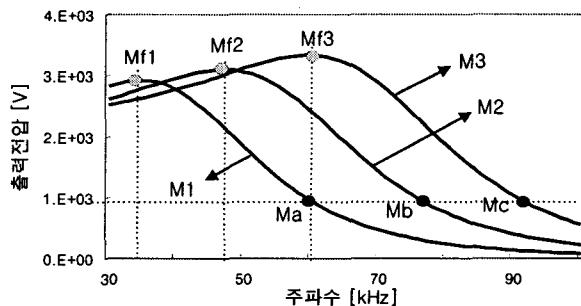


그림 6. 전체 인덕턴스의 변화에 따른 전압 계인

Fig. 6. voltage gain according to the total inductance change

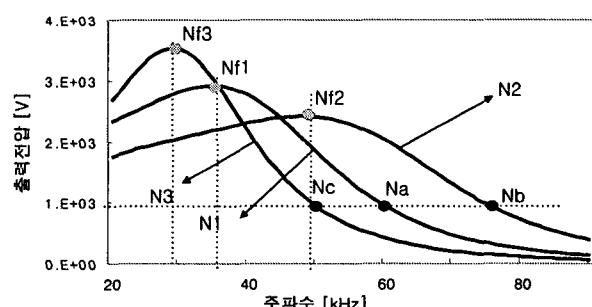


그림 7. 턴수비 변화에 따른 전압 계인

Fig. 7. voltage gain according to the turn number change

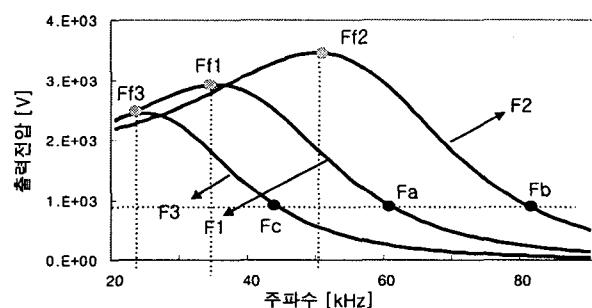


그림 8. 1차 누설 인덕턴스 변화에 따른 전압 계인

Fig. 8. voltage gain according to the 1'st leakage inductance change

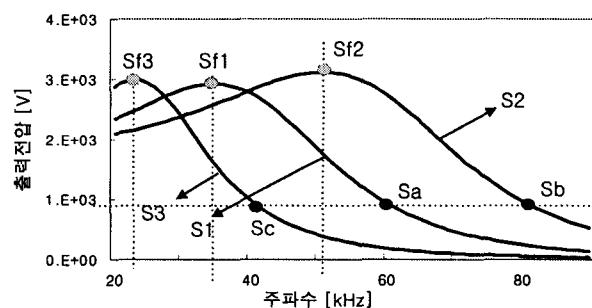


그림 9. 2차 누설 인덕턴스 변화에 따른 전압 계인

Fig. 9. voltage gain according to the 2'nd leakage inductance change

의해 공진주파수에서 발생 전압이 요구전압보다 작게 발생하면 구동주파수는 낮은 쪽으로 이동하여 발생전압도 더 작아져서 결국 발산하게 된다. 따라서 여유전압을 고려하여 출력전압이 요구전압보다 높게 발생하도록 실제 정상상태에서의 동작주파수는 공진주파수보다 높게 설정되어야 한다. 상기의 이유로 변압기는 공진주파수에서 동작할 수 없지만 본 논문은 가능한 공진주파수에서 가장 근접된 주파수로 동작할 수 있는 합리적 방법을 제안하고자 한다. 그림 11은 그 방법을 설명하고 있다.

백라이트 인버터는 CCFL의 요구전압을 발생해야 하고 본 논문에서는 그 요구 정격전압을 표1에 나타난바와 같이 실효치 690[Vrms], 즉 최대치인 975[Vpeak]로 정하였다. 본 논문의 설계방향은 최소 배터리 전압 9[V]하에 공진주파수에서 여유분을 고려한 요구전압보다 조금 큰 전압이 발생하도록 한다. 그 전압을 본 논문에서는 임의로 1200[Vpeak]로 정하였고 동작점은 그림 11의 A 점에 해당한다. 따라서 배터리 전압 9[V]에서 요구전압 975[Vpeak]이 발생하는 주파수는 공진주파수보다 약간 큰 주파수에서 동작하며 그 동작점은 그림 11의 B 점에 해당한다. 마지막으로 가장 많은 주기 동안 운전되는 배터리 전압 21[V]에서 요구전압 975[Vpeak]이 발생하는 주파수는 정격주파수인 60[kHz]이며 동작점은 그림 11의 C 점에 해당하며 변압기의 설계는 위 3가지 전압 조건을 만족하도록 설계방향을 결정하였다. 본 논문에서 설계 변수는 코일 턴수와 공극 그리고 코어 길이로 정하였으며 회로의 파라미터 중에서 기생 커패시턴스 등은 경험적으로 정해진 값을 이용하여 인덕턴스 값은 설계변수인 턴수와 공극, 코어길이에 의해 산정된다. 본 논문에서 제안한 설계 방향으로 공극에 대해 설계 요구 조건을 만족하는 턴수, 즉 인덕턴스 값을 찾아보면 여러 경우가 아닌 한 값만 도출되므로 설계치는 하나로 정해진다. 따라서 본 논문에서는 공극과 core 길이에 따른 각각의 설계치를 도출하여 각 성능을 비교 분석하는 연구를 수행하였다. 이때 변압기의 성능비교는 회로연계 유한요소 해석을 기반으로 수행하여 상세하게 분석하였다.

## 5. 해석 및 설계 결과

본 논문은 역률, 손실 그리고 효율 등의 성능 지표에 대해 공극과 코어 길이에 따른 도출된 각 설계치의 성능비교를 수행하였다. 성능 해석은 회로를 고려한 시간차분 유한요소 해석에 의해 수행하였다. 그림 12는 본 논문의 해석 모델과 최대 자속이 발생할 때의 자속분포도를 보여주고 있다. 전체적으로 자속밀도는 0.2[T] 근처의 값을 가지며 최대 자속밀도도 0.3[T]를 넘지 않아 포화에는 문제가 없음을 알 수 있다. 그림13은 인버터 출력전압과 전류파형의 해석 결과를 보여주고 있다. 그림에서 본 논문의 구동방법이 회로를 고려한 유한요소해석에 제대로 적용되고 있음을 증명하고 있다.

본 논문에서의 설계 인자 중에서 우선 공극에 따른 설계치를 도출하기 위해 그림 12의 모델에서 공극 A와 B 양쪽을 다 포함한 양쪽 공극형 모델, 공극 A만 준 1차누설형 모델, 그리고 공극 B만 준 2차누설형 모델의 공극을 세가

지 형태로 분리하여 각 모델의 공극에 대해 앞 절의 설계 방향과 출력요구조건, 즉 공진주파수에서의 요구전압과 60[kHz] 정격주파수에서의 요구전압을 만족하는 설계치를 도출하여 성능을 비교분석하였다.

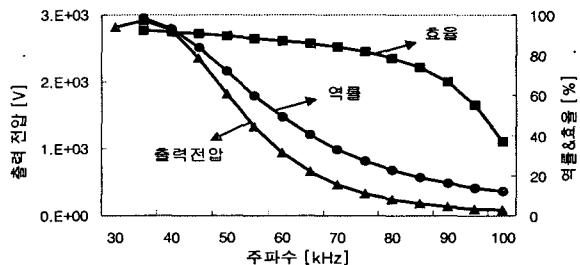


그림 10. 주파수에 따른 변압기 특성 곡선

Fig. 10. The characteristics curve of transformer according to frequency

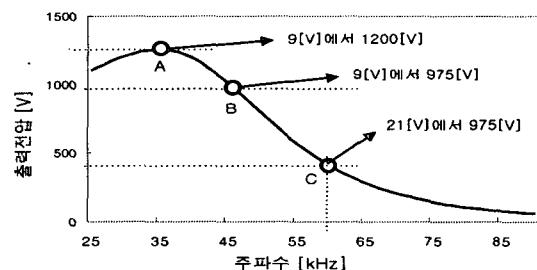


그림 11. 변압기의 동작점과 설계 방향

Fig. 11. The operation points and design method

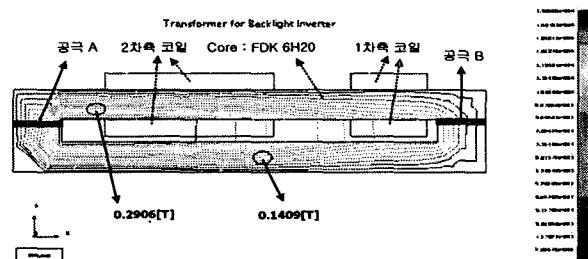


그림 12. 해석 모델과 자속분포도

Fig. 12. The analysis model & flux distribution

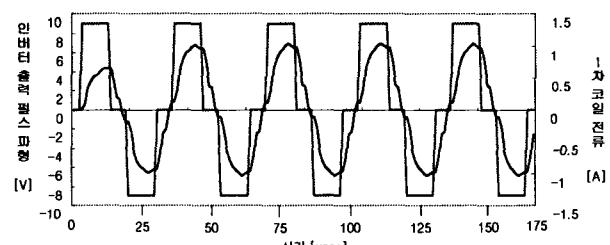


그림 13. 인버터 출력전압과 전류파형

Fig. 13. The inverter output voltage and current waveform

그림 14은 설계결과에 대한 성능 비교의 결과를 보여주고 있다. 그림에서 공극이 작으면 작을수록 더 좋은 효율

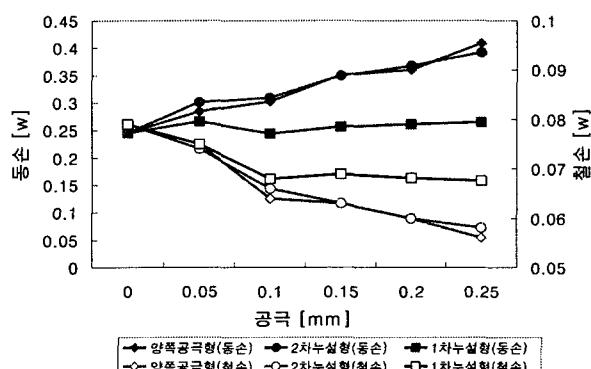
을 보여주고 있다. 그러나 공극이 작을수록 코어의 투자율의 오차에 의한 영향으로 설계 오차를 초래하기 더 쉽기 때문에 변압기는 어느정도 공극을 가지는 것이 필요하다. 따라서 변압기는 공극이 증가해도 성능 저하가 작도록 설계될 필요가 있으며 해석 결과, 1차누설형 모델이 공극에 따라 성능 변화가 적어 가장 이상적인 모델이라 할 수 있다. 1차누설형 모델에서 해석 결과로는 어느 공극에서도 성능의 차이는 크지 않으나 대체적으로 0.1[mm]정도가 적당하리라 생각되고 설계결과의 1차, 2차 턴수는 각각 35 and 3770이며 각 모델의 공극에 따른 턴수 설계 결과와 인덕턴스 및 해석에 의해 구한 21[V], 60[kHz]에서 975[Vpeak]가 발생하는 동작점에서의 코일전류를 표 4에 제시하였다. 또한 해석 결과 1차누설형은 다른 타입보다 턴수는 적고 자속밀도는 약간 높게 나타나고 있으나 전반적으로 변압기 1차, 2차 코일의 전류가 적게 흐르고 2차 누설형보다 턴수가 적어 동손이 적은 특징을 보이고 있다. 그림 14(c)에서 모든 모델의 효율은 거의 90[%]대에 있어 그 차이는 그리 커 보이지 않으나 그림 14(a)의 손실 값으로는 거의 2배에 가까워, 결국 효율이 좋지 않은 타입은 열문제로 효율이 좋은 1차누설형보다 변압기의 크기가 증가될 가능성 이 높으므로 각 모델의 성능 차이는 크다고 볼 수 있으며 이 특성 비교 결과는 백라이트 인버터용 변압기 설계의 중요한 자료로 제공될 수 있다. 그림 14(c)은 또한 실험 결과도 보여주고 있으며 해석 결과와는 어느정도 크기의 차이는 있으나 비슷한 경향을 보여주고 있음을 그림으로부터 알 수 있다. 실험은 인버터 유효출력 값과

**표 4. 설계결과의 턴수와 전류값 및 인덕턴스**  
Table 4. The turn number, current and inductance of design results

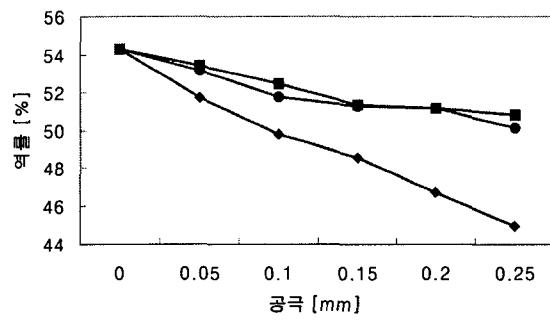
모델	공극 [mm]	턴수 (1차/2차)	1차 코일 전류 [A]	Lm [uH]	Ll1 [uH]	Ll2 [mH]
양쪽 공극형 모델	0 (37/3340)	1.07	1097.43	34.98	194.3	
	0.05 (36/3530)	1.167	157.72	27.584	217.9	
	0.1 (35/3650)	1.288	83.0	23.67	218.3	
	0.15 (35/3800)	1.344	58.79	22.02	223.3	
	0.2 (34/3920)	1.419	43.64	19.42	224.04	
	0.25 (33/4050)	1.559	34.11	17.253	229.45	
2차 누설형 모델	0 (37/3340)	1.07	1097.43	34.98	194.3	
	0.05 (38/3330)	1.127	315.83	9.725	385.22	
	0.1 (38/3330)	1.208	193.6	5.865	402.5	
	0.15 (39/3350)	1.234	152.65	4.62	407.49	
	0.2 (40/3360)	1.234	130.71	4.02	405.01	
	0.25 (40/3390)	1.275	110.41	3.448	406.0	
1차 누설형 모델	0 (37/3340)	1.07	1097.43	34.98	194.3	
	0.05 (36/3580)	1.125	291.41	51.17	28.61	
	0.1 (35/3770)	1.18	172.59	49.57	1.946	
	0.15 (34/3940)	1.213	123.46	46.47	0.31	
	0.2 (34/4100)	1.224	101.49	45.79	0.195	
	0.25 (34/4230)	1.234	88.43	44.93	0.0105	

CCFL의 유효출력을 측정, 계산하여 나타내었다.

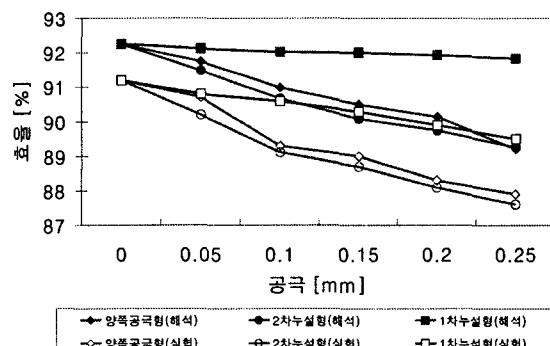
그림 15는 코어 길이에 따른 변압기의 성능 비교를 보여주고 있다. 설계치 도출은 공극에 따른 성능 비교와 마찬가지로 도출하였고 공극은 0.1[mm]로 고정하였다. 그림 15에서 코어 길이가 늘어날수록 동손이 줄고 효율이 증가하는 것을 알 수 있다. 코어 길이가 늘어날 때 동손이 주는 원인을 분석하면 설계 결과치가 코어 길이 증가에 따라 전류 증가 대비 턴수가 많이 줄어 코일 저항을 감소시키는 효과를 나타내고 있다. 각 모델과 코어 길이에 대한 턴수 설계 결과와 코일 전류를 표5에 제시하였다. 그림15(a)에서 코어 길이 증가에 대해 철손이 느는 것은 전체적으로 자속밀도 크기가 느는 것이 아니고 코어 체적이 증가하기 때문이다. 그러나 동손에 비해 철손의 비율이 작으므로 총손실



(a) 손실 비교



(b) 역률 비교



(c) 효율 비교

그림 14. 공극에 따른 변압기 성능 비교

Fig. 14. The transformer performance according to the gap

면에서 철손의 영향은 적다. 공극 모델은 공극에 따른 성능 비교와 마찬가지로 1차 누설형이 비록 철손은 조금 높게 나오지만 다른 모델보다 모든 면에서 우수한 특성을 나타내고 있다. 원인으로 1차 누설형이 다른 모델보다 턴수도 적어 저항이 작고, 코일 전류도 작아 동손이 줄어듬을 들 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 백라이트 인버터용 변압기의 설계 방향을 제안하고 설계에 필요한 특성 분석을 검토하였으며 제안한 방법에 의해 해석과 설계를 수행, 설계 결과치를 도출하였다. 설계는 공극을 양쪽 공극형 모델, 1차누설형 모델, 그리고 2차누설형 모델의 3가지 모델로 구분, 각각의 설계 결과치를 도출하여 각 성능을 비교 검토하였다. 이때 설계 인자로 공극의 길이에 따른 설계와 코어 길이에 따른 설계를 수행하였다. 설계 결과 1차 누설형 모델이 공극의 변화에 대해서도 성능이 저하되지 않고 다른 모델보다 전반적으로 성능이 우수함을 나타내고 있다. 또한 코어의 길이가 증가할수록 변압기 성능은 향상됨을 분석 결과 알 수 있었다. 상기 해석과 설계 결과로부터 본 논문의 제안한 설계 방향은 백라이트 인버터용 변압기 설계에 매우 유용하게 적용될 수 있음을 알 수 있다. 또한 본 논문에서 제공된 특성 비교 결과는 백라이트 인버터용 변압기 설계를 위한 중요한 자료로 이용될 것이다.

**표 5. 설계결과의 턴수와 전류값 및 인덕턴스**  
Table 5. The turn number, current and inductance of design results

모델	길이 [mm]	턴수 (1차/2차)	1차 코일 전류 [A]	Lm [uH]	Ll1 [uH]	Ll2 [mH]
양쪽 공극형 모델	24 (44/4450)	1.212	139.52	27.1	215.1	
	26 (39/4000)	1.243	106.28	25.46	219.9	
	28 (35/3650)	1.288	83.0	23.67	218.3	
	30 (32/3445)	1.347	67.63	22.4	224.26	
	32 (30/3234)	1.364	57.81	21.89	222.84	
	34 (28/3072)	1.401	48.98	20.87	223.19	
2차누설 형 모델	24 (47/4105)	1.181	310.24	4.945	422.58	
	26 (42/3658)	1.203	241.22	5.522	411.85	
	28 (38/3330)	1.208	193.6	5.865	402.5	
	30 (36/3605)	1.213	170.72	6.514	391.18	
	32 (34/2855)	1.245	149.01	6.935	381.83	
	34 (32/2691)	1.27	129.63	7.183	375.84	
1차누설 형 모델	24 (42/4360)	1.141	259.02	51.219	0.412	
	26 (38/4020)	1.146	207.9	50.306	0.857	
	28 (35/3770)	1.18	172.59	49.57	1.946	
	30 (32/3550)	1.178	141.74	47.017	6.948	
	32 (30/3345)	1.169	121.88	46.127	15.802	
	34 (28/3187)	1.183	104.05	44.24	23.617	

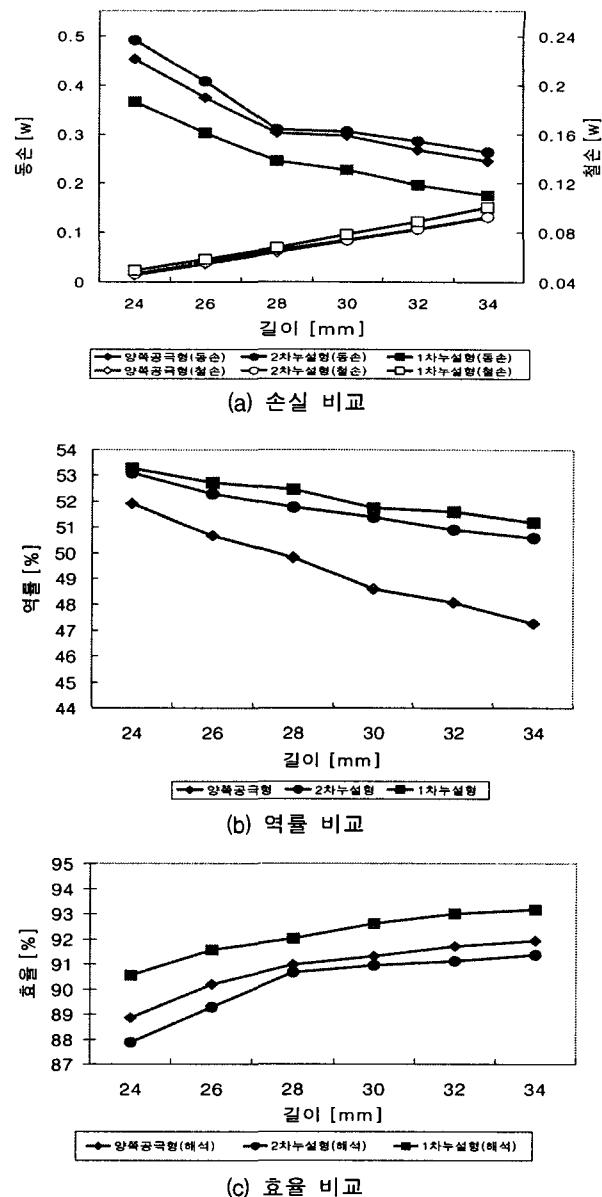


그림 15. 파형코어 길이에 따른 변압기 성능 비교  
Fig. 15. The transformer performance according to the core length

## 참 고 문 헌

- [1] “산업기술혁신 5개년 계획, 산업별 보고서-디스플레이”, 한국산업기술평가원, 1993年.
- [2] Gie Hyoun Kweon, Young Cheol Lim, Seung Hak Yang, “An analysis of the backlight inverter by topologies,” ISIE 2001. IEEE International Symposium on Volume 2, pp. 896-900, June, 2001.
- [3] Masakazu Ushijima, “Latest Trend of Inverters for LCD Backlight and Synchronized Phase Coupling Transformer type Inverter”, Electronics Technology, 2000.

- [4] Fu-Sheng Tsai, Peter Materu, Fred C.Y. Lee, "Constant-Frequency Clamped-Mode Resonant Converters," IEEE Transactions on Power Electronics. vol. 3, No. 4, pp 460-473, October, 1988.
- [5] Paul Ueunten, "MP1010 Resonant Mode CCFL Inverter", Application Note, 2001.

---

## 저자 소개



김 윤 현 (金 倫 賢)

1964년 3월 13일생. 1987년 한양대 전기공학과 졸업. 1989년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989~1999년 LG 산전 연구소 책임연구원. 1999년~2002 한양대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한밭대학교 전기공학과 조교수

Tel : 042-821-1099

Fax : 042-821-1088,

E-mail : yhyunk@hanbat.ac.kr