

# 소형화 및 슬림형에 적합한 평면 플라이백 변압기의 최적 설계에 관한 연구

## A Study on the Optimal Design of Planar Flyback Transformers suitable for Small-size and Low-profile

나 혜 중\*, 김 종 해\*\*★

Hae-Joong Na\*, Jong-Hae Kim\*\*★

### Abstract

This paper presents the optimal design of planar flyback transformer suitable for small-size and low-profile of AC to DC adapter for 10W tablet. This paper also proposes the injection winding transformer of Hybrid and Drum types capable of the winding method of automatic type and the reduction of transformer size and leakage inductance( $L_k$ ) compared to the conventional mass-production flyback transformer with the winding method of manual type. In particular, the injection winding transformer of Drum type proposed in this paper is constructed in a horizontal laying of its transformer to solve the connection problem of copper plate injection winding on the secondary side of the one of Hybrid type. The primary and secondary windings of the injection winding transformer of Hybrid and Drum types used the conventional winding and the copper plate injection winding, respectively. For the injection winding transformer of Hybrid and Drum types proposed in this paper, the optimal design of planar flyback transformer suitable for small-size and low-profile was carried out using Maxwell 2D and 3D tool.

### 요 약

본 논문에서는 10W급 Tablet용 AC to DC Adapter의 소형화 및 슬림형에 적합한 평면 Flyback 변압기 최적화 설계에 대해서 나타낸다. 또한 본 논문에서는 수동권선의 기존 양산 Flyback 변압기에 비해 자동권선, Trans 크기 저감 및 누설 인덕턴스( $L_k$ ) 저감이 가능한 Hybrid형 사출 권선 변압기와 Drum형 사출 권선 변압기를 제안한다. 특히 본 논문에서 제안한 Drum형 사출 권선 변압기는 Hybrid형 사출 권선 변압기 2차측의 동판 사출 권선 접속 문제를 해결하기 위하여 변압기를 수평으로 놓힌 형태로 구성하였다. 본 논문에서 제안한 Hybrid형 사출 권선 변압기와 Drum형 사출 권선 변압기의 1차측과 2차측 권선은 각각 기존 권선과 동판 사출 권선을 사용하였다. 본 논문에서 제안한 Hybrid형 사출 권선 변압기와 Drum형 사출 권선 변압기에 대해 Maxwell 2D 및 3D Tool을 이용하여 소형화 및 슬림형에 적합한 평면 Flyback 변압기 최적화 설계를 수행하였다.

*Key words* : AC/DC adapter, Drum type, Hybrid type, Injection winding, Leakage inductance

\* Research Professor, Institute of industrial Technology, Yeungnam University

\*\* Professor, School of Electronic and Electrical Engineering, Daegu Catholic University

★ Corresponding author

E-mail : kjhassk@cu.ac.kr, Tel : +82-53-850-2781

Manuscript received Aug. 31, 2020; revised Sep. 22, 2020; accepted Sep. 22, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 1. 서론

노트북 컴퓨터를 비롯한 모바일 전자기기의 전력 사용량이 증가함에 따라, 이들 전자기기에 전력을 공급하는 AC/DC 어댑터와 같은 고밀도 전원의 요구 전력 또한 커지고 있다. AC/DC 어댑터와 같은 고밀도 전원의 경우 휴대를 위해 소형화가 필수적이므로 전력밀도의 증가를 위한 집적도 향상이 주요한 설계 포인트가 되고 있다. 현재 고밀도 전원의 구성에 있어서 가장 큰 부피를 차지하는 것은 변압기를 비롯한 자성체 부품이며 전원의 소형화를 위해서는 이들 부품의 집적도 향상이 필수적이다[1][2][3]. AC/DC 어댑터와 같이 고밀도 AC/DC 전원에 사용되고 있는 전력변환회로 토폴로지는 PFC의 필요성 여부에 따라 전력용량 75W를 기준으로 구분되며, 75W 이상에서는 PFC 단과 DC/DC 컨버터 단을 갖춘 2-Stage 방식을 사용하고 있으며, 75W 이하의 소용량에서는 Flyback 회로를 기반으로 하는 1-Stage 방식이 사용되고 있다. 최근 Smart Phone 및 Tablet 컴퓨터를 비롯한 모바일 디바이스가 새로운 정보기기로서 각광받기 시작하면서 이러한 장치의 배터리를 충전하기 위한 60W급 이하의 AC/DC 어댑터[4][5][6]에 대한 새로운 기술적 요구 사항이 증가되고 있다. 그림 1은 Smart Phone, Tablet 제품 및 컴퓨터에 사용되고 60W급 이하의 기본 AC/DC 어댑터의 회로 블럭도를 나타내고 있다.

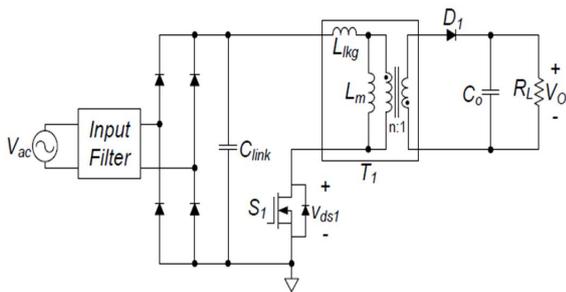


Fig. 1. Block diagram of the basic AC/DC adaptor circuit less than 60W

그림 1. 60W 이하의 기본 AC/DC 어댑터 회로 블럭도

10W 이하의 소용량 Mobile용(Tablet, Smart폰) Application 시장의 급성장과 함께 Mobile기기 및 Note PC 전원 시스템의 소형화 및 낮은 대기전력 등과 같은 시장의 변화와 고객 Needs를 맞추기 위해 고전력밀도/고효율의 Adapter를 설계할 필요가 있다[7][8][9][10]. 이를 구현하기 위해서는 Topology,

Devices & Material, PKG & Thermal 등과 같은 핵심 기술이 요구된다.

상기에서 기술한 바와 같이 최근 10W 이하의 소용량 Mobile용(Tablet, Smart폰)의 급성장과 더불어 Adapter의 소형화, Slim화 및 고전력밀도가 더욱더 강조됨에 따라 시장 변화와 고객의 Needs를 맞추기 위해서 본 논문에서는 Adapter의 전체 체적에서 30%를 차지하고 있는 Flyback 변압기의 소형화 및 슬림형에 적합한 평면 Flyback 변압기 최적화 설계에 대해서 나타낸다. 또한 본 논문에서는 수동권선의 기존 양산 Flyback 변압기에 비해 자동권선, Trans 크기 저감 및 누설 인덕턴스(Lk) 저감이 가능한 Hybrid형 사출 권선 변압기와 Drum형 사출 권선 변압기를 제안한다. 특히 본 논문에서 제안한 Drum형 사출 권선 변압기는 Hybrid형 사출 권선 변압기 2차측의 동판 사출 권선 접속 문제를 해결하기 위하여 변압기를 수평으로 눕힌 형태로 구성하였다.

### II. 본론

#### 1. 제안한 평면 Flyback 변압기의 최적화 설계를 위한 제품 사양 및 연구 목표

표 1은 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 Flyback 변압기 최적화 설계를 위한 제품 사양을 나타내고 있다. 표 1에서 나타낸 최적화 설계를 위한 제품 사양을 토대로 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 소형화 및 슬림형에 적합한 평면 Flyback 변압기의 최적화 설계를 수행한다.

Table 1. Product specification of AC/DC Adapter for 10W Tablet.

표 1. 10W Tablet용 AC/DC Adapter의 제품 사양

Description	Specification	Remark
Rated output power	12.5[W]	5[V], 2.5[A]
Output voltage(Cable End)	4.8[V] ~ 5.4[V]	Typ. : 5V
Ripple & Noise	150mV <sub>p-p</sub> [V] ↓	Maximum value
Output current	0 ~ 2[A]	
Rated input voltage	100 ~ 240V <sub>ac</sub> [V]	
Average efficiency	80[%] ↑	Minium value
Switching frequency	85[kHz] : V <sub>inmax</sub> , 140[kHz] : V <sub>inmin</sub>	

표 2는 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 Flyback 변압기의 연구 개발 목표를 나타내고 있다. 표 2에서 나타낸 바와 같이 기존 변압기 대비 변압기 사이즈와 1차측 주권선의 측정 단자를 제외한 모두 All shorted한 경우 leakage inductance( $L_k$ )는 각각 40[%] 및 20% 이하 저감하고, 권선 방법은 수동 권선에서 자동 권선으로 자동화를 목표로 한다.

Table 2. Research target of AC/DC Adapter for 10W Tablet.

표 2. 10W Tablet용 AC/DC Adapter의 연구 목표

Description	Conventional transformer	Target transformer	Remark
Transformer volume	20.5×23.5×11.2[mm] (5,395[mm <sup>3</sup> ])	18×15×8[mm] (2,160[mm <sup>3</sup> ])	40[%] ↓
Leakage inductance (All shorted)	8[μH]	6[μH] ↓	2[μH] ↓
Winding method	Manual type	Automatic type	Automatic winding

2. 기존 변압기 분석

소형화 및 Slim화에 적합한 Flyback 변압기 최적화 설계를 진행하기에 앞서 기존 변압기의 권선 구조, 코어 형상 및 전기적 특성을 파악하기 위해 기존 변압기를 직접 분해하여 각 부분의 치수 측정 및 변압기의 전기적 특성 분석을 진행하였다. 그림 2는 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 기존 Flyback 변압기의 실제 외관을 나타내고 있다. 그림 3은 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 기존 Flyback 변압기의 코어(EF1510) 형상과 치수를 나타내고 있다.



Fig. 2. Actual appearance of conventional Flyback transformer. 그림 2. 기존 Flyback 변압기의 실제 외관

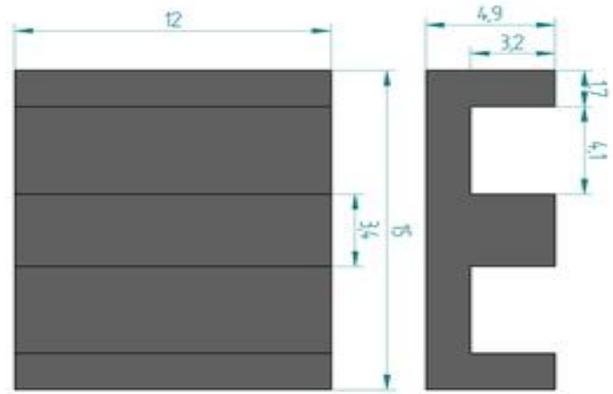


Fig. 3. Core appearance and its dimension of conventional Flyback transformer.

그림 3. 기존 Flyback 변압기의 코어 형상과 치수

그림 4는 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 기존 Flyback 변압기에 대한 1차측과 2차측의 권선 연결 배선도를 나타내고 있다. 그림 4에서 나타낸 바와 같이 1차측 각 권선과 턴수는  $N_{p1}(2-5) : 32T$ ,  $N_{p2}(5-1) : 10T$ ,  $N_a(3-4) : 6T$ 로 구성되며, 2차측 권선과 턴수는  $N_{s1}(6-7) : 3T$ 으로 3중 절연 권선을 사용하였으며, 또한  $S1(1-Open) : 6T$ 와  $S2(1-Core)$ 는 EMI 저감을 목적으로 사용하였다. 각 권선간은 절연을 목적으로 절연 및 Barrier 테이프를 사용하였다. 그림 5 (a)~(f)는 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 기존 Flyback 변압기에 대한 실제 권선 구조를 나타내고 있다. 그림 4에서 설명한 바와 같이 그림 5 (a)~(f)의 각 단자별 권선은  $N_{p1}(2-5)$ ,  $N_{p2}(5-1)$ ,  $N_a(3-4)$ ,  $N_{s1}(6-7)$ ,  $S1(1-Open)$ ,  $S2(1-Core)$ 를 의미한다.

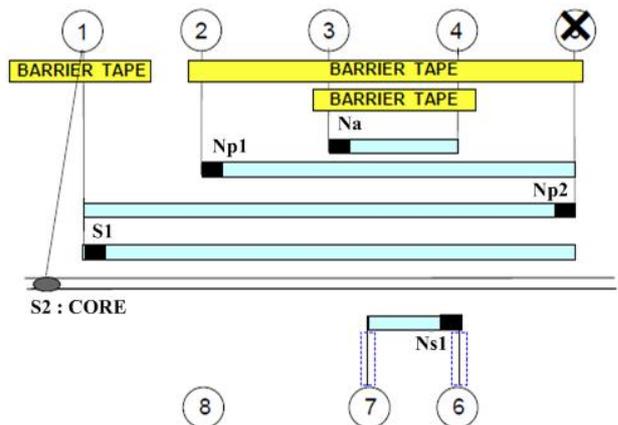


Fig. 4. Schematic diagram of its winding connection for conventional Flyback transformer.

그림 4. 기존 Flyback 변압기에 대한 권선 연결 배선도

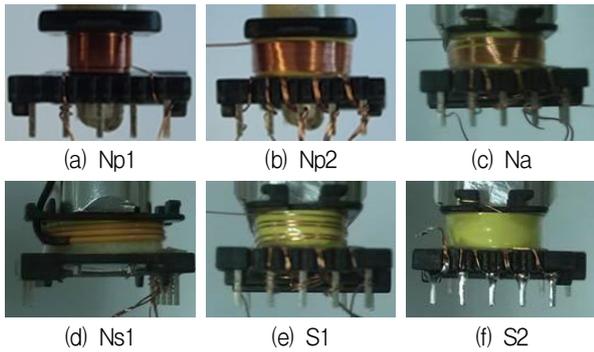


Fig. 5. Winding structures of actual sample for conventional Flyback transformer.

그림 5. 기존 Flyback 변압기에 대한 실제샘플의 권선구조

표 3은 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 기존 Flyback 변압기의 전기적 특성을 나타내고 있다. 표 3에서 나타낸 바와 같이 2차측 권선 단락 및 All shorted한 경우, 1차측 권선에서 측정된 Leakage inductance는 각각 22[ $\mu$ H]와 8[ $\mu$ H]이며, 1차측 주 권선( $N_{p1}+N_{p2}$ ), 1차측 보조권선( $N_a$ ) 및 2차측 권선의 Inductance는 700[ $\mu$ H], 14.3[ $\mu$ H] 및 3.6[ $\mu$ H]이다.

Table 3. Electrical characteristics of AC/DC Adapter for 10W Tablet.

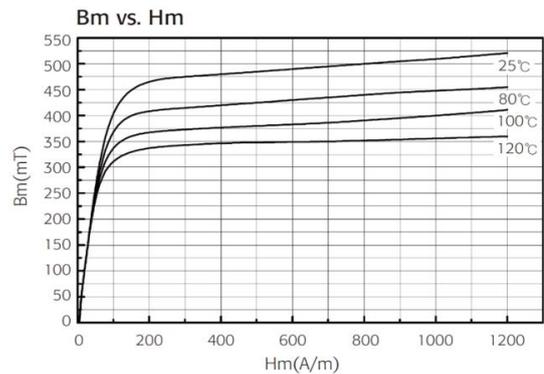
표 3. 10W Tablet용 AC/DC Adapter의 전기적 특성

Description	Terminal		Electrical characteristics	
	S	F		
Inductance	2	1	700	[ $\mu$ H]
	3	4	14.3	[ $\mu$ H]
	6	7	3.6	[ $\mu$ H]
Leakage inductance	2-1(6-7 Shorted)		22	[ $\mu$ H]
	2-1(3-4, 6-7 Shorted)		8	[ $\mu$ H]
DC Resistance	2	1	1.26	[ $\Omega$ ]
	3	4	0.065	[ $\Omega$ ]
	6	7	0.02	[ $\Omega$ ]

### 3. 사출 권선 변압기의 분석

사출 권선 변압기는 기존의 권선형 변압기에 비해 권선 자동화에 가장 큰 장애 요인인 절연 테이프 및 Barrier 테이프 제거함으로써 권선 자동화가 가능할 뿐만 아니라 변압기의 제조 공정이 감소된다는 장점을 가지고 있다. 또한, 권선 자동화 및 사출 권선을 통해 제작한 변압기의 경우, 기존의 권선형 변압기에 비해 작업자의 숙련도에 따른 권선 작업 불량 감소, 변압기의 전기적인 동질성 확보 및 개발 기간 단축으로 인한 생산성 향상시킬 수 있다. 권선

작업의 용이성 및 변압기 권선 설계 자유도를 높이기 위해서 ① 1차측 : 사출권선, 2차측 : 사출권선 ② 1차측 : 일반 권선, 2차측 : 사출권선, ③ 1차측 : 사출권선, 2차측 : 일반권선, ④ 1차측 : 사출권선 + 일반권선, 2차측 : 사출권선 + 일반권선 등 다양한 형태 권선 방식이 제안되고 있다. 본 연구에서는 권선 작업의 용이성과 변압기 제작을 고려하여 먼저 ② 1차측 : 일반권선, 2차측 : 사출 권선으로 조합된 Hybrid형사출 권선 방식을 채택하였다. 본 연구에서 사출 권선형 변압기 중 보빈의 남은 공간을 활용하여 누설 인덕턴스 감소를 목적으로 한 1차측을 일반 권선, 2차측을 사출권선으로 한 Hybrid형 사출 권선 변압기와 2차측 동판 권선을 사출함으로써 동판 권선 접속 문제를 해결하기 위해서 변압기를 수평으로 눕혀 결선하는 Drum형 사출 권선 변압기를 제안한다. Hybrid형 사출 권선 변압기와 Drum형 사출 권선 변압기 설계를 위해 1차측 권선은 기존의 권선형 변압기와 동일한 권선으로 2차측 권선은 동판 사출 권선을 사용하였으며 코어는 PL-13 재질과 유사한 특성을 가지는 PC95재질을 사용하였다. 그림 6은 TDK Power Ferrite Material PC95의 자기장(H)에 대한 자속 밀도 특성, 철손 체적 밀도 및 포화 자속 밀도 등을 나타내고 있다.



(a)

Material		PC47	PC90	PC95
Initial permeability	$\mu_r$	2400 $\pm$ 25%	2200 $\pm$ 25%	3300 $\pm$ 25%
Core loss volume density at 100kHz, 200mT Typical Values	$P_v$ (kW/m <sup>3</sup> )	600	680	350.0
	25 °C	400	470	300.0
	60 °C	300	380	280.0
	80 °C	250	320	290.0
	120 °C	360	400	350.0
Saturation magnetic flux density at 1000A/m Typical Values	$B_s$ (mT)	530	540	530.0
	25 °C	480	510	480.0
	60 °C	420	450	410.0
	100 °C	390	420	380.0
	120 °C	180	170	85.0
Remanent flux density Typical Values	$B_r$ (mT)	100	60	70.0
	25 °C	60	60	60.0
	60 °C	60	60	55.0
	100 °C	60	60	230
	120 °C	4.9x10 <sup>-1</sup>	4.9x10 <sup>-1</sup>	4.9x10 <sup>-1</sup>
Curie temperature	$T_c$ (°C)	min.	250	215
Density	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )		4.9x10 <sup>3</sup>	4.9x10 <sup>3</sup>
Electrical Resistivity	$\rho_v$	0 * H	4.0	6.0

(b)

Fig. 6. TDK Power Ferrite Material PC95.

그림 6. TDK 파워 페라이트 재질 95

가. Hybrid형 사출 권선 변압기

그림 7은 Hybrid형 사출 권선 변압기의 코어 단면도 및 권선 배치를 나타내고 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이, 1차측 권선( $N_p$ ,  $N_a$ )은 일반 권선을 사용하였으며 2차측 권선( $N_{s1}$ ,  $N_{s2}$ ) 및 EMI저감용 Shield(Shield 1, Shield 2)를 동판 사출 권선을 사용하였다. Hybrid형 사출 권선 변압기의 코어와 권선 사양은 기존의 권선형 변압기와 동일하게 사용하였으며 Leakage Inductance를 저감하기 위한 방안으로써 1차측 권선( $N_p$ ,  $N_a$ )을 일반권선으로 2차측 권선은 동판 사출 권선으로 Interleaved하는 권선 방식이 제안하였다. 본 논문에서는 2차측 동판 사출 권선을 Interleaved 하는 방식을 채택하여 Maxwell simulation을 수행하였다.

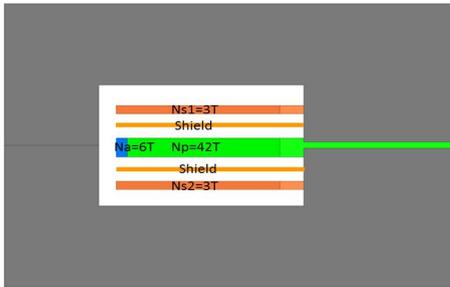


Fig. 7. Core cross-sectional and winding layout diagrams of Hybrid type injection winding transformer.  
그림 7. Hybrid형 사출 권선 변압기의 코어 단면 및 권선 배치도

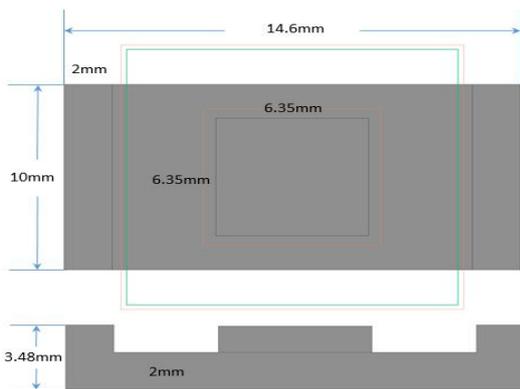


Fig. 8. Core shape of Hybrid type injection winding transformer.  
그림 8. Hybrid형 사출 권선 변압기의 코어 형상

그림 8은 Maxwell simulation을 위해 사용한 코어 형상을 나타내고 있다. 그림 8에서 사용한 코어는 그림 6에서 나타낸 TDK PC95재질이며 코어의 단면적과 부피는  $40.3[\text{mm}^2]$ ,  $998[\text{mm}^3]$ 을 나타낸다. 특히 그림 7에서 Hybrid형 사출 권선 변압기의 전

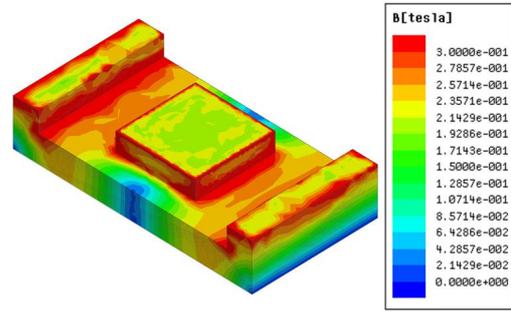


Fig. 9. Distribution diagram of magnetic flux density for Hybrid type injection winding transformer.  
그림 9. Hybrid형 사출 권선 변압기의 자속 밀도 분포도

체 크기를 최소화하기 위해서 센터 코어 형상을 사각형으로 설계하였다. 그림 9는 Hybrid형 사출 권선 변압기의 자속 밀도 분포도를 나타내고 있다. 그림 9에서 나타낸 바와 같이 out leg와 center leg에 자속 밀도가 집중되어 있음을 알 수 있으며, 자속 밀도가 집중되어 있지 않은 영역 즉 자속이 통과하지 않은 코어 영역에 대해서는 향후 코어 최적 설계 시 중요한 자료로 사용되리라 생각된다.

표 4는 Hybrid형 사출 권선 변압기의 변압기 사이트 최소화 및  $L_k$  저감을 위한 권선 사양을 나타내고 있다. 표 4에서 알 수 있듯이, Hybrid형 사출 권선 변압기의  $L_k$ 를 저감시키기 위해서는 1차 권선과 2차 권선간의 거리를 줄이는 것이 중요하므로 권선의 층수를 가로로 3층에서 2층으로 EMI저감

Table 4. Reductions in transformer size and  $L_k$  of Hybrid type injection winding transformer.

표 4. Hybrid형 사출 권선 변압기의 변압기 크기 저감 및  $L_k$  저감

Description	Winding	Reduction in Transformer size	Reduction in $L_k$
Number of layers	$N_{p1}$ , $N_{p2}$ , $N_a$	3 layers	2 layers
Winding type		2UEW	Litz
Thickness of whole winding	$N_{p1}$ , $N_{p2}$ , $N_a$	0.69[mm]	0.46[mm]
Winding width	$N_{p1}$ , $N_{p2}$	$0.23 \times 9 = 2.07[\text{mm}]$	$0.23 \times 14 = 3.22[\text{mm}]$
Copper plate thickness	Shield	0.3[mm]	0.1[mm]
	$N_{s1}$	0.3[mm]	0.2[mm]
Distance between windings	$N_{p1}$ -Shield1	0.4[mm]	0.1[mm]
	Shield1- $N_s$	0.4[mm]	0.4[mm]
	$N_{p1}$ - $N_s$	1.1[mm]	0.6[mm]
	$N_s$ - $N_{p2}$	0.4[mm]	0.1[mm]

목적으로 사용한 동판 Shield를 1차측 권선으로 간주하여 1차 권선과 동판 Shield간의 거리를 최소화 하였다. 표 4의 적색으로 둘러싸인  $L_k$ 저감 구조를 가지는 권선 사양을 이용하여 Maxwell Simulation을 수행하였다.

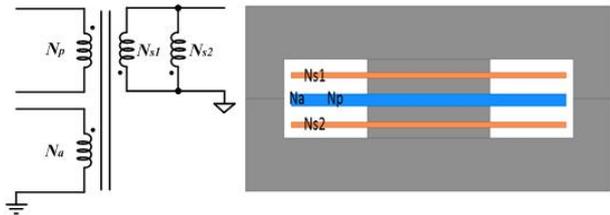


Fig. 10. Winding structure and equivalent circuit for Maxwell simulation of Hybrid type injection winding transformer.  
그림 10. Hybrid형 사출 권선 변압기의 Maxwell simulation을 위한 등가회로 및 권선 구조

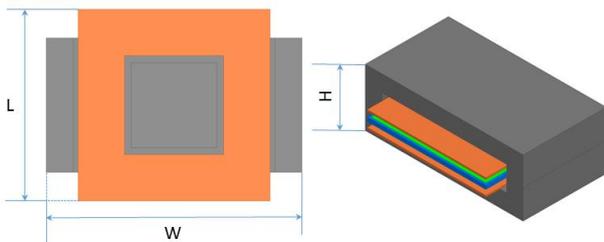


Fig. 11. Winding structure and core shape of Hybrid type injection winding transformer.  
그림 11. Hybrid형 사출 권선 변압기의 코어 형상 및 권선 구조( $W \times L \times H$ )

Table 5.  $L_k$  simulation result and coupling coefficient of Hybrid type injection winding transformer.

표 5. Hybrid형 사출 권선 변압기의 결합계수 및  $L_k$  시뮬레이션 결과

Coupling coefficient				$L_k$ (All shorted)[ $\mu$ H]			
	$N_a$	$N_p$	$N_s$		$N_a$	$N_p$	$N_s$
$N_a$	1.00	0.95	0.95	$N_a$	1.30		
$N_p$		1.00	0.99	$N_p$		8.35	
$N_s$			1.00	$N_s$			0.04

그림 10은 Hybrid형 사출 권선 변압기의 Maxwell simulation을 위한 등가회로 및 권선 구조를 나타내고 있다. 그림 10에서 알 수 있듯이,  $L_k$ 저감을 위해 2차측 권선을 Interleaved하였다. 그림 11은 Hybrid형 사출 권선 변압기의 코어 형상 및 권선 크기를 나타내고 있으며, 보빈을 체결하지 않은 상태의 변압기 크기( $W \times L \times H$ )를 (19mm $\times$ 14.26mm $\times$ 7mm)

로 하였다. 그림 11의 Hybrid형 사출 권선 변압기를 Maxwell simulation 한 결과, 표 5에서 나타낸 바와 같이 All shorted 한 경우 누설 인덕턴스( $L_k$ )는 8.35[ $\mu$ H]를 얻었다.

나. Drum형 사출 권선 변압기

Hybrid형 사출 권선 변압기의 코어와 권선 사양은 Hybrid형 사출 권선 변압기의 1차측 및 2차측 동판 사출 권선을 PCB 연결 단자에 체결 할 경우, 동판 권선과 PCB 기판과의 체결 곤란, 변압기의 1차측 권선과 2차측 권선간의 안전 규격 확보로 인한 변압기 사이즈 증가, 동판 사출 권선 고정용 핀 추가로 인한 제조 공정 증가 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 변압기를 수평으로 눕힘으로써 동판 권선과 PCB기판과의 체결을 용이하게 하고 변압기를 고정시키는 동판 권선 고정용 핀 제거가 가능한 Drum형 사출 권선 변압기를 제안하였다. 그림 12는 Drum형 사출 권선 변압기의 코어 형상 및 권선 구조를 나타내고 있다. 그림 12에서 알 수 있듯이, Drum형 사출 권선 변압기는 ① 동판을 1 턴으로 사출함으로써 권선간의 단락 문제 및 복잡한 인출선 문제 해결 가능 ② 동판 권선과 PCB기판의 체결용이 ③ 동판 권선이 고정 핀 역할을 할 수 있기 때문에 변압기를 고정시키는 고정용 핀 제거 ④ Shield권선과 2차측 권선을 동일한 모양으로 동판 권선 제작 등의 특징을 가지고 있다. 그림 12는 Drum형 사출 권선의 코어 형상 및 권선 구조를 나타내고 있다. 그림에서

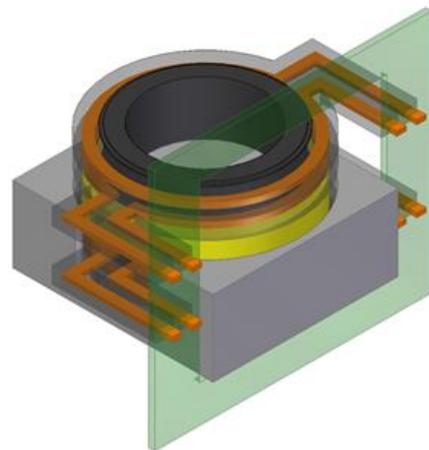


Fig. 12. Core cross-sectional and winding layout diagrams of Drum type injection winding transformer.  
그림 12. Drum형 사출 권선 변압기의 코어 단면 및 권선 배치도

알 수 있듯이, 1차측 권선(Np1, Np2, Na1, Na2)은 일반 권선을 사용하였으며 2차측 권선(Ns) 및 EMI저감용 Shield(Shield 1, Shield 2)를 동판 사출 권선을 사용하였다. Drum형 사출 권선 변압기의 코어와 권선 사양은 기존의 권선형 변압기와 동일하게 사용하였으며 누설 인덕턴스(L<sub>k</sub>)를 저감하기 위해 1차측 권선(Np1, Np2, Np1, Np2)과 2차측 동판 사출 권선(Ns1, Ns2, Ns3)을 Interleaved 권선 방식을 채택하였다. 그림 13은 Drum형 사출 권선 변압기를 Maxwell simulation을 하기 위한 코어 단면도를 나타내고 있다.

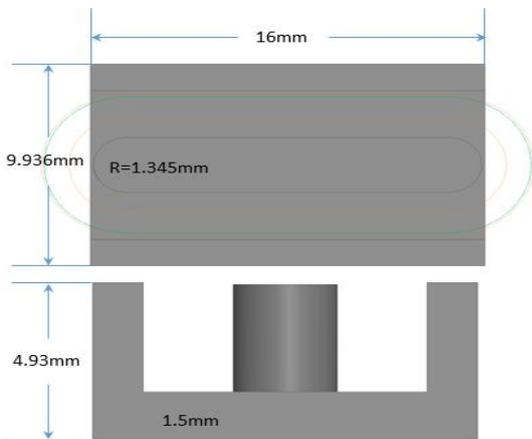


Fig. 13. Core shape of Drum type injection winding transformer. 그림 13. Drum형 사출 권선 변압기의 코어 형상

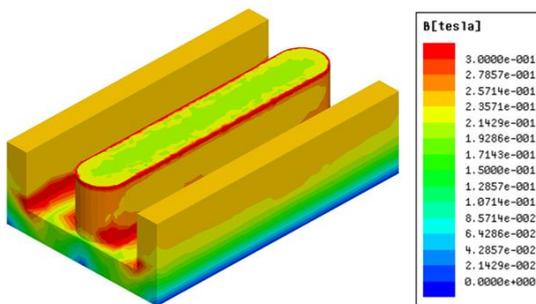


Fig. 14. Distribution diagram of magnetic flux density for Drum type injection winding transformer. 그림 14. Drum형 사출 권선 변압기의 자속 밀도 분포도

그림 13에서 사용한 코어는 그림 6에서 나타난 TDK PC95재질이며 코어의 단면적과 부피는 40.8 [mm<sup>2</sup>], 1,040[mm<sup>3</sup>]을 나타낸다.

그림 14는 Drum형 사출 권선 변압기의 자속 밀도 분포도를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 out leg와 center leg에 자속 밀도가 집중되어 있음을

Table 6. Reductions in transformer size and L<sub>k</sub> of Hybrid type injection winding transformer

표 6. Drum형 사출 권선 변압기의 변압기 크기 저감 및 L<sub>k</sub> 저감

Description	Winding	Reduction in Transformer size	Reduction in L <sub>k</sub>
Number of layers	Np	9 layers	9 layers
	Na	6 layers	6 layers
Winding type	Np, Na	Litz	Litz
Thickness of whole winding	Np	2.07[mm]	2.07[mm]
	Ns	0.3[mm]	0.2[mm]
	Na	1.38[mm]	1.38[mm]
Winding width	Np	1.23[mm]	1.23[mm]
	Ns	1.23[mm]	1.23[mm]
	Na	0.23[mm]	0.23[mm]
Copper plate thickness	Shield	0.3[mm]	0.1[mm]
	Ns	0.3[mm]	0.2[mm]
Distance between windings	Ns1-Shield1	0.8[mm]	0.4[mm]
	Shield1-Np	0.4[mm]	0.1[mm]
	Ns1-Np	1.5[mm]	0.6[mm]

알 수 있으며, 자속 밀도가 집중되어 있지 않은 영역 즉 자속이 통과하지 않은 코어 영역에 대해서는 코어 최적 설계 시 중요한 자료로 사용되리라 사료된다. 표 6은 Drum형 사출 권선 변압기의 변압기 크기 및 L<sub>k</sub> 저감을 위한 권선 사양을 나타내고 있다. 표 6에서 알 수 있듯이, Flyback 변압기의 L<sub>k</sub>를 저감시키기 위해 EMI저감 목적으로 사용한 동판 Shield와 2차측 동판 권선의 두께와 1차측 권선으로 간주한 Shield 동판 권선과 1차 권선 및 2차측 권선간의 두께를 최소화 하였다. 표 6은 적색으로 둘러싸인 L<sub>k</sub>저감 구조를 가지는 권선 사양을 이용하여 Maxwell Simulation을 수행하였다. 그림 15는 Drum형 사출 권선 변압기의 등가회로 및 시뮬레이션 권선 구조를 나타내고 있다. 그림 15에서 나타낸 바와 같이, L<sub>k</sub>저감을 위해 1차측 및 2차측 권선을 Interleaved하였다. 그림 16은 Drum형 사출 권선 변압기의 코어 형상 및 권선 크기를 나타내고 있으며, 보빈을 체결하지 않은 상태의 변압기 크기의 (W×L×H)를 (16mm×9.86mm×9.936mm)로 하였다. 그림 16의 Drum형 사출 권선 변압기를 Maxwell Simulation 한 결과, 표 7에서 나타난 바와 같이 All-shorted 한 경우의 Leakage Inductance(L<sub>k</sub>)는 6.39[μH]를 얻었다.

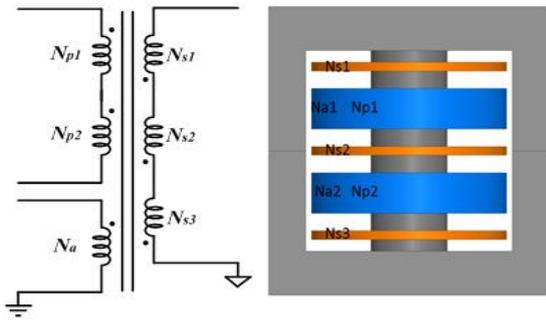


Fig. 15. Winding structure and equivalent circuit for Maxwell simulation of Drum type injection winding transformer.  
 그림 15. Drum형 사출 권선 변압기의 Maxwell simulation을 위한 등가회로 및 권선 구조

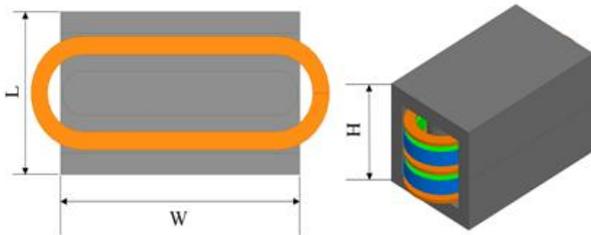


Fig. 16. Winding structure and core shape of Hybrid type injection winding transformer.  
 그림 16. Drum형 사출 권선 변압기의 코어 형상 및 권선 구조(W×L×H)

Table 7. Lk simulation result and coupling coefficient of Drum type injection winding transformer.

표 7. Drum형 사출 권선 변압기의 결합계수 및 Lk 시뮬레이션 결과

Coupling coefficient				Lk(All shorted)[μH]			
	Na	Np	Ns		Na	Np	Ns
Na	1.00	0.99	0.99	Na	0.20		
Np		1.00	0.99	Np		6.39	
Ns			1.00	Ns			0.07

4. 기존 권선형 변압기와 사출 권선 변압기의 비교  
 상기에서 기술한 바와 같이 10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 소형화 및 slim화에 적합한 평면 Flyback 변압기 최적화 설계에 앞서 기존 권선형 변압기의 코어 형상, 권선 구조 및 전기적 특성을 분석하였으며 분석한 내용을 토대로 본 논문에서 제안한 사출 권선 변압기(Hybrid형 사출 권선 변압기, Drum형 사출 권선 변압기)최적화 설계를 진행하였다. 특히 본 논문에서 제안한 사출 권선 변압기의 경우, 권선 설계 자유도를 높이기 위해 ① 1차

측: 사출권선, 2차측: 사출권선 ② 1차측: 일반 권선, 2차측: 사출권선, ③ 1차측: 사출권선, 2차측: 일반 권선, ④ 1차측: 사출권선 + 일반권선, 2차측: 사출권선 + 일반권선 등 다양한 형태의 권선 구조들이 제안 되고 있다. 다양한 형태의 권선 구조들 중 ② 1차측: 일반 권선, 2차측: 사출권선을 적용하여 보빈 공간 및 코어 형상 최적 설계를 통해 L<sub>k</sub>를 저감시킬 수 있는 Hybrid형 사출 권선 변압기와 동판 사출 권선 접속 시 문제점으로 대두되고 있는 권선 접속 문제를 해결하기 위해 변압기를 수평으로 놓힌 Drum형 사출 권선 변압기를 분석한 결과를 표 8에 나타내고 있다.

Table 8. Comparison of Lk and transformer volume of conventional winding type and injection winding transformers.

표 8. 기존 권선형 변압기와 사출 권선 변압기의 변압기 크기 및 Lk 비교

	Conventional winding type	Hybrid type	Drum type
Transformer volume	20.5×23.5×11.2 [mm] (5,395[mm <sup>3</sup> ])	19×14.26×7 [mm] (1,896[mm <sup>3</sup> ])	16×9.86×9.936 [mm] (1,567[mm <sup>3</sup> ])
Leakage inductance(L <sub>k</sub> )	8[μH]	8.35[μH]	6.39[μH]
Winding method	Manual type	Automatic type	Automatic type

표 8에서 나타낸 바와 같이 Maxwell Simulation Tool을 이용하여 Hybrid형 사출 권선 변압기와 Drum형 사출 권선 변압기를 분석한 결과, Hybrid형 사출 권선 변압기와 Drum형 사출 권선 변압기의 변압기 크기(W×L×H) 및 누설 인덕턴스(L<sub>k</sub>)는 각각 19.1×14.26×7[mm], 16×9.86×9.936[mm], 8.35[μH], 6.39[μH]를 나타낸다. 표 8에서 변압기의 높이 측면에서 Hybrid형 사출 권선 변압기가 유리하며, Leakage Inductance(L<sub>k</sub>)측면에서 Drum형 사출 권선 변압기가 유리함을 알 수 있다.

### III. 결론

10W급 Tablet용 AC/DC Adapter의 소형화 및 slim화에 적합한 평면 Flyback 변압기의 최적화 설계를 위하여 기존 권선형 변압기를 연구 대상 모델로 하여 본 논문에서 제안한 사출 권선형 변압기

(Hybrid형 사출 권선 변압기, Drum형 사출 권선 변압기)의 최적화 설계를 수행하였다.

본 논문에서 제안한 사출 권선 Trans의 경우, 권선 설계 자유도를 높이기 위해 ① 1차측: 사출권선, 2차측: 사출권선 ② 1차측: 일반 권선, 2차측: 사출 권선, ③ 1차측: 사출권선, 2차측: 일반권선, ④ 1차측: 사출권선 + 일반권선, 2차측: 사출권선 + 일반 권선 등 다양한 형태의 권선 구조들이 제안 되고 있다. 다양한 형태의 권선 구조들 중 ② 1차측: 일반 권선, 2차측: 사출권선을 적용하여 보빈 공간 및 코어 형상 최적 설계를 통해 Lk를 저감시킬 수 있는 Hybrid형 사출 권선 변압기와 동판 사출 권선 접속 시 문제점으로 대두되고 있는 권선 접속 문제를 해결하기 위해 변압기를 수평으로 놓힌 Drum형 사출 권선 변압기에 대해 Maxwell Simulation Tool을 이용하여 소형화 및 slim화에 적합한 평면 Flyback 변압기의 최적화 설계를 수행한 결과, 기존 권선형 변압기 대비 변압기 크기는 40[%] 이하, 누설 인덕턴스( $L_k$ )는 약 2[ $\mu$ H] 및 권선 방법은 수동 권선에서 자동권선으로 목표를 달성하였다. 향후, 본 논문에서 수행한 결과를 토대로 소형화 및 slim화에 적합한 AC/DC Adapter의 평면 Flyback 변압기응용 분야에 적용할 예정이다.

## References

- [1] Rascon, M.; Prieto, R.; Garcia, O.; Cobos, J. A.; Uceda, J., "Design of very low profile magnetic components using flex foils," *Proceedings of APEC 97-Applied Power Electronics Conference*, 1997. DOI: 10.1109/APEC.1997.575614
- [2] Biela, J.; Kolar, J. W., "Electromagnetic integration of high power resonant circuits comprising high leakage inductance transformers," *2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference*, 2004. DOI: 10.1109/PESC.2004.1354802
- [3] Amoiralis, E. I.; Tsili, M. A.; Kladas, A. G., "Transformer Design and Optimization: A Literature Survey," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol.24, no.4, pp.1999-2024, 2009. DOI: 10.1109/TPWRD.2009.2028763
- [4] Quinn, C.; Rinne, K.; O'Donnell, T.; Duffy, M.; Mathuna, C.O., "A review of planar magnetic

techniques and technologies," *Sixteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, vol.2, pp.1175-1183, 2001.

DOI: 10.1109/APEC.2001.912514

[5] Quirke, M. T.; Barrett, J. J.; Hayes, M., "Planar magnetic component technology—a review," *Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on*, vol.15, no.5, pp.884, 892, 1992. DOI: 10.1109/33.180055

[6] Yang, B.; Lee, F.C.; Zhang, A. J.; Guisong Huang, "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion," *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2002. APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE*, vol.2, pp.1108-1112, 2002. DOI: 10.1109/APEC.2002.989382

[7] Dai, N.; Lofti, A. W.; Skutt, G.; Tabisz, W.; Lee, F.C., "A comparative study of high-frequency, low-profile planar transformer technologies," *Proceedings of 1994 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, vol.1, pp.226-232, 1994. DOI: 10.1109/APEC.1994.316395

[8] Biela, J.; Kolar, J. W., "Electromagnetic integration of high power resonant circuits comprising high leakage inductance transformers," *2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference*, vol.6, pp.4537-4545, 2004.

## BIOGRAPHY

**Hae-Joong Na** (Member)



2002 : BS degree in Textile Engineering, Yeungnam University.  
2004 : MS degree in Textile Engineering, Yeungnam University.  
2016 : PhD degree in Mechanical Engineering, Yeungnam University

2004~2014 : Senior Researcher, Korea Machinery Research Institute, Local Government, Gyeongbuk.

2016~2018 : Research Professor, Dongyang University.

2019~Present : Research Professor, Institute of industrial Technology, Yeungnam University

**Jong-Hae Kim** (Member)



1996 : MS degree in Electrical Engineering, Yeungnam University  
1999 : PhD degree in Electrical Engineering, Yeungnam University  
2005 : PhD degree in Electrical Engineering, Nagoya University

2005~2012 : Principal Engineer (Group leader), Samsung Electro-Mechanics, Co., Ltd.

2012~Present : Associate Professor, School of Electronic and Electrical Engineering, Daegu Catholic University