

# 철심 재질에 따른 철손 계수 산정 및 IPMSM의 철손 계산

## Estimation Iron Loss Coefficients and Iron Loss Calculation of IPMSM According to Core Material

강 보 한\* · 김 용 태\* · 조 규 원\*\* · 이 정 규\*\*\* · 장 기 봉§ · 김 규 탁†  
(Bo-Han Kang · Yong-Tae Kim · Gyu-Won Cho · Jung-Gyu Lee · Ki-Bong Jang · Gyu-Tak Kim)

**Abstract** - In this paper, the iron loss was calculated using estimated iron loss coefficient at 650W Interior Permanent Magnet Synchronous Motor(IPMSM) and 250W IPMSM. The iron loss coefficients was estimated different according to electrical steel material used to stator and rotor core in motor. Aspect of The rotating flux field and alternating flux field was confirmed by magnetic field behavior and harmonic analysis in stator core, the iron loss was calculated using flux density by Finite Element Method(FEM) and estimated coefficients by iron loss coefficient estimation proposed in this paper. The iron loss experiment was performed for verified to iron loss calculation, and the iron loss coefficients were verified by comparison of iron loss calculation value and experimental value.

**Key Words** : Iron loss calculation, IPMSM, Curve fitting method, Estimation of iron loss coefficients

### 1. 서 론

매입형 영구자석 동기 전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor : IPMSM)는 영구자석이 회전자에 매입되어 있으므로 높은 속도에서 자석의 비산을 방지할 수 있어 고속운전에 적합하다. 그러나, 다른 전동기와 비교했을 때 코깅토크가 크게 발생하기 때문에 이에 대한 진동과 소음이 많이 발생하게 된다[1]. 또한, IPMSM은 포화 영역에서 동작하게 되는데, 이러한 특성은 자속밀도의 고조파 성분이 많이 발생하게 됨은 물론 높은 주파수 영역에서 동작함으로써 철손이 많이 발생하게 되고, 이로 인하여 전동기의 발열이 문제되게 된다[2]. 철손에 의해 발생된 과도한 열은 전동기 영구자석의 감자 및 기기의 효율 저감에 영향을 주게 된다. 따라서 IPMSM의 설계 단계에서 철손을 정확하게 계산하는 것이 중요하다[2].

철손의 경우 Steinmetz가 철손에 관한 수식을 정의하고 100여년이 지났지만, 철손 계산에 관한 연구는 여전히 진행 중에 있다[3]. 이는 영구자석의 잔류 자속 밀도 증가 및 강자성체 사용과 철심 재질의 향상으로 인하여, Steinmetz가 산정하였던 철손 계수로는 향상된 철심 재질에 적용하기 어렵기 때문이다.

따라서, 본 논문에서는 고정자 및 회전자 철심에 전기강판 50PN1300을 사용한 650W급 IPMSM과 50PN800을 사용

한 250W급 IPMSM의 자계거동 분석을 통하여 철손계수를 산정하여 철손을 계산하였으며, 재질에 따라 철손 변화 특성을 고찰하였다.

### 2. 철손 계산

#### 2.1 적용 모델

본 논문에서 적용한 모델은 그림 1과 같은 650W급 IPMSM과 250W급 IPMSM이다.

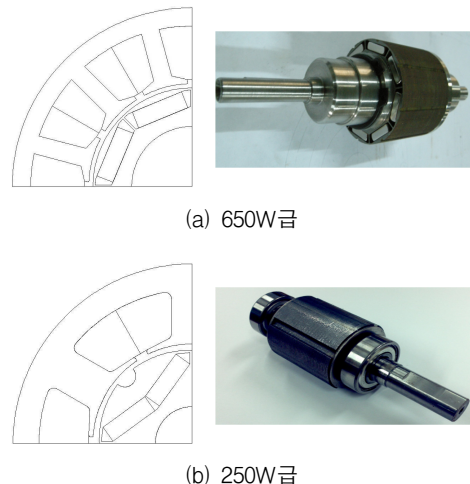


그림 1 IPMSM 모델의 형상

Fig. 1 Shape of IPMSM model

두 모델의 제원은 표 1에 서술하였다. 250W급 IPMSM의 경우 아크(Arc)형 회전자 및 노치를 설치하고, 영구자석을 분할 배치하여 코깅토크를 저감시켰다.

\* 준 회원 : 창원대 공대 전기공학과 석사과정  
\*\* 정 회원 : 창원대 공대 전기공학과 박사과정  
\*\*\* 정 회원 : (주) LG이노텍 수석연구원  
§ 정 회원 : 창원대 공대 전기공학과 교수·공박  
† 교신저자, 펠로우회원 : 창원대 공대 전기공학과 교수·공박  
E-mail : gtkim@changwon.ac.kr  
접수일자 : 2012년 6월 7일  
최종완료 : 2012년 8월 16일

표 1 IPMSM의 제원

Table 1 Specification of IPMSM

Item	Specification	
	650W	250W
Material	50PN1300	50PN800
Pole/Slot	8/12	4/6
Rated speed[RPM]	3000	
Operating frequency[Hz]	200	100
Br [T]	1.3	1.07
Stack length[mm]	45	45
Stator diameter[mm]	83.6	83
Phase resistance [ohm]	0.0235	0.15

2.2 자계거동 분석 및 고조파 분석

철손 계산을 위해서 유한요소법(Finite Element Method : FEM)을 이용하여 전동기의 자속밀도 값을 계산하고, 자계 거동 및 고조파 분석을 실시하였다. 변압기와는 다르게 회전기에서는 교번자계와 회전자계가 같이 발생하여 철심 내부에는 비정현적인 양상의 복잡한 자계분포가 나타난다. 이러한 현상으로 전동기의 철손은 더욱 증가하게 된다[1]. 교번자계 및 회전자계 영역의 분할 기준은 한 주기 동안 최대치 자속밀도와 최소치 자속밀도의 비율인 축비β가 0.1보다 작으면 교번자계, 0.1보다 크면 회전자계 영역으로 정의하였다[4]. 본 연구에서는 그림 2와 같이 650W급 IPMSM과 250W급 IPMSM의 고정자 치를 55개의 영역으로 분할하여 각각의 영역에서 자계 거동 분석을 시행하였고, 영역에 따른 자계의 형태를 고찰하였다.

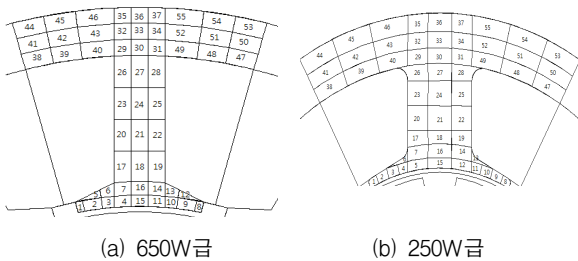
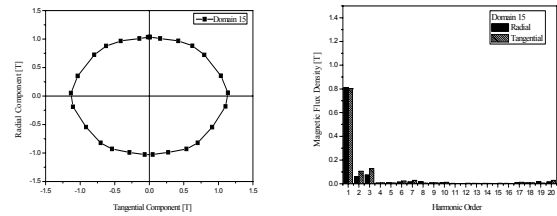


그림 2 고정자에서 자계 거동 및 고조파 분석 위치

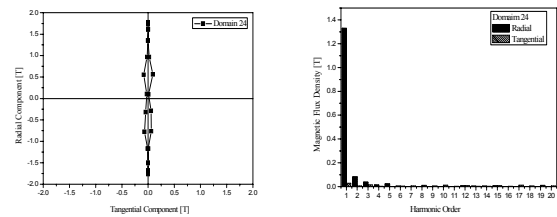
Fig. 2 The position of magnetic behavior and harmonic analysis at the stator core

그림 3은 650W급 IPMSM의 고정자의 대표적인 영역에서 자계 거동 및 고조파 분석 결과를 나타내었다. 치의 끝단부인 1 ~ 4, 6 ~ 7, 13 ~ 16 영역과 치와 요크의 연결부에 해당하는 29 ~ 35 영역에서는 축비가 0.1보다 큰 회전자계가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 치의 중간부에 해당하는 17 ~ 28 영역은 반경방향 성분으로만 크기가 바뀌는 교번자계가 발생하였고, 요크부분에 해당하는 38 ~ 55 영역에서는 접선방향 성분으로만 크기가 바뀌는 교번자계가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 적용한 650W급의 전동기의 경우, 회전자계가 발생하는 영역에서의 철손은 전체 철손의 21.89%를 차지하고 있다. 회전자계가 발생하는 영역은 전체 영역의 17.5%을 차지하므로 단위 면적당 손실은 교번자계에 의한 손실보다 회전자계에 의한 손실이

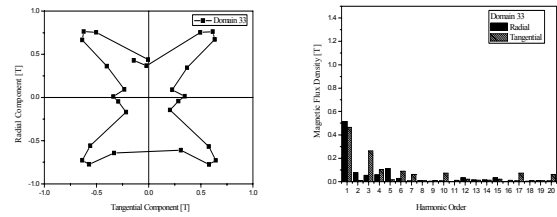
더 크게 발생함을 알 수 있다. 또한 전기자 전류 인가 시에는 교번자계에서 회전자계로 변화하는 영역이 발생하여 철손을 증가시키는 원인이 된다. 전류 통전 시 발생하는 철손 양상 변화는 차기 연구에서 상세히 고찰하도록 한다.



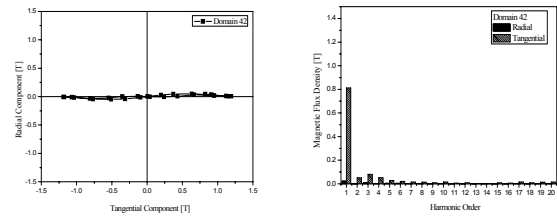
(a) domain 15



(b) domain 24



(c) domain 33



(d) domain 42

그림 3 고정자 영역에서의 자속밀도 궤적 및 FFT 결과

Fig. 3 Magnetic flux density loci & FFT analysis at the stator core

2.3 철손 계수 산정

2.3.1 Steinmetz 방정식

일반적으로 회전기의 철손은 식 (1)로 주어진다.

$$W_i = W_h + W_e + W_a = k_h f B_m^n + k_e f^2 B_m^2 + k_a f^{1.5} B_m^2 \quad (1)$$

$$W_i = W_h + W_e + W_a = k_h f B_m^2 + k_e f^2 B_m^2 + k_a f^{1.5} B_m^2 \quad (2)$$

여기서  $f$ 는 인가되는 자계의 주파수,  $B_m$ 은 자속밀도의 최대치,  $k_h$ 는 히스테리시스 손실 계수,  $k_e$ 는 와전류 손실 계수,  $k_a$ 는 이상와전류 손실 계수,  $n$ 은 Steinmetz 상수이다

[5][6]. 식 (1)로 주어진 회전기의 철손을 계산하기 위해서는 히스테리시스 손실과 와전류 손실, 이상와전류 손실 계수 및 Steinmetz 상수를 산정하여야 한다. 이들 계수들은 전동기에 사용된 전기강판의 재질과 인가되는 주파수에 따라 그 크기가 비선형적으로 변화하므로 철손 계산은 이들 계수들을 얼마나 정확하게 산정하는 것으로 결정된다. 최근 자동차 전장품에 이용되는 IPMSM에는 고출력이면서도 컴팩트한 설계가 요구되어 잔류 자속 밀도가 높은 희토류 자석을 사용하고 있다[1]. 식 (1)의 경우 철심재료 및 영구자석 잔류자속 증가에 따라 와전류손은 민감하게 대응하고 있으나 히스테리시스 손실에 대하여는 대응이 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 영구자석 및 철심 재질의 향상 및 전기기기의 Compact화에 따른 자속밀도의 증가에 대하여 식 (2)와 같이 Steinmetz 상수를 2로 고정시키고 나머지 계수들을 산정하는 방법을 제안하였다.

2.3.2 철손계수 산정을 위한 Curve Fitting Method

제작사에서 제공한 철손 Epstein 실험 데이터를 그림 4에 나타내었다. 제공된 Epstein 데이터는 설계자가 원하는 자속 밀도와 원하는 주파수에 대한 정보가 제공되지 않으므로, 제공받은 데이터를 이용하여 설계자가 원하는 주파수 대역에서 철손 계수를 산정해야 한다. 제작사에서 제공한 Epstein 데이터를 바탕으로 전기강판 50PN1300 및 50PN800의 철손 계수를 산정하였다.

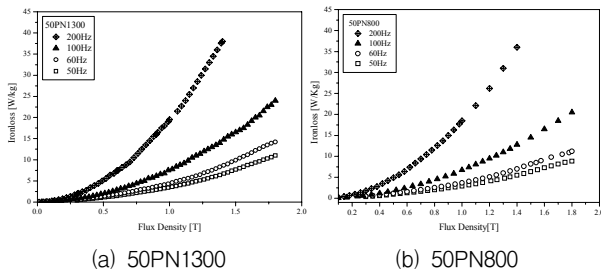


그림 4 철손 Epstein 실험 데이터  
Fig. 4 Epstein data of iron loss

2.3.3 650W급 IPMSM의 철손 계수 산정

650W급 IPMSM의 철심에 사용된 전기강판 50PN1300의 계수 산정 결과를 그림 5와 표 2에 나타내었다.

표 2 50PN1300의 철손 손실 계수

Table 2 Iron loss coefficients of 50PN1300

	$k_h$	$k_e$	$k_a$
50Hz	0.04021	0.0003248	0.00203
60Hz	0.03901	0.0003152	0.00224
100Hz	0.03680	0.0002973	0.0009431
200Hz	0.03430	0.0002771	0.0006437

산정된 철손 계수는 50, 60, 100, 200Hz의 영역에서만 만족하는 값이다. IPMSM의 철손은 고조파 성분이 포함되어 있기 때문에 표 2의 계수로는 계산에 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 고조파 성분까지 계산하기 위하여 표 3과 같이 주파수에 대하여 구동주파수인 200Hz의 20차수 고조파인 4000Hz까

지 철손 계수를 산정하였고, 표 3의 철손 계수를 이용하여 그림 6과 같이 주파수대 철손 계수의 그래프로 나타내었다.

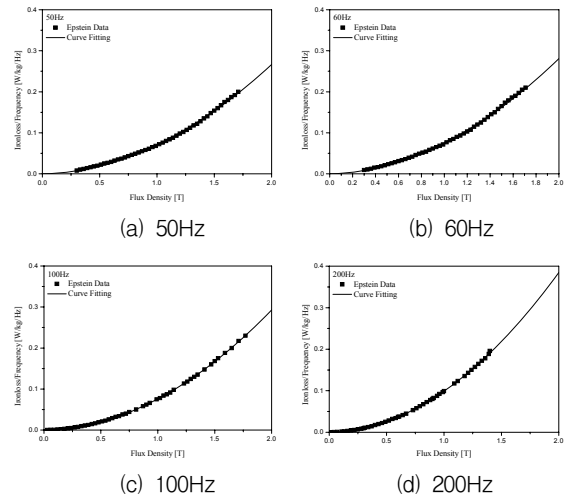


그림 5 50PN1300 데이터의 Fitting 결과  
Fig. 5 Fitting result of 50PN1300

표 3 주파수에 따라 산정된 철손 계수

Table 3 Estimated iron loss coefficients about frequency

Function : $Y = A \cdot f^B$		
Coefficients	A	B
$k_h$	0.06253	-0.1155
$k_e$	0.0005065	-0.1134
$k_a$	0.03414	-0.7477

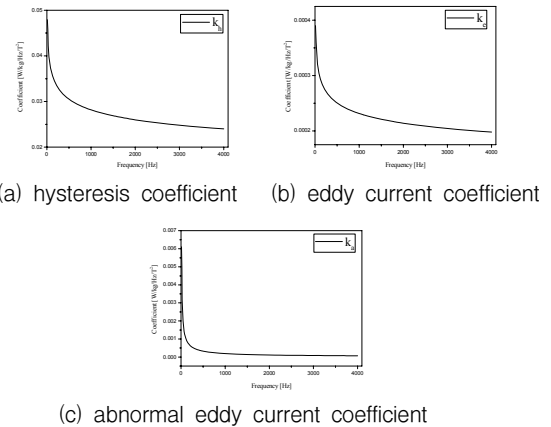


그림 6 주파수에 따른 철손 계수

Fig. 6 Iron loss coefficient through frequency

2.3.4 250W급 IPMSM의 철손 계수 산정

표 4 50PN800의 철손 손실 계수

Table 4 Iron loss coefficients of 50PN800

	$k_h$	$k_e$	$k_a$
50Hz	0.0206	0.0006037	0.0009792
60Hz	0.01905	0.0005457	0.001198
100Hz	0.01298	0.0003998	0.001417
200Hz	0.01031	0.0003012	0.001597

250W급 IPMSM의 회전자 및 고정자 철심에 사용된 전기강판 50PN800의 Epstein 실험 데이터를 이용하여 Fitting을 수행한 결과를 표 4에 나타내었고, Epstein 실험 데이터와 철손 계수를 Fitting한 결과를 그림 7에 나타내었다.

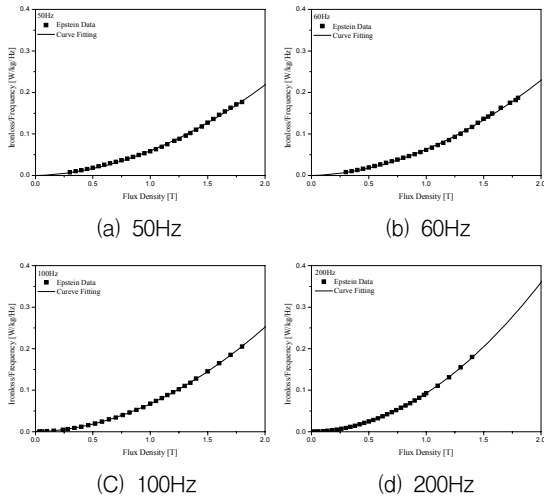


그림 7 50PN800 데이터의 Fitting 결과

Fig. 7 Fitting result of 50PN800

표 5 주파수에 따라 산정된 철손 계수

Table 5 Estimated iron loss coefficients about frequency

Function : $Y = A \cdot f^B$		
Coefficients	A	B
$k_h$	0.05	-0.266
$k_e$	0.001955	-0.3673
$k_a$	0.0005135	0.2127

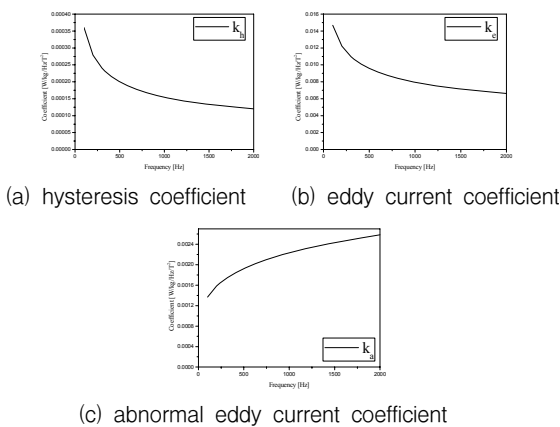


그림 8 주파수에 따른 철손 계수

Fig. 8 Iron loss coefficient through frequency

표 4 및 그림 7에서 산정된 계수들 또한 50, 60, 100, 200Hz의 주파수 영역에서만 만족하는 값이기 때문에 표 5와 그림 8에서 나타난 것과 같이 철손의 고조파 성분까지 계산하기 위해서 250W급 IPMSM의 구동주파수인 100Hz의 20차수 고조파인 2000Hz까지의 철손 계수를 산정하였다.

## 2.4 철손 계산

### 2.4.1 650W급 IPMSM의 철손 계산

위의 산정된 철손 계수와 고조파 성분의 자속밀도 값을 식 (2)에 적용하여 철손을 계산할 수 있다. 앞 절에서 산정된 전기강판 50PN1300의 철손 계수를 사용하여 650W급 IPMSM의 철손 계산 결과를 표 6에 나타내었다.  $W_h$ 는 히스테리시스 손실 계수,  $W_e$ 는 와전류 손실 계수,  $W_a$ 는 이상 와전류 손실 계수,  $W_i$ 는 전체 철손 값이다. 철손 계산 결과 구동주파수인 200Hz에서 철손이 29.62W로 계산되었다. 철손 수식을 산정하면, 히스테리시스 손실 계수, 와전류 손실 계수, 이상와전류 손실 계수들이 산정되어 각각의 손실에 대해 계산이 가능하다.

표 6 650W급 IPMSM의 철손 계산 결과

Table 6 Result of iron loss at 650W IPMSM

[RPM]	$W_h$ [W]	$W_e$ [W]	$W_a$ [W]	$W_i$ [W]	$W_i$ 실험치 [W]
375	1.49	0.35	0.50	2.34	0.77
450	1.75	0.50	0.57	2.82	0.61
750	2.76	1.30	0.84	4.90	3.75
900	3.24	1.83	0.96	6.05	4.74
1500	5.10	4.82	1.41	11.33	12.30
1800	5.99	6.80	1.62	14.41	14.93
2250	7.29	10.36	1.92	19.58	18.81
2700	8.57	14.61	2.20	25.39	25.64
3000	9.41	17.83	2.38	29.62	29.24

표 7 650W급 IPMSM의 철손 손실비 계산

Table 7 Calculation of iron loss ratio at 650W IPMSM

[RPM]	$W_h$ [%]	$W_e$ [%]	$W_a$ [%]
375	63.70	15.02	21.27
450	62.15	17.59	20.25
750	56.27	26.57	17.14
900	53.64	30.41	15.95
1500	44.96	42.53	12.50
1800	41.54	47.17	11.27
2250	37.26	52.91	9.81
2700	33.76	57.55	8.68
3000	31.76	60.18	8.05

구동주파수인 200Hz에서 히스테리시스 손실은 전체 철손의 20 ~ 30%를 차지하고, 와전류 손실은 전체 철손의 60 ~ 70%, 이상와전류 손실은 전체 철손의 10% 내외의 비율을 차지하고 있다[7]. 따라서 철손 계수 산정이 정확하게 이루어졌는지에 대한 확인을 하기 위해 표 7과 같이 각각의 손실에 대한 비율을 나타내었다. 철손 손실비 계산 결과 구동주파수인 200Hz에서 히스테리시스 손실은 31.76%, 와전류 손실은 60.18% 이상와전류 손실은 8.05%로 회전기에서 발생하는 히스테리시스 손실과 와전류 손실 비율에 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

### 2.4.2 250W급 IPMSM의 철손 계산

앞 절에서 서술한 내용과 같이 250W급 IPMSM의 철손을

계산하였고, 그 결과를 표 8에 나타내었다. 표 8에서 나타난 철손 계산 결과 250W급 IPMSM에서 구동주파수인 100Hz에서 12.67W의 철손이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 표 9은 철손 손실비를 분석결과를 나타낸 것이다. 손실비 분석 결과 구동주파수인 100Hz에서 히스테리시스 손실 성분은 18.95%, 와전류 손실은 52.97%, 이상 와전류 손실은 28.08%로 나타났으며 이를 표 9에 나타내었다.

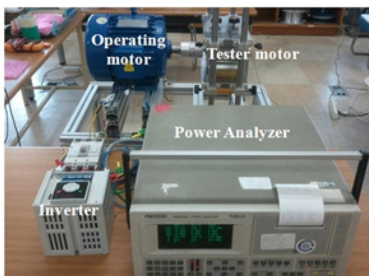
**표 8** 250W급 IPMSM의 철손 계산 결과  
**Table 8** Result of iron loss at 250W IPMSM

[RPM]	$W_h$ [W]	$W_e$ [W]	$W_a$ [W]	$W_i$ [W]	$W_i$ 실험치 [W]
300	0.44	0.16	0.07	0.67	0.50
600	0.74	0.48	0.23	1.45	1.64
900	0.99	0.94	0.45	2.39	3.04
1200	1.23	1.50	0.74	3.47	3.14
1500	1.44	2.17	1.09	4.69	4.27
1800	1.65	2.92	1.48	6.05	5.05
2100	1.85	3.75	1.93	7.53	6.66
2400	2.04	4.66	2.43	9.13	8.08
2700	2.22	5.65	2.97	10.85	9.86
3000	2.40	6.71	3.56	12.67	11.89

**표 9** 250W급 IPMSM의 철손 손실비 계산  
**Table 9** Calculation of iron loss ratio at 250W IPMSM

[RPM]	$W_h$ [%]	$W_e$ [%]	$W_a$ [%]
300	66.29	23.40	10.32
600	50.90	33.49	15.61
900	41.61	39.41	18.98
1200	35.32	43.33	21.35
1500	30.76	46.11	23.13
1800	27.29	48.19	24.53
2100	24.55	49.80	25.66
2400	22.33	51.07	26.60
2700	20.49	52.11	27.40
3000	18.95	52.97	28.08

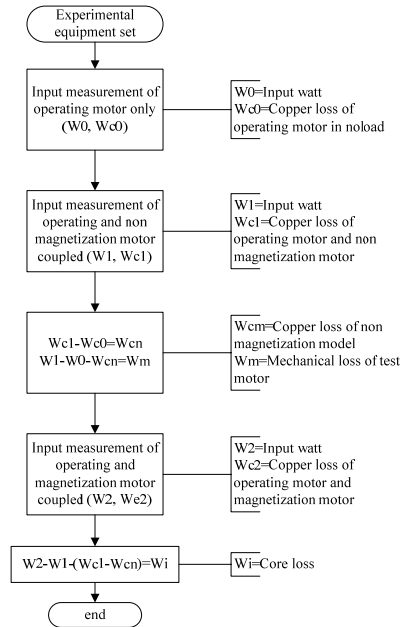
**3. 철손 실험**



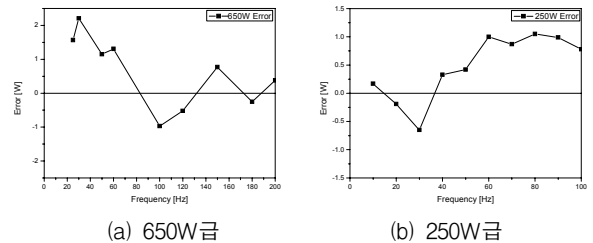
**그림 9** 철손 실험 장치  
**Fig. 9** Iron loss experiment equipment

그림 9는 철손 실험을 위한 측정 시스템이다. 구동용 모터는 인버터를 이용하여 구동시키고 인버터 출력단에서 구동용 모터를 구동시키기 위해 필요한 전력을 측정하기 위해 전력 계측기를 사용하였고, 기계손을 측정하기 위해 영구자석이 착자되지 않은 무착자 모터를 제작하여 실험하였다.

실험절차에 대한 자세한 내용은 그림 10에 나타내었다. 실험시 구동용 모터로 들어가는 입력을 측정함과 동시에 전류를 측정하여 동손 변화를 고려하였다. 그림 11은 속도에 따라 제안된 철손 계수 산정방법을 이용하여 계산된 철손과 실험을 통해 측정된 철손 값의 오차를 나타낸 것이다.



**그림 10** 철손 실험 절차  
**Fig. 10** Process of iron loss experiment



**그림 11** 계산값과 실험값 오차 비교  
**Fig. 11** Comparison of calculation value and experiment value error

실험결과 650W급, 250W급 두 모델에서 650W급에서 최대 2.21W, 250W급에서 최대 1.05W의 오차를 나타내고 있다. 이는 전력 계측기로 입력을 측정 시 항상 일정한 입력이 측정되지 않고 0.5 ~ 1W의 변동 폭이 발생하였는데, 이로 인한 측정 오차라고 판단된다. 650W급에서 25Hz (375RPM), 30Hz(450RPM)의 속도에서 2.21W의 오차를 나타내고 있는데, 650W급의 경우 저속에서의 진동이 크게 발생하여 그에 따른 오차가 발생하였다고 판단된다.

**4. 결 론**

본 논문에서 전기강판 50PN1300을 사용한 650W급

IPMSM과 50PN800을 사용한 250W급 IPMSM의 주파수에 따른 철손 계수를 산정하고, 철손 결과 계산 및 철손비를 분석하였다. 철손은 전기장관의 제작사에 의해 제작되는 주파수에 따른 철손-자속밀도 데이터의 분석과 Steinmetz 방정식을 적용하여 자속밀도와 주파수에 따라 변하는 철손 계수를 산정하여 고조파를 고려한 철손을 계산하였다. 영구자석 및 철심 재질의 향상 및 전기기기의 Compact화에 따른 자속밀도의 증가에 대하여 본 논문에서는 Steinmetz 상수를 2로 고정시키고 나머지 계수들을 산정하였다. Steinmetz 상수 값을 2로 고정시키는 것으로 인해 3개의 계수를 산정하게 되고, 3개의 손실계수가 더 정확하게 산정되는 장점이 있다.

650W급의 경우 사용된 철심이 규소함유량이 적은 전기장관 50PN1300으로 철손 중 히스테리시스 손실이 차지하는 비율이 250W급 IPMSM(50PN800)에 비해 매우 높게 나타났다. 예를 들어 100Hz의 동일 주파수에서 650W급은 히스테리시스 손실이 차지하는 비율이 44.96%로 나타났고, 250W급에서는 18.95%가 나타난 것을 확인 할 수 있다. 250W급의 경우 이상 와전류 손실 성분이 전체 철손의 28.08%로 손실 비중이 650W급에 비해 매우 크게 나타났다. 이 부분에 대해서는 앞으로 좀더 많은 연구가 필요하다고 생각한다.

**감사의 글**

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업 및 2011년 창원대학교 연구년 교수 지원에 의해 수행된 연구결과임

**참 고 문 헌**

[1] Gyu-Hong Kang, Jung-Pyo Hong, Gyu-Tak Kim, and Jung-Woo Park, "Improved Paramater Modeling of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor Based on Finite Element Analysis" IEEE Trans. on Magnetics, vol. 36, no. 4, pp.1867 ~ 1870, 2000.

[2] 임우경, 서장호, 정현교 "구동조건을 고려한 매입형 영구자석 동기 전동기의 철손 분석" 대한전기학회 2009년 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집, pp. 73~75, 2009.4

[3] D. M. Ionel, M. Popescu, S. J. Dellinger, T. J. E. Miller, R. J. Heideman, and M. I. McGilp, "On the variation with flux and frequency of the coreloss coefficients in electrical machines," IEEE Trans. Ind. Apply, vol. 42, no. 3, pp. 658 - 668, May/June. 2006.

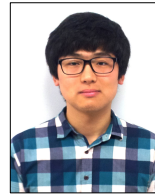
[4] 하경호, 차상윤, 김재관, 홍정표 "영구자석형 모터의 고정자 철심에서 자계의 거동 및 철손 분석" 대한전기학회 논문지 B, 제55B권 제2호 pp. 76~82. 2006. 2

[5] 장석명, 조한욱, 고경진, "고속으로 운전되는 영구자석형 동기전동기의 철손 및 풍손 해석." 대한전기학회, 전기학회논문지 B, 제55B권 제10호 2006.10, page(s): 511-520

[6] Y.Chen, P.Pillay, "An Improved formula for lamination core loss calculations in machines operating with high frequency and high flux density excitation" Industry Application Conference. Vol. 2 pp. 13~18, 2002

[7] Sadowski N, Lajoie-Mazenc M, Bastos J.P.A, Ferreira da Luz M.V, Kuo-Peng P "Evaluation and analysis of iron losses in electrical machines using the rain-flow method", Magnetics, IEEE Transactions on, Vol.36, No.4, pp. 1923 - 1926, 2000

**저 자 소 개**



**강 보 한 (姜 甫 漢)**

1987년 3월 9일생. 2012년 창원대학교 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
Tel : 055-213-3640  
Fax : 055-263-9956  
E-mail : kangbh@changwon.ac.kr



**김 용 태 (金 容 兌)**

1987년 1월 24일생. 2012년 창원대학교 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정  
Tel : 055-213-3640  
Fax : 055-263-9956  
E-mail : ytkim@changwon.ac.kr



**조 규 원 (曹 圭 源)**

1984년 3월 2일생. 2009년 창원대 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동 대학원 전기공학과 박사과정 입학. 현재 동대학원 전기공학박사과정.  
Tel : 055-213-3640  
Fax : 055-263-9956  
E-mail : chogyuwon@changwon.ac.kr



**이 정 규 (李 定 奎)**

1970년 2월 7일생. 1993년 창원대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기공학과 박사과정 입학. 현재 동대학원 전기공학박사과정, (주) LG이노텍 수석연구원  
Tel : 031-5300-7309  
Fax : 0303-5300-0766  
E-mail : wjdrb01@gmail.com

장 기 봉 대한전기학회 논문지 Vol. 61, No. 2 참조

김 규 탁 대한전기학회 논문지 Vol. 61, No. 2 참조