

자동차용 DC Current Sensor의 자장해석 및 코어 최적형상 설계에 관한 연구

이 희 성¹⁾ · 박 종 민²⁾ · 김 춘 식³⁾ · 김 성 관⁴⁾

공주대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 태성전장(주)²⁾ · 태성전장(주)³⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부⁴⁾

A Study on the Magnetic Field Analysis and Optimal Core Design of DC Current Sensor for Vehicles

Hee-sung Lee¹⁾ · Jong-Min Park²⁾ · Choon-Sik Kim³⁾ · Sung-Gaun Kim⁴⁾

¹⁾Division of Mechanical Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

²⁾#207, Automobile Parts R&D Center, 74 Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

³⁾306-2 Mojeon-ri, Sunggeo-eup, Cheonan-si, Chungnam 330-831, Korea

⁴⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

(Received 10 February 2009 / Accepted 27 April 2009)

Abstract : Recently, usage of electric and electronic system for car increases rapidly. Consequently power monitoring supplied to the system is essential for management and controlling. Generally, battery status is monitored through measuring and diagnosing the current measurement method utilizing Hall Effect. Therefore, in this paper, we analysed magnetic field to develop the solution of DC current sensor using Hall Effect which is the core of design and development. By analysing the magnetic field by FEM using Maxwell 3D software, the location of the highest output current and stable part in the Hall IC sensor was shown. Also, the optimal core design of DC current sensor using parametric and Simplex method was presented. A car battery charge and discharge process dependant on time effect on the changing of magnetic field was simulated and compared to the result from the experiment result of actual vehicle.

Key words : Hall effect(홀 효과), Current sensor(전류센서), Magnetic field analysis(자장해석), Battery management(배터리 관리), Optimal design(최적설계)

Nomenclature

- B : magnetic field, flux density, T
- V : electric field, V/m
- v_x : carrier velocity, m/s
- R_H : hall coefficient
- d : element thickness, m
- A : area, m²
- B_{avg} : average of B

1. 서론

자동차는 2만 5천여 개의 부품이 조립되어 이루어지며 기술의 고도화와 기계장치 및 부품들이 고기능화 되고 복잡해지고 있으며 자동차에 사용되고 있는 전자부품들도 대체에너지로 인한 핵심 기술뿐만 아니라 쾌적한 실내 환경 및 안전성 증대 등을 위해 고기능화, 지능화 되고 있다.¹⁾ 이러한 자동차 전자화 추세에 맞추어 전자 제어부분과 전자제품의 수요가 급속히 증대되고 있으며, 차체 내에 사용되고 있는 전자부품은 가볍고 작아지면서도 기능에

*Corresponding author, E-mail: kimsg@kongju.ac.kr

있어서는 더욱 정확한 전자제어 시스템들이 늘어나 자동차에서 쓰이는 전기의 용도와 양은 점점 증대되어가고 있다. 또한 순간 정전이나 주파수 및 전압 변동이 심하면 고부가가치의 전자제품들은 불량 또는 폐기 되어야 하므로 이에 따른 경제적 손실은 매우 커 첨단 장비나 고품질의 전자제품들을 사용하기 위해서는 무엇보다도 전기를 요구하는 수준은 매우 고급화 되고 있다.

따라서 자동차에 전기가 다양한 부분에 사용되어지고 있어 전력동력의 관리 및 제어를 위하여 사용되는 동력의 정확한 양의 상시 모니터링은 필수적이다. 따라서 자동차의 많은 전기전자 제품을 효율적으로 사용하기 위해서는 자동차 배터리로부터 나오는 출력 전류 값을 정확하게 모니터링 할 수 있고 그 값을 제어 할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 전류를 측정하는 여러 가지 방법 중에 Hall Effect를 이용한 Hall IC센서를 부착하여 측정하는 방법을 사용한 DC Current Sensor에 대하여 고려하였고, FEM 상용 해석 프로그램인 Maxwell2D/3D로 자장 해석을 통하여 DC Current Sensor의 코어에서 Hall IC센서의 최적 위치를 살펴보고, 실제 자동차 배터리의 충전 및 방전되는 과정의 값과 측정 시물레이션으로 얻어진 값을 비교 했다. 이로부터 얻어진 결과를 바탕으로 DC Current Sensor에 사용되는 코어의 형상에 대하여 상용 해석프로그램에서 제공하고 있는 Parametric 해석과 Optimization 해석을 수행하여 가로와 세로로 최적의 코어의 길이비율을 나타내었다. Optimization 해석에 사용된 알고리즘은 Simplex Method 방법을 사용하여 최적화 해석을 수행하였다.

2. 이론적 배경

2.1 자기계 변위측정 방법

자기계의 변위를 측정하는 방법에는 시스템 파라미터 간극에 따라 변화하는 성질을 이용하는 센서리스 방법과 변위 측정용 센서를 이용한 방법이 있다.

센서리스 방법의 경우는 위치 검출 점과 제어 점을 일치 시킬 수 있는 장점을 가지며, 특별한 외부센서를 필요로 하지 않기 때문에 외부센서를 장착하는 문제가 발생하지 않는 시스템을 구현할 수 있다.

하지만 측정하고자 하는 변위를 연산하여야 하기 때문에 센서가 존재하는 경우보다 느린 응답속도를 가지게 된다.

변위 측정용 센서를 이용한 경우는 응답속도가 빠르다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 센서의 정도와 속도에 따라 높은 가격을 가지며, 시스템 구조상 제약이나 센서의 부피 등으로 인해 위치 검출 점과 제어 점이 불일치 하여 시스템을 불안정 하게 하기도 한다.^{2,3)}

이와 같이 자기계의 변위를 측정하는 방법들이 각각 장단점을 가지고 있지만 본 논문에서는 센서리스방법에 비하여 구조가 간단하여 장착이 쉽고 응답속도가 빠른 변위 측정용 센서를 자동차용 DC Current Sensor에 사용한다.

2.2 전류 및 전압 센서의 종류

전류센서란 전류계 이외의 방법으로 전류를 측정하기 위한 센서로 피 측정 전류선에 어떤 방법으로든 장착하고 그 전류에 비례한 전압이 출력으로 얻어지는 것을 말한다.

전류의 측정 방법으로는 저항법, CT(Current Transformer)법, 로고스키(Rogowski)법, 자속측정법(Hall Effect), 서보형 전류측정법, 발열측정법, 패러데이 효과법 등이 있다.⁴⁻⁶⁾ 전류 및 전압측정에 고려되어야 하는 것은 변위의 정도, 센서의 설치 공간, 센서의 자장에 대한 영향 및 측정 속도 등이며, 이외에도 자기계의 제작 시 소요비용도 고려되어야 한다.⁷⁾ 자속측정법 중 Hall Effect를 이용한 센서의 경우 다른 변위 측정센서에 비해 저렴한 가격을 가지고 있으며 크기가 상당히 작으며 응답속도 또한 센서리스방법에 비해 상당히 빠르다. 따라서 자동차 배터리의 전류를 측정하는 경우에 있어서 저렴하고 작은 크기의 DC Current Sensor시스템을 구현하기에는 여타의 다른 센서를 사용하기 보다는 Hall Effect센서를 이용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

2.3 Hall Effect의 원리

Hall Effect란 Fig. 1과 같이 자기장 속의 도체에서 직각방향으로 전류(I)가 흐르면, 자기장(B)과 전류(I) 모두의 직각 방향으로 전기장이 나타나는 현상이다.

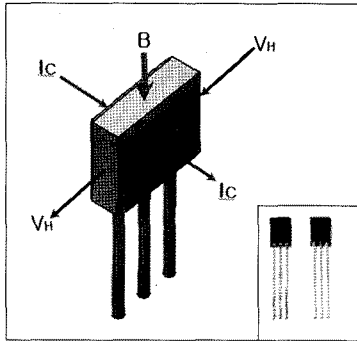


Fig. 1 Hall element & representation of the Hall Effect

금속이나 반도체 등의 고체를 자기장 속에 놓고 자기장의 방향에 직각인 방향으로 전류가 흐르게 하면 전하를 띤 입자가 자기장 속을 운동하면서 전자기력을 받아 고체의 한쪽으로 쏠리게 되면 자기장과 전류의 방향 모두에 직각인 방향으로 전기장이 생기는데, 이 현상을 Hall Effect라고 하고, 이때 생기는 기전력을 홀기전력이라고 한다.⁸⁾

Fig. 1에서 홀기전력 V는 다음 식으로 나타난다.

$$V = vx \cdot B = R_H \cdot I \cdot (B/d) \quad (1)$$

where vx : Carrier Velocity (m/s)

I : Electric Current (A)

R_H : Hall Coefficient

B : Flux Density (T)

d : Element Thickness (m)

3. DC Current Sensor의 FEM Model

3.1 Ring형 FEM Model

코어 형상의 최적화를 하기 전에 일반적인 링형 DC Current Sensor의 구조에 대하여 자장해석을 하였다. Fig. 2와 같이 DC Current Sensor의 구조에는 중심부에 코어와 선형 센서에 사용되는 Hall IC Sensor가 있다. 전류가 흐르면 중심부로부터 코어 주변에 자기장이 발생하고 코어 사이에 있는 Hall Effect 센서는 코어에 흐르는 유동량을 측정하게 된다.⁹⁾ Hall Effect 센서에서 측정되는 출력전압은 코어 재질의 최대자속밀도(Bm) 범위 내에서 입력전류에 비례한다. 센서가 안정적이고 신뢰할 수 있는 측정을 하기 위하여 코어에 유도된 전류가 Hall IC Sensor

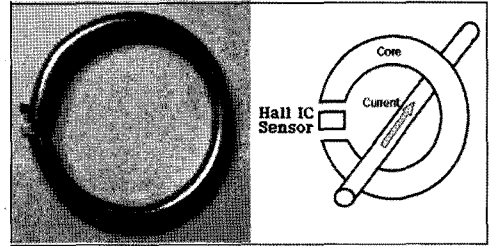


Fig. 2 The structure DC current sensor model using Hall Effect

Table 1 DC current sensor specification of ring type

Core 안지름 ϕ	36mm
Core 직경 ϕ	4mm
GAP (Hall IC Sensor 부분) 거리	2mm
Current Bar 길이	40mm
Current Bar 직경 ϕ	4mm

부분에서 센서가 최적의 위치에 장착될 수 있도록 자장이 가장 강하고 안정된 부분을 도출 하여야한다. Fig. 2의 링형 DC Current Sensor(왼쪽)는 테스트용으로 실제 제작한 모습이다.

Fig. 2의 링형 DC Current Sensor 구조의 제원은 다음의 Table 1과 같다.

3.2 FEM Model의 경계 조건

Fig. 3은 생성된 모델에 mesh를 적용한 그림이다.

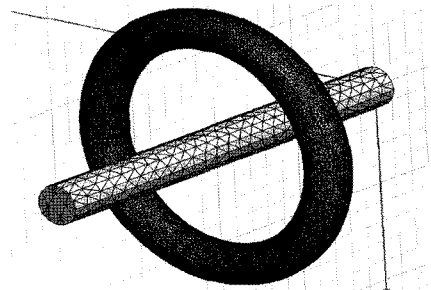


Fig. 3 FEM model mesh

mesh 크기는 Gap(Hall IC Sensor)부분이 0.3mm, 코어부분은 0.4mm, Current부분은 1.5mm로 나누어 적용 하였고 각각의 형상이 원통형이기 때문에 Surface mesh를 한 번 더 적용하였다. 외부 Region은 다른 mesh에 비하여서 Auto mesh를 적용시켰다.

해석 방법은 자기장의 과도응답해석(Transient)으로 하였고 excitation은 Current 부분의 양쪽 두 면을 터미널로 잡고 Fig. 9의 그래프를 0.005s의 스텝으로 4.5s 까지 전류를 주어 해석 하였다.

모델에 적용된 재질에서 Hall IC부분은 어느 위치가 가장 적절한가를 알아보기 위하여 특별한 재질 데이터를 넣기 보다는 Vacuum을 선택하여 가장 좋은 B값의 지점을 알아보는데 비중을 두었다. 외부 경계 조건 또한 생성한 모델에 비해 약 20%의 큰 외부 경계 조건을 Vacuum 상태로 주었다. 해석 적용된 재질의 종류는 Table 2와 같다.

Table 2 Material property

	재질
Core	Permalloy: PB
Current Bar (Current)	Brass
Gap (Hall Sensor)	Vacuum
외부 (Region)	Vacuum

3.3 코어 재질테스트

자장해석에 앞서 Hall IC Sensor 부분에서 코어의 재질 테스트를 하였다. 코어의 재질은 Permalloy:PB로 포화자속밀도(Bm)가 1.5 tesla인 45% nickel permalloy이며, Fig. 4는 코어 재질에 대한 B-H Curve를 보여준다.

Fig. 5에서 보여주는 전류에 대한 B값은 0 ~ 500A 까지 각각 10A 단위로 전류를 입력하고 Hall IC Sensor 부분에서 중앙에 점 하나를 생성하여 얻어낸

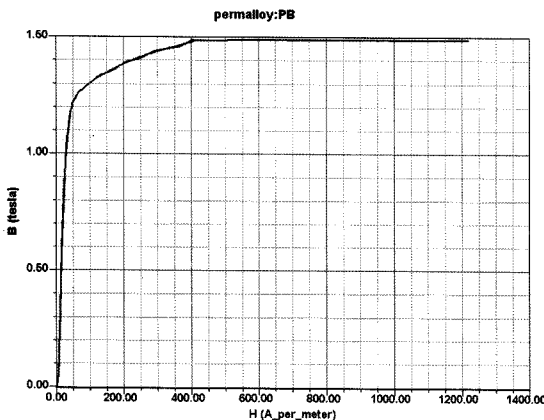


Fig. 4 B-H curve of permalloy: PB

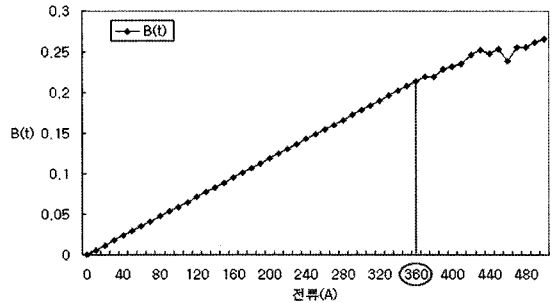


Fig. 5 B of permalloy: PB measurement

측정값이다. Fig. 5에서 확인한 결과 0 ~ 360A 사이에서 입력되는 전류에 비례하게 출력측정 값이 선형적으로 나타났다. 이 결과로 0 ~ 360A 전류 구간에서 측정되어지는 출력 값들은 신뢰할 수 있다. Fig. 5의 X축은 전류(A), Y축은 자속밀도(B)이다.

4. 자장 해석 및 코어형상 최적화

4.1 모델의 자장 해석

Fig. 6은 모델링한 센서 형상으로 센서 부분과 코어형상에서 자장 해석을 통하여 전체적으로 자속밀도가 고르게 분포되어 잘 흐르고 있는 것을 확인하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 Hall IC Sensor 부분에서 수평선과 수직선을 생성하여 그 두선에서 자속밀도(B)를 측정하여 나타낸 그래프이다. X축은 Hall IC Sensor 부분사이(Gap)의 수평거리 또는 수직거리를 나타내고 Y축은 B값을 나타내고 있다.

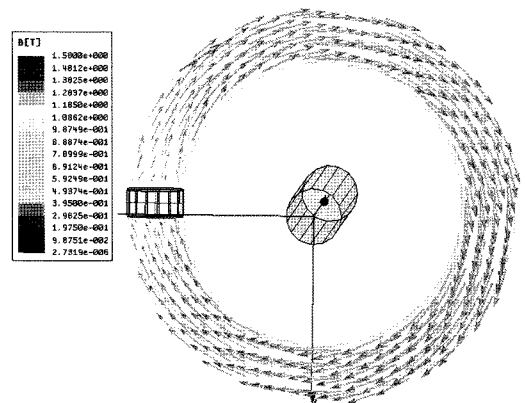


Fig. 6 A magnetic field distribution of the core & Hall IC sensor

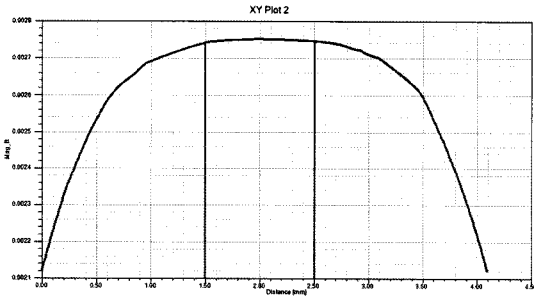


Fig. 7 A magnetic field distribution about horizontal line distance

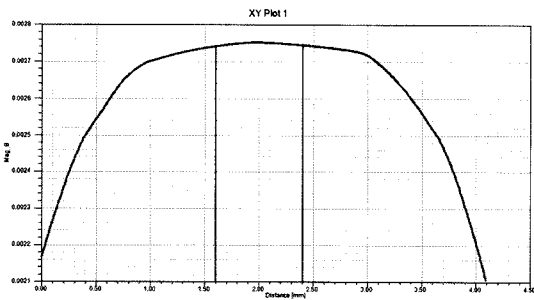


Fig. 8 A magnetic field distribution about vertical line distance

시물레이션결과 수평거리와 수직거리 모두 중앙 부분에서 B값이 가장 크고 안정적으로 확인되었으며 수평위치거리에서 B값은 1.5 ~ 2.5mm, 수직위치거리에서 B값은 1.6 ~ 2.4mm에서 가장 크고 안정된 부분으로 입력 전류에 대한 측정값을 가장 신뢰할 수 있는 구간으로 확인되었다. Fig. 7, 8의 그래프로 보아 Hall IC Sensor의 위치는 Gap부분의 정 중앙에 위치하도록 설계 하는 것이 가장 적합하다고 판단 된다.

Fig. 9는 실제 자동차의 시동 과정을 계측장비로 실측하여 나타낸 그래프로 X축은 시간(s), Y축은 전류량(A)을 나타낸다. 자동차의 방전에서 충전이 되기까지 약 4.5초 이전에 된다고 가정하여 나타냈다.

시동을 거는 순간부터 약 0.9초까지는 순수 배터리로부터 나오는 전류만을 사용하여 배터리의 전류 사용량이 많지만, 0.9초 이후부터는 자동차에 시동이 걸려 자동차의 발전기가 작동되어 배터리가 충전이 되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 9를 X축은 시간으로, Y축은 전류로 하여 Excitation하고 해석프로그램으로 시물레이션

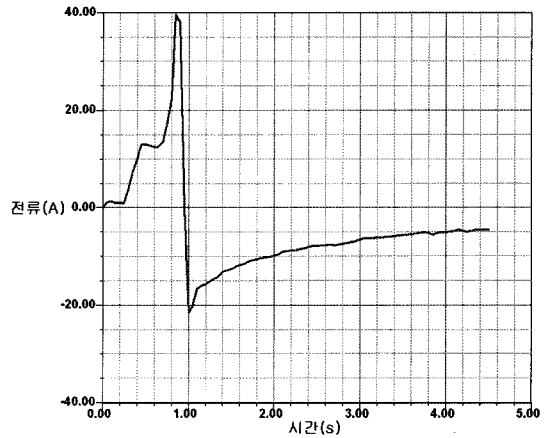


Fig. 9 Charging & Discharging current

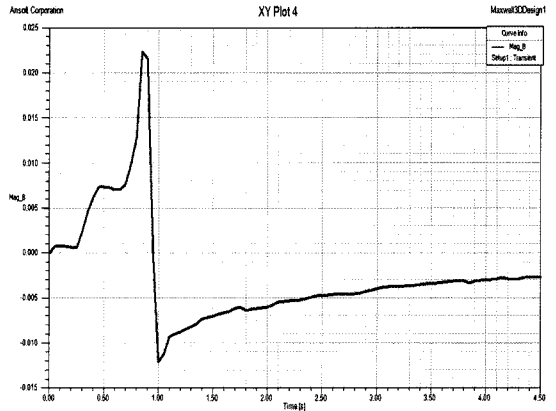


Fig. 10 B Measurement about input current

하였을 때 Gap(Hall IC Sensor)부분의 중앙, 즉 수평선과 수직선의 중앙점에서 얻은 결과로 0부터 4.5초까지에 대한 B값을 나타낸 그래프이다. Fig. 10의 X축은 시간이며 Y축은 자속밀도(B) 값이다.

Fig. 9와 Fig. 10의 그래프를 비교하여 볼 때 Fig. 9에서 전류의 시간에 따른 변화를 Fig.10의 B값이 유사하게 추종하는 것을 볼 수 있다. 이것으로 보아 정확하게 일치한다고는 할 수 없지만 여기서 중요한 것은 입력에 대해 센서가 측정하여 얻을 수 있는 결과치가 Fig. 9의 거동과 비례하게 변화한다는 것이라 할 수 있다. 이것은 입력받는 전류로부터 측정하여 얻을 수 있는 결과 값이 비례하는 형태로 이 결과는 Hall Effect를 이용한 DC Current를 측정하는 Sensor로써 변화되는 자동차의 전류량을 센싱하는 역할에 대해 신뢰할 수 있을 것으로 미루어 볼 수 있다.

4.2 코어 최적형상 해석

4.2.1 최적설계(Optimization)

최적설계는 여러 가지 기법과 알고리즘이 있으며, 최적설계의 목적은 어떤 값의 증감을 진행하는 방향으로 진행될 수 있는데 이렇게 대상이 되는 것을 목적함수(Object function)라 하고, 특히 감소의 대상을 비용함수(Cost function)라 한다.¹⁰⁾ 본 논문에서는 코어의 가로변수를 X_Leng, 세로변수를 Y_Leng으로 지정하였고, 최적화에 적용하였다.

$$\frac{1}{A} \int_A B \, dA = B_{Avg} \quad (2)$$

where, B : flux density

A : area of Gap

B_{Avg} : average of B

$$\min \frac{1}{B_{Avg}} = \text{Cost function} \quad (3)$$

Subject to $8\text{mm} \leq X_Leng \leq 30\text{mm}$

$8\text{mm} \leq Y_Leng \leq 30\text{mm}$

전체적인 형상에 대한 모든 설계변수들의 최적조건을 구하는 글로벌(Global) 최적화와 설계변수들 중에서 다른 변수들을 고정시키고 한 가지 변수만을 변화시키면서 최적조건을 구하는 로컬(Local) 최적화방법이 있다. 본 논문에서는 X축과 Y축에 어느 정도의 길이비율로 제한하여 변수를 적용한 로컬 최적화를 하는 것으로 코어의 형상에 대한 최적화를 하였다. Case I,II,III의 세 가지 경우로 링 형과 비슷한 정사각형태, 가로축이 긴 박스형, 세로축이 긴 박스형이다. 이것은 코어에 사용되는 Hall 센서의 크기와 모양, DC Current Sensor의 장착(Mounting) 위치와 형태, 공간의 여유에 따라 달라 질수 있어 형상 제한조건이 있는 최적화 문제로 공식화 하였다.

DC Current Sensor의 코어형상을 최적화하기 위해 해석상용프로그램인 Maxwell2D의 Parametric과 Optimization을 이용하여 해석을 수행하였고, 본 논문의 3장에서 일반적인 링 형 코어의 해석을 바탕으로 실제 시제작에 적용을 하기 위해 코어의 형상을 박스형으로 바꾸고 변수를 가로와 세로에 지정하여 박스형 코어의 Gap면적에서 Cost function이 가장 작

을 때의 X변수와 Y변수의 길이비율을 알아보았다.

본 논문에서 최적화하는 목적함수인 Cost function은 Gap부분에서 측정되는 B값을 적분하여 Gap의 총 면적으로 나눈 값, 즉 Gap부분의 면적 내에서 측정되는 총 B의 평균값을 1로 나눈 값으로 하여 Case I, II, III 모두 동일한 조건으로 사용되었다.

최적화 수행 절차는 Fig. 11과 같다. 최적화 수행에 사용된 알고리즘은 Maxwell2D에 제공되고 있는 Pattern Search법으로 Simplex Method가 이용되었다.

Pattern Search법이 최적화를 수행하는 방법은 2D/3D공간에서 하나의 mesh를 선택해 mesh의 면중에 하나를 가로질러 Simplex를 반영하여 새로운 Simplex가 더 좋은 결과를 제공한다면 그 새로운 결과를 결정하고 새로운 결과가 좋지 않다면 다른 면을 반영하는 것에 사용되어 이러한 패턴이 계속되는 과정을 거친다. 즉 어떠한 개선도 발생하지 않는다면 바로 전의 수행에서 결정이 되는 방법이다.¹¹⁾

Fig. 12는 코어형상 최적화에 사용될 모델로 각각 X, Y축은 변수로 지정하고 Gap부분은 2mm, 코어의 형상크기는 4mm로 고정되어있고 X, Y변수가 변화하더라도 크기는 변하지 않고 위치만 변화 되도록 설정되어 있다. 중앙의 사각형은 전류를 Excitation하는 부분으로 일반적으로 전류가 흐르는 Wire나 Busbar라고 생각하면 된다.

Fig. 13과 같이 새로운 박스형의 코어 모델을 형상최적화하기 위하여 기본적인 자장해석을 미리 수행하였다. Case I, II, III에 공통으로 적용된 재질은

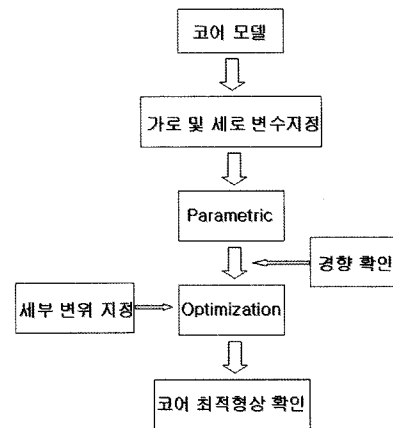


Fig. 11 Optimization procedure

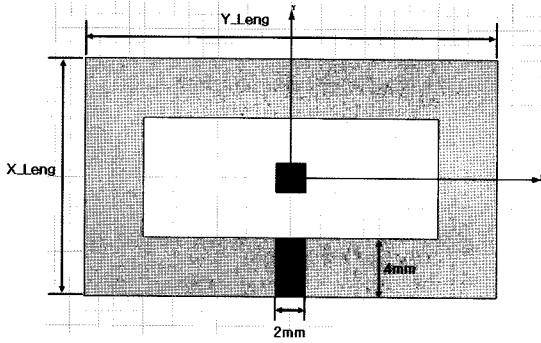


Fig. 12 Optimization model

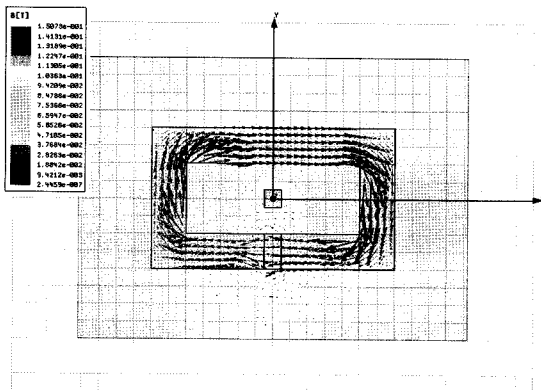


Fig. 13 A magnetic field distribution of model

링 형과 동일하며, 전류는 중앙의 작은 사각형으로 100A가 흐르게 하였다.

4.2.2 최적형상 Case I

Case I은 초기 조건이 X축의 길이가 Y축의 길이보다 큰 가로 형태를 가리킨다. Parametric 해석을 하기 위해 지정된 변수와 단계는 Table 3에 나타냈다.

Fig. 14는 Parametric 해석 결과 그래프로 X축은 코어의 X축에 대한 변수 값(X_Leng)이고, Y축은 Gap 부분에서 측정되는 B값을 나타낸다. 오른쪽 위의 Curve Info는 코어의 Y축에 대한 변수 값(Y_Leng)이다. Fig. 14에서 좌측과 우측상단의 길은 박스부분, 즉 X축의 길이 14 ~ 20mm, Y축의 길이 8 ~ 10mm에서 B의 값이 가장 큰 것을 보이고 있다.

Table 3 Parametric variable of Case I

Variable	Description	Step
X_Leng	Linear step from 14 ~ 30mm	1mm
Y_Leng	Linear step from 8 ~ 15mm	1mm

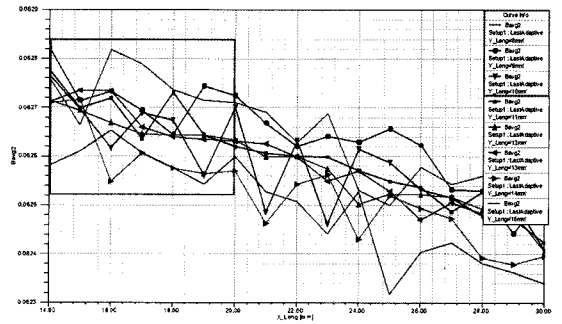


Fig. 14 The parametric result of B (Case I)

Table 4 Optimization variable of Case I

Variable	Starting value	Min	Max	Min step	Max step
X_Leng	14mm	13mm	20mm	0	1.01mm
Y_Leng	8mm	7mm	10mm	0	1.01mm

Table 4는 Optimization의 변수 조건을 나타낸다.

Fig. 15는 Case I의 최적화 수행을 하여 얻은 결과 그래프로 X축은 최적화 수행 횟수 이고, Y축은 Cost function 값이다.

수행횟수가 78번째에서 Cost function 값이 최소화 되는 것을 확인하였고, Case I에 대한 최적 길이비율은 Table 5와 같다.

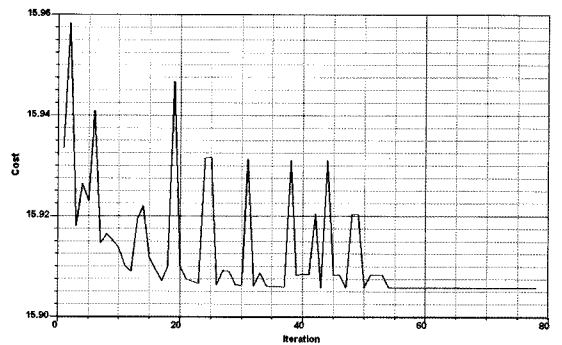


Fig. 15 Cost function of Case I

Table 5 Length rate to be optimized of Case I

Variable	Length
X_Leng	13.17542 mm
Y_Leng	7.87277 mm

4.2.3 최적형상 Case II

Case II은 초기 조건이 X축의 길이가 Y축의 길이보다 큰 세로 형태를 가리킨다. Parametric 해석을 하

Table 6 Parametric variable of Case II

Variable	Description	Step
X_Leng	Linear step from 8 ~ 15mm	1mm
Y_Leng	Linear step from 14 ~ 30mm	1mm

기위해 지정된 변수와 단계는 Table 6에 나타났다.

Fig. 16은 Parametric 해석 결과 그래프로 X축은 코어의 Y축에 대한 변수 값(Y_Leng)이고, Y축은 Gap부분에서 측정되는 B값을 나타낸다. 오른쪽 위의 Curve Info는 코어의 X축에 대한 변수 값(X_Leng)이다. Fig. 16에서 좌측과 우측상단의 짙은 박스부분, 즉 X축의 길이 14 ~ 20mm, Y축의 길이 8 ~ 11mm에서 B의 값이 가장 큰 것을 보이고 있다.

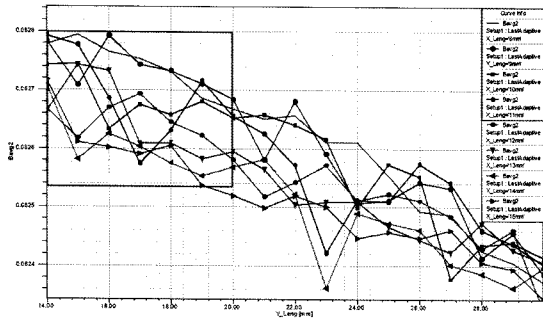


Fig. 16 The parametric result of B (Case II)

Table 7은 Optimization의 변수 조건을 나타낸다.

Table 7 Optimization variable of Case II

Variable	Starting value	Min	Max	Min step	Max step
X_Leng	8mm	7mm	11mm	0	1.01mm
Y_Leng	14mm	13mm	20mm	0	1.01mm

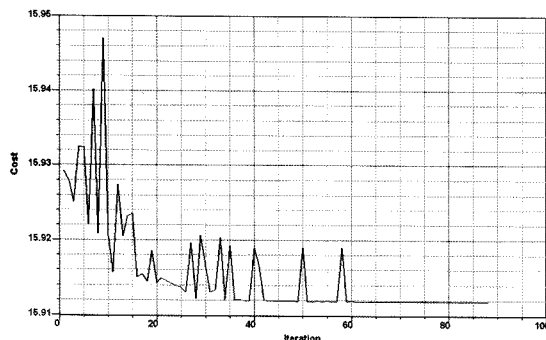


Fig. 17 Cost function of Case II

Fig. 17은 Case II의 최적화 수행을 하여 얻은 결과 그래프로 X축은 최적화 수행 횟수 이고, Y축은 Cost function값이다.

수행횟수가 88번째에서 Cost function값이 최소화 되는 것을 확인하였고, Case II에 대한 최적 길이비율은 Table 8과 같다.

Table 8 Length rate to be optimized of Case II

Variable	Length
X_Leng	7.93885 mm
Y_Leng	14.18404 mm

4.2.4 최적형상 Case III

Case III는 초기 조건이 X축과 Y축의 길이가 같은 형태를 가리킨다. Parametric 해석을 하기위해 지정된 변수와 단계는 Table 9에 나타났다.

Table 9 Parametric variable of Case III

Variable	Description	Step
X_Leng	Linear step from 8 ~ 21mm	1mm
Y_Leng	Linear step from 8 ~ 21mm	1mm

Fig. 18은 Parametric 해석 결과 그래프로 X축은 코어의 X축에 대한 변수 값(X_Leng)이고, Y축은 Gap부분에서 측정되는 B값을 나타낸다. 오른쪽 위의 Curve Info는 코어의 Y축에 대한 변수 값(Y_Leng)이다.

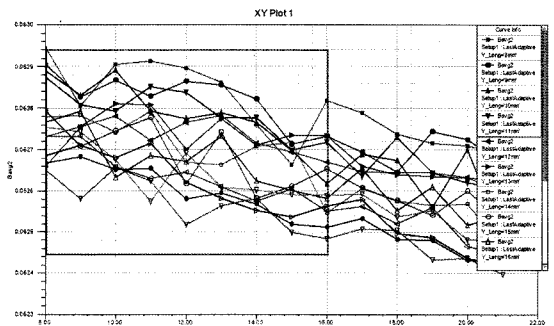


Fig. 18 The parametric result of B (Case III)

Fig. 18에서 좌측과 우측상단의 짙은 박스부분, 즉 X축의 길이 8 ~ 16mm, Y축의 길이 8 ~ 11mm에서 B의 값이 가장 큰 것을 보이고 있다.

Table 10은 Optimization의 변수 조건을 나타낸다.

Table 10 Optimization variable of Case III

Variable	Starting value	Min	Max	Min step	Max step
X_Leng	8mm	7mm	16mm	0	1.01mm
Y_Leng	8mm	7mm	11mm	0	1.01mm

Fig. 19는 Case III의 최적화 수행을 하여 얻은 결과 그래프로 X축은 최적화 수행 횟수 이고, Y축은 Cost function값이다. 수행횟수가 17번째에서 Cost function값이 최소화되는 것을 확인하였다.

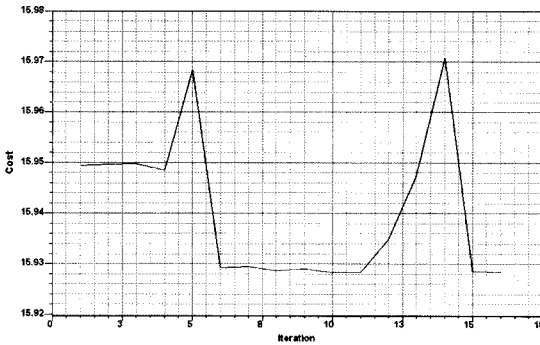


Fig. 19 Cost function of Case III

Case III에 대한 최적 길이비율은 Table 11과 같다.

Table 11 Length rate to be optimized of Case III

Variable	Length
X_Leng	7.72041 mm
Y_Leng	7.92881 mm

Case I, II, III에서 나타난 결과들을 비교해 보면 Table 12와 같다. Table 12에서 나타난 결과들을 보면 Ring형의 코어와 비슷한 Case III의 정사각형 형태의 코어에서 가장 좋은 값을 나타내고 있다. 가로 형태인 Case I과 세로형태의 Case II에서의 결과 값이 작은 차이를 보였으며, Case I에서 Cost function 값이 약간 큰 것을 보였다.

Table 12 Comparison of Case I, II, III

Variable	Cost function value	B(Tesla)	X 길이 비 (mm)	Y 길이 비 (mm)
Case I	15.906	0.06286	13.17542	7.87277
Case II	15.912	0.06284	7.93885	14.18404
Case III	15.880	0.06297	7.72041	7.92881

5. 결론

본 논문에서는 Hall Effect를 이용한 DC Current Sensor의 측정 방법을 상용 해석프로그램으로 시뮬레이션을 통하여 자장의 변화와 흐름을 살펴보고, 최적화 해석을 통하여 DC Current Sensor에 사용되는 코어의 최적형상을 길이의 비율과 최적화방법을 제시하였다.

- 1) 코어 재질인 Permalloy: PB에 대한 입력전류와 측정전류가 0 ~ 360A에서 신뢰성을 갖는 구간으로 확인되었다.
- 2) 출력전류가 가장 많고 안정된 부분의 Hall IC 센서의 위치를 살펴본 결과 Gap의 중앙부분에서 자기장의 세기가 가장 크고 자속밀도가 가장 안정되게 흐르는 것을 확인 하였다. 따라서 DC Current Sensor의 Hall IC 센서를 Gap의 중앙에 위치할 수 있도록 설계 하여야 한다.
- 3) 실제 자동차 배터리가 충전 및 방전되는 과정의 입력전류형태와 해석한 측정결과 값의 자장 크기 변화가 같은 형태로 추종됨을 확인하였다.
- 4) Case I, II, III를 통한 코어 형상최적 해석에서 각 형상의 최적X, Y의 길이비율을 확인하였다.
X, Y의 길이비율은(mm) Case I에서 13.2 : 7.9, Case II에서 7.9 : 14.2, Case III에서 7.8 : 7.9일 때 최적형상임을 확인하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 ‘지방기업 주문형인력양성사업’ 과 ‘지역혁신인력양성사업’ 으로 지원으로 진행되었음.

References

- 1) B. K. Joo, A Car Sensor Technique which Applies MEMS Technique & A Trend, Vol.1284, IITA, 2007.
- 2) C.-H. Kim, B.-G. Jung and J.-H. Yang, "A Study on the Sensorless Realization of Magnetic Levitation System," KSNVE, Vol.8, No.1, pp.195-203, 1998.
- 3) J. H. Yang, G. G. Jeong, H. H. Jeong and S. K. Son, "A Basic Study of Displacement Measurement

- of Magnetic Bearing System Using Hall Effect Sensor," KSPSE, Vol.11, No.2, pp.1-2, 2007.
- 4) C.-K. Chun and C.-U. Kim, "Current Sensorless Three Phase PWM AC/DC Boost Converter with Unity Power Factor," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineering Vol.17, No.6, pp.105-112, 2003.
 - 5) K.-H. Kim, "An Adaptive Current Control Scheme of an AC Servo Motor for Performance Improvement of a Servo Drive," Journal of KIEE, Vol.20, No.6, 2006.
 - 6) K. S. Lee, "Various Considerations in Designing Stable Electrooptic Voltage and Magneto optic Current Sensors," Proc. of 8th Optic & Quantum-Electronics Workshop, pp.103-108, 1991.
 - 7) M. Noh and M.-K. Jeong, "The Effect of Currents and Hysteresis on the Performance of Inductive Position Sensor for Magnetic Bearings," KSME Spring B, pp.36-41, 2001.
 - 8) B. Kim, Let's Apply the Sensor, pp.411-412, Hanjin, 2006.
 - 9) R. Dickinson and S. Milano, Isolated Open Loop Current Sensing Using Hall Effect Technology in an Optimized Magnetic Circuit, Allegro Microsystems, Inc. 162 Pembroke Rd. Concord NH, 03301 USA, 2002.
 - 10) S. T. Loney, "Design of Compound Solenoids to Produce Highly Homogeneous Magnetic Field," J. Inst. Maths Applies, Vol.2, pp.111-125, 1996.
 - 11) Maxwell 2D/3D Ver.12 Manual.