

# **DoSA**

**(Designer of Solenoid & Actuator)**

**Version 0.9.5**

**User's Manual**

**2017.11**

**Open Actuator Project**

**( <http://www.OpenActuator.org> )**

- 목 차 -

1. DoSA 소개 .....	4
가) DoSA 란 .....	4
나) 적용분야 .....	4
① Solenoid Actuator .....	4
② Voice Coil Actuator .....	5
③ 기타 Actuator.....	5
다) 개발배경 .....	5
라) 개발목표 .....	7
2. DoSA 구성 .....	8
가) 메뉴 톨바 .....	8
① 작업 관리 .....	9
② 부품 설계 .....	9
③ 가상 시험 .....	9
나) Tree View .....	10
다) Information Window .....	10
라) Property View .....	11
3. 기능 설명.....	12
가) 부품 설계.....	12
① 코일 .....	12
② 연자성체와 영구자석 .....	13
나) 가상시험 .....	14
① 자기력 가상시험 .....	14
② 변위 가상시험 .....	14
③ 전류 가상시험 .....	15
4. 액추에이터별 따라하기 .....	16
가) 리니어 진동모터 (VCM 방식, 축대칭 2 차원 해석).....	16

① 모델 설명 .....	16
② Design 생성 .....	16
③ 코일 추가 .....	17
④ 영구자석 추가 .....	18
⑤ 연자성체 추가 .....	19
⑥ 자기력 가상시험 .....	21
⑦ 변위-자기력 가상시험 .....	23
⑧ 전류-자기력 가상시험 .....	24
나) On/Off 솔레노이드 .....	25
① 모델 설명 .....	25
② Design 생성 .....	26
③ 코일 추가 .....	26
④ 연자성체 추가 .....	28
⑤ 자기력 가상시험 .....	30
⑥ 변위-자기력 가상시험 .....	31
⑦ 전류-자기력 가상시험 .....	33

## 1. DoSA 소개

### 가) DoSA 란

DoSA 는 **Designer of Solenoid and Actuator** 의 약자로 Actuator 와 Solenoid 개발자를 위한 개발 소프트웨어이다. 특징으로는 Actuator 제품의 개발 Know-how 를 포함시켜 개발 되었으며, 프로그램의 작업환경을 설계와 시험을 반복하는 제품개발과 유사한 가상 환경으로 제공하는 것이다.

DoSA 의 목표는 제품개발과 유사한 작업환경을 제공하여 제품 개발자들이 CAE 에 대한 고민 없이 본인의 설계에 대한 가상 시험(성능예측)을 할 수 있게 하는 것이다. 이를 위해 DoSA 는 CAE 관련 항목들을 프로그램 내부에서 자동으로 처리하고 있다.

DoSA 의 작업은 아래와 같이 크게 두 가지로 구분할 수 있다.

#### 개발자 작업

- 설계 작업에 필요한 부품의 설계 사양값 입력
- 시험에 필요한 시험 조건값 입력

#### DoSA 자동작업

- 설계 사양값과 시험 조건값에서 해석에 필요한 Pre-Process 의 입력값 추출
- 해석 SW 전산해석 실행
- Post-Process 기능을 사용하여 Actuator 시험의 결과값 확보

즉, 상기 작업을 통해 DoSA 안에서 개발자는 설계나 시험에 필요한 값들만 입력을 하면 DoSA 가 자동으로 가상 시험을 진행하고 사용자에게 최종 결과보고서를 제공하게 된다.

### 나) 적용분야

DoSA 를 사용하면 아래의 다양한 Actuator 제품에 대한 성능예측이 가능하다.

#### ① Solenoid Actuator

- ✓ 자동차용 Solenoid
- ✓ 가전기기용 Solenoid
- ✓ 산업용 Solenoid
- ✓ ...



## ② Voice Coil Actuator

- ✓ 광학 자동초점 Actuator
- ✓ 리니어 진동모터
- ✓ 산업용 Voice Coil Actuator
- ✓ 스피커 구동유닛
- ✓ 이어폰 구동유닛
- ✓ ...



## ③ 기타 Actuator

- ✓ 전력 차단기
- ✓ 리니어 진동 펌프
- ✓ Solenoid 충격기
- ✓ ...

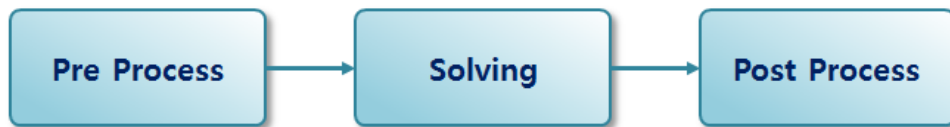
### 다) 개발배경

FEMM 같은 전자기장 해석 소프트웨어 (이하 해석 SW) 들은 충분한 기술적 수준에 도달하고 있어 많은 전기기기 개발에서 CAE 기술이 활용되고 있다. 하지만 해석 SW 는 CAE 를 전공한 전문인력을 필요로 하고 있어 아직까지도 해석조직을 보유하고 있는 대기업의 CAE 전문인력들 위주로 사용이 되고 있는 한계가 있다.

전기기기의 개발에 사용되는 CAE 기술은 제품의 기본 성능을 예측하고 개발하는 성능개발에 주로 적용되고 있다. 따라서 전기기기 개발 업체들은 개발자들에게 해석 SW 를 교육시키고 사용을 독려하여 제품개발에 CAE 기술이 활발히 사용되도록 노력하고 있다. 하지만 CAE 전문인력을 요구하고 있는 해석 SW 특성상 아직도 개발자들은 기초적인 해석수준에만 머물러 있고 고급해석은 CAE 전문인력에게 의지하고 있는 실정이다.

이러한 문제를 개선하기 위해 상용 해석 SW 업체에서도 누구나 사용할 수 있는 쉬운 해석 SW 를 개발하기 위해 노력을 하고 있지만, 이 또한 해석 SW 이기 때문에 개발자들이 CAE 를 교육 받아야 하는 상황이라 현재보다 많은 개발자들을 CAE 개발 환경으로 끌어드릴 수는 있겠지만 한계가 있을 것으로 판단된다.

대부분의 해석 SW 는 해당 물리장의 모든 문제를 풀 수 있는 CAE 솔버 기반의 범용 소프트웨어이다. 따라서 그림 1.3.1 과 같은 작업 흐름을 따라가게 된다.



1.3.1 해석 SW 의 작업 흐름

그림 1.3.1 의 작업흐름은 CAE 를 전공한 CAE 전문인력에게는 익숙하겠지만, 제품개발 절차에 익숙한 개발자들에게는 CAE 를 학습할 때 가장 처음으로 받아드려야 할 생소한 내용이다.

그렇다면 CAE 에 대한 학습 없이 개발자들이 CAE 기술을 제품개발에 활용할 수 있는 방법은 무엇이 있을까?

방안으로 패러다임을 바꾸어 쉬운 해석 SW 가 아니라 새로운 개념의 개발 소프트웨어 (이하 개발 SW) 를 제안한다. 해석 SW 가 CAE 인력을 위해 개발이 되고 해당 물리장의 모든 문제를 해결하는 프로그램이라고 한다면, 개발 SW 는 개발자의 눈높이에서 개발되고 특정 제품군의 제품을 개발하는데 사용하는 프로그램이라 할 수 있다.

개발자는 제품개발 절차를 따라 개발을 진행한다. 제품개발 절차는 제품 설계와 샘플 가공 및 조립 그리고 시험검증으로 크게 3 가지로 나누어져서 진행이 된다. 따라서 개발 SW 의 작업 흐름은 그림 1.3.1 의 전산해석 절차가 아닌 제품개발 절차를 따라야 한다.

그림 1.3.2 는 개발 SW 의 작업 흐름에 대한 그림이다. 개발 SW 는 특정 제품군을 목표로 개발되기 때문에 개발자들에게 익숙한 제품 설계와 시험 검증의 작업 흐름을 제공할 수 있다. 여기서 개발 SW 의 시험은 가상으로 진행되기 때문에 설계 샘플의 가공 및 조립은 필요하지 않다.



그림 1.3.2 개발 SW 의 작업 흐름

개발 SW 의 가상 시험이란 특정 제품에 요구되는 시험 결과를 예측하는 과정으로 필요한 전산해석은 해석 SW 를 활용하고 있다. 개발 SW 는 그림 1.3.3 과 같이 개발자들이 개발 SW 에서 제품 설계작업과 시험 조건을 입력하면 개발 SW 가 해석 SW 를 제어하여 개발자에게 가상시험 결과를 제공하도록 구성 되어있다. 따라서 개발 SW 는 개발자에게 제품개발과 유사한 환경을 제공하고, 해석 SW 는 예측 결과에 대한 신뢰도를 확보하게 된다.

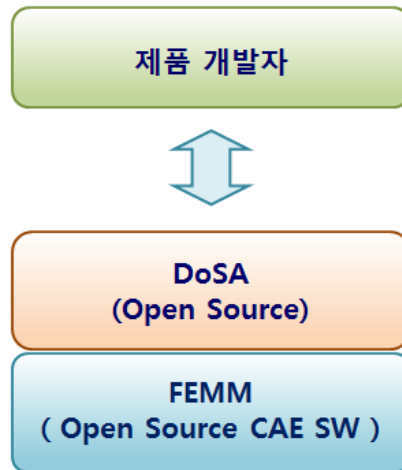


그림 1.3.3 개발 SW 의 동작

DoSA 는 Actuator 나 Solenoid 개발자들에게 최적의 개발환경을 제공하기 위해 개발된 Actuator 용 개발 SW 이다.

#### 라) 개발목표

DoSA 는 개발자를 위한 개발 소프트웨어이다. DoSA 의 목표는 CAE 비 전공 개발자도 CAE 에 대한 교육 없이 본인들의 설계에 대한 성능예측을 할 수 있는 개발 환경을 제공하는 것이다. 이를 위해 DoSA 의 작업환경을 전산해석 대신 설계와 시험을 반복하는 제품개발 절차와 유사한 형태로 개발을 진행하였다. 물론 가상시험을 위해 내부적으로 해석 SW 를 사용하고는 있지만, CAE 관련 내용을 내부에서 자동처리하고 있어 개발자들은 CAE 에 대한 고민 없이 DoSA 를 사용할 수 있도록 하였다.

DoSA 는 Actuator 제품에 특화된 개발 소프트웨어로 Actuator 의 설계와 시험에 대한 기술 Know-how 를 포함하고 있다. 특히, Actuator 개발에 필수적인 코일에 대한 부품사양 값을 기구설계치의 입력으로

계산할 수 있는 기능을 제공하고 있으며, Actuator 의 설계검증 때 실시되는 다양한 시험들을 가상시험 형태로 제공하고 있다. 또한 부품 설계의 사양 값과 가상 시험의 결과를 하나의 결과 보고서로 자동 생성함으로써 설계와 시험에 대한 자료관리를 지원하고 문서작업에 대한 시간도 단축시킬 수 있다.

## 2. DoSA 구성

DoSA 의 화면구성은 그림 2.1.1 과 같이 간단하게 구성되어 있으며, 각 구성의 설명은 아래와 같다.

- ✓ 상단 메뉴 톨바 : 작업관리, 부품설계, 가상시험, 설정
- ✓ Tree View : 부품 및 가상시험의 트리뷰
- ✓ Property View : 부품 및 가상시험에 대한 속성 창
- ✓ Information Window : 설계 및 시험결과를 알려주는 창
- ✓ Message Window : 진행 상태를 알려주는 창

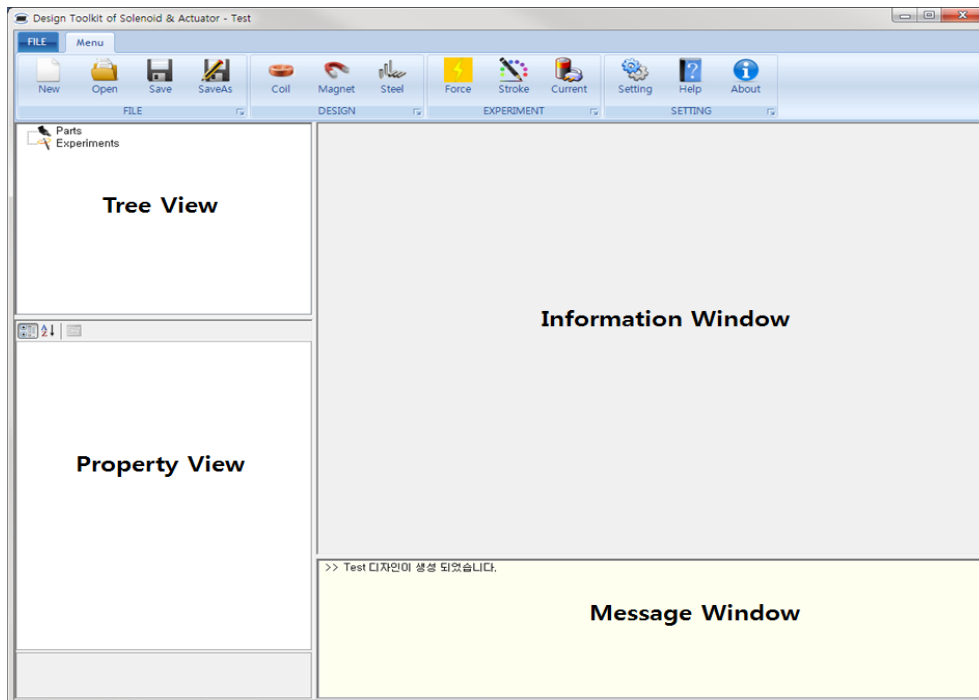


그림 2.1.1 DoSA 화면 구성

### 가) 메뉴 톨바

DoSA 의 상단 메뉴 톨바는 그림 2.1.2 와 같다. 제품개발과 유사한 작업환경을 개발자에게 제공하기 위하여 크게 제품 설계와 가상 시험으로 구성이 되어 있다.





그림 2.1.2 상단 메뉴 툴바

### ① 작업 관리

DoSA 의 기본 작업 단위는 디자인이다. 디자인 작업의 생성 및 저장에 대한 기능은 아래와 같다.

- ✓ New : 신규 작업 생성
- ✓ Open : 저장된 DoSA 디자인 파일 열기 (확장자명 : \*.dsa)
- ✓ Save : 작업 디자인 저장
- ✓ SaveAs : 작업 디자인을 다른 이름으로 저장 (단, 해석결과는 복사되지 않음)

### ② 부품 설계

Actuator 의 제품 설계란 구성부품의 설계를 의미 한다. 따라서 설계 Toolbar 는 Actuator 의 성능설계를 결정하는 3 가지의 부품 버튼으로 구성되어 있다. 각 부품 버튼 별로 정리하면 아래와 같다.

- ✓ Coil : 권선 추가 및 사양 설계
- ✓ Magnet : 영구자석 추가 및 사양 설정
- ✓ Steel : 연자성체 추가 및 사양 설정

Actuator 방식 별로 주로 사용되는 부품들을 구분해보면, Solenoid 는 Coil, Steel 이 많이 사용되고 Voice Coil Motor 방식 (이하 VCM)는 Coil, Steel, Magnet 이 주로 사용된다.

### ③ 가상 시험

Actuator 를 개발할 때 진행하는 시험을 아래의 가상 시험으로 지원한다.

- ✓ Force 측정 : 구동부 자기력 측정
- ✓ Stroke 측정 : 변위를 이동시키며 자기력 측정
- ✓ Current 측정 : 전류를 이동시키며 자기력 측정

DoSA 는 Actuator 제품 개발에 필요한 시험 결과를 가상 시험으로 제공하고 있다.

## 나) Tree View

Tree View 는 설계에 사용되는 부품들과 가상 시험들을 나타내고 선택 할 수 있는 기능을 제공한다. 그림 2.2.1 은 Actuator 작업의 Tree View 그림이다. Actuator 해석에 필요한 부품들과 가상 시험들이 추가되어 있다.

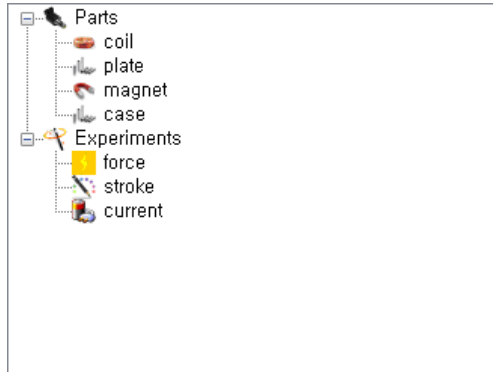


그림 2.2.1 Actuator 작업의 Tree View

Information Window 는 부품을 설계하거나 가상 시험조건을 입력할 때 개발자의 이해를 돕기 위한 그림들을 제공하고 있다. 또한 가상시험의 결과를 표시하기 위한 목적으로도 사용되고 있다.

## 다) Information Window

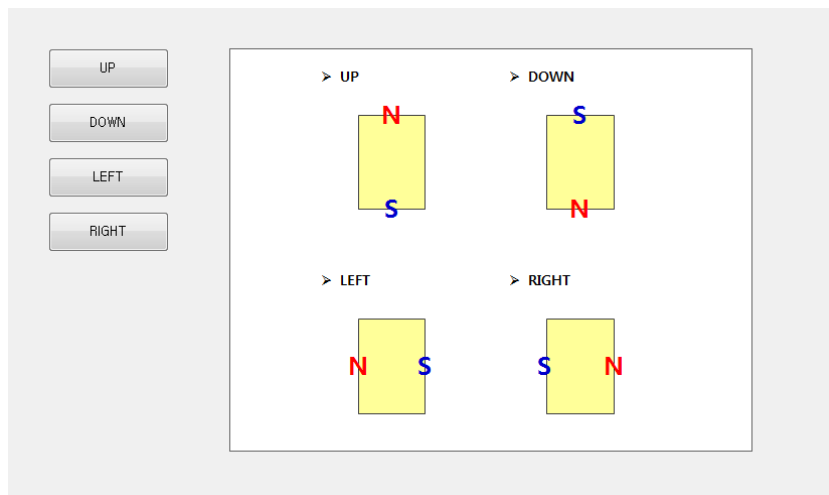


그림 2.3.1 영구자석 착자 설정 설명

그림 2.3.1 은 영구자석의 착자 설정관련 정보를 Information Window 를 통해 제공하는 그림이다. 또한 DoSA 는 Coil 에 대한 수식계산 설계 기능을 개발자에게 제공하고 있다. 이때 부품의 수식설계 때 필요한 입력 값에 대한 정보를 Information Windows 로 제공하고 있다.

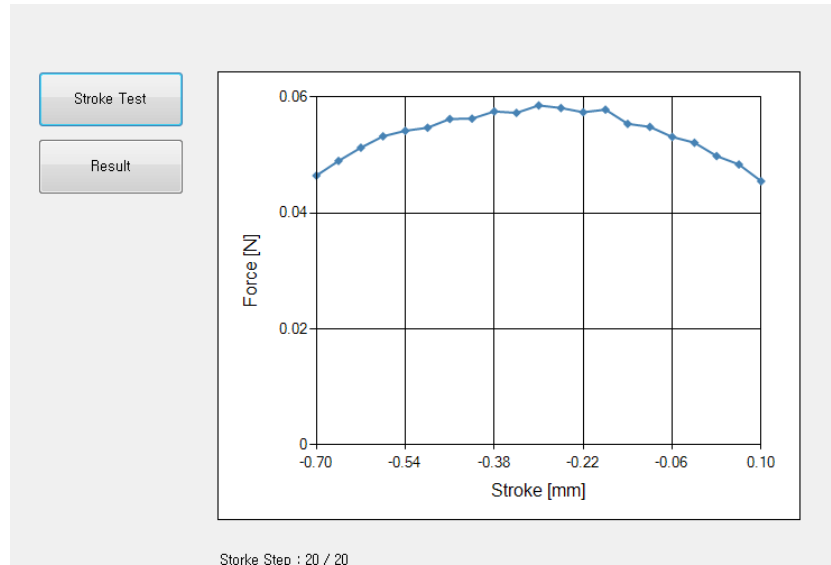


그림 2.3.2 VCM 변위별 자기력 결과

그림 2.3.2 는 VCM Actuator 의 변위에 대한 자기력을 표시한 결과 그림이다. DoSA 는 부품 설계의 설명뿐 아니라 가상 시험 후의 결과도 Information Window 를 사용해 제공하고 있다.

## 라) Property View

Property View 는 부품 사양 및 가상 시험 조건을 입력하는 창이다.

그림 2.4.1 은 코일의 Property View 이미지이다. 특히, Property View 의 optional 카테고리에는 가상 시험에 직접 사용되는 정보가 아니라 가상 시험에 필요한 부품의 사양 값을 자동 수식계산하기 위한 부품 설계입력 값이다.

<b>Common Fields</b>	
Node Name	coil
<b>Specification Fields</b>	
Part Material	Copper
Current Direction	OUT
Moving Parts	FIXED
<b>Calculated Fields</b>	
Coil Turns	126
Coil Resistance [ $\Omega$ ]	15,74769
Coil Layers	6
Turns of One Layer	21
<b>Design Fields (optional)</b>	
Coil Wire Grade	Bonded_IEC_Grade_1B
Inner Diameter [mm]	3
Outer Diameter [mm]	3.73
Coil Height [mm]	1.18
Copper Diameter [mm]	0.045
Wire Diameter [mm]	0.04953
Coil Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]	20
Horizontal Coefficient	0.95
Vertical Coefficient	1.13
Resistance Coefficient	1.1

그림 2.4.1 코일관련 Property View

### 3. 기능 설명

#### 가) 부품 설계

Actuator 는 성능 부품들의 조합으로 제품 성능이 구현된다. 따라서 Actuator 의 제품 설계란 부품을 설계하는 과정이라 할 수 있다. DoSA 는 개발자가 Actuator 성능부품의 사양 값을 입력이나 자동계산을 통해 설계하는 과정을 거치게 되면 성능부품의 사양 값에서 해석 SW 의 Pre-Process 에 필요한 모든 입력 값들을 자동으로 추출하고 생성하여 해석 SW 를 자동 실행시킨다.

각 부품 별로 개발자가 진행하는 부품 설계과정을 소개한다.

##### ① 코일

해석 SW 에서 필요한 코일관련 정보는 Turns 와 저항 값이다. 하지만 코일의 사양 값인 Turns 와 저항 값은 코일의 제작 후에 알 수 있는 값이기 때문에 개발자가 코일제작 전에 알고 있는 제작 설계치로 예측을 해야 한다. DoSA 는 개발자의 코일 설계를 돕기 위하여 코일 제작 설계치를 사용하여 Turns 와 저항을 수식 계산하는 기능을 제공하고 있다.

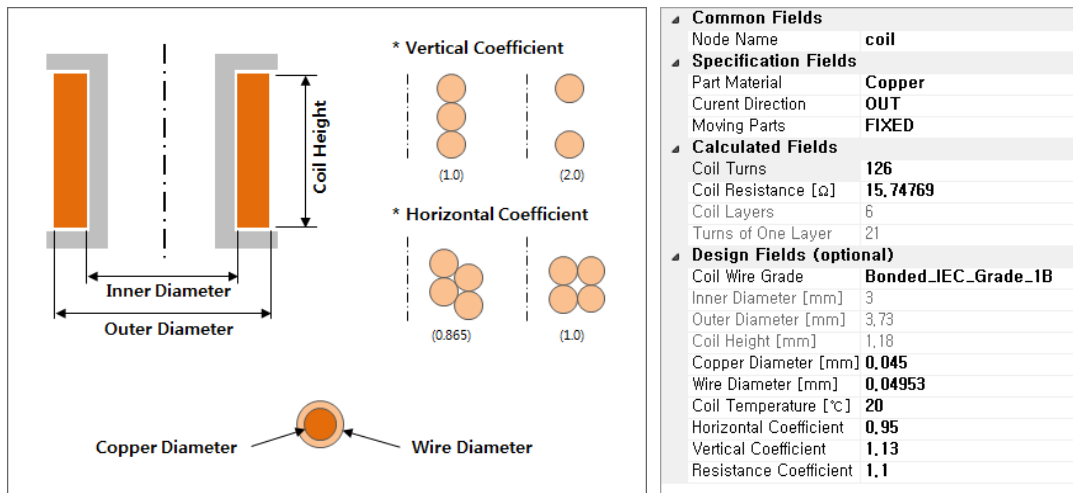


그림 3.1.1 코일 설계

- ✓ Part Material : 에나멜선 사용 재질 (copper, aluminum)
- ✓ Current Direction : 코일 전류 방향
- ✓ Moving Parts : 고정부와 동작부 선정
- ✓ Coil Turns : 코일 턴 (직접 입력하거나 자동계산 가능)
- ✓ Coil Resistance : 코일 저항 (직접 입력하거나 자동계산 가능)
- ✓ Coil Layers : 코일 층 수 (자동계산 값)
- ✓ Turns of One Layer : 한 층의 턴 수 (자동계산 값)

- ✓ Coil Wire Grade : 코일 에나멜선의 등급 (등급에 따라 피복두께가 달라짐)
- ✓ Inner Diameter, Outer Diameter, Coil Height, Copper Diameter : 코일 형상설계 정보
- ✓ Wire Diameter : 에나멜선의 지름 (에나멜선 등급 고려 자동 계산됨)
- ✓ Coil Temperature : 코일 동작 온도 (저항 계산에 사용됨)
- ✓ Horizontal Coefficient : 한 층의 정렬 보정계수 (Turns of One Layer 로 판단)
- ✓ Vertical Coefficient : Layer 정렬 보정계수 (Coil Layers 로 판단)
- ✓ Resistance Coefficient : 코일 저항 보정계수 (Coil Resistance 으로 판단)

## ② 연자성체와 영구자석

그림 3.1.2 는 영구자석과 연자성체의 부품 사양 입력 창이다. 영구자석은 재질과 착자 방향의 설정이 필요하고, 연자성체는 재료의 자기특성 (BH 곡선)을 고려한 재질 선정이 중요하다. 연자성체와 영구자석의 형상 작업은 DoSA 안에서 개발자가 직접 입력 작업을 해야 한다.

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Common Fields</th> </tr> <tr> <td>Node Name</td> <td>plunger</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Specification Fields</th> </tr> <tr> <td>Part Material</td> <td>430 Stainless Steel</td> </tr> <tr> <td>Moving Parts</td> <td>MOVING</td> </tr> </table>	Common Fields		Node Name	plunger	Specification Fields		Part Material	430 Stainless Steel	Moving Parts	MOVING	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Common Fields</th> </tr> <tr> <td>Node Name</td> <td>magnet</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Specification Fields</th> </tr> <tr> <td>Part Material</td> <td>NdFeB 52 MGOe</td> </tr> <tr> <td>Direction</td> <td>UP</td> </tr> <tr> <td>Moving Parts</td> <td>MOVING</td> </tr> </table>	Common Fields		Node Name	magnet	Specification Fields		Part Material	NdFeB 52 MGOe	Direction	UP	Moving Parts	MOVING
Common Fields																							
Node Name	plunger																						
Specification Fields																							
Part Material	430 Stainless Steel																						
Moving Parts	MOVING																						
Common Fields																							
Node Name	magnet																						
Specification Fields																							
Part Material	NdFeB 52 MGOe																						
Direction	UP																						
Moving Parts	MOVING																						

그림 3.1.2 연자성체와 영구자석

- ✓ Part Material : 연자성체나 영구자석 재질 (사용자 재질 가능함)
- ✓ Moving Parts : 고정부와 동작부 선정
- ✓ Direction : 영구자석의 착자 방향 설정 (UP, DOWN, LEFT, RIGHT)

## 나) 가상시험

### ① 자기력 가상시험

자기력 시험은 동작부가 고정된 상태에서 전압을 인가하여 자기력을 검사하는 시험이다. DoSA 도 특정 전압을 입력했을 때의 자기력과 더불어 자속 패턴을 계산하는 가상 자기력 시험이 가능하다

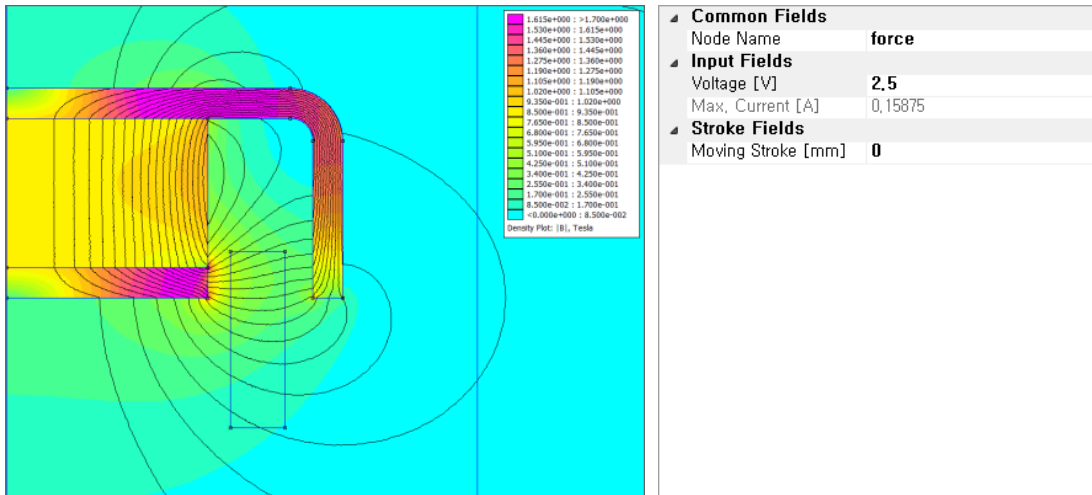
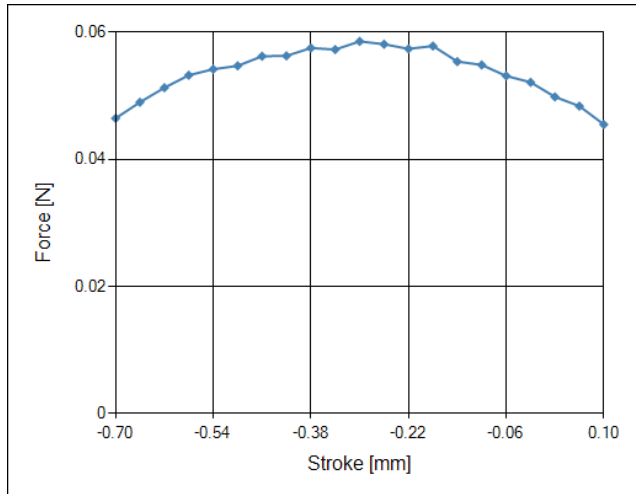


그림 3.2.1 가상 자기력 시험

- ✓ Node Name : 노드 이름
- ✓ Max. Current : 코일 인가 최대 전류 (자동계산 값)
- ✓ Voltage : 코일 인가 전압
- ✓ Moving Stroke : 구동자 위치

### ② 변위 가상시험

변위 시험이란 고정된 전압, 전류 인가조건에서 동작부의 변위를 이동하면서 발생하는 자기력을 검사하는 시험이다. DoSA 도 동작부를 동일한 간격으로 이동시키면서 자기력을 예측하는 가상 변위 시험이 가능하다.



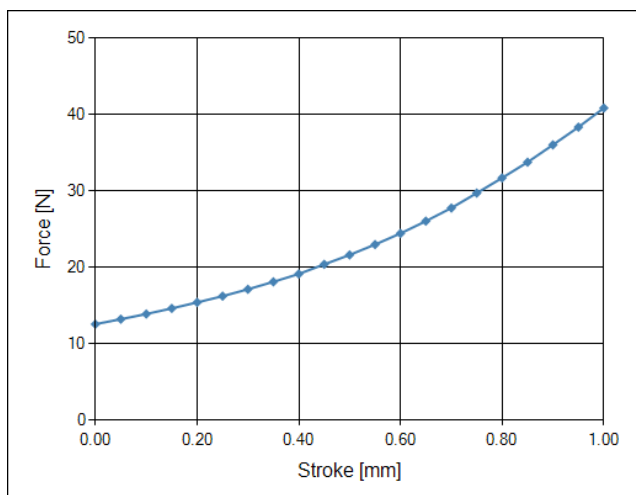
<b>Common Fields</b>	
Node Name	stroke
<b>Input Fields</b>	
Voltage [V]	2.5
Max. Current [A]	0.15875
<b>Stroke Fields</b>	
Initial Stroke [mm]	-0.7
Final Stroke [mm]	0.1
Step Count	20

그림 3.2.2 가상 변위 시험

- ✓ Voltage : 코일 인가 전압
- ✓ Current : 코일 인가 최대 전류 (자동계산 값)
- ✓ Initial Stroke : 변위 구간의 최소 변위
- ✓ Final Stroke : 변위 구간의 최대 변위
- ✓ Step Count : 변위 구간의 등분 수

### ③ 전류 가상시험

전류 시험이란 고정된 인가조건에서 동작부의 전류를 이동하면서 발생하는 자기력을 검사하는 시험이다. DoSA 도 동작부를 동일한 간격으로 이동시키면서 자기력을 예측하는 가상 전류 시험이 가능하다.



<b>Common Fields</b>	
Node Name	stroke
<b>Input Fields</b>	
Voltage [V]	14.5
Max. Current [A]	0.95335
<b>Stroke Fields</b>	
Initial Stroke [mm]	0
Final Stroke [mm]	1
Step Count	20

그림 3.2.3 가상 전류 시험

- ✓ Initial Current : 전류 구간의 최소 전류

- ✓ Final Stroke : 전류 구간의 최대 전류
- ✓ Step Count : 전류 구간의 등분 수
- ✓ Moving Stroke : 구동자 이동 위치

#### 4. 액추에이터별 따라하기

##### 가) 리니어 진동모터 (VCM 방식, 축대칭 2 차원 해석)

###### ① 모델 설명

VCM 액추에이터의 작업 예제로 그림 4.1.1 과 같은 단면 형상의 Linear Vibrator 를 사용한다. 축대칭 2 차원 해석의 형상 작업은 축을 기준으로 단면도의 우측 형상만 작업을 해야 한다.

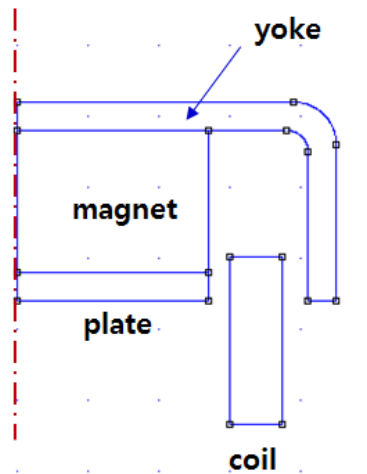


그림 4.1.1 Linear Vibrator 단면도

예제 리니어 진동모터의 사양은 다음과 같다.

- ✓ 권선 사양
  - Coil Turns : 126 turns
  - Coil Resistance : 15.75 Ohm
- ✓ 영구자석
  - Material : NdFeB 52
  - 착자 방향 : 90 (UP)
- ✓ 전원 파형
  - Voltage : 2.5 V

###### ② Design 생성

- ✓ Toolbar 의 New 버튼을 클릭한다.





- ✓ 그림 4.1.2 와 같이 Design name 을 "LV" 로 지정 한다.

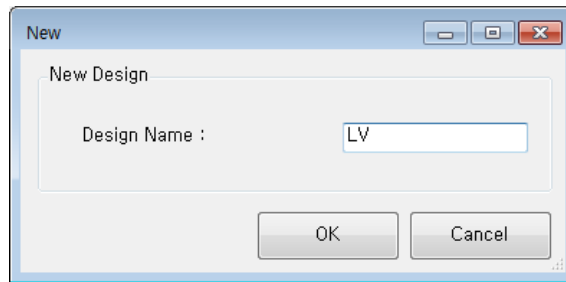


그림 4.1.2 Design 생성 창

### ③ 코일 추가



- ✓ Toolbar 의 코일버튼을 클릭한다.
- ✓ 그림 4.1.3 의 생성 창에서 Coil Name 을 "coil"로 지정하고, Coil 형상 입력을 한다.
  - 코일 위치 : Base\_X = 1.5, Base\_Y = -0.67
  - 좌하 점 : X = 0, Y = 0 (상대 좌표)
  - 우상 점 : X = 0.365, Y = 1.18 (상대 좌표)
- ✓ Fit All 버튼으로 화면 조정하고, 형상 확인은 FEMM 창을 통해 확인한다

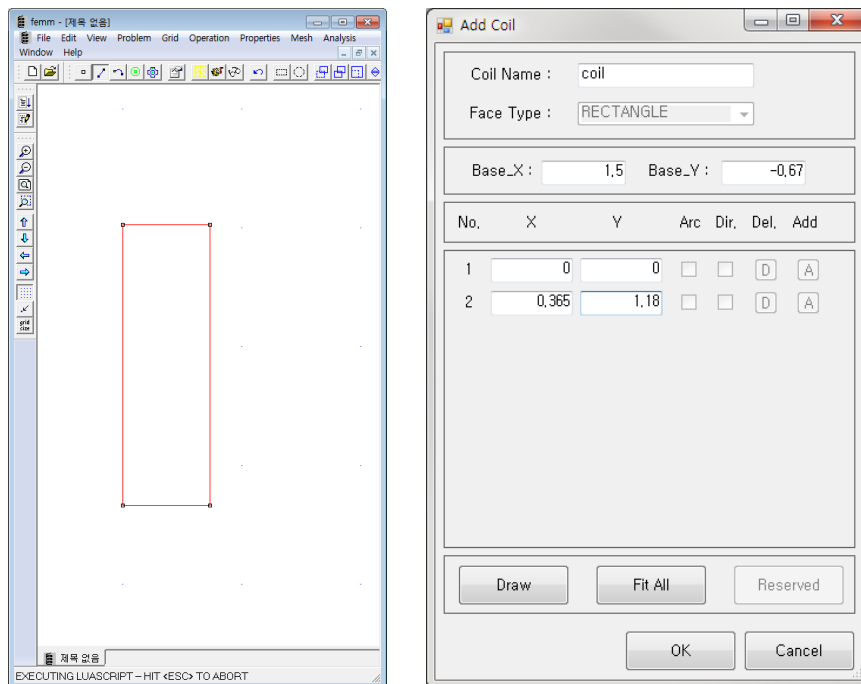


그림 4.1.3 Coil 생성

- ✓ Property View 에서 그림 4.1.4 와 같이 코일사양 계산을 위한 아래의 코일 설계치를 입력한다.  
여기서 Coil Turns 와 Coil Resistance 는 계산되는 값이기 때문에 입력하지 않는다.

- Part Material : Copper 선택
- Current Direction : IN 선택 (안쪽 방향)
- Moving Parts : FIXED 선택 (고정 부품)
- Coil Wire Grade : Bonded\_IEC\_Grade\_1B 선택
- Copper Diameter : 0.045 mm 입력
- Horizontal Coefficient : 0.95 입력
- Vertical Coefficient : 1.13 입력
- Resistance Coefficient : 1.1 입력

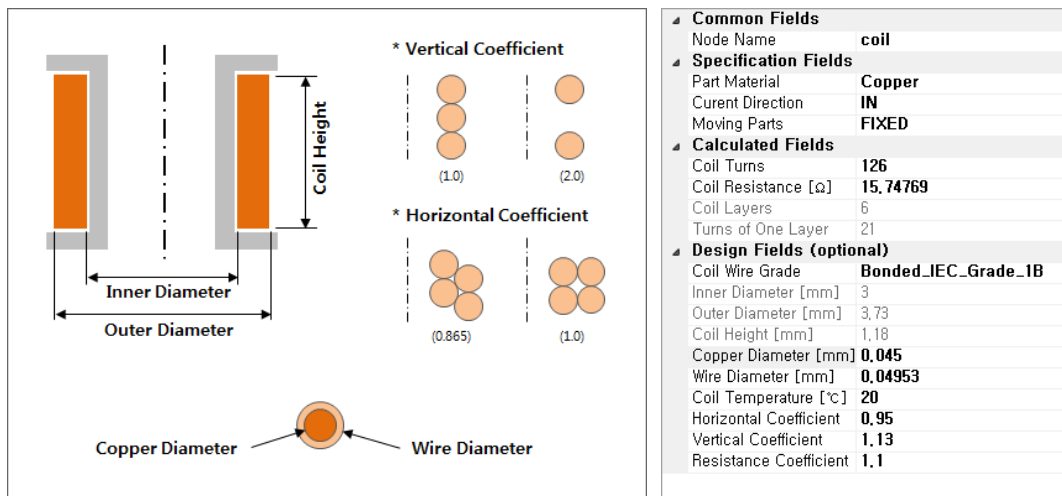



그림 4.1.4 코일 설계치 명칭 및 코일 사양 값

- ✓ 설계치 입력 후에 Information Window 의 Design Coil 버튼을 클릭하면 그림 4.1.4 우측 그림과 같이 코일 사양 값이 계산된다.

#### ④ 영구자석 추가

- ✓ Toolbar 의 Magnet 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.1.5 의 생성 창에서 Magnet Name 을 "magnet"로 지정하고, Magnet 형상 입력을 한다.
  - 자석 위치 : Base\_X = 0, Base\_Y = 0.4
  - 좌하 점 : X = 0, Y = 0 (상대 좌표)
  - 우상 점 : X = 1.35, Y = 1 (상대 좌표)
- ✓ Fit All 버튼으로 화면 조정하고, 형상 확인은 FEMM 창을 통해 확인한다.

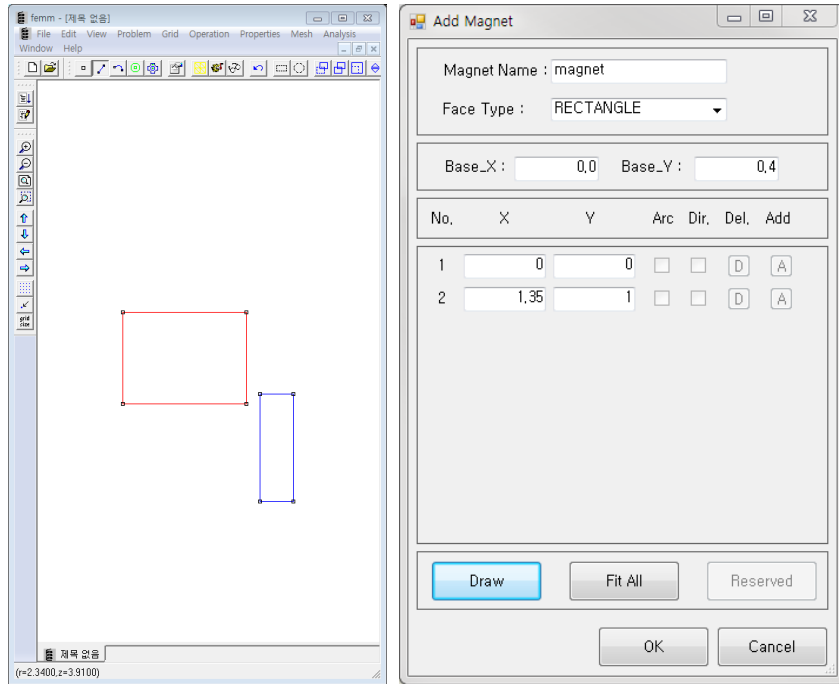


그림 4.1.5 영구자석 생성

✓ Property View 에서 영구자석 사양을 그림 4.1.7 와 같이 입력한다.

- Part Material : NdFeB 52 MGOe 선택
- Direction : UP
- Moving Parts : Moving 선택 (동작 부품)

여기서, 영구자석은 동작하는 부품임으로 그림 4.1.6 과 같이 MOVING 으로 선택해야 한다

Common Fields	
Node Name	magnet
Specification Fields	
Part Material	NdFeB 52 MGOe
Direction	UP
Moving Parts	MOVING

그림 4.1.6 영구자석 속성 값

#### ⑤ 연자성체 추가



- ✓ Toolbar 의 Steel 버튼을 클릭한다.
- ✓ 그림 4.1.7 의 생성 창에서 Steel Name 을 "plate"로 지정하고, Steel 형상 입력을 한다.

- Steel 위치 : Base\_X = 0, Base\_Y = 0.2
- 좌하 점 : X = 0, Y = 0 (상대 좌표)
- 우상 점 : X = 1.35, Y = 0.2 (상대 좌표)
- ✓ Fit All 버튼으로 화면 조정하고, 형상 확인은 FEMM 창을 통해 확인한다.

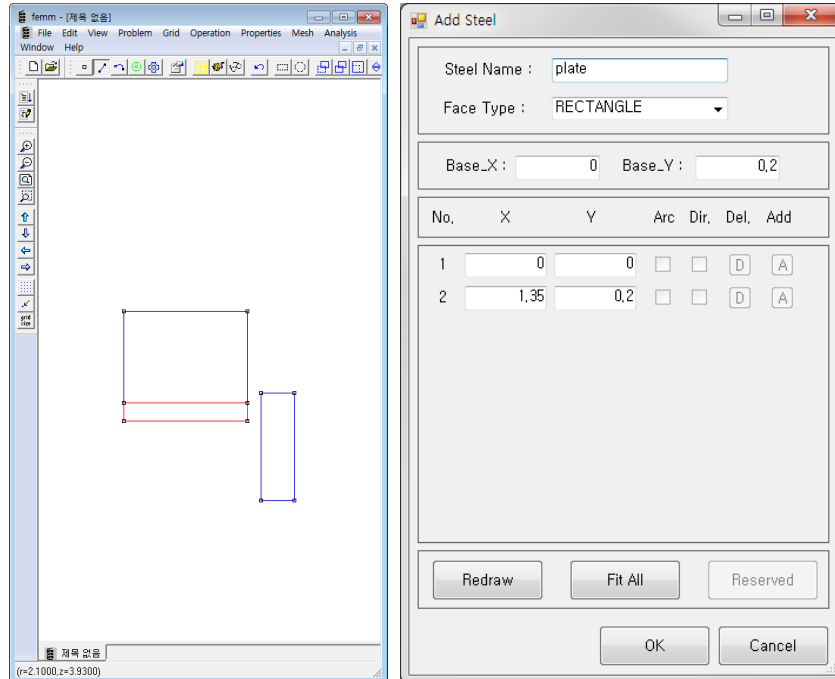



그림 4.1.7 연자성체 (plate) 생성

- ✓ Toolbar 의 Steel 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.1.8 의 생성 창에서 Steel Name 을 "yoke"로 지정하고, Steel 형상 입력을 한다.
  - Yoke 위치 : Base\_X 0, Base\_Y 0.2
  - 1 점 : X 0, Y 1.4
  - 2 점 : X 0, Y 1.2
  - 3 점 : X 1.9, Y 1.2 (Arc, Dir 체크)
  - 4 점 : X 2.05, Y 1.05
  - 5 점 : X 2.05, Y 0
  - 6 점 : X 2.25, Y 0
  - 7 점 : X 2.25, Y 1.05 (Arc 체크)
  - 8 점 : X 1.9, Y 1.4
- ✓ Fit All 버튼으로 화면 조정하고, 형상 확인은 FEMM 창을 통해 확인한다.

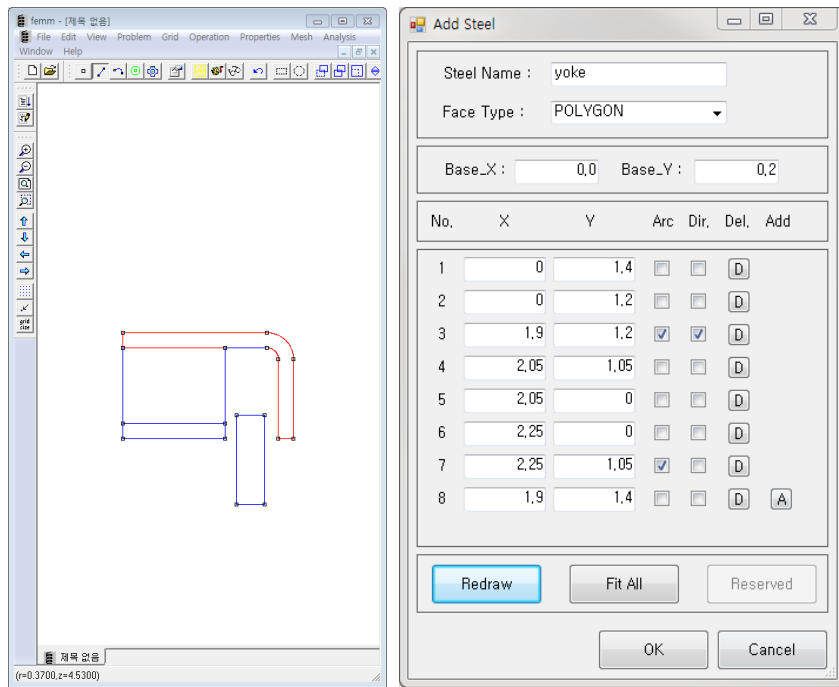


그림 4.1.8 연자성체 (yoke) 생성

- ✓ Property View 에서 코일사양을 그림 4.1.9 과 같이 입력한다.

- Part Material : 430 Stainless Steel 선택
- Moving Parts : Moving 선택 (동작 부품)

여기서, 연자성체 plate 와 yoke 는 동작하는 부품임으로 그림 4.1.9 과 같이 Moving Parts 를 MOVING 로 선택해야 한다.



그림 4.1.9 연자성체 속성 값

## ⑥ 자기력 가상시험

- ✓ Toolbar 의 Force 버튼을 클릭한다.



- ✓ 그림 4.1.10 의 자기력 가상시험의 명칭을 입력한다.

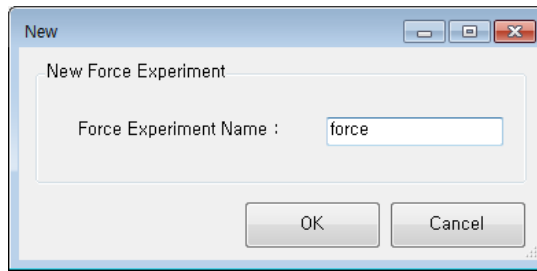


그림 4.1.10 자기력 가상시험 명칭 입력

- ✓ Property View 에서 입력 전압을 그림 4.1.11 과 같이 입력한다.

<b>Common Fields</b>	
Node Name	<b>force</b>
<b>Input Fields</b>	
Voltage [V]	<b>2.5</b>
Max. Current [A]	0,15875
<b>Stroke Fields</b>	
Moving Stroke [mm]	<b>0</b>

그림 4.1.11 자기력 가상시험 조건

- ✓ Information Window 의 Force Test 버튼을 클릭하면 그림 4.1.12 과 같이 0.051N 의 자기력이 계산된다.

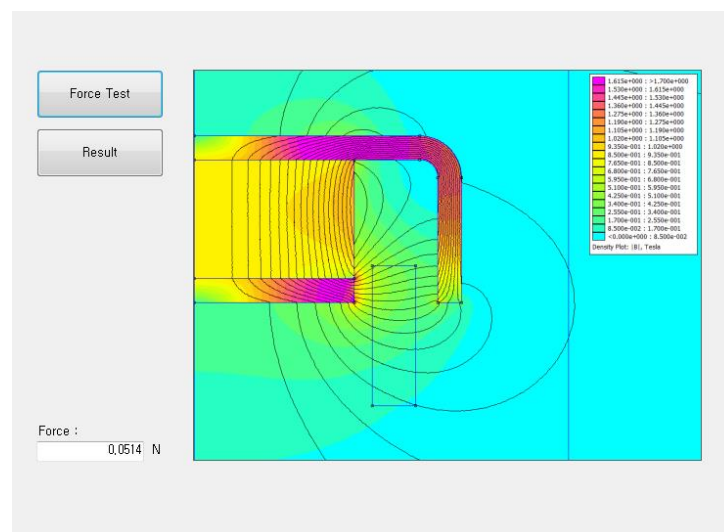



그림 4.1.12 자기력 해석

⑦ 변위-자기력 가상시험

- ✓ Toolbar 의 Stroke 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.1.13 의 변위-자기력 가상시험의 명칭을 입력한다.

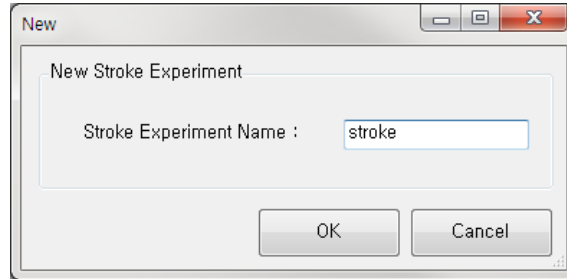


그림 4.1.13 변위-자기력 가상시험 명칭 입력

- ✓ Property View 에서 변위 시험 조건을 그림 4.1.14 와 같이 입력한다.

<b>Common Fields</b>	
Node Name	stroke
<b>Input Fields</b>	
Voltage [V]	2,5
Max. Current [A]	0,15875
<b>Stroke Fields</b>	
Initial Stroke [mm]	-0,7
Final Stroke [mm]	0,1
Step Count	20

그림 4.1.14 변위 가상시험 조건

- ✓ Information Window 의 Stroke Test 버튼을 클릭하면 변위 별 자기력이 해석되고, 변위 별 자기력을 그림 4.1.15 와 같이 Information Window 에서 볼 수 있다.

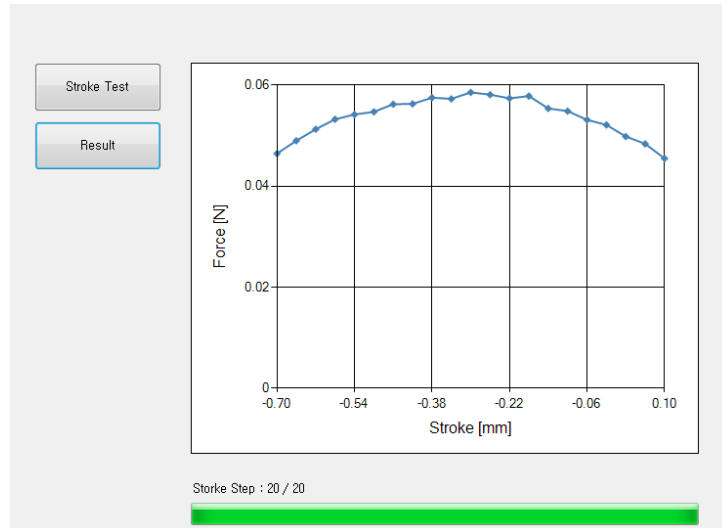


그림 4.1.15 변위-자기력 가상시험 결과

⑧ 전류-자기력 가상시험

✓ Toolbar 의 Current 버튼을 클릭한다.



✓ 그림 4.1.16 의 전류-자기력 가상시험의 명칭을 입력한다.

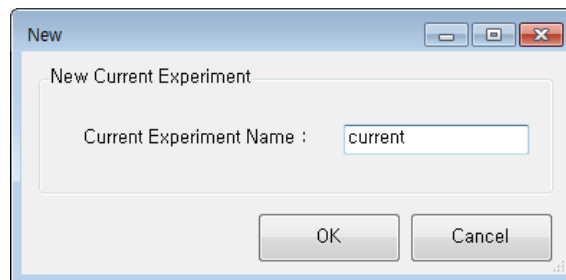


그림 4.1.16 전류-자기력 가상시험 명칭 입력

✓ Property View 에서 전류-자기력 시험 조건을 그림 4.1.17 와 같이 입력한다.

Common Fields	
Node Name	current
Current Fields	
Initial Current [A]	0
Final Current [A]	0.1
Step Count	20
Stroke Fields	
Moving Stroke [mm]	0

그림 4.1.17 전류-자기력 가상시험 설정



- ✓ Information Window 의 Current Test 버튼을 클릭하면 전류 별 자기력이 해석되고, 전류 별 자기력을 그림 4.1.18 와 같이 Information Window 에서 볼 수 있다.

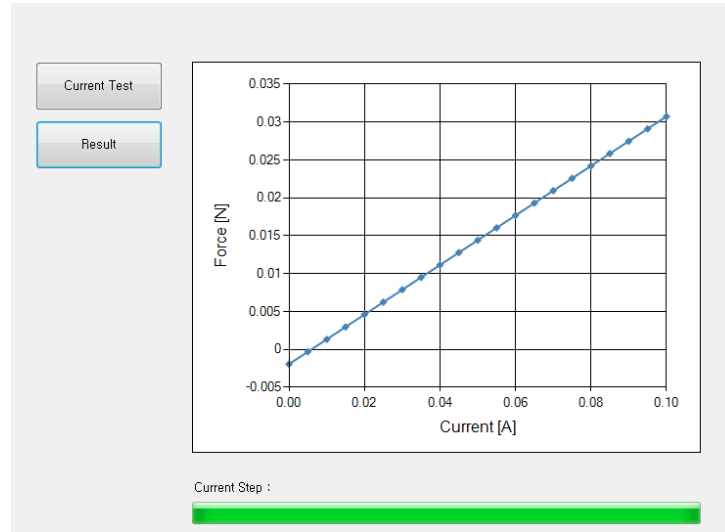


그림 4.1.18 전류-자기력 가상시험 결과

## 나) On/Off 솔레노이드

### ① 모델 설명

솔레노이드 액추에이터의 작업 예제로 그림 4.2.1 과 같은 단면 형상의 On/Off 솔레노이드를 사용한다.

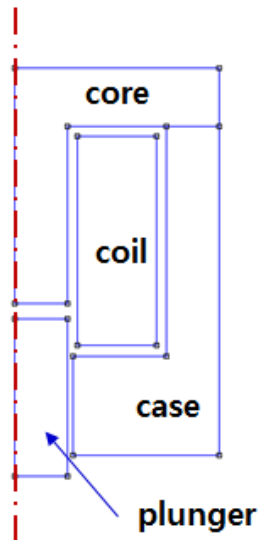


그림 4.2.1 On/Off 솔레노이드 단면도

예제 솔레노이드의 사양은 다음과 같다.

- ✓ 권선 사양
  - Coil Turns : 1040 turns
  - Coil Resistance : 15.2 Ohm
- ✓ 전원 파형
  - Voltage : 14.5 V

## ② Design 생성

- ✓ Toolbar 의 New 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.2.2 와 같이 New Design 의 Design name 을 "Solenoid" 로 지정 한다.

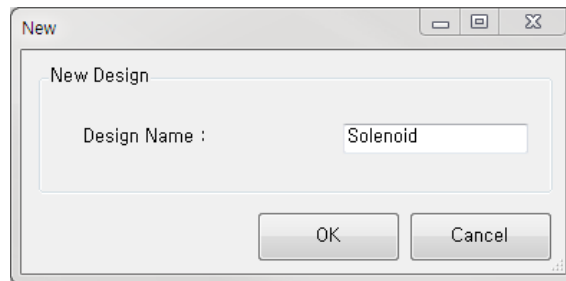



그림 4.2.2 Design 생성 창

## ③ 코일 추가

- ✓ Toolbar 의 코일버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.2.3 의 생성 창에서 Coil Name 을 "coil"로 지정하고, Coil 형상 입력을 한다.
  - 자석 위치 : Base\_X = 0, Base\_Y = 0.4
  - 좌하 점 : X = 0, Y = 0 (상대 좌표)
  - 우상 점 : X = 1.35, Y = 1 (상대 좌표)
- ✓ Fit All 버튼으로 화면 조정하고, 형상 확인은 FEMM 창을 통해 확인한다

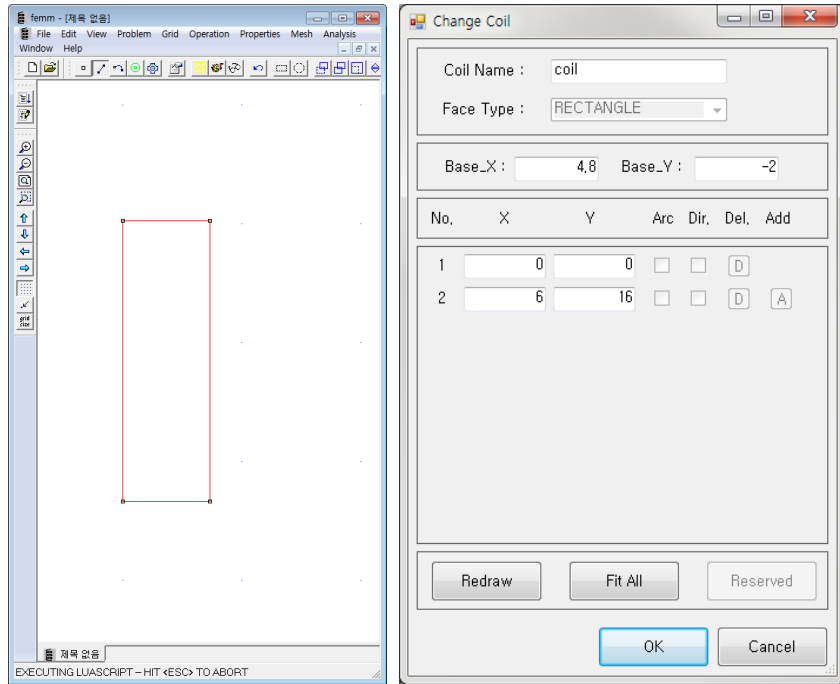
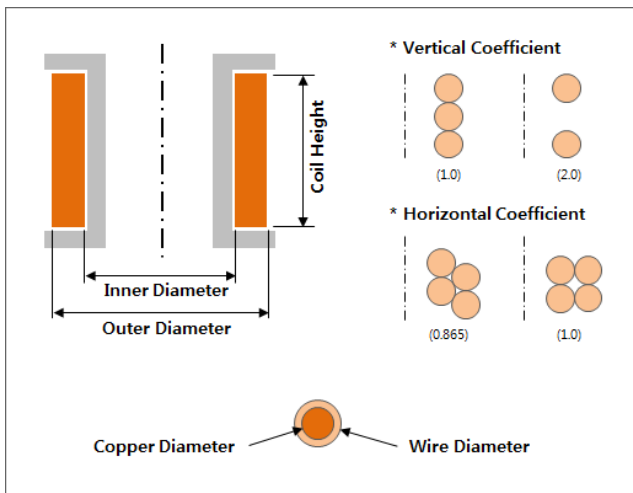


그림 4.2.3 Coil 생성

- ✓ Property View 에서 그림 4.2.4 와 같이 코일사양 계산을 위한 아래의 코일 설계치를 입력한다.  
여기서 Coil Turns 와 Coil Resistance 는 계산되는 값이기 때문에 입력하지 않는다.

- Part Material : Copper 선택
- Current Direction : IN 선택 (안쪽 방향)
- Moving Parts : FIXED 선택 (고정 부품)
- Coil Wire Grade : Enameled\_IEC\_Grade\_2 선택
- Copper Diameter : 0.27 mm 입력




Common Fields	
Node Name	coil
Specification Fields	
Part Material	Copper
Current Direction	IN
Moving Parts	FIXED
Calculated Fields	
Coil Turns	1040
Coil Resistance [Ω]	15,20945
Coil Layers	20
Turns of One Layer	52
Design Fields (optional)	
Coil Wire Grade	Enameled_IEC_Grade_2
Inner Diameter [mm]	9.6
Outer Diameter [mm]	21.6
Coil Height [mm]	16
Copper Diameter [mm]	0.27
Wire Diameter [mm]	0.31072
Coil Temperature [°C]	20
Horizontal Coefficient	0.9
Vertical Coefficient	0.98
Resistance Coefficient	1

그림 4.2.4 코일 기구 설계치 입력

- ✓ 설계치 입력 후에 Information Window 의 Design Coil 버튼을 클릭하면 그림 4.2.4 우측 그림과 같이 코일 사양 값이 계산된다.

#### ④ 연자성체 추가

- ✓ Toolbar 의 Steel 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.2.5 의 생성 창에서 Steel Name 을 "plunger"로 지정하고, Steel 형상 입력을 한다.
  - Plunger 위치 : Base\_X 0, Base\_Y -12
  - 좌하 점 : X 0, Y 0 (상대 좌표)
  - 우상 점 : X 4, Y 12 (상대 좌표)

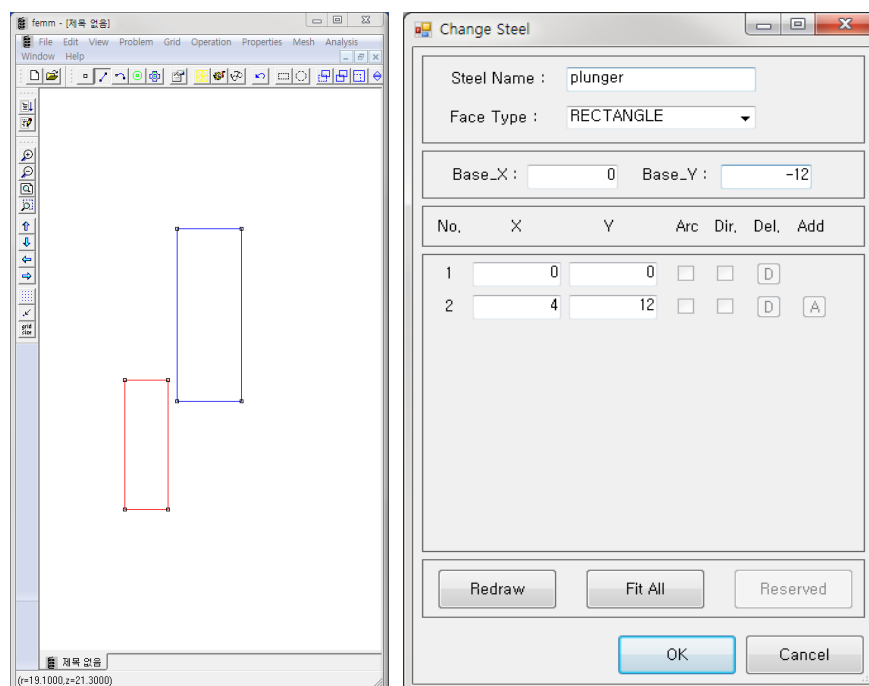


그림 4.2.5 Plunger 생성

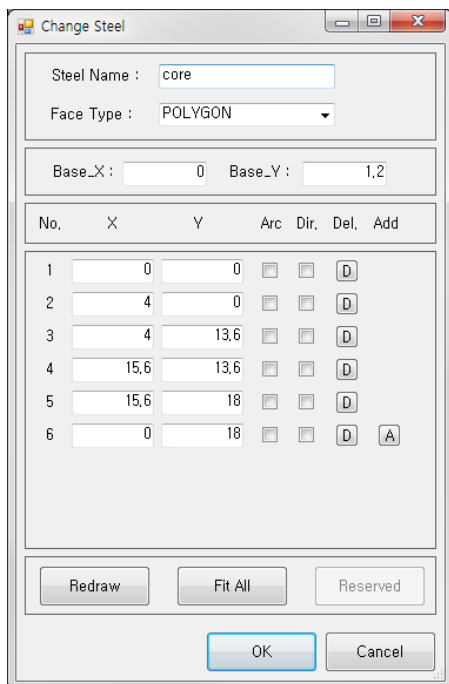
- ✓ Property View 에서 연자성체 plunger 사양을 그림 4.2.6 와 같이 입력한다.
  - Part Material : 430 Stainless Steel 선택
  - Moving Parts : Moving 선택 (동작 부품)

여기서, plunger 는 동작 부품임으로 그림 4.2.6 과 같이 Moving Parts 를 MOVING 으로 선택해야 한다

<b>Common Fields</b>	
Node Name	plunger
<b>Specification Fields</b>	
Part Material	430 Stainless Steel
Moving Parts	MOVING

그림 4.2.6 연자성체(Plunger) 속성 값

- ✓ 상기 작업을 반복해서 나머지 연자성체인 Case 와 Core 도 추가한다.  
단, Case 와 Core 는 고정 부품임으로 Moving Parts 를 FIXED 로 선택해야 한다.



**Change Steel**

Steel Name : core

Face Type : POLYGON

Base\_X : 0 Base\_Y : 1,2

No.	X	Y	Arc	Dir.	Del.	Add
1	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D
2	4	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D
3	4	13,6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D
4	15,6	13,6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D
5	15,6	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D
6	0	18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D A

Redraw Fit All Reserved

OK Cancel

<b>Common Fields</b>	
Node Name	core
<b>Specification Fields</b>	
Part Material	430 Stainless Steel
Moving Parts	FIXED

그림 4.2.7 연자성체(Core) 생성

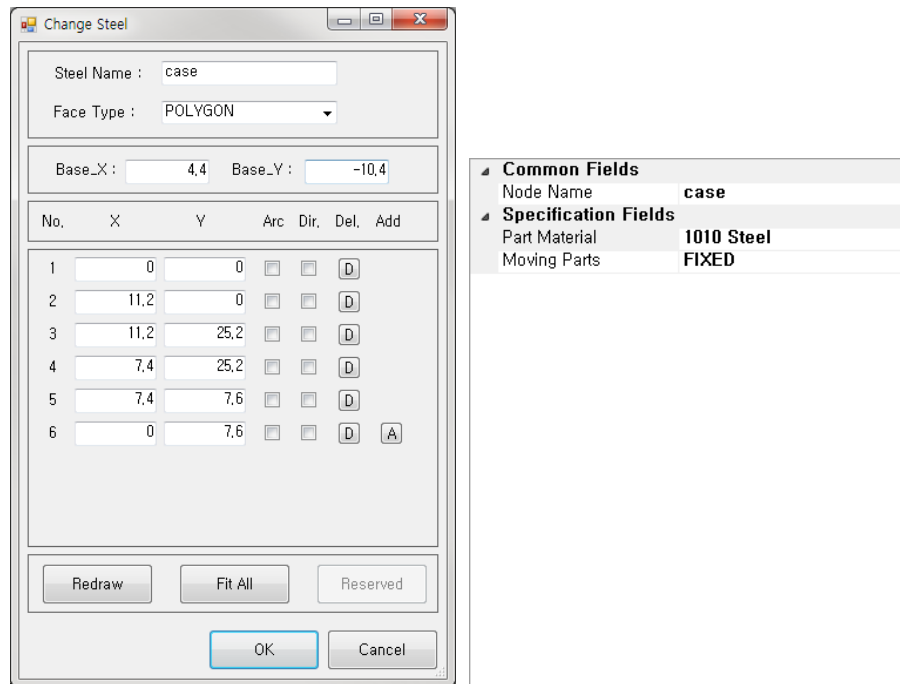



그림 4.2.8 연자성체 (case) 생성

#### ⑤ 자기력 가상시험

- ✓ Toolbar 의 Force 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.2.9 의 자기력 가상시험의 명칭을 입력한다.

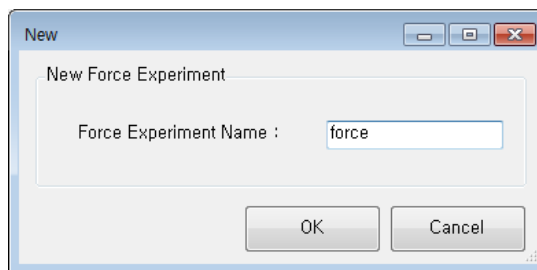


그림 4.2.9 자기력 가상시험 명칭 입력

- ✓ Property View 에서 입력 전압을 그림 4.2.10 와 같이 입력한다.

Common Fields	
Node Name	force
Input Fields	
Voltage [V]	14.5
Max. Current [A]	0.95335
Stroke Fields	
Moving Stroke [mm]	0

그림 4.2.10 자기력 가상시험 인가 전원

- ✓ Information Window 의 Force Test 버튼을 클릭하면 그림 4.2.11 와 같이 자기력이 해석된다.

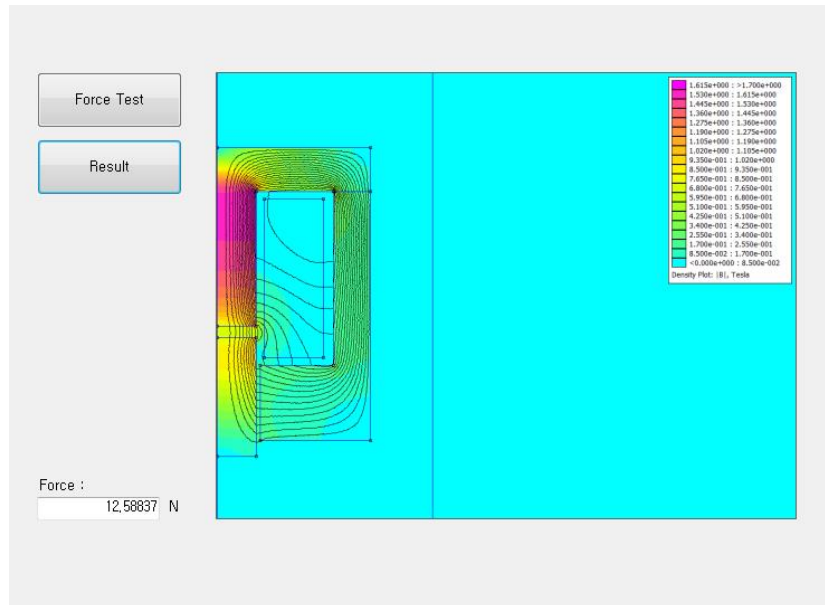



그림 4.2.11 자기력 해석

## ⑥ 변위-자기력 가상시험

- ✓ Toolbar 의 Stroke 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.2.12 의 자기력 가상시험의 명칭을 입력한다.

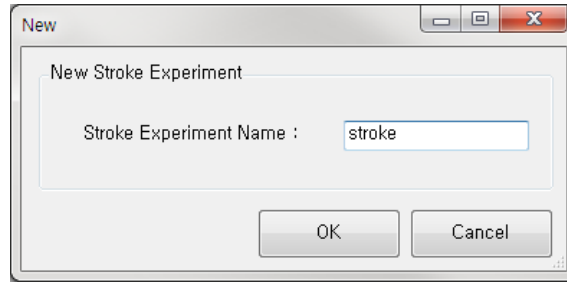


그림 4.2.12 변위-자기력 가상시험 명칭 입력

- ✓ Property View 에서 변위 시험 조건을 그림 4.2.13 과 같이 입력한다.

<b>Common Fields</b>	
Node Name	<b>stroke</b>
<b>Input Fields</b>	
Voltage [V]	<b>14.5</b>
Max. Current [A]	0.95335
<b>Stroke Fields</b>	
Initial Stroke [mm]	<b>0</b>
Final Stroke [mm]	<b>1</b>
Step Count	<b>20</b>

그림 4.2.13 변위-자기력 가상시험 조건

- ✓ Information Window 의 Stroke Test 버튼을 클릭하면 Maxwell 이 실행되면서 변위 별 자기력이 해석되고, 변위 별 자기력을 그림 4.2.14 와 같이 Information Window 에서 볼 수 있다.



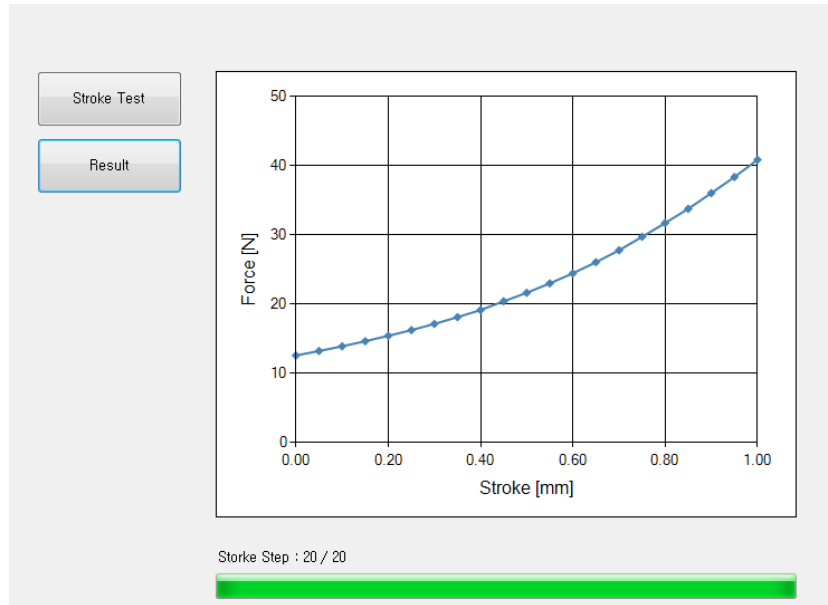



그림 4.2.14 변위-자기력 가상시험 결과

⑦ 전류-자기력 가상시험

- ✓ Toolbar 의 Current 버튼을 클릭한다. 
- ✓ 그림 4.2.15 의 전류-자기력 가상시험의 명칭을 입력한다.

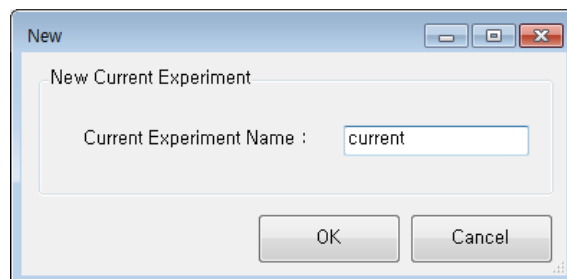


그림 4.2.15 거동 가상시험 명칭 입력

- ✓ Property View 에서 전류-자기력 시험 조건을 그림 4.2.16 과 같이 입력한다.

Common Fields	
Node Name	current
Current Fields	
Initial Current [A]	0
Final Current [A]	1.5
Step Count	20
Stroke Fields	
Moving Stroke [mm]	0

그림 4.2.16 전류-자기력 가상시험 설정

- ✓ Information Window 의 Current Test 버튼을 클릭하면 전류 별 자기력이 해석되고, 전류 별 자기력을 그림 4.2.17 와 같이 Information Window 에서 볼 수 있다.

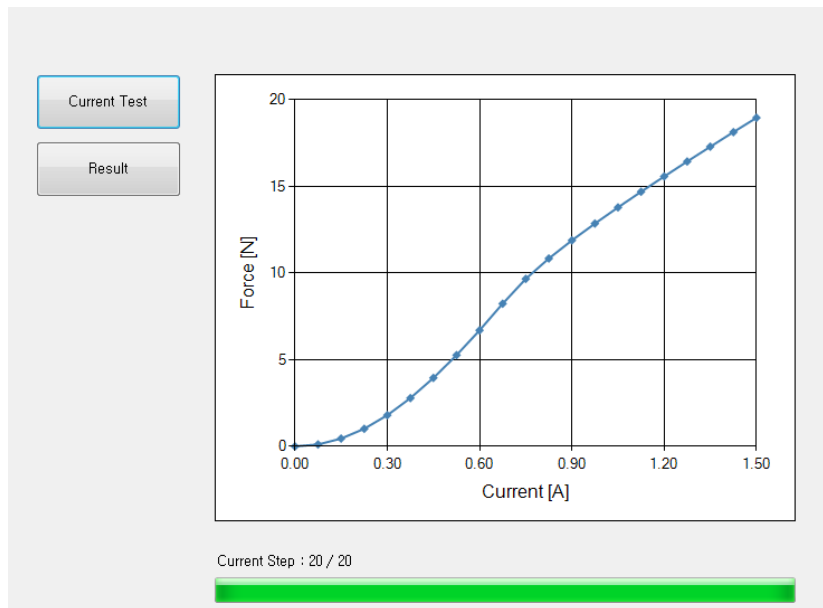


그림 4.2.17 전류-자기력 가상시험 결과