

## ANSYS를 리용한 자기마당속에서 물체의 운동과정에 대한 해석가능성

김정혁, 장경훈

일정한 두께와 길이를 가지는 강철관속에서 빠른 속도로 움직이는 물체의 운동속도를 측정하기 위하여 전자기감응수감부를 많이 리용하고있다.[2, 3]

우리는 ANSYS의 2차원전자기마당해석도구를 리용하여 금속재료로 둘러싼 물체가 전자기감응수감부를 설치한 강철관을 통과할 때 생기는 유도전동력과 자력선뭉침의 변화를 모의분석하였다.

### 1. 운동과정의 해석가능성에 대한 이론적기초

전류가 흐르는 선류의 중심축을 따라 금속도체를 운동시킬 때 선류에는 유도전류가 생긴다. 전자기유도법칙으로 평가되는 유도전동력은 선류의 권회수와 선류의 자름면을 지나는 자력선뭉침의 변화속도에 비례한다.

$$U = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

선류의 자름면(XOZ면)에서 전류가 흐르는 회로요소가 만드는 자기유도  $B$ 는 위치에 따라 비오-싸바르법칙으로 평가할수 있다.

$$\Phi = \oint B dS = \sum_{i=1}^n B_i S_i \quad (2)$$

물체가 선류의 중심축을 따라 빠른 속도로 움직인다고 볼 때 자력선뭉침의 변화속도는 다음과 같다.

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{d\Phi}{dy} = v \cdot \frac{d\Phi}{dy} \quad (3)$$

여기서  $v$ 는 물체의 운동속도,  $y$ 는 물체의 운동방향에서 이동거리,  $d\Phi/dy$ 는 운동방향에서 자력선뭉침의 변화속도이다.

선류에 생겨나는 유도전동력의 크기는 선류의 권회수와 물체의 운동속도, 자력선뭉침의 변화속도에 비례한다.

$$U = -N \cdot v \cdot \frac{d\Phi}{dy} \quad (4)$$

따라서 운동경로에 따르는 자력선뭉침의 변화속도를 결정하고 신호전압을 측정한다면 물체의 운동속도를 평가할수 있다.

이때 물체의 운동속도는 운동과정에 일정하다고 본다.

현실적으로 운동속도를 평가하려고 하는 대상에서 물체가 강철관을 통과하는 시간은 수ms이하로서 매우 짧다. 또한 전자기감응수감부의 설치위치를 합리적으로 설정하면 운동경로를 줄일수 있으며 이로부터 운동시간을 감소시킬수 있다. 이것은 모의계산에서 물체의 운동속도를 어떤 순간속도로 넘길수 있으며 일정하다고 볼수 있는 가능성을 준다.

만일 물체의 모양에 따라 운동특성을 평가할수 있는 2개의 기본봉우리가 생겨나는 위치들을 각각  $L_1$ ,  $L_2$  라고 하고 두 봉우리가 생겨나는 시간들을 각각  $t_1$ ,  $t_2$  라고 하면 물체의 운동속도는 다음과 같다.

$$v = \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta L}{\Delta t} \quad (5)$$

그러므로 모의계산에서 얻어야 할 기본특성값은 신호의 절대크기인것이 아니라 2개의 기본봉우리들이 생겨나는 위치와 시간간격이다.

문에서는 물체의 운동과정을 복잡한 과도적과정이 아니라 상대적으로 간단한 정적과정으로 반영하여 강철관과 물체에서 자기마당분포를 계산하고 전자기감응수감부에서 생겨나는 신호를 모의분석하였다.

## 2. 자기회로구성 및 계산조건설정

강철관속에서 운동하는 물체는 상대적으로 높은 투자률을 가지는 금속재료(Fe)로 둘러싸인 비교적 복잡한 모양을 가지고있다.(그림 1)

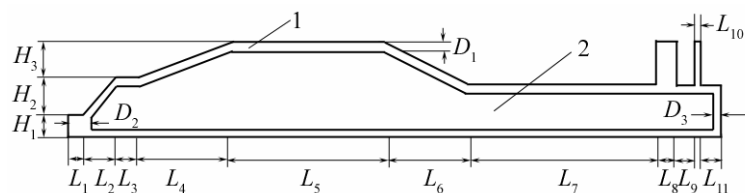


그림 1. 물체의 기하학적구조  
1-Fe, 2-유기물질

물체안에는 투자률이 매우 작은(1에 가깝다.) 물질이 차있다.

일정한 두께와 길이를 가지는 강철관과 전자기감응수감부, 물체로 구성된 자기회로는 그림 2와 같다.

구성된 자기회로는 축대칭구조로서 Y축방향과 동경방향으로는 전류가 흐르지 않고 XOZ면우에서 강철관의 주위로만 전류가 흐르므로 문제를 2차원적으로 취급할수 있으며 대칭성으로부터 1/2만을 모의하였다.

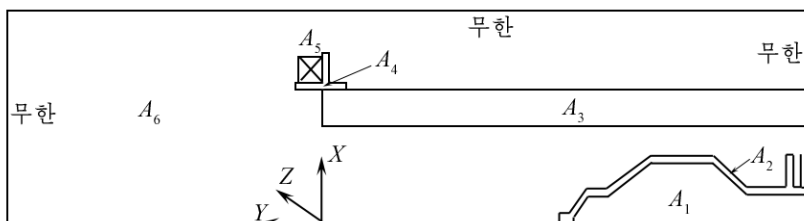


그림 2. 구성된 자기회로

그림 2에서  $A_1 \sim A_6$ 은 자기회로를 구성하는데 필요한 구역들이다.

$A_5$ 는 정자기마당을 발생시키는 선류으로서 선행연구결과[1]로부터 필요한 자기마당세기를 보장하기 위하여 강철관의 앞에 설치하였다.

요소형은 마디점 8개와 자유도 4를 가지는 PLANE53으로, 요소의 자유도는 Z방향의 자기벡터포텐셜  $A_2$ 로, 요소의 속성은 AXISYMETRIC로 설정하였다.

재료속성으로는 강철판과 물체의 외피재료(Fe)의 상대투자률을 다같이 500으로, 공기층구역과 선료(Cu)구역, 지지틀(불수강)구역의 상대투자률은 1로 설정하였다. 부하로는 선료으로 흐르는 전류밀도(2차원자기마당해석에서는 Z방향의 전류밀도성분만이 유효하다.)를 주었다.

경계조건으로는 자기마당방향이 강철판의 Y축방향으로 향하는것을 고려하여  $x=0$ 인 요소마디점들에서의 자기벡토프로텐셜값을 0으로 설정하였다. 또한 공기층과 강철판의 끝부분은 무한경계로 처리하였다.

요소분할밀도는 계산의 수렴성을 고려하여 SMRTSIZE=1로 설정하였다.

물체의 운동과정을 반영하기 위하여 배열변수들을 선언하고 APDL명령을 리용하여 운동과정에 따라 이미 계산되었던 구역에 대한 분할자료는 없애고 다시 새로운 구역을 창조하였다. 걸음간격은 10mm로 설정하였다.

### 3. 계산결과 및 해석

물체의 운동과정에 강철판에 설치한 전자기감응수감부에서 나타나는 유도전동력과 자력선뭉침에 대한 ANSYS계산결과는 그림 3과 같다.

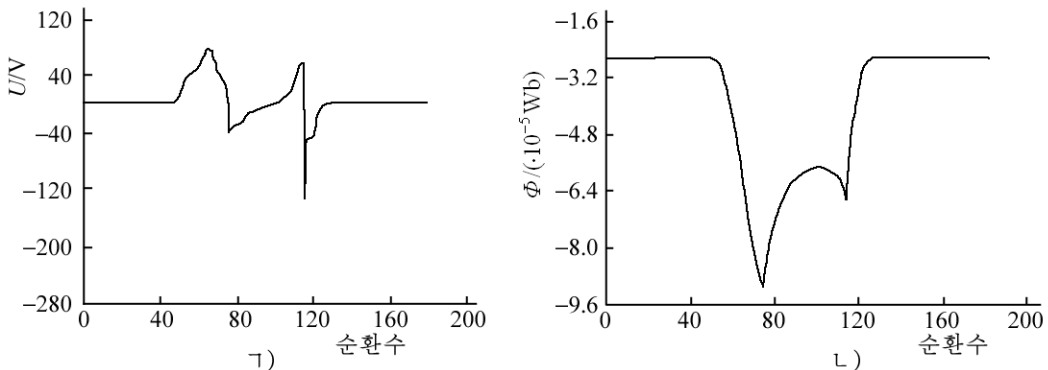


그림 3. 유도전동력( $\tau$ )과 자력선뭉침( $\mathcal{L}$ )에 대한 ANSYS계산결과

그림 3에서 보는바와 같이 물체가 전자기감응수감부를 통과할 때 유도전동력과 자력선뭉침은 변화되고 나머지구간에서는 일정하다. 또한 물체의 기하학적구조와 운동속도를 변화시키는데 따라 유도전동력과 자력선뭉침은 변한다. 그러므로 물체의 구조적위치와 봉우리위치를 대치시켜 운동특성을 평가하는데 리용할수 있다.

물체의 운동속도에 따르는 유도전동력의 변화는 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는바와 같이 물체의 운동속도가 커짐에 따라 유도전동력봉우리들의 크기는 점차 커지지만 거의 차이나지 않는다. 차이는 상대적으로 3%이하이다.

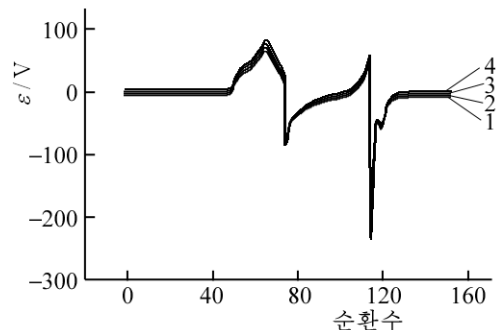


그림 4. 물체의 운동속도에 따르는 유도전동력변화

1-4는 물체의 운동속도가 각각 320, 330, 340, 350m/s인 경우

자력선뭉음값은 물체의 운동속도를 변화시켜도 거의 달라지지 않으며 기본《골짜기》값들은 언제나 일정하다. 즉 기본봉우리들이 나타나는 순환수는 달라지지 않으며 봉우리의 위치는 물체의 앞에서부터 138, 628mm인 곳이다.

이것은 물체의 운동과정에 전자기감응수감부에서 얻어지는 유도전동력과 자력선뭉음은 물체의 기하학적구조에 관계되며 물체의 운동속도가 변하여도 봉우리위치는 달라지지 않는다는것을 보여준다.

전자기감응수감부가 설치된 강철관을 따라 물체가 부등속직선운동할 때 오실로그래프(《UTD2202CE》)로 측정된 유도전동력과 물체가 등속직선운동(350m/s)한다고 가정할 때 ANSYS로 계산한 유도전동력은 그림 5와 같다.

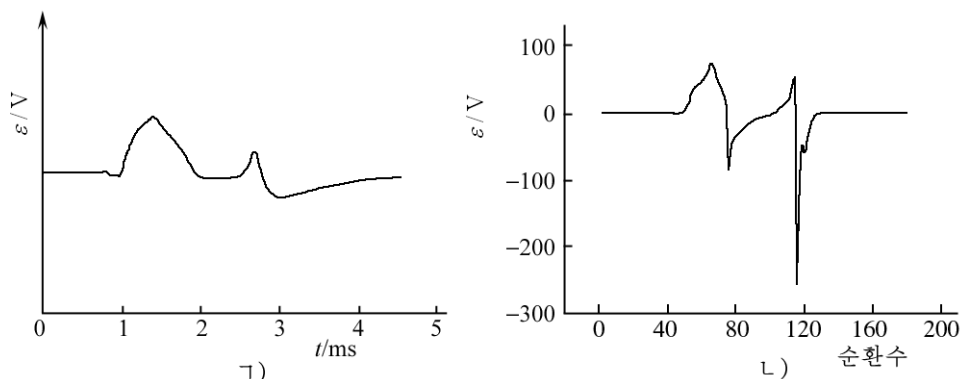


그림 5. 오실로그래프로 측정된 유도전동력(Γ))과 ANSYS로 계산한 유도전동력(L))

그림 5에서 보는바와 같이 두 신호들은 다같이 2개의 명백한 봉우리들을 가지고있으며 첫 봉우리의 크기는 두번째 봉우리보다 더 크고 반대로 두번째 《골짜기》는 첫번째 《골짜기》보다 더 깊다.

오실로그래프에서 얻어진 봉우리위치들을 환산하면 각각 140, 595mm로서 모의계산으로 얻어진 봉우리위치와 약간 차이난다. 측정된 두 봉우리사이시간간격은 1.3ms이며 모의계산에서는 1.399ms로서 상대오차는 7.1%이다.

또한 측정된 봉우리반폭들은 첫 봉우리는 0.5ms이상, 두번째 봉우리는 0.1ms이하이고 모의계산에서는 각각 0.428, 0.085 7ms로서 상대오차는 14.4%이상이다. 이것은 물체의 운동속도가 예상된 350m/s보다 더 빠르다는것을 보여준다.

만일 모의계산에서 정확한 재료정수(B-H곡선)들과 회리전류의 저항효과를 반영하고 자기회로를 정확히 구성한다면 얼마든지 오차를 줄이고 물체의 운동특성을 평가할수 있다.

## 맺 는 말

ANSYS를 리용하여 전자기감응수감부를 설치한 강철관에서 자기마당분포를 계산하고 자기마당속에서 빠른 속도로 운동하는 물체의 운동과정을 해석한 결과 물체의 운동특성에 따라 유도전동력크기는 변하지만 기본봉우리위치는 달라지지 않으며 물체의 기하학적구조에만 관계된다는것을 알수 있다. 기본봉우리들사이시간간격은 물체의 운동속도가 빨라짐에 따라 짧아진다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 61, 9, 53, 주체104(2015).
- [2] Yang Shu Ping et al.; Journal of Basic Science and Engineering, 10, 2, 103, 2002.
- [3] J. Q. Schmidt; USP 4 228 397, 1980.

주체105(2016)년 2월 5일 원고접수

## **Analytical Possibility for Motion Process of the Body in Magnetic Field using ANSYS**

*Kim Jong Hyok, Jang Kyong Hun*

We calculated the distribution of magnetic field in the steel tube that electromagnetic induction sensor was installed using ANSYS and analyzed motion process of a body moved in rapid velocity in the magnetic field. As a result, the induced electromotive force changes according to the motion velocity of the body, but the place of main peak doesn't change and only relates to geometric structure of the body. The faster the motion velocity of the body is, the shorter the distance between main peaks is.

Key words: magnetic field, ANSYS, induced electromotive force