

자기마당속에서 물체의 운동특성 해석

김정혁, 장명수

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 현실발전의 요구에 맞게 나라의 과학기술을 빨리 발전시켜야 하겠습니다.》

(《김정일선집》 증보판 제11권 134페이지)

ANSYS프로그램의 전자기마당해석기능은 이론적으로 계산하기 힘든 여러가지 복잡한 대상들의 자기마당분포를 정확히 계산할수 있는 강력한 도구로서 열핵융합반응로를 비롯한 첨단설비들의 설계와 제작에 널리 리용되고있다.[3]

선행연구[1, 2]에서는 ANSYS프로그램의 전자기마당해석기능을 리용하여 정자기마당에서 금속물체의 운동속도에 따르는 자기마당변화를 평가하는 방법으로 운동특성을 해석하고 2차원APDL방식으로 전자기감응수감부를 설치한 강철관속에서 빠른 속도로 움직이는 금속물체의 운동과정을 모의하고 대비분석들을 진행하였다.

전자기감응수감부를 설치할 때 금속물체의 운동특성을 반영하는 정확한 신호를 예측하자면 해당 대상의 기하학적모양과 대칭성을 2차원이 아니라 3차원으로 반영하여야 한다. 그러나 대상의 3차원계산은 일반적으로 계산량과 계산시간의 증대로 하여 금속물체의 운동특성에 대한 평가를 신속히 진행할수 없게 한다.

일반적으로 철(Fe)은 공기나 동(Cu), 알루미늄(Al)과 같은 물질들에 비하여 투자률이 상대적으로 매우 큰 강자성재료로서 전자기마당해석에서 금속물체의 철부분품들의 기하학적모양과 대칭성에 따라 신호검출기재에 리용되는 봉우리위치와 봉우리모양이 달라진다.

X-2대상은 여러가지 금속재료들과 유기재료로 이루어진 복합재료의 비대칭3차원구조물이다.

본문에서는 물체의 투자률이 자기마당분포에 미치는 영향에 대한 이론적분석으로부터 대상의 기하학적모양과 대칭성을 반영하여 2차원APDL방식으로 대칭성을 보장할수 없는 부분에 투자률보정을 진행하는 방법을 제기하고 정확성을 검토하였다.

또한 많은 기초실험들로부터 얻어진 결과에 따라 제작가능한 전자기감응수감부의 구조와 형태, 설치방안들에 대한 구체적인 평가를 진행하여 X-2대상에 적용할 수감부를 결정하였다.

1. 자기회로 구성 및 계산조건

X-2대상의 비대칭3차원 꼬리부분에 대한 투자률보정을 진행한 계산결과는 그림 1과 같다.

강철관을 통과하는 금속물체의 앞부분은 3차원대칭이므로 투자률보정을 진행하지 않았으며 3차원비대칭인 꼬리부분에는 투자률보정을 하였다.

3차원비대칭부분의 실제체적과 2차원자기회로에서 평가되는 부분의 체적의 비는 질량비와 같고 결과적으로는 2차원자기회로에서 평가되는 구역의 면적비로 된다. 이것은 부채형도형의 중심각비로 되고 투자률비로 넘어간다.

그림 1의 곡선 3에서 보는것처럼 X-2대상의 해당 부분에 투자률보정을 진행하지 않으면 신호검출에 필요한 두번째 봉우리가 명백히 나타나지 않는다.

그러나 투자률보정을 진행하면 곡선 1과 2에서 보는것처럼 전자기감응수감부의 중심위치를 기준으로 금속물체의 꼬리부위가 통과할 때 명백한 신호봉우리가 나타나며 두 신호봉우리간격은 1.304ms로서 오실로그래프(UTD2202CE, 200MHz, 1GS/s)로 측정한 신호(1.30ms)와 0.3%의 정확도로 일치하였다. 이것은 비대칭3차원대상의 자기마당계산에서 투자률보정을 진행하는 방법으로 2차원대칭계

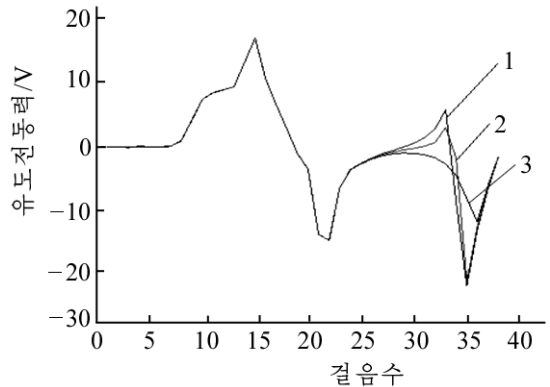


그림 1. 투자률보정에 따르는 전자기감응수감부 신호특성

1, 2는 투자률값이 각각 500/29, 500/11인 경우, 3은 투자률을 보정하지 않은 경우

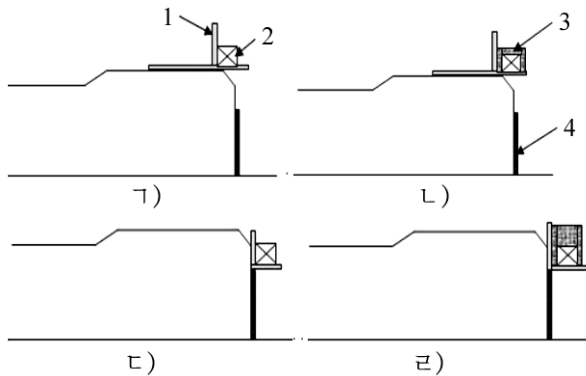


그림 2. 전자기감응수감부의 구조와 형태, 가능한 설치방안들

1-기재설치틀, 2-전자기감응수감부, 3-차폐통(Fe, Al), 4-설치벽(Fe)

산을 진행할수 있다는것을 보여준다.

여러가지 구조와 형태의 전자기감응수감부를 X-2대상에 적용하기 위한 설치방안들은 그림 2와 같다.

자기회로는 3차원비대칭부분에 투자률보정구역(A_1)을 설정하는것으로 하여 축대칭구조로 설계하였다.(그림 3) y 축방향과 동경방향으로는 전류가 흐르지 않고 xoz 면상에서 강철관의 주위로만 전류가 흐르므로 문제를 2차원적으로 취급할수 있으며 대칭성으로부터 1/2만을 고찰하였다.

요소형은 8마디점 4자유도를 가지는 PLANE53, 요소의 자유도는 z 방향의 자

기벡토포텐셜 AZ, 요소의 속성은 AXISYMETRIC로 설정하였다.

투자률보정구역의 상대투자률은 대상의 실제체적과 2차원자기회로에서 평가되는 체적, 대칭성을 고려하여 500/11으로 정하였다.

정자기마당을 발생시키는 유도선류(A_4)은 필요한 자기마당세기를 보장하기 위하여 강철관의 앞에 설치하였다. 강철관에는 B-H 재질특성곡선을 적용하고 물체의 외피재료(Fe)의 상대투자률은 500,

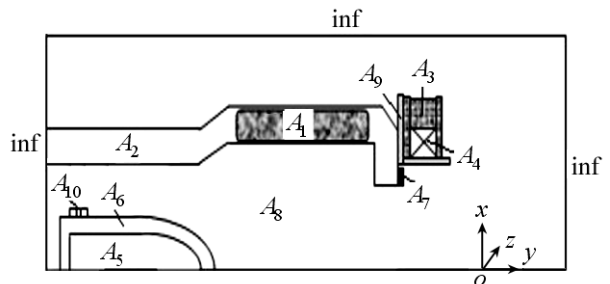


그림 3. 자기회로

공기층구역과 선륜(Cu)구역, 지지틀(불수강)구역의 상대투자율은 1로 설정하였다.

2차원자기마당해석에서는 z 방향(xoy 면의 법선방향)의 전류밀도성분만이 유효하므로 선륜으로 흐르는 전류밀도를 0으로 주었다.

경계조건으로는 자기마당방향이 강철관의 y 축방향으로 향하므로 $x=0$ 인 요소마디 점들에서의 자기벡토포텐셜값을 0으로 설정하였다.(AZ=0)

또한 공기층과 강철관의 끝부분은 무한경계(inf)로 처리하였다.

요소분할밀도를 SMRTSIZE=2로 설정하여 계산의 수렴성을 보장하면서 계산시간을 줄이였다. APDL방식으로 금속물체의 등가속운동특성에 따르는 자기마당변화를 정의하는 배열변수들을 주고 시간에 따르는 자속밀도변화를 계산하였다. 예견되는 운동속도를 입력하고 계산의 정확성과 계산시간을 다같이 보장하기 위하여 걸음간격은 10mm로 설정하였다.

2. 계 산 결 과

설치방안 2에 따라 AI통을 씌운 전자기감응수감부를 X-2대상에 설치할 때 금속물체의 등가속운동과정에 전자기감응수감부에서 발생하는 유도전동력신호는 그림 4와 같다.

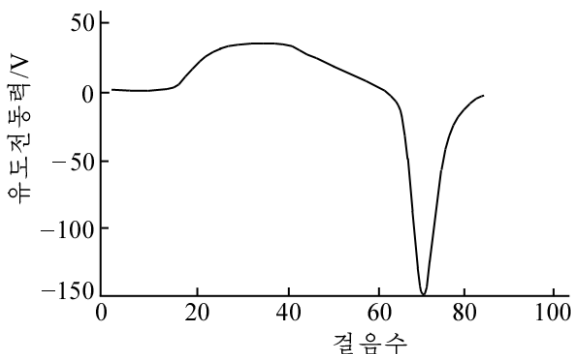


그림 4. 전자기감응수감부에서 발생하는 유도전동력신호

그림 4에서 가로축은 운동과정을 반영하는 걸음수이고 세로축은 얻어지는 유도전동력 U 의 크기이다. 금속물체의 구조와 재질특성을 유도전동력의 변화와 비교하여 보면 유도선륜의 중심부를 기준으로 금속물체의 첫 머리부가 통과할 때 신호가 발생하기 시작하여 마지막꼬리가 지나가면 신호의 최소봉우리가 얻어진다.

금속물체의 복잡한 기하학적구조와 재질특성으로부터 선명한 최대봉우리가 아니라 변화가 비교적 적은 수평구간을 거쳐 최대값이 얻어지고 선형적인 감소구간을 거쳐 급격한 감소구간으로 이어진다.

표 1에 전자기감응수감부의 구조와 형태에 따르는 유도전동력신호의 특성을 주었다.

설치방안에 따라 전자기감응수감부에서 얻어지는 유도전동력신호모양들은 약간씩 달라지지만 최대봉우리와 최소봉우리가 생기는 위치를 비롯하여 전반적인 구성특성은 같다.

그러므로 X-2대상의 구조치수로부터 운동속도를 정확히 예측할수 있다.

표 1의 방안 1과 2에 따르는 계산결과로부터 전자기감응수감부를 강철관의 중심축으로부터 멀리 놓을수록 금속물체의 운동상태에 따라 얻어지는 유도전동력신호는 요동하고 측정기재를 리용한 봉우리검출은 힘들어진다는것을 알수 있다.

유도선륜을 통하여 흐르는 정전류의 세기와 선륜의 감음수를 증가하여도 신호의 요동특성은 달라지지 않는다.

표 1. 전자기감응수감부의 구조와 형태에 따르는 유도전동력신호의 특성(걸음수)

No.	설치 특성	신호 특성	신호 시작	수평 구간	최대 봉우리	선형 감소	최소 봉우리
1	방안 1 차폐통없음	나쁘다.	11		39		71
2	방안 2 Al차폐통 3mm	좋다.	10	29~37	39	43~61	71
3	방안 2 Fe차폐통 1mm	나쁘다.	12		39		70
4	방안 2 Fe차폐통 3mm	나쁘다.	9		39		71
5	방안 2 Fe차폐통 5mm	나쁘다.	13	35~38	39		71
6	방안 3 차폐통없음	약간 요동	13		39		71
7	방안 4 Al주물품	좋다.	10	28~37	39	43~60	71
8	방안 4 Fe주물품	좋다.	10	27~37	39	44~60	71
9	방안 4 Fe차폐통 1mm	좋다.	11	25~37	39	43~63	71
10	방안 4 Fe차폐통 3mm	약간 요동	9	25~37	39	44~62	71
11	방안 4 Fe차폐통 5mm	약간 요동	11	26~37	39	43~54	71

신호특성상 명백한 봉우리들을 검출할수 있는것은 방안 4에 따라 전자기감응수감부를 강철판에 설치한 경우들이다.

모의계산결과로부터 검출특성이 좋은 4가지 경우에 대하여 구조력학적으로 설치가능성을 다시 평가하였다.

Fe주물품과 Al주물품으로 만든 전자기감응수감부들에서 얻어지는 유도전동력신호의 최대봉우리값들은 각각 19.12, 20.2V이고 전반적인 신호크기들은 서로 비슷하다.(표 2)

표 2에서 보는바와 같이 X-2대상에 설치할 때 특성이 제일 좋은것은 Fe주물품으로 만들어진것이 아니라 Al주물품으로 만든 전자기감응수감부라는것을 알수 있다.

표 2. 설치방안들의 특성

설치방안	구조특성	설치가능성	충격견딜성	질량상특성
방안 2	Al제관품 (3mm)	해체할수 있음	약하다.	1/4
방안 4	Al주물품	해체할수 없음	좋다.	1/3
방안 4	Fe주물품	해체할수 없음	좋다.	1
방안 4	Fe제관품 (1mm)	해체할수 없음	약하다.	1/3

* 설치방안들의 무게상특성은 Fe주물품의 질량을 기준으로 질량비로 평가한다.

맺 는 말

1) 비대칭3차원대상의 자기마당분포에 대한 계산에서 대칭성을 보장할수 없는 부분에 투자를보정을 진행하는 방법으로 대칭성을 반영한 2차원계산을 진행하여 정확성을 보장하고 계산시간과 계산량을 1/6로 줄이였다.

2) X-2대상에 적용하기 위한 전자기감응수감부의 형태와 구조, 설치방안들을 결정하였다. 신호특성이 좋은것은 방안 2와 4에 따라 Al주물품과 Fe주물품, Fe제관품들을 설치하는 경우들이다.

유도전동력신호크기, 충격전달성과 질량 등을 구체적으로 고려할 때 대상에 제일 적합한것은 Fe주물품이 아니라 Al주물품으로 만들어진 전자기감응수감부이다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 61, 9, 53, 주체104(2015).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 62, 6, 59, 주체105(2016).
- [3] Yang Shu Ping et al.; Journal of Basic Science and Engineering, 10, 2, 103, 2002.

주체107(2018)년 6월 5일 원고접수

Movement Process Analysis of Metal Solid in Magnetic Field

Kim Jong Hyok, Jang Myong Su

In the view of induction electromotive force(E.M.F.) magnitude, shock resistance and their weight, we evaluated that the most appropriate to the target was not Fe casting but the electromagnetic induction sensor made of Al casting.

Key words: induction electromotive force(E.M.F.), shock resistance, electromagnetic induction sensor