



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

두 환경자계에서 탈자된 강자성체의 자기신호



2014年 7月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

朴 珍 浩

工學碩士學位論文

두 환경자기계에서 탈자된 강자성체의 자기신호

A Study on Magnetic Signals by Demagnetization
System under Two Different Background Magnetic Fields

指導教授 金榮學

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함

2014年 7月

釜慶大學校 産業大學院

電氣工學科

朴珍浩

朴珍浩의 工學碩士 學位論文을 認淮함

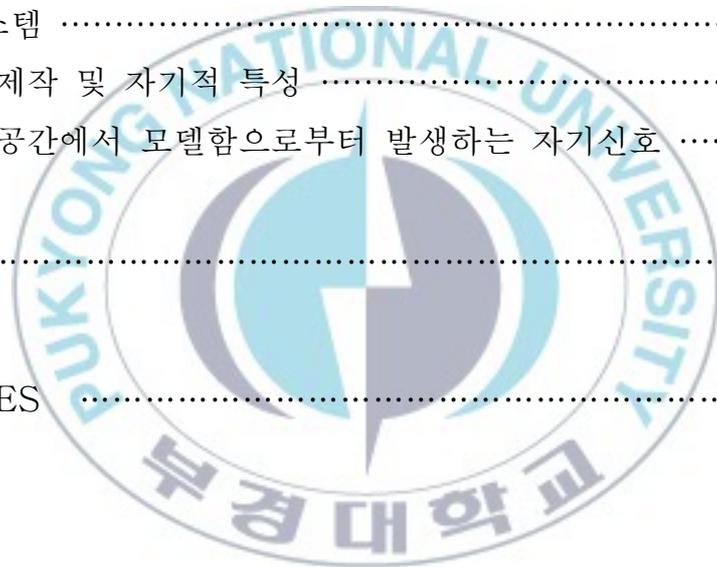
2014年 7月



主審 工學博士 張允碩 (印)
委員 工學博士 金仁東 (印)
委員 工學博士 金榮學 (印)

목 차

ABSTRACT	ii
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	11
2. 본 론	12
2.1 탈자시스템	12
2.2 모델함 제작 및 자기적 특성	16
2.3 실내외 공간에서 모델함으로부터 발생하는 자기신호	23
3. 결 론	28
REFERENCES	29



A Study on Magnetic Signals by Demagnetization System under Two Different Background Magnetic Fields

Park, Jin-Ho

Department of Electrical Engineering,
The Graduate School of Industry
Pukyong National University
Directed by Prof. Kim, Young-Hak

ABSTRACT

Demagnetization technique is used to reduce magnetic signal from a magnetic object and usually utilized in the navy. Demagnetization should apply magnetic field enough to saturate the object using a solenoid coil and reduce to 0[A/m] with a fine decrement. The earth magnetic field influence greatly demagnetization performance and need to be compensated with a horizontal(x) and a vertical(z) components of bias magnetic fields, which are generated from the solenoid coil and a z coil. The demagnetization of a ship-like ferromagnetic object was performed inside reinforced concrete building and outside the building. Magnetic signals were obtained using a magnetic field sensor having a resolution of 0.1[nT]. 1[m] long and 0.15[m] wide ferromagnetic object was made of a galvanized steel sheet. Background magnetic field signal was not uniform due to steel components such as steel bars inside reinforced concrete building. Each field strength in 3 directional magnetic fields was 22.8[A/m] in the south-north, 6.5[A/m] in the east-west and 29.4[A/m] in the upside-downside. Especially, there existed the difference of

4[A/m] in the upside-downside, whereas the field strength was the almost same magnitude as earth magnetic field in the measured place, which was 25.4[A/m], 0[A/m] and 30.2[A/m]. From the measured magnetic signals, the demagnetization should be performed in the place having a uniform background magnetic field.

Key Words: magnetic signal, magnetic sensor, demagnetization system, bias magnetic field signal.



1. 서론

1.1 연구의 배경

해군함정의 출현을 함정에서 발생하는 자기장 신호를 수중에서 탐지하여 찾아내는 것은 수중전술 분야에서 이용되어 왔다. 신호(signature)라는 용어는 음향측정과 함정에서 발생하는 수중 음장탐지의 분야에서 만들어진 것으로 문서에 사인하는 것과 같이 함정에서 발생하는 수중음은 흉내 낼 수 없는 독특한 특성을 가지고 있어 다른 종류의 신호와 구별하기 위해 신호(signature)를 사용하게 되었다. 비록 해상함이나 잠수함에서 발생하는 자기신호는 음향신호만큼 독특하지는 않지만 함정에서 발생하는 전자기장의 공간적이고 일시적인 분포를 나타내기 위해 '신호'라는 용어를 이용한다. 함정에서 발생하는 이런 자기신호 중 ULF대역의 자기장 소스에는 네 가지가 있다.

첫째, 함정을 건조할 때 사용되는 철의 지구자기장에 의한 유도강자성

둘째, 지구자기장 내에서 함정 내의 금속 도체가 회전함에 의해 발생하는 와전류

셋째, 자연적인 전기화학적 부식과정과 함정의 부식을 막기 위해 설계된 양극방지시스템에 의해 선체에서 주변의 해수 쪽으로 흐리는 전류

넷째, 전기모터, 발전기, 배전케이블, 스위치기어, 차단기, 그리고 다른 함정 내의 전기회로에 흐르는 전류

자기정숙화는 항만감시체계와 수중 기뢰(sea mine)의 위협으로부터 함정과 잠수함을 보호하여 생존성을 높이는데 필수적이며 이를 위해서는 함정과 잠수함에서 발생하는 자기장을 최대한 억제시켜야 한다. 더 큰 공격력을 가지고 자계를 줄인 목표함정에 대해 피해반경을 증가시키기 위해서는 감도가 뛰어나고 소비전력이 적고 값이 싼 자계센서가 필요하였다. 한편 더 넓은 목표 탐지범위를 위해 안정되고 낮은 주파수에서 동작하는 센서의 사용이 유도

되었고, 반면에 목표식별 능력과 기뢰수색을 어렵게 하는 능력은 소형 3축 자계 센서의 사용으로 향상되었다. 이런 독특한 작전상의 요구를 만족시키기 위해 기뢰설계는 플렉스게이트 자계센서의 이용에 대해 검토하기 시작하였다. 수상함과 잠수함의 자기장은 자성체인 선체(hull)와 함정 그리고 잠수함 내부에 설치되는 전력공급장치, 선체부식방지장치, 프로펠러에 의해 발생하며 이 중에서 선체(hull)에서 발생하는 자기장을 감소시키는 것이 중요하다. 선체에서 발생하는 자기장은 지자기에 의해 유도되어 발생하는 유도성분과 지자기장 및 응력 등에 오랜 기간 노출되어 선체의 잔류자화성분이 축적되어 발생하는 영구성분으로 분리된다. 따라서 함정에서 발생하는 자기장을 검출하는 것이 항만감시체계의 기능 중 하나이며 기존의 자기장검출은 항만 해저에 두 개의 코일을 설치하여 함정 혹은 잠수함 이동에 의한 지자기장 교란으로 양쪽 코일의 자속차이를 검출하는 방법을 이용해 왔다. 최근에는 지자기장의 1/100,000 정도의 자기장을 검출할 수 있는 고감도 고분해능 자기장센서의 개발로 해저에 자기장센서를 어레이 형태로 배치하거나 수중기뢰에 설치하여 항만감시체계의 능력을 더욱 강화시키고 있다. 이와 같은 항만감시체계의 강화와 더불어 한국해군은 해양군사강국으로 도약하기 위해 대형 함과 고성능의 중, 소형 함을 계속 건조하고 있다. 이런 함정이 적의 항만감시체계 혹은 수중기뢰에 노출되어 생존성이 위협받는 것은 반드시 피해야 하며 이를 보호하기 위해서는 체계적이고 정밀한 자기처리가 필요하다. 탈자에 관련된 연구는 국방과학연구소[1][2], 대학[3]등에서 이루어지고 있다. 국외에서는 자기처리 프로토콜이 개발되어[4][5] 실제 적용을 검토하고 있다. 국내의 자기처리 시설이 만들어짐에 따라 이 시설의 탈자성능이 평가되어야 하며 이런 평가에는 실험을 이용하여 수행되어야 한다. 실험탈자에 대한 평가기준 개발은 탈자실험에서 얻어진 결과를 계산결과와 비교함으로써 수행된다. 유한요소법(FEM)과 같은 수치해석적인 방법과 여기에 자성체의 자화현상을 모델링하고 계산을 이용하여 탈자결과를 예측할 수

있는 방법들이 제안되고 있다.[6]~[9] 탈자는 자기물성적으로 잔류자화를 원점으로 가져오는 방법[10]으로 이에 대한 탈자프로토콜은 소자코일이 탑재된 함정에 대한 biased deperm R과 소자코일이 없는 Anhyseretic deperm이 이용된다. 또한 두 프로토콜의 특징을 검증하기 위해 탈자 전후에 축소함을 회전자계에 두어 자기신호를 비교 검토한다. 탈자처리는 함정의 영구자화성분을 제거하는 것으로 이를 위해서 함정 둘레에 코일을 감고 해저 면에 설치된 수직코일과 함께 각 코일에서 발생하는 자기장을 함정에 직교시켜 처리한다. 함정의 탈자성능을 예측하는 연구에는 실험을 축소한 축소함이 필요하고 축소함에 맞추어 자기처리시설(magnetic treatment facility)을 축소시켜 만들 필요가 있다. 축소함은 주로 해군함정의 소자코일 설계를 위해 제작되었지만 마찬가지로 항공모함이나 구축함과 같은 함정의 자기신호를 재생시키는 곳에도 이용된다. 축소함을 만드는 가장 좋은 방법은 전체의 크기를 똑 같은 축소비율로 줄여 만드는 것이다. 하지만 함정 선체의 두께가 너무 얇아 제작이 용이하지 않고 실제 제작된다하더라도 실험 중에 발생하는 충격 등에 의해 쉽게 파손되기 때문에 퍼미언스법으로 제작한다. 퍼미언스 법은 투자율과 두께의 곱을 의미하며 실제 만들 수 있는 선체의 두께로 하고 재질의 투자율을 줄여 자속의 양을 같게 하는 방법이다. 그리고 축소함 제작에 이용되고 제작 시 필요한 납땜작업과 녹이 스는 것을 방지할 수 있는 주석도금강판(125 μ m)이 이용되고 있다. 본 연구는 축소함을 자기처리장치 및 탈자 프로토콜을 사용해서 얻어지는 실험 및 계산결과를 이용하여 현재 구축중인 실험자기처리시설의 평가기준을 마련한다. 이 평가기준에는 자기처리 장치 및 프로토콜 타당성과 측정결과 타당성을 검토하는 것이다. 자기 정숙화는 항만감시체계와 수중 기뢰(sea mine)의 위협으로부터 함정과 잠수함을 보호하여 생존성을 높이는데 필수적이며 이를 위해서는 함정과 잠수함에서 발생하는 자기장을 최대한 억제시켜야 한다. 함정과 잠수함의 자기장은 자성체인 선체(hull)와 함정 그리고 잠수

함 내부에 설치되는 전력공급장치, 선체부식방지장치, 프로펠러에 의해 발생하며 이 중에서 선체(hull)에서 발생하는 자기장을 감소시키는 것이 중요하다. 선체에서 발생하는 자기장은 지자기에 의해 유도되어 발생하는 유도 성분과 지자기장 및 응력 등에 오랜 기간 노출되어 선체의 잔류자화성분이 축적되어 발생하는 영구성분으로 분리된다. 그림. 1은 수중기뢰, 소해함(MCMV), 항공자탐(MAD) 등을 이용한 감시체계를 나타낸 것이다. 이 그림과 같이 자기장을 검출하는 것이 항만감시체계의 기능 중 하나이며 기존의 자기장검출은 항만 해저에 두 개의 코일을 설치하여 함정 혹은 잠수함 이동에 의한 지자기장 교란으로 양쪽 코일의 자속차이를 검출하는 방법을 이용해 왔다. 최근에는 지자기장의 1/100,000 정도의 자기장을 검출할 수 있는 고감도 고분해능 자기장센서의 개발로 해저에 자기장센서를 어레이 형태로 배치하거나 수중기뢰에 설치하여 항만감시체계의 능력을 더욱 강화시키고 있다. 이와 같은 항만감시체계의 강화와 더불어 한국해군은 해양군사강국으로 도약하기 위해 대형 함과 고성능의 중, 소형 함을 계속 건조하고 있다. 이런 함정이 적의 항만감시체계 혹은 수중기뢰에 노출되어 생존성이 위협받는 것은 반드시 피해야하며 이를 보호하기 위해서는 체계적이고 정밀한 자기처리가 필요하다. 일반적인 함정의 자기처리방식에는 탈자처리와 소자처리로 나눈다. 탈자처리는 함정의 영구자화성분을 제거하는 것이고 소자처리는 지자기장에 의한 유도자기장을 제거하는 것으로 개회로 방식과 폐회로방식으로 처리한다. 그림. 2는 탈자처리를 위해 함정에 권선을 감은 모양을 나타낸 것이다. 그림과 같이 함정 둘레에 코일을 감고 해저 면에 설치된 수직코일과 함께 각 코일에서 발생하는 자기장을 함정에 직교시켜 처리한다. 현재 한국해군은 해양 전투력 강화를 위해 다양한 작전을 수행할 수 있는 대형 함 건조가 계속 증가추세에 있으나 함정의 생존성을 유지할 수 있는 자기처리시설은 노후화되어 있으며 자기처리 결과를 해석하고 예측하는 기법은 전혀 존재하지 않는다. 따라서 수중 피탐지 연구실에서는 위

에서 언급한 필요성에 따라 함정최적 탈자기법연구를 통하여 체계적이고 정밀한 자기처리를 할 수 있도록 자기 피탐지 효과를 극대화할 수 있는 방안을 도출한다.





그림. 1 수중 항만 감시개념도
(MAD, MCMV, SEA MINE 등)



그림. 2 탈자를 위해 중축코일을 함정에 설치한 모양

외국의 경우는 1, 2차 세계대전의 참전국을 중심으로 자기처리에 대한 연구가 진행되어 왔으며 수증기뢰의 성능향상과 더불어 탈자처리기술도 발전되어 왔다. 탈자처리방식은 초기에 와이핑(wiping)에서 플래싱(flushing), 오버와이핑(over wiping), Deperm-A, Deperm-B, Deperm-C의 방식으로 점차적으로 개선되어 왔다[11]. 그리고 현재 탈자처리기술은 자기처리 대상 합정의 다양성, 처리속도의 개선을 위해 여러 가지 자기처리방식이 제안되고 있다. 표. 1은 국외의 자기처리 방식으로 overrun ranging과 stationary ranging 방법을 나타낸 것이다. 이 회사의 방식은 합정이 자성체 재질인 경우와 비자성체 재질인 경우를 구분하며 자성 재질의 합정에 대해서는 overrun ranging을 하며 이 때, 자성 재질의 합정에 소자코일이 없는 경우는 overrun에 의한 자기처리를 실시한 후 overrun ranging을 하게 된다. 하지만 소자코일이 있는 경우에는 바로 overrun ranging을 통한 소자코일의 보정을 실시한다. 소자코일을 보유하고 있는 비자성 재질의 합정의 경우는 합정을 부두에 고정시켜 실시하는 stationary ranging만을 하며 여기서 소자코일의 보정이 이루어진다. 특히 합정의 부식방지시스템(ICCP)에서 발생하는 표류성 자계를 처리할 수 있어 최대한 자계발생의 억제를 요구하는 소해함(MCMV)에 매우 필요한 방식이다. 그림. 3은 Flash-D Deperm의 종축 코일에 인가하는 자계발생을 위한 전류파형을 나타낸 것이다. 이 때 합정 선체의 자성체 히스테리시스를 제거하기 위해 인가되도록 수직방향으로 자계가 동시에 인가된다.[8] 이 종축자계의 인가방법은 강한 자계를 일정한 비율로 서서히 줄이는 제 1단계와 다시 자계를 증가시키는 제 2단계 여기서 다시 자계를 완전히 감소시키는 제 3단계로 구성 된다. 이 방식은 탈자처리를 위해 합정을 오랜 기간 정박시켜야 하는 단점은 가지고 있지만 합정의 자계 피 탐지효과가 매우 커서 세계의 여러 나라에서 오랫동안 이 방식을 사용하고 있다. 또한 탈자처리의 시간단축과 이론적인 예측이 가능한 Anhyseretic deperm 방식[8]과 처리과정에서

탈자효과를 평가해가며 자계를 인가하는 Bias-ME(X)방식이 국외에서 제안되고 있다. 또한 합정 선체에서 발생하는 자계로부터 자기처리결과를 해석하기 위해 국외에서 몇몇 연구가 진행되었다. 여기에는 자성체의 히스테리시스를 모델링하여 합정의 자화 상태를 계산하는 방법[9]과 측정된 자계로부터 합정의 자화 상태를 추정하는 역문제 해석방법이 제안되었다. 이 역문제 해석에서는 합정의 선체는 크기에 비해 두께가 너무 얇아 기존의 해석 방법으로는 해석하기가 매우 곤란하여 면을 선의 요소로 해석하는 방법과 선체 내부에 자계센서를 두고 자계를 측정(near field measurement)한 후 유한요소법을 이용한 역문제 해석을 통하여 합정의 영구자화를 해석하는 방법이 제안되었다.



표 1. 국외 탈자의 기술현황

Technical assistance for system function	Range algorithm	vessel magnetic field distribution mapping		
		DG system calibration		
		ICCP calibration		
		vessel position compensation		
	magnetic treatment algorithm	deperming status estimation		
		optimized deperming protocol	Vessel with DG coil	
			vessel without DG coil	
			submirines	
	magnetic treatment performance estimation		others	
	sensor calibration algorithm	magnetic environmental noise correction		
sensor orientation(tilt) and location error correction				
signal nulling				
Technical assistance for system design	sensor positioning design	sensor layout	shape of sensor array	
			sensor spacing	
			number of sensor	
		underwater installation	review installation method	
			review sensor moount structure & materials	
			review construction materials	
	sensor specification			
	coil design	X-coil	cable spec	
			number of turns	
			coil spacing	
Z-coil		winding method		
		layout		
		cable spec		
power equipment design	spec. of generator			
	spec. of transformer			
	spec. of rectifier			

3 Stage Deperm

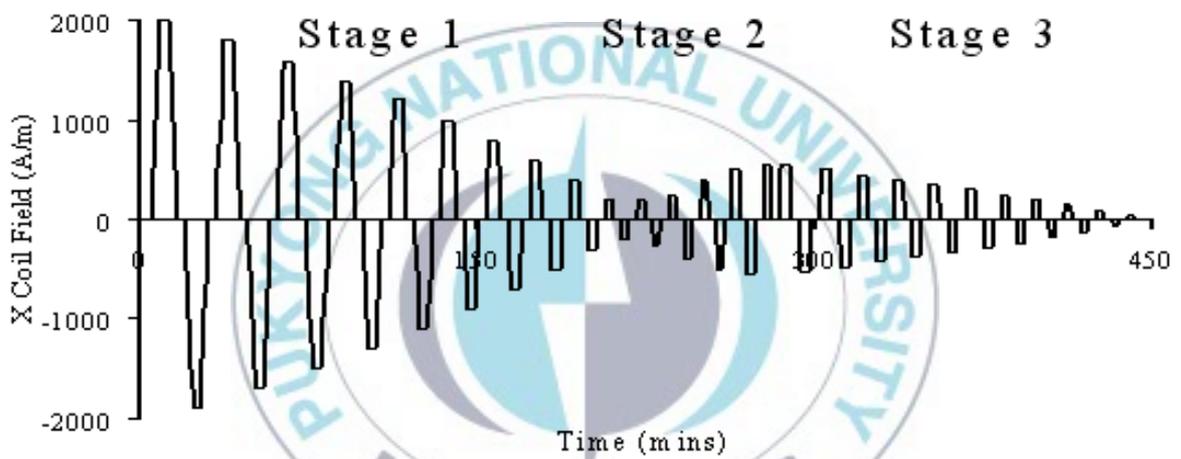


그림. 3 Flash-D deperm 방식에서 중축코일에 인가하는 3-stage 자계모양

1-2 연구의 목적

자기처리기술은 합정의 생존성 향상을 위해 매우 필요한 기술이다. 일정한 지자계 환경 속에서 항해하는 합정은 크기가 크기 때문에 지자계에 의해 선체에는 자화가 분포되고 지속적인 지자계 노출로 선체에 분포하는 잔류자화가 점점 커지게 된다. 이에 따라 합정에서 발생하는 자기신호(magnetic signal)의 크기와 모양이 점점 다르게 되므로 탈자라는 자기처리기술을 이용하여 합정의 자화상태를 초기상태로 되돌려 놓는다. 탈자는 강자성체의 자화를 포화시킬 정도의 큰 외부자계를 솔레노이드 코일을 이용하여 인가한 후 0까지 서서히 감소시키는 기술이다. 이 때 합정에 인가되는 내부자계는 선체 각 부분에 작용하는 반자계 계수에 의해 결정되며 탈자 종료 후에는 이에 따라 합정 선체에 잔류자화가 분포하게 된다. 탈자 중에는 지구 자계와 같은 환경자계가 합정의 잔류자화 분포에 크게 영향을 미치기 때문에 코일을 이용하여 환경자계를 상쇄시켜야 한다. 이 때 환경자계의 수평방향 성분에는 탈자용 솔레노이드 코일 자계에 바이어스를 부여하며 수직방향 성분은 수직코일을 설치하여 반대방향으로 자계를 인가하여 상쇄한다. 본 논문에서는 길이가 약 1[m], 폭과 높이가 0.15[m], 투자율이 200정도의 축소함을 제작하여 철근 콘크리트 건축물과 같은 실내공간과 건축물에서 벗어난 실외공간에서 각각 탈자를 하여 환경자계의 차이에 따른 자기신호(magnetic signal)의 변화를 검토하였다.

2. 본 론

2.1 탈자시스템

그림. 4는 탈자시스템의 구성을 나타낸 것으로 자계를 발생시키는 코일시스템과 센서, 교류전원 등으로 구성된다. 코일시스템의 그림은 자기장계산에 이용된 FEM 모델이다. 이 장치는 x축(남-북) 방향으로 자계를 발생시키는 솔레노이드 코일과 y축(동-서) 방향으로 자계를 발생시키는 한 쌍의 사각코일, z축(위-아래) 방향으로 자계를 발생시키는 또 다른 한 쌍의 사각코일로 구성된다. 솔레노이드 코일은 x축 방향으로 바이어스 자계와 탈자를 위한 구형과 교번자형과 교번자계는 컴퓨터에서 제작된 구형과 펄스파형을 바이폴라 증폭기를 거쳐 x축 코일에 인가하여 발생된다. 그리고 z축과 y축의 사각코일은 환경자계를 보상하기 위한 직류 자계만을 발생시키므로 직류전원이 각 코일에 연결된다. 실험 중에 시편 및 코일에서 발생하는 자계는 컴퓨터와 RS232C 통신모듈을 통하여 연결되어 있는 3축 자기센서로 측정된다. 그림. 5는 탈자장치를 나타낸 것으로 시편과 코일에서 발생하는 자계신호는 사각코일아래에 설치된 센서레일을 따라 센서가 이동하면서 측정된다. 실외에서는 그림과 같이 카트에 설치하여 실험을 하였다. 실외에서의 환경자계는 그림. 6에서와 같이 x방향으로 25.4[A/m], y방향으로 0[A/m], z방향으로 30.2[A/m]으로 문헌치[1]와 비교하면 x방향의 자계가 약 1[A/m], z방향으로 0.2[A/m]정도 크다. 이것은 센서의 위치오차, 탈자장치 바닥의 경사 등에 의한 것으로 생각된다. 실내 실험공간의 환경자계는 탈자실험장치가 놓여 있을 때 솔레노이드 코일 내부의 중앙에서 x방향으로 22.8[A/m], y방향으로 6.5[A/m], z방향으로 29.4[A/m]이며 실내에서의 자기장이 불균일하여 측정점을 이동하면 측정위치에 따라 차이가 발생하였다.

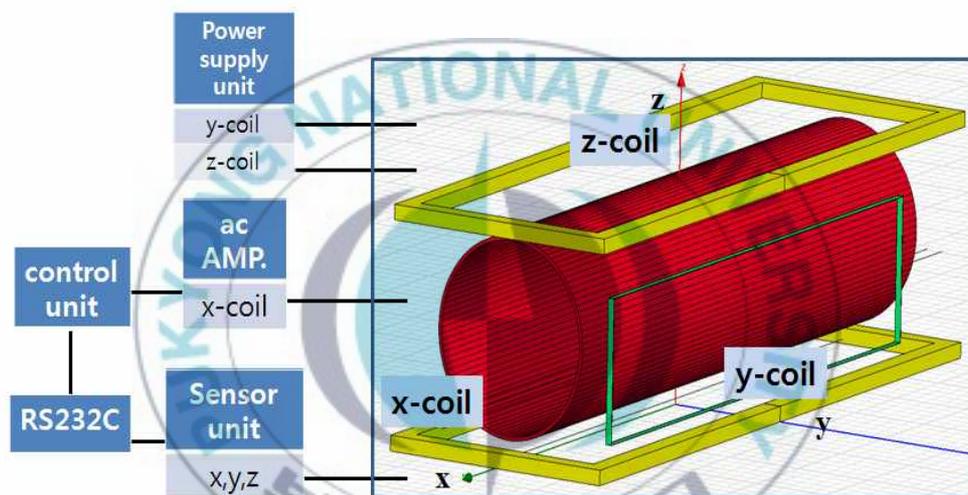


그림. 4 탈자시스템



그림. 5 실외측정을 위한 탈자장치

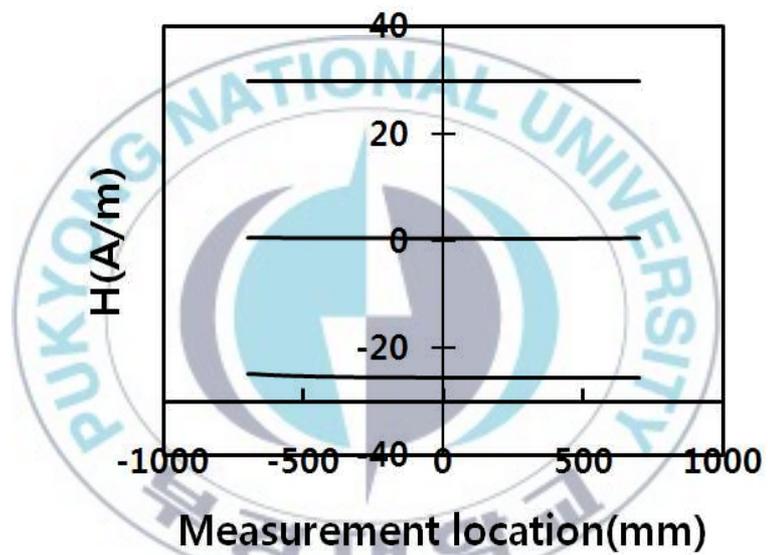


그림. 6 실외에서 측정된 자계

2-2 모델함 제작 및 자기적 특성

(1) 모델함의 제작

그림. 7은 함정의 정면도이다. 모델함을 설계할 때 전체의 형상 중 세 가지의 대표형상 즉, 삼각형상, 포물선 형상, 사각형상을 이용하였다. 그림. 8은 모델함을 제작하기 위해 필요한 골격형상들을 CAD로 그린 것이다.

이 형상들은 앞에서 언급한 세 가지 대표 형상으로 구성된다. 전체 길이는 1[m]이고 최장폭은 15[cm], 높이는 전부 9[cm]로 하였다. 이 크기는 함정 크기를 200 : 1로 축소한 크기이고 그림. 9는 함정골격에 입힐 강자성체 박판을 설계한 것이다. 선수와 선미에서 사각형상을 가지는 부분까지의 길이는 각각 269[mm]이며 사각형상 부분의 길이는 470[mm]였다. 함정의 형상을 용이하게 만들기 위하여 그림에서 표시된 박판 네 곳을 절단하였다. 그림. 10은 모델함을 나타낸 것이며 그림. 10(a)는 강자성체 박판을 열처리용 뼈대에 입힌 것이다. 이것을 750[°C]×2[hr]의 진공 중 열처리를 한 후 강자성체 박판만을 분리하여 아크릴 골격에 입혀 그림. 10(b)와 같이 모델함을 제작하였다. 그리고 그림. 11은 강자성체 박판을 아크릴 골격에 열처리 없이 입힌 것이다. 또한 열처리한 강자성체 박판으로 모델함(#1)을 제작할 때에는 절단 부위에 양쪽 박판을 서로 겹치도록 하여 절단부에서 가능한 자료가 연속되지 않게 하였고 열처리하지 않은 강자성체의 박판으로 모델함(#2)을 만들 때에는 그림. 11과 같이 분리된 지점을 최대한 서로 맞대어 자료가 연속되도록 납땜을 하였다.

(2) 모델함의 자기적 특성

그림. 12에 강자성체 박판을 원형으로 제작하고 열처리한 다음 권선을 입혀

LCR 미터로 투자율을 측정하는 것을 나타내었다. 투자율은 인덕턴스 L을 측정하여 다음 식으로 구하였다.

$$\mu_r = \frac{Ll}{\mu_o SN^2} \quad (2-1-1)$$

여기서 l [m]은 자로길이($= 2\pi r$, r : 원형 박판의 반지름)이며 μ_o [H/m]는 공기중의 투자율, S [m²]는 박판의 단면적($= t \cdot b$, t : 박판의 두께, b : 원형 박판의 폭), N [turns]은 권선수이고 그림. 13은 식(2-1-1)로부터 계산된 비투자율을 각 주파수에서 인가자계에 따라 나타낸 것이다. 주파수 100[Hz]에서는 인가자계와 함께 투자율은 증가하며 주파수가 증가할수록 증가율은 떨어지고 주파수 100[kHz]에서는 일정한 크기를 가졌다. 주파수가 증가함에 따라 인가자계에 대한 투자율의 변화가 작은 것은 강자성체의 투자율과 도전율에 의해 와전류가 증가하여 주파수 100[kHz]에서는 큰 표피효과가 발생하기 때문이다. 투자율의 주파수 의존성에서 약 1[kHz]까지 비투자율이 변하지 않은 것으로부터 100[Hz]이하의 주파수에서는 와전류에 의한 영향은 없을 것으로 생각된다. 이 실험 결과에서 실제 탈자 시 인가되는 주파수가 1[Hz] 이하임을 고려하면 인가되는 자계에 의한 모델함의 자화는 지연시간 없이 거의 동시에 발생될 것으로 예상된다. 그리고 열처리된 강자성체 박판은 10[A/m] 이하의 인가자계에서도 자화가 변할 수 있음을 나타낸다.

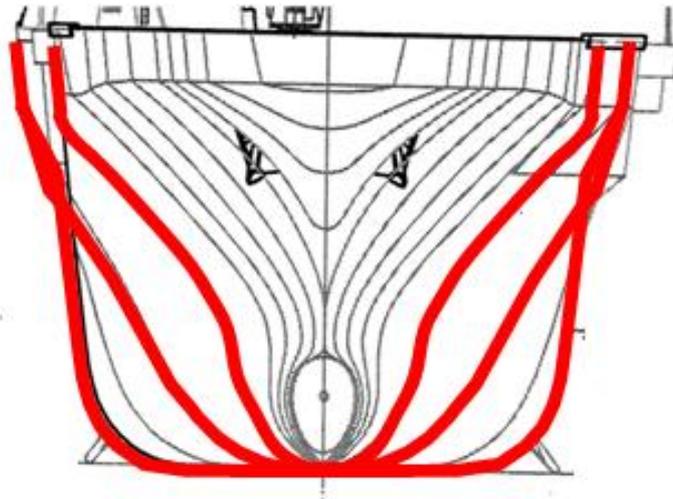


그림. 7 함정의 정면도

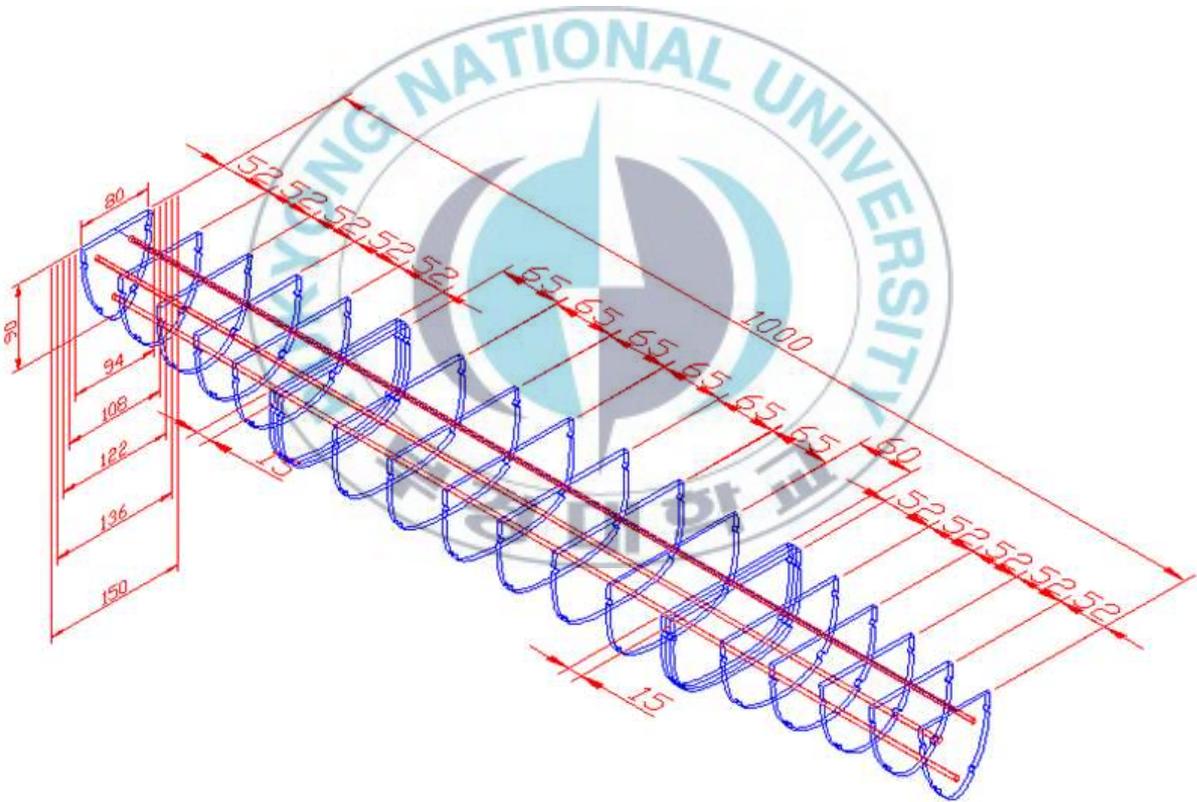


그림. 8 모델함 제작을 위한 골격 설계

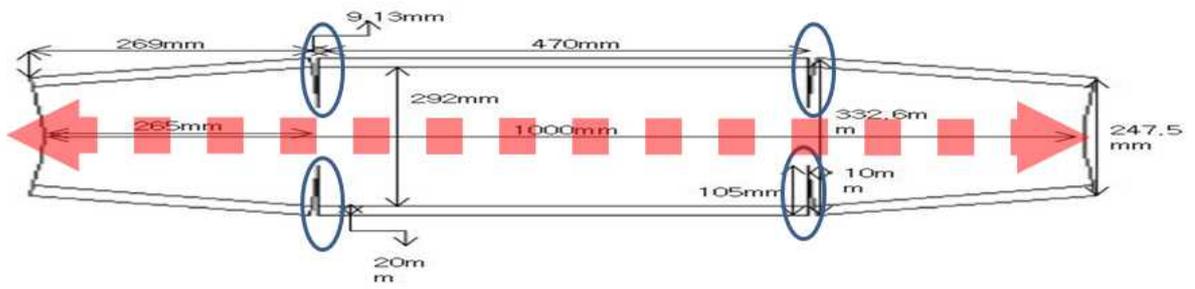
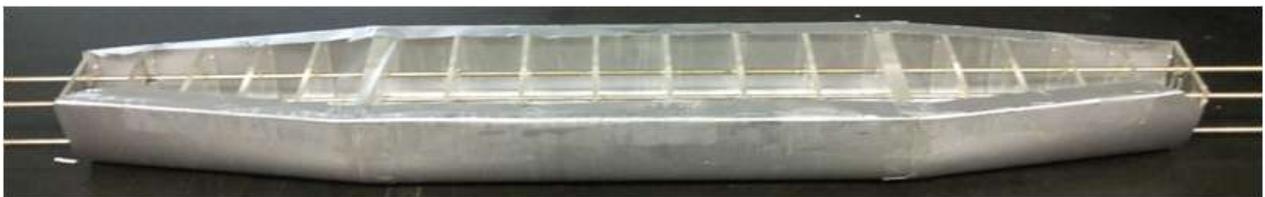


그림. 9 모델함 제작을 위한 박판설계



그림. 10 모델함의 열처리 및 제작
(a)열처리용



(b)열처리 후의 모델함

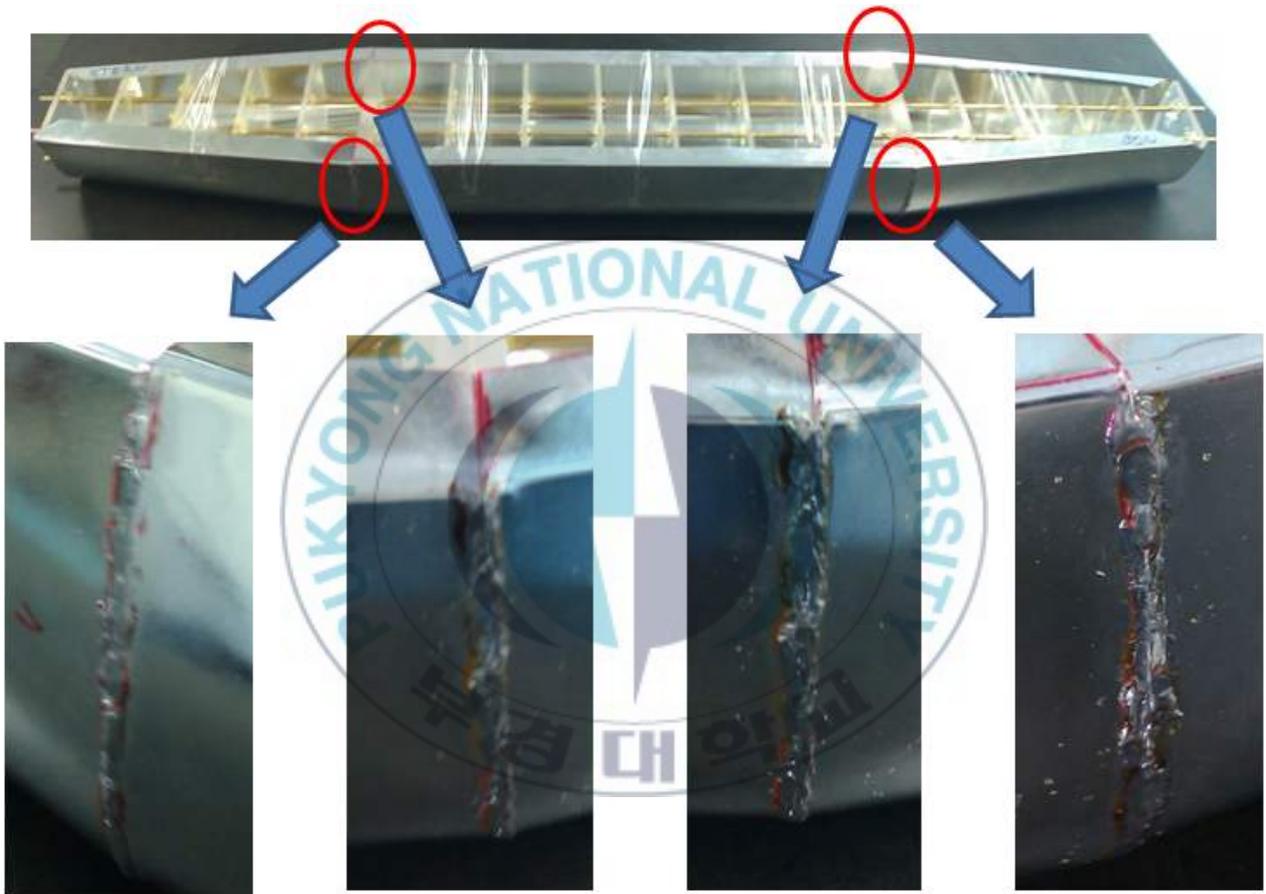


그림. 11 모델함의 접속



그림. 12 열처리한 원형시편의 투자율 측정

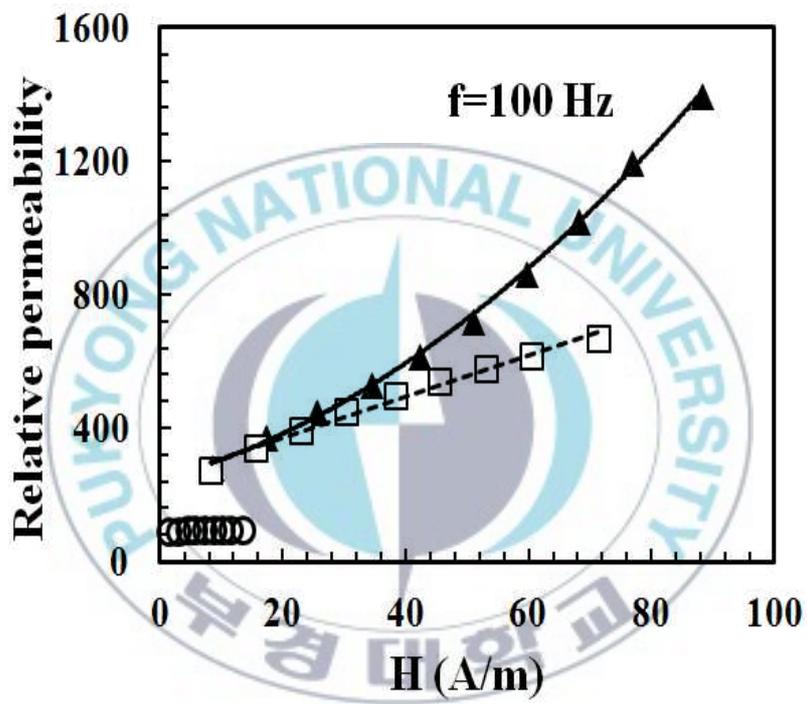


그림. 13 측정된 인덕턴스

2-3 실내의 공간에서 모델함으로부터 발생하는 자기신호

그림. 14는 3차원 유한요소법 정자장 해석을 이용하여 탈자장치의 x , y , z 코일에 직류 전류를 인가하였을 때 솔레노이드 코일 내부에서 자계를 계산한 것이다. 이 때 해석영역의 경계조건에 솔레노이드 코일의 중심에서의 측정 자계값을 입력하였다. 솔레노이드 코일의 중앙에서는 각 코일에서 발생하는 바이어스 자계에 의해 환경자계가 거의 상쇄되지만 솔레노이드 코일의 양끝으로 갈수록 각 코일에서 발생하는 자계가 보강 및 감쇠 중첩되어 불균일해진다. 하지만 솔레노이드 코일 중심에서 약 1[m] 길이에서는 자기장이 균일하였다. 그림. 15는 콘크리트 건물 내부에 탈자시스템이 있을 때 솔레노이드 코일 내부에 축소함이 놓이는 공간의 9개 지점에서 자계의 측정치를 그림. 14의 계산치와 비교한 것이다. 이 계산에서 코일에 흐르는 전류는 계산치가 솔레노이드 중앙점의 측정 자계치와 동일하게 되도록 전류를 입력하였다. 그림. 15(a)에서 각 방향별 자계의 측정치와 계산치 사이에는 차이가 존재하고 그림. 15(b)에서의 솔레노이드 중앙에서는 측정치와 계산치가 일치하지만 그림. 15(c)에서 다시 측정치와 계산치 사이의 차이가 보인다. 특히 $-x$ 방향인 남쪽으로 갈수록 Hz는 약 4[A/m] 이상의 차이가 존재하며 솔레노이드 내부에서 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 Hz는 점점 작아지고 Hx는 중앙에서 남쪽으로 갈수록 작아지는 경향을 나타내고 있다. 이것은 콘크리트 건물의 실내공간의 환경자계가 불균일하기 때문이며 이런 자계의 불균일성은 탈자를 할 때 시편의 잔류자화분포에 크게 영향을 미치게 된다. 그림. 16은 실내공간과 실외에서 축소함을 탈자한 후 축소함에서 발생하는 자계를 나타낸 것이다. 두 경우에는 바이어스 자계의 크기와 균일성이 달라서 발생하는 자계의 모양도 달라지게 된다. 그림. 17은 실외에서 측정된 자기장 신호와 축소함의 해석 모델을 계산하여 얻어진 자기장 신호의 모양을 나타낸 것이다. 축소함 모델 계산 시 입력되는 투자율은 앞

에서 실험으로 얻어진 투자율을 입력하였고 이 계산에서 경계면 상의 경계 조건에는 실외 공간의 환경자계를 입력하였다. 그림과 같이 계산된 자기장 신호의 모양이 측정된 것과 매우 유사함을 알 수 있다.



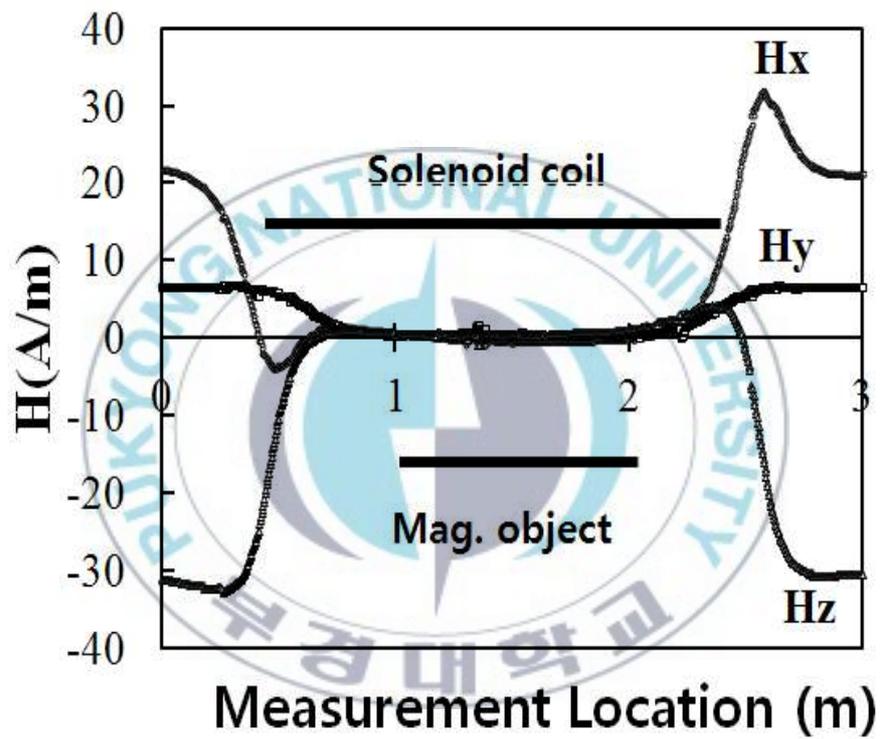
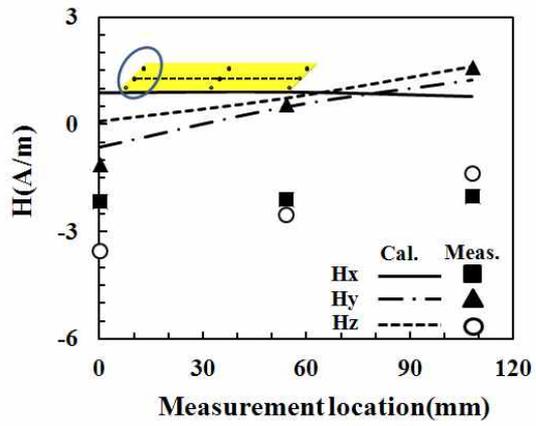
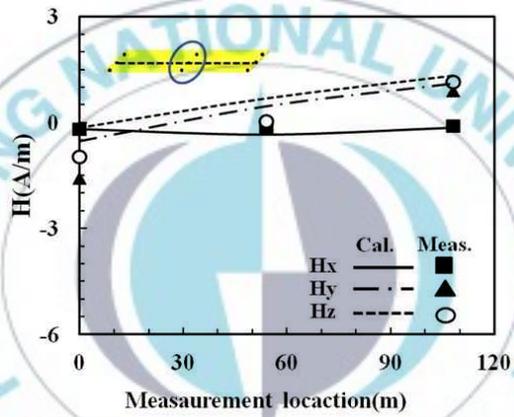


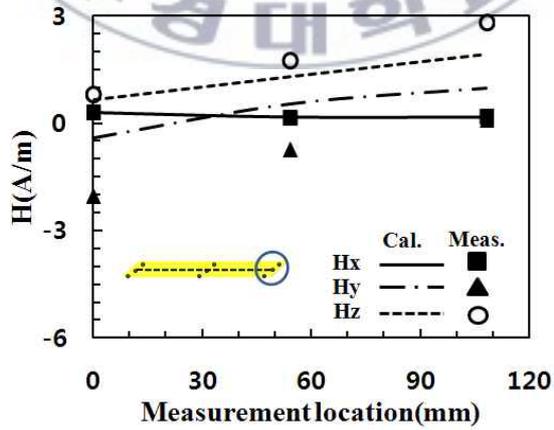
그림. 14 솔레노이드코일 내부의 자계



(a)



(b)



(c)

그림. 15 솔레노이드코일 내부 측정자계와 계산자계의 비교

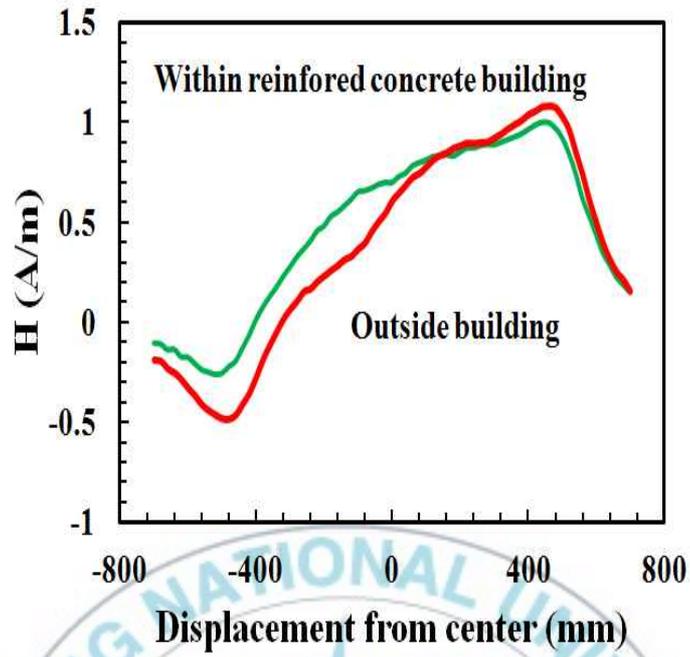
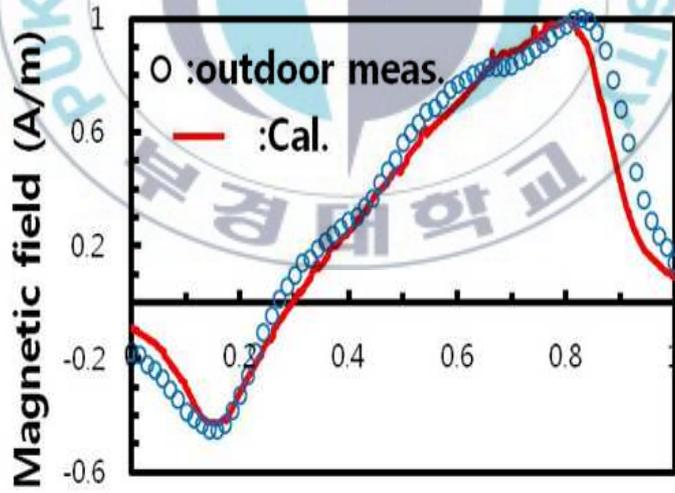


그림. 16 실내외 공간에서의 모델함으로부터 발생하는 자기신호



Normalized measurement distance

그림. 17 측정된 자기신호와 계산된 자기신호의 비교

3. 결 론

본 논문에서는 철근건축물의 실내 및 실외공간에서 강자성체인 물체를 탈자하여 시편으로부터 발생하는 자계신호의 모양과 크기에 대하여 검토하였다. 강자성체 물체는 길이가 약 1[m], 폭과 높이가 0.15[m]로 합정형상을 한 것이다. 철근 콘크리트 건축물에서 실내공간의 환경자계는 균일하지 않으며 슬레노이드 코일의 중심부에서 남쪽-북쪽 방향으로 22.8[A/m], 동쪽-서쪽 방향으로 6.5[A/m], 위-아래 방향으로 29.4[A/m]였다. 이것은 실외공간에서 남쪽-북쪽 방향으로 25.4[A/m], 동쪽-서쪽 방향으로 0[A/m], 위-아래 방향으로 30.2[A/m]의 자계와 비교할 때 차이가 존재하였다. 이 작은 자계의 차이는 비투자율 200정도의 강자성체일지라도 실내공간에서 탈자를 할 때 바이어스 자계는 설정에 오차를 가지게 되므로 탈자 이후 시편에서 발생하는 자기신호의 모양 차이를 가져오므로 시편의 크기에 해당하는 공간에서 자계의 균일성이 탈자 이후 자기장의 신호 모양에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] 김영학, 양창섭, 신광호, "비히스테리시스자화에 의한 강관의 탈자 기법 연구", 한국군사과학기술학회지, 제12권, 제1호, pp24~28, 2009.
- [2] 양창섭, 정현주, "축소모델을 이용한 함정 자기장신호 해석기법연구", 한국군사과학기술학회지, No. 14, Vol. 10, 2007.
- [3] 양창섭, "함정자기분야이론교육", 국과연 함정자기분야 이론교육자료집, 2001.
- [4] D. Rodger, P. J. Leonard, H.C. Lai, "Surface Elements For Modelling 3D Fields Around Thin Iron Sheets", IEEE Trans. Magn., Vol. 29, No. 2, 1993.
- [5] E. M. Del Vecchio, "An efficient procedure for modelling complex hysteresis processes in ferromagnetic materials", IEEE Trans. Magn., Vol. 16, No. 5, 1980.
- [6] SAM ELECTRONICS GmbH, "Magnetic Ranging and Treatment
- [7] S. Chikazumi, Physics of Magnetism. New York: Wiley, p165(1964).
- [8] T. M. Baynes, Analysis of Demagnetization process and Possible alternative Magnetic Treatments for Naval Vessels", Phd. Thesis, the university of new south wales, 2002.
- [9] T. M. Baynes, G.J. Russel and A. Bailes, "Comparison of Stepwise Demagnetization Technique", IEEE Trans. Magn., Vol. 38, No.4, 2002.
- [10] Y. Bi and D. C Jiles, "Measurement and Modeling of Hysteresis in Magnetic Materials Under the Action of an Orthogonal Bias Field", IEEE Trans. Magn.. Vol. 35, pp3787-3789, 1999.

- [11] Y. Vuillermet, O. Chadebec, J. L. Coulomb, L. L. Rouve, G. Cauffet, J. P. Bongiraud and L. Demilier, "Scalar Potential Formulation and Inverse Problem Applied to Thin Magnetic Sheets", IEEE Trans. Magn., Vol. 44, No. 6, 2008.



감사의 글

다가올 이 년이라는 시간은 길고 멀게만 느껴지지만 지나간 이 년은 언제 지나갔는지 모를 만큼 아득한 느낌으로 다가옵니다.

석사과정 면접 때 아무것도 모르는 저에게 선뜻 지도교수를 자청하시며 먼저 손을 건네 주셨고 아낌없는 지도편달과 본 논문 작성에 많은 도움을 주신 김영학교수님께 우선 감사드립니다.

부족한 듯 보이는 논문의 심사를 맡아주신 장운석 교수님, 김인동 교수님과 주경야독을 격려하시며 교육자로서 축적된 폭넓은 지식을 나누어 주고 계신 부경대학교 전기공학과 교수님들께도 감사드립니다.

비슷한 분야의 연구를 하고 있고 논문작성에 도움을 준 신동규 석사에게도 고마움을 전합니다.

공연으로 바쁜 와중에도 학문에 정진할 수 있도록 배려해 주신 장악과장님께도 감사드립니다.

군 제대후 줄곧 타향에서 홀로서기하고 있는 동생 朴正浩, 어느덧 두 아이의 엄마가 되어버린 누나 朴秀晶, 그리고 낱아서 기르고 가르쳐주셨고 항상 바른길로 갈 수 있게 기원해 주시는 맹목적인 사랑의 소유자 河道任여사님 사랑합니다.

평생교육의 필요성을 뒤늦게 알고 배움의 길로 접어든 김상훈, 조현대, 강보현, 송태호, 조흥제, 김종구, 박미희, 현윤미 친구라는 버팀목이 되어주어 항상 든든하고 고맙다.

직장동료이자 때론 친구같은 정경조 학예연구사님, 이종훈 주무관, 논문 교정을 봐 주셨다며 자청하던 옆자리 동료인 이윤주 학예연구사님 교정 맡기

진 앓을 건데요 그래도 걱정해 주셔서 감사합니다.

마지막으로 항상 부족한 동생을 먼저 생각해 주시고 아껴주시는 전 부산정보
직업전문학교 컴퓨터과 교사 문순업 선생님께도 감사의 마음을 전하며 펜을 놓
습니다.

글을 적다보니 민원인들을 상대하거나 문화체육관광부 내부 망으로 누군
가에게 메일을 보낼 때 항상 마지막 글귀는 “감사합니다.”라고 끝내는데요
항상 저에게 주어진 일이나 상황들을 감사하게 여기자는 신념에서 온 것이며
이 말을 하거나 글을 쓰게 되면 저절로 미소짓게 되는 자신을 보게 됩니다.
그래서 이 중독성 강한 글귀의 사용은 내일도 계속됩니다.

“감사합니다.”



2014. 7.

박진호 올림