

능동형 자기센서의 송신출력 향상을 위한 송신기 설계에 관한 연구

정현주* · 양창섭 · 전재진

국방과학연구소 제6기술연구본부 국방해양기술센터, 경남 창원시 진해구 진해우체국 사서함 18호

(2013년 7월 29일 받음, 2013년 9월 29일 최종수정본 받음, 2013년 10월 2일 게재확정)

능동형 자기센서는 근거리에서 정확한 표적 탐지가 가능하지만 대상 표적 관점에서는 이러한 센서의 위협을 극복할 수 있는 마땅한 대항책이 없기 때문에 세계 각국의 수중유도무기에서 기폭신관용 센서로 널리 사용하고 있다. 하지만 근래에는 표적의 명중률 향상을 위한 목적으로 능동형 자기센서의 표적 탐지거리를 증대시키는 것에 대한 요구가 끊임없이 제기되고 있다. 표적 탐지거리를 증대시키는 방법 중의 하나는 송신기의 코어 형상 최적화를 통한 송신 코어의 자기소거인자를 최소화하고, 이를 통해서 송신기 출력을 향상시키는 것이다. 따라서 본 논문에서는 수중유도무기에 적용되는 능동형 자기센서의 송신출력 향상을 위한 송신기 코어 형상 설계와 관련하여 유한요소해석 및 실제 제작된 송신기를 대상으로 비교 시험을 수행하였고, 그 결과 송신기 코어의 형상은 송신 출력 향상에 매우 중요한 인자임을 확인하였다.

주제어 : 능동형 자기센서, 수중유도무기, 자기소거인자, 송신기 코어 형상

I. 서 론

현재까지 세계 각국의 수중유도무기에서 기폭 신관으로 활용되는 센서는 작동 원리에 따라 충격센서, 능/수동 음향센서 및 능/수동 자기센서 등이 있다. 이들 중에서 능동형 자기센서는 특정 주파수의 자기장을 발생시킨 후 표적 표면에서 발생하는 와전류(Eddy current)에 의한 2차 자기장을 탐지한다. 따라서 근거리에서 정확한 표적 탐지가 가능하지만 대상 표적 관점에서는 이러한 센서의 위협을 극복할 수 있는 마땅한 대항책이 없기 때문에 미국, 독일, 일본 등 세계 각국의 수중유도무기에서는 능동형 자기센서를 기폭신관용 센서로 널리 사용하고 있다[1-3].

능동형 근접자기센서의 표적 탐지거리 증대와 소형 표적 탐지를 위해서는 능동형 자기센서를 구성하는 송신기의 송신출력 향상과 수신기의 수신감도를 향상시키는 것이 필요하며, 이를 위해서는 송/수신기를 구성하는 코어의 형상 설계가 매우 중요하다. 특히, 송신기는 수중유도무기 체계의 몸체 후부에 장착되는데 이 경우, 장착 공간 등이 매우 제한적이므로 허용된 공간내에서 최대 효율을 낼 수 있도록 송신기를 설계해야 한다. 일반적으로 송신기는 송신 효율 증대를 위해서 고투자율을 가지는 자성체(이하 송신코어)에 코일을 권선하는 형태로 제작된다. 이러한 송신코어는 그 형상에 따라서 코어

내부에 형성되는 반자장 특성이 다르고, 이는 송신 출력과 밀접한 연관성을 가진다. 그러므로 송신 출력 극대화를 위해서는 제한적인 장착 공간내에서 송신 코어의 형상을 최적화하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 수중유도무기에 적용되는 능동형 자기센서의 송신출력 향상을 위한 송신기 코어 형상 설계와 관련된 해석 및 시험결과 등을 기술하였다.

II. 능동형 자기센서 동작 원리

수중유도무기에 적용되는 능동형 자기센서는 송신부와 수신부로 구성된다. 송신부는 특정 주파수의 교류자장을 발생시키기 위한 송신기(송신코일)와 송신기에 전류를 공급하기 위한 송신전원장치로 구성되고, 수신부는 표적 자기장을 유기전압 형태로 수신하기 위한 수신기와 수신 유기전압으로부터 표적신호를 탐지 및 식별하는 수신신호처리장치로 구성된다.

능동형 자기센서의 표적 탐지 개념을 간략히 살펴보면 다음과 같다. Fig. 1과 같이 송신코일에서 특정 주파수의 교류 자기장을 발생시키면 이로 인하여 전도성을 가지는 표적의 선체 표면에서는 맴돌이 전류 형태의 와전류(Eddy current)가 발생된다. 와전류는 변화하는 외부 자기장이 도체판 표면에 인가되면 외부 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 자기장을 발생시키기 위해 도체 표면에 유도되는 전류이다. 이 와전류에 의한 2차 자기장은 표적신호로서 아래 식(1)과 같이 Faraday 법칙에 의해서 탐지코일(search coil) 형태의 수신기에 유기전

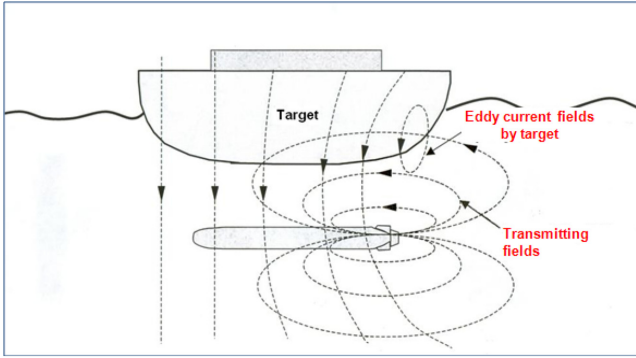


Fig. 1. (Color online) A target detection concept of the underwater guided weapon system using an active magnetic sensor.

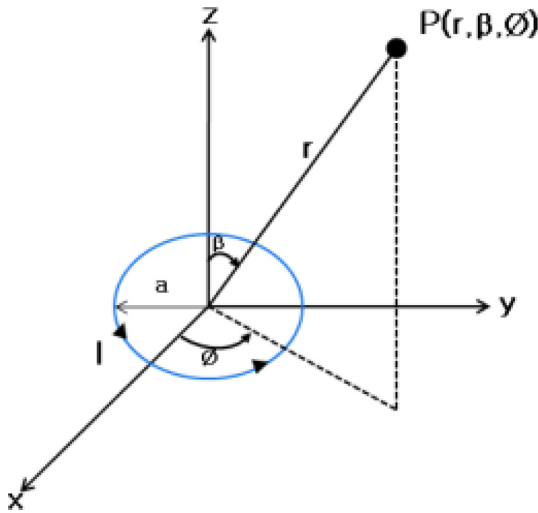


Fig. 2. (Color online) A small circular loop carrying current I.

압 형태로 수신된다[4-6].

$$emf = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

송신코어와 송신코일로 구성된 능동형 자기센서의 송신기는 표적(함정)의 크기에 비해서 상대적으로 매우 작으므로 점 자기다이폴(m)로 가정할 수 있다. 자기다이폴은 Fig. 2와 같이 미소 전류가 흐르는 원형루프로 정의되며, 자기다이폴로부터 임의의 점 $P(r, \beta, \phi)$ 에서의 자기장은 아래 식(2)과 같다 [8].

$$\vec{H} = \frac{m}{4\pi r^3} (2\cos\beta \vec{a}_r + \sin\beta \vec{a}_\beta) \quad (2)$$

여기서 \vec{a}_r 은 원형루프로부터 임의의 점 P 까지의 직선거리를 나타내며, \vec{a}_β 는 임의의 점 P 에서 \vec{a}_r 에 대한 수직방향을 나타낸다.

그리고 표적을 무한도체판으로 가정하면, 능동형 자기센서

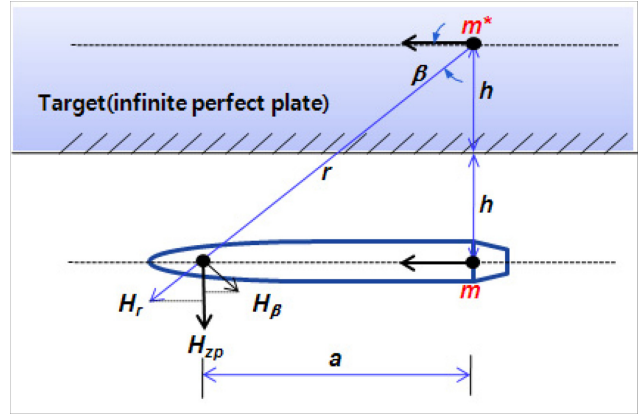


Fig. 3. (Color online) The magnetic field reflected by an infinite conducting plane.

수신부에서 측정되는 표적 자기장은 Fig. 3에 제시된 허상 (image) 자기다이폴을 통해 쉽게 설명될 수 있다. 허상 자기다이폴법을 도입하기 위해서는 먼저 표적이 완전 무한 평판 도체라는 가정이 전제되어야 한다. 우리가 대상으로 하는 표적의 선체는 일반적으로 철 혹은 알루미늄으로 제작된다. 철은 전도도가 5×10^5 S/m이고, 알루미늄은 전도도가 3.8×10^6 S/m로서 완전 도체라고 가정할 수 있을만큼 전도도가 매우 높다. 그리고 표적이 능동형 자기센서보다 매우 크다면 표적을 무한 평판으로 가정할 수 있다. 표적이 완전 무한 평판 도체일 경우, 송신기로부터의 자기장은 표적 표면에서 100% 반사된다. 그러므로 Fig. 3과 같이 표적 경계면을 기준으로 송신기와 대칭면에 허상 자기다이폴(m^*)이 존재한다고 가정하면, 허상 자기다이폴로부터의 자기장은 송신기로부터의 자기장과 동일하다. 그리고 허상 자기다이폴로부터 수신부에 도달되는 자기장을 식(2)로부터 각 방향 성분별로 정리하면 식(3)과 같다. 하지만 능동형 자기센서의 수신기에 유기되는 표적 자기장은 수직방향(Z 축) 성분이 지배적이므로 수신부에서의 Z 축 방향 자기장(H_z)을 계산하면 아래 식(4)와 같이 정리된다.

$$H_r = \frac{2m\cos\beta}{4\pi r^3}, H_\beta = \frac{m\sin\beta}{4\pi r^3} \quad (3)$$

$$H_z = H_r \cdot \sin\beta + H_\beta \cdot \cos\beta \quad (4)$$

식(4)를 다시 정리하면 아래 식(5)와 같이 간략히 표현된다. 참고로 여기서는 해수에 의한 감쇄특성은 고려하지 않았다.

$$H_z = \frac{6mah}{4\pi r^5} \quad (5)$$

위 식(5)에서 알 수 있듯이 자기다이폴 m 은 송신 자기장

신호원의 크기를 대표하는 인자이므로 표적 신호의 크기는 자기다이폴의 크기에 비례해서 증대된다. 송신기의 자기다이폴 모멘트는 아래 식(6)과 같다.

$$\vec{m} = \mu_a N I \vec{S} \quad (6)$$

여기서, μ_a 는 송신기 코어의 겉보기 상대투자율(apparent relative permeability), N 은 송신기 코일 권선수, I 는 코일 전류 그리고 S 는 송신코어의 단면적이다. 또한, 송신코어의 겉보기 상대투자율은 아래 식(7)과 같이 정의된다.

$$\mu_a = \frac{\mu_r}{1 + N_d(\mu_r - 1)} \quad (7)$$

여기서, μ_r 은 송신코어의 상대투자율, N_d 는 송신코어의 자기소거인자(demagnetizing factor)이다. 코어 내부의 반자장에 의해서 발생하는 자기소거인자는 송신코어의 형상에 따라서 결정되고, 단축에 대한 장축의 비가 적을수록 코어의 겉보기 상대투자율이 감소된다. 그러므로 동일한 코일턴수와 코일전류 조건에서 송신기의 자기다이폴모멘트를 증대시키기 위해서는 송신코어의 자기소거인자 최소화를 통해서 코어의 겉보기 상대투자율을 극대화시켜야 한다. 능동형 자기센서에 적용되는 송신코어와 같이 막대자석 형태를 가지는 코어는 자기소거인자를 해석적으로 계산하는 것이 매우 어렵지만 타원체의 경우 아래 식(8)와 같이 근사적인 계산이 가능하다[4-7].

$$N_d \approx \frac{D_c^2}{l_c^2} \left(\ln \frac{2l_c}{D_c} - 1 \right) \quad (8)$$

여기서, D_c 는 코어의 직경, l_c 는 코어의 길이이다. 식(6), (7), (8)로부터 알 수 있듯이 자기소거인자를 최소화하기 위해서는 동일한 부피의 코어라 할지라도 코어의 단면적 대비 길이의 비가 크도록 설계하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다. 이를 바탕으로 능동형 자기센서의 송신기 코어 형상에 따른 자기다이폴모멘트 계산결과는 다음장에서 기술하였다.

III. 송신기 코어 설계

수중유도무기에 사용되는 근접자기센서의 송신기는 퍼멀로이(permalloy) 혹은 아몰퍼스(amorphous)와 같이 고 투자율을 가지는 자성체로 제작된 송신코어 외부에 동선을 권선한 형태로 제작되며, Fig. 4와 같이 수중유도무기의 추진후부에 막대 형태로 장착된다. 따라서 본 논문에서는 Table I과 같이 현재 대상으로 하고 있는 수중유도무기의 추진후부에 장착 가능한 구조의 송신기 4종을 대상으로 앞서 언급된 타원체 자기소거인자 계산 기법과 유한요소 해석 기법을 통해서 송신코어 형상에 따른 송신기의 출력 특성을 상세히 비교/분석하

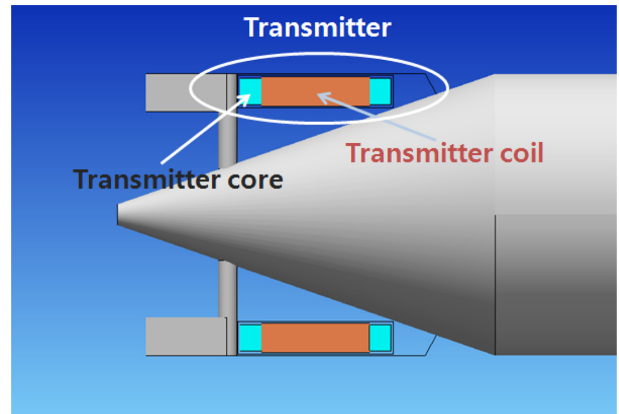


Fig. 4. (Color online) A transmitter equipped on the underwater guided weapon system body.

Table I. Transmitter core specification used for transmitting output power comparison.

Transmitter	Core size (length × width × height) mm	Core cross sectional area (m ²)	Core volume (m ³)
1	220 × 48.8 × 19	9.27 × 10 ⁻⁴	2.04 × 10 ⁻⁴
2	250 × 40.0 × 19	7.60 × 10 ⁻⁴	1.90 × 10 ⁻⁴
3	270 × 34.4 × 19	6.54 × 10 ⁻⁴	1.76 × 10 ⁻⁴
4	284 × 30.0 × 19	5.70 × 10 ⁻⁴	1.62 × 10 ⁻⁴

였다.

먼저 송신기 4종을 대상으로 타원체 자기다이폴 계산 기법을 이용하여 각각의 송신기에 대한 자기소거인자, 겉보기 상대투자율 및 등가 자기다이폴모멘트를 계산하였다. 능동형 자기센서의 송신코어 형상은 직육면체로서 타원체는 아니지만 코어의 단면적으로부터 타원체의 직경을 등가적으로 계산하고, 코어의 길이는 타원체 장축의 길이와 동일하다는 가정하에 송신코어의 자기소거인자, 겉보기 상대투자율 및 등가 자기다이폴모멘트를 식(6), (7) 및 (8)을 이용하여 개략적으로

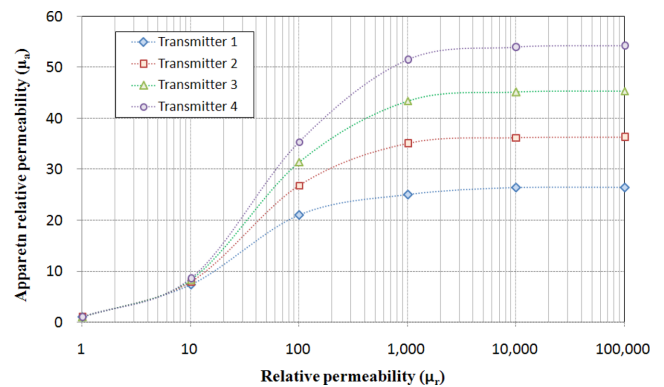


Fig. 5. (Color online) Apparent relative permeability, which is calculated with equation 7 and 8, versus relative permeability of transmitter core at the transmitter of different shape.

Table II. Demagnetizing factor, apparent relative permeability, and equivalent magnetic dipole moment at different transmitter when coil winding turns are 150, coil current is 10 A_{pk}, and relative permeability of core is 1,000.

Transmitter	Demagnetizing factor	Apparent relative permeability	Equivalent magnetic dipole moment [Am ²]
1	0.0378	26.4	35.5
2	0.0275	36.2	40.0
3	0.0220	45.2	42.8
4	0.0184	54.0	44.6

계산하였다. Fig. 5는 송신기 코어 형상과 코어의 상대투자율에 따른 코어의 겉보기 상대투자율 계산 결과를 보여준다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 모든 송신기에 있어서 코어 재질의 상대투자율 증가와 함께 코어의 겉보기 상대투자율도 함께 증가하는 경향을 보였다. 하지만 상대투자율 1,000 이상에서부터는 겉보기 상대투자율 증가 폭이 매우 미미함을 알 수 있다. 이는 막대자석 형태의 송신기의 경우에는 내부 반자장으로 인하여 투자율 증대만으로 송신기 코어의 겉보기 상대투자율을 증대시키는 데는 한계가 있음을 보여주는 결과이다.

Table II는 송신기의 코일 권선수는 150턴, 코일 전류는 10 A_{pk}, 코어의 상대투자율은 1,000인 조건에서 송신기 코어 형상에 따른 코어의 자기소거인자, 겉보기 상대투자율 및 송신기 등가 자기다이폴 계산 결과를 비교한 Table이다. 계산 결과를 살펴보면 4번 송신기의 경우, 코어의 체적은 1번 송신기에 비해서 대략 20 % 작다. 하지만 코어의 겉보기 상대투자율은 1번 송신기 코어에 비해서 2배 이상이다. 이는 4번 송신기 코어의 자기소거인자가 1번 송신기 코어 대비 50 % 수준으로 작기 때문이다. 따라서 1번 송신기에 비해서 코어의 단면적은 62 % 수준으로 작음에도 불구하고 등가 자기다이폴의 크기는 1번 송신기에 비해서 대략 26 % 이상 크다. 그러므로 송신기의 설계 및 제작에 있어서 송신코어의 형상을 해당 시스템이 허용하는 범위 내에서 최적화하여 코어의 자기소거인자를 최소화하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

송신기의 코어 형상에 따른 좀 더 상세한 송·수신 출력 특성을 살펴보기 위해서 유한요소 해석에 기반한 정밀 3차원 전자기장 해석 모델을 제작하였다. 유한요소 해석 모델은 Fig. 6과 같이 알루미늄 재질의 가상 표적(5 m × 10 m × 1 m)과 송신기 및 수신기를 포함한다. 해석 시 사용된 수신기의 개략적인 체원은 코어 직경은 10 mm이고, 길이는 150 mm이며, 재질은 페라이트이다. 그리고 코일 권선수는 6,000 턴으로 가정하였다. 송신기의 코어 형상은 Table I과 동일한 조건으로 가정하였고, 코일 권선수와 구동 전류는 150회의 권선과 10 A_{pk}로 가정하였다. 그리고 코어의 상대투자율은 우리가 사용하고자 하는 permalloy나 amorphous 재질의 경우, 상대투자

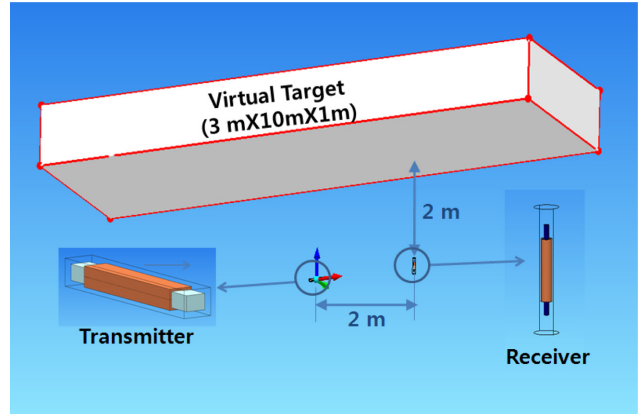


Fig. 6. (Color online) Geometrical model for FEM analysis.

Table III. Comparison of magnetic dipole moment and receiving signal voltage at different transmitter using finite element method.

Transmitter	Magnetic dipole [Am ²]	Receiving signal voltage [mV]
1	38.8	12.0
2	47.0	13.9
3	51.2	15.1
4	53.3	15.6

율이 최소 1,000 이상이고, Fig. 5에서 알 수 있듯이 상대투자율 1,000 이상에서는 코어의 겉보기 상대투자율 증가가 매우 미미하므로 유한요소 해석 시, 상대투자율은 1,000으로 가정하였다. 유한요소 해석은 캐나다 Infolytica사의 3차원 전자기장 해석도구 Magnetic V7을 이용하였다.

이렇게 제작된 3차원 전자기장 해석 모델을 대상으로 각 송신기의 자기다이폴 크기와 수신코일에 유기되는 수신신호의 크기를 계산하면 아래 Table III과 같다. Table III에서 알 수 있듯이 Table II와 유사하게 4번 송신기의 자기다이폴이 가장 큼을 알 수 있었고, 수신기의 수신전압도 4번 송신기를 적용한 경우가 가장 큼을 알 수 있었다. 해석 결과를 좀 더 상세히 살펴보면 4번 송신기의 경우가 1번 송신기 대비 자기다이폴 크기 측면에서는 대략 34 %, 수신신호 측면에서는 대략 30 % 정도 우수하였다. 이러한 결과로부터 송신코어 형상은 송신출력 개선과 매우 밀접한 관련이 있다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다.

그리고 유한요소 해석을 통해서 종축 방향 코어 중심에서의 내부 자속 밀도를 살펴보면 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 코어의 내부 자속 밀도는 4번 송신기 코어의 경우가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 4번 송신기의 경우, 코어의 자기소거인자가 가장 작으므로 코어 내부에서의 반자장이 가장 작고, 코어 내부 자기장은 다른 송신기에 비해서 가장 크다. 반면 코어의 단면적은 가장 작으므로 코어 내부에서의

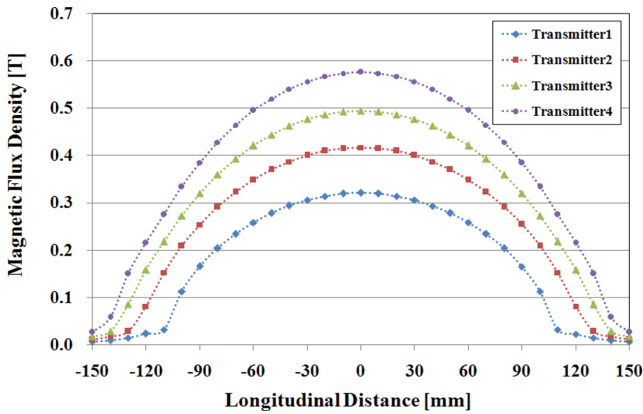


Fig. 7. (Color online) Magnetic flux density comparison at the center of transmitter core in the longitudinal direction.

자속밀도가 가장 크게 된다. 따라서 4번 송신기를 수중 운동체 능동형 자기센서에 적용한다면, 예상되는 코어 내부의 최대 자속밀도가 0.58 T이므로 코어 내부의 자속 포화를 방지하기 위해서는 최대 포화자속밀도가 0.6 T 이상인 재질을 송신기 코어 제작에 사용하여야 한다.

IV. 시험방법 및 결과

코어 형상에 따른 송신기의 송신출력 특성을 확인하고, 유한요소 해석결과와 비교하기 위한 목적으로 형상이 상이한 2종의 코어를 대상으로 송신기를 제작하여 출력 특성을 비교하였다. 송신출력 특성 시험을 위한 시험장비 구성은 아래 Fig. 8과 같다. 특정 주파수의 교류 자장 인가가 가능한 송신 전원장치를 사용하여 송신기의 송신코일에 전류를 인가하였고, 송신전원장치로부터 송신기에 인가되는 전류는 Tektronics사의 전류 프루브(TCP305)를 이용하여 측정하였다. 그리고 송신기로부터 발생하는 자기장은 시험대상 송신기로부터 1.35 m 이격된 거리에서 기준센서(영국 Bartington사, Mag639)를 이용하여 측정하였다. Fig. 9는 능동형 자기센서의 송신기 출력 특성 시험 장면을 보여준다.

Table IV는 시험에 사용된 송신기의 제원을 보여준다. 유한요소 해석 결과, 출력 특성이 가장 나쁜 1번 송신기와 출력

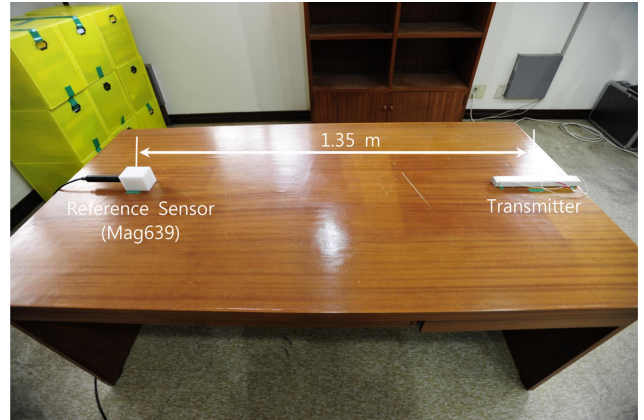


Fig. 9. (Color online) Output field measurement view from a transmitter.

Table IV. Specification of the transmitter for output field measurement.

	Transmitter 1	Transmitter 4
Core size	(220 × 48.8 × 19) mm	(284 × 30 × 19) mm
Coil winding turns	150	150
Driving current [A _{pk}]	10	10

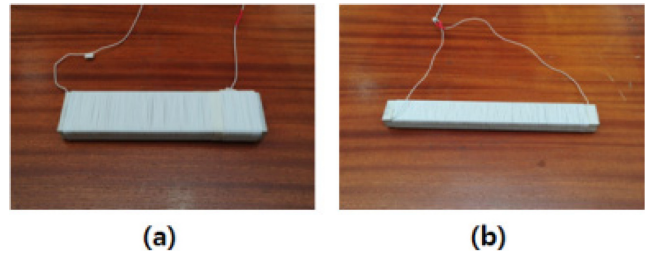


Fig. 10. (Color online) Transmitters fabricated the output field measurement. (a) Transmitter 1 (Core size is 220 mm × 48.8 mm × 19 mm), (a) Transmitter 4 (Core size is 284 mm × 30.0 mm × 19 mm).

특성이 가장 우수한 4번 송신기를 대상으로 Amorphous 재질 (2605SA1)을 사용하여 코어를 제작하였다. 송신기의 코일 권선수와 구동 전류는 유한요소 해석 조건과 동일하게 권선수는 150 턴, 구동전류는 10 A_{pk} 조건에서 시험을 수행하였다. Fig. 10은 실제 시험에 사용된 송신기의 사진을 보여준다.

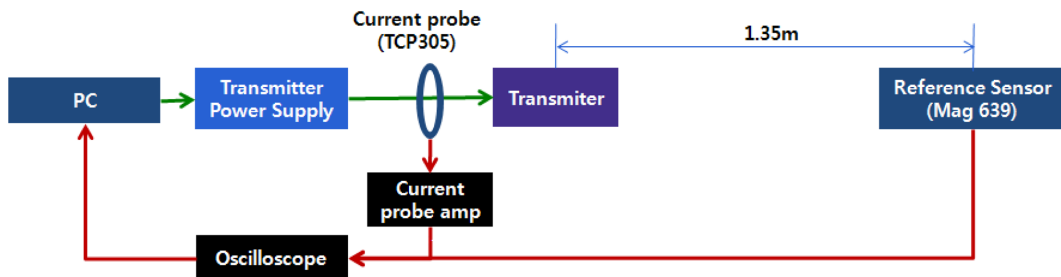


Fig. 8. (Color online) A experimental setup for output field measurement from a transmitter.

Table V. Magnetic flux density measured by experiment and calculated by FEM analysis, and electrical power consumption between transmitter 1 and transmitter 4.

Transmitter	Magnetic field [$\mu\text{T}_{\text{pkpk}}$]		Electrical power consumption [W]
	Measurement	FEM analysis	
Transmitter 1	6.56	6.45	140
Transmitter 4	8.91	8.80	120

Table V는 시험대상 송신기로부터 1.35 m 이격된 거리에서 측정된 자기장과 유한요소 해석 결과를 비교한 Table이다. Table V에서 알 수 있듯이 동일한 기저력 조건에서 송신기 4번이 송신기 1번 대비 송신 출력 측면에서 대략 36% 더 우수함을 알 수 있었다. 이는 Table III의 유한요소 해석 결과로부터 확인한 수신신호 크기 비와도 비슷하다. 그리고 소모 전력은 4번 송신기가 1번 송신기보다 오히려 15% 작음을 확인할 수 있었다. 이는 4번 송신기의 경우는 1번 송신기 대비 코어 단면적 감소로 인하여 동일한 턴수로 권선을 하더라도 권선되는 선의 길이가 송신기 1번 대비 대략 28% 정도 감소한다. 송신코어에 권선되는 코일의 길이 감소는 송신 코일의 동손(copper loss)을 감소시키는 효과가 있으므로 송신기 4번의 소모전력이 송신기 1번보다 작은 요인중의 하나로 판단된다. 유한요소 해석결과와 시험결과와의 오차는 대략 2% 이내였다.

Fig. 11은 4번 송신기를 대상으로 코일 기저력에 따른 자기다이폴모멘트를 측정된 결과이다. 이는 4번 송신기의 최대 가능 출력을 실험으로 확인해보기 위한 목적으로 수행되었다. 자기다이폴모멘트 측정 방법은 다음과 같다. 자기다이폴(송신기)로부터 일정거리(r) 이격된 곳에서의 자기장은 아래 식(9)에 의해서 계산된다.

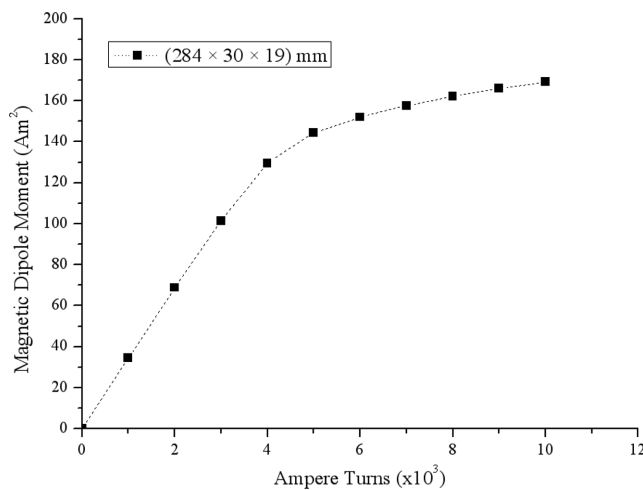


Fig. 11. Magnetic dipole moment versus magnetomotive force for transmitter 4.

$$\vec{B}(r) = -\frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{\vec{m}}{r^3} + \frac{3(\vec{m} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5} \right] \quad (9)$$

능동형 자기센서에 적용된 막대자석 형태의 송신기는 종축 방향 자기다이폴 성분(m_x)이 지배적이고 다른 성분은 거의 0에 가까우므로 무시할 수 있다. 그리고 송신기와 측정센서가 Fig. 8과 같이 일정한 이격거리를 두고 종축방향에서 일직선으로 정렬되면, 횡축 및 수직 방향 자기장 성분은 각각 서로 상쇄되므로 측정센서에는 종축방향 자기장(B_x)만이 측정된다. 따라서 식(9)는 아래 식(10)과 같이 간략화 된다.

$$B_x = -\frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{2m_x}{x^3} \right) \quad (10)$$

따라서 송신기의 자기다이폴모멘트(m_x)는 측정된 종축방향 자기장(B_x)으로부터 식(10)을 이용하여 역으로 계산할 수 있다. Fig. 11에서 기저력 증대에 따른 자기다이폴 크기를 살펴보면, 기저력 4,000 AT까지는 코일의 기저력 증대와 함께 자기다이폴모멘트의 크기도 함께 증가한다. 하지만 4,000 AT 이후에는 그 크기의 증가가 둔화되기 시작하는 것을 확인할 수 있다. 이는 송신기 코어 제작에 사용된 Amorphous(2605SA1) 코어의 포화자속 밀도(대략 1.3 T~1.5 T)와 관련이 있는 것으로 판단되어 유한요소 해석도구를 이용하여 기저력 4,000에서의 코어 내부 자속밀도 분포를 해석하였다. Fig. 12는 기저력 4,000에서의 4번 송신기 코어 중심에서의 종축방향 자속 밀도 분포를 해석한 결과로서, 코어 내부의 최대 자속밀도는 대략 1.4 T 이상이다. 따라서 송신기 코어가 Armophous 재질의 최대 포화자속밀도 영역에 도달하고 있으므로 기저력 4,000 이상에서는 자기다이폴모멘트의 증가가 급격히 둔화되기 시작하는 것이다. 만일 송신기 코어의 포화영역 이상까지 기저력을 계속 증대시키면 송신기의 인덕턴스 감소를 가져오

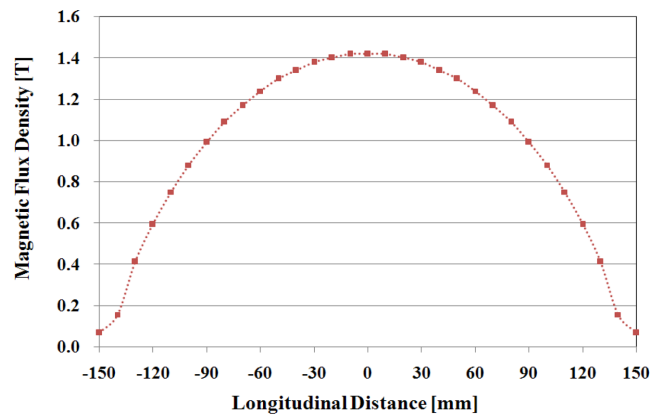


Fig. 12. (Color online) Magnetic flux density at the center of transmitter core in the longitudinal direction when magnetomotive force of transmitter 4 is 4,000 AT.

고, 인덕턴스 감소로 인한 송신기의 전기적인 부하 임피던스 감소는 송신기 코일에 과전류를 발생시킬 수 있다. 이는 송신전원장치 내에 장착된 스위칭 반도체 소자를 소손시키는 결과를 초래한다. 따라서 시험결과로부터 4번 송신기의 경우, 기자력 4,000 AT까지는 송신 출력을 무난히 증대시킬 수 있고, 이때의 자기다이폴 크기는 대략 130 Am²이다.

V. 결 론

본 논문에서는 수중유도무기에 적용되는 능동형 자기센서의 송신 출력 향상을 위한 송신 코어의 형상 최적화와 관련된 연구 및 시험결과 등을 기술하였다. 송신기의 형상에 따른 송신출력 특성 비교 시험을 수행한 결과, 동일한 기자력 조건에서 송신 코어의 부피당 코어 단면적이 가장 작은 송신기 4번의 경우가 송신기 1번 대비 송신 출력이 대략 36% 수준까지 증대시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서 수중 유도 무기에 적용되는 능동형 자기센서의 송신코어 형상은 송신 출

력 특성 향상에 매우 중요한 인자임을 확인하였으므로, 적용 대상 무기체계의 송신기 장착 가능 공간을 고려하여 송신기 코어 형상을 최적화할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Official Website of the UNITED STATES NAVY <<http://www.navy.mil>>.
- [2] Wikipedia, Topedo <<http://en.wikipedia.org/wiki/Torpedo>>.
- [3] Sanagapallea Koteswara Rao, Def. Sci. J. **41**, 157 (1991).
- [4] 김종호, 손대락, 한국자기학회지 **20**, 178 (2010).
- [5] Dieter G. Lukoschus, IEEE Trans. on Geoscience Electronics **17**, 56 (1979).
- [6] C. Coillot, J. Moutoussamy, R. Lebourgeois, S. Ruocco, and G. Chanateur, IEEE Sensors Journal **10**, 255 (2010).
- [7] David Jiles, Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, 2nd ed., Chapman & Hall/CRC, NW (1998) pp. 48~53.
- [8] DAVID K. CHENG, 2nd ed., Addison-Wesley, New York (1989) pp. 239~243.

A Study on the Transmitter Design for Transmitting Output Power Enhancement of Active Magnetic Sensor

Hyun-Ju Chung*, Chang-Seob Yang, and Jae-Jin Jeon

Advanced Naval Technology Center, Agency for Defense Development, Jinhae P. O. Box 18 Changwon 645-600, Korea

(Received 29 July 2013, Received in final form 29 September 2013, Accepted 2 October 2013)

A active magnetic sensor has been widely used in the underwater guided weapon system because it is able to detect a target accurately in close range, but the target doesn't have any good countermeasure to overcome the threat from the active magnetic sensor. Recently, in order to increase the damage area of target by shock wave with explosion of the underwater weapon system and to detect small target, the maximum target detection range of the active magnetic sensor needs to be increased. One method for improving maximum target detection range is to improve output power from transmitter through demagnetization factor minimization of a transmitting core. Thus, in this paper, we describe the study results on the transmitter core shape design to enhance output power of the active magnetic sensor.

Keywords : active magnetic sensor, underwater guided weapon system, demagnetization factor, transmitter core shape design