

소나 송신기의 회전 송신빔 구동을 위한 효율적인 출력 제어 기법 연구

A Study on Effective Output Control Technique for Rotational Transmission Beam Drive of Sonar Transmitter

이병화

(Byung-Hwa Lee)

국방과학연구소

(접수일자: 2012년 4월 10일; 수정일자: 2012년 5월 17일; 채택일자: 2012년 5월 27일)

초 록: 본 논문은 능동 소나 송신기의 효율적인 회전 송신빔 구동을 위하여 부하인 원통형 배열센서의 회전 방위별 동적 임피던스 특성을 실험적으로 분석하고 최대 전력이 부하에 효과적으로 전송되도록 송신기의 출력을 실시간으로 제어하는 기법에 관한 연구이다. 회전 송신빔 구동시, 전기적, 음향적 경계조건에 의해 발생하는 과부하 조건에서 배열센서의 실시간 임피던스 변화와 송신기의 출력 저동 특성을 분석하였다. 그 결과로부터 과도 특성에서도 송신 중단 없이, 송신기와 부하를 보호하면서 송출되는 전력량을 최대화할 수 있는 새로운 송신 출력 제어 기법을 제안하고 실험을 통하여 제안된 기법을 검증하였다.

핵심용어: 능동 소나 시스템, 회전 송신빔, 배열센서, 송신기, 송신 출력 제어

투고분야: 수중음향 분야(5.6)

ABSTRACT: This paper presents a study on the experimental analysis of the impedance characteristics according to the rotational direction of the transmission beam of a cylindrical sensor array. Besides, this suggests a real time control technique of the transmitter output for the effective maximum power transmission, in order to drive efficiently the rotational transmission beam of the active sonar transmitter. The output characteristics of the transmitter and the real-time impedance variations of the sensor array are analyzed under the overload conditions. They are caused by electric and acoustic boundary conditions when the rotational transmission beam is operated. From these results, a new output control method of the transmitter is proposed to protect the transmitter and its loads. It can maximize the output power without the transmission pause even if the transient phenomena occur. The proposed technique is verified from the experiment.

Key words: Active sonar system, Rotational transmission beam, Sensor array, Transmitter, Transmission output control

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.6)

1. 서 론

최근 능동 소나 시스템은 수중 세력에 대한 탐지 성능 향상을 위한 일환으로 음향 출력 증대, 송신빔 안정화 및 수직빔 지향 능력 등이 요구되어지고 있다. 특히, 이를 실현하기 위한 방안으로 능동 소나 시스템에 개별 채널 송신 방식이 적용되고 있어 배열

센서 및 소나 송신기의 채널수가 크게 증가되는 추세에 있다. 이러한 다채널의 배열센서를 개별 채널로 구동하기 위해서는 소나 송신기의 연동 조건으로 배열센서의 임피던스 특성이 명확히 규정되어야 한다^[1]. 송신기의 송출 특성은 부하인 배열센서의 전기적 임피던스 특성에 의해 크게 좌우되기 때문이다^[2,3]. 일반적으로 배열센서는 센서가 장착된 배열 구조물과 소나돔 등의 영향으로 채널간 임피던스 편차가 발생하며, 인접 센서간의 음향적, 전기적 경계

*Corresponding author: 이병화 (lbh0619@add.re.kr)
645-016 경남 창원시 진해구 현동 19번지 국방과학연구소
(전화: 055-540-6328; 팩스: 055-542-3737)

조건에 의해 그 편차는 크게 증가할 수 있다^[4]. 이러한 임피던스 편차는 배열센서를 구동하는 송신기의 송신빔 형성 방식에 따라 송신기의 출력 특성에 과전압 또는 과전류 등의 부정적인 영향을 초래할 수 있어, 능동 소나 시스템의 탐지 성능 저하나 송신기 및 배열센서의 고장 발생 원인으로 작용할 수 있다^[5-7].

그동안 배열센서의 임피던스 해석을 위한 다양한 이론적인 연구가 진행되었으며, 특히, 배열센서 상호간의 전기적, 음향적 간섭에 따른 임피던스 특성 변화에 대한 연구 분야는 능동 소나 시스템의 성능 향상에 크게 기여하였다. 그러나 회전 송신빔 형성을 위하여 채널간 송신 신호의 위상 지연이 서로 다르게 인가되고 송신빔 회전에 따라 그 지연값이 실시간 변화되는 경우에 대한 배열센서의 근거리 음향 특성 해석과 임피던스 특성 연구 결과는 많이 보고되지 않았다. 다양한 송신빔 운용이 요구되는 능동 소나 시스템에서 송신기의 효율적인 운용을 위해서는 회전 송신빔 구동에 따른 배열센서의 임피던스 특성이 명확히 규정되어야만 한다.

한편, 다채널의 배열센서를 구동하는 기존의 아날로그 또는 디지털 방식의 소나 송신기는 구현의 용이성과 시스템 안정도를 고려하여 부하에 인가되는 출력 전압 및 전류 신호에 대한 피드백 제어 없이, 정전압 또는 정전류 구동 방식으로 운용되어 왔으나, 부하의 임피던스 편차에 따라 그 출력 특성이 민감하다는 단점이 있었다^[4]. 이러한 문제점을 해소하기 위한 방안으로 출력 신호에 대한 능동적인 피드백 제어 기법이 적용된 구동 방식이 운용되어 왔다. 그러나 시스템 안정도를 좌우하는 고속의 출력 검출 회로와 제어 알고리즘 등 정밀하고 복잡한 기술이 요구되고, 부하 임피던스 편차가 큰 경우에는 제어 특성에 대한 제한사항이 많아 채널수가 비교적 작은 소규모 능동 소나 시스템에 국한하여 사용되었다. 따라서, 다채널의 배열센서를 개별 채널 구동하는 능동 소나 시스템에 대하여, 안정적인 회전 송신빔 형성과 최대 전력 송출이 가능한 효과적인 송신기 출력 제어 기법이 요구된다^[8].

본 논문에서는 지향성 송신빔 구동에 따른 원통형 배열센서의 회전 방위별 임피던스 특성과 송신기의 출력 거동 특성을 실험적으로 분석하고 그 결과를

제시하였다. 이로부터 회전 송신빔 구동시 송신기의 과부하 조건을 도출하고 배열센서를 효율적이고 안정적으로 구동하기 위한 송신기의 실시간 출력 제어 기법을 제안하였으며, 실험을 통하여 그 기법을 검증하였다.

II. 회전 송신빔 구동에 따른 배열센서 및 송신기 특성

원통형 배열센서에 적용되는 능동 소나 시스템의 송신빔 형성 방식은 여러 가지가 있으나, 동위상의 송신 신호를 전체널에 동시 인가하여 무지향 송신하는 그림 1(a)의 전방향 방사(OMNI: OMNI-Directional Transmission)와 채널간 위상 지연을 통해 120° 간격으로 지향 방위를 설정하는 그림 1(b)의 3중방향 회전방사(TRDT: Tri-Rotational Directional Transmission) 방식이 있다. 그림 1에서 가운데 원은 원통형 배열센서를 나타내며, 트랜스듀서의 물리적인 진동에 의하여 생성되는 수중에서의 음향 송신빔은 점선으로 나타내었다. 특히, 회전 방사 방식은 높은 송신 음압을 전방위로 빠른 시간에 송출할 수 있다는 장점이 있어 대부분의 능동 소나에서 운용되고 있으며, 120° 간격으로 형성된 3개의 송신빔이 송신 구간 동안 스테이브(stave)를 따라 지정된 간격으로 회전하는 방식이다. 이 경우, 배열센서 각 채널별 송신 신호는 지향 방위별로 다른 위상 지연값을 갖게 되므로 배열센서의 전기적, 음향적인 경계 조건이 송신 방위에 따라 변하게 되어 전방향 방사시보다 채널별 임피던스 특성이 더욱 복잡한 형태로 나타날 수 있다.

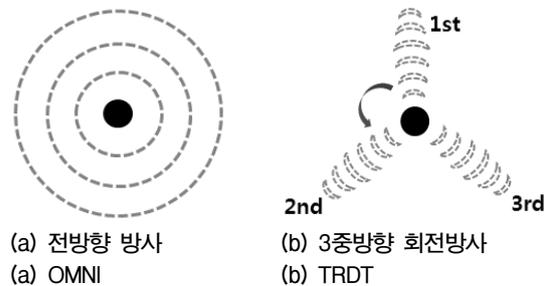


그림 1. 원통형 배열센서의 송신빔 형성 방식
Fig. 1. Transmission beam forming methods of cylindrical sensor array.

배열센서의 세부적인 임피던스 특성 변화를 분석하기 위하여 그림 2와 같이 소나돔이 포함된 배열센서, 다채널 송신기, 고전압공급기 및 검증/계측장비로 실험 장비를 구성하였다. 고전압공급기는 다채널 송신기의 출력 전압이 약 445 V_{rms}가 되도록 270 V_{dc}로 설정되었다. 64×5채널로 구성된 원통형 배열센서에 다채널 송신기로부터 생성된 전방향 방사와 회전 방사 송신빔을 규정된 송신주파수로 구동하고, 송신기 내부에 장착된 전압 및 전류 센서로부터 검출된 출력 신호를 검증/계측장비로 측정하여 임피던스 특성을 분석하였다.

특히, 회전 송신빔이 송신 펄스 주기마다 약 5.6° 간격으로 회전함에 따라 송신 구간 동안 임의의 채널에 대한 임피던스 변화와 출력 전압 및 전류 거동 특성을 그림 3에 나타내었다. 점선으로 나타낸 전방향 방사시의 임피던스 특성은 송신 구간 동안 크기와 위상이 각각 약 1070 ohm, 약 -61°로 변화가 거의 없는 반면, 22개의 지향방위로 회전하는 송신빔 형성을 위한 개별 송신 펄스의 임피던스는 전방향 방사시보다 임피던스 크기가 약 31%, 위상은 약 45%까지 변화함을 알 수 있다. 또한, 송신빔이 회전함에 따라 출력 전압은 약 445 V_{rms} ± 8% 이내로 유지되는 반면, 출력 전류는 지향방위별 임피던스 특성에 기인하여 약 0.48 A_{rms} ± 23%까지 변화함을 확인하였다.

이에 대한 세부적인 분석을 위하여 송신빔 구동에 따른 배열센서의 전채널 임피던스 크기 및 위상 특성 분포를 그림 4-7에 나타내었다. 그림에서 임피던스 크기와 위상이 클수록 흰색으로, 작을수록 검은색으로 표시하였다. 그림 4는 전방향 방사시의 임피던스 패턴으로 전채널의 임피던스 크기는 약 ±17%, 위상은 약 ±19%의 편차 특성을 나타내었다. 이러한

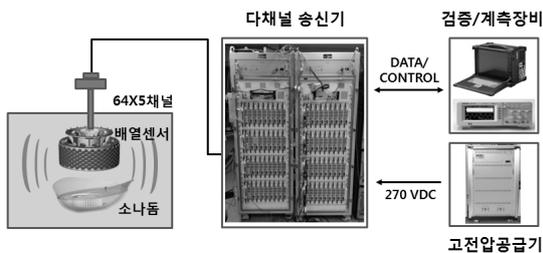


그림 2. 송신빔 구동 실험 구성도
Fig. 2. Test block diagram for driving the transmission beams.

편차 특성은 배열센서에 장착되는 소나돔과 배열구조물의 음향적인 간섭에 의한 것으로 판단된다. 그림 5는 회전 송신빔 구동시, 첫 번째 송신빔의 지향각이 0°(선수 방위), 나머지 송신빔이 120° 및 240° 부근에 위치할 때의 임피던스 패턴으로 특정 방위의 채널에서 전방향 방사시보다 임피던스 크기가 크게

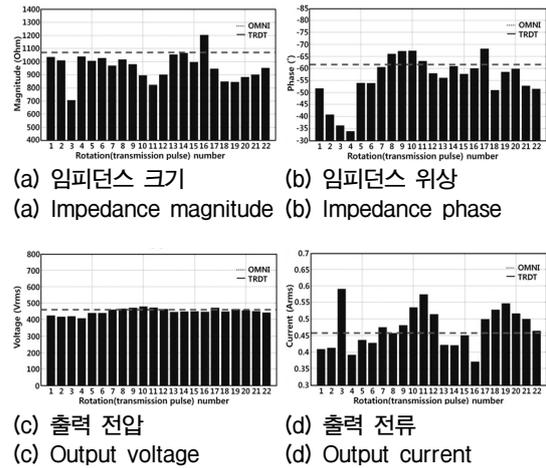


그림 3. 송신빔(전방향 방사, 3중방향 회전방사) 구동에 따른 임의의 채널에 대한 임피던스 및 송출 특성 변화 예

Fig. 3. Examples of impedance and transmission characteristics variation for any channel by transmission beams (OMNI and TRDT).

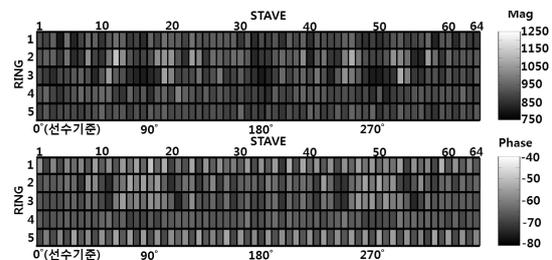


그림 4. 전방향 방사시 임피던스 패턴
Fig. 4. Impedance pattern by OMNI transmission beam.

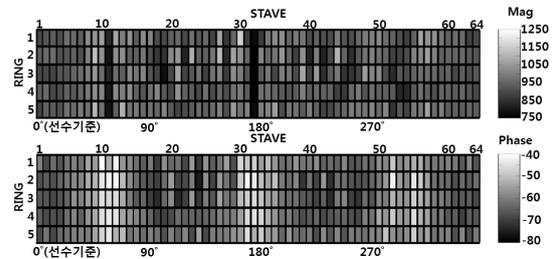


그림 5. 3중방향 회전방사시 임피던스 패턴(0° 방위)
Fig. 5. Impedance pattern by TRDT transmission beam (0°).

감소하거나 위상이 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, 3개의 송신빔간 경계 영역에 해당하는 11번, 32번 스테이브의 임피던스는 그 크기가 약 750 ohm으로 전방향 방사보다 약 6.5% 감소되는 특성을 보였고, 위상은 약 -40°로 전방향 방사시의 최대 위상보다 약 20% 증가되는 경향을 나타내었다. 이러한 특성은 그림 6, 그림 7과 같이, 송신빔들이 45°, 90°로 회전하는 경우에도 유사한 경향들이 발생함을 확인할 수 있다.

이러한 임피던스의 변화는 회전 송신빔의 지향방위가 변화할 때마다 송신빔간 경계부분에 해당되는 채널에서 심각하게 발생하게 된다. 이 경우, 해당 채널을 구동하는 소나 송신기는 부하의 큰 임피던스 변화 영향을 받게 되고, 송신빔이 회전함에 따라 전 채널의 송신기에서 동일한 영향을 받게 된다. 따라서 회전 송신빔 구동에 따라 배열센서를 구동하는 송신기의 출력 편차는 증가되며, 송신빔간 경계 영역에 해당되는 채널에서는 과전압, 과전류 등의 과도 출력 특성이 발생될 수 있다. 이러한 특성은 해당 채널을 구동하는 송신기의 송신 중단 또는 고장을 초래할 수 있으며, 이를 물리적으로 해결하기 위해서는 과도한 전력 용량의 송신기 설계가 요구될 수

밖에 없다. 그러므로 급격한 부하 변화 조건에서도 회전 송신빔을 안정적으로 구동하기 위한 소나 송신기의 효과적인 출력 제어 기법이 필요하다.

III. 제안된 소나 송신기의 출력 제어 기법

본 논문에서는 소나 송신기의 효과적인 출력 제어를 위하여 회전 송신빔 구동에 따라 송신빔간 경계 영역에 해당되는 채널에서 규정값 이상의 과전류 발생시, 규정된 시간 동안 송신기의 출력 레벨을 조절하고, 출력 상태가 안정화되면 다시 정상적인 출력 레벨로 복귀하도록 하는 새로운 기법을 제안하고자 한다. 이 기법은 정상적인 구동 채널에 대해서는 출력 레벨 감소 없이 고출력 구동을 유지하면서 과전류 발생 채널의 출력만을 조절하게 되므로, 전체적인 송출 전력량 감소를 최소화할 수 있는 장점이 있다. 이러한 기법을 적용하기 위해서는 과전류 신호에 대한 규정값 설정이 필수적이다.

부하의 임피던스 분포에 따른 송신기의 출력 특성을 분석하고 과전류를 규정하는 차단 경계값 도출을 위하여 II장에서 측정된 송신빔 구동에 따른 배열센서 임피던스와 송신기의 출력 전압, 전류 및 전력 분포를 그림 8과 같이 극좌표 평면상에 나타내었다. 그림 8(a)에서 전방향 방사시와 회전 송신빔 구동에 따른 전채널에 대한 실측 임피던스를 각각 녹색과 자주색 점으로 표시하였으며, 임피던스 최대값 및 최소값을 경계치로 하는 각각의 임피던스 분포에 대한 경계 영역을 전방향 방사시는 점선으로, 회전 송신빔 구동시는 실선으로 나타내었다. 이러한 임피던스 분포 내에서 최대 출력 구동시의 고전압인 270 V_{dc}가 인가되었을 때의 송신빔 구동에 따른 출력 전압, 전류 및 전력 특성을 그림 8(b)~(d)에 각각 나타내었고, 그 크기가 클수록 붉은색으로, 작을수록 파란색으로 표시하였다. 그 결과, 회전 송신빔 구동의 경우 전방향 방사시보다 넓은 임피던스 편차에 기인하여 송신 출력 특성이 더 큰 편차로 분포하였고, 특히, 그림 8(c)와 같이 송신빔간 경계 영역을 포함하는 임피던스 감소 영역에서 측정된 출력 전류가 약 1.05 A_{peak}까지 증가하는 특성이 확인되었다. 즉, 전방향 방사시

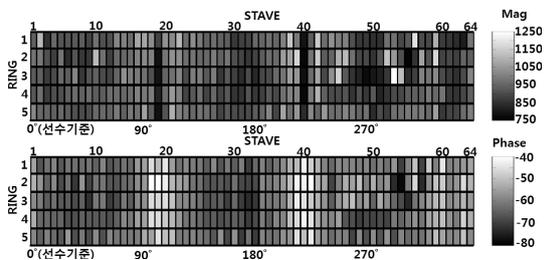


그림 6. 3중방향 회전방사시 임피던스 패턴(45° 방위)
Fig. 6. Impedance pattern by TRDT transmission beam (45°).

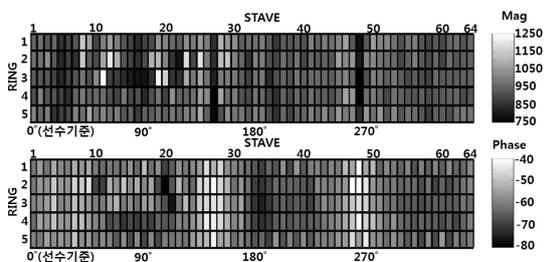


그림 7. 3중방향 회전방사시 임피던스 패턴(90° 방위)
Fig. 7. Impedance pattern by TRDT transmission beam (90°).

의 최대 전류값에 비하여 약 1.4배 증가된 특성을 나타내었다. 따라서, 본 논문에서는 실험 장비로 구성된 송신기의 하드웨어적인 구동 능력과 안전율을 고려하여 제안된 기법에 적용되는 전류 차단 경계값을 $0.9 A_{peak}$ 로 설정하였다.

그리고 제안한 출력 제어 기능을 효과적으로 구현하기 위한 송신기의 주요 구성을 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 송신기는 출력 신호에 대한 실시간 제어가 용이하도록 디지털 변조 방식의 UPWM(Uniform Pulse Width Modulation)을 적용하고 다채널, 고효율 및 고출력 운용이 가능하도록 3 level 및 Dual Slope 방식의 단상 풀브릿지 인버터로 구성하였다. 또한, 지역 통과 필터와 임피던스 정합회로로 구성되는 송신기 출력단 모델은 단일 채널 배열센서를 포함하여 그림 10과 같이 근사화할 수 있으며, 회로를 구성하는 각 소자들은 표 1에 나타내었다.

그림 10의 모델로부터 송신기의 출력 전압(V_{out})에 대한 출력 전류(I_{out})는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{Z_s} = \frac{m_a \times \alpha_{pwm} \times V_{dc} \times f(Z_{in})}{Z_s} \quad (1)$$

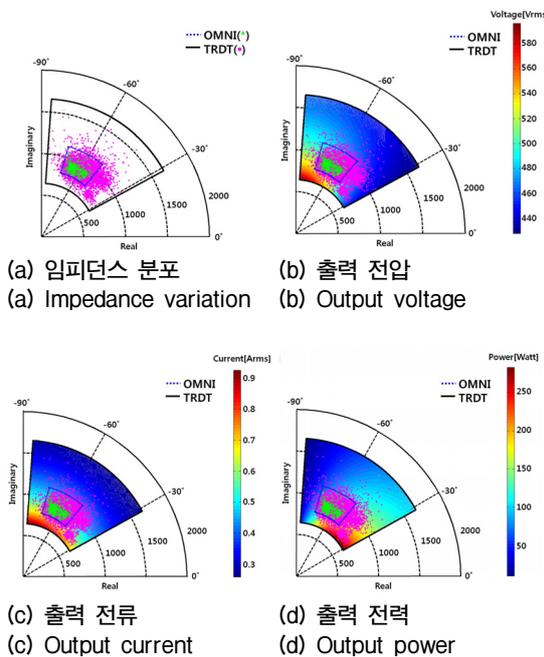


그림 8. 송신빔 구동에 따른 배열센서 임피던스 분포 및 송신 출력 특성
Fig. 8. Impedance variation and transmission output characteristics of sensor array by driving the transmission beams.

여기서, m_a : PWM 변조지수(MI : Modulation Index)

α_{pwm} : PCM-PWM 변환 상수

V_{dc} : 고전압공급기 직류 공급 전압

$f(Z_{in})$: 송신기 출력단 전달함수

Z_{in} : 송신기 부하 입력 임피던스

Z_s : 배열센서 임피던스

송신기의 출력 레벨에 대한 가변 방법으로는 식 (1)에 나타낸 바와 같이, PWM 변조지수(m_a) 또는 송신기 입력 전압($\alpha_{pwm} \times V_{dc}$)을 가변할 수 있으나, 임의

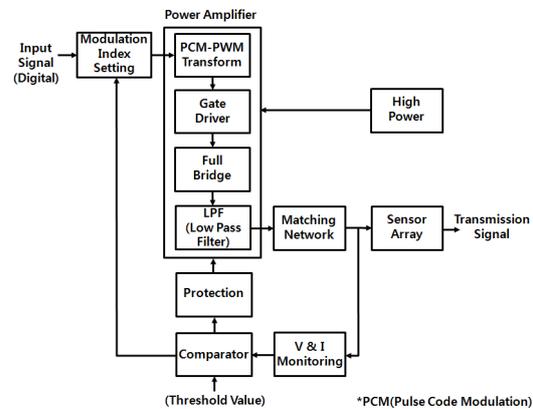


그림 9. 송신기 주요 기능 블록도
Fig. 9. Block diagram of the principal functions for the transmitter.

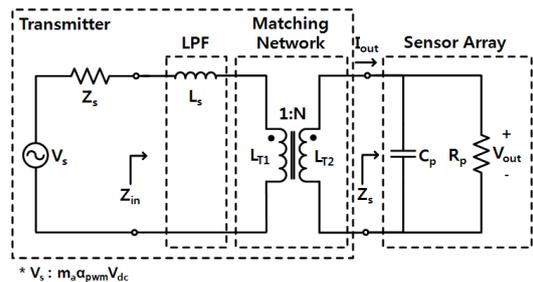


그림 10. 송신기 출력단 근사화 모델
Fig. 10. An approximation model of the output part for the transmitter.

표 1. 송신기 출력단 모델 파라미터
Table. 1. The parameters of the output part model for the transmitter.

Parameter	Values
L_s	400 mH
L_{T1}	5.7 mH
L_{T2}	43.5 mH

의 선택된 채널에서만 출력 레벨을 가변하기 위해서는 PWM 변조지수를 조절하는 것이 효과적이다. 따라서, 과전압 또는 과전류 발생에 따른 출력 레벨 조절을 위하여 PWM 변조지수 제어를 제안된 기법에 적용하였다. 그리고 PWM 변조지수가 매우 작아지면 비선형적인 요소에 의해 출력 신호의 왜율 특성이 저하될 수 있으므로, 실제적인 PWM 변조지수는 0.5~0.9 범위에서 제어되도록 설정하였다.

이러한 PWM 변조지수 제어를 위하여, 배열센서로 전송되는 송신기의 출력 신호를 187.5 kHz 샘플링 주파수로 실시간 검출하는 고속 A/D 변환 회로를 송신기의 V&I 모니터링 회로에 적용하였다. 또한, 출력 신호 레벨에 대한 차단 경계값 초과 여부를 판단하기 위한 기준 준위 생성 및 비교 회로를 추가로 구성하였다.

제안된 알고리즘에 대한 세부 절차는 그림 11에 나타내었고, 제어 단계(N)별로 동작되는 세부적인 PWM 변조지수 값을 표 2에 나타내었다. V&I 모니터링 회로에 의해 약 5.6 μs 단위로 검출된 출력 신호는 설정된 차단 경계값을 초과할 경우, 디지털 방식으로 PWM 변조지수의 순차적인 3단계(0.9 → 0.7 → 0.5) 제어를 통해 그 출력 레벨이 감소하게 된다. PWM 변조지수가 0.5까지 감소된 상태에서도 출력 크기가 차단 경계값 이상으로 지속되면, 시스템 보호를 위하여 송신 차단 회로를 통해 해당 채널에 대한 송신이 중단되도록 구성하였다. 또한, PWM 변조지수가 감소된 상태에서 실제 운용되는 최소 송신 펄스 길이를 고려하여 약 5 ms 동안 출력 레벨이 차단 경계값을 초과하지 않을 경우, PWM 변조지수는 이전 단계로 복귀하게 된다. 그러나 복귀 과정에서 단시간 내의 레벨 증가에 따른 과도 현상(Overshoot) 발생 방지를 위하여, 감소된 변조지수는 스위칭 회로의 과도 특성을 고려하여 약 0.56 ms 동안 8단계로 순차적인 증가를 통해 정상 레벨로의 안정적인 복귀가 가능하도록 하였다.

이러한 제안된 기법은 과도 출력으로부터 송신기와 배열센서를 보호하면서, 과도 특성이 발생한 채널에 대해서만 과전류 발생을 제한하게 되므로 다채널 운용시 송출 전력을 최대로 유지하는데 효과적이다.

IV. 실험 및 결과 분석

제안된 송신기 출력 제어 알고리즘의 구동 특성에 대하여 실험적인 검증이 수행하였다. 정상적인 레벨의 송신 출력과 PWM 변조지수가 변 및 정상 출력 복귀, 그리고 송신 중단 발생 확인이 가능하도록 전방향 방사시 임의의 채널에 대한 차단 경계값을 0.9 A_{peak} , 0.5 A_{peak} 및 0.47 A_{peak} 로 각각 설정하고 그 결과를 그림 12에 각각 나타내었다. 그림 12(a)는 송신 구간 동안 출력 전류 레벨이 0.9 A_{peak} 이하를 유지하므로 정상적인 출력이 이루어질 때의 송신 파형을 나타내었다. 그림 12(b)는 송신 출력 전류가 0.5 A_{peak} 를 초과하는 송신 구간에서 그림 12(d)와 같이 PWM 변조지수의 3단계 가변 및 복귀가 반복적으로 제어된 후 정상 레벨로 복귀됨을 나타내었다. 그림 12(c)는 송신 출력 전류가 0.47 A_{peak} 를 초과함에 따라 그림 12(e)와 같이 PWM 변조지수의 3단계 감소와 1회 복

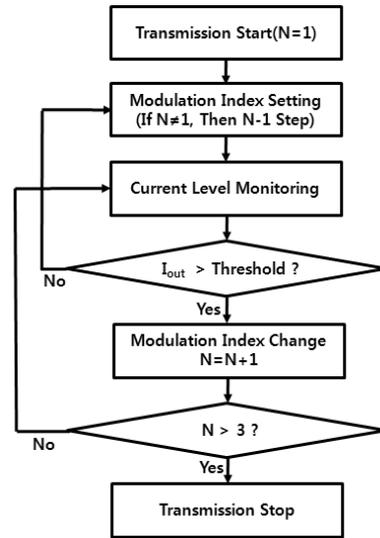


그림 11. 송신기 출력 제어 기법 흐름도
Fig. 11. Flow chart of the output control technique for the transmitter.

표 2. 제어 단계 (N)별 PWM 변조지수(MI)
Table. 2. PWM Modulation Index (MI) by the control step (N).

N Step	MI Values
1	0.9
2	0.7
3	0.5

귀/감소 이후 송신 중단이 발생함을 나타내었다. 이 결과로부터, 송신기의 출력 특성이 제안된 알고리즘 절차대로 정상 동작됨을 확인하였다. 또한, 그림 12(e)에서 확대하여 나타난 부분과 같이, PWM 변조 지수는 정상 복귀시 규정된 0.56 ms 동안 8단계 증가를 통해 안정적으로 복귀됨을 확인하였다.

검증된 제어 알고리즘을 실제 7ms 펄스 주기로 회전하는 송신빔에 적용하여 각 지향 방위별 출력 특성을 살펴보았다. 과전류가 발생한 임의의 채널에 대하여 제안한 기법 적용 전후, 22개 지향 방위별 송신 출력 특성을 측정하여 그림 13에 각각 나타내었다. 그림 13(a)와 같이, 제안된 알고리즘 적용 전에는 지향 방위별 송신빔 회전에 따라 송신빔간 경계 영역으로 할당되는 5번째 송신 구간에서 차단 경계값 ($0.9 A_{peak}$) 이상의 과전류 발생에 의해 송신이 차단됨을 확인할 수 있다. 그러나, 그림 13(b)와 같이, 제안된 알고리즘 적용 후에는 송신 중단 없이, 22개 회전 지향각별로 송신이 정상적으로 수행됨을 알 수 있

다. 이는 그림 13(b)에 확대하여 표시된 송신 구간에서 차단 경계값 이상의 전류가 발생함에 따라 그림 13(c)와 같이 PWM 변조지수가 1회 감소($0.9 \rightarrow 0.7$) 및 복귀 이후, 정상적인 송신이 수행된 것으로, 제안된 알고리즘이 정상적으로 동작한 것을 알 수 있다. 또한, 22개 지향 방위별 송출 특성은 송신빔간 경계 영역에 해당되는 채널 이외에는 정상적인 출력이 유지되어 송신 지향 방위에 대한 음압 레벨이 거의 변화 없이 일정하였다.

실험 결과를 통해, 제안된 출력 제어 기법은 과전류가 발생한 특정 채널에 대해서만 선택적으로 작동하므로 전체 출력 전력량 감소를 최소화할 수 있어, 임피던스 편차가 큰 다채널 소나 시스템에서 송신기의 출력 용량을 증가시키지 않고 안정적인 회전 송신빔 구동이 가능함을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 큰 임피던스 편차가 존재하는 배열 센서의 특성을 고려하여 과도 특성에서도 송신 중단

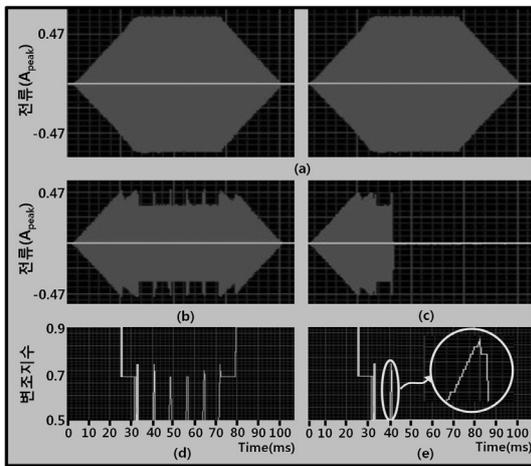


그림 12. 제안된 출력 제어 기법 검증 결과, (a) 차단 경계값 $0.9 A_{peak}$ 설정시 출력 전류, (b) 차단 경계값 $0.5 A_{peak}$ 설정시 출력 전류, (c) 차단 경계값 $0.47 A_{peak}$ 설정시 출력 전류, (d) 차단 경계값 $0.5 A_{peak}$ 설정시 PWM 변조지수, (e) 차단 경계값 $0.47 A_{peak}$ 설정시 PWM 변조지수

Fig. 12. Experiment result of the proposed output control technique for the transmitter. (a) output current on threshold $0.9 A_{peak}$, (b) output current on threshold $0.5 A_{peak}$, (c) output current on threshold $0.47 A_{peak}$, (d) PWM MI on threshold $0.5 A_{peak}$, (e) PWM MI on threshold $0.47 A_{peak}$

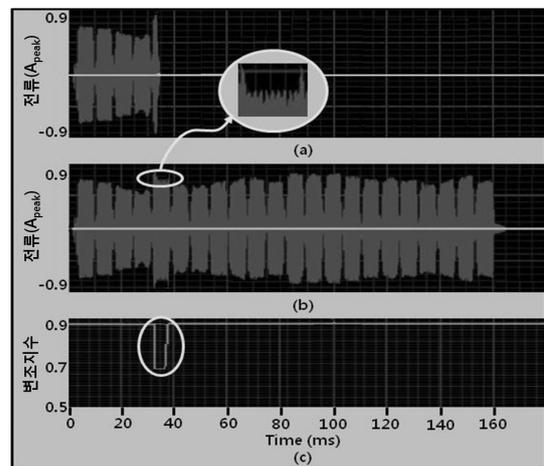


그림 13. 3중방향 회전방사시 제안된 출력 제어 기법 적용 결과, (a) 제안된 기법 미적용시, 송신 출력 전류, (b) 제안된 기법 적용시, 송신 출력 전류, (c) 제안된 기법 적용시, PWM 변조지수

Fig. 13. Application result of the proposed output control technique for the transmitter by TRDT transmission beam. (a) transmission current by not applying proposed technique, (b) transmission current by applying proposed technique, (c) PWM MI by applying proposed technique

없이, 송신기의 허용 동작 범위 내에서 안정적인 송신빔 형성과 최대 전력 송출이 가능하도록 소나 송신기의 효과적인 송신 출력 제어 기법을 제안하였다. 특히, 회전 송신빔 구동시, 원통형 배열센서의 임피던스 특성과 이로 인한 송신기의 과도 특성을 실험적으로 분석하였다.

그리고 회전 송신빔 형성에 따라 발생하는 부하의 동적 임피던스 편차에도 송신 중단 없이, 송신기로부터 부하에 최대 전력을 전송할 수 있는 출력 제어 기법을 제안하고 실험을 통해 검증하였다. 그 결과, 제안된 기법의 적용은 규정된 지향 방위에서 송신 전력의 손실 없이 안정적인 회전 송신빔 구동 특성을 실현할 수 있어, 능동 소나 시스템에 효과적인 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이정민, 이병화, 백광렬, “미립자 집단 최적화 알고리즘을 이용한 다중모드 수중 음향 압전 트랜스듀서의 등가회로 모델링,” *한국음향학회지*, 28권, 4호, pp. 363-369, 2009.
2. S. V. Pillai, A. K. Prakash, K. V. J. Vincent, “An Improved Sonar Power Amplifier,” *International conference on sonar-sensors & system; ICONS 2002*, vol. 2, pp. 453-462, 2002.
3. A. K. Prakash, “Power Amplifier for Sonar Application,” *Students Journal-Institution of Electronics*

and Telecommunication Engineers, vol. 34, no. 3/4, 1993.

4. 이정민, 이병화, “부하 임피던스 편차에 따른 HMS 용 송신기의 구동 특성 분석,” *한국음향학회 추계 학술대회*, 27권, 2(s)호, pp. 1-4, 2008.
5. E. Benjamin, “Audio power amplifier for loudspeaker loads,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 42, no. 9, pp. 670-683, 1994.
6. Smedegaard, M., “A Simple Non-Feedback Switching Power Output Stage,” *101st Convention of AES Preprint 4327*, 1996.
7. D. Stansfield, *Underwater Electroacoustic Transducers*, Bath University Press, Bath, 1990.
8. Higuchi, Kohji, Nakano, Kazushi “Design of a robust PWM power amplifier using approximate two-degree-of-freedom digital integral type control only with voltage feedback,” *Electronics & Communications in Japan. Part 2, Electronics*, vol.86, no.6, pp. 1-12, 2003.

저자 약력

▶ 이 병 화(Byung-Hwa Lee)



2005년 2월: 경북대학교 전자전기공학부
학사
2007년 2월: 포항공과대학교 전자공학과
석사
2007년 2월 ~ 현재: 국방과학연구소