

무선 전력전송을 위한 초음파 트랜스듀서 시스템 개발

Part 1: 송신소자 개발

Development of Ultrasonic Transducer System for Wireless Power Transfer Part 1 : Transmitter Development

염 우 섭*. 황 건*. 양 우 석*. 이 성 규†

WooSub Youm, Gunn Hwang, Woo Seok Yang and Sung Q Lee

(2012년 6월 15일 접수 ; 2012년 9월 5일 심사완료)

Key Words : Ultrasonic(초음파), Wireless Power Transfer(무선 전력전송), Transducer(트랜스듀서)

ABSTRACT

Recently, wireless power transfer technology is ready to be commercialized in consumer electronics. It draws attention from not only experts but also public because of its convenience and huge market. However, previous technologies such as magnetic resonance and induction coupling have limited applications because of its short transfer distance compared to device size and magnetic intensity limitation on the safety of body exposure. As an alternative, ultrasonic wireless power transfer technology is proposed. The ultrasonic wireless power transfer system is composed of transmitter which converts electrical energy to ultrasonic energy and receiver which converts the ultrasonic energy to the electrical energy again. This paper is focused on the development of high energy conversion efficiency of ultrasonic transmitter. Optimal transfer frequency is calculated based on the acoustic radiation and damping effect. The transmitter is designed through numerical analysis, and is manufactured to match the optimal transfer frequency with the size of 100 mm diameter, 12.2 mm thickness plate. The energy conversion efficiency of about 13.6 % at 2 m distance is obtained, experimentally. This result is quite high considered with the device size and the power transferring distance.

1. 서 론

IT기기(휴대폰, TV, 컴퓨터 주변기기)의 무선 전력 전송 기술은 통신신호의 무선화에 이어 케이블의 단순화 및 배선 편의를 위해서 활발히 연구되고

있다. 전력공급을 위한 전선들이 제거되어 무선으로 전력 공급이 가능하다면 그 경제적, 산업적 측면에서의 혁명적 변화가 있으리라 예상된다⁽¹⁾.

현재 무선 전력 전송의 대표적 기술에는 전자기파 방식, 자기공진 방식, 전자기 유도 방식을 들 수 있다⁽²⁾. 이들 기술은 근거리 전송효율이 높고, 코일형태의 소자로 구현하므로 소자의 제작비용이 적은 장점이 있어 휴대단말 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만, 소자크기 대비 전송거리가 짧아 대체로 소자 지름 이상의 전송거리에서는 전송효율이 급격히 줄어들며 전송거리를 높이기 위해 송신부에서 높은 전력을 방출할 경우 전계 및 자계값이 인

† 교신저자; 정회원, 한국전자통신연구원(ETRI)

E-mail : Hermann@etri.re.kr

Tel : (042)860-1142, Fax : (042)860-5608

* 한국전자통신연구원(ETRI)

이 논문의 일부는 2012년 춘계 소음진동 학술대회에서 발표되어 우수논문으로 추천되었음.

체 유효기준을 넘어 원거리 전송이 용이치 않다²⁾.

이러한 문제를 극복하는 기술적 대안으로 이 논문에서는 초음파 공진방식의 전력 전송 기술을 제안한다. 초음파 공진형 전력 전송 기술은 전기 에너지를 초음파 음향에너지로 변환하며 이를 집속하여 원거리까지 이동시키고 다시 초음파 음향에너지를 전기에너지로 변환하는 원리로 구동된다. 초음파 공진형 무선 전력 전송기술은 전송효율이 그다지 크지는 않으나 소자크기를 감안하면 기존의 전자기 방식이나 자기공진 방식보다는 장거리에서 전송효율이 높은 특징을 가지며 특히, 인체유해성 문제로부터 자유롭다. 뿐만 아니라 무선전송의 전송매질이 공기뿐만 아니라 물과 같이 전자기파의 진행이 어려운 환경에서도 전력전송이 가능하여 일반 산업분야에 더하여 의학분야(인체삽입용 전력전달 시스템), 군수분야(수중전력 전송 시스템)와 같이 전자기 방식의 전력전송 기술이 적용될 수 없는 분야에서의 대안기술로도 연구되고 있다.

이 논문에서 구성한 초음파 공진형 무선 전력전송 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다. 신호 발생기(sine signal source)로부터 초음파 송신소자(TX)의 공진주파수(f_r)에 해당하는 신호를 발생하고 앰프(power amplifier)를 통해서 송신소자를 구동한다. 송신소자는 전기에너지를 초음파 음향에너지로 변환하며 변환된 초음파 음향에너지는 매질(transmission medium)을 통해서 수신소자(RX)로 전달된다. 전달된 초음파 음향에너지는 수신소자를 공진시키며 수신소자는 공진주파수에서 초음파 음향에너지를 전기에너지로 다시 변화시킨다. 발생된 전기에너지는 교류형태이므로 정류회로 및 충전회로를 거쳐 이차전지에 충전된다.

이 논문에서는 전체 초음파 공진형 무선 전력전송 시스템의 구성 요소 중 최적 구동주파수를 선정하고 이에 따른 송신소자의 설계, 제작 및 성능검증 과정을 소개한다(Fig. 1의 점선 안쪽 부분). 초음파 송신소자에서는 고효율로 전기에너지를 초음파 에너지로 변환하는 것이 중요한 기술이며, 이를 위해 2장에서는 초음파 방사와 감쇄 효과에 기초하여 센서 노드 무선충전 응용분야(전력 전송 거리 1m-2m)에 맞는 최적 전송주파수를 선정하는 과정을 기술하였다.

초음파 송신소자가 선정된 공진주파수에서 높은 직진성을 가지는 구조가 되도록 수치해석을 통하여 설계하였다.

3장에서는 설계 결과에 따라 직경 100 mm, 두께 12.2 mm 원형 플레이트형태로 송신소자를 제작하였으며 제작된 송신소자의 성능을 평가하기 위해 제작된 소자의 공진주파수, Q factor, 출력 음압 및 각도별 음압 프로파일을 각각 측정 하고 이를 바탕으로 입력 전기에너지에 대한 출력 음압에너지를 통해 에너지 변환 효율을 도출하였다. 마지막으로 실험을 통해 초음파 공진형 무선전력 전송의 가능성을 살펴보았다.

2. 해석 및 설계

2.1 최적 초음파 전력 전송주파수 설정

공기 중에서 음파가 전달될 때 효율에 영향을 끼치는 인자는 음파의 구면확산(spherical spreading)과 감쇄효과를 들 수 있다. 이 절에서는 음향 방사 지배방정식을 바탕으로 송신소자에서 수신소자로의 음향에너지 전달 시, 주어진 크기의 송신 및 수신소

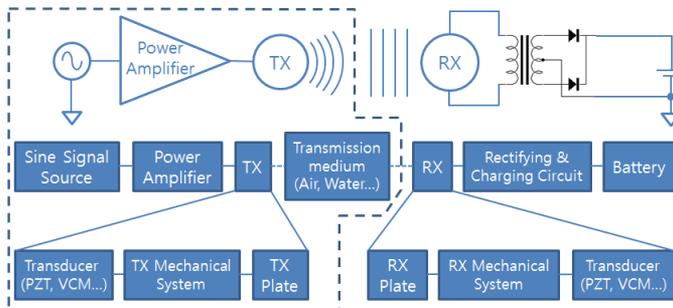


Fig. 1 Block diagram of the ultrasonic transducer system for wireless power transfer

자 크기에서 송신소자와 수신소자의 거리 및 구동 주파수에 따른 구면확산과 감쇄효과에 의한 영향을 해석하였다. 이를 통해 초음파 공진형 무선 전력 전송에 있어서 최적 구동주파수를 선정하고자 한다.

송신소자와 수신소자가 Fig. 2에서와 같이 배치된다. 여기서 $x_{TX}, y_{TX}, x_{RX}, y_{RX}$ 는 각각 송신소자, 수신소자에서의 좌표축, r 는 위치벡터, θ 와 ϕ 는 각각 z, x_{TX} 과 r 사이의 각도, a_{TX} 는 송신소자의 반경, a_{RX} 는 수신소자의 반경이다. 이때 송신소자를 피스톤 소스로 가정하였을 때, 중심축상의 음압은 아래 식(1)과 같다⁽³⁾.

$$p(r, 0, t) = \rho_0 c U_0 e^{-\alpha r} \left\{ 1 - e^{-jk(\sqrt{r^2 + a^2} - r)} \right\} e^{j(\omega t - kr)} \quad (1)$$

여기서 ρ_0 는 초음파가 전달되는 매질의 밀도, c 는 매질에서의 초음파속도, U_0 는 피스톤 소스표면의 진동 속도, α 는 매질감쇄계수, ω 는 각속도, $k = \omega/c$ 이다. 계산에 사용된 파라미터는 Table 1과 같다. Fig. 3은 지름 100 mm의 피스톤으로 가정한 송신소자의 중심축에서의 위치벡터(r)에 따른 음압 분포이다.

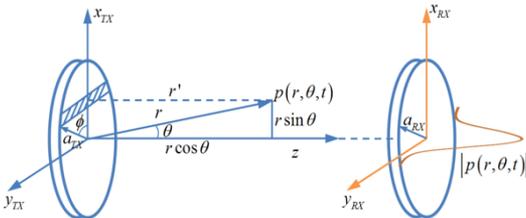


Fig. 2 Geometry used in deriving the pressure distribution from a circular piston type transmitter(TX) to a circular receiver(RX)

Table 1 Parameter values used in analysis⁽³⁾

Parameter	Value
Air density(ρ_0)	1.21 kg/m ³
Air sound speed(c)	343 m/s
Acoustic absorption coefficient(α)	1.37×10 ⁻¹¹
Radius of transmitter(a_{TX})	50 mm
Radius of receiver(a_{RX})	50 mm
Distance of radiation(r)	1.0 m ~ 2.0 m

초음파 공진형 무선전력전송에 있어서 전송거리는 전형적인 응용예인 센서노드 무선충전을 기준으로 1 m~2 m를 목표로 하고 있으며, 중심 전송거리인 1.5 m에서 보면 중심축에서의 음압 크기는 주파수가 커질수록 증가한다. 이는 저주파의 경우 구면방사에 의해서 거리가 멀어질수록 음압크기가 급격히 줄어들기 때문이다. 하지만, 거리가 멀어질 때 주파수가 커질수록 감쇄가 증가하므로 항상 고주파가 유리한 것은 아니다.

따라서, 송신소자에서 방사되는 음향에너지를 수신소자에서 최대로 받기 위해서는 축방향 음압도 커야 하지만, 지향성 또한 높아야 하므로, 전체적인 음향분포가 필요하다. 이를 계산하기 위해 식(1)은 far field($r \gg a_{TX}$)인 가정 조건에서 식(2)와 같이 간략히 하고 전체적인 음향분포를 위한 식을 정리하면 식(3)과 같이 된다⁽³⁾.

$$P_{ax}(r) = \frac{1}{2} p_0 e^{-\alpha r} \frac{a}{r} ka_{TX} \quad (2)$$

여기서, $p_0 = \rho_0 c U_0$ 이다.

$$|p(r, \theta)| = P_{ax}(r) H(\theta) \quad (3)$$

여기서 Bessel function으로 표현되는 $H(\theta) = |2J_1(ka \sin \theta) / ka \sin \theta|$ 로 각도에 따른 상대적 음압 크기를 나타낸다.

이를 각도에 따라 계산된 결과는 Fig. 4와 같다. 식(3)에 해당하는 음압크기 분포를 계산한 결과는 Fig. 3과 Fig. 4의 곱에 해당하며 Fig. 5로 나타난다.

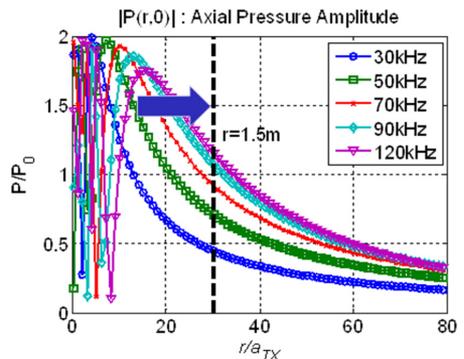


Fig. 3 Axial acoustic pressure of TX vs. r/a_{TX}

여기서, 수신소자가 송신소자와 같은 지름 100 mm을 가지며, 송신소자로부터 거리(r)가 1.5 m로 가정하면, 송신소자에서 방사되는 값 중에서 수신소

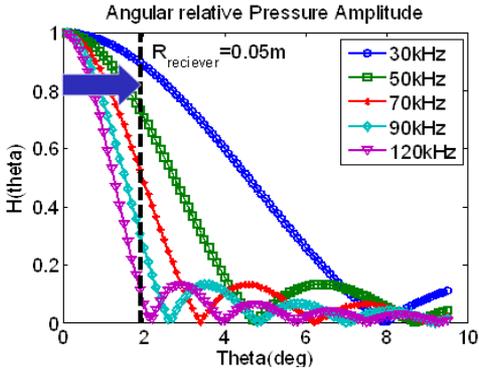


Fig. 4 Angular relative pressure amplitude ($|H(\theta)|$)

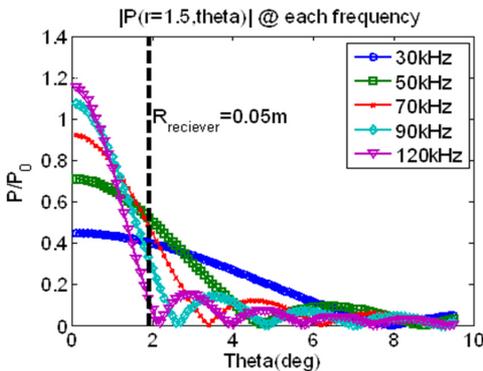


Fig. 5 Pressure amplitude distribution at $r=1.5$ m

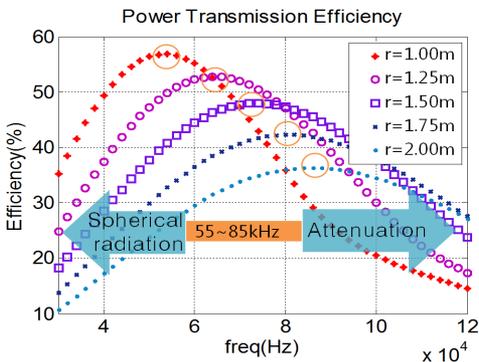


Fig. 6 Power transmission efficiency according to driving frequencies at each transmission distance with 50 mm radius transmitter(TX) and receiver(RX)

자가 받아서 전기에너지로 변화시킬 수 있는 유효한 음압분포값은 중심축으로부터 약 $\pm 1.9^\circ$ 일때의 음압 분포가 된다. 이 경우 Fig. 5에서와 같이 주파수가 높을 경우 중심 음압 크기는 높으나 지향각이 좁아 수신소자가 받을 수 있는 전체 음향에너지가 작아지고, 반면에 주파수가 낮을 경우 지향각이 넓어 수신소자가 받을 수 있는 영역은 커지나 중심 음압크기는 낮아 수신소자가 받을 수 있는 전체 음향에너지가 작아지는 경향을 보이므로 최적의 구동 주파수를 선정하기 위해서는 전체 음압 크기 분포 형상을 수신소자의 면적으로 적분하여 수신효율을 계산하여 비교하는 것이 필요하며 그 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 나타나듯이, 송신소자와 수신소자의 반경을 50 mm로 고정하였을 경우, 전송거리(r)에 따라서 최적주파수는 달라진다. 전송거리가 짧을 때는 낮은 구동주파수에서 전송효율이 최대가 되고, 전송 거리가 길 때는 높은 구동주파수에서 전송 효율이 최대가 된다. 서론에서 언급한 바와 같이 센서 노드 무선충전 응용을 위한 전송거리 목표는 1 m~2 m이므로 이 범위에서 최대 전송효율을 위한 구동 주파수는 55 kHz~85 kHz이다. 따라서 중간 전송거리인 1.5 m에 해당하는 최적 구동주파수인 70 kHz를 기준으로 송신소자 및 수신소자를 설계, 제작하여 무선전송 시스템을 구성한다.

2.2 초음파 전력 송신소자 설계

초음파 송신소자는 1970년대에 스페인의 연구그룹 Gallego-juarez이 제안한 고효율, 고출력의 초음파 발생을 위한 스택 플레이트의 기본 원리를 사용하였다⁽⁴⁻⁶⁾. 방사판의 높은 진동 모드를 이용하고, 피스톤 음원을 형성하기 위해서 불연속적인 위상차이가 발생하는 부분에 요철을 붙여 위상 차이를 보정하는 방사판 구조이다.

방사판에서 발생하는 음압의 위상차를 요철로 보상해 주기 위해, 발생 주파수의 파장을 λ 라고 했을 때 $\pm \lambda/2$ 의 요철을 방사판에 더해서 위상보정을 해주어야 한다. 요철의 높이는 매질에 따라 달라지며 공기의 경우는 70 kHz에서 반파장인 $\lambda/2$ 은 2.46 mm가 된다.

이때 단순 평판형 방사판을 가정하여 이론적으로 계산된 형상설계변수(지름, 두께, 재질)를 적용하여

Table 2 Parameter values used in COMSOL FEM analysis⁽³⁾

Parameter	Value
Radiation plate material	Al alloy 6061
Radiation plate density(ρ_{plate})	2710 kg/m ³
Radiation plate sound speed(C_{plate})	5150 m/s
Radiation plate Young's modulus(Y_{plate})	71 Gpa
Radiation plate Poisson's ratio(σ_{plate})	0.33
Transduction material	PZT(C7, Fuji Co.)
PZT density(ρ_{PZT})	7400 kg/m ³
PZT sound speed(C_{PZT})	2930 m/s
PZT Young's modulus(Y_{PZT})	61 Gpa
PZT Poisson's ratio(σ_{PZT})	0.39

위상차 보상 요철구조가 포함된 방사판을 설계하면 요철구조의 영향으로 인해 목표로 하는 70 kHz 공진주파수와는 다른 공진주파수를 얻게 된다. 즉 실제 형상에 맞추어 초음파 구동기와 방사판의 설계치를 구하기 위해서 FEM 해석 방식을 채택하여야 한다. ANSYS기반의 해석을 통해 초음파 진동자를 해석하는 방법이 제시되었지만⁽⁷⁾, 초음파 방사특성까지 고려하기 위해서는 음향학과의 복합해석을 수행해야 하므로 상용 프로그램인 COMSOL(Altsoft Co.)을 이용하여 구동기(PZT), 혼(horn) 등의 구동부를 포함한 모델에 대한 FEM 해석을 하고 형상 설계를 수행하였다.

방사판은 70 kHz 주변에서 3차 공진모드가 나타나게 되며 이를 바탕으로 스텝의 개수와 위치, 그리고 방사판의 두께를 변화시키면서 스텝을 가진 방사판이 70 kHz의 공진주파수를 가지도록 최종 설계하였다. 스텝형 방사판에 대한 FEM 해석 결과는 Fig. 7과 같다. 최종적으로 얻어진 방사판은 지름 100 mm 두께 12.2 mm이며 스텝은 중앙부의 원형과 중간부의 도넛모양으로 구성되었다. 스텝이 있는 방사판 표면에서 얻어진 속도분포와 공진모드를 통해서 알 수 있듯이 속도방향과 스텝의 위치가 맞물려 잘 설계되었다. 설계된 방사판은 고유진동수가 69,916 Hz, Q factor 2,056을 가진다.

3. 제작 및 성능 평가

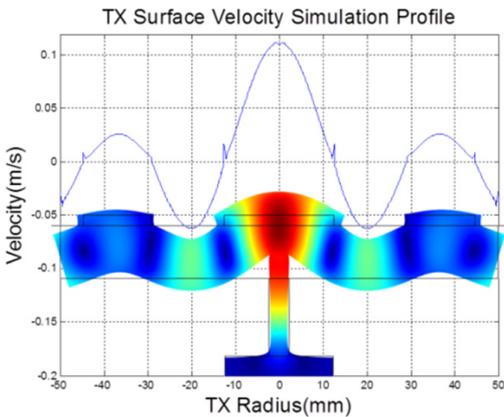
3.1 초음파 전력 송신소자 제작

2장에서 해석 및 설계를 바탕으로 Fig. 8과 같이 초음파 전력 송신소자를 제작하였다. 공기 중으로 초음파에너지를 전달하는 방사판은 2장의 진동 모드 분석 결과에 따라 제작 하였다.

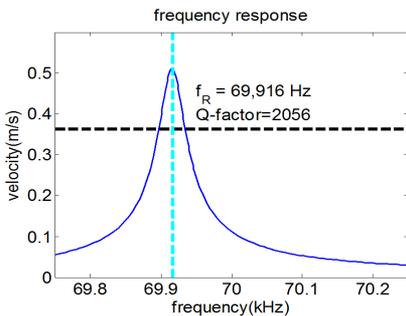
구동기로는 링 타입의 PZT(C7 계열) 2개를 사용하였으며 이 2개의 PZT사이에 전극용 구리판을 삽입하여 스탠드에 고정하는 구조이다. 구동기로 사용된 PZT의 변위가 작은 관계로 Fig. 8의 오른쪽과 같이 직경비가 5:1인 혼(horn) 구조를 방사판과 일체가 되도록 가공하여 방사판의 변위가 PZT 변위의 25배(면적 비에 비례)가 되도록 제작하였다.

3.2 제작 송신소자 성능 평가

(1) 성능 평가용 실험장치 구성



(a) Surface velocity of designed stepped plate transmitter



(b) Resonance frequency and Q-factor of designed stepped plate transmitter

Fig. 7 COMSOL simulationresult of the designed stepped plate transmitter

3.1절에서와 같이 제작된 송신소자의 실제 성능을 평가하기 위해 Fig. 9와 같이 측정 시스템을 구축하였다. 신호발생기(function generator)로 송신소자를 공진 시키는 주파수를 생성하고, 발생한 신호를 파워 앰프를 통해 송신소자에 입력하였다. 송신소자에서 발생한 초음파 출력 음압은 초음파 측정용 마이크를 사용하여 측정하였다. 공진주파수와 Q factor는 시뮬레이션에서 계산된 공진주파수를 중심으로 일정 대역의 주파수를 스캔하고 각 스캔 주파수 별 출력을 측정용 마이크를 이용하여 측정한다. 측정된 최대 음압의 $1/\sqrt{2}$ 을 출력하는 주파수 대역폭을 측정된 공진주파수로 나누어 Q factor를 측정하였다.

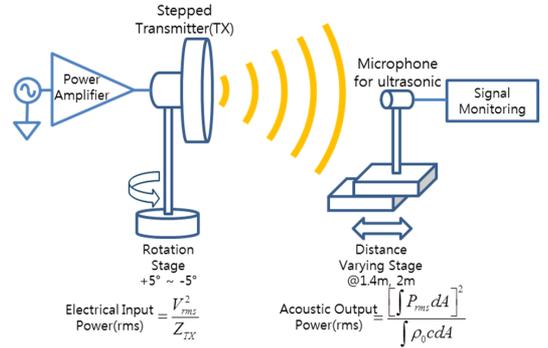
송신소자 회전 스테이지와 마이크론 위치 조절 스테이지를 이용하여 공진주파수로 가동되는 송신소자를 회전시키며 각도에 대한 송신소자의 출력 음압 분포를 측정한 후, 이를 송신소자 위치에서 면적 적분하여 출력 음압 파워를 얻는다.

이때 송신소자 출력의 절반은 앞쪽으로, 나머지 절반은 뒤쪽으로 출력되고 적분된 출력 음압 파워는 앞쪽으로 출력된 부분만을 측정하여 적분하였으므로 상기의 과정을 통해 얻어진 출력 음압파워는 송신소자 총출력 음압 파워의 1/2이 된다.

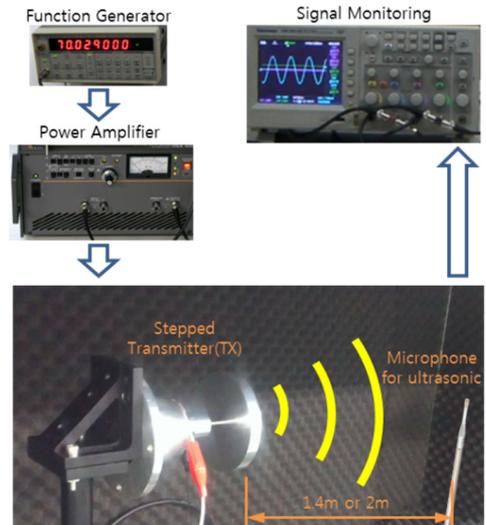
실제로 송신소자에서 출력되는 음압 파워는 송신소자와 측정 마이크간의 거리에 상관없이 일정해야 하고 이를 확인하기 위해 송신소자와 측정 마이크간의 거리를 변화시키며 음압 출력 파워를 측정하였다. 마이크로 측정된 음압 데이터는 NI DAQ와 LABVIEW프로그램을 이용하여 획득 하였다.

송신소자의 전기에너지에서 음향에너지로의 변환 효율을 측정하기 위해서는 송신소자의 출력 파워만이 아니라 입력 파워 또한 측정되어야 한다. 이를 위해 Fig. 10과 같이 파워앰프와 송신소자 사이에

전류 측정용 파워저항을 삽입하여, 송신소자를 공진 주파수로 구동하며 파워저항 양단에 걸리는 전압과



(a) Schematic of acoustic output power measurement system of the transmitter(TX)



(b) Photo of acoustic output power measurement system of the transmitter(TX)

Fig. 9 Acoustic output power measurement system of the transmitter(TX)

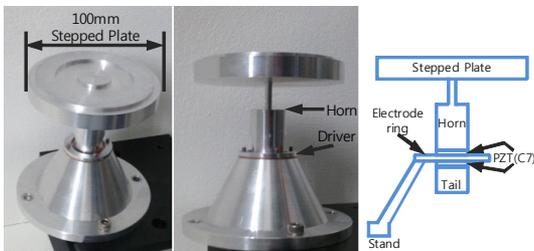


Fig. 8 Manufactured stepped plate transmitter(TX)

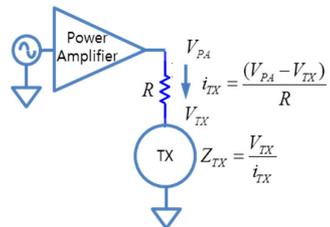


Fig. 10 Schematic of the transmitter(TX) impedance and input power measurement

흐르는 전류를 이용하여 입력파워를 구하게 된다. 송신소자의 임피던스는 구동주파수에서 약 138.9 Ω으로 측정되었다. 최종적으로 송신소자에 입력파워 대비 출력음압 파워의 비율로 제작된 송신소자의 에너지 변환 효율을 계산한다.

(2) 성능 측정 및 평가

송신소자와 측정마이크 사이의 거리를 2 m로 설정하여 측정한 제작송신소자의 주파수 응답은 Fig. 11과 같다. 공진주파수는 69,822 Hz, Q factor는 $69,822 \text{ Hz} / (69,860 \text{ Hz} - 69,830 \text{ Hz}) \approx 2328$ 로 측정되었고 공진주파수에서의 출력음압은 21.49 Pa-rms로 측정되었다. 이는 FEM 설계에서 얻은 69,916 Hz, Q factor 2,056과 비교해볼 때 제작 오차를 감안하면 매우 근접한 값으로 제작되었다.

공진주파수로 가동되는 송신소자를 하부에 장착된 회전스테이지를 이용하여 $+5^\circ \sim -5^\circ$ 의 범위를 0.1° 스텝으로 회전시키며 1.4 m, 2 m거리 각각에서 각도에 대한 송신소자의 출력 음압분포를 측정하였다. 측정된 값은 각각 1.4 m와 2 m 거리에서의 수신소자가 위치하였다고 할 때 수신소자의 반경에 따라 출력 음압분포를 그래프화 하였다(Fig. 12). 거리가 가까운 1.4 m에서는 수신소자 반경이 0 m인 곳에서의 출력 음압이 상대적으로 높지만 수신소자 반경이 증가할수록 출력 음압이 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 반면에 2 m에서의 측정 결과는 수신소자 반경이 0 m인 곳에서의 출력 음압이 상대적으로 낮지만 반경이 증가하더라도 음압이 완만히 낮아진다.

음압분포 곡선 Fig. 12의 결과를 바탕으로 수신소자 반경을 증가시키면서 음압 출력 파워를 적분하면

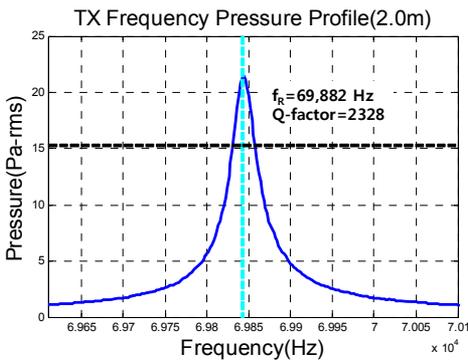


Fig. 11 Frequency response of the transmitter(TX)

Fig. 13의 결과와 같다. 앞서 예상한 바와 같이 수신소자의 크기가 충분히 크다면 1.4 m와 2 m에서 각각 최종적으로 적분된 값이 25 mW에 근접한 결과를 보인다. 이 값은 송신소자에서 방사하는 음향파워는 거리에 관계없이 같다는 것을 의미한다. 송신소자에서 음압이 앞과 뒤 두 방향으로 방사되는 것을 고려하면 송신소자의 총 출력 음압 파워는 약 50 mW일 것으로 보인다. 송신소자 가진 전압은 20 Vpp였고, 구동주파수인 69822 Hz에서 측정된 송신소자의 임피던스는 138.9 Ω이었으므로 입력된 전기적 파워는 360 mW-rms였다. 따라서 입력된 전기적 파워에서 음향파워로 변환한 효율은 1.4 m 거리에서 약 14.3 %, 2 m 거리에서 약 13.6%가 된다.

이 값은 수신소자의 반경이 충분히 커서 송신소자가 전기적인 입력을 음향에너지로 변환한 것을 모두 받았을 때이다. 수신소자 반지름을 50 mm로 한정하면, 송신소자의 출력 중 일부만을 받게되며 1.4 m

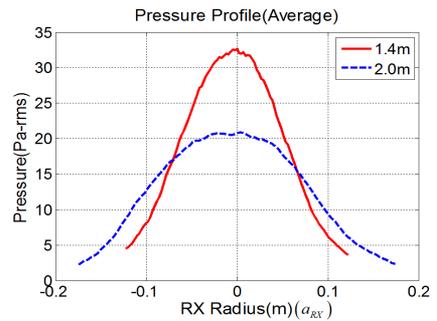


Fig. 12 RX radius pressure profile of the transmitter (TX)

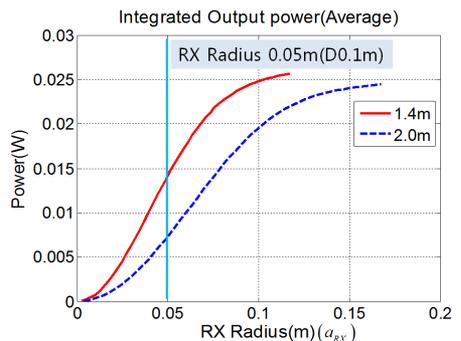


Fig. 13 Integration acoustic output power of the transmitter(TX)

에서는 14 mW, 2.0 m에서는 7 mW가 되며 에너지 변환효율은 각각 4.0%, 2.0%가 된다.

4. 결 론

이 논문에서는 인체 유해성 문제가 없고 소자 크기 대비 장거리 전력전송이 가능한 초음파 공진형 무선 전력전송 시스템의 송신소자의 개발에 관하여 기술하였다. 적용 분야에 따라 무선 전력전송 관점에서 최적의 구동공진주파수 조건을 유도하고 구동주파수 조건에 해당하는 송신소자를 스텝이 있는 고지향성의 방사관 구조를 채택하여 정확한 설계를 위해 FEM 해석 방법을 통해 설계하였다.

제작된 송신소자는 실험결과를 통해서 검증한 결과 공진주파수나 Q factor가 FEM 해석을 통해 얻은 값과 근접한 결과를 얻었다. 송신소자의 전기에너지에서 음향에너지로의 변환효율은 약 14%를 얻었으며 이는 송신소자 직경 100 mm, 전송거리 2 m를 감안할 때 높은 전송효율의 소자크기 대비 원거리 전송이 가능한 기술로 볼 수 있다.

이 논문에서는 공기 중에서의 초음파 공진형 무선전력 전송을 통한소자크기 대비 원거리 무선 전력 전송에 대한 가능성을 검증하였으며, 향후 PZT가 부착된 드라이버 부분의 최적화를 통하여 전력 전송 효율을 향상시키고자 한다.

후 기

This work was supported by the IT R&D program of MKE/KEIT(10035570, Development of self-powered smart sensor node platform for smart & green building) and the Converging Research Center Program through the Ministry of Education, Science

and Technology(2011K000972).

참 고 문 헌

- (1) Kang, S. Y., et al., 2008, Wireless Energy Transfer Technology, Analysis of Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 23, No. 6, pp. 59~69.
- (2) Lim, S. W., et al., 2010, Proceeding of Wireless Energy Transfer Technology Workshop, The Institute of Electronics Engineers of Korea, Seoul.
- (3) Kinsler, L., et al., 1982, Fundamentals of Acoustics, Radiation and Reception of Acoustic Waves, Wiley, New York, pp. 171~204.
- (4) Je, Y., et al., 2010, A Stepped-plate Bi-frequency Source for Generating a Difference Frequency Sound with a Parametric Array, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 127, No. 6, pp. 3494~3502.
- (5) Barone, A. and Juarez, J. A. G., 1972, Flexural Vibrating Free-edge Plates with Stepped Thicknesses for Generating High Directional Ultrasonic Radiation, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 51, No. 3B, pp. 953~959.
- (6) Juarez, G., et al., 1978, An Ultrasonic Transducer for High Power Applications in Gases, Ultrasonics, Vol. 16, No. 6, pp. 267~271.
- (7) Son, B.-H. and Choi, S.-B., 2009, Design and Analysis of Ultrasonic Vibrator for Conformal Coating in LED Packaging, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 12, pp. 1289~1295.