

MCU와 나선형 코일을 이용한 초점식 체외 충격파 전립선 치료 장치에 관한 연구

유희수* · 손병래**

The study on Focused Extracorporeal Shock Wave Prostate Therapy Apparatus using MCU and Spiral Coil

Hee-Soo Ryoo* · Byeong-Rae Son**

요 약

만성 전립선 염 치료의 어려움은 치료 의사뿐만 아니라 환자에게도 육체적 고통과 정신적 문제를 유발한다. 본 연구의 장치는 외부 충격파의 열적 및 기계적 상호 작용으로 인한 충격파 에너지의 진동 효과로 인해 전립선 증상으로 고통받는 환자를 돕기 위해 연구되었다. MCU와 나선형코일을 활용하여 집중된 에너지의 열 및 진동 효과를 발생시키고 이 파동을 효과적으로 적용하는 체외 충격파 치료 장치를 고안하여 전립선 염 및 전립선비대증(BPH, Benign prostatic hyperplasia)에 대한 효과적인 치료 수단을 제공하는 구조를 구현하였다.

ABSTRACT

Difficulties in treating chronic prostatitis cause physical pain and mental problems not only for the treating doctor, but also for the patient. Accordingly, the device of the present research was developed to help patients suffering from prostate symptoms due to the vibration effect of shock wave energy caused by thermal and mechanical interaction of the external shock wave. The purpose of this study is to provide an effective treatment means for prostatitis and BPH(Benign prostatic hyperplasia) by devising an extracorporeal shockwave therapy device that effectively applies the heat and vibration effects of concentrated energy by MCU and spiral coil module.

키워드

Extracorporeal Shock Wave, Spiral Coil, Membrane, Prostate, non-invasive medical device, MCU
체외 충격파, 나선형코일, 멤브레인, 전립선, 비침습적 의료기, 마이크로컨트롤 유닛

1. 서 론

체외 충격파 치료는 상대적으로 광범위하게 사용할 수 있어 국내외 다양한 적응증에 대한 기술이 개발되어 임상 시험이 진행 중이다. 체외 충격파를 이용한

체외 충격파 치료는 대표적인 비수술적 치료법 중 하나이며, 요로 결석 파괴 원리 등 체외 병변 부위에 충격파가 가해지면 조직이나 혈관에 미세한 손상이 발생한다. 그러면 손상된 혈관이 새롭게 생성이 유도되어지고 혈류가 증가하게 되면서 혈액순환이 개선되게

*교신저자: 호남대학교 정보통신공학과 교수

** 호남대학교 미래자동차공학부 교수 (danielh0609@gmail.com)

• 접수일 : 2020. 12. 04

• 수정완료일 : 2021. 01. 10

• 게재확정일 : 2021. 02. 17

• Received : Dec. 22, 2020, Revised : Jan. 10, 2021, Accepted : Feb. 17, 2021

• Corresponding Author : Hee-Soo Ryoo

Dept. I&C Engineering, Honam University,

Email : danielh@honam.ac.kr

된다. 체외 충격파 요법은 손상된 조직, 손상된 부위의 주변 조직 및 골절 부위의 뼈를 자극하고 활성화하여 통증을 줄이고 조직과 뼈를 재생시킨다[1-3].

충격파 치료는 비수술적 치료이며 비정상적인 힘줄 내의 특정 손상된 조직을 표적으로 하는 충격파 에너지를 전달하여 작동한다. 본 연구의 장치는 전립선 증상을 호소하는 환자를 위한 기본적인 치료 장비가 아니라, 이러한 질병의 원인 중 하나인 심리적 안정과 함께 약물요법과 병용 시 보조 치료로 상당한 도움을 제공한다[4-7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 본 논문의 기본 이론이 되는 충격파 치료 특징을 정리하고, 제안한 구조 전체적인 개요와 파형에너지 발생, 파형에너지 집중화 및 에너지전달, 밴드 파형 분산, 그리고 효과 검출법의 순서로 서술한다. 그리고 III장에서는 새롭게 설계한 에너지전달 구조로 실험한 결과를 기존의 구조들과 객관적인 지표로 비교하여 성능을 평가하고, IV장에서는 제안한 구조를 가지고 실험한 결과를 에너지 발생 및 환부에 도달하는 에너지전달 효과측면에서 정리하였다. V장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

본 연구의 장치는 충격파의 열과 기술적 진동 메커니즘에 의한 충격파 에너지의 열과 진동 효과를 이용한 온열 요법 장치이며, 전립선을 충격파 에너지의 가장 깊은 유효 매개체로 사용한다. 체외 충격파의 혈액순환을 증가시키는 효과와 함께 조직 대사 및 생물학적 막 투과성은 염증의 완화를 촉진할 뿐만 아니라 전립선에서 혈액 약물의 효과를 향상시키고 있다[8-10]. 충격파 치료는 비수술적 치료이며 비정상적인 힘줄 내의 특정 손상된 조직을 표적으로 하는 충격파 에너지를 전달하여 작동한다. 이것은 감염된 부위 내의 혈류를 증가시키고, 세포 재생 및 치유를 자극하고, 통증을 유발할 수 있는 국소 요인을 감소시킨다.

2.1 전립선 조직 치료용 에너지 투사

체외충격파가 전달되는 프로브가 감염된 부위에 놓여지면 충격파가 피부를 통해 전달된다. 충격은 손상된 조직 내부에 비구면 '방사형' 파동으로 퍼지는 충

격파로 피부를 통해 전달된다. 이 방사형 충격파는 치료 중인 손상된 조직에서 염증과 유사한 반응을 시작하고, 신체가 혈액 순환, 혈관 수 및 따라서 손상된 조직의 신진 대사를 증가시켜 자연스럽게 반응하도록 촉진한다. 체외 충격파 장치를 이용한 치료에서 기존 장비는 충격파를 확산시키고 넓은 범위로 열을 전달하여 통증을 줄이는 방법으로 치료했지만, 충격파 전달의 깊이가 충분하지 않아 충격파를 정확하게 전달하기 어려우며 치료 효율이 떨어지는 문제가 있다. 그러나 다른 연구들 간에 일관되게 일치하는 경우는 없다[4, 5]. 적용된 충격파의 에너지 (E)는 실제 적용을 위한 중요한 매개 변수값을 나타낸다. 수식(1)에서 표현된 충격파는 특정 에너지 임계값을 초과하는 경우에만 조직에 영향을 미친다고 가정할 수 있으며 충격파 $p(t)$ [그림 1]의 시간 곡선에 추가하여, 표면 A는 압력을 측정할 수 있고 또한 결정적이다. 전파 매체 밀도 (ρ) 및 음속 (c)의 음향 매개 변수를 사용하면 에너지에 대한 식 (1) 방정식이 생성된다. 이 에너지는 작은 영역에 집중되어 (초점) 또는 넓은 표면에 퍼진다.

$$E = A/\rho c \int_t p(t)^2 dt \quad (1)$$

A = wave surface
 $p(t)$ = pressure
 ρ = density of the propagation medium
 c = propagation speed in acoustic medium
 t = time

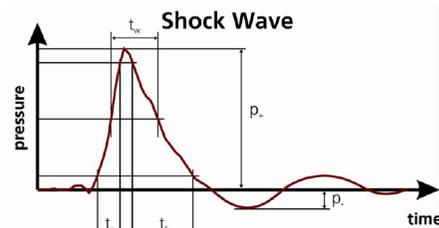


그림 1. 전형적인 충격파의 압력변동
 Fig. 1 Temporal pressure variation of a typical shock wave

2.2 전립선 조직 치료를 위한 에너지 투사방법

처음에는 기존의 평면적으로 감긴 코일로 이루어진 체외충격파 치료기의 특징인 오목렌즈와 진동막과 코일로 평평한 모양을 디자인했다[그림 2].

그러나 그 구조는 표적 조직의 초점 영역을 만들기 위해 더 많은 힘이 필요함을 알게되었다. 코일이 평면으로 감겨있는 체외진단기의 경우, 진동 멤브레인에 의해 발생된 충격파는 코일이 감긴 방향과 수직으로 발생된다. 이때, 충격파를 집중시키기 위해 코일에서 발생된 충격파를 거울을 통해 반사시키거나 지지부 코일에서는 오목렌즈를 활용하였다. 코일과 진동 멤브레인과 일정 거리 떨어진 곳에 렌즈를 위치시켜 렌즈를 통해 충격파를 집중시킨다. 이때, 렌즈의 무게로 체외충격과 치료기 자체의 무게가 증가되고, 제작이 커질 수 있으며, 잡음이 크고 방전 불꽃이 생기며 전극의 수명이 짧을 수 있다.

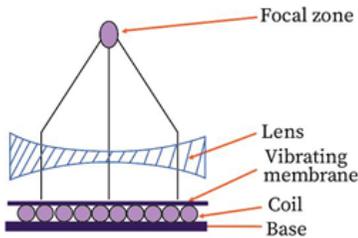


그림 2. 멤브레인에 의한 초점존 개념설계
Fig. 2 The concept design for focusing zone by membrane

2.3 MCU기반 저전력제어 및 에너지 투사방법

치료 영역의 공간적 영역크기는 [그림 3]과 같이 선택한 에너지 설정에 따라 크게 변경된다. 효율적인 전립선 조직의 면적은 고정된 양은 아니지만 낮은 설정에 비해 높은 에너지 설정에서 훨씬 더 커지게 된다. 충격파 발생기에 따라 -6dB 초점은 거의 변하지 않거나 최고 압력이 증가하면 더 높은 에너지 설정으로 더 작아짐을 알 수 있다.

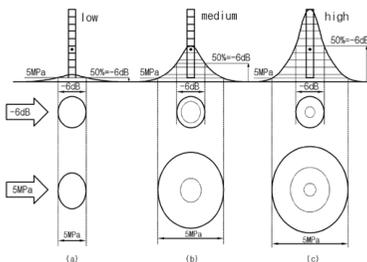
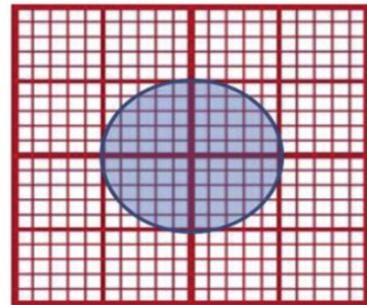


그림 3. 실험을 통한 몇가지 특징도
Fig. 3 Several set of features through the experimentation

[그림 3]는 에너지 설정이 다른 6dB 초점이 변경되지 않은 경우를 나타내고 있다. 충격파 에너지는 작은 구형 초점으로 대상 셀 또는 관심 영역에만 배치되어야 하며, 다른 곳에 배치되지 않아야 하며 이것은 효능을 최적화하고 부작용을 완전히 피할 수 있도록 위함이다. 기술적 접근은 중앙에 초점이 맺혀진 완전한 돔형태의 파면을 필요로 한다[4-7].

[그림 3]은 MCU(Micro Controller Unit)에서 작용하는 신호 및 출력제어기반 나선형의 코일에서 투사된 것과 다른 에너지플럭스밀도(EFD, Energy Flux Density)를 가진 다른 에너지 수준이 사용될 때 5MPa 치료 영역에 투영된 -6dB 초점을 나타낸다. 전달된 다른 EFD로 된 다른 에너지에도 불구하고, -6 dB 영역은 상대적으로 변하지 않는 반면, 치료 5MPa 초점 영역은 선명하게 커지고 레벨이 증가함에 따라서 충격파의 확장된 치료 영역을 반영하고 있다.



75.54mm² <- 원형 초점영역(10mm 직경) 초점(-6dB)
그림 4. 최대 압력의 절반에 도달하는 값에 의해 형성된 영역

Fig. 4 The area exposed to pressure values above half of the maximum pressure

[그림 4]의 원형은 처리 에너지가 최대 출력의 50%에 도달하는 최대 압력의 절반 이상의 값에 노출된 영역을 나타내고 있다.

III. 에너지전달 구조 제안방식

3.1 제안한 구조의 개요

의료용 핸드 피스는 원추형 구조로 형성된 체외충격파치료(ESWT, Focused Extracorporeal Shockwave Therapy)를 위한 새로운 구조로 구성되어 있으며, 코

일의 외면에 전원을 인가하여 충격파를 발생시키고 그 구조에 따라 진동하는 금속판이 포함되어 있도록 구성하였다. 코일에 의해 생성된 충격파 및 충격파를 전달하는 매체를 활용하였다. 본 논문에서는 제안한 구조는 코일이 수용되도록 원추형 구조를 이루는 물체를 포함하여 충격파가 초점에 집중되게 되며[그림 5], 충격파 전달 매체는 액체이며 금속막과 충격파 전달 매체 사이의 접촉을 방지하는 절연막으로 구성하였다. 충격파 발사 시간(간격)을 제어하는 독립형 충격파 발사 모듈을 제공하여 경제성과 조작성이 뛰어난 외부 충격파 치료기를 제공하였으며 또한 충격파 모듈을 설계하여 하나의 장치에서 치료 솔루션을 제공한다[그림 5].

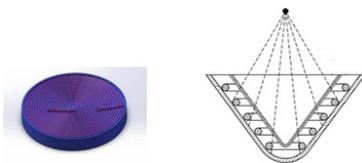


그림 5. 환부치료를 위한 초점형성의 개선구조도
Fig. 5 Design of Improved Structure of focused zone for the curing

첫째로, 공식을 사용하여 투영되는 치료영역 에너지 E 계산

$$10x \text{ dB} = 10\log 10^x \quad (2)$$

$$-6 \text{ dB} = 10\log 10^{-0.6} \quad (3)$$

-6dB은 힘으로 전달되는 압력의 1/2 정도이다.

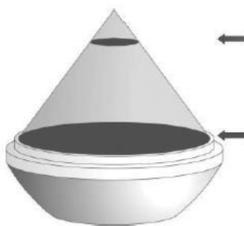


그림 6. 전체 에너지 대비 초점형성에 의한 EFD증가 개념도
Fig. 6 With comparable total energy, the EFD increases by focusing

[그림 6]은 더 큰 영역(아래쪽 화살표)을 더 작은 영역(위쪽 화살표)으로 축소하면 에너지가 집중되어

EFD가 증가하고 충격파의 효율성이 향상됨을 나타내고 있다.

둘째로, 고려한 것은 멤브레인 별 포커싱 존 개념 설계, 표준형 형상을 바탕으로 나선형 코일에서 체외충격 파를 생성하는 구조를 설계하여, 나선형 코일의 진동 막에서 많은 파도가 있고 액체 물질을 통해 일부 파도가 투영되도록 하였다. 초점식 파동은 표준 금속막과 나선형 코일에 의해 형성된다.

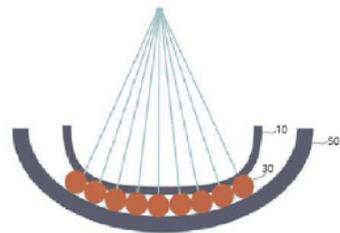


그림 7. 체외충격파치료기에서 발생하는 충격파형
Fig. 7 A shock wave generated in an extracorporeal shock wave treatment device

[그림 7]에서 표현된 체외충격파를 발생시키는 치료기는 진동체(10), 코일(30), 본체(50)로 구성되었다. 진동체는 금속 또는 알루미늄으로 제작되어 있으며, 곡면을 장착하고 있는 판 형태이며, 진동체는 코일에 강한 전류가 흐르면 코일로부터 유도된 자장에 의해 진동할 수 있다. 진동체의 진동이 충격파 원(shock source)으로 사용되어 있다. 코일은 초기에 작은 원으로 시작하여 회오리 모양으로 점점 원의 반지름이 커지는 형태일 수 있다. 또한, 코일은 중심부와 바깥쪽의 높이가 상이하여 그릇 형태로 이루어져 있다. 코일의 중심부는 바깥쪽보다 높이가 낮은 위치에 있고, 바깥쪽은 중심부보다 높이가 높은 위치에 있는 형태일 수 있다. 코일이 반구형 또는 중심부가 움푹 패인 형태를 유지함으로써 발생된 충격파가 별도의 렌즈 등이 없이도 하나의 초점으로 집중될 수 있다. 코일은 본체 밑부분의 표면에 부착되어 나선형의 형태를 유지할 수 있으며, 본체바닥은 오목한 반구형 bowl형 표면을 유지할 수 있다. 본체는 코일의 나선 형태를 유지할 수 있도록 지탱하며, 얇은 알루미늄으로 제작될 수 있고, 알루미늄의 판 형태를 이룰 수 있다. 본체는 코일에서 발생된 충격파가 급격하게 움직이도록 해주는 액체를 포함하였다[11].

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문은 코일에서 오는 충격파를 투사한 후 한곳에 모이는 포커스 방식을 통해 원하는 치료 부위로 충격파를 정확하게 전달하여 치료 효과를 극대화하고 부작용을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 충격파를 굴절시키는 별도의 렌즈가 없으며 장치 무게가 가벼워진다. 본 연구에 따르면 충격파를 한곳에 투사하여 모아서 에너지 효율이 높고 소모품 수명이 길며 소음과 방전 스파크가 발생하지 않는다. 체외충격파 쇄석술(ESWL, Extracorporeal Shock Wave lithotripsy)은 요도 및 전립선 내 결석을 위한 가장 안전한 치료 방법이다. 충격파 에너지가 조직 손상을 유발할 수 있지만, 급성 부작용은 드물며 개인의 위험 프로파일만 아니라 쇄석술 원칙 및 다른 치료 프로토콜에 따라 달라질 수 있다. 코일로부터 나오는 충격파를 굴절시킨 한 곳에 모이도록 하는 초점형 방식을 통해, 원하는 치료 부위에 정확하게 충격파를 전달시켜 치료효과를 극대화하고 부작용을 최소화하는 장점을 갖는다. 본 연구에서 고안한 장치는 충격파가 굴절되어 한 곳에 모이게 됨으로써 에너지 효율이 높고 소모품의 수명이 길며, 잡음 및 방전 불꽃이 생성되지 않는다.

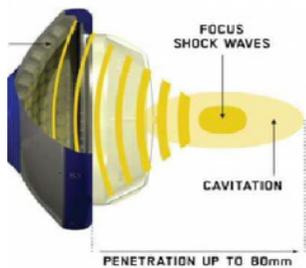


그림 8. ESWT기기에서 발생되는 충격파형
Fig. 8 The appearance of a shock wave generated in an ESWT device

[그림 8]은 MCU에서 작용하는 신호 및 출력제어 기반 나선형의 코일에서 전자기파가 발생하여 집중되는 모습을 나타낸다. 본 연구개발에서는 개발한 나선형으로 굽은 코일에 의해 발생된 전자기파가 피부 또는 조직을 통과하도록 집중된 모습이다. 강력하고 변화 가능한 전자기파는 나선형 코일에 고전류를 흘려 보냄으로써 발생한다. 코일은 오목한 형태의 본체에 부착되어 형태를 유지한다. 코일은 약 30 ~ 80번 회

전된 형태로 구성하였고, 코일에 전류가 빠르게 주입되면, 코일은 진동을 일으킨다. 코일로부터 발생한 진동은 코일에 부착된 금속 또는 알루미늄 판에서 액체에 쌓여있는 근접한 멤브레인이 충격파를 빠르게 전달하도록 한다. 근접한 멤브레인은 고전도성 이므로 빠르게 이동하며, 코일을 에워싼 액체에서 충격파를 발생시킨다. 코일 및 본체가 오목한 그릇 형태를 유지함으로써, 발생한 충격파는 한 초점에 모이게 되고, 초점은 최고 높은 압력으로 나타난다[11].

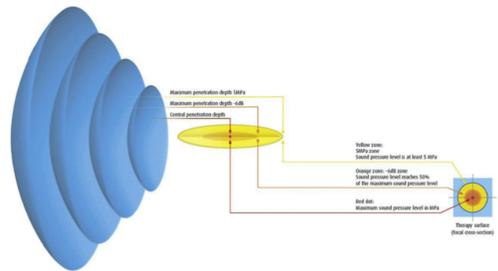


그림 9. 나선형코일에 의해 발생 및 집중화된 ESW에 의한 분산도

Fig. 9 Distribution of central focal zone, 6 dB zone, and 5 MPa zone by ESW generated and concentrated in a spiral coil

[그림 9]는 MCU에서 작용하는 신호 및 출력제어 기반 나선형의 코일과 진동체로부터 깊이 따라 각각 발생한 전자기파형 및 초점 구간을 도식화 한 것이며, [그림 7]코일의 주변부, 즉 원의 반지름이 가장 큰 영역에서 발생된 전자기파는 최대 5MPa 깊이로 침투가 가능하다. 이를 노란색 영역으로 나타내었으며, 치료하고자 하는 목표 지점으로부터 가장 멀다. 코일의 중심부와 주변부의 사이영역에서 발생된 전자기파는 최대 -6dB 깊이로 침투가 가능하다. 이를 오렌지색 영역으로 나타내었으며, 최대 음압 레벨의 약 50%에 해당한다. 빨간색 영역으로 나타낸 코일의 중심부 영역에서 발생된 전자기파는 인체 내로 가장 깊게 침투가 가능하다. 중앙 최대 침투 깊이는 거리를 나타낸다. 젤 패드를 사용할 때 피부 표면과 최대 음압 지점 사이에서 최대 침투 깊이를 허용한다. 6dB 영역 및 5MPa 영역의 최대 침투 깊이는 피부 표면과 초점의 말단부 사이의 거리를 나타내며 젤 패드를 사용하여 침투 깊이를 줄이고 정밀하게 조정할 수 있다.

V. 결 론

충격파 쇄석술은 소변 결석을 위한 가장 안전한 치료 방법이다. 충격파 에너지는 조직 손상을 유발할 수 있지만 급성 부작용은 드물며 개인의 위험한 프로파일 뿐 아니라 쇄석술 원칙 및 다른 치료 프로토콜에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서는 에너지 손실을 최소화하기 위한 새로운 구조 기반의 충격파 발생과 전달 및 치료환부에 집중화되는 원리를 이용한 치료효과를 제안하였다. 코일에서 오는 충격파를 투사한 후 한곳에 모이는 포커스 방식을 통해 원하는 치료 부위로 충격파를 정확하게 전달하여 치료 효과를 극대화하고 부작용을 최소화할 수 있는 장점을 획득하였다. 본 연구에서는 충격파를 한곳에 투사하여 모아서 에너지 효율이 높고 소모품 수명이 길며 소음과 방진 스파크가 발생하지 않음을 제시하였다. 아울러 충격파를 굴절시키는 별도의 렌즈가 없으며 장치 무게가 가볍다. 본 연구에서 고안한 장치는 전립선 증상을 호소하는 환자를 위한 기본적인 치료 장치는 아니지만, 이러한 질병의 원인 중 하나인 심리적 안정은 물론 약물치료와 병용시 보조 치료로도 큰 도움을 줄 수 있다. ESWL의 장기적인 합병증에 대한 지속적인 논란이 있으며, 향후 연구는 이 주제에 대한 보완 및 개선내용을 추진할 것이다.

References

- [1] L. Willis, A. Evan, B. Connors, Y. Shao, P. Blomgren, and J. Pratt, "Shockwave lithotripsy: dose-related effects on renal structure, hemodynamics, and tubular function," *J. Endourol*, vol. 19, 2005, pp. 90-101.
- [2] H. Axel, B. Walter, K. Oliver, A. Peter, and S. Maurice, "Extracorporeal application of high intensity focused ultrasound for prostatic tissue ablation," *BJU International*, issue 1, July 2005, pp. 71-76.
- [3] B. Matlaga, J. McAteer, B. Connors, R. Handa, A. Evan, and J. Williams, "Potential for Cavitation-Mediated Tissue Damage in Shockwave Lithotripsy," *J. Endourology*, vol. 22, 2008, pp. 121-6.
- [4] F. Paolo, C. Emanuele, M. Onesti, P. Fino, and N. Fallico, "Extracorporeal Shock Wave Therapy for the Management of Burn Scars," *Dermatologic Surgery*, vol 38, issue 5, May 2012, pp. 778-782.
- [5] C. Wang, "Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders," *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, vol. 7, 11, 2012, pp. 2-8.
- [6] D. Moya, S. Ramón, W. Schaden, C. Wang, L. Guiloff, and J. Cheng, "The Role of Extracorporeal Shockwave Treatment in Musculoskeletal Disorders," *The Journal of Bone and Joint Surgery*, vol. 100, issue 3, Feb. 2018, pp. 251-263.
- [7] C. Leal, E. Bermen, A. Fernandez, S. Bucci, and A. Castillo, "Extracorporeal Shockwave Therapy and Sports-Related Injuries. Shockwave Medicine," *Transl Res Biomed. Basel, Karger*, vol. 6, 2018, pp. 70-86.
- [8] S. Jeon, G. Zhu, E. Kwon, K. Lee, H. Cho, and U. Ha, "Extracorporeal shock wave therapy decreases COX 2 by inhibiting TLR4 NFκB pathway in a prostatitis rat model," *The Prostate*, vol 79, issue 13, Sept. 2019, pp. 1498-1504.
- [9] J. Oh, J. Kim, H. Lee, S. Lee, S. Jeong, and S. Hong, "Effect of personalized extracorporeal biofeedback device for pelvic floor muscle training on urinary incontinence after robot assisted radical prostatectomy, A randomized controlled trial," *Neurourology Urodynamics*, vol. 39, issue 2, Feb. 2020, pp. 674-681.
- [10] H. Wen, H. Hou, P. Lin, P. Lee, and J. Wu, "Effects of extracorporeal magnetic stimulation on urinary incontinence," *A systematic review and meta analysis*. June 2020.
- [11] H. Ryou and B. Son. "The study on Focused

Extracorporeal Shock Wave Prostate Therapy Apparatus using Spiral Coil," *International Conference on Innovation Convergence Technology 2020*, Jeju, Korea, July 2020, pp. 127-130.

저자 소개



유희수(Hees-Soo Ryoo)

1987년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2012년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2020년 호남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : EMS통신시스템, 원격제어통신



손병래(Byeong-Rae Son)

2016년 남부대학교 의료공학과 졸업(공학사)

2018년 남부대학교 대학원 의료공학과 졸업(공학석사)

2021년 남부대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사)

2017년 호남대학교 미래자동차공학공학부 교수

※ 관심분야 : 미래자동차통신시스템, EC차량

