



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0076236
(43) 공개일자 2016년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02N 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0186190

(22) 출원일자 2014년12월22일

심사청구일자 2014년12월22일

기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

정귀상

울산광역시 울주군 범서읍 장검길 123, 105동
1202호 (동문굿모닝힐)

(74) 대리인

김중선, 이형석

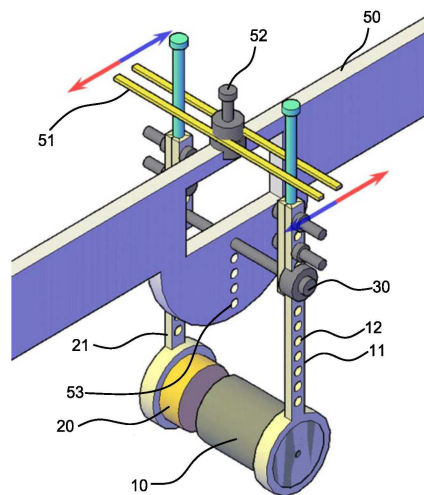
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터

(57) 요약

본 발명은 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터에 관한 것으로, 상세하게는, 구리 코일과 원통형 영구 자석을 상호 반대 방향으로 운동시키는 역위상 진자 운동의 진동 및 전자기 유도를 기반으로 하며 역위상 진자 운동으로 구리 코일의 유도 시간을 단축함으로써 일효율을 개선하여 출력 효율을 향상시키는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터를 개시한다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711013095

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원

연구과제명 자가발전형 웨어러블 가스센서에 관한 연구

기 여 율 1/1

주관기관 울산대학교

연구기간 2014.05.01 ~ 2015.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

제 1 및 제 2 진자 부재;

상기 제 1 진자 부재에 부착된 원통형 영구 자석;

상기 제 2 진자 부재에 부착된 구리 코일;

상기 제 1 및 제 2 진자 부재를 연결하는 축;

상기 축과 평행하게 이격되어 배치되며 상기 제 1 진자 부재 및 상기 제 2 진자 부재가 상기 축을 중심으로 상호 역 위상으로 운동하도록 상기 제 1 진자 부재의 일단의 이동에 따라 상기 제 2 진자 부재의 일단을 역방향으로 이동시키는 연결 로드; 및

상기 축 및 상기 연결 로드의 중심을 연결하는 고정 플레이트를 포함하며,

상기 축을 중심으로 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일이 역위상 진자 운동하는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 영구 자석 및 상기 구리 코일이 역 위상 진자 운동시, 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일이 교차하는 시점에 유도 출력 전압이 발생하는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 자석은 상기 코일보다 질량이 무겁게 형성되는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 고정 플레이트는 상기 축이 관통하는 관통홀을 상하 방향으로 복수개 더 구비하며, 상기 축이 관통하는 관통홀의 상하 위치에 대응하여 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일의 변위 각도 크기가 조절되는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 진자 부재는 복수개의 관통홀을 상하 방향으로 더 포함하며, 상기 축이 삽입되어 고정되는 관통홀의 위치에 대응하여 상기 제 1 및 제 2 진자 부재의 진자 길이가 조절되는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 영구 자석은 NdFeB 자석을 포함하는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 영구 자석의 잔류 자속 밀도, 상기 구리 코일의 권선 횟수, 상기 영구 자석과 상기 구리 코일 간 거리에 비례하여 유도 출력 전압이 발생하는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

주파수, 변위, 및 추가 중량의 입력 조건들에 따라 출력 전력이 다르게 발생되며,

상기 주파수는 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일에 인가되는 주파수이고, 상기 변위는 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일의 변위이며, 상기 추가 중량은 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일에 대한 추가 중량을 나타내는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 코일과 자석을 반대 방향으로 운동시켜 코일의 유도 시간을 단축함으로써 일효율을 개선하여 출력 효율을 향상시키는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 배터리는 휴대용 전자기기나 센서 노드들에 전원을 공급하는 수단으로서 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 배터리는 제한된 사용 연한, 교체의 어려움 및 폐기 시에 발생하는 심각한 수준의 환경 오염이라는 문제점을 갖고 있다.

[0003] 배터리가 갖고 있는 이러한 한계를 극복하기 위한 수단으로서, 태양, 열, 풍력, 진동 등과 같이 주변에서 얻을 수 있는 에너지를 전기 에너지로 변환하여 제공하는 에너지 하베스팅(energy harvesting) 기술이 최근 주목받고 있다.

[0004] 에너지 하베스팅 기술의 특징은 주변 환경에서 에너지를 추출해내는 동안 오염 물질의 배출이 없는 친환경 녹색 기술이다. 소량의 전력으로 구동될 수 있는 저전력 통신기기, 센서 네트워크, 체내 삽입형 기기, 모바일 기기 등이 주된 응용분야가 된다.

[0005] 하지만 상술한 대체 에너지 중에서 태양이나 열, 풍력 등을 이용한 발전 방법은 아직까지 변환 효율이 높지 않으면서 설비 및 관리비용도 적지 않게 소요되고 있다. 아울러 이러한 에너지 발전 방법은 휴대용, 착용식 및 이동형 소형 전자기기의 에너지원으로는 한계가 있다.

[0006] 반면, 진동을 이용한 에너지 변환 방법은 특히 소형 전원 소자로 적용이 가능하고, 기기가 외부에 노출될 필요가 없어 장비에 부착하거나 삽입이 유리하다는 이점이 있다. 또한 시간과 장소의 제약없이 지속적인 사용이 가능하다는 잠재적 가능성으로 인해 소형 전자기기나 무선 센서노드 및 의료용 기기 등의 전원 장치로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0007] 진동을 이용하여 에너지를 수확하는 대표적 발전 기술에는 소재와 변환 방식에 따라 정전식(electrostatic), 압

전식(piezoelectric), 전자기식(electromagnetic)으로 구분한다. 전자기식은 유도코일과 영구자석 사이의 움직임을 이용하는 방식으로, 간단한 기계적인 공진기의 구조로 인하여 높은 에너지 변환 효율과 저 주파수의 설계가 가능한 장점이 있다.

[0008] 이와 같이 저 주파수 설계가 가능한 이점 때문에 전자기식 진동형 에너지 하베스터에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 출력 효율을 향상시키기 위한 다양한 방법이 제안되고 있다.

[0009] 예를 들어, 다양한 외부 진동 주파수에 에너지 하베스터의 동작 주파수를 매칭하여 출력 효율을 향상시키기 위하여 에너지 하베스터의 동작 주파수를 광대역으로 확장하는 방식이 있다.

[0010] 또한 진동형 에너지 하베스터의 출력 효율을 향상시키기 위해서는 자속의 변화율을 개선해야 하며, 자속의 변화율을 개선하기 위해서는 자속을 증가시키는 방법과 유도 시간을 단축시키는 방법이 고려될 수 있다. 자속 증가의 경우 실질적으로 불가능하지는 않으나 상당히 구현이 어려운 작업이다. 그러나 유도 시간 단축의 경우에는 출력 효율을 향상시키기 위하여 채용이 가능하고 개발 가능성이 크지만 이에 대한 연구가 미미한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 미국공개특허 US 2013/0221680호 (2013. 08. 29)

(특허문헌 0002) 미국공개특허 US 2014/0300113호 (2014. 10. 09)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 상술한 바와 같은 종래 기술의 요구 사항에 의하여 제안된 것으로, 본 발명의 목적은 구리 코일과 원통형 영구 자석을 상호 반대 방향으로 운동시키는 역위상 진자 운동의 진동 및 전자기 유도를 기반으로 하며 역위상 진자 운동으로 구리 코일의 유도 시간을 단축함으로써 일효율을 개선하여 출력 효율을 향상시키는 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기한 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 의한 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터는, 제 1 및 제 2 진자 부재; 상기 제 1 진자 부재에 부착된 원통형 영구 자석; 상기 제 2 진자 부재에 부착된 구리 코일; 상기 제 1 및 제 2 진자 부재를 연결하는 축; 상기 축과 평행하게 이격되어 배치되며 상기 제 1 진자 부재 및 상기 제 2 진자 부재가 상기 축을 중심으로 상호 역 위상으로 운동하도록 상기 제 1 진자 부재의 일단의 이동에 따라 상기 제 2 진자 부재의 일단을 역방향으로 이동시키는 연결 로드; 및 상기 축 및 상기 연결 로드의 중심을 연결하는 고정 플레이트를 포함하며, 상기 축을 중심으로 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일이 역위상 진자 운동한다.

[0014] 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일이 역 위상 진자 운동시, 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일이 교차하는 시점에 유도 출력 전압이 발생된다.

[0015] 상기 자석은 상기 코일보다 질량이 무겁게 형성된다.

[0016] 상기 고정 플레이트는 상기 축이 관통하는 관통홀을 상하 방향으로 복수개 더 구비하며, 상기 축이 관통하는 관통홀의 상하 위치에 대응하여 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일의 변위 각도 크기가 조절된다.

[0017] 상기 제 1 및 제 2 진자 부재는 복수개의 관통홀을 상하 방향으로 더 포함하며, 상기 축이 삽입되어 고정되는 관통홀의 위치에 대응하여 상기 제 1 및 제 2 진자 부재의 진자 길이가 조절된다.

[0018] 상기 영구 자석은 NdFeB 자석을 포함한다.

[0019] 상기 영구 자석의 잔류 자속 밀도, 상기 구리 코일의 권선 횟수, 상기 영구 자석과 상기 구리 코일 간 거리에

비례하여 유도 출력 전압이 발생된다.

[0020] 주파수, 변위, 및 추가 중량의 입력 조건들에 따라 출력 전력이 다르게 발생되며, 상기 주파수는 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일에 인가되는 주파수이고, 상기 변위는 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일의 변위이며, 상기 추가 중량은 상기 영구 자석 및 상기 구리 코일에 대한 추가 중량을 나타낸다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면 코일과 자석을 반대 방향으로 운동시켜 코일의 유도 시간을 단축함으로써 에너지 하베스터의 일효율을 개선하여 출력 효율을 향상시킨다.

[0022] 일례로, 본 발명에 의한 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터는 2 Hz의 공진 주파수에서 2 kΩ의 부하저항으로 247 μW의 최대 출력 전력을 생성한다. 단일 위상 운동 기반의 일반적인 에너지 하베스터에 비하여, 본 발명에 의한 역위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터는 출력 전력의 효율성이 약 30% 향상된다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 진자 길이 및 진자 변위 각도에 따른 진자 구조의 Matlab 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면
 도 2는 본 발명에 의한 역 위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터의 구성도
 도 3은 본 발명에 의한 역 위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터의 동작 규칙을 나타낸 도면
 도 4는 다양한 교차 속도별 자속쇄고 및 유도 전압에 대한 맥스웰(Maxwell) 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프
 도 5는 본 발명에 의한 역 위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터의 테스트를 위한 장치 구성도
 도 6은 2Hz의 입력 주파수와 10mm의 변위에 대하여 교차 시간의 영향을 보여주며, 단일 위상 및 역 위상 진자 운동으로 인한 출력 전압 파형을 비교한 그래프
 도 7은 단일 위상 및 역 위상 운동에 대해 외부 주파수가 출력 전압에 큰 영향을 주는 결과를 나타내는 그래프
 도 8은 입력 주파수, 변위 및 부가 중량의 함수로 측정된 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 변위 각도에 대한 결과 그래프
 도 9는 입력 주파수, 입력 변위 및 부가 중량에 따른 에너지 하베스터의 출력 전압의 관계를 나타내는 그래프
 도 10은 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 출력 전압(청색표시) 및 전력(적색 표시)이 다양한 부하 저항에 대하여 측정된 결과 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0025] 도 1은 진자 구조의 Matlab 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로서 도 1의 (a)는 진자 운동의 개략도이다. 도 1의 (a)에서 상하 운동의 진자 길이 및 진자 회전 각도(변위각도)가 각각 L 및 θ 로 나타내진다. 처음에는 진자가 진자 질량이 지표면에 수직인 평형 위치에 위치해 있다. 평형 위치는 진자가 휴지인 시작점이다. 단순한 진자의 경우, 이 평형 위치는 항상 중앙에 위치해 있으며, 이 진자는 지표면에 수직이다. 질량이 평형 위치에서 교란되면, 진자는 평형 위치를 중심으로 진동하기 시작한다. 단순한 진자는 한 극대 지점으로부터 평형 위치를 통과하여 다른 극대 지점까지 스윙한다. 진자는 극대 지점에서 방향을 반대 방향으로 바꾸어 평형 위치를 통과한다. 마찰과 공기 저항이 없다면 진자는 앞뒤로 무기한 진동하는 것이다. 진자의 에너지 균형을 통해, 그 최대 높이를 이용하여 접선 속도와 진자의 길이를 관련시킬 수 있다. 임의의 지점에서의 높이는 삼각법을 통해 계산될 수 있으며, 삼각법은 평형 위치에서 측정된 진자의 길이로부터 진폭에서의 피봇 포인트로부터의 거리를 뺀 값으로 설정될 수 있다. 즉, 다음과 같이 설정될 수 있다.

[0026] (1) $H = L - \cos \theta = L(1 - \cos \theta)$

[0027] 최고 높이에서, 진자는 그 속도가 제로이기 때문에 가장 큰 위치 에너지를 가지며 운동 에너지는 갖고 있지 않

게 된다. 평형 위치를 통과할 때, 가장 큰 운동 에너지를 가지며 중력 위치 에너지는 갖지 않는다. 따라서 이러한 최저 지점으로부터 높이의 변화가 $mgh_{\max} = (1/2)mv_{\max}^2$ 에 의하여 측정될 수 있다. 동일한 질량이 이 방정식의 좌측 및 우측에 제공되면 취소될 수 있으며 이에 접선 속도는 스윙하는 객체의 질량에 독립적이라는 것을 확인할 수 있다. 수식(2)는 임의의 지점에서 진자의 속도를 계산하기 위해 사용될 수 있다.

(2)..... $v = \sqrt{2gh}$

역 위상 운동의 경우, 속도가 동일하지만 반대 방향으로 진동하는 두 진자가 있다. 따라서, 두 진자 운동의 속도는 자석 진자의 속도인 V_{magnet} 및 코일 진자의 속도인 $V_{\text{coil}} (= -V_{\text{magnet}})$ 로 나타낼 수 있다. 역 위상 운동의 상대적인 속도($V_{\text{magnet}} - V_{\text{coil}}$)는 단일 위상 진자 운동의 상대적인 속도의 두 배이다.

(3).. 단일 위상 운동의 상대 속도= V_{magnet} 또는 V_{coil}

(4).. 역위상 운동의 상대 속도= $V_{\text{magnet}} - V_{\text{coil}} = V_{\text{magnet}} - (-V_{\text{magnet}}) = 2V_{\text{magnet}}$

결론적으로, 본 발명은 전자기 유도를 위한 이 개념이 채용되었다. 자석과 코일이 각각 진자 구조에 부착되었다. 주변 진동이나 기계적 힘이 가해질 때, 진자 구조체의 역 위상 운동이 유도 시간을 단축시켜 효율성을 향상시킬 수 있다.

도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 평형 위치에서 진자의 최대 속도는 진자의 길이 및 변위 각도에 따라 달라진다. 진자의 길이가 길수록 평형 위치에서 진자의 최대 속도가 높아진다.

도 1의 (c)는, 다양한 종류의 자석이 자속의 변화율로 정의되는 기전력의 측면에서 비교된 그래프이다. 도 1의 (c)에 도시된 바와 같이, 다양한 종류의 자석에 대하여 기전력이 자속 쇄교 시간이 증가함에 따라 기하 급수적으로 감소된다. 다른 자석들 중에서 NdFeB 자석이 높은 기전력을 나타낸다. 그러므로, 본 발명에서 전력 효율을 향상시키기 위하여, 진자 구조는 자속 쇄교 시간을 감소시키기 위하여 NdFeB 자석을 사용하여, 최대 가능한 높이로 운동한다.

도 2는 본 발명에 의한 역 위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터의 구성을 나타낸다. 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의한 역 위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터(이하, 본 발명에 의한 에너지 하베스터라 칭함)는, 제 1 및 제 2 진자 부재(11)(21), 상기 제 1 진자 부재(11)에 부착된 원통형 영구 자석(10), 상기 제 2 진자 부재(21)에 부착된 구리 코일(20), 상기 제 1 및 제 2 진자 부재(11)(21)를 연결하는 축(30), 상기 축(30)과 평행하게 이격되어 배치되며 상기 제 1 진자 부재(11) 및 상기 제 2 진자 부재(21)가 상기 축(30)을 중심으로 상호 역 위상으로 운동하도록 상기 제 1 진자 부재(11)의 일단의 이동에 따라 상기 제 2 진자 부재(21)의 일단을 역방향으로 이동시키는 연결 로드(51), 및 상기 축(30) 및 상기 연결 로드(51)의 중심을 연결하는 고정 플레이트(50)를 포함하여 구성된다.

코일(20)과 자석(10)은 서로 대향하고 고정된 평형 위치를 중심으로 진동 할 수 있다. 에너지 하베스터의 효율을 개선하기 위해서, 자석(10)과 코일(20)은 연결로드(51)의 작용에 의해 축(30)을 중심으로 서로 반대 방향으로 이동하도록 설계되었다.

자석(10)의 중량은 가능한 한 코일(20)의 중량과 상이하도록 형성된다. 각 진자 구조의 질량이 동일하다면, 각 진자는 역방향으로 운동할 수 없다. 따라서, 코일(20)보다 무거운 질량을 갖도록 자석(10)이 형성된다.

상기 고정 플레이트(50)는 상기 축(30)이 관통하는 관통홀(53)을 상하 방향으로 복수개 더 구비하며, 상기 축(30)이 관통하는 관통홀(53)의 상하 위치에 대응하여 자석(10) 및 코일(20)의 회전 각도 크기가 조절될 수 있다.

제 1 및 제 2 진자 부재(11)(21)는 복수개의 관통홀(12)을 상하 방향으로 더 포함하며, 상기 축(30)이 삽입되어 고정되는 관통홀(12)의 위치에 대응하여 상기 제 1 및 제 2 진자 부재(11)(21)의 진자 길이가 조절된다.

[표 1]은 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 세부 설계 파라미터를 나타낸다.

[0041] [표 1]

구성요소	파라미터	값
진자부재	Material	Aluminum (magnet) Acrylic (coil)
	Volume	3.33 cm ³
	Weight	6.18 g (magnet) 2.76 g (coil)
자석	Type	Cylindrical NdFeB
	Grade	N52
	Size	20 × 25 mm ²
	Weight	35.3 g
코일	Material	구리
	Type	와이어
	Diameter	0.1 mm
	Turns	200
연결로드	Material	아크릴
	Size	3 × 2 × 70 mm ³ (2 pics) (width × height × length)

[0042]

[0043] 도 3은 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 동작 규칙을 나타낸다.

[0044]

우선, 자석(10)과 코일(20)이 평형 위치(1)에 있다. 외부 주파수가 인가되면, 자석(10)이 우측으로 이동함과 동시에 코일(20)이 자석(10)의 위상과는 역 위상으로 이동한다(2). 제 1 진자부재(11)의 일단이 좌측으로 이동하면 제 1 진자부재(11) 측 연결로드(51)의 일단도 좌측으로 이동됨과 동시에 연결로드(51)의 타단은 우측으로 이동되어 제 2 진자부재(21)의 일단이 우측으로 이동된다.

[0045]

그후 자석(10) 및 코일(20)이 각자의 극대 위치에서 방향을 반대로 바꾸어(3) 평형 위치(1)를 향해 이동한다(4). 평형 위치 부근에서 자석(10) 및 코일(20)이 교차하기 시작하다가 5의 평형위치에서 완전히 겹쳐진 후 자석(10)이 좌측으로 이동하고 코일(20)은 우측으로 이동한다(6). 자석(10) 및 코일(20)이 각자의 극대 위치에서 방향을 반대로 바꾸어(7) 평형 위치를 향하여 이동한다(8). 이와 같이 자석(10) 및 코일(20)은 연결 로드(51)의 작용에 의하여 상호 역 위상 운동으로 진동하는 것이다. 이러한 운동 중에, 전기 에너지는 자속의 변화에 의해 코일에 유도된다. 역 위상 운동은 교차 시간을 단축시키며, 이는 유도 출력에 직접적인 영향을 준다.

[0046]

패러데이(Faraday) 유도 법칙에 의하면, 유도 출력 전압은 아래 식5에 의해 주어진다.

[0047]

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (5) \dots$$

[0048]

여기서 Φ_B 는 코일의 총 자속 쇄교이다. 최대 자속 쇄교는 아래 식 6과 같이 나타낼 수 있다.

[0049]

$$\Phi_B = B_r \cdot A_c \cdot 2N_p \cdot N \cdot \beta \quad (6) \dots$$

[0050]

여기서 B_r 은 진자 자석(10)의 잔류 자속 밀도이고, A_c 는 코일(20)의 경계로 둘러싸인 영역이며, N_p 는 극 쌍(pole pair)의 수이고, N 은 코일(20)의 권선 횟수이다. β 는 자석(10)으로부터 코일(20)로의 거리, 코일(20) 권선의 배열 및 누설 필드 영향 등과 같은 영향을 포함한다. 출력 전압 유도 시, 유도 시간(t)은 자석(10)과 코일(20)간의 교차 시간에 의해 결정된다. 따라서 유도 시간(t)은 출력 전압에 직접적으로 상관된다.

- [0051] 도 4는 다양한 교차 속도별 자속쇄교(a) 및 유도 전압(b)에 대한 맥스웰(Maxwell) 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 파형 시뮬레이션 결과에 따르면, 자석은 1~7 cm/s의 상이한 교차 속도로 5초 기간 동안 한번 코일에 의해 통과된다. 교차 속도는 자속 쇄교 시간 및 출력 전압에 영향을 준다. 자속 쇄교는 코일의 권선 횟수 및 자기장에 의해 결정되기 때문에, 최대 자속 쇄교는, 도 4의 (a)에 나타난 바와 같이, 상이한 교차 속도별로 동일하다. 그러나, 도 4의 (b)에서 보여지는 바와 같이 출력 전압은 교차 속도에 의해 매우 큰 영향을 받는다. 교차 속도가 증가하면, 유도된 출력 전압은 매우 크게 증가되며, 이에 높은 교차 속도가 전자기 에너지 하베스터의 출력 효율을 향상시킨다는 것을 확인할 수 있다.
- [0052] 도 5는 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 테스트를 위한 장치 구성도이다. 본 발명에 의한 에너지 하베스터(100)에 기계적 움직임을 공급하기 위해 Ezi-Servo-PR-60L-A 리니어 모터가 사용될 수 있다. 상기 리니어 모터는 제어기 및 전원 공급기에 의해 구동되며, 본 발명에 의한 에너지 하베스터는 상기 리니어 모터의 상단에 장착될 수 있다. 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 연결 로드의 중심에 모터가 연결되어 연결 로드의 좌우 방향 운동을 구동시킬 수도 있다.
- [0053] 르크로이(LeCroy) 오실로스코프(WaveAce 214)는 다양한 주파수, 다양한 변위 및 다양한 부하 저항에 의해 유도된 출력전압을 측정하기 위해 코일(20)에 연결되었다. 본 발명에 의한 에너지 하베스터를 예시적으로 구현한 장치의 총 부피는 약 181cm^3 이고, 중량은 약 150 g이 되었다. 자석(10)으로는 원통형의 NdFeB (N52) 영구 자석이, 코일(20)로는 에나멜 동선 와이어가 전자기 유도를 위해 사용되었다.
- [0054] 도 6은 2Hz의 입력 주파수와 10mm의 변위에 대하여 교차 시간의 영향을 보여주는, 단일 위상 및 역 위상 진자 운동으로 인한 출력 전압 파형을 비교한 그래프이다. 단일 위상 진자 운동의 경우, 자석(10)이 약 0.40 초 동안 고정 코일(20)의 경로를 교차하여 운동하며, 약 2.28 Vpp의 피크-투-피크 출력 전압이 획득된다. 그러나, 역 위상 진자 운동의 경우 0.31 초의 교차 시간을 가지며 2.92 Vpp로의 출력 전압이 획득된다. 따라서, 역 위상 진자 운동은 단일 위상 진자 운동에 비하여 약 22.5 %로 교차 시간을 단축시킬 수 있고, 약 22.0 %로 출력 전압을 증가시킬 수 있다. 이러한 결과는 유도 기전력이 회로를 통해 자속의 시간 변화율에 비례한다는 점에서 패러데이 전자기 유도 법칙을 만족시킨다.
- [0055] 실험은 2.5s의 스위프(sweep) 시간, 0.25 Hz의 증가 단위로 0.25Hz로부터 4 Hz까지 주파수 스위프를 통해 단일 위상 및 역 위상 운동에 대해 실시되었다. 단일 위상 운동의 최대 개방 회로 출력 전압은 4.96 품질계수(Q-factor)에 대응된다. 반면 도 7에 도시된 바와 같이, 역 위상 운동의 최대 개방 회로 출력 전압 및 품질계수는 각각 380 mV_{rms} (± 40 mV) 및 5.13이었다. 따라서, 역 위상 운동은 단일 위상 운동의 경우보다 높은 출력 효율 및 Q 팩터(품질계수)가 획득되었다. 외부 주파수는 출력 전압에 강한 영향을 미침을 확인할 수 있다. 본 발명에 의한 에너지 하베스터는 2 Hz의 공진 주파수를 갖도록 형성된다.
- [0056] 도 8은 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 변위 각도가 입력 주파수, 변위 및 부가 중량의 함수로 측정된 결과의 그래프이다. 측정된 최대 변위 각도는 변위 5mm, 입력 주파수 2Hz에서 약 30° ($\pm 5^\circ$)이었으며, 도 8의 (a)에 도시된 바와 같이, 입력 주파수에 의한 영향이 가장 크다. 또한, 1.5 Hz 미만의 입력 주파수는 에너지 하베스터를 운동시키지 못했고, 2.5 Hz 초과와 입력 주파수는 에너지 하베스터가 일정한 변위 각도를 나타내었다. 2 Hz에서의 일정한 입력 주파수에서, 증가된 입력 변위가 더 큰 변위 각도가 되었다(도 8의 (b) 참조). 이와 같이 측정된 결과는 입력 변위 및 변위 각도 사이가 거의 선형 관계임을 보여준다. 2 Hz의 일정한 입력 주파수 및 5mm의 변위와 함께, 진자 구조에 중량을 부가하는 것은 변위 각도를 증가시키고 20g 초과와 부가 중량에 대하여 대략 110° 에서 서서히 포화되었다(도 8의 (c) 참조). 이러한 변위 각도는 본 발명에 의한 에너지 하베스터가 주파수, 변위 및 중량의 입력 조건들에 의해서 매우 큰 영향을 받는다는 것을 나타내준다.
- [0057] 도 9는 입력 주파수, 입력 변위 및 부가 중량에 따른 에너지 하베스터의 출력 전압의 관계를 나타내는 그래프들이다. 도 9의 (a)에 도시된 바와 같이, 5 mm의 변위로, 0.25 Hz부터 4 Hz까지 입력 주파수를 스위프(sweep)를 실시하였고, 0~50g의 다양한 중량을 부가하여 출력 전압이 측정되었다. 외부 주파수와 추가 중량은 출력 전압에 따라 강하게 영향을 미쳤다. 최대 출력 전압은 부가 중량에 관계없이 2 Hz의 공진 주파수에서 발생되었다. 다시 말하자면, 부가 중량은 출력 전압에 영향을 주지 않음을 나타낸다. 최대 유도 전압은 부가 중량 50g에 대해 780 mV_{rms} 가 된다(2 Hz 주파수 및 5 mm 변위에서). 입력 변위 및 부가 중량을 증가시키는 것은, 5mm 이상의 변위 레벨에 대해 관찰되는 가용한 전압과 함께, 출력 전압을 향상시킨다(도 9의 (b)참조).
- [0058] 부가 중량은 변위각도와 마찬가지로 출력 전압에 유사한 효과를 가진다. 즉, 유도 전압이 증가하여 중량이 증가함에 따라 점차 포화된다(도 9의 (c) 참조). 이러한 결과는 변위 각도와 출력 전압 간의 관계를 나타내며, 도 8

의 (b) 및 (c)와 일치한다. 또한, 속도, 진자 중량 및 입력 변위는 모두 출력 전압에 직접 영향을 준다.

[0059] 도 10은 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 출력 전압(청색표시) 및 전력(적색 표시)이 다양한 부하 저항에 대하여 측정된 결과 그래프이다. 네 개의 쇼트키(Schottky) 다이오드(HITACHI HRP 22)와 하나의 커패시터 (1000 μ F SAMWAH SG)가 브리지 정류기에 사용되었으며, 브리지 정류기는 본 발명에 의한 에너지 하베스터의 교류 전류(AC)를 직류 전류(DC)로 변환하는 것이다.

[0060] 출력 전력(적색 표시)이 최대값에 도달한 후 서서히 감소함을 알 수 있다. 본 발명에 의한 에너지 하베스터는 부하 저항이 2 k Ω 일 때 700 mV_{DC} 전압에서 247 μ W의 최대 출력 전력을 나타내었다.

[0061] 진자 구조는 압전식, 마찰 전기식 및 전자기식 디바이스를 포함하는 다양한 종류의 에너지 하베스터에 사용되어 왔다. [표 3]은 진자 운동 종류, 입력 조건, 출력 전력 및 전력 밀도를 표시하여 진자 기반 에너지 하베스터의 개요를 요약한 것이다. 단일 위상 에너지 하베스터들에 비해, 본 발명에 의한 역 위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터는 역 위상 운동을 수행함으로써 전력 효율을 향상시키는 것으로서 새로운 개념을 제안하는 것이다.

[0062] 도 4의 (a)를 참조하여 상술한 바와 같이, 교차 속도는 자속 쇄교 시간에 영향을 준다. 역 위상 운동은 도 6에 도시된 바와 같이 단일 위상 운동에 비하여 상대적으로 교차 시간을 단축시킬 수 있다. 그러므로, 전력 효율은 [표2]에 나타난 바와 같이 약 30 % 향상된다.

[0063] [표 2]

운동타입	이동 부분		공진 주파수	최대 평균 출력 (error range)
	자석	코일		
단일 위상 운동	이동	고정	2 Hz	260 mV _{rms} (± 20)
역 위상 운동	이동	이동	2 Hz	380 mV _{rms} (± 40)

[0064]

[0065] [표 3]

Group	Conversion method	Pendulum motion	Input condition	Output power [μ W]	Power density [μ W/cm ³]
Y. Uzun et al. [24]	Piezoelectric	Single-phase	4.76 Hz	79	None
P. Pillatsch et al. [25]	Piezoelectric	Single-phase	2 Hz at 20 m/s ²	43	8.6
S. Lee et al. [26]	Triboelectric	Single-phase	2 Hz	1.8	None
K. Sasaki et al. [27]	Electromagnetic	Single-phase	2 Hz at 30 mm	170	None
Y.J. Wang et al. [28]	Electromagnetic	Single-phase	200–400 r/min	200–300	None
T.W. Ma et al. [29]	Electromagnetic	Single-phase	2–4 Hz at 0.14 g	1000	76.9
D. Spreemann [30]	Electromagnetic	Single-phase	30 Hz at 100 μ m – 80 Hz at 75 μ m	400–3000	266–2000
This work	Electromagnetic	Antiphase	2 Hz at 10 mm	274	5.3

[0066]

[0067] 본 발명에 의한 역 위상 진자 움직임 기반 에너지 하베스터의 효율성을 입증하기 위하여, 도 7 내지 도 9에 도시된 바와 같이, 주파수, 변위 및 추가 중량의 입력 조건들에 따라 출력 전력이 달라진다는 것이 조사되었다. 이러한 결과는 교차 속도를 증가시키면 전자기 에너지 하베스터의 효율성을 향상시킬 수 있음을 입증하는 것이며, 역 위상 운동이 교차 속도를 증가시켜서 에너지 하베스터의 효율성을 향상시키기 위한 방법으로서 본 발명에서 사용된 것이다.

[0068] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명

의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 이상에서 기술한 실시예는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 그러므로 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0069]

11,21: 제 1 및 제 2 진자 부재 10: 영구 자석

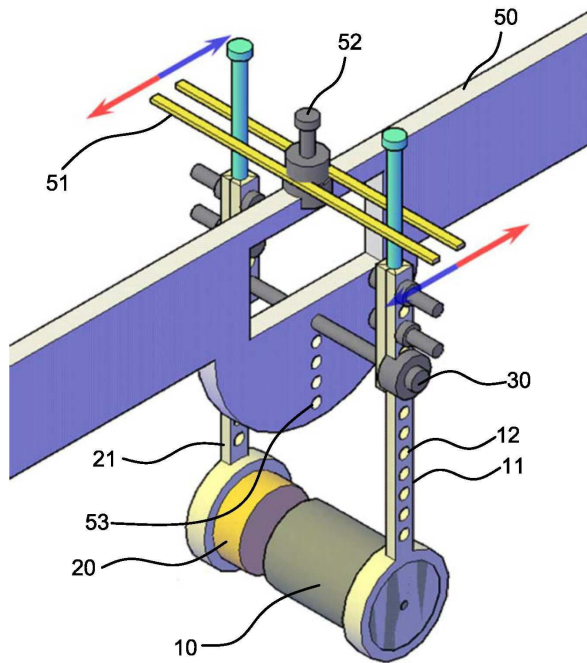
12: 관통홀 20: 구리 코일

30: 축 50: 고정 플레이트

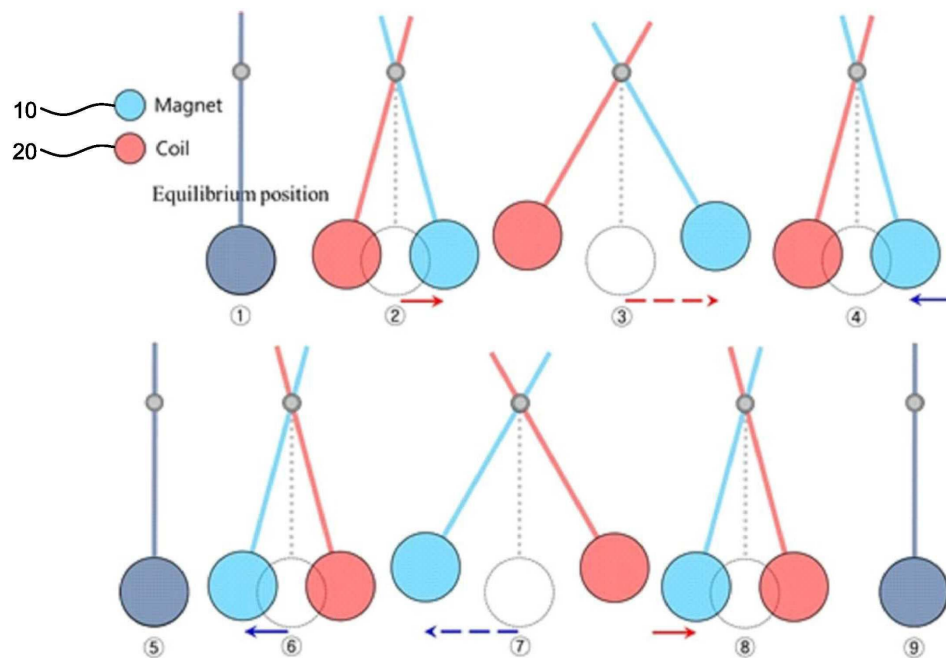
51: 연결 로드 52: 로드연결부

53: 관통홀

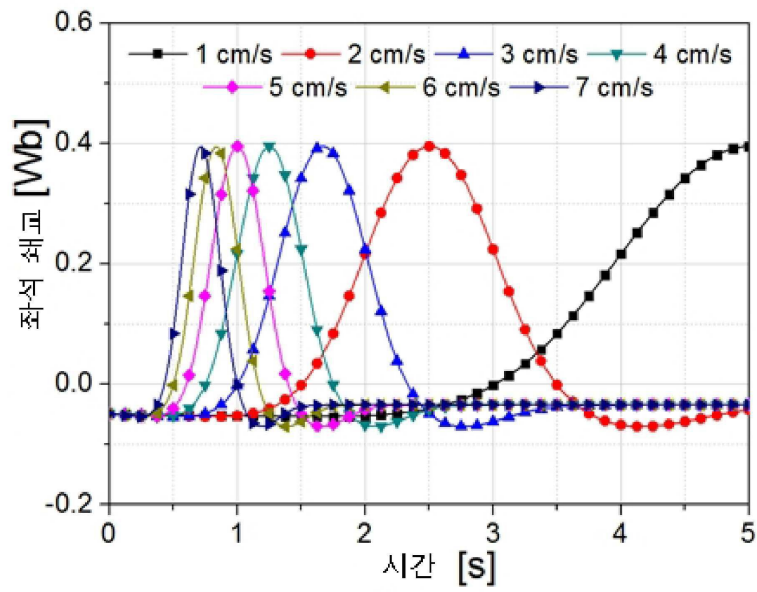
도면2



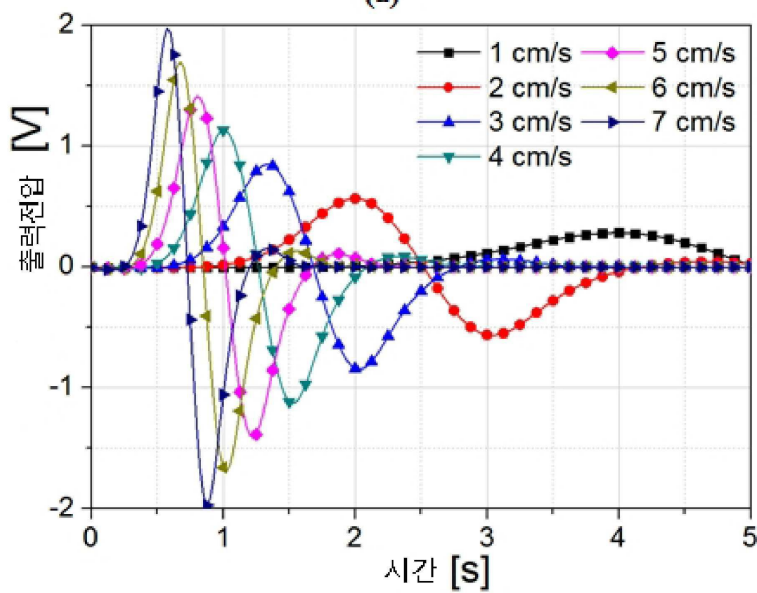
도면3



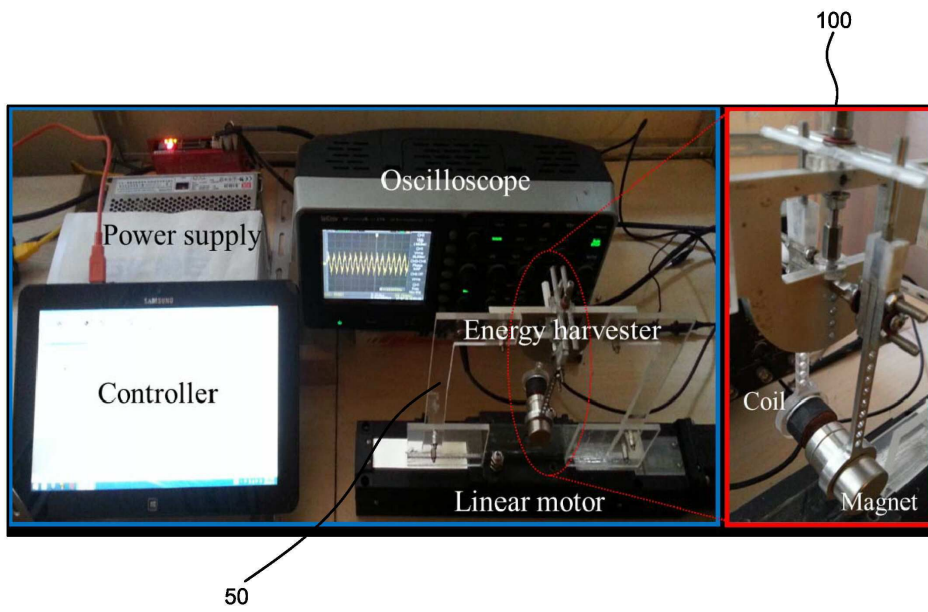
도면4



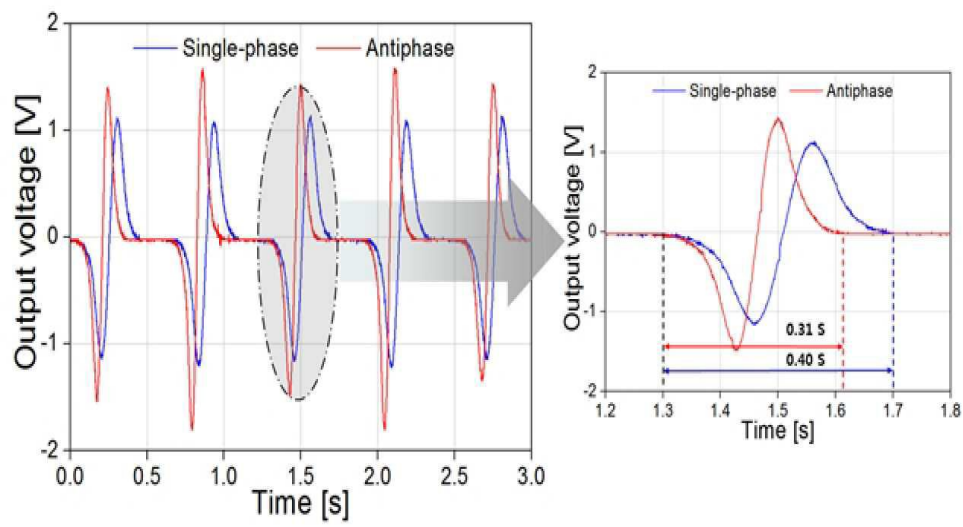
(a)



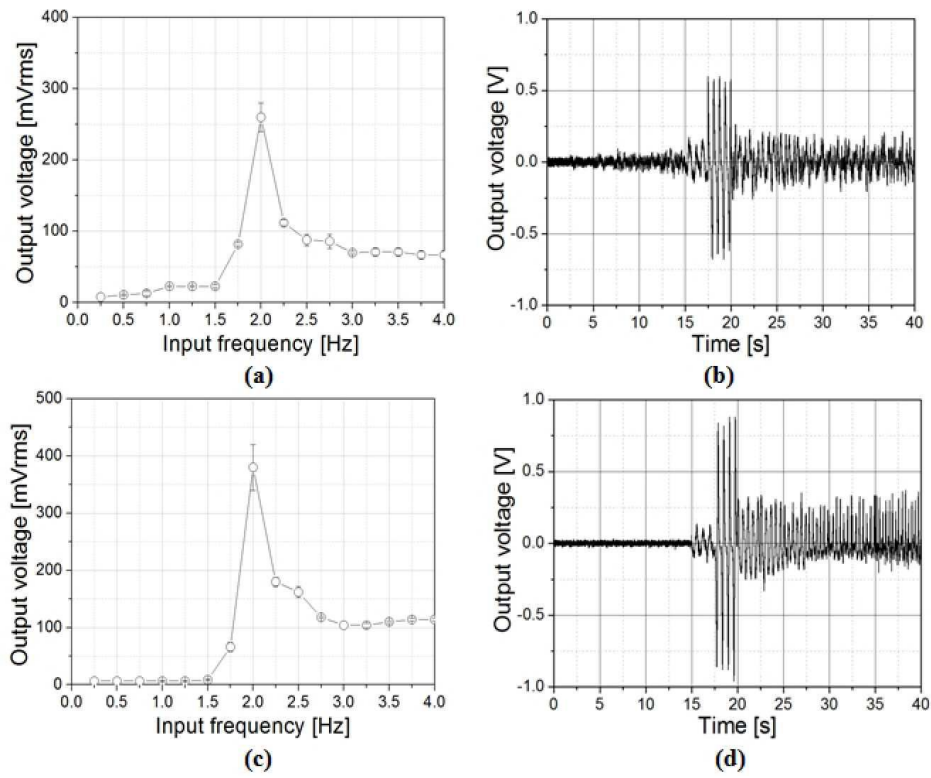
도면5



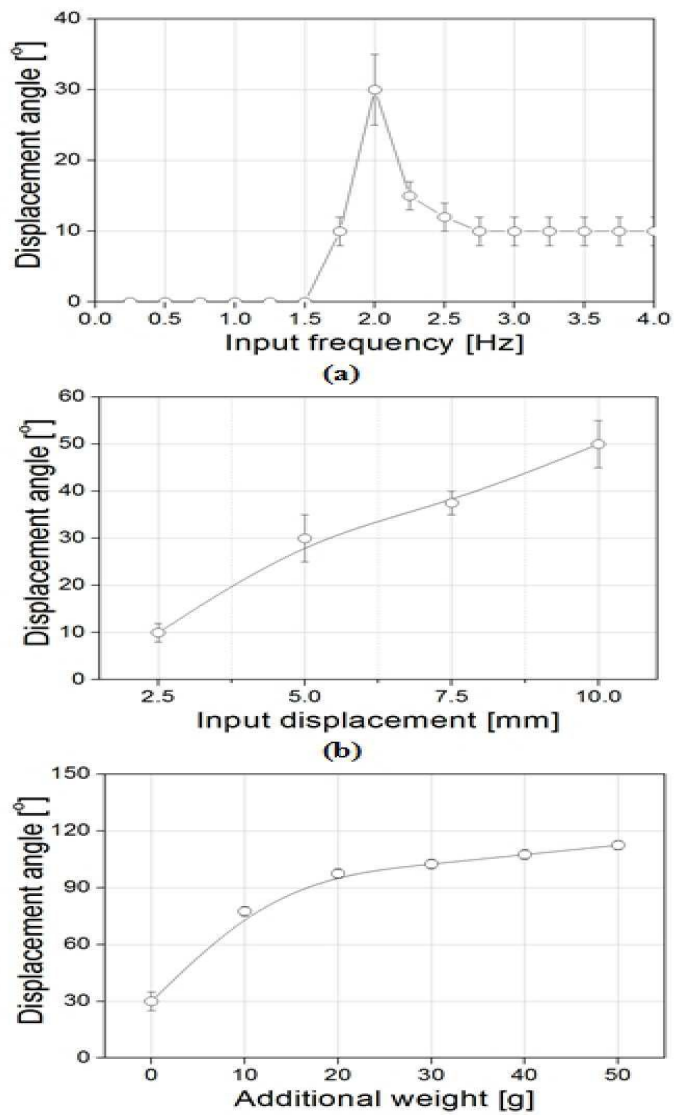
도면6



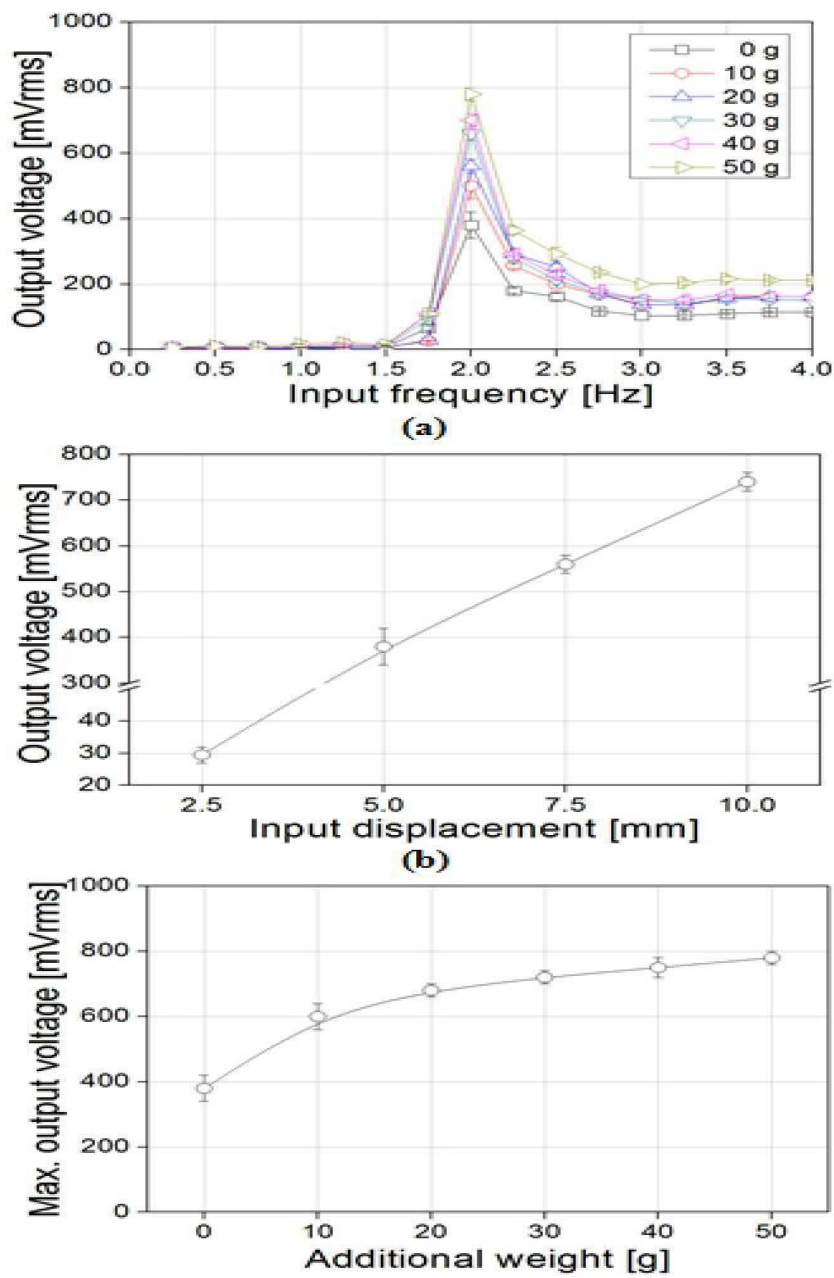
도면7



도면8



도면9



도면10

