

# 안테나와 로봇 구조체 일체화에 따른 중량 대비 소모 전력량 분석

\*정소현, 김동우, 김준홍, 남상욱, 김호영  
서울대학교 기계항공공학부

e-mail : sohyun153@snu.ac.k, cb3403@ael.snu.ac.kr, jhkim@ael.snu.ac.kr,  
snam@ee.snu.ac.kr, hyk@snu.ac.kr

Power-mass budget analysis with respect to the integration of robot structure with antenna

\*Sohyun Jung, Dong-Woo Kim, Joon-Hong Kim, Sanwook Nam Ho-Young Kim  
Department of Mechanical and Aerospace Engineering  
Seoul National University

## Abstract

Robots which have limited resources, especially microbots need to be designed in consideration of the power consumption per unit mass, called power-mass budget. To minimize this power-mass budget, many studies have been conducted in a way to reducing the mass by developing new material. There is only few research to decrease power-mass budget by integrating elements composing of robot. However, previous studies for integration are limited to integrating structural elements such as wing and leg. Here, we design the energy harvesting and information transmitting and receiving antenna integrated to robot structure. After that, we measured and analyze the improvement of power-mass budget.

## I. 서론

로봇 중 초소형 로봇의 경우 크기가 한정적이기

때문에 로봇의 성공적인 작동 및 원활한 임무 수행을 위해서는 로봇의 질량 대비 임무 수행 시 소모되는 전력(power-mass budget)의 최적화가 필요하다.

Power-mass budget를 최소화하기 위해 기존의 연구들은 초경량 소재를 개발하고 이를 로봇에 접목시켜 로봇의 무게를 줄이는 방향으로 주로 이루어졌다[1, 2].

최근에는 이러한 경량화 이외에 로봇을 구성하는 요소들을 일체화 하여 하나의 요소가 다기능을 하게하는 방식으로 power-mass budget을 최소화하려는 노력들이 진행된 바 있다[3, 4]. 그러나 이러한 일체화 연구들은 그 수가 매우 적을 뿐만 아니라 오로지 로봇의 운동을 담당하는 구조들의 일체화에만 그쳐있는 실정이다.

본 연구진은 이에서 더 나아가 로봇의 구조체와 전력 생산 안테나와 정보 송수신 안테나를 각각 일체화하는 연구를 진행하였고 일체화에 따른 power-mass budget이 개선 정도를 분석하였다.

## II. 본론

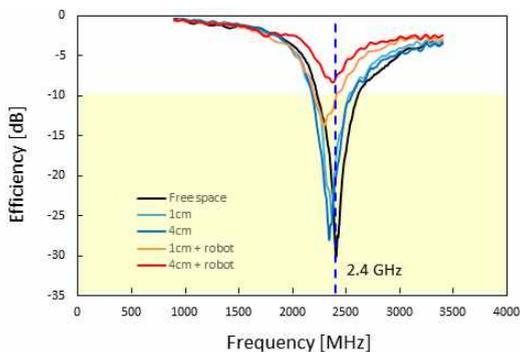
본 연구진은 로봇 구조에 일체화된 안테나를 설계하기에 앞서 이를 적용할 로봇으로 서울대 조규진 교수님 연구실에서 연구 중인 JumpRoACH를 선정하였다. 해당 로봇은 서행 및 도약, 자세 바로잡기 등의 운동이 가능하며 외관은 아래 그림 1과 같다.



그림 1. JumpRoACH 외관 사진들

### 2.1 정보 송수신 안테나 일체화

일반적인 정보 송수신 안테나의 성능은 안테나와 지면 사이의 거리와 주변에 도체 존재의 여부에 따라 달라진다. JumpRoACH에 안테나 일체화하기에 앞서 이 로봇으로부터 안테나와의 거리를 변화시켜가며 안테나의 성능을 확인하였다. 또한 JumpRoACH의 특성 상 지면과 붙어서 움직이므로 지면으로부터 안테나의 거리 또한 바뀌어가며 안테나의 성능을 확인하였고 그 결과는 그림 2와 같다.



결과적으로 안테나 성능에 있어서 지면의 효과는 무시할만하나 JumpRoACH는 큰 영향력을 갖는 것을 확인

하였다. 이는 JumpRoACH 구조로 사용된 도체에 의한 것으로 안테나의 성능감소를 보면 JumpRoACH에 사용이 불가할 정도이다. 따라서 본 연구진은 JumpRoACH 구조로 사용된 도체를 안테나로 바꾸어 안테나를 설계하였고 그 결과 설계된 안테나는 그림 2와 같다. 안테나의 공진 주파수는 2.5 GHz이고 bandwidth는 10% (2.4 - 2.65 GHz)이며 방사 효율은 81% 이상이다.

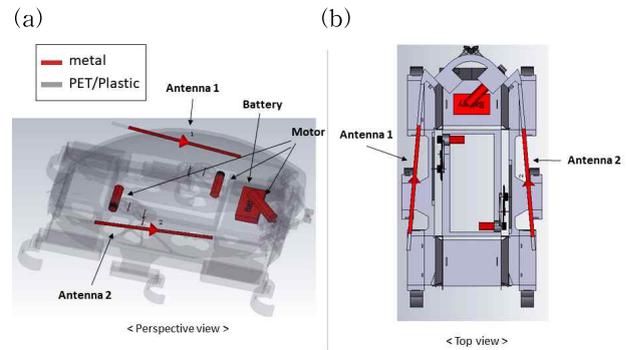


그림 2. 로봇 구조에 일체화되어 설계된 정보 송수신 안테나 모형의 (a) 투시도 및 (b) 상면도.

이 때, 크기는 가로 2 mm, 세로 65 mm, 그리고 두께 1.8  $\mu\text{m}$ 이며 무게는 0.06 g이다. 본 안테나와 유사한 대역에서 작동하며 비슷한 성능을 갖는 일반 상용 안테나의 무게는 가벼운 것이 약 30 g 정도이다.

JumpRoACHdp 사용된 모터는 총 3가지로 서행 운동을 담당하는 모터는 1.2 V, 1.7 ohm이고 자세 교정 운동을 담당하는 모터는 6 V, 1600 mA 모터이다. 마지막으로 도약 운동을 담당하는 모터는 3V, 40 mA 모터이다. 이 3가지 모터를 장착한 JumpRoACH의 중량당 소모 전력을 실험적으로 측정된 결과 모터의 소모 전력, P는 중량, m과 선형 비례하는 결과를 얻었다. ( $P = 0.00132m + 2.4082$ ) 이를 바탕으로 안테나 일체화에 따른 power-mass budget을 계산한 결과 중량 면에서 29.94 g 줄어들었고 이로 인해 소모 전력 또한 약 2.8 W가 감소하였다. 그 결과 서행 운동을 하는 모터의 구동 가능 시간이 6.2분(상용 안테나 사용 시)에서 13.2분(안테나 일체화 시)으로 구동 가능 시간이 약 2.1배 증가한 것을 확인하였다.

### 2.1 전력 생산 안테나 일체화

최근 IoT 센서노드의 대체 전력원으로 광전에너지가 부상함에 따라 본 연구진은 실외에서 전자파 전력 밀도가 가장 강한 주파수 대역인 880 MHz에서 작동하는 전자파 수집 안테나를 아래 그림 3과 같이 제작하였다.

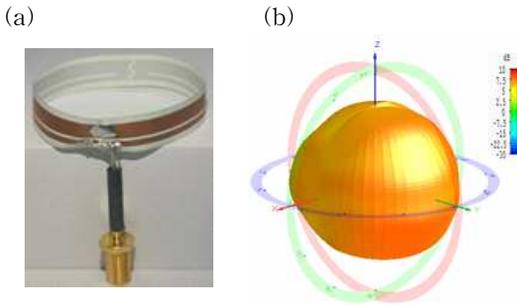


그림 3. 전자파 수집 안테나의 (a) 외관 모습 및 (b) 측정 방사패턴

이 전자파 수집 안테나의 성능은 주변의 도체 여부와 안테나의 수신 패턴의 균일성에 의해 좌우된다. 이 조건들을 고려하여 JumpRoACH에 전자파 수집 안테나를 일체화를 시뮬레이션을 통해 수행하였고 그 결과 설계된 안테나의 형태는 그림 4와 같다.

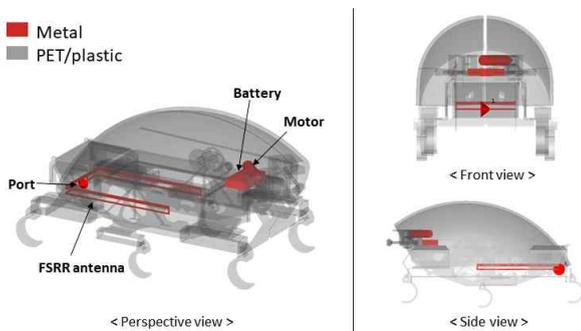


그림 4. 시뮬레이션을 통해 JumpRoACH에 일체화 설계된 전자파 수집 안테나

제작된 안테나의 무게는 0.3 g이다. 해당 안테나가 서울 도심에서 Cellular 용도의 890 MHz를 활용하여 전 방향에서 에너지를 수신할 때 생산 가능한 전력량은 2.09  $\mu$ W이다.

앞서 언급한 JumpRoACH의 중량과 소모 전력 사이의 관계식을 통해 전자파 수집 안테나에 의해 증가한 0.3 g의 무게에 의한 소모 전력 증가량을 계산하면 3.96 mW이다. 그런데 0.3 g의 전자파 수집 안테나가 수집 가능한 최대 전력량은 2.09  $\mu$ W이므로 일체화에 따른 power-mass budget은 감소하는 것이 아니라 오히려 0.53 mW/g만큼 증가하였다. 따라서 위와 같이 설계된 전자파 수집 안테나는 개선이 필요함을 알 수 있다.

#### IV. 결론 및 향후 연구 방향

2.5 GHz에서 작동하는 정보 송수신용 안테나를 로봇 구조와 일체화 시 29.94 g의 무게를 감소시킬 수

있어 2.8 W만큼의 소모 전력을 감소시킬 수 있다. 따라서 총 0.01 W/g의 power-mass budget을 감소시킬 수 있다. 반면에 전자파 에너지 수집 안테나를 로봇 구조와 일체화하면 오히려 power-mass budget이 0.53 mW/g만큼 증가하는 것을 확인하였으며 이는 안테나의 설계 형태와는 무관하게 전자파 수집 안테나의 재료의 밀도에 의해 나타나는 것으로 확인하였다. 따라서 향후 새로운 재질로 안테나 설계 혹은 전력 생산 효율을 증가시키는 방향의 안테나를 개발하는 연구가 가능할 것으로 판단된다.

본 논문은 국방과학연구소가 지원한 ‘국방생체모방자율로봇 특화연구센터사업’으로 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. [UD130070ID]

#### 참고문헌

- [1] Q.-V. Nguyen et al, “Design and Demonstration of a Locust-Like Jumping Mechanism for Small-Scale Robots”, J. of Bionic Engineering, vol 9, no 3, pp 271 - 281, 2012.
- [2] M. Noh et al. “Flea-Inspired Catapult Mechanism for Miniature Jumping Robots”, IEEE Tran. on Robotics, vol PP, no 99, pp 1 - 12, 2012.
- [3] M. Kovac, et al “ The EPFL jumpglider: A hybrid jumping and gliding robot with rigid or folding wings,” IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2011.
- [4] M. A. Woodward et al. “MultiMo-Bat: A biologically inspired integrated jumping-gliding robot,” The international Journal of Robotics Research, 2014.