

# 금 전극을 이용한 동물 조직 내 임피던스 측정연구

## A Study on the Measurement of Impedance in Animal Tissue Using Gold Electrodes

김민수\*, 조영창\*

Min Soo Kim\*, Young Chang Cho\*

### Abstract

Bio-impedance measurement is a measurement device that can be used to obtain biometric information and diagnose skin diseases using convenience, low cost, and low cost devices. In this study, the bio-impedance was measured using a direct dry gold electrode and a simulation study through animal bio modeling to obtain biometric information in a biometric form. Impedance was measured by inserting electrodes into subcutaneous areas of animal tissue and applying frequencies of 100 uA, 1-100 kHz using a two-electrode method. As a result of the measurement, the resistance of the electrodes is measured high at 5 mm electrodes compared to 7.5 mm and 10 mm electrodes based on 5 mm electrodes. Based on the 5 mm electrode, an average difference of 1.49% was found for the 7.5 mm electrode in the total frequency range, and the impedance difference was confirmed to be 2.624% for the 10 mm electrode. In the future, the research results are expected to be valuable in designing and manufacturing electrodes for bio-inserted electrocardiogram sensors.

### 요약

생체임피던스 측정법은 편리성, 저비용 및 저가의 장치를 이용하여 생체정보 획득 및 피부 병 진단 등에 사용 가능한 장치이다. 본 연구에서는 생체 삽입형으로 생체 정보를 획득하기 위해서 동물 생체 모델링을 통한 시뮬레이션 연구와 직접 제작한 건식용 금 전극을 이용하여 생체임피던스를 측정하였다. 동물 조직의 피하부위에 전극을 삽입하여 2 전극법으로 100 uA, 1-100 kHz 주파수를 인가하여 임피던스를 측정하였다. 측정결과 전극의 사이즈를 5 mm 전극기준으로 7.5 mm, 10 mm 전극과 비교하여 저항을 측정할 결과 5 mm 전극에서 높게 측정됨을 확인할 수 있다. 5 mm 전극을 기준으로 7.5 mm 전극은 전체 주파수 범위에서 평균 1.49 % 차이를 발견하였고, 10 mm 전극은 2.624 %로 임피던스가 차이남을 확인하였다. 향후, 연구결과는 생체 삽입형 심전도 센서 전극 설계 및 제작 등에 활용가치가 있을 것으로 사료된다.

*Key words : Inserted Electrode, Skin impedance, Two electrode system, Gold electrode*

\* Dept. of Avia. Info. Com. Eng., Kyungwoon University

★ Corresponding author

E-mail : yccho@ikw.ac.kr, Tel : +82-54-479-1313

※ Acknowledgment

Manuscript received Aug. 16, 2021; revised Sep. 14, 2021; accepted Sep. 23, 2021.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

생체임피던스 측정법은 시스템의 편리성, 안전성 및 경제적인 비용으로 생체정보 및 피부 진단을 쉽게 할 수 있는 장점을 가지고 있는 장치로 많은 연구가 되고 있다[1-3]. 생체임피던스를 측정하기 위해서는 대부분의 장치는 두 개의 전극을 통해서 측정하고자 하는 조직에 수십 또는 수백 킬로 Hz의 주파수 범위에서 수백마이크로(uA)에서 수십 밀리암페어(mA)의 교류(AC)를 적용하고 있다. 전압강하 값을 측정하기 위해서는 두 개의 전극 쌍을 이

용해서 생체임피던스 값을 획득 할 수 있다. 또한 인가된 전류에 대한 측정 전압의 복소 임피던스 값은 진폭과 페이저 값에 의해서 얻어진다. 생체신호 측정에 가장 많이 사용되고 있는 전극은 비분극성인 은/염화은(Ag,AgCl)젤 전극을 사용한다. 건식 전극은 재사용이 가능하며, 접착제가 아니기 때문에 외부의 힘으로 피부에 눌러서 임피던스를 측정을 한다[4].

인체 및 동물의 조직은 크게 표피, 진피, 지방, 근육층으로 나눌 수 있으며, 실제로 살아있는 조직은 균질화 되지 않은 복잡한 구조를 가지고 있다. 동물의 등근육 조직을 이용한 표피, 진피, 지방 및 근육층에 대한 모델링을 통해서 시뮬레이션 연구를 수행한 사례도 있다[5].

최근에는 생체 적합한 물질로 만들어진 전극을 직접적으로 체내에 삽입하고, 인체의 체액 속에 존재하는 나트륨, 칼슘, 염소 이온 등에 활용하는 기술 등도 이용되고 있다[6].

본 연구는 생체임피던스 정보 획득을 위하여 동물조직을 이용해서 피부모델링을 수행하였다. 또한 동물 조직(돼지고기)에 직접 제작한 금 전극을 삽입하여 다중주파수 전류를 인가하여 전극의 크기 및 거리에 따른 생체임피던스 측정 및 특성 연구를 수행하여 차이점을 발견할 수 있었다.

## II. 측정원리 및 방법

### 2-1. 실험재료 및 방법

본 연구는 생체 삽입형 전극의 전기적 저항 특성에 대한 연구를 수행 하였다. 동물조직의 피하부위에 도금 전극을 삽입하여 100  $\mu$ A, 1-100 kHz 주파수를 인가하여 임피던스를 측정 하였다. 전극시스템은 2 전극법으로 전극간의 거리는 3 cm, 측정전극 크기는 5 mm, 7.5 mm, 10 mm로 제작된 것을 사용하였다. 금 전극은 구리판 위에 니켈을 증착하고 무전해 도금방식으로 금을 0.5  $\mu$ m 두께로 제작하였다. 또한 무전해 니켈 도금피막 상에 적용되는 고속 치환형 무전해 금도금법을 사용하였다. 임피던스 신호 획득을 위한 장비는 정전압장치, Lock-in Amp., NI data acquisition 장치로 구성하여 측정을 실시하였다.

동물조직 통한 시뮬레이션 툴은 Maxwell 전자기장 이론을 이용하여 유한요소법으로 해석하였으며,

지방과 근육사이엔 전극을 삽입하여, 2전극 법으로 임피던스를 측정을 하였다. 동물조직의 각 계층구조는 4개 계층 표피(Epidermis), 진피(Dermis), 지방(Fat), 근육(Muscle)조직으로 구성하였다. 피부조직의 각 계층은 유전율(permittivity) 및 도전율(conductivity)로 구분 하여 설계하였으며, 시뮬레이션에 사용된 툴은 ANSOFT를 이용하여 데이터를 획득하였다. 피부모델에 적용하는 주파수 범위는 1 kHz-2.5 MHz 범위이다. 그림 1은 시뮬레이션에 사용된 동물조직의 4개 계층구조이다. 그림 2는 2전극법을 이용하여 생체내 전기장의 전류방향 특성 파악을 위한 실험을 실시하였다. 표 1은 동물조직의 4개 계층 조직의 두께정보, 유전율 및 도전율 조건을 나타내고 있다. 그림 3은 동물조직에 삽입하여 사용된 5 mm, 7.5 mm 및 10 mm 크기의 직사각형 모양의 도금된 전극 사진이다. 그림 4와 5는 본 실험에서 사용된 측정시스템으로, 정전압원(Keithley), Lock in amp.(Stanford Research SR 830), Labview data Acquisition System(NI) 및 display 장치로 구성되었다.

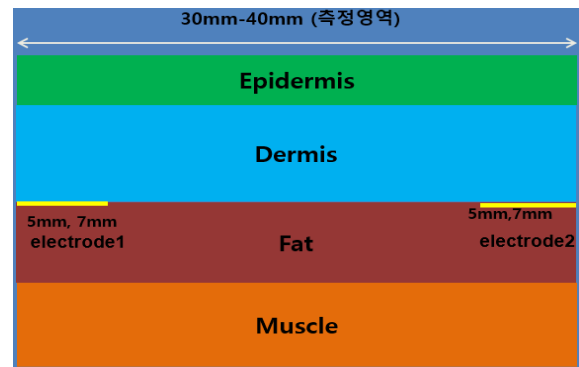


Fig. 1. Compose of animal skin.

그림 1. 동물 피부 구조

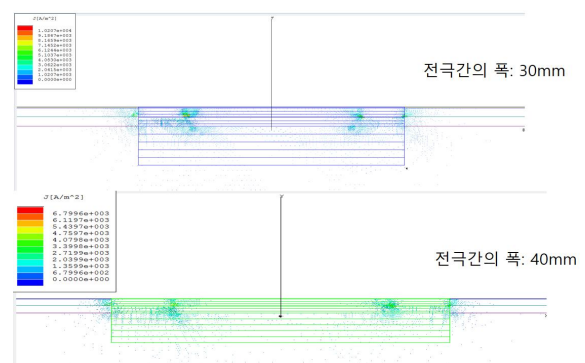


Fig. 2. Flow of current in electrodes.

그림 2. 전극의 전기장내 전류의 흐름

Table 1. Electrical properties of animal skin.

표 1. 동물피부의 전기적 특성

domain(layer)	thickness [mm]	permittivity [ε]	conductivity [S/m]
epidermis	0.1	15	0.025
dermis	1	110	0.2
subcutaneous fat	1.2	15	0.06
muscle	20	80	0.7

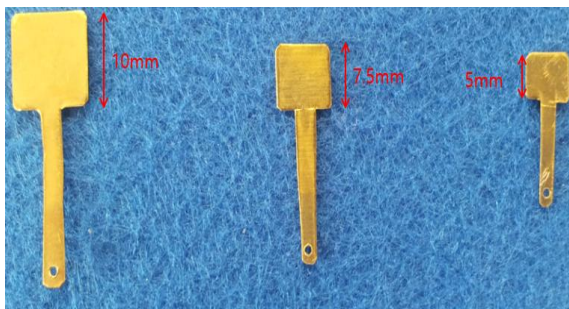


Fig. 3. Size of gold electrode.

그림 3. 금 전극의 사이즈

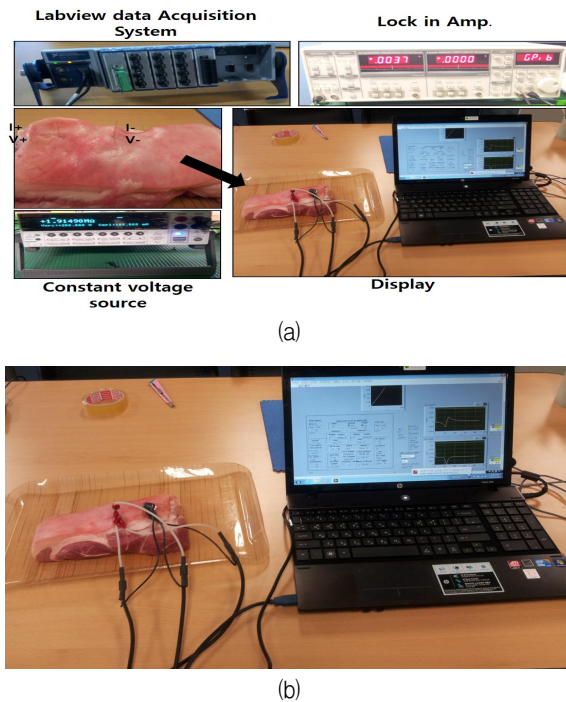


Fig. 4. Compose of Impedance Experiment Equipment.

그림 4. 임피던스 측정장치 구성

### III. 실험결과

본 연구의 삽입형 금 전극은 실제 인체에 사용될 위치인 동물조직(돼지고기)의 피하조직에 삽입하여 측정하는 연구를 수행 하였다. 측정방법은 2 전

극법으로 다중주파수 전류를 인가하여 측정전극을 통하여 데이터를 획득하였다. 전기장 내 전극을 통해서 흐르는 전류의 방향 및 깊이 정보 및 임피던스 차이를 발견하는 연구를 실시하였다. 그림 5의 모델링에 사용된 전극은 직사각형 모양의 크기로 5 mm와 7 mm를 사용하였다. 전기장 내에서 인가된 전압에 의해서 전극의 모서리 부분에 전류밀도가 가장 높음 시뮬레이션을 통해서 알 수 있었다.

그림 6은 직사각형 모양의 전극을 이용하여 표피층에 각각 50 V, 60 V, 70 V를 인가하여 임피던스 측정을 하였고, 또한 각 조직의 깊이를 16 계층으로 구분하여 측정한 결과이다. 측정결과 1-8계층은 표피층 해당하는 부분으로 비슷한 임피던스 값을 나타냈지만, 9계층인 진피층 부터는 급격하게 임피던스가 낮게 측정되었고, 14계층은 근육조직으로 임피던스가 가장 낮게 측정됨을 확인할 수 있었다. 표 2는 전압, 전극의 크기에 따른 각 계층의 평균임피던스 차이를 비교한 결과이다. 전압을 높여 가면서 임피던스가 높게 측정되었고, 측정에 사용된 전극에 따라서는 7 mm 전극보다 5 mm 전극에서 높은 저항이 측정되었다. 또한 진피, 지방, 피하조직, 근육조직에 따라 임피던스를 측정한 결과 그림 6에서와 같이 근육조직에서 가장 낮은 임피던스를 얻을 수 있음을 발견하였다.

그림 7과 8에 사용된 전극은 직접 제작한 것으로 실험은 5 mm 전극기준 7.5 mm, 10 mm전극을 비교하였으며, 각 전극간의 거리는 3~4 cm 조건으로 측정하였다. 주파수 범위는 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz로 임피던스를 측정하였으며 주파수가 높아질수록 임피던스가 낮아짐을 확인하였고, 또한 전극의 사이즈가 클수록 낮은 임피던스가 측정됨을 확인할 있었다. 표 3과 표 4는 3 cm와 4 cm의 전극간의 거리에서 5 mm전극을 기준으로 7.5 mm와 10 mm비교 시 임피던스 차이를 비교한 결과 이다. 표 3은 3 cm 전극간에 거리에서는 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz 평균 5 mm기준 7.5 mm와 비교 시 1.466%, 10 mm와 비교 시 2.506%로 차이 남을 할 수 있었다. 표 4는 5 cm 전극 간에 거리에서 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz 평균 5 mm기준 7.5 mm와 비교 시 1.490 %, 10 mm와 비교 시 2.624 %로 차이 남을 알 수 있었다. 본 연구를 통해서 인체삽입형 전극을 생체조직과 비슷한 동물조직에 삽입하여 전극의 크기, 주파수, 전압 및 측정거리에 따른 특성

차이를 비교함으로써 생체에 가까운 조직을 비교할 수 있었다. 조직이 깊어질수록 임피던스가 낮아지는 현상을 정확하게 분석가능하며, 전극의 사이즈가 클수록 적은 임피던스를 발견할 수 있었다. 또한 최적의 생체삽입형전극의 설계하는데 필요한 근거자료를 제시할 수 있었다.

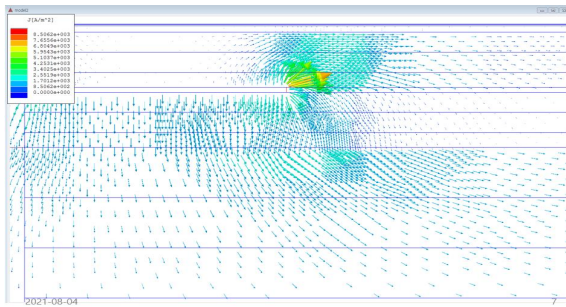
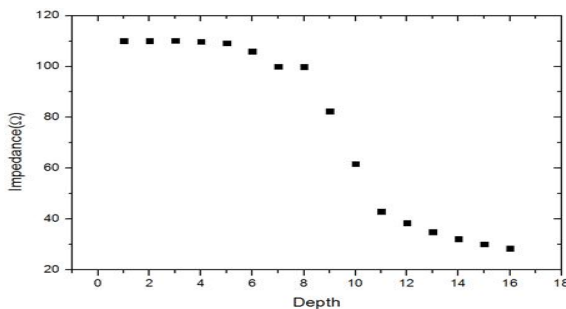
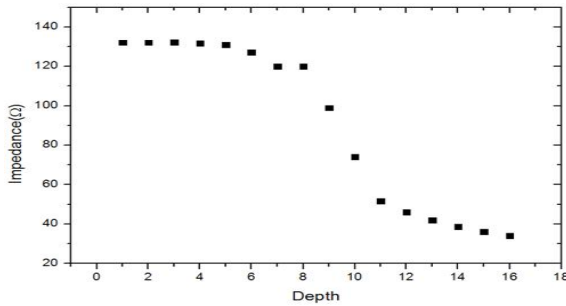


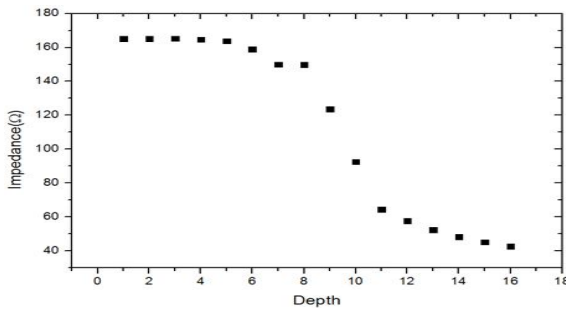
Fig. 5. Direction of current flow between electrodes.  
그림 5. 전극 간 전류흐름 방향



(a) 50 V



(b) 60 V



(c) 70 V

Fig. 6. Impedance difference with applied 50, 60, 70 voltage.  
그림 6. 50, 60, 70 인가전압에 따른 임피던스 차이

Table 2. Impedance differences for each layer depending on the size of the electrode.

표 2. 전극의 크기에 따른 각 계층의 임피던스 차이

V	10V		20V		30V	
Size[mm]	5	7	5	7	5	7
Epi.[Ω]	22.05	21.94	44.11	43.88	66.16	65.81
Der.[Ω]	16.48	17.32	34.64	32.97	51.97	49.46
Fat.[Ω]	13.49	12.30	26.98	24.61	40.48	36.92
Mus.[Ω]	8.45	6.42	16.91	12.84	25.36	19.27

(a)

V	40		50V		60V	
Size[mm]	5	7	5	7	5	7
Epi.[Ω]	88.21	87.75	110.27	109.69	132.33	131.62
Der.[Ω]	69.29	65.95	86.62	82.43	103.94	98.92
Fat.[Ω]	53.98	49.23	67.54	61.54	80.96	73.85
Mus.[Ω]	33.82	25.70	42.27	32.12	50.72	38.55

(b)

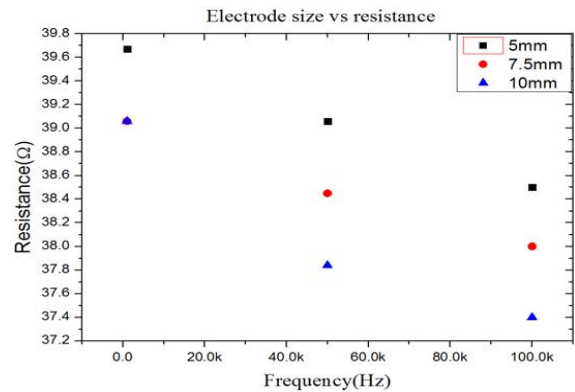


Fig. 7. Impedance measurement with electrode spacing of 3 cm.

그림 7. 전극 간격이 3 cm 임피던스 측정

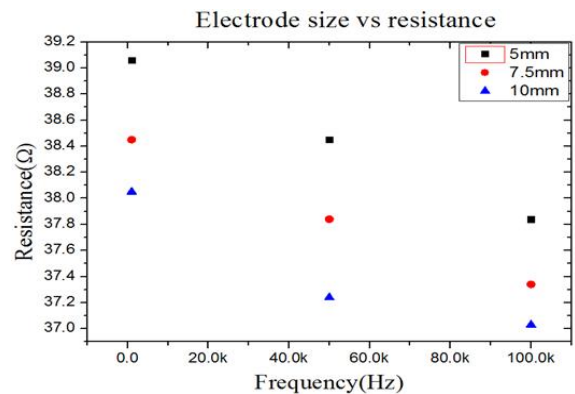


Fig. 8. Impedance measurement with electrode spacing of 4 cm.

그림 8. 전극 간격이 4 cm 임피던스 측정

Table 3. The impedance difference between 7.5 mm and 10 mm electrodes relative to 5 mm electrodes when the distance between electrodes is 3 cm.

표 3. 전극간 거리가 3 cm 일때 5 mm 전극을 기준으로 7.5 mm와 10 mm 전극의 임피던스 차이

kHz	5mm	7.5mm	10mm	5mm vs 7.5mm (%)	5mm vs 10mm (%)
1	39.67	39.06	39.06	1.538	1.538
10	39.06	38.45	37.84	1.562	3.123
100	38.50	38.00	37.40	1.299	2.857
Ave. [%]				1.466	2.506

Table 4. The impedance difference between 7.5 mm and 10 mm electrodes relative to 5 mm electrodes when the distance between electrodes is 5cm.

표 4. 전극간 4 cm 일때 5 mm 전극을 기준으로 7.5 mm와 10 mm 전극의 임피던스 차이

kHz	5mm	7.5mm	10mm	5mm vs 7.5mm (%)	5mm vs 10mm (%)
1	39.06	38.45	38.05	1.562	2.586
10	38.45	37.84	37.24	1.586	3.147
100	37.84	37.34	37.03	1.321	2.141
Ave. [%]				1.490	2.624

#### IV. 결론

본 연구는 동물조직을 이용한 모델링을 통한 시뮬레이션을 수행하여 조직의 계층의 유전율과 도전율의 차이에 의해서 임피던스 정보를 쉽게 획득할 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 생체 삽입형 센서 전극의 재질과 모양을 결정하는데 중요한 자료로 활용할 수 있다. 전기장에서 전류의 흐름에 의해서 조직 계층간에 임피던스 차이를 쉽게 알 수 있었고, 임피던스 정보를 통해서 전극 설계 및 제작에 이용될 수 있을 것이다.

또한 동물조직에 직접 건식형 금 전극 삽입하여 주파수, 전극 크기 및 측정거리 간에 특성차이를 확인할 수 있었다. 향후 본 연구는 인체에 삽입하는 심전도 센서의 전극 제작 및 설계 등에 사용되는 객관적인 근거 자료로 활용 가능할 것으로 사료된다.

#### References

[1] A. Roy, S. Bhattacharjee et al., "Measurement of bioimpedance and application of Cole model to study the effect of moisturizing cream on human skin," *AIMS Biophysics*, vol.7, pp.362-379, 2020. DOI: 10.3934/biophy.2020025

[2] U. Kyle, I. Bosaeus, AD. De Lorenzo, et al. "Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods," *Clin Nutr.*, vol.23, pp.1226-1243, 2004. DOI: 10.1016/j.clnu.2004.06.004

[3] U. Birgersson, E. Birgersson, S. Ollmar, "Estimating electrical properties and the thickness of skin with electrical impedance spectroscopy: Mathematical analysis and measurements," *J. Elec Bioimpedance*, vol.3, pp.51-60, 2019. DOI: 10.5617/jeb.400

[4] R. Kusche, S. Kaufmann, and M. Ryschka, "Dry electrodes for bioimpedance measurements—design, characterization and comparison," *IOP Biomed., Physics & Eng., Express*, vol.5, No.1, 2019. DOI: 10.1088/2057-1976/aaea59

[5] X. Zhal, Y. Kinouchi et al., "A New Method for Noninvasive Measurement of Multilayer Tissue Conductivity and Structure Using Divided Electrodes," *IEEE Trans. on Biomed., Eng.*, vol.51, no.2, pp.363-379, 2004. DOI: 10.1109/TBME.2003.820403

[6] A. Radomska et al., "Biocompatible ion selective electrode for monitoring metabolic activity during the growth and cultivation of human cells," *Biosensors and Bioelectronics*, vol.24, no.3, pp. 435-441, 2008. DOI: 10.1016/j.bios.2008.04.026

#### BIOGRAPHY

Min Soo Kim (Member)



1996 : MS degree in Electrical Engineering, Yeungnam University  
 2004 : Ph. D: degree in Electronic Engineering, Yeungnam University  
 2014 : current: Professor, Dept. of Aviation Information & Communication Engineering, Kyungwoon University

**Young Chang Cho** (Member)



1996 : MS degree in Electronic  
Engineering, Yeungnam University  
2001 : Ph. D in degree in Electronic  
Engineering, Yeungnam University  
1999 : current: Professor, Dept. of  
Aviation Information & Communication  
Engineering, Kyungwoon University