

# 5G 28 GHz 전자파노출에 의한 피부 세포 실험

2023. 08. 23.

한국전자통신연구원

이영승



**01. 전자파 세포실험 개요**

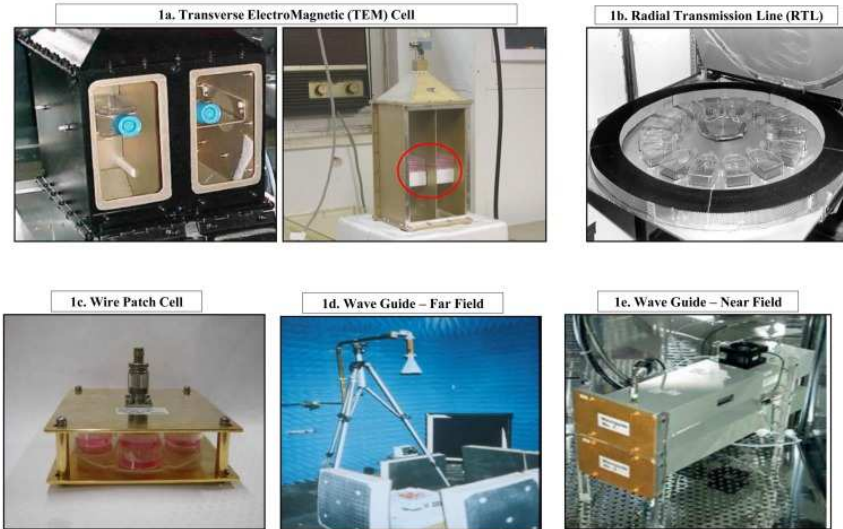
**02. 5G 28 GHz 세포노출장치**

**03. 5G 28 GHz 피부세포 노출결과**

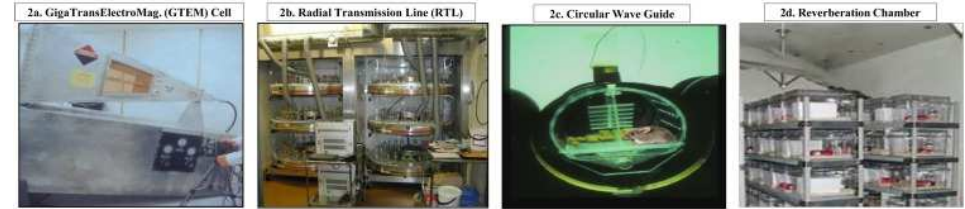
**04. 결론**

# 1. 전자파 세포실험 개요

## In Vitro exposure – Human and Animal Cells



## In Vivo exposure – Free-Moving Animals



## In Vivo exposure – Restricted Animals



➤ 세포 실험 -> 근간

➤ 동물 실험 -> 윤리적 절차 및 비용



● 각 세포용기별로 **동**  
**일 크기**의 전자파를...

## Human Investigations



## Volunteer Investigations

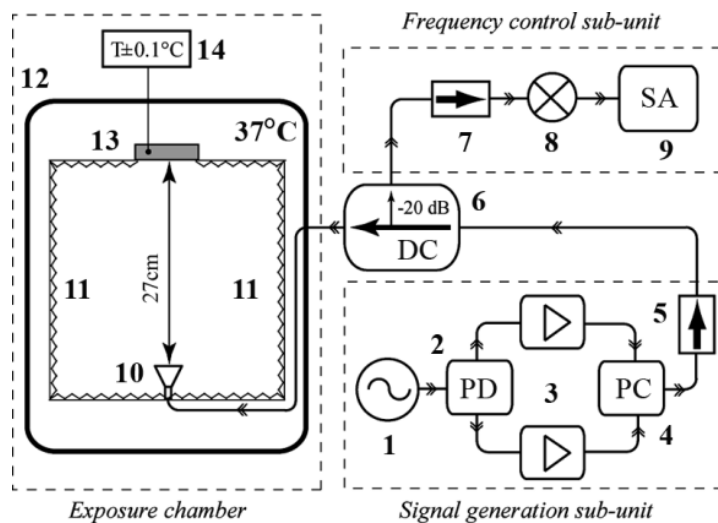


## Organ Systems

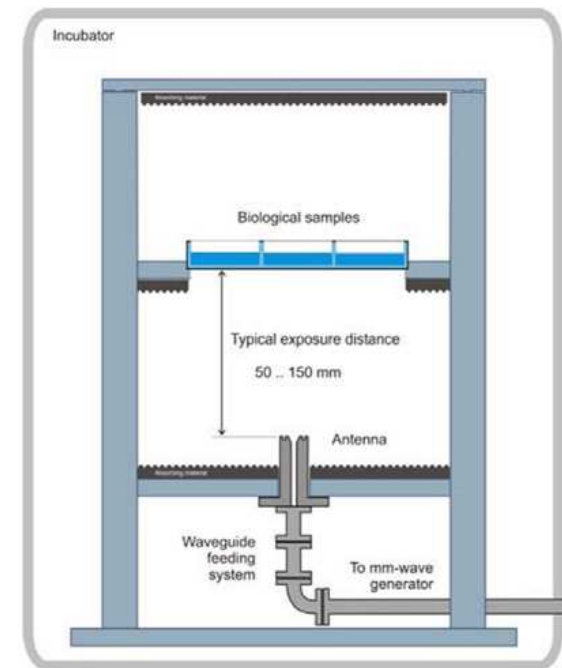


➤ 인간 (지원자) 실험 -> 까다로운 절차 등...<sup>3</sup>

## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

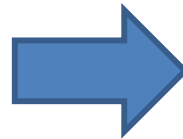


60 GHz



### 종래 장치의 문제점

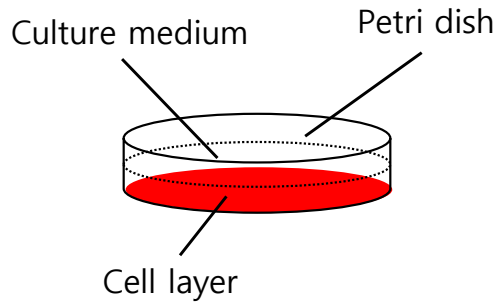
- 작은 노출효율
- 낮은 균일도
- 노출 강도의 한계  
(온도 상승 issue)



- 노출효율 증대
- 균일도 향상
- 높은 노출 강도 지원  
(온도 상승 따른 세포사멸...)

## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

### ● 3D culture 세포실험

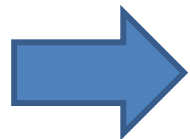


통상적인 세포실험



3D culture 세포실험

VS

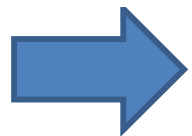
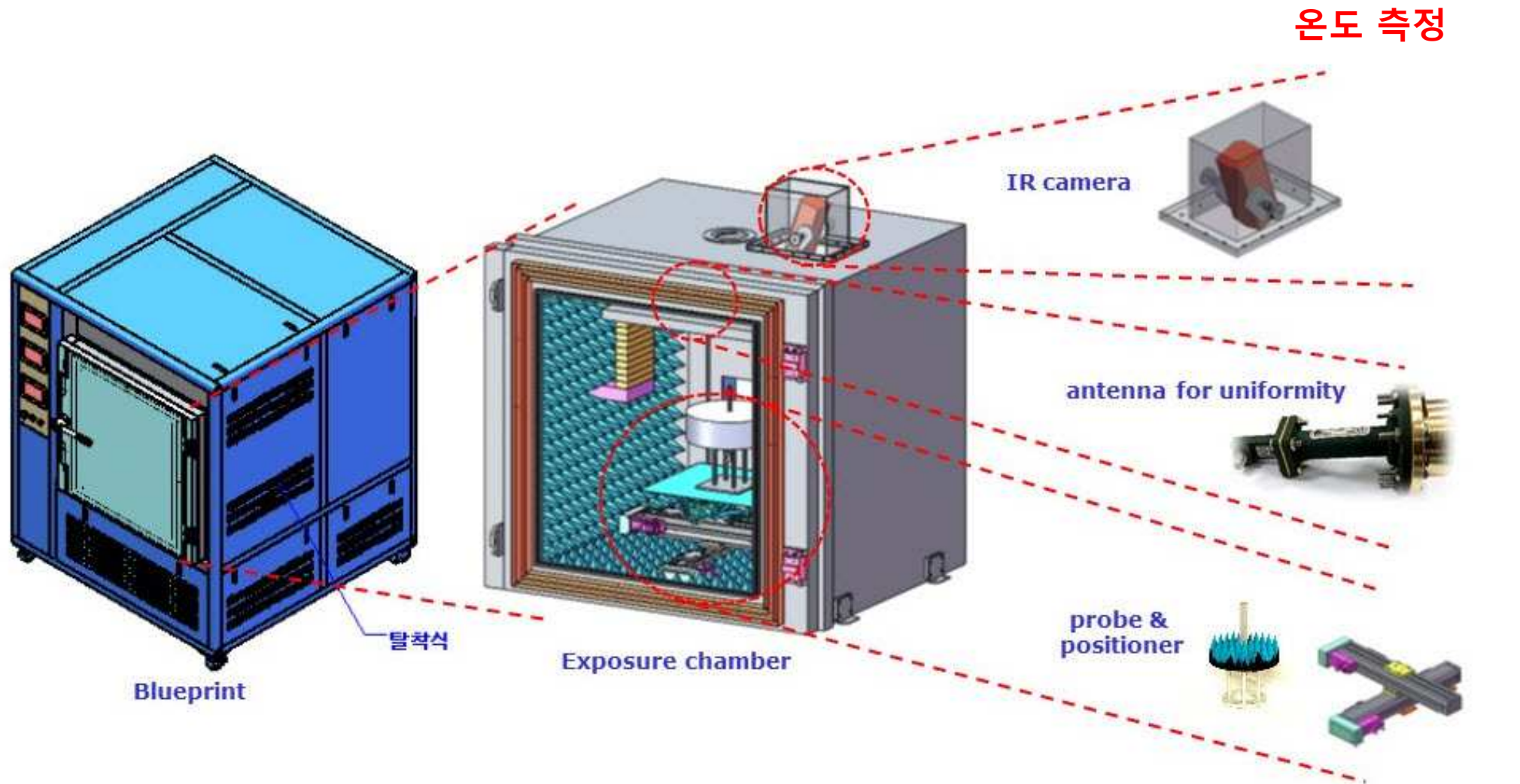


- mmWave → 짧은 skin depth → 대부분이 피부층에서 흡수됨.....
- 피부세포로의 직접노출 기전을 더 용이하게 관찰이 가능함



## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

- 28 GHz 세포노출장치 전체 구조도



- 항온항습 Incubator + 노출 chamber -> 일체형

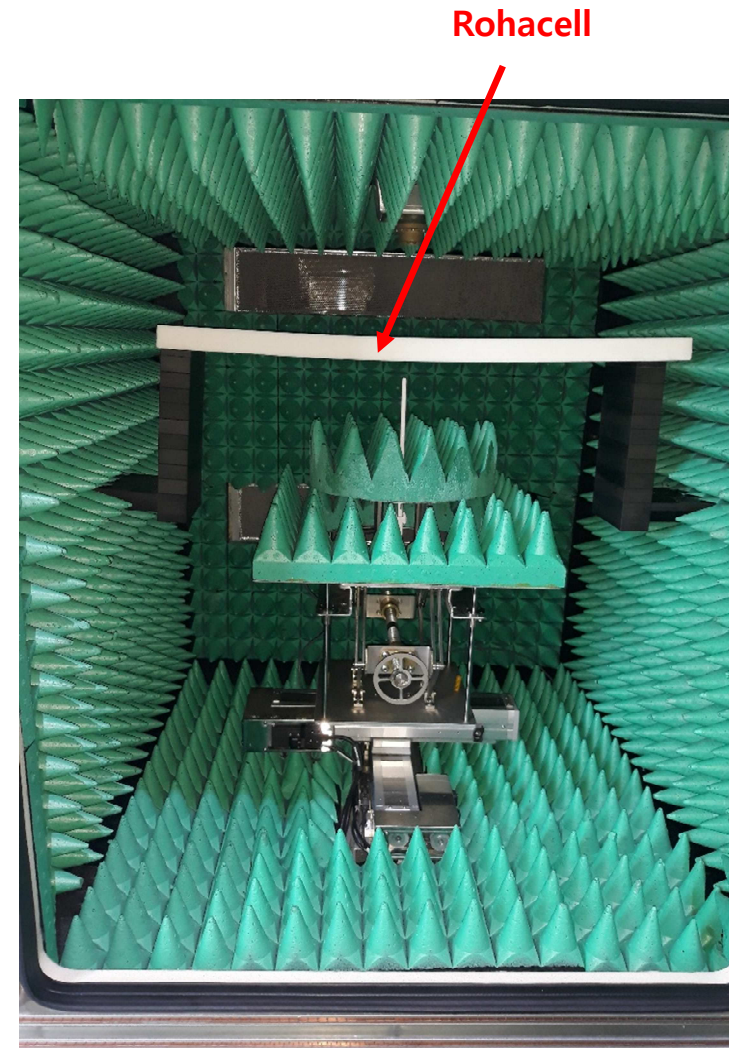
내부 전자기장 측정

## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

- 제작된 밀리미터파 세포노출장치



Front





## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치



CO<sub>2</sub>

Left

Water  
(습도)



Right



## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

- 차폐효율 측정 (28 GHz)



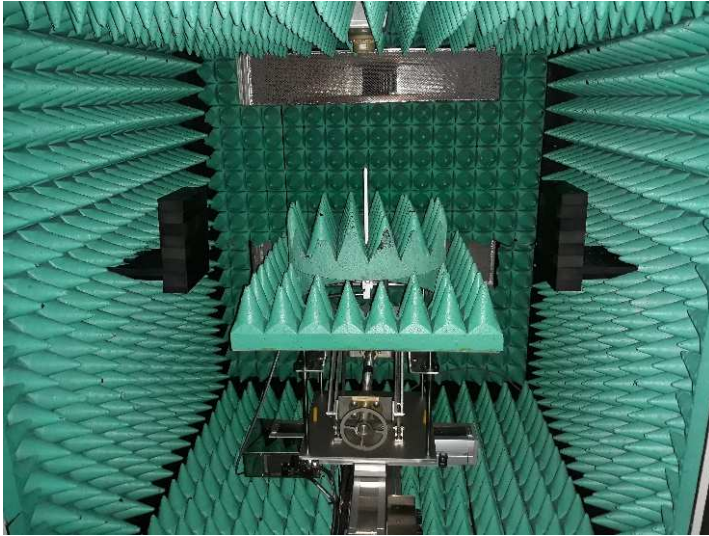
|    | 차폐 효율 (dB) |       |
|----|------------|-------|
|    | 수평 편파      | 수직 편파 |
| 정면 | 50.7       | 53.7  |
| 좌측 | 50.7       | 53.9  |
| 우측 | 51.1       | 53.0  |
| 후면 | 51.2       | 53.1  |
| 상단 | 51.2       | 52.5  |

신호발생원 : 자체 제작 28 GHz CW  
signal generator

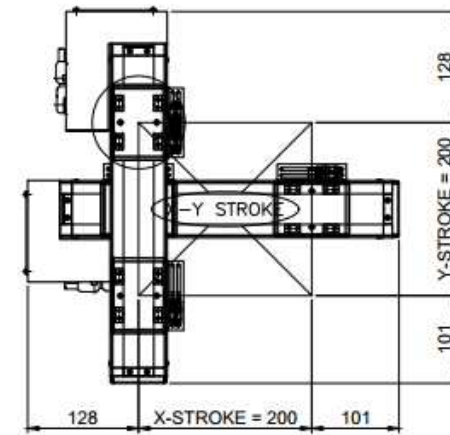
계측기 : Anritsu MS2720T Spectrum Analyzer  
9kHz ~ 32GHz

## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

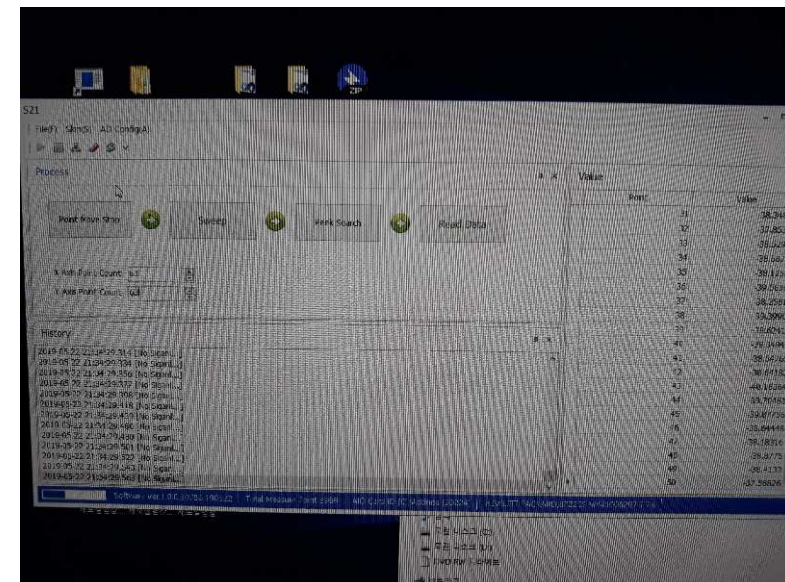
### ● 전력밀도 (삽입손실) 측정



Rx probe

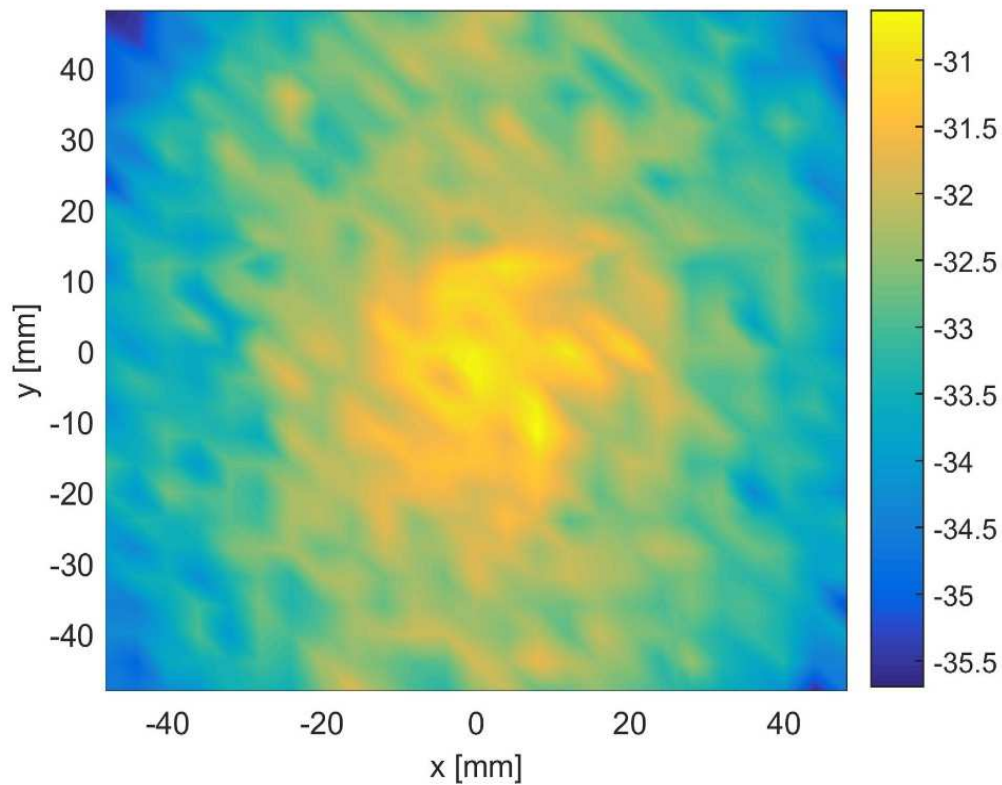


|            | X-AXIS             | Y-AXIS             |
|------------|--------------------|--------------------|
|            | MA60-05-S          | MA60-05-S          |
| BALL SCREW | 12-05              | 12-05              |
| (mm)       | 200                | 200                |
| MOTOR      | AC SERVO 100W(MIT) | AC SERVO 100W(MIT) |
| (mm/s)     | 250mm/s            | 250mm/s            |
| (mm/s)     | 400mm/s            |                    |
| (Kg)       | 3 kg               |                    |
| (mm)       | 0.02               | 0.02               |
| LM GUIDE   | MR-15WNU           | MR-15WNU           |
|            | HGK0604A( )        |                    |



Agilent 8722 ES VNA

## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치



$S_{21}$  @  $H = 180$  mm

| 이격거리 [mm] | 전력밀도 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] | 균일도 [dB] |
|-----------|--------------------------------|----------|
| 120       | 34.13                          | 4.69     |
| 140       | 25.01                          | 3.30     |
| 160       | 19.15                          | 2.77     |
| 180       | 15.78                          | 2.99     |
| 200       | 11.75                          | 1.87     |
| 220       | 10.55                          | 2.75     |
| 240       | 9.53                           | 3.09     |
| 260       | 7.71                           | 1.19     |
| 280       | 7.54                           | 2.36     |
| 300       | 5.89                           | 2.77     |

$P_{\text{in}} = 1$  W

$$P_{\text{rec}} = P_{\text{in}} S_{21} \quad S = \frac{P_{\text{rec}}}{A_e}, \quad A_e = \frac{\lambda^2 G_{\text{probe}}}{4\pi}$$

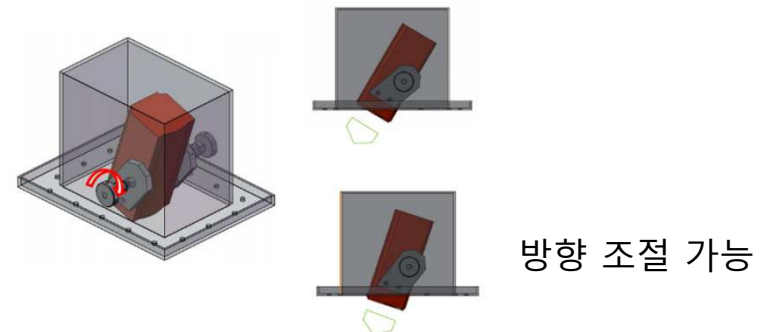
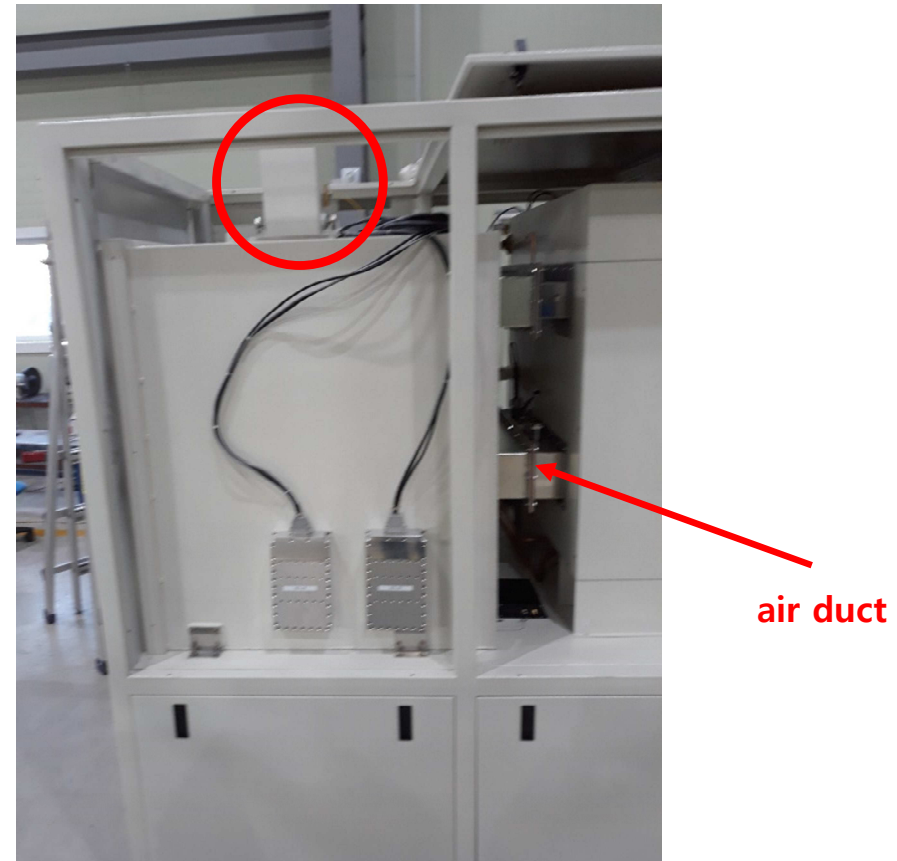


## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

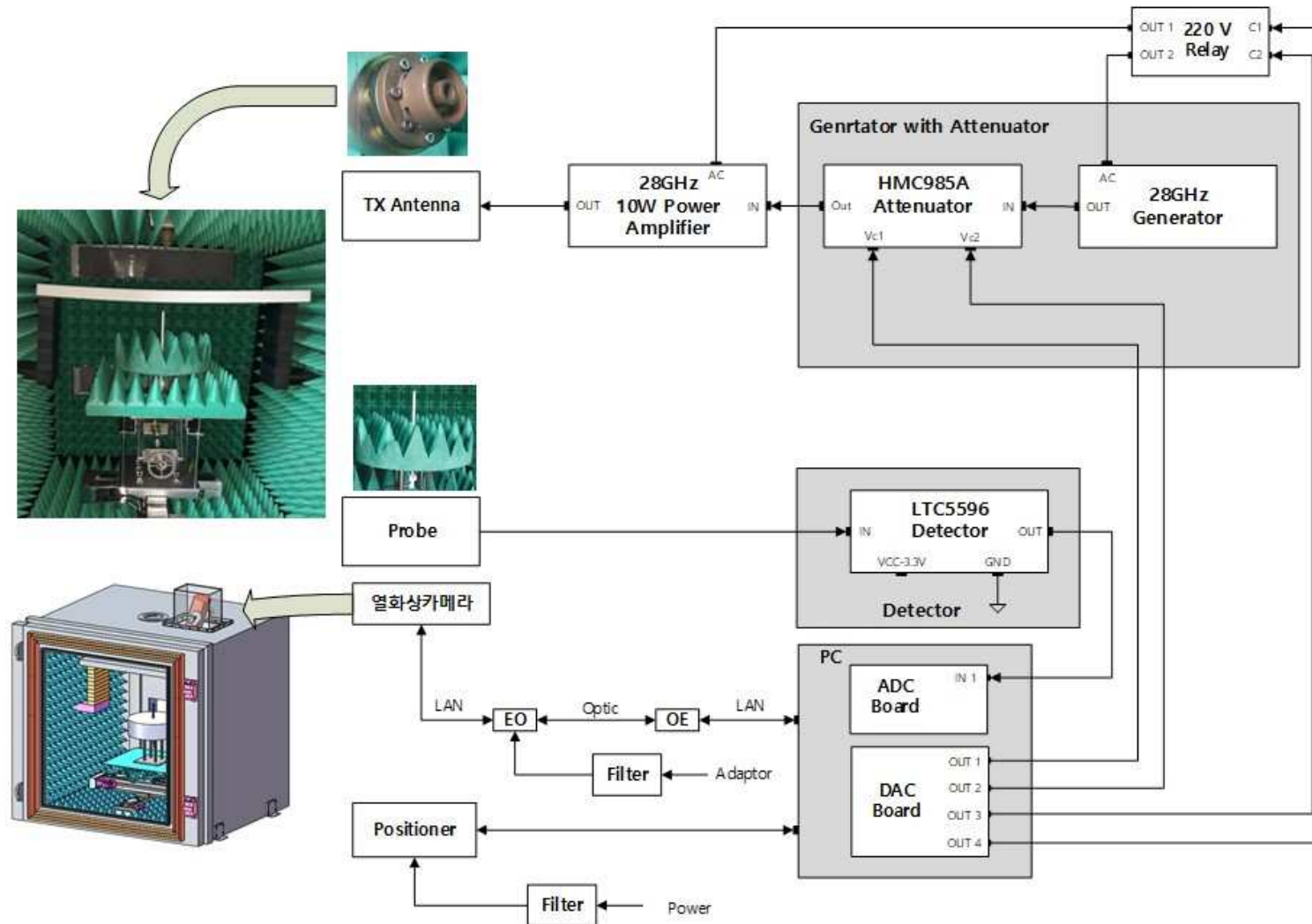
- 온도 측정 및 모니터링



열화상 카메라

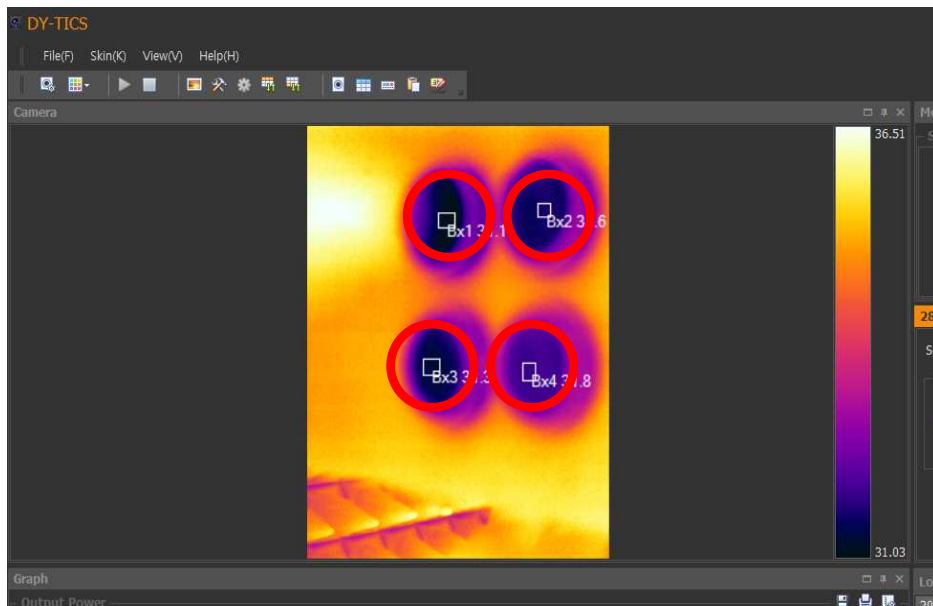


## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치

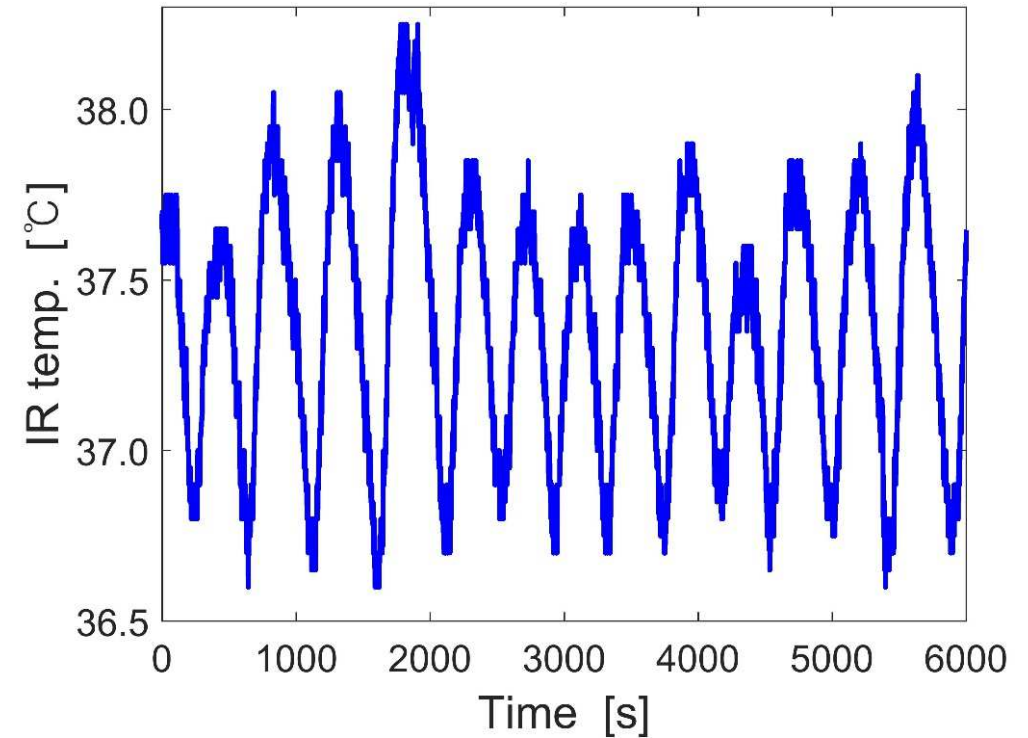


전체 시스템 흐름도

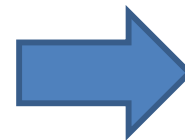
## 2. 5G 28 GHz 세포노출장치



관측영역 지정



Temperature control

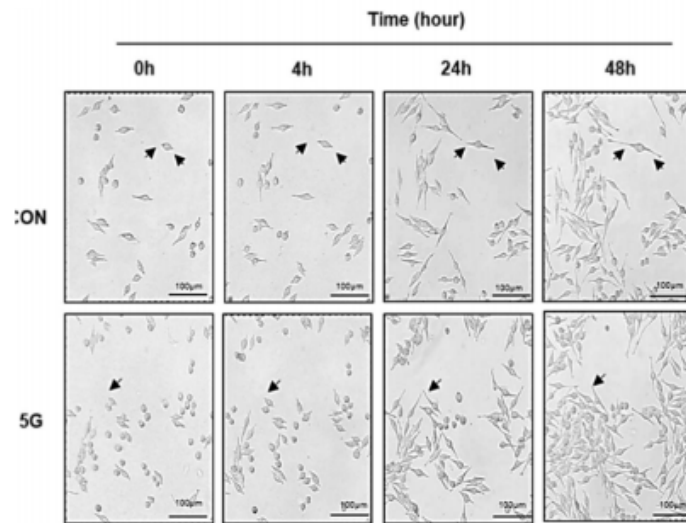


항온항습 Incubator로 **real-time feedback**  
→ **Air-cooling** 통해 온도 유지...

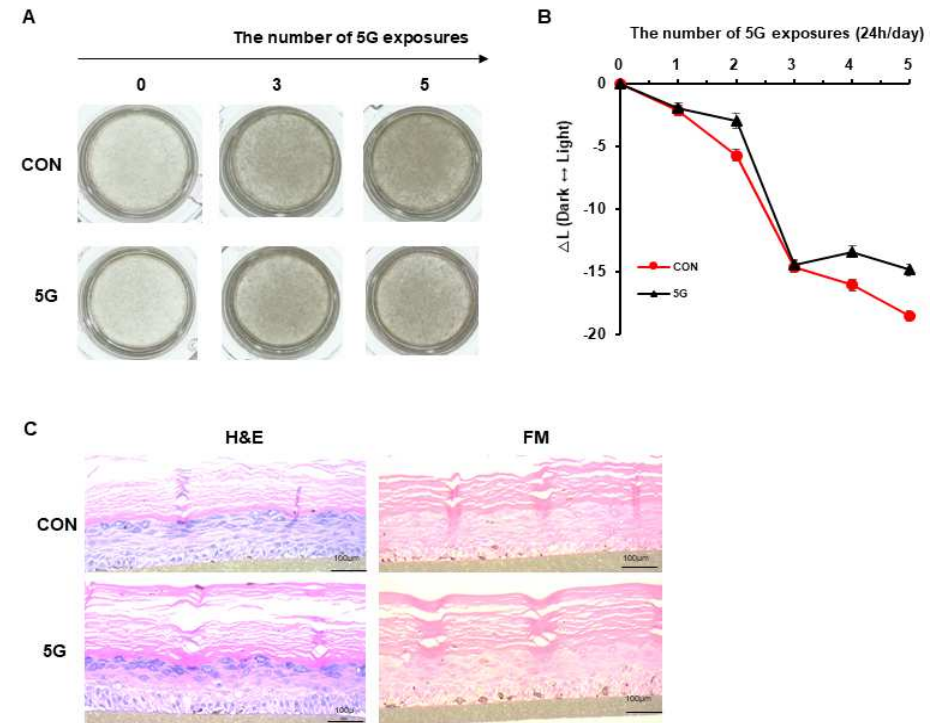


### 3. 5G 28 GHz 피부세포 노출결과

- 28 GHz 노출에 의한 피부색소 침착



형태학적 변화 (MNT-1)

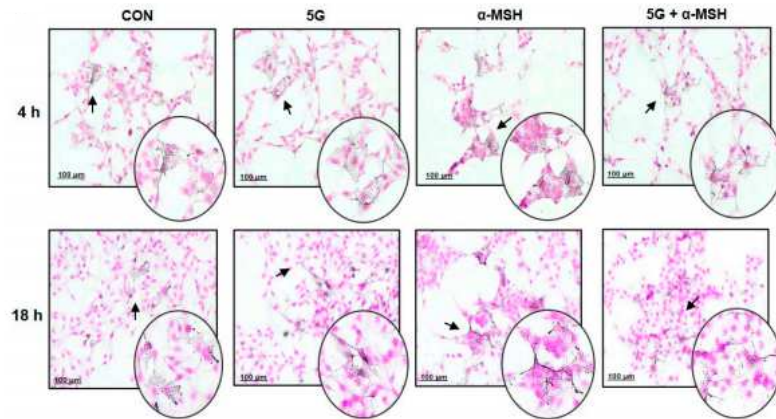


색소 침착 관찰 (Melanoderm™)

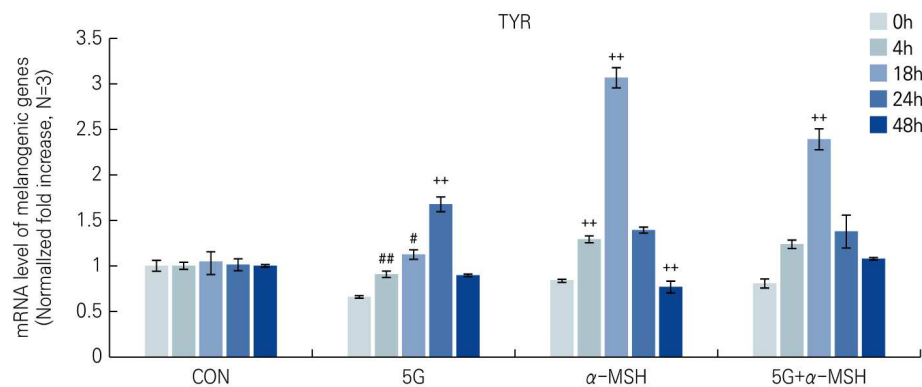
- 흑색종 세포(MNT-1) 에서 노출에 의한 돌기(dendrite) 변화를 관측
- 인공피부모델(Melanoderm™)에서 멜라닌 생성에 유의미한 변화 없음
- B16F10 세포에서 TYR과 TRP-1의 유전자 발현에 유의한 증가 확인

# 3. 5G 28 GHz 피부세포 노출결과

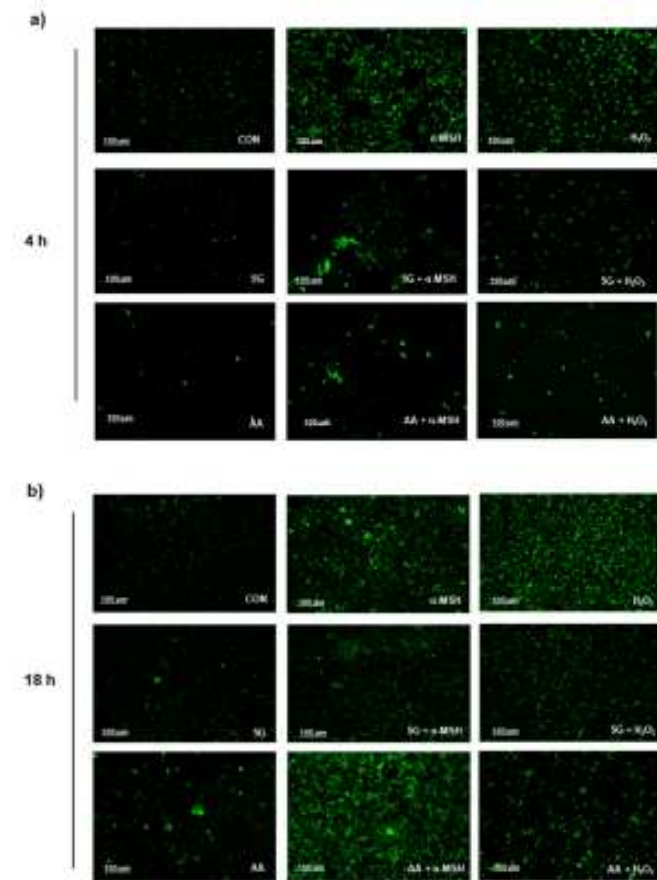
## ● 28 GHz 노출에 의한 멜라닌 합성 저감 영향



멜라닌 생성 감소



유전자군의 발현량 관찰



항산화 효과 관측

- B16F10 세포에서 α-MSH에 의해 유발된 멜라닌의 유의미한 감소 확인
- TYR 유전자군에서 과발현된 양이 노출에 의하여 유의하게 감소함
- 28 GHz 노출이 활성 산소종을 상당 부분 억제하는 것을 관찰함

## 4. 결론

- 5G 28 GHz 세포노출장치의 제작 및 성능 측정
- 내부 전력밀도 특성 및 실시간 온도 모니터링 파악
- 28 GHz에 의한 피부색소 침착 연구
- 항산화 효과 및 멜라닌 생성 저감 효과 관측 가능



*Thank you!*

