

<2016년도 2학기 학교간 공동교육과정 ‘과제연구’ 논문 결과보고서>

프랙탈 구조를 이용한 전자파 차단에 대한 연구

창원남고등학교

구분	학번	성명
팀장	20335	최석현
팀원	20108	김재원
팀원	20309	박경윤
지도교사		민영기

[요약본]

제3차 산업혁명 이후 전자기기의 기술은 비약적으로 발달해왔다. 전자기기의 원동력이 되는 전기는 전자의 흐름이라 볼 수 있고 이 전자의 흐름에서 전자파가 발생하게 된다. 따라서 전자기기를 사용함에 따라 우리는 불가피하게 전자파를 흡수하게 된다. 그런데 WHO 산하 국제암연구소 기관의 연구에 따르면 우리가 사용하고 있는 전자기기에서 발생하는 전자파가 인체에 악영향을 준다고 보고하고 있다. 그렇다고 모든 인류가 한순간에 전자기기의 사용을 중단할 수는 없을 것이다. 그렇기 때문에 전자파가 인체에 흡수되지 않도록 막는 방법, 즉 전자파 차단에 대한 연구도 증가하고 있는데 우리는 이에 프랙털 구조를 접목시켜 전자파 차단에 있어 경제성과 효율성을 극대화할 수 있는지에 대해 조사해보도록 하였다.

실험 방법은 다음과 같다. 우드락 집 안에 핫스팟을 켜고 휴대전화를 넣고 여러 가지 프랙털 구조의 종류, 단계, 배치, 측정 위치에 따라 전자파 차단의 효율이 어느 정도인지를 알아본다. 실험 장비로는 여러가지 프랙털 구조, 금속 막대(구리, 알루미늄), 펜치, 우드락 집, TM-190 전자파 측정기 준비한다.

실험 결과를 간략히 말하자면 다음과 같다. 첫째, 정면 전자파 차단에 있어서는 페아노 2 단계의 전자파 차단율이 가장 훌륭하다. 둘째, 프랙털 구조는 각각의 고유한 전자파 재배치성을 가진다. 셋째, 일반적으로 프랙털 구조가 동일하다면 차단 재료로 쓰인 금속막대의 종류가 다르더라도 전자파가 재배치되는 위치는 변하지 않는다. 넷째, 전자파 재배치 편차 정도에 있어 구리가 알루미늄보다 크다.

프랙털 구조를 응용한 전자파 차단은 전자파 차단에 있어 경제성과 효율성을 극대화할 수 있을 것이며 모든 전자기기에서 발생하는 인체에 해로운 전자파를 효과적으로 차단하고 더 나아가 전기를 사용하는 모든 곳에서 활용되어 광범위하게 사용될 것이다. 또한 전자파 차단 이외에 전기장을 모아주거나 반대로 분산시키는 역할을 수행하게 하여 기술발전에도 큰 영향을 끼칠 것이다.

목 차

I. 서론-----	6
1. 탐구 동기 및 목적-----	6
가. 전자기기 사용 증가에 따른 전자파 노출 증가에 대한 가능성 -----	6
나. 전자파 차단 필요성과 향후 이용 분야-----	7
2. 탐구 이론 및 원리-----	7
가. 연구 과제 선정-----	7
나. 전자파 차단 탐구의 과학적 이론 및 원리-----	8
II. 본론-----	11
1. 세부 활동 내용-----	11
가. 프랙털 모양의 선정-----	11
나. 실험장소의 모색-----	12
다. 실험 세트의 설계-----	13
라. 실험의 실패와 새로운 세트의 제작-----	13
2. 실험 1-----	13
가. 실험장비-----	13
나. 실험방법-----	14
다. 실험결과-----	15
라. 결과분석-----	18
3. 실험 2-----	18
가. 실험내용-----	18
나. 실험장비-----	18
다. 실험방법-----	19
라. 실험결과-----	21
마. 결과분석-----	33
III. 결론-----	33
1. 실험 1-----	33
2. 실험 2-----	33
IV. 참고 문헌-----	34

[그림과 표 및 그래프 목차]

- <그림 1> 국제암연구소의 발암 물질 분류
- <그림 2> 한국소비자원의 전자파 측정 결과
- <그림 3> 전자기파의 진행 모습
- <그림 4> 전자파의 분류
- <그림 5> 자기장 차폐의 방법
- <그림 6> 내부에서 발생하는 전자파 차폐
- <그림 7> 외부로부터 입사되는 전자파 차폐
- <그림 8> 동물의 종에 따른 폐의 프랙털 진화
- <그림 9> 꽃잎의 프랙털
- <그림 10> 실험에 사용된 알루미늄 프랙털 구조
- <그림 11> 차단막이 없는 상태
- <그림 12> 실험에 사용된 구리 프랙털 구조
- <그림 13> 실험 장비 세트 2

- <표 1> 프랙털 모양의 선별 기준
- <표 2> 여러 가지 프랙털 모양에 따른 항목별 수치
- <표 3> 여러 가지 프랙털 모양의 적합성 판단
- <표 4> 여러 가지 장소의 외부 전자파의 세기
- <표 5> 페아노 프랙털 차단막 전자파 세기 실험값
- <표 6> 힐베르트 프랙털 차단막 전자파 세기 실험값
- <표 7> 고스퍼 프랙털 차단막 전자파 세기 실험값
- <표 8> 핫스팟을 낀 휴대전화의 Background 전자파 세기
- <표 9> 페아노 프랙털 구조 1단계 0°배치 시 전자파 세기
- <표 10> 페아노 프랙털 구조 1단계 90°배치 시 전자파 세기
- <표 11> 페아노 프랙털 구조 2단계 0°배치 시 전자파 세기
- <표 12> 페아노 프랙털 구조 2단계 90°배치 시 전자파 세기
- <표 13> 페아노 프랙털 구조 3단계 0°배치 시 전자파 세기
- <표 14> 페아노 프랙털 구조 3단계 90°배치 시 전자파 세기
- <표 15> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 0°배치 시 전자파 세기
- <표 16> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 90°배치 시 전자파 세기
- <표 17> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 180°배치 시 전자파 세기
- <표 18> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 270°배치 시 전자파 세기
- <표 19> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 0°배치 시 전자파 세기

<표 20> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 21> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 180°배치 시 전자파 세기
 <표 22> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 270°배치 시 전자파 세기
 <표 23> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 0°배치 시 전자파 세기
 <표 24> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 25> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 180°배치 시 전자파 세기
 <표 26> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 270°배치 시 전자파 세기
 <표 27> 페아노 프랙털 구조 1단계 0°배치 시 전자파 세기
 <표 28> 페아노 프랙털 구조 1단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 29> 페아노 프랙털 구조 2단계 0°배치 시 전자파 세기
 <표 30> 페아노 프랙털 구조 2단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 31> 페아노 프랙털 구조 3단계 0°배치 시 전자파 세기
 <표 32> 페아노 프랙털 구조 3단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 33> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 0°배치 시 전자파 세기
 <표 34> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 35> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 180°배치 시 전자파 세기
 <표 36> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 270°배치 시 전자파 세기
 <표 37> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 0°배치 시 전자파 세기
 <표 38> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 39> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 180°배치 시 전자파 세기
 <표 40> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 270°배치 시 전자파 세기
 <표 41> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 0°배치 시 전자파 세기
 <표 42> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 90°배치 시 전자파 세기
 <표 43> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 180°배치 시 전자파 세기
 <표 44> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 270°배치 시 전자파 세기

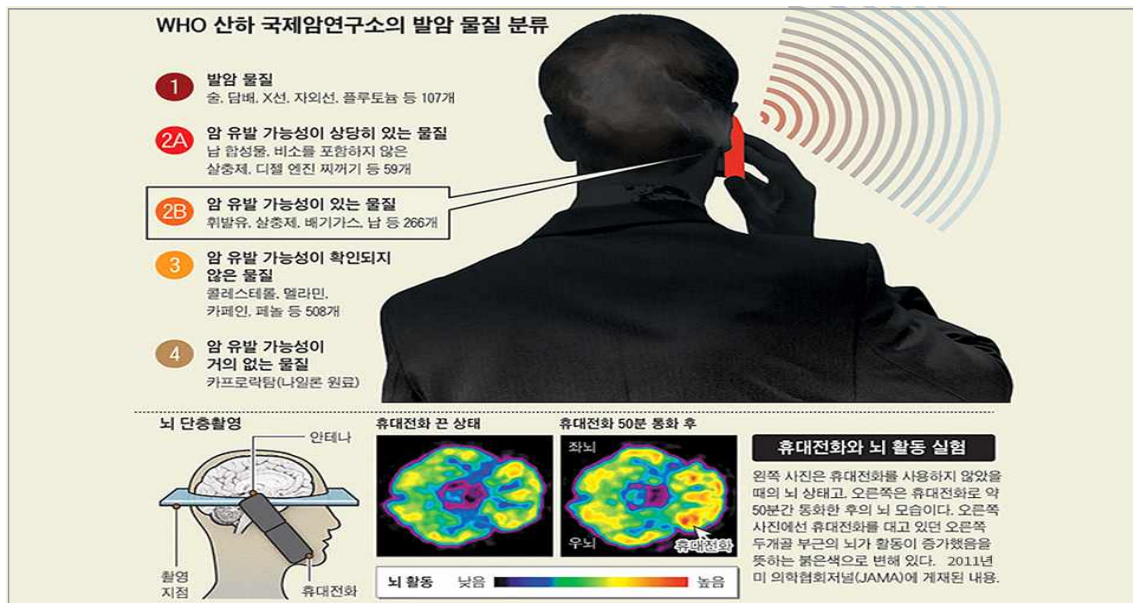
<그래프 1> 페아노 프랙탈의 단계와 각도에 따른 전자파 세기
 <그래프 2> 힐베르트 프랙탈의 단계와 각도에 따른 전자파 세기
 <그래프 3> 고스퍼 프랙탈의 단계와 각도에 따른 전자파 세기
 <그래프 4> 페아노 프랙털(Al)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교
 <그래프 5> 힐베르트 프랙털(Al)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교
 <그래프 6> 페아노 프랙털(Cu)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교
 <그래프 7> 힐베르트 프랙털(Cu)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교

I. 서론

1. 탐구 동기 및 목적

가. 전자기기 사용 증가에 따른 전자파 노출 증가에 대한 가능성

현재 대부분의 인류가 다양한 전자기기를 사용하고 있고, 인류 전체는 전자기기가 방출하는 전자파에 노출되어 있다고 해도 과언이 아니다. 현재기에 4차 산업혁명¹⁾이 진행되면서 인간과 전자기기는 떼려야 뗄 수 없는 관계가 되었고 모든 일상생활에 전자기기가 사용될 만큼 인류는 발전해 왔다. 이렇게 다양하고 널리 쓰이는 전자기기에서, 방출되는 전자파는 인간에게 어떠한 해로운 영향도 미치지 않는 것일까? 과연 전자파는 어떤 위험성을 가지고 있는지 알아보자.



<그림 1> 국제암연구소의 발암 물질 분류

<그림 1>에서 볼 수 있듯이 WHO 산하 국제암연구소는 휴대전화에서 방출되는 전자파를 2B등급, 즉 암 유발 가능성이 있는 물질로 분류하였다. 이것은 우리가 매일 들고 다니는 휴대전화도 인간에게 적지 않은 악영향을 미칠 수 있다는 것이다. 다시 말해, 휴대전화는 절대 안전하지 않다는 뜻이다. 그렇다면 다른 전자기기들에서 나오는 전자파 또한 위험할까?

결론부터 말하자면 다른 전자기기들에서 나오는 전자파도 위험하기는 마찬가지이다. 아르헨티나의 생식 연구기관은 하루 4시간 이상 Wi-Fi가 연결된 매개체를 사용할 경우 일부 정자들이 움직임을 멈추고 DNA 손상을 입었다고 밝혔다. 당장 멀리 보지 않더라도 Wi-Fi를 사용하는 노트북, 태블릿, TV 등 우리가 주변에서 쉽게 찾아볼 수 있는 여러 가지 전자기기들은 위험하다는 뜻이다. 그럼 과연 사람들은 이런 전자파의 위험성에 대해 얼마나 잘 알고 있을까?

1) 4차 산업혁명 : 3차 산업혁명을 기반으로 한 디지털과 바이오산업, 물리학 등의 경계를 융합하는 기술혁명, 즉 3차 산업혁명의 연장선이다. 4차 산업 혁명의 특징으로는 초연결성(사람과 사물, 사물과 사물이 인터넷 통신망으로 연결 됨), 초지능성(초연결성으로 비롯된 막대한 데이터를 분석하여 일정한 패턴 파악), 예측 가능성(분석 결과를 토대로 인간의 행동을 예측)이 있다.

한국 소비자원이 전국의 남/여 500명을 대상으로 한 소비자 인식조사에서는 응답자의 83.2%(416명)이 전자파가 인체에 해롭다고 인식하고 있었다. 이렇게 대부분의 사람들이 전자파의 위험성을 인지하고 있어서인지 시중에는 전자파 차단 제품도 여럿 보이고 있다. 그런데 과연 이러한 제품들이 전자파 차단에 효과가 정말 있을까?

[휴대폰 관련 차단제품 측정결과]

구분	대상시료	전자파흡수율			안테나 송신출력		
		측정값 ¹⁾ (W/kg)	기준시료 대비 ²⁾	감소율 (%)	측정값 ¹⁾ (mW)	기준시료 대비 ²⁾	감소율 (%)
장착전	기준시료	1.136	100	-	66.9	100	-
장착후	액정필름1	1.06	93.3	-6.7			
	액정필름2	1.091	96.0	-4.0			
	이어폰 걸이형	1.089	95.9	-4.1			
	스티커1	0.132	11.6	-88.4	11.5	17.2	-82.8
	스티커2	0.892	78.5	-21.5	50.6	75.6	-24.4
	스티커3	0.169	14.9	-85.1	5.2	7.8	-92.2
	스티커4	0.8	70.4	-29.6	33.4	49.9	-50.1
	클래드	0.09	7.9	-92.1	20.6	30.8	-69.2
	케이스	0.05	4.4	-95.6	17.5	26.2	-73.8
	카드	0.564	49.6	-50.4	16.3	24.4	-75.6
	파우치 ³⁾	0	0.0	-	0	0.0	-

1) 각 측정값은 총 5회 측정하여 평균을 낸.
2) 차단제품 장착전 기준시료의 전자파흡수율 또는 안테나 송신출력값을 100으로 볼 때 각 전자파차단제품 장착 후 각 측정값의 상대치를 나타냄.
3) 파우치의 측정값은 파우치가 전파 자체를 차단하므로 파우치 안의 휴대폰과 연결되지 않아 측정이 불가능하여 0으로 나타냄.

<그림 2> 한국소비자원의 전자파 측정 결과

휴대폰에서 발생하는 전자파는 전자파흡수율(SAR)로 측정하는데, 수치가 높을수록 인체에 흡수되는 정도가 높다. <그림 2>를 보면 우리가 흔히 사용하는 전자파 차단 제품들은 전자파를 거의 차단하지 못한다. 또는 전자파를 차단시켜도 안테나 송신 출력을 함께 떨어뜨리는데 이 경우 휴대폰은 원활한 송수신 상태를 유지하기 위해 송신출력을 높리게 되므로 전자파흡수율이 높아져 효과가 없다고 할 수 있다. 이에 우리는 어떻게 전자파를 효과적으로 차단할 것인가에 대해 의논하게 되었고 불규칙성 속에서 또 다른 규칙성을 찾아볼 수 있는 프랙털이라면 전자파의 접촉성을 증가시켜 전자파를 한쪽으로 모아주고 다른 방향으로는 전자파의 차단에 도움을 줄 수 있을 것이라는 생각에 실험을 진행하게 되었다.

나. 전자파 차단의 필요성과 향후 이용 분야

전자기기 없이는 인류가 살아갈 수 있다는 상상을 할 수 없을 정도로 전자제품들은 급속도로 발전해왔고 우리는 광범위하고 다양하게 응용된 전자기기들을 사용하고 있다.

위에서 언급했던 것과 같이 일상생활의 다양한 분야에서 사용되는 전자기기들은 인간에게 있어서 안전하지 않지만, 이러한 전자기기들은 인류에게 꼭 필요한 제품이다. 이와 같은 딜레마를 해소하기위해 전자파 차단의 필요성에 대한 인식이 높아지고 있는 상황이다. 우리가 연구하고자 하는 프랙털 구조의 금속 차단 막대는 이러한 인식을 바탕으로 전자기기의 전자파를 경제적, 효율적으로 차단하기 위한 방안으로 전자파를 이용하는 모든 전자기기가 향후 이용 분야가 될 수 있다.

2. 탐구 이론 및 원리

가. 연구 과제 선정

우리팀은 처음에 전자파를 효과적으로 차폐할 수 있는 방법을 구상하였다. 어떻게 차폐하는게 좋을지 고민하던 중 '제 61회 과학전람회'에서 우리와 방향성이 비슷한 연구를 찾았다. 이에 우리팀은 해당 연구를 기반으로 하되, 해당 실험 시 고려되지 않았던 부분들을 보완하고 추가적인 실험을 해 보기로 하였다. 하지만 실험 중 예상치 못한 결과가 나왔다. 특정 프랙털 모양에서는 전자파가 감소하지 않고 증가하는 문제였다. 이에 우리 팀은 고민 끝에 프랙털 모양이 기존의 전자파를 특정 방향으로 모아주고 특정 방향으로 분산시켜준다는 이른바 '금속막대를 이용한 전기장의 재배치'라는 결론에 도달하였고,

이를 증명하기 위해 두 가지 실험을 진행하였다.

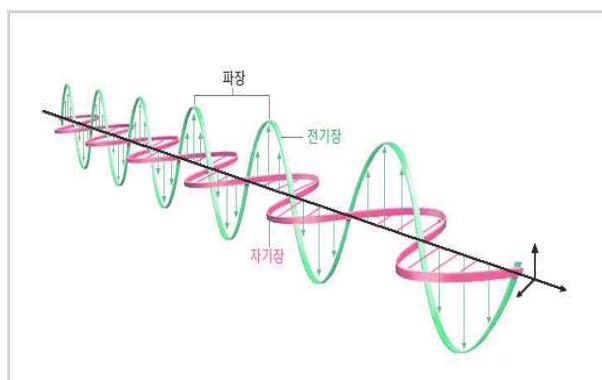
첫 번째 실험은 여러 방향에서 전자파를 측정함으로써 전자파가 어느 부분에서 줄어들고 어느 부분에서 늘어나는지를 파악하여 특정 프랙털 구조는 각각 고유의 전기장 재배치 양상이 있는지를 확인하는 것이다.

두 번째 실험은 금속선으로 만든 프랙털 구조에서 전자파가 집중되는 특정 부위를 찾아 그 부위에 접지를 시켜보는 것이다. 접지를 생각한 이유는 다음과 같다. 우선 전자파가 금속선 통과 원리를 살펴보면 전자파 발생원으로부터 발생한 전자파가 금속선에 입사될 때 금속 내의 전자가 전자기 유도현상에 의해 진동하고 이에 따라 발생된 교류 전류가 흘러 다시 바깥으로 전자파가 발생하는 것이다. 위의 원리에서 ‘전자파가 전자의 운동에 의해 발생한다.’라는 점을 착안하여 전자파 발생의 근본 원인인 전자를 땅으로 접지시켜 전자파를 발생하지 못하게 하는 실험을 구상했다.

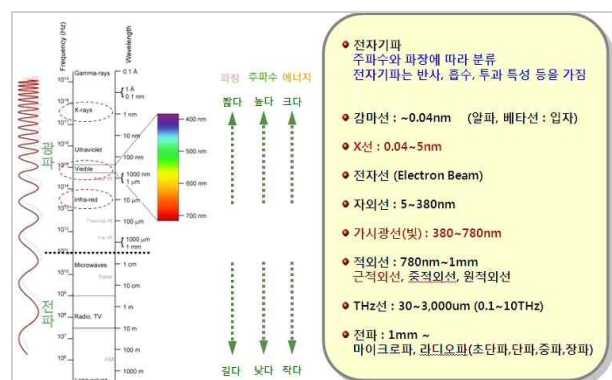
나. 전자파 차단 탐구의 과학적 이론 및 원리

1) 전자파

전자파(Electromagnetic waves)란 전기(Electric field)와 자기(Magnetic field)로 구성된 파동으로서 전자기파를 줄여서 표현한 단어이다. 전자파는 전기 및 자기의 흐름에서 발생하는 일종의 전자기 에너지인데 전기가 흐를 때 그 주위에 전기장과 자기장이 동시에 발생하여 이들이 주기적으로 세기가 변화해 공간 속에서 전파해 나가는 파동 현상을 말한다.



<그림 3> 전자기파의 진행 모습



<그림 4> 전자파의 분류

<그림 3>에서 보듯이 전자파는 전기장과 자기장이 서로 수직으로 진동하면서 전기장과 자기장의 수직인 방향으로 힘을 받아 공간에서 전파해 나간다.

<그림 4>와 같이 전자파는 주파수(초당파동수)크기에 따라 전파(장파, 중파, 단파, 초단파, 극초단파, 마이크로파), 적외선, 가시광선(빛), 자외선, X선, 감마선 등으로 구분된다. 여기서 전파는 적외선보다 파장이 긴 것을 말한다. 일반적으로 전파의 주파수는 3kHz에서 3THz이고 이에 해당하는 파장은 1 mm 에서 100 km이다.

2) 전자파 차폐의 방법

전자파 차폐의 방법으로는 다음과 같이 4가지로 알아볼 수 있다.

첫 번째, 전자파를 흡수하는 방법이다. 이때 차폐로 사용하는 물체를 흡수체라고 하는데, 흡수체는 입사된 전자파를 열에너지 형태로 전환시켜 전자파를 없애는 역할을 한다. 흡수체는 유전체나 자성체 등의 재질로 구성되어 있으며 전자파 발생원이나 전파를 흡수시켜야 하는 장소에 부착하여 사용한다.

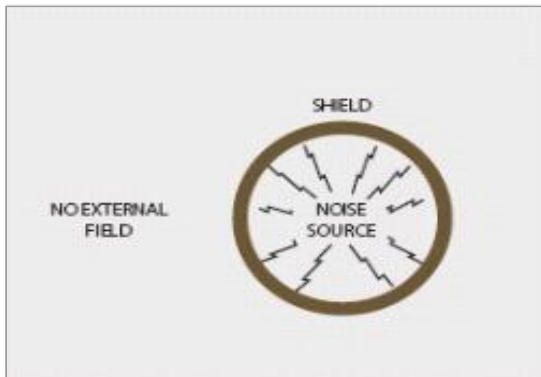
두 번째, 자기장을 차폐시키는 방법이다.



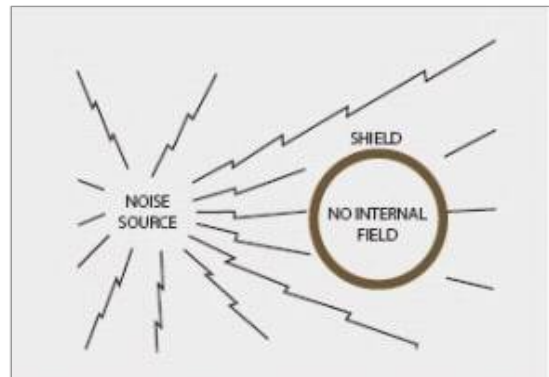
<그림 5> 자기장 차폐의 방법

<그림 5>와 같이 입사되는 자기장으로부터 보호해야 할 전자부품을 투자율²⁾이 좋은 재료(퍼멀로이 포일, 규소강판, 아몰퍼스 스트립 등)로 실드케이스를 만들어 감싸는 것이다. 이때 외부 자기장은 실드케이스의 표면을 타고 다른 부분으로 흘러가 실드케이스 안의 전자부품이 외부 자기장으로부터 안전하게 보호되는 것이다.

세 번째, 전자파를 직접 차폐시키는 방법이다.



<그림 6> 내부에서 발생하는 전자파 차폐



<그림 7> 외부로부터 입사되는 전자파 차폐

<그림 6>과 <그림 7>에서 보는 것과 같이 케이스를 전부 도체로 감싸면 내부에서 발생하는 전자파가 케이스에 부딪칠 때 외부로 투과되지 못하고 케이스 내부로 반사된다. 또한 외부에서 입사되는 전자파도 케이스 내부로 투과하지 못하고 외부로 다시 반사되는데 이것이 전자파 차폐의 원리이다. 이때, 케이스에서 약간의 틈이 있어도 그 틈이 입사되는 전자파의 주파수에 따라 전자파의 차폐가 가능하기도 한다.

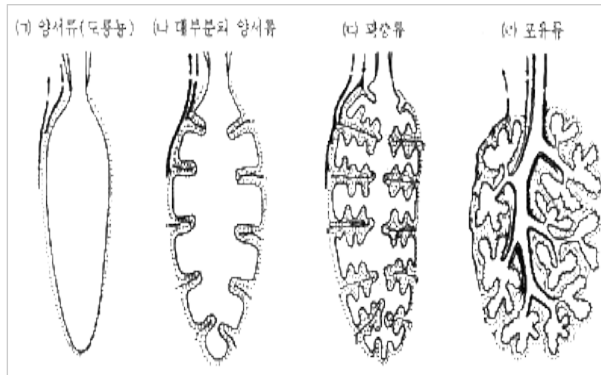
네 번째, 흡수한 전자파를 그라운드에 접지시키는 방법이다. 전자파의 기본 발생 원리는 전자의 진동에 있다. 따라서 전자파의 에너지를 받은 전자를 땅으로 접지시켜 빠져나가게 한다면 전자의 진동이 발생하지 않을 것이고, 이에 전자파가 발생되지 않을 것이다.

3) 프랙털

프랙털은 부분과 전체가 모두 똑같은 모양을 하고 있는 형태를 말한다. 이 형태를 기하학적 구조로 나타낸 것을 프랙털 구조라 한다. 'fractal'은 Benoit Mandelbrot가 처음으로 쓴 단어로, 어원은 조각났다는 뜻의 라틴어 형용사 'fractus'이다. 프랙털이 가지는 특징으로는 자기유사성(Self Similarity)과

2) 투자율 : 얼마나 쉽게 자기 유도(Magnetic Induction) 될 수 있는 정도, 또는 자속이 얼마나 잘 흐르는 정도를 나타내는 비율로 매질에 따른 자성 특성의 차이를 설명하는 비율이다. 단위로는 [H/m]를 쓴다.

순환성(Recursiveness)이 있다. 자연계에서 프랙털 구조는 자연이 가지는 기본적인 구조로 <그림 8>과 <그림 9>와 같은 예가 있다.



<그림 8> 동물의 종에 따른 폐의 프랙털 진화



<그림 9> 꽃잎의 프랙털

II. 본 론

1. 세부 활동 내용

가. 프랙털 모양의 선정

프랙털은 특정 일부분으로 전체를 구성하여 이루어지는 기하학적 도형으로써 자기유사성을 가지게 된다. 여러 가지 프랙털의 복잡성과 분포 정도에 따른 전자파의 차폐정도가 다를 것이라 생각하고, 실험의 적합한 프랙털을 모색하였다.

1) 선별 기준

선별 기준	선별 기준의 의미	선별 기준의 판단 기준
1. 차단성	무언가를 막아내는 차단막으로서의 능력	선의 집중도 편향 비율 (중앙 : 중심으로부터 각 부분의 최대거리의 $\sqrt{2}/2$ 의 안쪽 부분. 그 외는 외곽)
2. 면적당 선 효율	일정한 면적당 소모되는 선의 양이 차단성에 비해 적은가의 여부	소모된 선의 길이/ 면적
3. 복잡성 조절 여부	복잡한 정도를 얼마나 단계적으로 조절할 수 있는가의 여부	단계를 심화시킴에 따라 일어나는 복잡한 정도

<표 1> 프랙털 모양의 선별 기준

2) 항목별 수치

프랙털 모양	차단성	면적당 선 효율	복잡성 조절 여부
1. 힐베르트 프랙털	중앙 집중도 : 50% 외곽 집중도 : 50%	1단계 : $1.5\text{m}/\text{m}^2$	단계당 변화 비율 : 200%
		2단계 : $3.75\text{m}/\text{m}^2$	
		3단계 : $7.875\text{m}/\text{m}^2$	
2. Koch 곡선의 응용-눈송이 모양	중앙 집중도 : 0% 외곽 집중도 : 100%	1단계 : $4\text{m}/\text{m}^2$	단계당 변화 비율 : 133%
		2단계 : $5.33\text{m}/\text{m}^2$	
		3단계 : $7.11\text{m}/\text{m}^2$	
3. 시에르핀스키의 삼각형	중앙 집중도 : 23% 외곽 집중도 : 77%	1단계 : $6.839\text{m}/\text{m}^2$	단계당 변화 비율 : 150%
		2단계 : $10.258\text{m}/\text{m}^2$	
		3단계 : $15.386\text{m}/\text{m}^2$	
4. 원형순환 프랙털	중앙 집중도 : 65% 외곽 집중도 : 35%	1단계 : $3.544\text{m}/\text{m}^2$	단계당 변화 비율 : 200%
		2단계 : $5.317\text{m}/\text{m}^2$	
		3단계 : $7.09\text{m}/\text{m}^2$	
5. 페아노 프랙털	중앙 집중도 : 50% 외곽 집중도 : 50%	1단계 : $2.667\text{m}/\text{m}^2$	단계당 변화 비율 : 333.3%
		2단계 : $8.889\text{m}/\text{m}^2$	
		3단계 : $26.963\text{m}/\text{m}^2$	
6. 고스퍼 프랙털	중앙 집중도 : 75% 외곽 집중도 : 25%	1단계 : $2.646\text{m}/\text{m}^2$	단계당 변화 비율 : 264.5%
		2단계 : $7\text{m}/\text{m}^2$	
		3단계 : $18.520\text{m}/\text{m}^2$	

<표 2> 여러 가지 프랙털 모양에 따른 항목별 수치

3) 프랙털 모양의 적합성 판단

위 <표 1>, <표 2>와 같은 선별기준에 따라 6가지 프랙털을 서로 비교하여 전자파 차단 실험에 적합한 도형을 판단하였다.

	차단성	면적당 선 효율	복잡성 조절 여부
1. 힐베르트 프랙털	○	○	○
2. Koch 곡선의 응용-눈송이 모양	×	○	△
3. 시에르핀스키의 삼각형	△	△	△
4. 원형 순환 프랙털	○	○	○
5. 페아노 프랙털	○	×	○
6. 고스퍼 프랙털	△	×	○

<표 3> 여러 가지 프랙털 모양의 적합성 판단

<표 3>과 같은 조사 끝에 실험에 가장 적합한 프랙털 구조는 전체적으로 같은 모양이 밀접하고 고르게 분포되는 구조라는 판단을 내리고 이러한 조건을 동시에 만족하는 프랙털 구조는 힐베르트 프랙털, 페아노 프랙털, 고스퍼 프랙털이었다. 따라서 이 3가지 프랙털 구조를 채택하여 실험을 진행하였다.

나. 실험장소의 모색

장소	교실	정독실	화장실	상담실	특별실	교무실	운동장
전자파의 세기	302.6mW/m ²	264.7mW/m ²	1.96μW/m ²	3.4μW/m ²	345.5mW/m ²	289.1mW/m ²	1.12μW/m ²

<표 4> 여러 가지 장소의 외부 전자파의 세기

소형세트를 이용하여 외부전자파의 영향을 최소화한다고 하더라도 외부전기장이 거의 존재하지 않는 곳에서 실험을 진행할수록 더욱 정확한 실험값이 나올 수 있을 거라 생각하여 측정기를 들고 외부전자파가 가장 적은 곳을 찾아다녔다.

<표 4>와 같이 장소별 전자기파의 세기 측정결과 화장실, 상담실, 운동장등이 가장 적은 값을 나타냈다. 교실, 정독실, 특별실, 교무실 등은 각종 전자기기와 Wi-Fi공유기가 설치되어 있어, 위와 같이 전자파의 세기가 높게 측정된 것으로 보였다.

실험을 진행할 장소로는 외부전자파의 세기가 낮게 나온 3곳 중 상담실을 택하였다. 그 이유는 다음과 같다.

첫 번째, 화장실은 실험 세트를 설치하기엔 부적합하고 실험진행에 있어서 시간의 제약이 있기 때문에 화장실은 실험 장소로 채택되지 못하였다.

두 번째, 운동장은 바람이 많이 불어서 실험 장비들이 날아갈 가능성이 있기에 실험장소로는 적합하지 못하였다.

세 번째, 상담실은 화장실보다 비교적 실험진행에 편리한 넓은 공간을 가지고 있고, 바람도 불지 않았기 때문에 주변 전자기파의 영향을 최소화할 수 있는 장소로 상담실을 채택하였다.

다. 실험 세트의 설계

외부 전자파의 영향을 최소화하고 차단된 전자파의 세기를 안정적이고 정확하게 측정하기 위해 측정기의 위치를 고정시킬 수 있는 소형 세트를 제작하기로 했다. 우드락, 종이, 테이프 등은 전자기파와 관련된 여러 논문에서도 전자파에 영향을 거의 주지 않는다고 주장하며 실제로 우드락과 종이, 테이프를 전자파 발생원 앞에 설치하여 전자파의 세기를 측정해 본 결과 $\pm 0.1\%$ 미만의 오차가 발생했기 때문에 실험 재료로 사용하였다.

우드락으로 세로20cm, 가로26cm, 높이20cm의 상자를 만들고 20cm×20cm크기의 입구만을 제외한 나머지 다섯 면에 알루미늄 호일을 둘러 내부전자파가 다른 방향으로 진행하는 것과 외부전자파의 영향을 미연에 방지하도록 하였다.

라. 실험의 실패와 새로운 세트의 제작

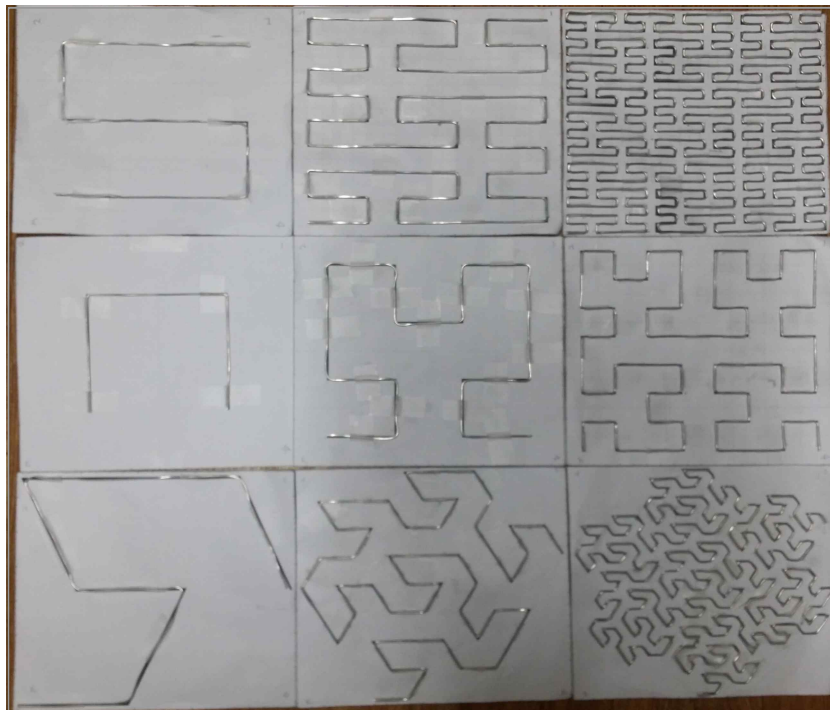
실험1이 예상과 전혀 다른 결과가 나와 실험에 진행하기에 있어 발생한 오류가 무엇인지를 찾아보았고 찾은 끝에 오류 원인이 틈이 넓은 프랙탈 구조의 금속 막대는 전자파의 차폐능력이 없고 대신에 전기장을 재배치 해준다는 것이다. 이에 따라 전자파의 집중 위치를 알아보기 위해 새로이 실험2를 진행하도록 계획하였고 실험의 목적에 따라 프랙탈의 부분별 전자파의 세기를 측정하기 위해 새로운 세트를 추가적으로 제작하였다.

실험1의 상자의 입구 앞에 정사각형 9개의 칸으로 나눠 측정기를 각 칸에 놓아 측정할 수 있도록 정사각형이 9칸으로 구성된 거치대를 제작하여 추가로 설치하였다.

2. 실험 1

가. 실험장비

실험 진행시 필요한 준비물은 페아노, 힐베르트, 고스퍼 프랙탈 구조 복사본(1~3단계), 알루미늄 금속 막대, 펜치, 우드락 집 세트 모형, TM-190 전자파 측정기이다. <그림 10>



<그림 10> 실험에 사용된 알루미늄 프랙탈 구조

나. 실험방법

각 프랙털의 금속 구조물들을 각각의 프랙털의 제3단계까지 제작하여 실험을 진행하였다. 또한 정사각형 형태의 프랙털 구조가 90°씩 회전시킬 때 마다 금속막대의 배치가 달라지므로 프랙털 구조가 0°(1), 90°(2), 180°(3), 270°(4)일 때를 각각 한 번씩, 즉 동일 구조 프랙털의 한 단계 당 4번의 실험을 하였다.

1) 프랙털 구조로 페아노 프랙털 사용 시

가) 페아노 프랙털 구조를 각각 1단계, 2단계, 3단계일 때를 복사한다.

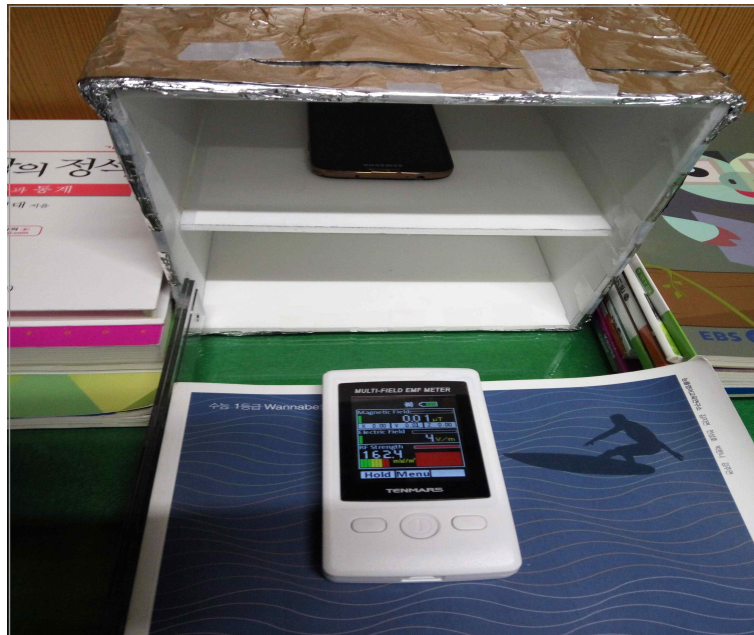
나) 알루미늄 막대를 복사한 프랙털 구조를 따라 펜치로 구부린다.

다) <그림 11>과 같이 실험 장비를 세팅한다.

라) 우드락 집 안에 핫스팟을 켜 둔 휴대폰³⁾을 넣어 전자파를 발생원을 생성한다.

마) <그림>아무런 차단막을 넣지 않은 상태일 때 background 전자파를 측정한다.

바) 알루미늄 막대로 만든 페아노 프랙털 구조를 차례로 각각 위치시킨 후 전자파를 측정한다.



<그림 11> 차단막이 없는 상태

3) 핫스팟을 켜 둔 휴대폰 : 한국소비자원의 조사결과에 따르면 전자파 출력원으로부터 전자파를 차단시킬 시 안테나 송신 출력이 함께 떨어져 이 경우 휴대폰은 원활한 송수신 상태를 유지하기 위해 송신출력을 높이게 된다고 하였다. 따라서 휴대전화의 핫스팟을 켜 시 기지국과 연결이 되지 않는 출력원을 사용하여 출력되는 전자파의 세기를 일정하게 유지하였다.

2) 프랙털 구조로 힐베르트 프랙털 사용 시

- 가) 힐베르트 프랙털 구조를 각각 1단계, 2단계, 3단계일 때를 복사한다.
- 나) 알루미늄 막대를 복사한 프랙털 구조를 따라 펜치로 구부린다.
- 다) <그림 11>과 같이 실험 장비를 세팅한다.
- 라) 우드락 집 안에 핫스팟을 킨 휴대폰을 넣어 전자파를 발생원을 생성한다.
- 마) 아무런 차단막을 넣지 않은 상태일 때 background 전자파를 측정한다.
- 바) 알루미늄 막대로 만든 힐베르트 프랙털 구조를 차례로 각각 위치시킨 후 전자파를 측정한다.

3) 프랙털 구조로 고스퍼 프랙털 사용시

- 가) 고스퍼 프랙털 구조를 각각 1단계, 2단계, 3단계일 때를 복사한다.
- 가) 알루미늄 막대를 복사한 프랙털 구조를 따라 펜치로 구부린다.
- 나) <그림 11>과 같이 실험 장비를 세팅한다.
- 다) 우드락 집 안에 핫스팟을 킨 휴대폰을 넣어 전자파를 발생원을 생성한다.
- 라) 아무런 차단막을 넣지 않은 상태일 때 background 전자파를 측정한다.
- 마) 알루미늄 막대로 만든 고스퍼 프랙털 구조를 차례로 각각 위치시킨 후 전자파를 측정한다.

다. 실험결과

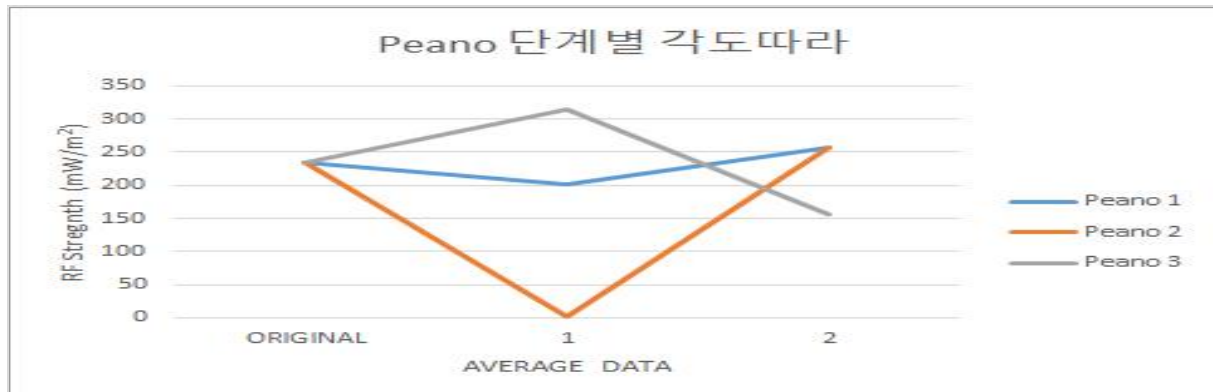
1) 페아노 프랙털⁴⁾

실험 횟수	전자파 세기(mW/m ²)						
	BG	P1-1	P1-2	P2-1	P2-2	P3-1	P3-2
1	238.2	194.7	266.1	1.709	246.2	313.6	162.4
2	228.7	207.3	257.7	1.797	261.1	332.2	153.3
3	236.6	200	243	1.567	251.1	317.3	147
4	228.7	213.3	261.1	1.738	266.1	304.5	159.8
5	243	200	246.2	1.857	252.8	321	153.3
6	230.3	192.7	264.4	1.623	271.2	304.5	159.8
7	244.6	204.4	259.4	1.827	257.7	332.2	152.1
8	233.4	191.3	262.7	1.797	246.2	309.9	163.8
9	222.5	205.9	259.4	1.827	262.7	328.4	161.1
10	238.2	197.1	243	1.827	251.1	313.6	148.3
11	228.7	211.8	257.7	2.217	264.4	302.7	155.9
12	241.4	201.4	257.7	1.767	256.1	321	148.3
13	231.9	192.7	262.7	1.623	269.5	302.7	161.1
14	247.9	201.4	251.1	1.738	256.1	321	157.2
15	235	194.2	269.5	1.68	247.9	308.1	169.1
평균값	235.2	200.5	257.4	1.772	257.3	315.5	156.8

<표 5> 페아노 프랙털 차단막 전자파 세기 실험값

4) 페아노 프랙털 : 페아노 프랙털의 경우 0°와 180°끼리, 90°와 270°끼리 서로 대응되므로 페아노 프랙털의 180°, 270°경우에는 따로 실험을 하지 않았다.

페아노 1단계 프랙털의 0° 실험의 경우, 실험 전 예상했던 바와 동일하게 실험값이 모두 Background에 비해 값이 줄어드는 것을 <표 5>에서 확인할 수 있다. 하지만 프랙털의 모양을 90° 회전시키자 실험값이 Background에 비해 오히려 늘어났다. <표 5>에 제시된 값과 같이 페아노 2단계 프랙털의 0°, 90° 실험도 각각 페아노 1단계 프랙털의 0°, 90° 실험과 비슷한 양상을 띠는 것을 살펴 볼 수 있다. 그러나 페아노 2단계 프랙털의 실험에서는 0° 실험의 실험값의 단위가 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ 로 줄어드는 상당히 극적인 변화를 보여줬다. 한편, 페아노 3단계 프랙털의 실험은 1단계 프랙털과 2단계 프랙털의 실험과는 완전히 달랐다. 페아노 3단계 프랙털은 0° 실험에서 값이 훨씬 증가하였고, 반대로 90° 실험의 실험값은 줄어들었다. 이 값들을 그래프로 나타내면 다음과 같다.



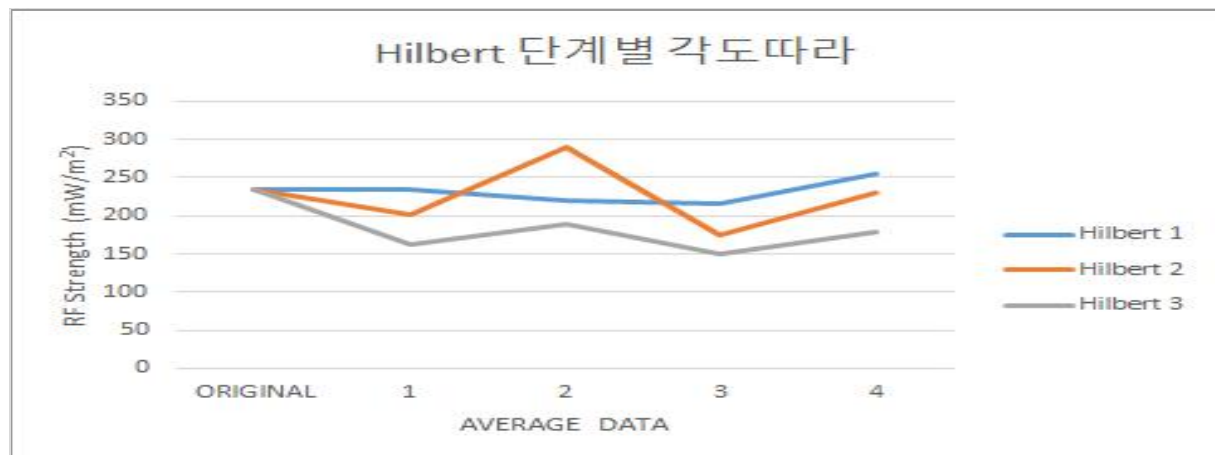
<그래프 1> 페아노 프랙털의 단계와 각도에 따른 전자파 세기

2) 힐베르트 프랙털

실험 횟수	전자파 세기(mW/m^2)												
	BG	H1-1	H1-2	H1-3	H1-4	H2-1	H2-2	H2-3	H2-4	H3-1	H3-2	H3-3	H3-4
1	238.2	233.1	217.9	227.2	247.9	204.4	293.8	175.9	231.9	166.4	194.2	144.5	177.3
2	228.7	246.2	230.3	217.9	259.4	189.9	281.5	171.8	243	157.2	208.8	153.3	185.6
3	236.6	241.4	247.9	208.8	257.7	204.4	302.7	182.8	228.7	157.2	180	152.1	177.3
4	228.7	225.6	207.3	216.4	271.2	192.7	285	169.1	243	163.8	191.3	161.1	182.8
5	243	239.8	225.6	207.3	257.7	204.4	302.7	182.8	233.4	157.2	182.8	154.6	178.6
6	230.3	230.3	210.3	224	249.1	195.6	290.2	175.9	222.5	167.7	195.6	140.8	188.4
7	244.6	244.6	230.3	211.8	261.1	205.9	279.8	167.7	233.4	155.9	180	154.6	181.4
8	233.4	231.9	214.9	227.2	243	201.4	290.2	178.6	222.5	159.8	195.6	144.5	173.1
9	222.5	243	228.7	214.9	241.1	188.4	285	171.8	235	161.1	187	153.3	185.6
10	238.2	233.4	219.4	204.4	254.4	198.5	293.8	180	227.2	174.5	177.3	147	175.9
11	228.7	225.6	207.3	217.9	266.1	207.3	278	167.7	239.8	169.1	188.4	158.5	188.4
12	241.4	235	217.9	208.8	249.5	208.8	306.3	180	228.7	170.4	182.8	147	180
13	231.9	228.7	205.9	222.5	256.1	202.9	281.5	173.1	214.9	162.4	194.2	142	173.1
14	247.9	243	235	210.3	257.7	213.3	304.5	165.1	235	150.8	187	150.8	174.5
15	235	230.3	214.9	228.7	246.2	201.4	288.5	174.5	222.5	163.8	195.6	140.8	175.9
평균값	235.2	235.4	220.9	216.5	254.5	201.2	290.9	174.4	230.7	162.4	189.3	149.6	179.8

<표 6> 힐베르트 프랙털 차단막 전자파 세기 실험값

<표 6>를 통해 힐베르트 1단계 프랙털의 0°, 90°, 180°, 270° 실험 모두 전자파 세기가 Background와 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 그러나 0°, 270° 실험은 전자파 세기가 다소 증가한 반면, 90°, 180° 실험은 전자파 세기가 조금 줄어든 것을 확인할 수 있다. 힐베르트 2단계 프랙털의 전반적인 실험값의 평균을 보면 0°, 180° 실험이 상대적으로 가장 많이 차폐가 진행되었고, 270° 실험은 거의 차이가 없었으며, 90° 실험은 오히려 늘어난 것을 확인할 수 있었다. 한편, 힐베르트 3단계 프랙털도 앞서 진행한 실험과 전혀 다른 결과를 보여주었는데 <표 6>에서 볼 수 있듯이 전자파 세기가 모두 감소한 것이다. 물론 180°, 0°, 270°, 90° 순서로 차폐가 잘되는 개별적 차이는 존재했다. <표 6>을 시각적으로 나타내면 아래와 같다.



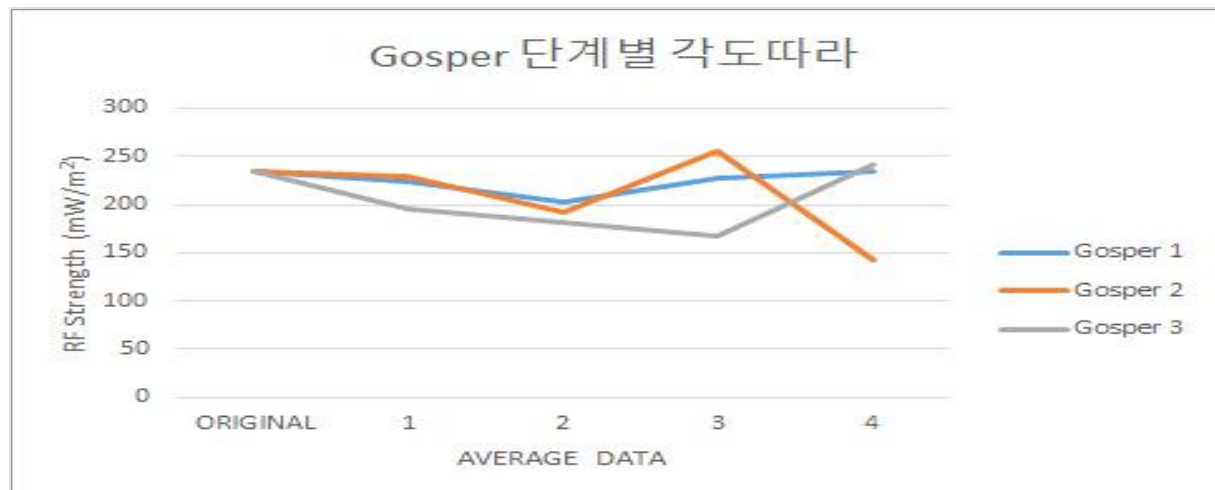
<그래프 2> 힐베르트 프랙털의 단계와 각도에 따른 전자파 세기

3) 고스퍼 프랙털

	전자파 세기(mW/m²)												
실험 횟수	BG	G1-1	G1-2	G1-3	G1-4	G2-1	G2-2	G2-3	G2-4	G3-1	G3-2	G3-3	G3-4
1	238.2	210.3	201.4	238.2	225.6	224	200	259.4	128.8	191.3	175.9	174.5	233.4
2	228.7	224	213.3	225.6	241.4	238.2	191.3	251.1	139.6	205.9	177.3	162.4	246.2
3	236.6	249	202.9	219.4	230.3	227.2	201.3	257.7	134.7	210.3	195.6	174.5	238.2
4	228.7	240.3	197.1	231.9	247.9	244.6	195.6	247.9	142	184.2	175.9	169.1	249.5
5	243	224	202.9	219.4	233.4	227.2	187	262.7	139.6	198.5	189.9	178.6	238.2
6	230.3	210.3	188.4	235.6	227.2	219.4	194.2	252.8	143.3	187	175.9	165.1	225.6
7	244.6	221	204.4	224	239.8	236.6	188.4	243	148.3	204.4	189.9	157.2	244.6
8	233.4	221	208.8	236.6	230.3	221	185.6	257.7	154.6	192.7	180	167.7	235
9	222.5	225.6	216.4	225.6	246.2	238.2	201.4	244.6	142	207.3	165.1	161.1	261.1
10	238.2	211.8	195.6	219.4	231.9	222.5	192.7	257.7	135.9	195.6	188.4	177.3	236.6
11	228.7	249.5	191.3	233.4	246.2	213.3	184.2	247.9	144.5	185.6	171.8	159.8	249.5
12	241.4	216.4	208.8	221	236.6	230.4	195.6	264.4	135.9	200	182.8	173.1	244
13	231.9	213.3	191.3	231.9	225.6	219.4	185.6	256.1	148.3	188.4	177.7	174.5	257.2
14	247.9	224	213.3	222.5	239.8	238.1	190.5	266.1	143.3	201.3	191.3	157.2	243
15	235	221	195.6	236.6	228.7	225.6	188.4	254.4	149.5	191.3	182.8	167.7	230.3
평균값	235.2	224.1	202.1	228	235.3	228.3	192.1	254.9	142	196.2	181.3	167.9	242.1

<표 7> 고스퍼 프랙털 차단막 전자파 세기 실험값

<표 7>를 살펴보면 고스퍼 1단계 프랙털 0°, 90°, 180°, 270° 실험 모두 전자파 세기가 감소하였고, 2단계 프랙털의 경우 0°, 90°, 270° 실험에서 전자파 세기가 감소하였고 180° 실험에서 전자파 세기가 증가하였다. 그리고 3단계 프랙털의 경우 270° 실험에서 전자파 세기가 조금 증가하였고, 나머지 실험에서는 전자파 세기가 감소한 것을 확인 할 수 있다. <표 7>의 그래프 개형은 다음과 같다.



<그래프 3> 고스퍼 프랙털의 단계와 각도에 따른 전자파 세기

라. 결과분석

위와 같이 다양한 프랙털을 단계와 회전된 양상에 따라 실험을 진행했으나 프랙털 간의 공통적인 결과를 찾아볼 수 없었으며, 또한 같은 프랙털의 단계의 변화에 따른 실험값 사이에서도 일정한 변화를 찾아볼 수 없었다. 오히려 실험값은 처음 예상했던 결과보다 전자기파의 세기가 상당히 증가하는 경우도 있었고, 여타 실험값들보다 극적으로 감소한 값도 볼 수 있었다.

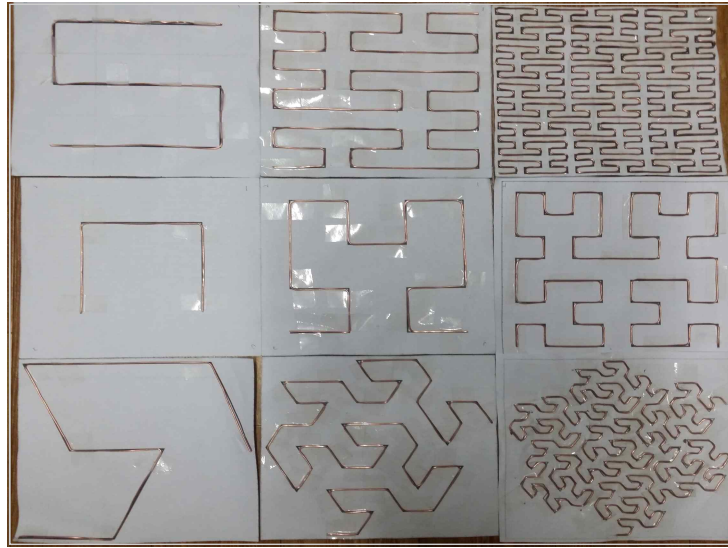
3. 실험 2

가. 실험 내용

전자파 측정기를 이용하여 프랙털의 종류(페아노, 힐베르트), 단계(1,2,3 단계), 배치(0°, 90°, 180°, 270°)와 금속의 종류(알루미늄, 구리)에 따른 전자파의 재배치 효과를 알아본다. 실험하기에 앞서 한 가지 가정을 세웠다. ‘우드락 집 내부에서 발생하는 전자파가 우드락 집 외부로 방출하거나, 또는 프랙털 구조에 입사되어 통과할 시 통과된 전자파는 프랙털 구조물의 수직방향으로 진행한다.’ 라는 가정이다. 이 가정을 세운 이유는 우리가 설계한 실험 장비 세트를 보았을 때 프랙털 구조와 측정기 사이의 공간적 틈이 있어 이 틈으로 빠져나가는 전자파는 무시하기 위해서이다.

나. 실험 장비

필요한 실험 준비물은 페아노, 힐베르트 프랙털 구조, 금속 막대(구리, 알루미늄), 펜치, 우드락 집, TM-190 전자파 측정기이다. <그림 12>



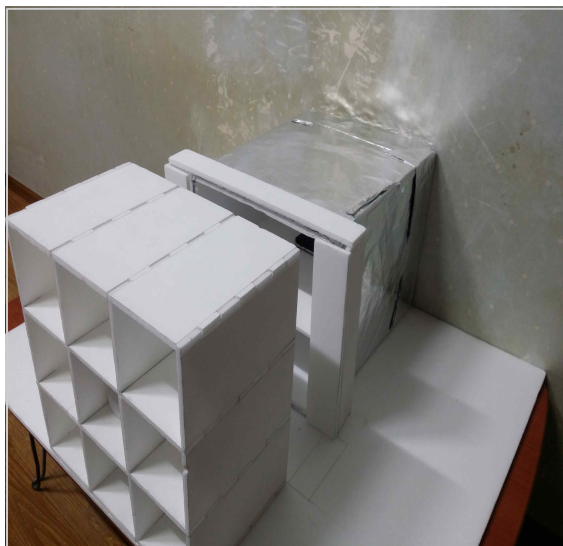
<그림 12> 실험에 사용된 구리 프랙털 구조

다. 실험 방법

1) 페아노 프랙털

가) 전자파 측정 위치에 따른 전자파 세기 비교

- (1) 페아노 프랙털 구조를 1단계, 2단계, 3단계일 때를 각각 2장 씩 종이에 복사한다.
- (2) 복사한 프랙털 구조의 선을 따라 구리 막대, 알루미늄 막대를 구부려 페아노 프랙털 구조를 만든다.
- (3) <그림 13>과 같이 실험 장비를 세팅한다.
- (4) 우드락 집 안에 핫스팟을 킨 휴대폰을 넣어 전자파를 발생원을 생성한다.
- (5) 발생하는 전자파의 Background를 격자 칸 안에 전자파 측정기를 넣은 후 측정한다.
- (6) 각각의 프랙털 구조에서 전자파 측정기를 격자 칸의 왼쪽 위, 오른쪽 위, 가운데, 왼쪽 아래, 오른쪽 아래에 위치시킨 후 전자파를 측정한다.



<그림 13> 실험 장비 세트 2

나) 프랙털 배치 모양에 따른 전자파 세기 비교

- (1) 페아노 프랙탈 구조를 처음 상태의 90° 로 돌린 후 전자파를 측정한다.
- (2) 페아노 프랙탈 구조를 처음 상태의 180° 로 돌린 후 전자파를 측정한다.
- (3) 페아노 프랙탈 구조를 처음 상태의 270° 로 돌린 후 전자파를 측정한다.

2) 힐베르트 프랙털

가) 전자파 측정 위치에 따른 전자파 세기 비교

- (1) 힐베르트 프랙털 구조를 1단계, 2단계, 3단계일 때를 각각 2장 씩 종이에 복사한다.
- (2) 복사한 프랙털 구조의 선을 따라 구리 막대, 알루미늄 막대를 구부려 힐베르트 프랙털 구조를 만든다.
- (3) <그림 13>과 같이 실험 장비를 세팅한다.
- (4) 우드락 집 안에 핫스팟을 켜 휴대폰을 넣어 전자파를 발생원을 생성한다.
- (5) 각 격자 칸 안에 전자파 측정기를 넣은 후 발생하는 전자파의 Background를 측정한다.
- (6) 각각의 프랙털 구조에서 전자파 측정기를 격자 칸의 왼쪽 위, 오른쪽 위, 가운데, 왼쪽 아래, 오른쪽 아래에 위치시킨 후 전자파를 측정한다.

나) 프랙털 배치 모양에 따른 전자파 세기 비교

- (1) 힐베르트 프랙털 구조를 처음 상태의 90° 로 돌린 후 전자파를 측정한다.
- (2) 힐베르트 프랙털 구조를 처음 상태의 180° 로 돌린 후 전자파를 측정한다.
- (3) 힐베르트 프랙털 구조를 처음 상태의 270° 로 돌린 후 전자파를 측정한다.

라. 실험결과

1) 실험값 측정

가) Background의 측정

실험 횟수	전자파 세기(mW/m^2)				
	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽아래
1	64.6	130	355.2	11.8	25.1
2	74.1	127.6	331.7	13.7	25.1
3	92	132.8	365	21.3	32.6
4	74.1	137.1	355.2	22.9	41.7
5	81.4	150.8	348.3	33.2	29.5
6	87.1	144.3	353.6	31.5	38.2
7	89	133.5	367.3	36.8	33.5
8	77.7	130.3	363.9	33.2	29.3
9	81.4	119.2	345.9	36.9	34.8
10	95	120.1	361.1	34.4	34.4
11	95	136.2	368.6	30.3	29.8
12	95	132.5	363.1	32	41.3
13	89.1	126.3	352.1	35	38.9
14	97	130.2	367.2	32.6	37.5
15	63.9	127.3	367.3	33.8	41.2
평균값	83.76	131.88	357.70	29.29	34.19

<표 8> 핫스팟을 킨 휴대전화의 Background 전자파 세기

나) 알루미늄 금속 막대로 만든 페아노 프랙털 구조 사용 시

(1) 페아노 프랙털 구조 1단계

실험 횟수	전자파 세기(mW/m^2)					실험 횟수	전자파 세기(mW/m^2)				
	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래		왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	62.2	122.5	279.2	37.8	49.4	1	26.5	146.5	261.4	1.131	2.841
2	54.3	124.2	270.4	38.2	52.6	2	21.4	148	250.9	1.353	2.886
3	53.5	124.2	295	42.1	53	3	25.9	140.6	278.4	1.623	2.98
4	55	128.2	282.2	40.2	53.5	4	24.9	144.4	262.1	1.979	2.954
5	53.5	134.3	285.2	37.5	53.8	5	27.5	149.4	264.5	1.709	2.726
6	56.6	146.1	290.4	40.1	47.2	6	32.1	151.5	272.7	1.859	2.961
7	61.4	117.8	293.9	37.5	50.2	7	29.2	150.5	272.8	2.074	2.724
8	58.2	128.7	298.2	41.4	51.8	8	28.1	146	274	1.887	2.99
9	63.8	132	277.3	38.9	50.4	9	32.1	150.2	261.5	1.948	2.748
10	59	128.5	286.5	35.2	51.5	10	26.5	148.5	268.1	2.016	2.928
11	57.3	105.2	289.1	37	47.2	11	24.4	146.2	272.8	1.906	2.883
12	63.8	123.3	297	41.5	47.2	12	20.9	148.3	280	1.237	3.113
13	59.7	111.4	287.4	38.6	49.5	13	31.5	142.1	270.4	1.405	2.999
14	62.2	140.4	280.1	35.4	49.1	14	29.8	140.8	263.7	1.591	2.685
15	57.4	111.3	291.1	38.6	47.8	15	33.8	141.4	271.7	1.47	3.052
평균값	58.53	125.21	286.87	38.67	50.28	평균값	27.64	146.29	268.33	1.68	2.90

<표 9> 페아노 프랙털 구조 1단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 10> 페아노 프랙털 구조 1단계 90°배치 시
전자파 세기

(2) 페아노 프랙털 구조 2단계

	전자파 세기(mW/m ²)				
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	1.084	191	157.2	34.1	67.69
2	0.8456	194.2	147.5	43	70.29
3	0.7856	197	154.9	35.8	73.59
4	0.7278	199.9	150.3	37.3	74.19
5	0.7278	195.7	155	34	75.59
6	0.7666	191.7	151.8	34.4	65.89
7	0.7856	195.9	163.3	37.1	66.09
8	0.9076	199.3	150.5	39.2	72.19
9	0.9054	195	164.8	41.8	66.39
10	0.7661	198.7	158.6	42.1	76.79
11	0.7278	196.5	162.6	38.7	75.19
12	0.8254	192.4	154.3	35.7	66.69
13	0.7468	194.5	155.9	43.7	73.49
14	0.7856	195.9	153.2	42.5	72.39
15	0.8254	198.9	152.7	38.2	73.19
평균값	0.81	195.77	155.51	38.51	71.31

<표 11> 페아노 프랙털 구조 2단계 0°배치 시
전자파 세기

	전자파 세기(mW/m ²)				
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	96	112.1	329.3	36.7	61
2	105.3	120.1	302.4	39.1	63.6
3	100.1	113.6	332.4	31.7	66.9
4	101.4	112.7	321.8	30.7	61.8
5	102.1	119.5	321.5	36.8	64.8
6	95	118.7	314.6	38.4	66.2
7	102	120.8	335.1	32.5	58.5
8	97	120.7	320.8	34.9	63.3
9	99.1	120.5	337.7	30.1	66.7
10	93	120.8	339.8	35.8	68.3
11	104.3	113	342.8	35.9	65.1
12	99.1	112.3	323.2	36	67.1
13	93	121.7	341.6	40.1	65
14	100.1	118.2	322.6	36.6	64.1
15	95	112.1	335	39.2	61.3
평균값	98.83	117.12	328.04	35.63	64.25

<표 12> 페아노 프랙털 구조 2단계 90°배치 시
전자파 세기

(3) 페아노 프랙털 구조 3단계

	전자파 세기(mW/m ²)				
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	61.4	92.6	369.2	12.2	29.5
2	55.8	94.5	343	13.3	34.9
3	52.8	92.6	374.3	11	27.4
4	57.4	89.4	363	13.5	27.4
5	54.8	94.9	367.3	17.5	26.4
6	59	94.9	357.7	16.2	31.3
7	54.3	92.5	384.9	18.7	25.3
8	58.2	91.4	360	19.9	26.5
9	57.4	96.3	384.7	20.4	26.4
10	59.7	95.4	380.2	11.9	29.7
11	55	86.6	375.5	18.3	27.2
12	60.5	92.2	365.8	14.1	29.4
13	56.6	90	372.3	15.7	25
14	59.7	89.9	364.2	13.1	33.2
15	58.2	90.5	371	16.9	33
평균값	57.39	92.25	368.87	15.51	28.84

<표 13> 페아노 프랙털 구조 3단계 0°배치 시
전자파 세기

	전자파 세기(mW/m ²)				
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	56.6	160	73.3	35.9	62.7
2	54.3	152	71.3	38.3	59.6
3	56.6	155.9	73.5	33.4	59.2
4	47.6	159.7	77.6	39.8	67.4
5	52	158.2	70.5	31.5	60.1
6	53.5	161.6	69.6	37.2	65.9
7	53.5	153	74.5	37.5	67.3
8	47.4	156.2	75.6	34.4	62.5
9	53.5	152.4	81.6	32.7	58.2
10	59	159.1	77.6	39.8	60.7
11	55.8	151.7	82.3	31.7	61.3
12	52.8	158.6	72.3	39	68.1
13	58.2	158.8	81.3	35.3	59.7
14	55.6	154.8	73.8	29.4	64.9
15	49.1	159	76.6	30.4	68.4
평균값	53.70	156.73	75.43	35.09	63.07

<표 14> 페아노 프랙털 구조 3단계 90°배치 시
전자파 세기

다) 알루미늄 금속 막대로 만든 힐베르트 프랙털 구조 사용 시

(1) 힐베르트 프랙털 구조 1단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	35.5	107.4	322.2	30.8	64.1	1	35	98.7	234.1	44.3	78.9
2	30.9	105.6	310.8	30.9	66.8	2	38.8	98.8	212.7	44	77.5
3	34.4	101.3	339.6	32.9	59	3	39.5	94.1	236.4	39.4	76.1
4	32.1	104.5	330.9	29.6	66.7	4	33.8	93	226.5	44.3	83.1
5	34.4	109.2	318.1	39.8	68.5	5	46.2	95.1	229.6	45.8	83.2
6	37.5	107.6	337.8	32.2	60.7	6	42.1	97.3	236.8	45.3	84.1
7	40.1	104.2	331.5	39.9	59.6	7	45.5	95.5	239.9	46.5	80.3
8	37.5	108.4	318.7	35.4	67.5	8	41.1	92.6	226	39.8	75.2
9	42.8	100.8	342.6	36	63.3	9	36.3	102.5	242.1	44.5	74.6
10	38.8	106.6	324.4	29.8	64	10	40.8	97.4	235.4	42.1	75.8
11	38.2	105.3	318.3	37.6	65.2	11	44.8	93.1	223.9	40	78.3
12	41.4	109.1	340	33.9	65.6	12	36.9	93.5	235	44.8	75
13	36.3	103.4	333.4	39.6	59.8	13	36.3	93.6	239.2	41.8	76.5
14	41.4	101.5	317.4	39.6	67.1	14	36.3	99.3	231.2	38.9	81.2
15	38.2	101.7	324.9	39.1	68.1	15	39.5	96.2	235.8	44.4	79
평균값	37.30	105.11	327.37	35.14	64.40	평균값	39.53	96.05	232.31	43.06	78.59

<표 15> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 16> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 90°배치 시
전자파 세기

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	111.5	166.5	332.6	21.6	31.7	1	62.2	119.6	262.7	28.6	54.7
2	116.2	165.5	311.7	14.1	24.8	2	68.9	112	247.2	27	55.7
3	109.3	164.1	344.7	15.2	28.4	3	59.7	122.8	269.5	29	52.6
4	119.6	169.5	332.3	18.7	30.9	4	68.9	118.9	269.8	25.5	55.6
5	112.9	172.6	323.2	16.3	34.9	5	63.8	112.3	266	24.4	48.2
6	109.6	168.7	337.4	15.8	24.6	6	67.2	114.8	274	30.2	49.5
7	116.2	167.6	345.6	20.2	34.8	7	63.8	113.1	278.5	31	47.7
8	108.5	168.4	320	19.4	34.4	8	58.2	115.7	261.8	25.2	54.5
9	115.1	167.7	344.5	21.7	30.2	9	63	120.3	279.2	23.3	49.3
10	109.6	172.3	333.5	14.8	28.9	10	58.2	120.4	267.3	25.5	45.7
11	118.9	167.1	319.3	19.5	34.5	11	59.7	122.7	258.3	31.2	45.7
12	112.9	165.4	343.7	20.7	24.4	12	50.5	121	274	24.5	49.6
13	105.3	165.9	331.6	11.8	31.8	13	62.4	113.7	267.5	23.6	55.3
14	114	172.5	328.9	21.2	28.7	14	58.2	114.1	260.6	31.1	52.1
15	107.5	173.9	328.8	21.3	31.1	15	55	120.7	272.5	31.9	53.3
평균값	112.47	168.51	331.85	18.15	30.27	평균값	61.31	117.47	267.26	27.47	51.30

<표 17> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 180°배치 시
전자파 세기

<표 18> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 270°배치 시
전자파 세기

(2) 힐베르트 프랙털 구조 2단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	134.7	217.6	142.8	38.8	63.8	1	51.3	102.3	292.9	18	29.1
2	148.3	219.2	135.6	37.6	68.3	2	59	102.1	281.4	20.7	32.9
3	140.8	222.2	149	32.2	68.5	3	54.3	100.4	305.2	12.3	26.2
4	134.7	220.9	140.4	40.1	68.4	4	58.2	100.3	284.8	14.6	33
5	132.9	218.2	148.5	31.2	60.9	5	52.8	107.5	309.9	17	27.2
6	133.9	226.7	147.3	37.7	62.8	6	56.6	104.5	301.1	12.5	26.5
7	143.3	226.7	138.8	35.6	64.9	7	56.6	99.6	280.2	13.5	35.1
8	135.9	225	144.9	36.8	63.6	8	51.3	109.9	292.7	12.7	28.5
9	144.5	225	144.8	31.5	64.6	9	53.5	105.4	295.2	20.5	34.4
10	138.4	226.5	140.7	38.4	60.8	10	48.4	101.5	287.9	13.2	27.2
11	133.5	221.1	147	33	68.1	11	52.8	105.7	297.6	16.4	31.3
12	143.3	218.9	141.4	34.5	68.4	12	49.8	106.4	291.6	14.2	32.6
13	135.9	225	143.9	32	60.2	13	57.4	108.4	300.6	11.3	30.4
14	144.5	226	143.6	35.4	58.7	14	55	103.1	299.1	15.4	30.2
15	137	225.8	139.1	32.5	57.7	15	55	107.8	290.1	14.4	27.6
평균값	138.77	222.99	143.19	35.15	63.98	평균값	54.13	104.33	294.02	15.11	30.15

<표 19> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 20> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 90°배치 시
전자파 세기

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	0.1032	2.824	343.7	1.072	1.816	1	75	87.8	286.5	41.8	74.2
2	0.1257	2.87	342.2	0.911	1.725	2	75.9	89.7	281.5	42.2	74.4
3	0.168	2.754	338	0.903	1.714	3	78.6	87.8	290	42.1	75.5
4	0.1419	2.912	333.4	1.026	1.608	4	72.3	86.7	289.5	36.4	75.5
5	0.1337	2.828	337.2	0.9	1.745	5	77.7	92	286.7	38	69.3
6	0.1257	2.812	339.6	0.885	1.739	6	70.6	91	285.2	37	71.8
7	0.1032	2.787	340.1	0.999	1.772	7	75.9	95.7	285.6	43	69.1
8	0.118	2.821	344.2	1.03	1.763	8	71.5	88.1	287.4	37.8	74.9
9	0.1257	2.795	334.1	0.934	1.695	9	77	89.8	289.5	38.5	76.3
10	0.1504	2.704	334	0.979	1.634	10	70.9	96	288.9	36.1	69.3
11	0.1867	2.686	333.8	0.911	1.857	11	66.3	91.8	285.6	36	70.9
12	0.1773	2.735	334.4	1.057	1.669	12	71.5	88.2	286.8	40	75.5
13	0.1032	2.733	340.2	1.048	1.611	13	69.7	93.6	280.7	40	76.8
14	0.118	2.775	339.9	0.937	1.701	14	75	89.9	281.4	35.5	68.1
15	0.1417	2.859	339.4	0.982	1.825	15	68.9	94.8	280.4	35.9	67
평균값	0.13	2.79	338.28	0.97	1.72	평균값	73.12	90.86	285.71	38.69	72.57

<표 21> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 180°배치 시
전자파 세기

<표 22> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 270°배치 시
전자파 세기

(3) 힐베르트 프랙털 구조 3단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	20.9	155.8	390.3	35.7	54.8	1	115.1	164.4	282.8	45.2	85.6
2	34.4	157.1	391.2	30.8	58.8	2	125.3	166.7	282.8	43.8	93.5
3	36.9	153.1	392.3	25.4	54.5	3	138.4	164.4	280.6	51.3	89.4
4	30.9	161.9	389.7	28	56.8	4	131.2	165.8	283.1	49.8	88
5	30.3	154	397.5	31	56.2	5	142	173.7	280.5	43.9	84.5
6	29.5	161.5	395.7	26.7	50.3	6	134.7	168.9	286.3	47.7	92.2
7	27	156.6	394.6	25.4	51.2	7	127.6	173.7	287.3	45	90.6
8	24.9	157.2	391.4	33.5	58.1	8	138.3	169.8	288.2	53.1	86.6
9	28.6	161.6	394.3	30.4	58.3	9	136.1	174.6	281.9	44.5	83.8
10	25.9	152.5	389	26.5	51.3	10	140.8	166.7	290.8	50.7	88.8
11	29.8	152.4	388.2	33.5	56.3	11	133.5	172.1	280.5	45.5	93.5
12	21.4	156.1	389	31.7	58.5	12	134.5	166.9	280.5	43.8	86.6
13	34.4	154.4	388.2	24.8	54.2	13	137.1	172.2	287.5	44.3	83
14	25.4	151.6	394	34.3	58.1	14	132.3	168.9	281.8	52.9	89.3
15	22.4	158.6	394.6	27.8	52.4	15	134.4	173.5	281.1	47	84.3
평균값	28.18	156.29	392.00	29.70	55.32	평균값	133.42	169.49	283.71	47.23	87.98

<표 23> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 24> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 90°배치 시
전자파 세기

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	137.2	140.6	304.5	59.8	102.5	1	63	94.1	248.6	70.8	126
2	132.3	148.1	304.3	61.2	108.7	2	67.2	86.4	246.2	66.4	134.3
3	132.1	146.6	304.2	53.3	99.7	3	63	96.7	254.8	66.8	134.7
4	138.3	140.4	304	63	108.7	4	69.7	95.4	251.1	76.7	131.7
5	142.2	139.2	298.9	62.2	101	5	63.8	92.6	253.4	70.1	134.8
6	153.3	141.8	300	62.2	100.6	6	60.1	92.4	247	73.8	129.1
7	145.8	148.2	299.8	56.8	102.2	7	66.3	91.8	246.6	68.8	128.7
8	155.9	143.2	307.1	57.9	105.1	8	61.4	94.6	251.9	76.5	132.7
9	147	147	299.8	59.9	106.6	9	64.6	91.9	248.6	74.1	125.1
10	135.9	138.1	301.6	62.2	107.2	10	59.7	96.9	246.5	67	124.9
11	148.3	138.2	302.3	60.6	101	11	67.2	89.3	255.2	72.8	129.9
12	140.8	140.3	299	61.3	110.1	12	62.2	94	246.7	72.6	127.8
13	149.5	142.5	305.7	56.9	109.4	13	59	88.3	245.6	72.2	133.6
14	142	140.9	308.3	56.9	108.7	14	63	93.6	254.1	69.8	126.6
15	154.2	138.8	298	58.8	110.2	15	59.7	91.7	244.8	69.8	130.8
평균값	143.65	142.26	302.50	59.53	105.45	평균값	63.33	92.65	249.41	71.21	130.05

<표 25> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 180°배치 시
전자파 세기

<표 26> 힐베르트 프랙털 구조 3단계 270°배치 시
전자파 세기

라) 구리 금속 막대로 만든 페아노 프랙털 구조 사용 시

(1) 페아노 프랙털 구조 1단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	63	141.7	314.7	42.8	42.8	1	0.8886	107.5	257.7	15.2	15.2
2	66.3	147	294.5	37.5	37.5	2	0.6905	105.4	283.2	18.6	18.6
3	75.9	138.5	323.5	45.5	45.5	3	0.7091	113.2	269.5	21.9	21.9
4	72.3	134.8	321.7	45.9	45.9	4	0.6188	110.6	252.8	20.5	20.5
5	68.9	150.9	312.6	34.4	34.4	5	0.7278	108.3	271.2	20.5	20.5
6	71.5	138.6	324.3	35.7	35.7	6	0.9605	121.8	246.9	21.4	21.4
7	73.2	134.5	330.6	33.2	33.2	7	0.7278	121.9	271	21.4	21.4
8	70.6	146.4	331.8	42.1	42.1	8	0.7468	113.1	252.2	20.1	20.1
9	65.5	146.3	330.3	39.1	39.1	9	1.016	122.1	266.1	18.6	18.6
10	70.6	150.6	320.1	46.9	46.9	10	0.709	110.6	263.5	19.2	19.2
11	67.2	146.9	331.6	52	52	11	1.137	119.3	262.1	17.6	17.6
12	63.8	143.9	309	47.5	47.5	12	0.7278	121.4	243.5	18.2	18.2
13	73.2	144.5	314.7	55	55	13	0.9506	110.2	250.8	20	20
14	68	144.8	323.9	40.8	40.8	14	0.8869	113.3	258	21.1	21.1
15	73.2	141.8	315.8	44.8	44.8	15	1.061	114.7	263.6	20.1	20.1
평균값	69.55	143.41	319.94	42.88	42.88	평균값	0.84	114.23	260.81	19.63	19.63

<표 27> 페아노 프랙털 구조 1단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 28> 페아노 프랙털 구조 1단계 90°배치 시
전자파 세기

(2) 페아노 프랙털 구조 2단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	2.042	72.2	120.7	1.196	1.442	1	65.5	108.6	337.4	12.4	25.2
2	2.204	70.1	137.1	0.374	0.682	2	59.7	106.4	318.9	10.2	23.4
3	2.337	65.1	123	0.746	1.372	3	67.2	112.7	337.4	19.5	29.8
4	2.51	69.7	134.7	1.078	1.114	4	65.5	115	330.3	19.7	41.3
5	2.45	69.9	127.6	0.864	0.73	5	65.5	113.7	343.6	31	25.3
6	2.616	63.5	126.2	1.55	1.164	6	68	108.1	342.2	30.1	38.2
7	2.405	72.6	121.3	0.936	0.79	7	65.5	109.5	344.7	33.4	33.3
8	2.51	67.1	108.5	1.364	1.486	8	70.6	110.4	318.5	29.2	29.2
9	2.51	67.1	111.2	1.578	1.236	9	64.6	113.7	332.3	36.3	33.1
10	2.475	71.1	129.3	1.468	1.168	10	69.7	107.5	326.4	33.6	32.9
11	2.652	71.2	129.8	1.146	1.256	11	65.5	103.3	315.4	27.1	29.8
12	2.542	62.2	109.8	0.74	1.166	12	60.5	102.8	319.2	29.4	37.7
13	2.51	62.7	134.3	1.26	0.958	13	64.6	117	329.9	30.3	34.5
14	2.405	70.4	132.6	1.492	0.87	14	62.2	108.9	306	29.2	34.2
15	2.823	72.1	122.8	1.516	1.624	15	64.6	118.1	317.8	29.1	39.5
평균값	2.47	68.47	124.59	1.15	1.14	평균값	65.28	110.38	328.00	26.70	32.49

<표 29> 페아노 프랙털 구조 2단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 30> 페아노 프랙털 구조 2단계 90°배치 시
전자파 세기

(3) 페아노 프랙털 구조 3단계

	전자파 세기(mW/m ²)				
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	21.4	91	367	9.9	19
2	37.5	86.1	359.1	11.2	22.8
3	31.5	82.5	378.9	17.6	27
4	35.7	95.2	363	21.4	34.3
5	33.2	93.9	353.2	25.6	26.7
6	31.5	93.7	368.9	27.8	29.9
7	34.4	94.5	353.6	30.9	26.9
8	30.9	89.9	356.6	25.8	24.9
9	35	88.6	378.8	30.6	27.6
10	31.5	87.4	353.6	28.4	26.9
11	28.6	92.1	359.6	25.8	24.3
12	32.6	95.9	367.9	29.1	34.7
13	32.1	92.9	364.7	29	34.1
14	35	84.1	367.6	26	29.5
15	31.5	96.3	377.5	28.5	36.4
평균값	32.16	90.94	364.67	24.51	28.33

<표 31> 페아노 프랙털 구조 3단계 0°배치 시
전자파 세기

	전자파 세기(mW/m ²)				
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	1.948	186.7	60.5	0.277	0.603
2	2.303	181	60.5	0.374	0.607
3	2.58	186.6	62.2	0.591	0.872
4	2.548	194.8	60.5	0.552	1.121
5	2.823	189.2	57.7	0.806	0.818
6	2.475	192.9	63.2	0.792	1.007
7	2.51	188.4	59.9	0.92	0.864
8	2.475	191	59.3	0.889	0.817
9	2.823	192.3	57.9	0.905	0.875
10	2.58	191.9	63	0.889	0.865
11	3	180.8	62.4	0.834	0.8
12	2.475	182	57.3	0.851	1.117
13	2.337	192.2	63.1	0.95	1.052
14	2.58	181.6	60.2	0.874	0.996
15	2.475	193.8	59.3	0.897	1.111
평균값	2.53	188.35	60.47	0.76	0.90

<표 32> 페아노 프랙털 구조 3단계 90°배치 시
전자파 세기

마) 구리 금속 막대로 만든 힐베르트 프랙털 구조 사용 시

(1) 힐베르트 프랙털 구조 1단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	29.8	55.8	302.7	4.9	8.7	1	41.4	56.6	189.9	13.3	17.8
2	32.6	53.9	302.7	5.9	11.4	2	41.8	56.7	187	9.5	22.2
3	29.2	55.9	300.9	8.1	12.2	3	35.7	53.5	200	7.5	16.9
4	25.4	58.4	311.1	11.4	19.7	4	35.7	53.7	189	16.2	21.3
5	25.4	63	304.5	14.5	12.3	5	32.1	59.7	184.2	14.1	16.3
6	35	60	317.3	12.5	14.4	6	33.9	60.3	187.9	5.7	13.3
7	41.1	54.9	298	12.8	15.4	7	34.2	51.6	209.9	6	21.7
8	38.2	59.5	296.5	13.4	12.1	8	36.3	60.4	198.6	8.2	18.5
9	35	54.5	303.8	17.8	13.9	9	35	58.8	195.1	6.8	18.8
10	38.8	51.2	310.3	14.9	12	10	30.3	62.4	192.1	10.4	23.6
11	37.5	53.7	308.1	11.4	12.8	11	33.2	62.1	205.4	9.4	21.7
12	33.8	52.1	310.5	15	15.2	12	30.9	57.3	195.8	12	20.8
13	31.2	52	303.6	13.6	13.8	13	33.8	55.1	209	9.1	20.8
14	35.7	57.2	297	15.8	14.9	14	31.5	57.3	207.1	9.9	17.8
15	32.8	54.5	297.2	11.7	18.7	15	35	59.8	196.7	6	19.6
평균값	33.43	55.77	304.28	12.25	13.83	평균값	34.72	57.69	196.51	9.61	19.41

<표 33> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 34> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 90°배치 시
전자파 세기

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	103.2	39.9	278	42.5	40.4	1	76.8	121.3	236.6	21.7	36.6
2	102.2	35.6	313.9	34.4	40.3	2	87.1	129.3	219.4	24.3	36.6
3	119.2	47.7	300.9	44.5	37	3	94	123.6	217.6	15.6	31.7
4	106.4	42.4	299.1	35.5	42	4	89	128.8	217.9	19.5	33.8
5	114	49.9	281.5	43.2	44.5	5	92	121.6	238.2	18.3	31.6
6	109.6	43.2	297.3	36.1	46.8	6	79.5	125.7	236.6	23.8	32.6
7	104.2	36.7	303.9	34.4	44.6	7	77.6	124.9	241	15.9	35.1
8	112.9	36.9	309.3	31.5	37.4	8	76.6	124	236.6	21.8	34.5
9	108.5	48.5	312.1	46.6	42.6	9	76.6	120.6	230.5	26.2	30.6
10	117.3	34.8	301.3	36.3	40.6	10	68	124.7	227.9	20.3	31.8
11	111.8	32.1	315.5	48.6	44.8	11	71.5	127.3	230.2	17.8	32.6
12	129.6	44.7	295.9	37.9	47.5	12	67.2	125.1	236.2	25.5	36.3
13	112.9	47.2	305.2	49.7	46.6	13	63	122.9	230.4	25.7	30.8
14	107.5	33	305.2	48.2	37.2	14	75.9	118.5	220.2	21.1	35.8
15	115.1	33.1	317.8	42.8	41	15	71.1	125.3	234.6	16.8	31.4
평균값	111.63	40.38	302.46	40.81	42.22	평균값	77.73	124.24	230.26	20.95	33.45

<표 35> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 180°배치 시
전자파 세기

<표 36> 힐베르트 프랙털 구조 1단계 270°배치 시
전자파 세기

(2) 힐베르트 프랙털 구조 2단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	150.8	248.3	120.7	40.3	73.9	1	51.3	106.2	288.5	17.1	67.3
2	149	253.7	137.1	48.4	82.9	2	58.2	105.2	286.7	17.8	71.7
3	142	242.8	123	45.2	78.2	3	54.8	110.7	299.1	13.8	74.6
4	153	243.7	134.7	47.2	75.3	4	58.2	108.7	279.5	19.8	74.4
5	144.5	247.7	127.6	41.6	82.4	5	54.3	110.6	279.6	17.5	62.8
6	154.6	254.2	118	40.2	75.7	6	59.7	105	283.2	19.1	68.9
7	147	244.1	125.9	36.2	80.7	7	52	109	289.8	15.4	64.1
8	140.8	247.2	120.2	45.9	82.7	8	46.9	104.7	292.6	16.6	76.5
9	150.8	250	119	45.6	72.4	9	54.3	105.2	296.4	14	67.7
10	143.3	247.7	123.1	47.4	78.8	10	51.3	105.8	289.9	15.8	81.3
11	152.1	249.4	122	41.3	77.4	11	55	109.2	290.8	21.2	74.7
12	143.8	246.4	116	43.2	81.6	12	50.5	112.3	295.1	16.1	67.7
13	154.6	252.2	127.6	39.5	79.7	13	55.8	109.3	281.6	19.9	63.6
14	148.3	242.3	120.6	48.4	70.7	14	51.3	106.4	292.2	21.6	71.4
15	149.6	252.7	124.8	48.2	72.3	15	50.5	111.3	284.2	21.3	65.7
평균값	148.28	248.16	124.02	43.91	77.65	평균값	53.61	107.97	288.61	17.80	70.16

<표 37> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 38> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 90°배치 시
전자파 세기

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	55.7	121.9	285	21.8	35	1	48.4	106.4	267.8	17.5	29.8
2	63	120.3	295.5	20.8	28.4	2	55	105	286.7	15.2	38.4
3	59	118.9	302.7	18.3	33.8	3	52	103.4	276.3	17.3	39
4	55.8	120.4	302.7	17.5	34.1	4	58.2	98.6	267.8	15.7	29.1
5	62.2	116.9	308.1	22.8	26.4	5	53.5	102.3	283.2	15.9	33.1
6	51.8	121.3	293.8	18.4	26.9	6	59	104.3	274.6	20.8	35.9
7	60.5	114.4	302.4	23.8	31.9	7	54.3	105.4	274.9	16.1	35.5
8	56.6	122.3	297	15.3	18.1	8	49.8	93.7	268.5	21.5	30.5
9	61.4	121.5	288.7	14.9	19.3	9	49.1	92.8	272.9	19.2	29
10	58.2	118.1	306.9	23.6	26.1	10	44.8	87	277.8	23.2	33.7
11	52	122	306.6	20.2	18.4	11	55	93.9	280.5	20.6	36
12	56.5	116.6	292.3	20.4	18.5	12	51.3	90.8	278.5	19.8	38.4
13	52.8	122.3	293.3	20.8	23	13	54.3	94.7	275.7	23.8	32.8
14	57.4	119.3	301.6	20.7	23	14	42.8	89.5	272.4	21.6	28.5
15	55	114.8	298	22.4	30.8	15	51.3	97	284.7	16.6	28.6
평균값	57.19	119.40	298.31	20.11	26.25	평균값	51.92	97.65	276.15	18.99	33.22

<표 39> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 180°배치 시
전자파 세기

<표 40> 힐베르트 프랙털 구조 2단계 270°배치 시
전자파 세기

(3) 힐베르트 프랙탈 구조 3단계

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	89	140.2	230.3	21.3	37.7	1	31.5	111.8	189.9	17.9	40
2	99.1	140.2	231.3	23.7	40.3	2	281	108.3	184.2	22.3	39.6
3	95	141	222.9	19.9	42.8	3	32.6	109.2	200	14.2	38.1
4	100.1	133.6	231.9	18.8	43.6	4	30.3	111.8	177.3	17	33.3
5	96	135	227.2	23.1	46.7	5	27.5	115.1	181.4	13.6	36.4
6	85.2	141.3	241.4	18.6	47.1	6	30.3	110	201.4	13.8	32.8
7	87.1	132.7	232.4	23.6	40.8	7	33.2	109.4	192.6	21.2	32.4
8	83.3	133.1	228.2	27.5	39.4	8	37.5	105.9	189.8	20	33.8
9	84.2	132.1	238	25.1	42.3	9	38.1	105	191.9	17.5	33.2
10	76.8	140.6	237.3	28.2	39.4	10	33.2	108.7	184.5	19	37.9
11	75	134	241.3	23.2	46.9	11	38.2	108.7	179.4	19.5	33.7
12	76	141.9	224.9	22.4	41.1	12	34.4	113.6	182.3	19.5	39.7
13	76.8	137.8	224.2	26.6	37.8	13	38.2	110.6	178.6	24.1	35.8
14	75.9	140.2	219.9	24.2	42.7	14	35.7	113.9	193.8	18.2	34
15	83.3	138.2	230.5	18.4	46.3	15	38.8	106.4	189.3	20.6	33.5
평균값	85.52	137.46	230.78	22.97	42.33	평균값	50.70	109.89	187.76	18.56	35.61

<표 41> 힐베르트 프랙탈 구조 3단계 0°배치 시
전자파 세기

<표 42> 힐베르트 프랙탈 구조 3단계 90°배치 시
전자파 세기

전자파 세기(mW/m ²)						전자파 세기(mW/m ²)					
실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래	실험 횟수	왼쪽 위	오른쪽 위	가운데	왼쪽 아래	오른쪽 아래
1	79.5	134.1	170.4	26.8	39.8	1	80.5	151.3	299.1	25.1	47.3
2	76.8	136.1	157.2	23	32.9	2	81.4	149.1	285	25.2	45.1
3	71.5	142.6	149.5	29.9	34.6	3	86.2	152	317.3	22.8	44.9
4	78.6	132.8	167.7	24.2	33.4	4	88.3	158.7	332.2	30	47.1
5	75	143.5	161.1	27.9	38	5	79.5	152	322	31.4	41.9
6	82.3	141.1	173.5	25.3	34.1	6	85.2	156.1	306.3	29.6	48.6
7	76.8	138.8	165.3	26.7	34.3	7	76.6	153.5	291.7	26.5	51.2
8	72.3	143.6	157.2	30.5	37.3	8	86.1	152.3	307.2	20.6	44.4
9	78.6	137.2	167.1	30.1	34.3	9	83.3	149.7	311.1	32.7	46.4
10	71.1	132.5	158.2	27.1	32.9	10	84.3	152.7	318.5	29.1	52.1
11	76.8	138	161.6	18.5	32.7	11	76.8	160.1	317.7	30.2	47
12	71.9	133.5	164.4	23.1	34.2	12	74.2	156.9	309.5	27.7	47.4
13	79.5	135.7	170.7	26.1	42.5	13	78.6	149.8	296.5	26.6	46.4
14	75	134.9	160.8	20.8	33	14	74.1	155.7	313.7	27.3	53.6
15	72	134.3	169.7	25.1	37.4	15	80.5	150.9	299.6	32.6	42.5
평균값	75.85	137.25	163.63	25.67	35.43	평균값	81.04	153.39	308.49	27.83	47.06

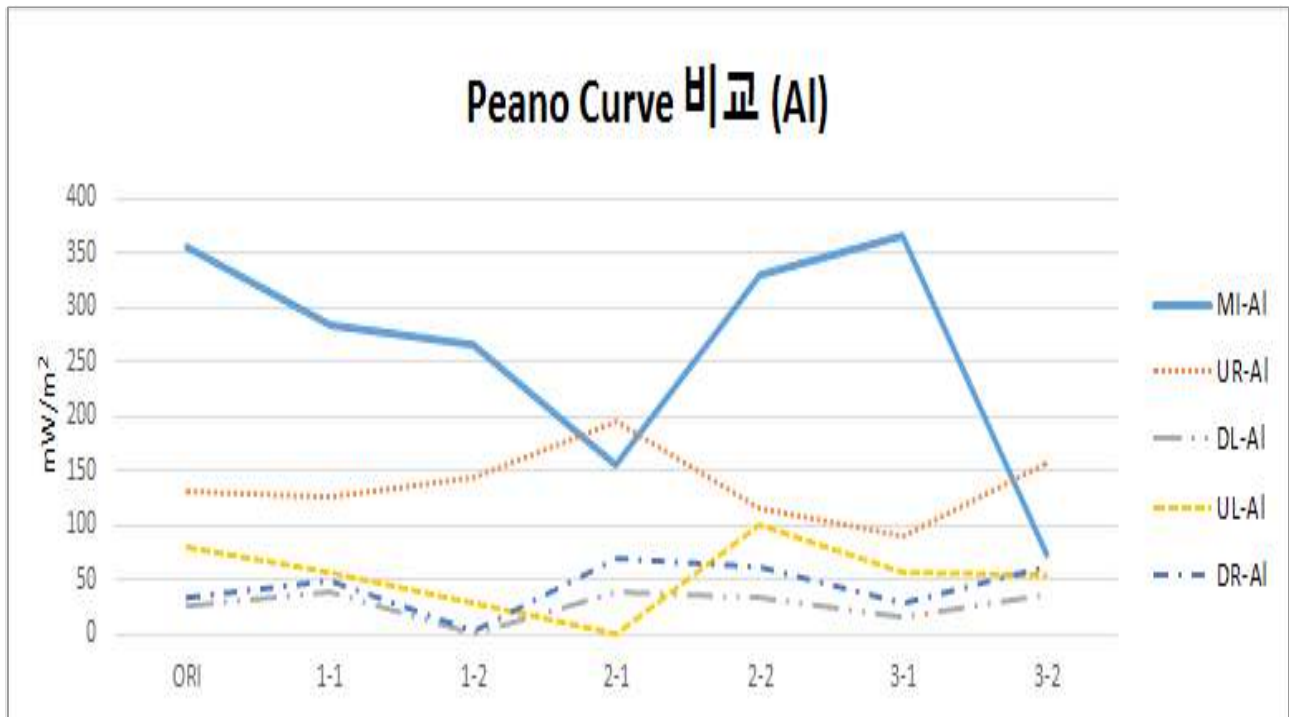
<표 43> 힐베르트 프랙탈 구조 3단계 180°배치 시
전자파 세기

<표 44> 힐베르트 프랙탈 구조 3단계 270°배치 시
전자파 세기

2) 그래프 시각화

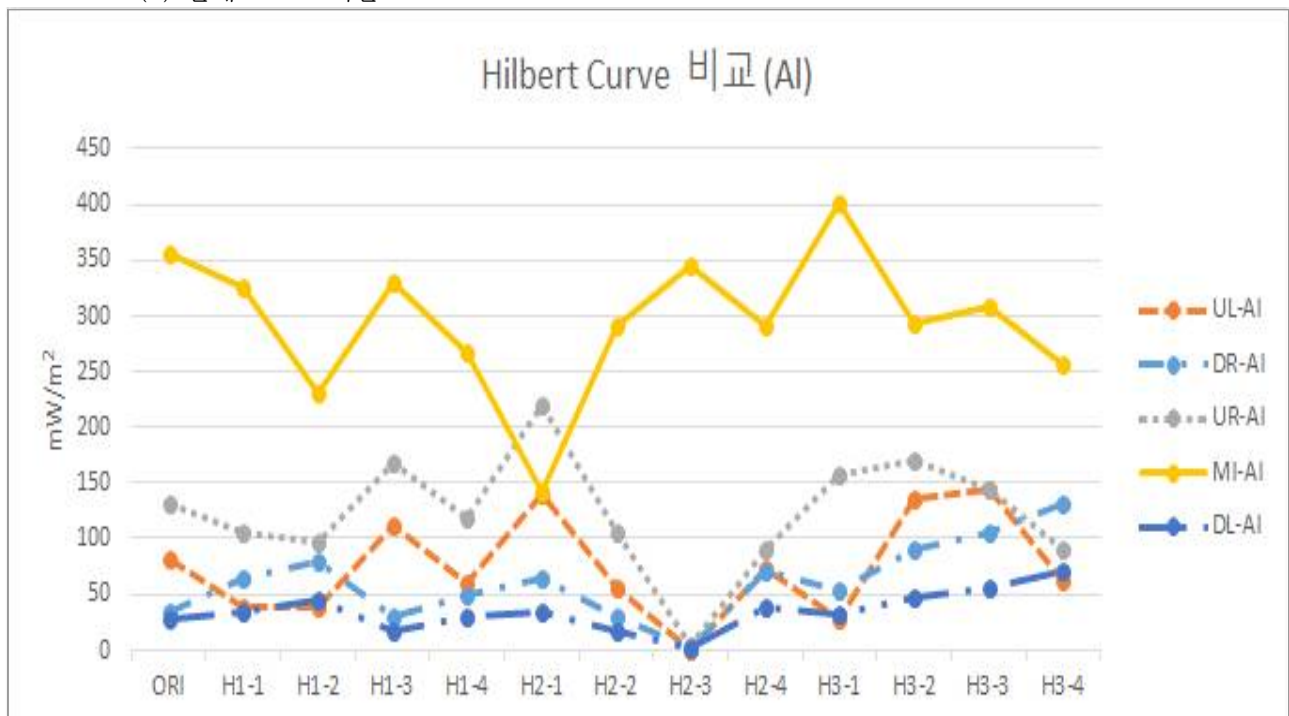
가) 알루미늄 금속 막대를 사용하여 만든 프랙털 구조

(1) 페아노 프랙털



<그래프 4> 페아노 프랙털(Al)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교

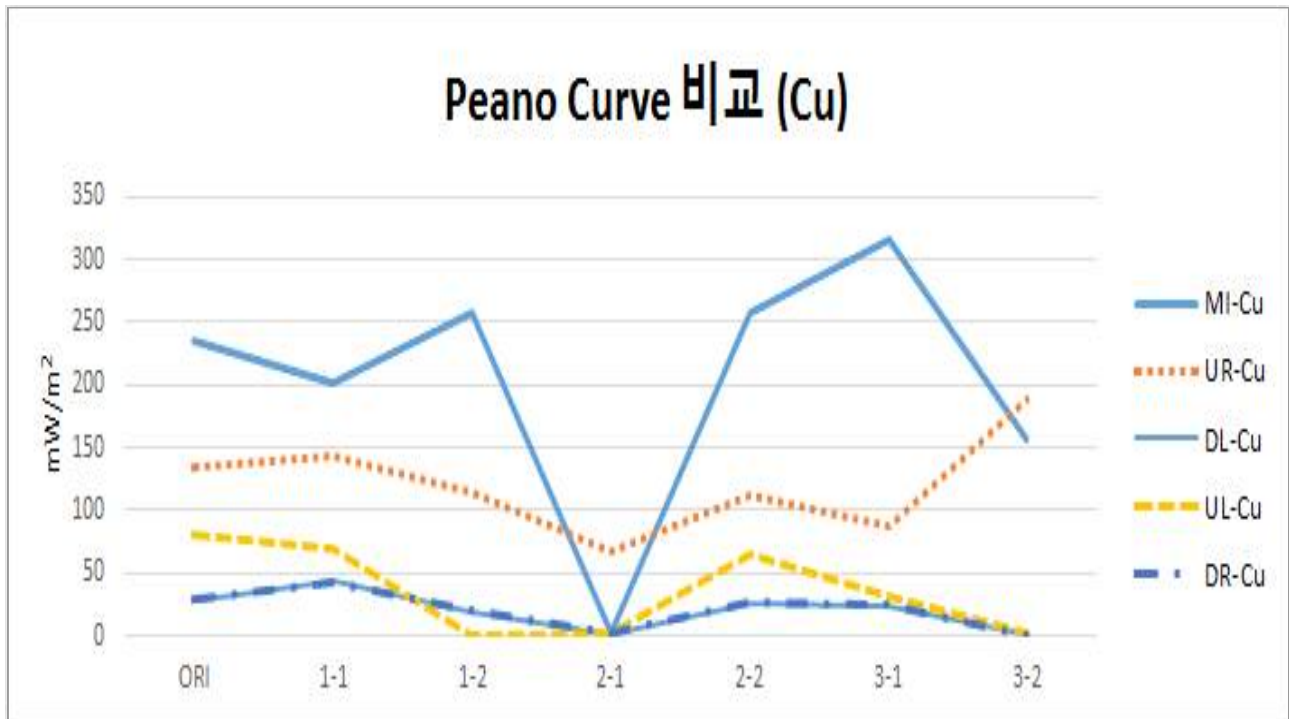
(2) 힐베르트 프랙털



<그래프 5> 힐베르트 프랙털(Al)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교

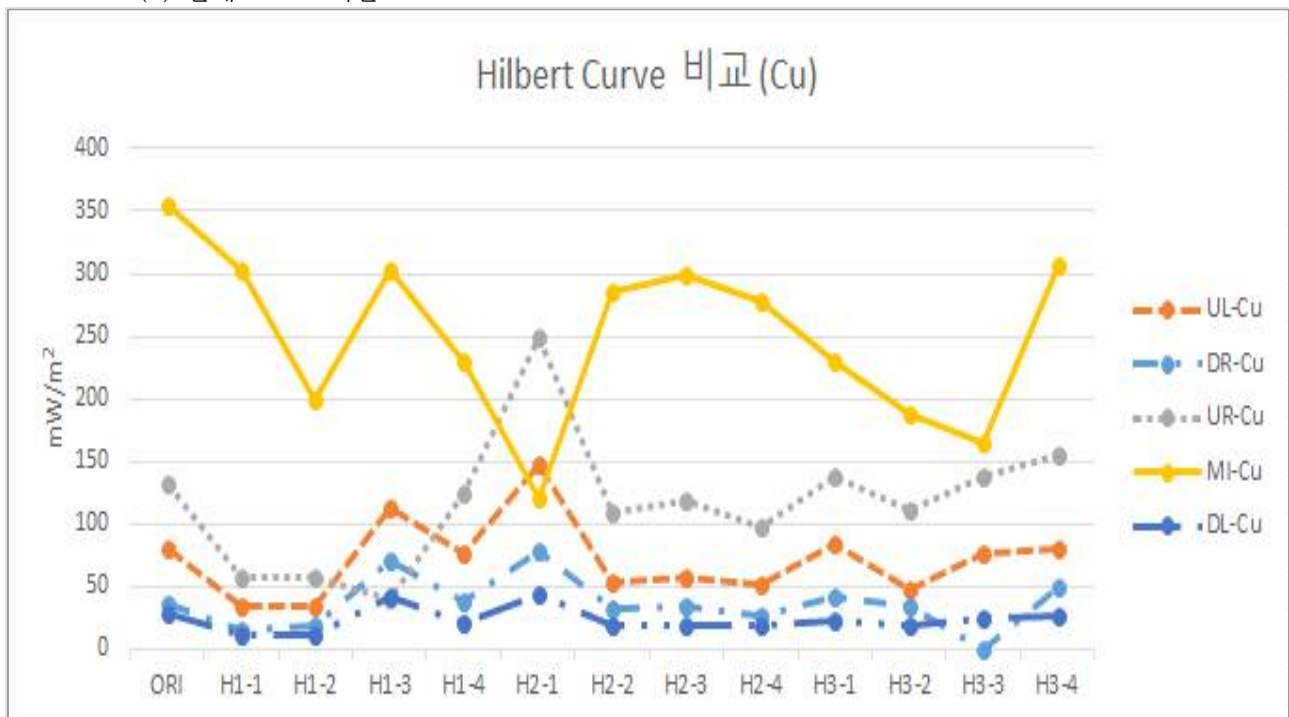
나) 구리 금속 막대를 사용하여 만든 프랙털 구조

(1) 페아노 프랙털



<그래프 6> 페아노 프랙털(Cu)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교

(2) 힐베르트 프랙털



<그래프 7> 힐베르트 프랙털(Cu)의 단계, 배치, 측정위치에 따른 전자파 세기 비교

마. 결과 분석

페아노, 힐베르트 프랙털 구조와 알루미늄과 구리 금속막대 이 4가지 조작 변인을 비교하여 결과를 분석해 봤을 때 다음과 같은 현상을 관찰할 수 있었다.

첫째, 금속 막대 재질이 달라지더라도 전자파의 재배치 위치는 변하지 않는다. 페아노 프랙털의 Al과 Cu를 비교해 보았을 때, 그리고 힐베르트 프랙털의 Al과 Cu를 비교해 보았을 때 각각 비슷한 형태를 가지는 것을 볼 수 있다.

둘째, 전자파 재배치 편차 정도는 알루미늄보다 구리가 더 크다. 예를 들어 힐베르트 프랙털 2단계 0°배치 때의 그래프를 살펴보면 알루미늄보다 구리에서 집중률과 분산율이 더 크다는 것을 알 수 있다.

셋째, 모든 프랙털의 2단계 0°배치는 중앙의 전자파를 외곽으로 분산시킨다.

넷째, 힐베르트 프랙털 2단계 0°배치는 다른 2단계 0°배치보다 중앙의 전자파를 외곽으로 분산시키는 비율이 더 크다. 힐베르트 프랙털 2단계 0°배치의 그래프를 보면 시각적으로 극단적인 변화가 일어난 것을 확인할 수 있다.

다섯째, 페아노 프랙털에서 금속 종류와 관계없이 1단계 0°배치에서는 모든 방향으로부터 통과되어 나오는 전자파의 세기가 감소하고, 3단계 0°배치에서는 외곽의 전자파를 중앙으로 모아주고, 3단계 90°배치에서는 중앙의 전자파를 오른쪽 위로 보낸다.

여섯째, 힐베르트 프랙털에서 금속 종류와 관계없이 1단계 90°, 270°배치에서는 중앙의 전자파가 외곽으로 분산된다.

일곱째, 금속 막대의 종류에 따라 서로 반대 양상을 나타내는 프랙털 구조가 있다. 바로 페아노 2단계 0°배치, 페아노 3단계 90°배치, 힐베르트 1단계 180°배치, 힐베르트 3단계 0°배치, 힐베르트 3단계 270°배치가 그러한 구조이다.

III. 결 론

1. 실험 1

페아노 프랙털 구조는 단계별 배치 각도에 따라 1,2단계와 3단계가 다른 양상을 나타냈고 힐베르트 프랙털 구조는 단계가 높아질수록 차단율이 높아짐을 알 수 있다. 그리고 고스퍼 프랙털 구조는 1,3단계와 2단계가 다른 양상을 나타낸다.

이 중 페아노 2단계의 전자파 차단율이 가장 훌륭하다는 것을 알 수 있다.

2. 실험 2

내부에서 발생하는 전자파가 프랙털 구조를 통과하여 외부로 방출될 때 새로운 전자파가 생겨나진 않는다. 따라서 프랙털 구조가 전자파를 한쪽으로 집중시킨다는 사실을 알 수 있다. 이를 근거로 다음과 같은 네 가지 결론을 내렸다.

첫째, 일반적으로 프랙털 구조가 동일하다면 차단 재료로 쓰인 금속막대의 종류가 다르더라도 전자파가 재배치되는 위치는 변하지 않는다.

둘째, 전자파 재배치 편차 정도에 있어 구리가 알루미늄보다 크다.

셋째, 페아노와 힐베르트 프랙털 2단계 0°배치는 중앙의 전자파를 극단적으로 외곽에 분산시킨다.

넷째, 프랙털 구조는 각각의 고유한 전자파 재배치성을 가진다.

IV. 참 고 문 헌

- (1) "전자파 차폐 및 흡수 성능을 갖는 타일 형상 연구" / 박규호 / 관동대학교 / (2010)
이문보
- (2) 박규호. (2010). "전자파 차폐 및 흡수 성능을 갖는 타일 형상 연구", 석사학위
논문, 관동대학교, 강원도, 대한민국, 46 pages
- (3) 이문보,노정선 (1993) "건축물에서의 전자파 차폐를 위한 연구 - 금속망의 전자파 차폐 특성에 관하여",
大韓建築學會論文集, 9(8), pp. 193-198.
- (4) 인터넷 참고 1: http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2016/07/27/2016072701771.html <그림 1>
- (5) 인터넷 참고 2: <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2016/12/08/0200000000AKR20161208006400030.HTML> <그림 2>
- (6) 인터넷 참고 3: <http://emf.kca.kr/html/elecBusiness/business.do?menuCd=FM0801> <그림 3>
- (7) 인터넷 참고 4: http://blog.daum.net/jhys_home/7535487 <그림 4>
- (8) 인터넷 참고 5: <http://eoasis.tistory.com/46> <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>
- (9) 인터넷 참고 6: <http://watericious.tistory.com/201> <그림 8>, <그림 9>
- (10) 인터넷 참고 7: <http://m.hkn24.com/news/articleView.html?idxno=133319>
- (11) 인터넷 참고 8: <http://enews.imbc.com/News/RetrieveNewsInfo/63473>
- (12) 논문 참고 1: www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/article/articleSearchResultDetail.do?cn=NART56120248
- (13) 논문 참고 2: www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/article/articleSearchResultDetail.do?cn=DIK00012023038

[후 기]

처음으로 써보는 소논문이었지만 혼자서가 아닌 친구들과 함께 고민하고 토론하면서 작성했기에 훨씬 수월하게 끝마칠 수 있었다고 느낀다. 비록 팀원 각자가 생각하는 논문의 그림은 서로서로 달라 자주 의견 충돌이 있었고 실험 결과가 예상과 다르게 나와 당황하여 다시 수차례 실험하는 등 여러모로 수많은 고생을 하였지만 의지를 가지고 노력하여 마침내 그 끝에 다다랐고 이에 나는 그간 쏟아 부은 노력과 열정에 엄청난 보람을 느꼈고 스스로가 자랑스럽다고 생각한다. 손재주가 조금 있어 실험 장비 세트들을 80%가량 내가 혼자 만든 것에 대해, 그리고 논문 작성에 있어서 몇 번이나 밤을 새서 고생했던 것을 생각하면 팀원들에게는 약간의 서운함이 들지만 너희들이 없었다면 난 시작도 안했을지 모른다. 그리고 지도교사이신 민영기 선생님도 그동안 감사했습니다. 다른 팀들은 이미 논문을 제출하고 난 뒤에도 우리는 논문을 쓰느라 마감 기한이 1달 정도 지났어도 기다려 주신 것에 대해 따뜻한 배려심을 느낄 수 있었습니다. 2학년 2학기, 약 5개월 동안 열심히 노력해준 친구들아! 그간 어려운 일이 있을 때도 끝까지 포기하지 않고 와준 것에 고맙고 몇 십 년 후엔 한 조각의 추억이 되었으면 좋겠다. 2017년 새해에는 이보다 마음고생 심할 일은 없을 거라고 생각한다.^^~ 모두들 FIGHTING!! 수고 했어~

20335 최석현 팀장

정말 순수하게 처음부터 끝까지 세 명이서 모여 함께 머리를 맞대고 실험하고 의논하고 보고서를 작성하고 여태껏 한 번도 경험해보지 못한 색다른 총격의 연속이었습니다. 2학년 2학기, 서로 의견충돌로 싸우기도 했고, 설날, 크리스마스에도 학교에 나왔었고, 밤늦게까지 학교에 남아 같이 짜장면 시켜 먹으면서 쓰는 등 여러모로 고되고 힘든 일로 가득한 짧다면 짧고 기다면 긴 5개월이었습니다만, 함께 노력해준 친구들과 지도교사 선생님 덕분에 좌절하지 않고 여기까지 올 수 있었던 것 같습니다. 논문으로써의 완성도를 떠나 다 같이 모여 고생했고, 이렇게 끝까지 완성할 수 있어서 정말 기쁠 따름입니다. “우리 팀원들 모두 정말 고생했고, 너무너무 수고 많았어! 고마워!”

20309 박경윤 팀원

실제로 보이지는 않지만, 평소에 자주 접하고 우리의 삶과 밀접한 관계를 갖고 있는 '전자기파'에 대해 실험해보게 되어 새로웠다. 실험 과정과 논문 적기 모두 힘들었지만, 의미 있다고 생각되는 결과를 얻게 되어 기쁘다. 측정 장비와 장소의 한계 때문에 결과에 오차가 좀 있을 수 있지만, 모두가 함께 열심히 했다는 게 중요한 것 아닐까?

20108 김재원 팀원