

글쓴이 : 동양미래대학교 무선정보통신전공 정재엽

지도교수 : 동양미래대학교 유태훈

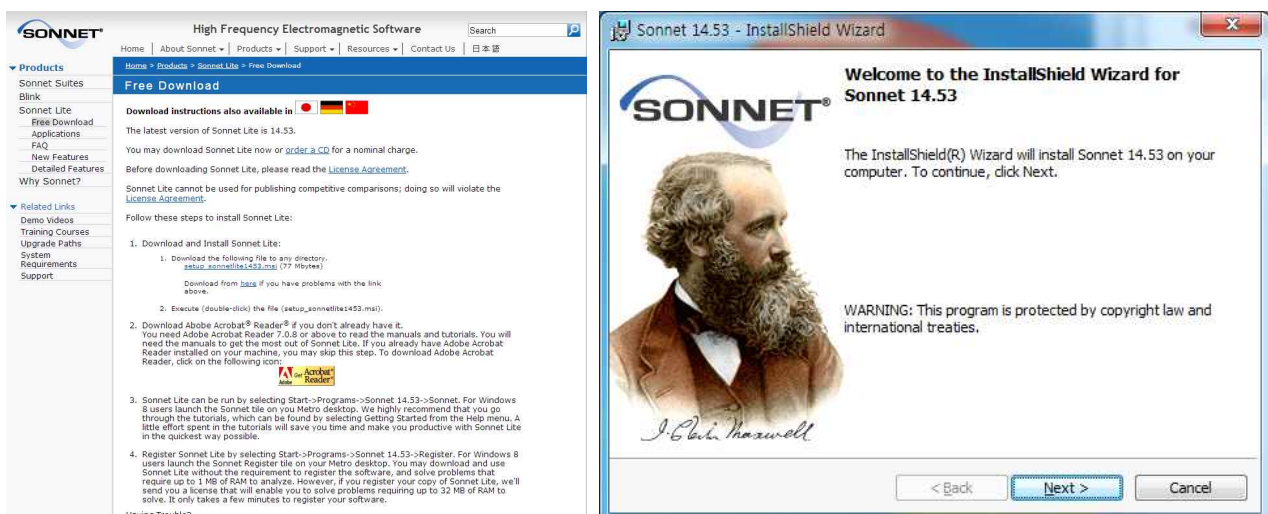
Introduction

Sonnet Lite™는 3D Planar High-Frequency Electromagnetic Software로, Sonnet Suites™의 여러 패키지 중 평가판으로 제공되고 있는 Freeware이다. MoM 기법을 이용하는 Sonnet는 주로 평면형 구조 해석에 적합하여 주로 패치 안테나, 평면형 필터, 평면형 커플러 등의 구조에서 이용되고 있다. Sonnet Lite™는 Sonnet 홈페이지(<http://www.sonnetsoftware.com>)를 통해 간단하게 설치할 수 있으며, License 등록을 하면 최대 32 MB까지 해석이 가능하다.

1. Sonnet

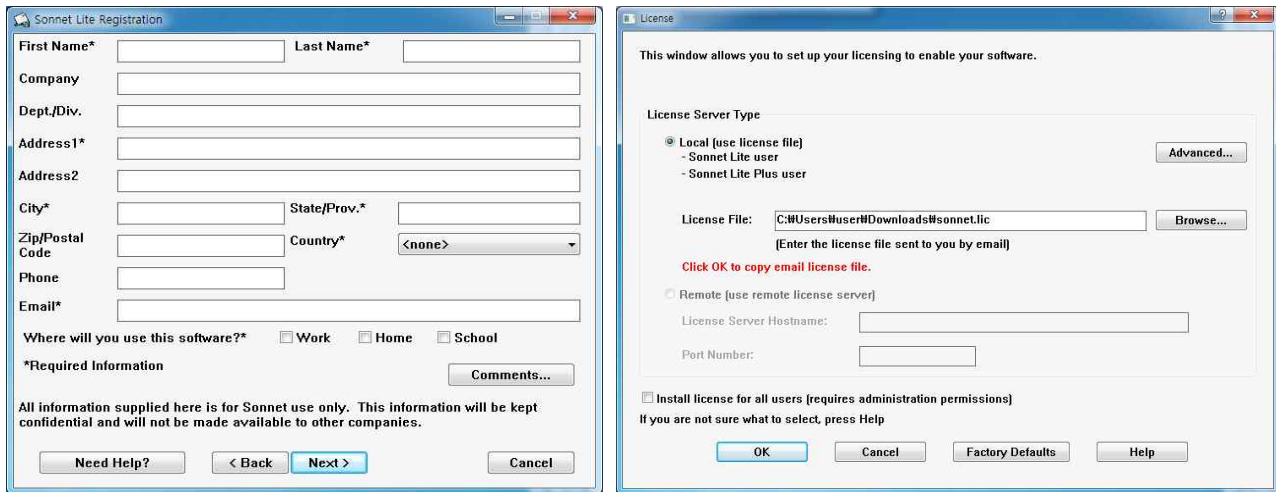
■ 설치 방법 및 License 등록

홈페이지(<http://www.sonnetsoftware.com>)를 통해 Sonnet Lite™를 설치할 수 있다. 프로그램을 설치할 때 Next 버튼만 계속해서 누르기만 하면 되므로 설치 과정은 매우 간단하다.



[그림 1] Sonnet setup

Sonnet 실행 후 [Admin] ► [Register Sonnet Lite]를 통해 License를 신청할 수 있다. [그림 2]와 같이 간단한 정보를 입력하면 입력한 이메일로 License를 받을 수 있으며, 받은 License 파일은 [Admin] ► [License]에서 해당 License를 지정해야 32 MB까지의 메모리를 사용할 수 있다.



[그림 2] License Register

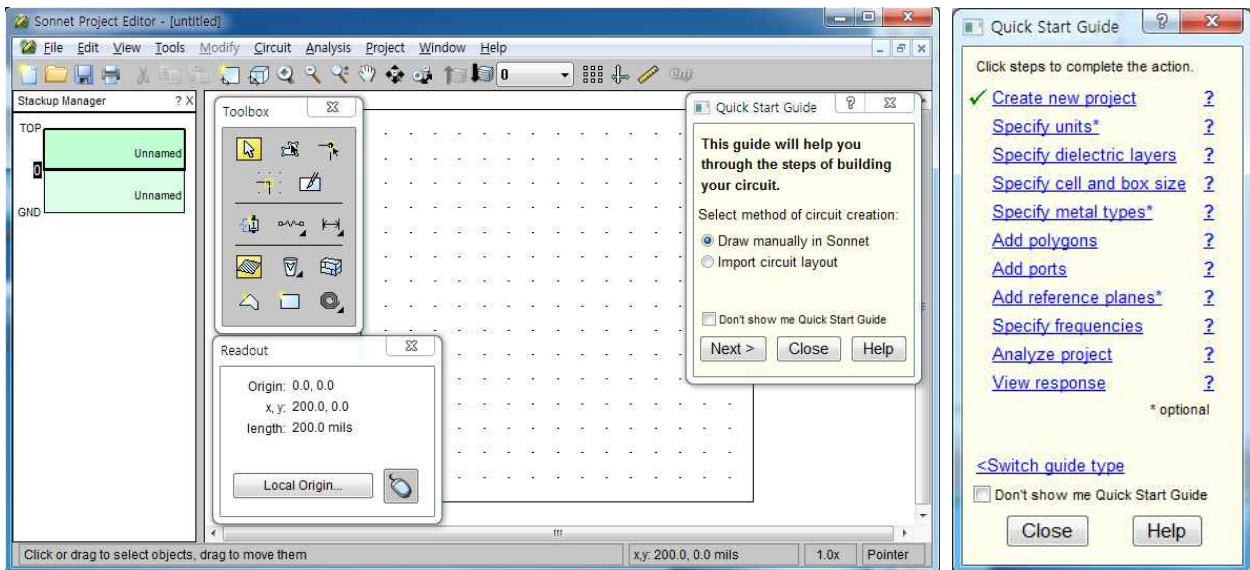
■ 실행 및 프로젝트 생성

Sonnet Lite를 실행하면 [그림 3]과 같이 Task Bar가 나타난다. Task Bar에는 프로젝트 편집, 시뮬레이션, 전류 분포 등 설계에 필요한 기본적인 툴이 모여 있으며, Sonnet 사용자가 쉽게 접근할 수 있도록 매뉴얼 기능도 포함되어 있다.



[그림 3] Task Bar

[Edit Project] ► [New Geometry]를 통해 [그림 4]와 같이 새로운 프로젝트를 생성할 수 있다. 기본적으로 Toolbox, Readout 도구가 함께 생성되며, 초보자도 쉽게 설계할 수 있도록 Quick Start Guide도 제공된다. Sonnet의 가장 큰 강점은 Quick Start Guide이다. Quick Start Guide는 설계에 익숙하지 않은 초보자도 손쉽게 설계할 수 있도록 제공하는 Guide로 이를 통해 가장 기본적인 설계를 진행할 수 있으며, Guide 내의 [Draw manually in Sonnet]를 통해 [그림 4]의 우측과 같이 단계별로 손쉽게 설계를 진행할 수 있다.



[그림 4] New Project

2. 설계 예제

Sonnet Lite™를 이용한 2.4 GHz / 5.8 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 설계 방법을 설명한다. 패치 안테나의 유전체로는 FR4나 테플론 기판이 널리 사용되지만 여기서는 일반인들도 쉽게 만들 수 있도록 유전체 기판으로 종이를 사용하였다.

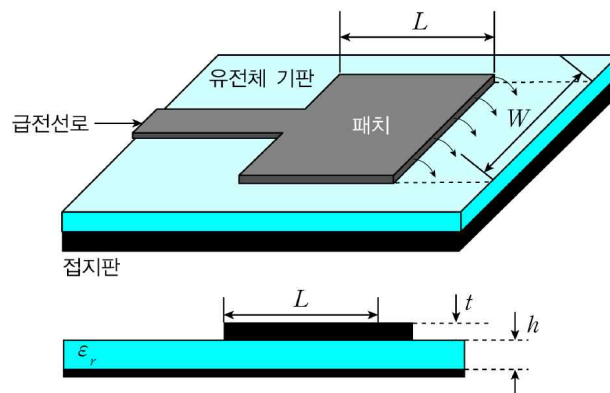
■ 기판 정보

- 동작 주파수 : 2.4 GHz / 5.8 GHz
- 유전체 기판 : 종이

[표 1] 기판 정보

유전상수(ϵ_r)	유전체 두께	도체(Copper) 두께	손실탄젠트
2.2	1.6 mm	0.035 mm	0.02

✓ 유전체 기판은 위와 같은 조건으로 설계하였으며, 유전체인 종이의 유전상수는 실제 제작, 측정을 통해 추정된 값이다.



[그림 5] 마이크로스트립 패치 안테나 구조

마이크로스트립 패치 안테나는 [그림 5]와 같은 구조이며, 2.4 GHz / 5.8 GHz에서 동작하는 안테나를 설계하기 위해서는 아래와 같은 설계 규칙을 따라야 한다. (✓ 반파장 패치 안테나로 설계)

❶ 패치의 폭 $W = \frac{C}{2f_r} \sqrt{\left(\frac{2}{\epsilon_r + 1}\right)}$

❷ 유효 유전상수 $\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}}$

❸ 패치의 길이 $L = \frac{C}{2f_r} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 0.824 \times h \times \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$

($L = 0.48\lambda$ 로 설계 주파수가 높아질수록 더 작은 값으로 설계)

❹ 안테나의 입력 임피던스 $Z_{ant} = 90 \frac{e^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W}\right)^2$

❺ $\frac{\lambda}{4}$ 정합용 임피던스 변환기의 특성 임피던스 $Z_m = \sqrt{Z_0 Z_{ant}}$ (Z_0 는 50 Ω으로 선택)

❻ 급전선로의 폭 W_0 , 정합용 선로의 폭 W_m

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}\right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}}$$

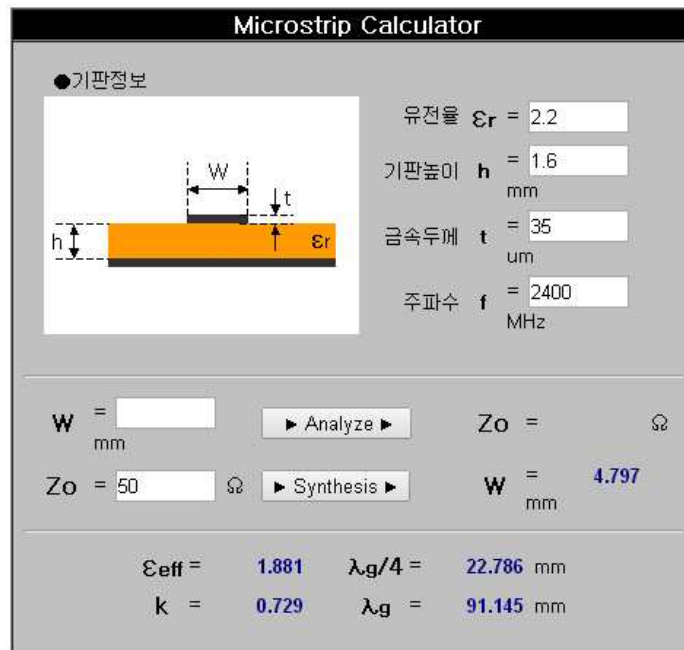
$$\frac{W}{h} \leq 2 \text{ 일 때 } \frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$$

$$\frac{W}{h} > 2 \text{ 일 때 } \frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r}) \right]$$

❼ 정합용 선로의 유효 유전상수 $\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W_m}\right)^{-\frac{1}{2}}$

❽ 정합용 선로의 길이 $L_m = \frac{\lambda_d}{4} = \frac{1}{4f_r} \frac{C}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$

❶~❺의 계산 후 RF Design House(www.RFDH.com)에서 제공하는 설계용 프로그램을 이용하여 ❻~❽을 설계하도록 한다. RF Design House의 [STUDY] ▶ [RF database] ▶ [마이크로스트립]에서 [그림 6]과 같이 설계 조건을 입력하여 원하는 설계값을 계산한다. [표 2], [표 3]에 기재한 W_m 은 RF Design House를 통해 계산하였을 때 더 작은 값이 되지만, 설계 후 반사손실을 확인한 결과 임피던스 정합이 정확히 되지 않아 충분한 반사손실을 얻을 수 없었다. 그러므로 정합용 선로의 폭을 조정해가며 원하는 반사손실을 얻을 수 있도록 튜닝하였다. 또한 패치의 길이 L은 주파수가 높아질수록 반파장보다 더 작은 값으로 설계하며 튜닝해야 한다.



[그림 6] 전송선로 및 안테나 설계용 프로그램 (출처: <http://www.RFDH.com>)

[표 2] 2.4 GHz 최종 안테나 치수(튜닝이 완료된 치수)

패치의 폭 W [mm]	패치의 길이 L [mm]	안테나의 입력 임피던스 Z_{ant} [Ω]	정합용 선로의 특성 임피던스 Z_m [Ω]
49.4	40.5	243.3	110.3
정합용 선로의 길이 L_m [mm]	정합용 선로의 폭 W_m [mm]	급전선로의 폭 W_0 [mm]	
23.7	2	4.8	

[표 3] 5.8 GHz 최종 안테나 치수(튜닝이 완료된 치수)

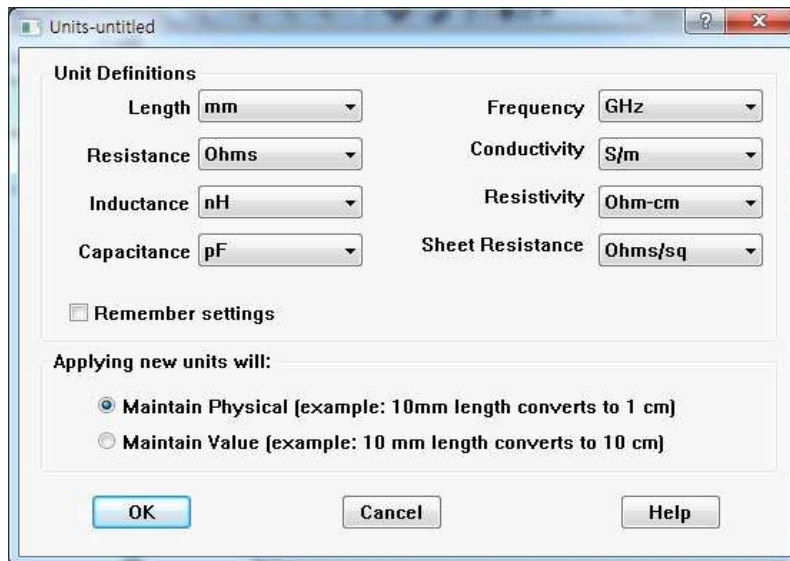
패치의 폭 W [mm]	패치의 길이 L [mm]	안테나의 입력 임피던스 Z_{ant} [Ω]	정합용 선로의 특성 임피던스 Z_m [Ω]
20.4	16	243.3	110.3
정합용 선로의 길이 L_m [mm]	정합용 선로의 폭 W_m [mm]	급전선로의 폭 W_0 [mm]	
9.7	1.5	4.7	

설계한 안테나의 치수는 [표 2], [표 3]과 같다. 이를 토대로 Sonnet를 이용하여 설계하고자 한다.

- ① Sonnet 프로그램을 실행하고 Task Bar의 [Edit Project]►[New Geometry]를 선택하면 [그림 2]와 같은 Project Editor 창이 나타난다.

② specify unit

Project Editor의 상단 메뉴에 [Circuit]►[Units]를 선택하여 설계에 이용할 단위를 설정한다. 기본적으로 Length = mm, Frequency = GHz로 설정한다. 설계 도중 단위를 재설정해야 할 경우 [Applying new units will] 블록을 통해 현재 Value를 유지하며 단위를 재설정하거나 Value 값을 모두 재설정할 수 있다. 또한 [Remember setting] 설정을 통해 새로운 프로젝트를 생성할 때에도 현재 설정값을 적용할 수 있다.



[그림 7] specify unit

③ Specify dielectric layers

[Circuit] ► [Dielectric]을 선택하면 [그림 8]과 같은 창이 나타난다. 마이크로스트립 패치 안테나의 경우 GND-유전체-Copper 순으로 Layer가 구성되어 있으므로 GND 위의 물질에 기판 정보에 맞는 유전체 값을 설정해주어야 한다. GND 위의 공간을 클릭하고 [Edit]를 선택하여 두께는 1.6 mm, 유전율은 2.2, 손실탄젠트는 0.02, 물질의 이름은 Paper로 설정한다. 다음으로 공기층의 두께를 [그림 8]과 같이 유전체보다 충분히 큰 값으로 설정한다.

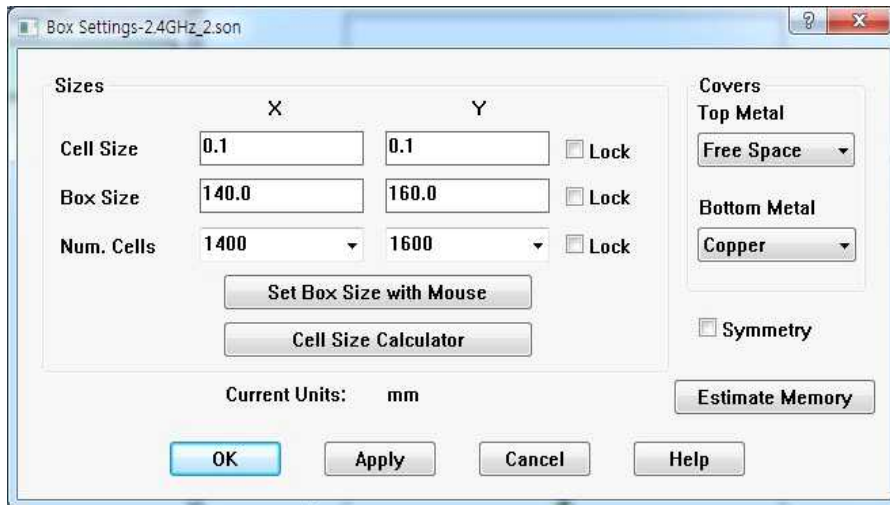


[그림 8] Specify dielectric layers

④ Specify cell and box size

[Circuit] ► [Box]를 선택하여 유전체 기판의 크기 및 cell 크기를 설정한다. 2.4 GHz의 안테나를 설계할 때는 유전체 기판을 [그림 9]와 같이 X=140 mm, Y=160 mm로 설정한다(5.8 GHz 설계 시에는 각각 50, 60으로 설계), Cell Size는 패치를 그릴 때의 최소 단위이며 안테나를 해석할 때의 Cell을 의미한다. Cell Size는 작을수록 좋으나 매우 작게 할 경우 해석 가능한 32 MB 용량을 초과하므로 0.1 mm로 설정하도록 한다. 또한 [Covers] 블록에서 [Top Metal]을 Free Space로 설정하고, [Bottom Metal]은 ⑤ 과정을 수행 후 Copper로 설정한다(마이크로스트립 안테나가 아닌 스트립 기판을 설계하고자

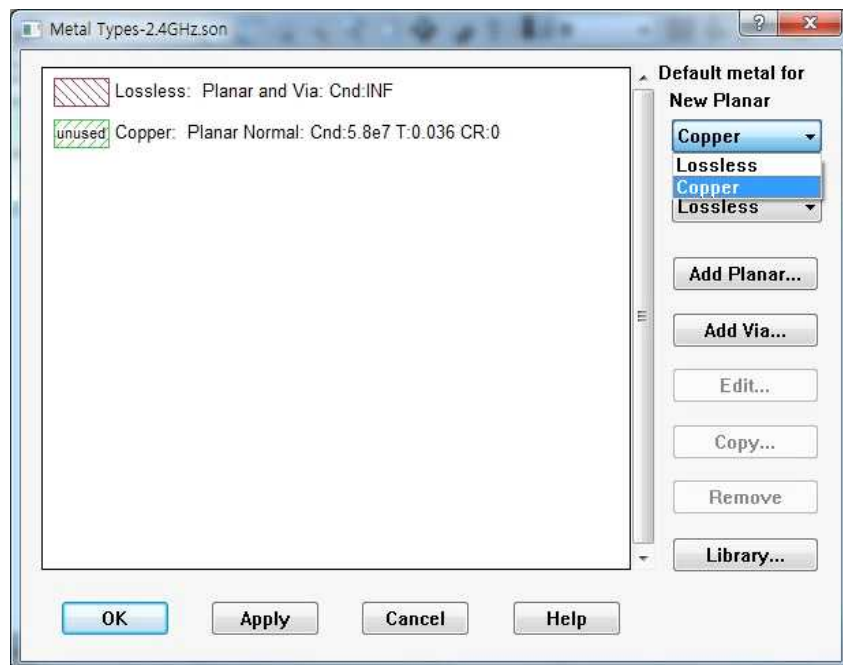
한다면 [Top Metal]도 Copper로 설정하고, Air Box도 해당 유전체로 설정해야 한다).



[그림 9] Specify cell and box size

⑤ Specify Metal Types

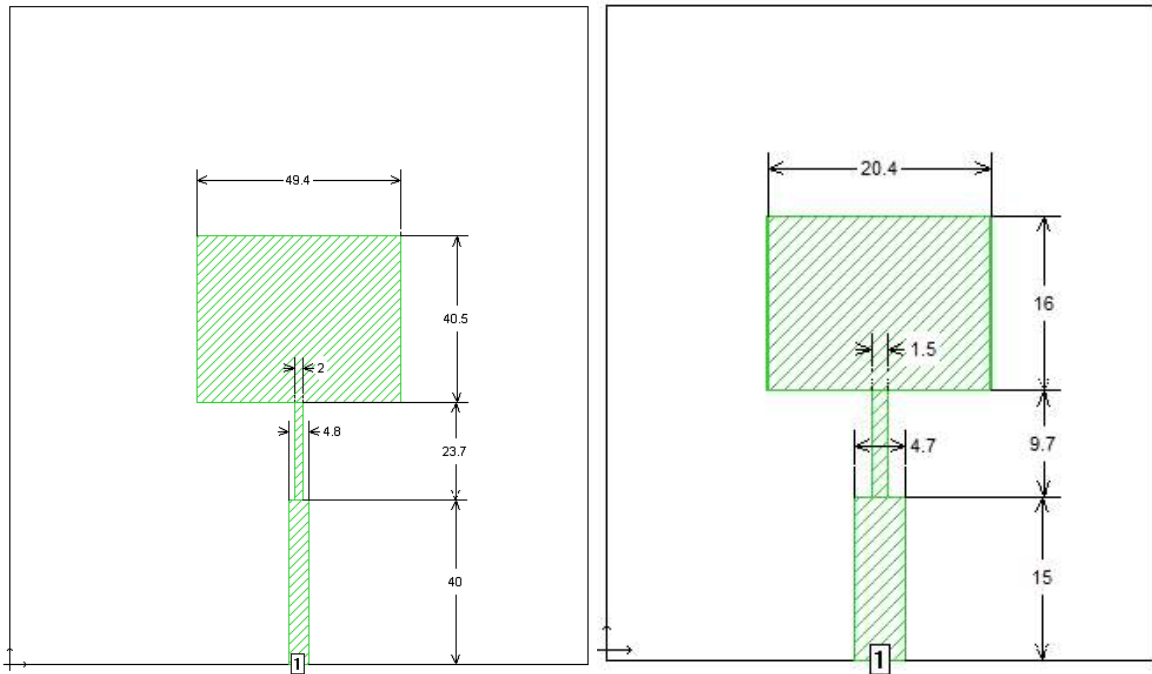
[Circuit] ► [Metal Types]를 선택하여 금속의 재질을 설정한다. [Add Planar] ► [Select from library]에서 Copper 도체를 선택하고, 도체의 두께를 [표 1]과 같이 0.035 mm로 설정한다. 또한 [Default metal for New Planar]를 Copper로 설정하여 앞으로 그릴 패치의 재질을 Copper로 지정한다.



[그림 10] Specify Metal Types

⑥ Add Polygons

[Tools] ► [Add Metalization]에서 [Draw Polygon] or [Draw Rectangle]을 선택하여 직접 패치를 그리거나 [Rectangle]을 통해 Width, Length를 입력해서 패치를 그린다. [그림 11]과 같이 그리며, 안테나는 되도록 기판 중앙에 위치하도록 한다.



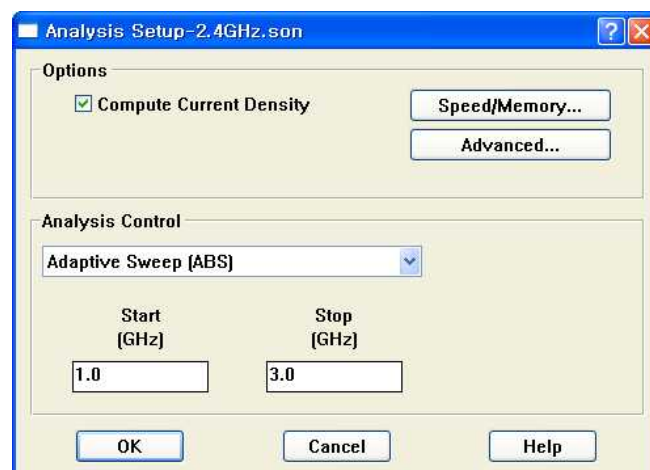
[그림 11] 마이크로스트립 패치 안테나 최종 치수(왼쪽부터 2.4 GHz, 5.8 GHz)

⑦ Add Port, Add reference planes

[Tools] ▶ [Add Port]를 선택하여 급전 선로의 가장자리에 급전 포트를 달아준다. 다음으로 De-Embedding 작업이 필요한 경우 앞서 달아준 포트를 선택하고, [Modify] ▶ [Port Properties]를 선택하여 De-Embedding 작업을 해준다.

⑧ Specify frequencies

[Analysis] ▶ [Setup]을 통해 해석 범위 설정 및 전류 밀도를 계산한다. [Analysis Control] 블록에서 Adaptive Sweep로 선택한다. 2.4 GHz 설계 시 주파수 해석 범위를 1 GHz~3 GHz로 설정하고, 5.8 GHz의 경우 5 GHz~6 GHz로 설정하여 충분한 범위를 Analysis한다. 전류 분포를 보기 위해서는 [Options] 블록에서 Compute Current Density를 체크해야 한다.

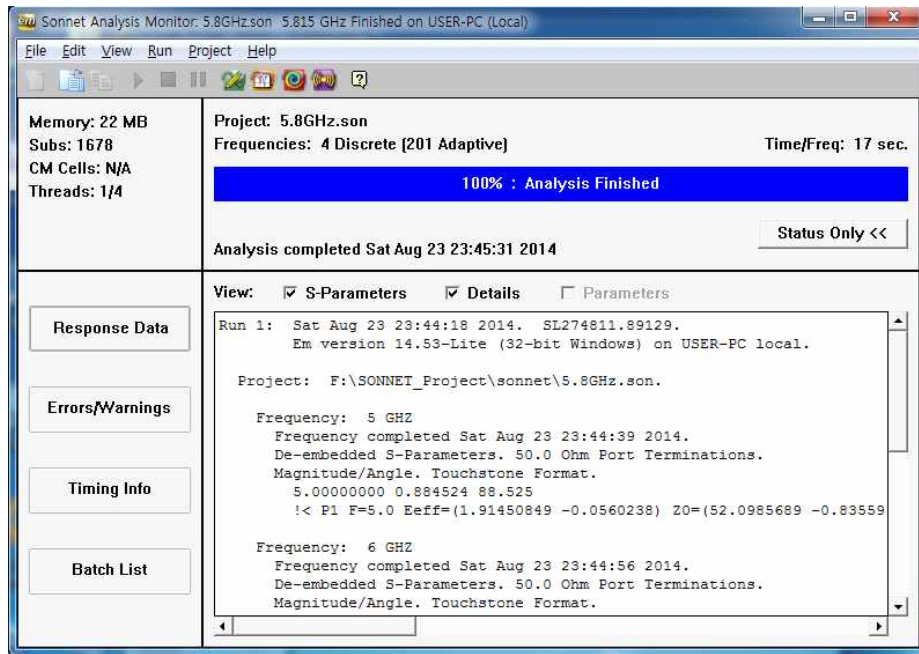


[그림 12] Specify frequencies

⑨ Analyze Project

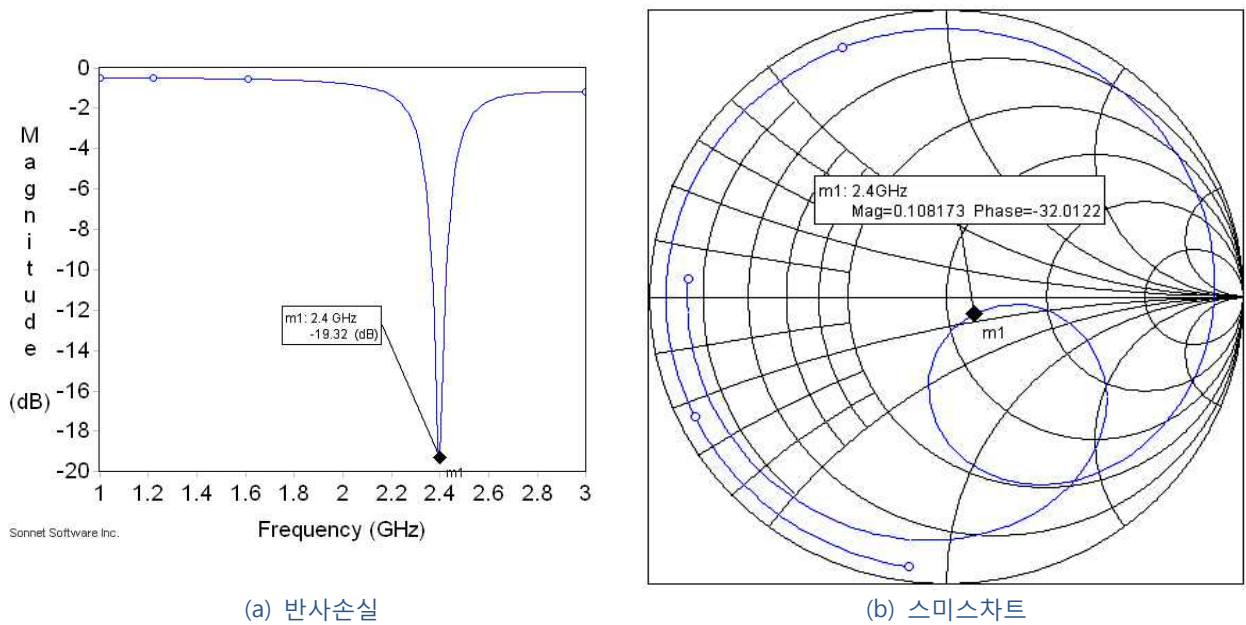
마지막으로 [Analysis] ▶ [Estimated memory]를 선택하여 메모리 용량을 확인하여 32 MB 이상의 메모리가 나타날 경우 Box의 cell size를 늘려가며 메모리를 줄여야 한다. Project 저장 후 Analyze하면

Project 메뉴의 View response에서 반사손실 및 스미스차트를 확인할 수 있다.



[그림 13] Analyze Project

■ 예제 결과

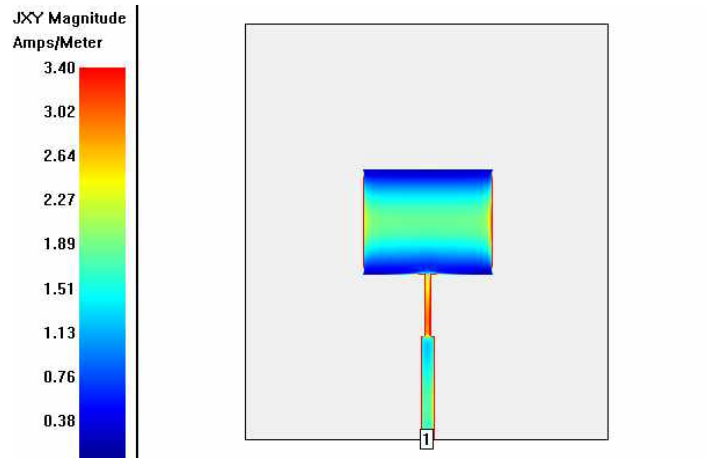


(a) 반사손실

(b) 스미스차트

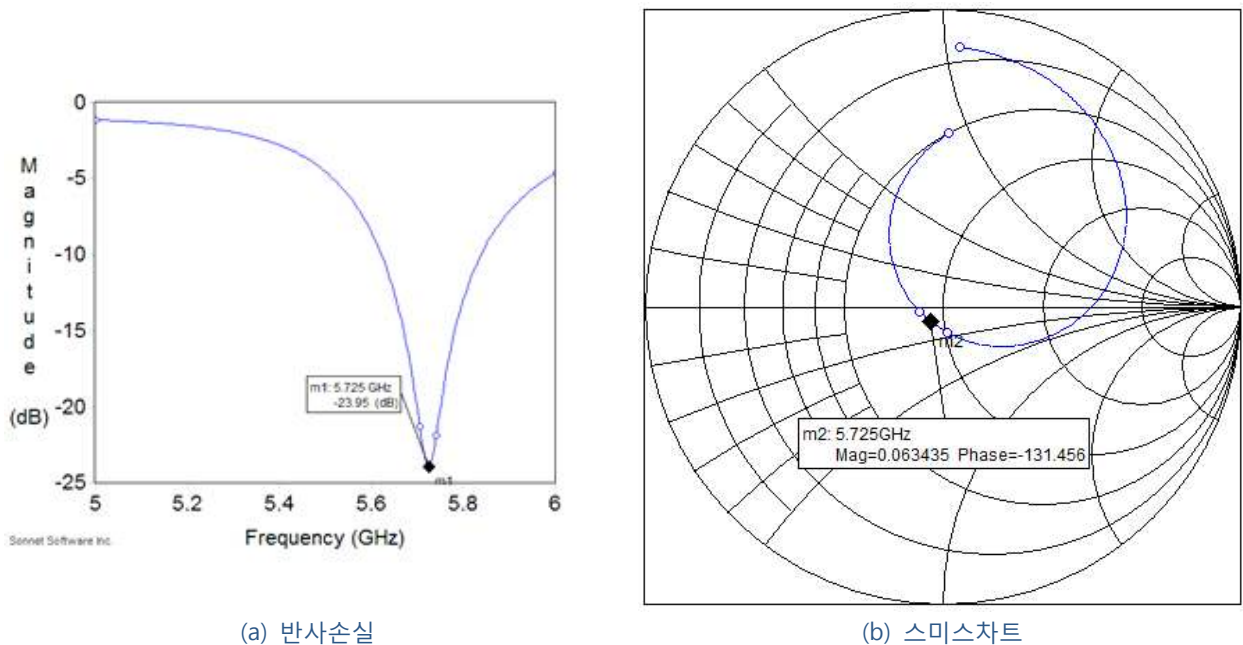
[그림 14] 2.4 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 시뮬레이션 결과

2.4 GHz로 설계한 안테나는 [그림 14]와 같이 시뮬레이션 결과가 나타났다. 반사손실은 2.4 GHz에서 약 -19.32 dB로 나타났으며 해당 주파수에서 99% 이상 전력이 안테나로 공급되어 방사되었다고 할 수 있고, 스미스차트는 공진주파수(2.4 GHz)에서 거의 중앙에 근접해 있는 것으로 50 Ω과 정합이 잘 이루어졌다고 볼 수 있다. Sonnet Lite™은 3D 방사패턴을 지원하지 않지만 [그림 15]와 같이 전류분포는 확인할 수 있다.



[그림 15] 2.4 GHz일 때의 전류분포

5.8 GHz로 설계한 안테나는 [그림 16]과 같이 시뮬레이션 결과가 나타났다. 반사손실은 5.725 GHz에서 약 -23.95 dB로 나타났으며, 해당 주파수에서 99% 이상 전력이 안테나로 공급되어 방사되었다고 할 수 있다. 스미스차트는 공진주파수(5.725 GHz)에서 거의 중앙에 근접해 있으므로 50 Ω과 정합이 잘 이루어졌다고 볼 수 있다. 2.4 GHz 안테나는 계산된 치수로 설계할 경우 원하는 공진주파수를 얻은 반면, 5.8 GHz 안테나는 약간의 오차가 발생하였다. 이 오차는 HFSS와 비교하여 설명할 때 언급하도록 하겠다.



(a) 반사손실

(b) 스미스차트

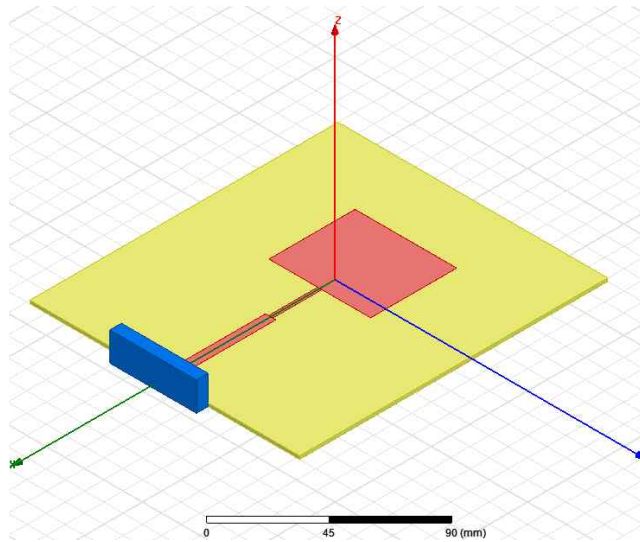
[그림 16] 5.8 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 시뮬레이션 결과

3. Sonnet와 HFSS

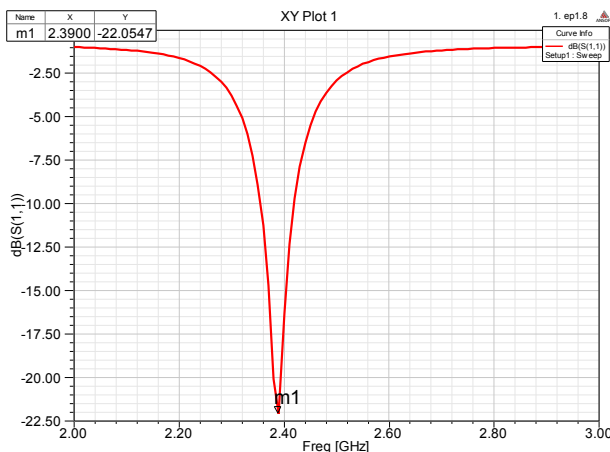
HFSS(High Frequency Structure Simulator)는 마이크로파 디바이스 설계에 있어 업계 표준이 되고 있는 주파수 영역의 3차원 EM 해석 Tool이다. 이는 안테나, 고속직접회로(IC), 프린트 기판(PCB) 등 다양한 분야에 적용이 가능하고, 높은 수준의 지식 없이도 디바이스 형상, 해석 주파수를 입력하는 것만으로도 빠른 속도와 높은 정확도의 해석이 가능한 Simulator이다. Freeware인 Sonnet Lite™에 비해 HFSS는 유료로 제공되고 있으며, MoM 기법을 사용하는 Sonnet와 달리 HFSS는 Mesh를 나누어 해석하는 기법

(Adaptive Mesh)을 사용한다. 이처럼 가격부터 설계, 해석 기법까지 다른 두 프로그램을 앞서 제작한 2.4 GHz / 5.8 GHz 마이크로스트립 패치 안테나를 이용해 비교하고자 한다.

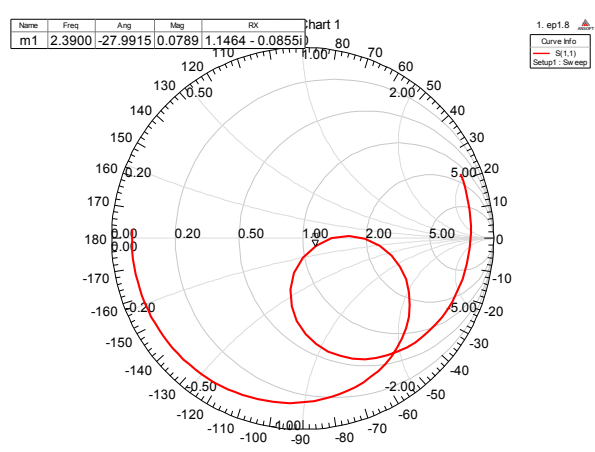
[그림 17]은 HFSS를 이용하여 설계한 2.4 GHz 마이크로스트립 패치 안테나이며 [표 2]의 치수 그대로 설계하였다. 설계 결과는 [그림 18]과 같다. 이는 Sonnet의 시뮬레이션 결과와 매우 비슷하게 나타났다. 반사손실은 2.39 GHz에서 약 -22dB로 나타났으며, 스미스차트 또한 공진주파수(2.39 GHz)에서 1에 근접하게 나타났다. 전체적으로 Freeware인 Sonnet와 유료 software인 HFSS는 평면형 기판을 설계할 때 매우 비슷한 결과가 나타났다.



[그림 17] HFSS를 이용하여 설계한 마이크로스트립 패치 안테나



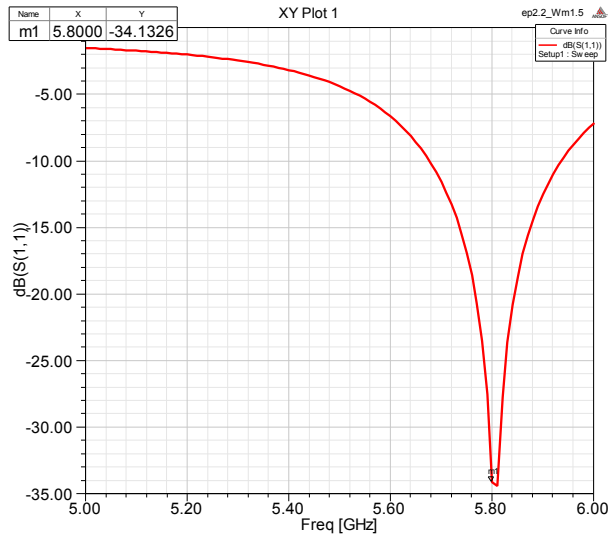
(a) 반사손실



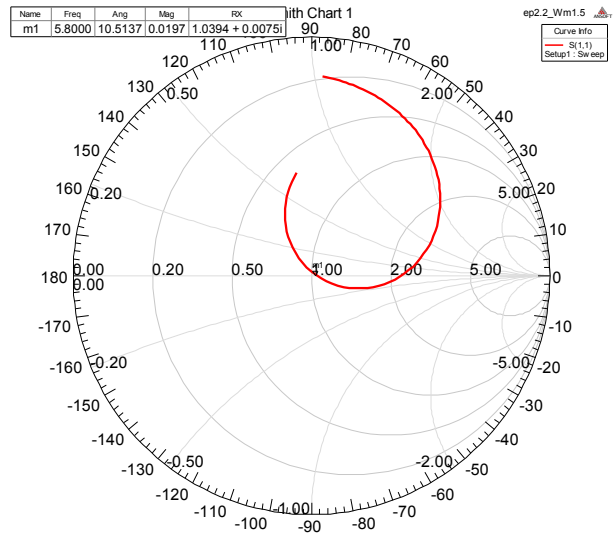
(b) 스미스차트

[그림 18] HFSS를 이용하여 설계한 2.4 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 시뮬레이션 결과

5.8 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 또한 마찬가지로 [표 3]의 치수 그대로 설계하였다. 설계 결과는 [그림 19]과 같으며 Sonnet의 시뮬레이션 결과와는 약간의 차이가 발생하였다. Sonnet의 시뮬레이션 결과는 5.7 GHz 공진이지만, HFSS의 경우 정확히 5.8 GHz이다. 설계 조건을 정확히 하였음에도 이러한 오차가 발생하는데, 이는 프로그램의 해석에 의해 발생한 오차라고 할 수 있다. 업계 표준으로 사용되는 HFSS에 비해 높은 주파수에서는 약간의 오차가 발생하는 것으로 추정된다.



(a) 반사손실



(b) 스미스차트

[그림 19] HFSS를 이용하여 설계한 5.8 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 시뮬레이션 결과

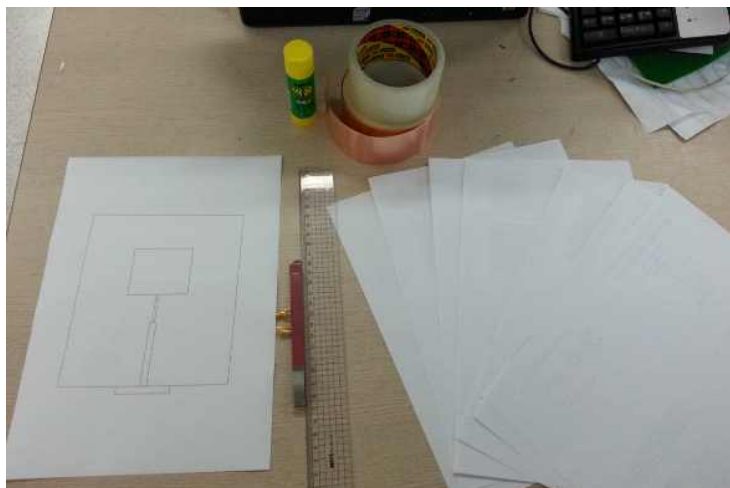
4. 실제 안테나 제작

■ 준비물

구리 테이프, 일반 테이프, 풀, A4 용지 7장, 자, 칼, SMA 커넥터, 인두, 납, 무선 랜

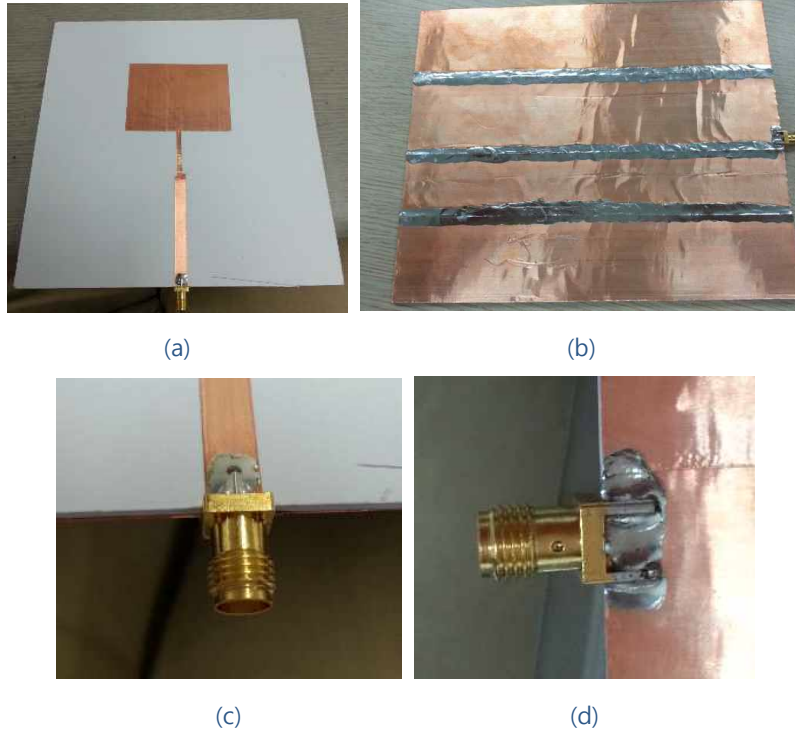
■ 준비물 구매 사이트

- 구리테이프 : <http://www.devicemart.co.kr/> - [NGA]구리테이프 30 mm X 30 m
- SMA 커넥터 : <http://www.eleparts.co.kr/> - SMA(F)ST_PCB
- 무선 랜 : <http://www.eleparts.co.kr/> - [EFM] ipTIME A2000UA (무선랜카드/USB/867Mbps)



[그림 20] 안테나 제작 준비물

A4 용지 7장을 반으로 접고 풀을 이용하여 모두 접착시켜 하나의 종이판을 만든다. 만들어진 종이판을 앞서 설계한 종이 유전체 판 크기에 맞게 자르고, 한 쪽 면 전체에 구리테이프를 붙인 후 구리테이프 간 접촉면을 [그림 21(b)]와 같이 납땜한다. 다음으로 구리테이프를 [표 2], [표 3]의 치수로 패치를 제작하여 [그림 21(a)]와 같이 구리테이프를 부착하지 않은 면에 패치를 부착한다.

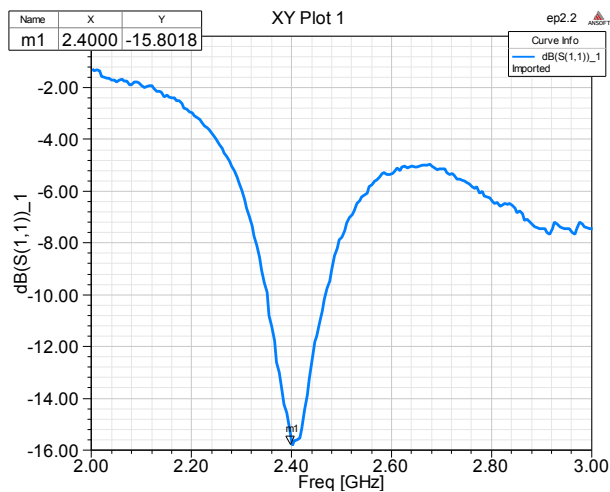


[그림 21] 제작된 안테나

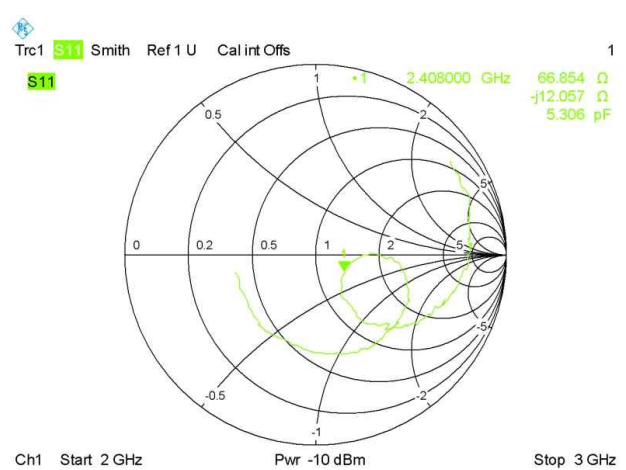
SMA 커넥터를 [그림 21(c), (d)]와 같이 급전선 가장자리에 끼우고 기판의 윗면과 아래면에 납땜을 하여 부착한다. 이때 + 단자와 GND 단자가 단락(short)되지 않도록 주의해야 한다.

■ 제작된 안테나 측정 결과

[그림 22]와 같이 종이를 유전체로 갖는 2.4 GHz 마이크로스트립 패치 안테나는 시뮬레이션 결과와 흡사한 결과가 나타났다. 반사손실을 보면 공진점(2.4 Hz)에서 약 -15.8 dB로 나타났으며, 스미스차트를 통해 정합이 잘 이루어졌다는 것도 알 수 있다. 이처럼 제작한 종이의 유전율을 정확히 알 수 없고 손실 탄젠트 또한 알 수 없는 상황에서, 측정한 결과를 살펴볼 때 제작된 안테나의 성능은 충분히 뛰어나다고 말할 수 있다.



(a) 반사손실



(b) 스미스차트

[그림 22] 제작된 2.4 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 측정 결과

이제 제작한 안테나를 무선 랜의 안테나로 사용하여 성능 테스트를 해보았다.

[그림 23]은 제작한 안테나를 이용하여 인터넷에 접속한 상태로, 성능 테스트 결과 끊김 없이 무선 랜이 동작하는 것을 확인하였다.

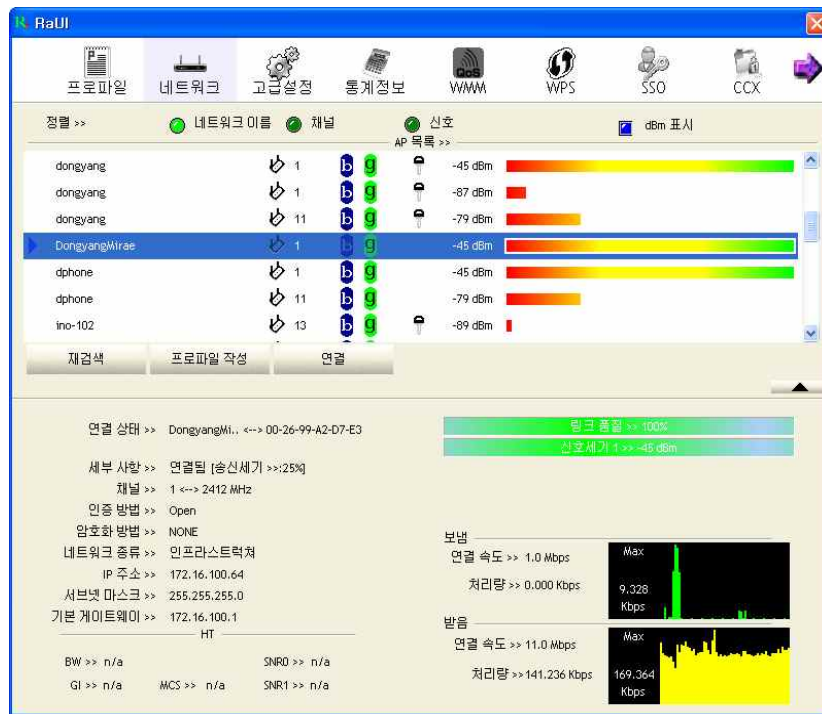


[그림 23] 제작한 안테나를 이용한 무선 랜 접속

[그림 24]은 제작한 안테나를 연결하지 않은 상태에서의 무선 랜 연결 상태이며 신호 세기가 -77 dB로 인터넷을 연결할 수 없는 상태였고, [그림 25]는 제작한 안테나를 연결하여 신호 세기가 -45 dB로 강한 신호 세기를 보였다.

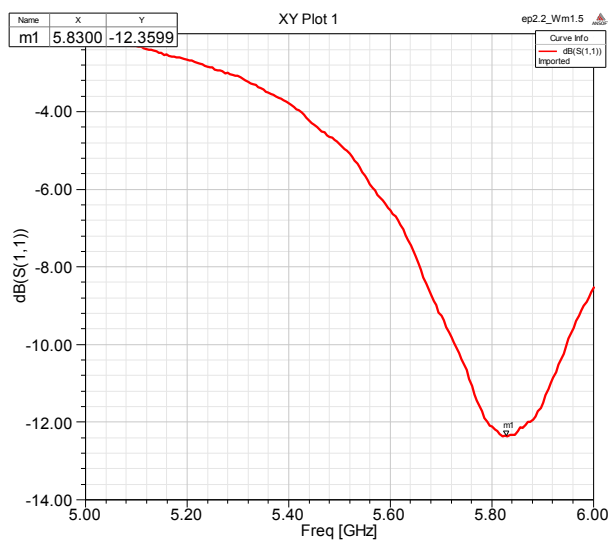


[그림 24] 안테나가 연결되지 않은 상태의 무선 랜

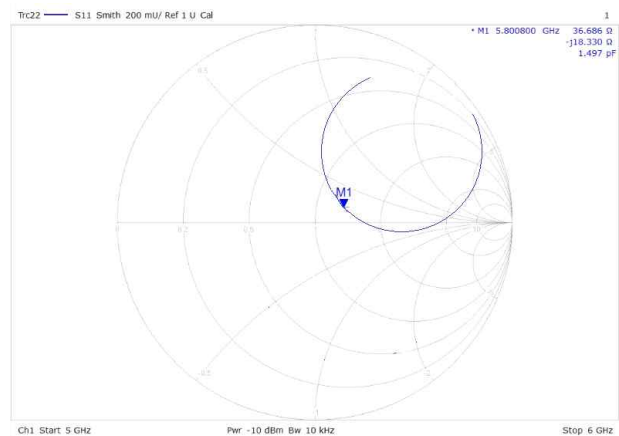


[그림 25] 2.4 GHz 마이크로스트립 패치 안테나가 연결된 상태의 무선 랜

[그림 26]와 같이 종이를 유전체로 갖는 5.8 GHz 마이크로스트립 패치 안테나는 시뮬레이션 결과와 흡사한 결과가 나타났다. 반사손실은 공진점(5.8 GHz)에서 약 -12.3 dB가 나타났으며, 스미스차트를 통해 정합이 어느 정도 이루어졌다는 것도 알 수 있다. 물론 성능이 아주 뛰어난 안테나는 아니지만 누구나 쉽게 만들 수 있는 안테나로서는 충분한 성능을 보인다고 볼 수 있다.



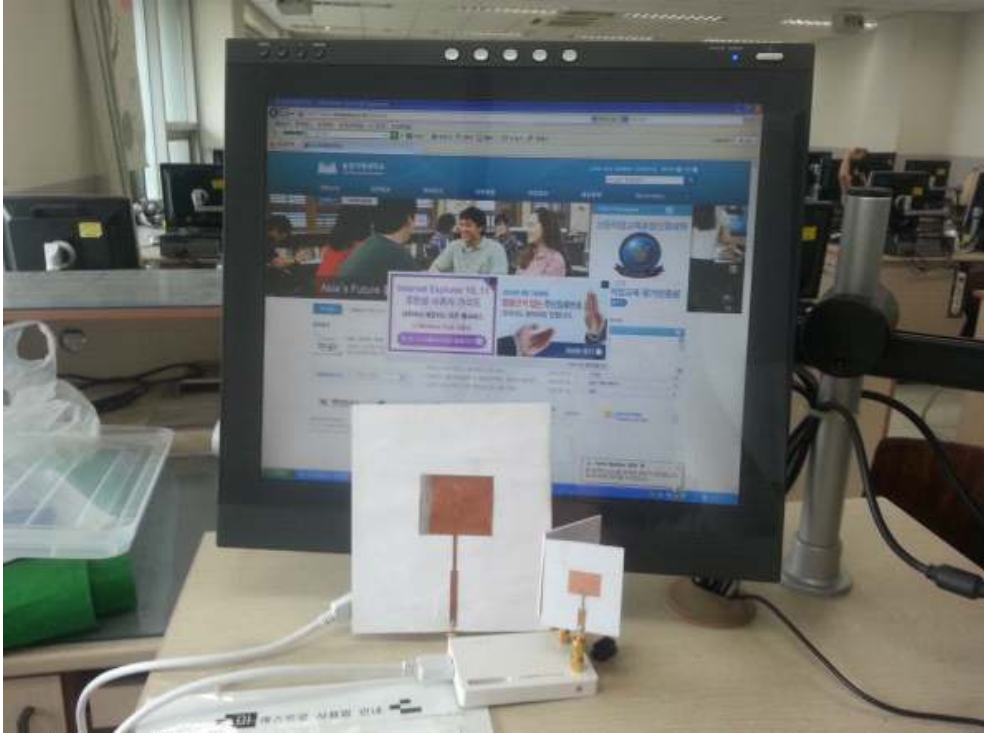
(a) 반사손실



(b) 스미스차트

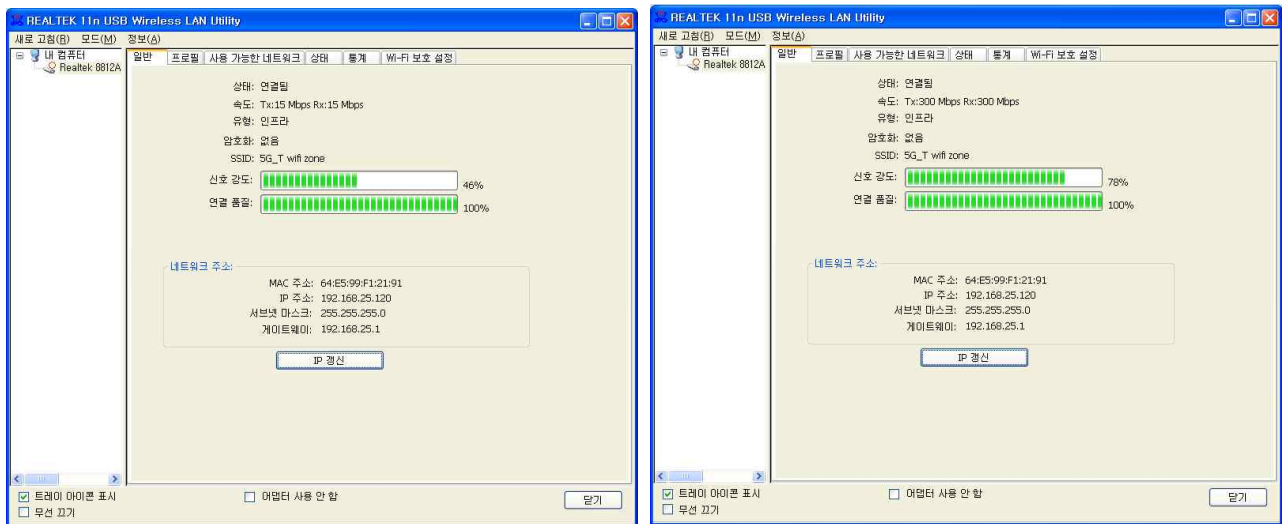
[그림 26] 제작된 2.4 GHz 마이크로스트립 패치 안테나 측정 결과

앞선 2.4 GHz 안테나와 같은 방식으로 제작된 5.8 GHz 안테나를 무선 랜의 안테나로 사용하여 성능 테스트를 해보았다. [그림 27]은 제작한 안테나를 이용하여 인터넷에 접속한 상태로, 성능테스트 결과 끊임 없이 무선 랜이 동작하는 것을 확인하였다.



[그림 27] 제작한 안테나를 이용한 무선 랜 접속

[그림 28(a)]는 패치 안테나를 1개 연결한 상태이며, [그림 28(b)]는 같은 패치를 2개 제작하여 2개 모두 연결한 상태이다. 일반적으로 무선 랜은 2.4 GHz에서 사용되고 있으며, 요즘에는 5.8 GHz가 주파수 간섭의 영향을 덜 받는다는 장점으로 인해 상용화되어가고 있다. 하지만 5.8 GHz 안테나는 통신거리가 짧다는 단점이 있다.



(a)

(b)

[그림 28] 5.8 GHz 마이크로스트립 패치 안테나가 연결된 상태의 무선 랜(왼쪽부터 1개, 2개)