



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

X-밴드 무선 통신 시스템 응용을 위한 전치 증폭기
모듈의 개발

A Development of Pre-Amplifier Module for Application to
X-Band Wireless Communication System



指導教授 尹 榮

2013 年 2 月

韓國海洋大學校 大學院

電波工學科

張 義 訓

本 論 文 을 張 義 訓 의
工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 姜 仁 鎬



委 員 尹 榮



委 員 姜 錫 燁



2013 年 2 月

韓 國 海 洋 大 學 教 大 學 院
電 波 工 學 科
張 義 訓

목 차

그림목차	
표목차	
Nomenclature	
Abstract	
제 1 장 연구 배경 및 목적	3
제 2 장 연구 이론	5
2-1 월킨슨 전력분배기의 기본 특성	5
2-2 전력분배기의 전력 분배 및 결합 특성	6
2-3 증폭기 이론 및 특성	8
제 3 장 전력 분배기/결합기의 설계	13
3-1 Type_1전력분배기/결합기 설계 및 기본 특성	13
3-2 Type_2전력분배기/결합기 설계 및 기본 특성	18
3-3 Type_3전력분배기/결합기 설계 및 기본 특성	23
제 4 장 전치 증폭기 모듈 설계	29
4-1 전치 증폭기 모듈로의 응용을 위한 전력 분배기/ 결합기	29
4-2 전치 증폭기 모듈의 설계 및 특성	32
4-3 전치 증폭기 모듈의 제작 및 특성	35
제 5 장 결 론	39
참고문헌	41

그림 목 차

그림 2.1.1. 일반적인 월킨슨 전력 분배기.....	5
그림 2.2.1. (a) 월킨슨 전력 분배기의 전력 분배 특성	7
그림 2.2.1. (b) 월킨슨 전력 분배기의 전력 결합 특성.....	7
그림 3.1.1. Type_1 전력 분배기의 레이아웃.....	14
그림 3.1.2. (a) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_1 전력 분배기의 반사손실	14
그림 3.1.2. (b) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_1 전력 분배기의 분배(S21,S31)특성	15
그림 3.1.3. 제작 된 Type_1 전력 분배기의 모습.....	16
그림 3.1.4. (a) 제작 된 Type_1 전력 분배기의 반사손실.....	17
그림 3.1.4. (b) 제작 된 Type_1 전력 분배기의 분배 특성.....	17
그림 3.2.1. Type_2 전력 분배기의 레이아웃	19
그림 3.2.2. (a) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_2 전력 분배기의 반사손실.....	19
그림 3.2.2. (b) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_2 전력 분배기의 분배(S21,S31)특성	20
그림 3.2.3. 제작 된 Type_2 전력 분배기의 모습	21
그림 3.2.4. (a) 제작 된 Type_2 전력 분배기의 반사손실.....	22
그림 3.2.4. (b) 제작 된 Type_2 전력 분배기의 분배 특성	22
그림 3.3.1. Type_3 전력 분배기의 레이아웃	24

그림 3.3.2. (a) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_3 전력 분배기의 반사손실	24
그림 3.3.2. (b) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_3 전력 분배기의 분배(S21,S31)특성	25
그림 3.3.3. 제작 된 Type_2 전력 분배기의 모습.....	26
그림 3.3.4. (a) 제작 된 Type_3 전력 분배기의 반사 손실.....	27
그림 3.3.4. (b) 제작 된 Type_3 전력 분배기의 분배 특성.....	27
그림 4.1.1. Type_3 전력 분배기의 위상차.....	29
그림 4.1.2. Type_3 분배기 격리 특성.....	30
그림 4.1.3. Type_3 분배기 격리도 향상을 위한 저항 접속 특성..	31
그림 4.2.1. 증폭기와 amplifier를 결합한 전치 증폭기 회로도..	32
그림 4.2.2. 전치 증폭기 모듈의 레이아웃.....	33
그림 4.2.3. 시뮬레이션을 통한 전치 증폭기 모듈의 출력 전력	34
그림 4.3.1. 제작 된 전치 증폭기 모듈.....	35
그림 4.3.2. 단일 증폭기 소자의 반사 손실.....	36
그림 4.3.3. 단일 증폭기 소자의 이득 특성.....	36
그림 4.3.4. X밴드 대역 내에서의 단일 증폭기 소자의 이득 특성..	37

표 목 차

표 4.2.1. X-Band up-link 대역에서의 출력 전력	34
---	----

Nomenclature

- W : Watt
 λ : Wavelength
 Ω : Ohm (resistance unit)
 Z_0 : Characteristic impedance
 mW : Milliwatt



X-밴드 무선 통신 시스템 응용을 위한 전치 증폭기 모듈의 개발

장 의 훈

Department of Radio Communication Engineering
Graduate School of
Korea Maritime University

Abstract

In wireless communication system, pre-amplifier is located in front of power amplifier for the purpose of amplifying the signal of the IF stage low-level output. In this work, X-band pre-amplifier modules were fabricated and its RF characteristics were investigated for application to X band radar system.

Firstly, 4-way power dividers were designed for application to preamplifier module. According to measured results, the return loss characteristic of the divider was -18 dB at X-band up-link frequency bandwidth. In the frequency range of 7.9 to 8.4 GHz, S21 and S31 showed a value of -7.1 ± 0.1 dB and -6.8 ± 0.3 dB, respectively. The power divider showed equal phase division characteristic in the above frequency range. And the isolation characteristic of the power divider was $-6 \sim -14$ dB in the above frequency range. The isolation characteristic

was improved by connecting resistor between output ports. The divider was used for power combining and dividing of the X-band pre-amplifier. The pre-amplifier module employing the above power divider showed an output power level of 11.5 dBm at X-band.



제 1 장 연구 배경 및 목적

최근 통신 시스템의 비약적인 발전에 따라, 이동통신 모바일이나 위성 통신을 이용하는 통신 등의 무선 통신 시스템은 필수적인 요소가 되어졌다. 이러한 흐름에 맞추어 무선 통신용 부품 시장이 급속히 성장하고 있으며, 다양한 시스템을 사용하는 현대인들의 정보의 빠른 전달력, 양질의 서비스에 관한 욕구를 충족시키기 위한 무선 통신 시스템의 고성능화는 중요한 이슈가 되고 있다. 현재 무선 통신 시스템을 구성하는 요소들은 이러한 흐름을 따라가기 위하여 그 성능을 최적화시키기 위한 여러 연구들이 진행되어져 왔다[1-2].

이러한 무선 통신 시스템의 구성 요소들 중, 전력 증폭기는 핵심 요소라 할 수 있다. 구체적으로 무선 통신 시스템 상의 송·수신단에 위치하는 전력 증폭기는, 무선 통신 시스템의 통신 환경에 따라 원신호의 감소 및 잡음에 의한 손실을 보상하기 위하여 이용되어지고 있다. 즉, 증폭기는 RF 신호를 증폭하는 역할을 통하여, 통신 시스템 전체의 성능을 좌우할 수 있는 핵심적인 요소가 된다. 이와 같은 전력 증폭기의 흐름은 과거의 진행파관증폭기(Traveling Wave Tube Amplifier: TWTA)에서 현재의 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 소자를 응용하여 고체 전자 소자의 형태로 발전을 해왔다. 또한, 고주파 영역에서의 우수한 출력 전력 특성을 위하여 다수의 전력 증폭기를 연결함으로써, 고주파 영역에서의 단일 전력 증폭기의 단점을 보완하여 응용되어지고 있다[3].

이러한 전력 증폭기의 응용분야에 맞추어, 본 논문에서는 전력 증폭기의 앞 단에 위치하는, X-밴드 대역 전치 증폭기(Pre-amplifier)모

들을 설계 및 제작함으로써, 무선 통신 시스템 상의 적용하고자 하였다. 전치 증폭기는 검파기와 주 증폭기의 앞단 사이에 위치하여 잡음의 혼합 및 신호 대 잡음비의 저하를 방지하는 목적으로, IF 단의 미소 출력 신호를 증폭하여 주 증폭기로 입력시켜 주는 역할을 한다. 본 논문에서는 위와 같은 전치 증폭기를 설계함으로써, 무선 통신 시스템 상의 응용을 목표로 연구를 진행하였다. 또한, 증폭기의 설계에 있어서 선형성과 효율이 중요시 되나, 본 논문에서는 선형성과 효율을 고려하지 않고서 증폭기 모듈 설계 자체의 연구를 진행함으로써, 무선 통신 시스템 상의 응용되어지는 증폭기 모듈을 설계하였다.

또한, 국내외의 위성통신 시스템, 레이더, 지상파 통신 및 네트워크, 기상 모니터링, 항공 교통 관제, 해상 선박 교통관제 분야 등의 다양한 분야에서 널리 사용되어지는 X 밴드에서의 [4-5] 적용을 목적으로 하였다.

구체적으로, 시스템 내부의 전력을 균등하게 배분 및 결합하여 최대의 출력을 낼 수 있도록 하는 통신 시스템 상의 최적의 전력 분배기/결합기에 관한 연구를 진행하였으며, 개발된 전력 분배기를 이용하여 무선 통신 시스템 내에서 사용 가능한 전치 증폭기 모듈을 개발하였다. 본 논문에서 제안하는 X-밴드 무선 통신 시스템 응용을 위한 전치 증폭기 모듈은 X-band up-link (7.9 GHz ~8.4 GHz) 대역에서 11.5 dBm의 출력 전력이 나타남을 예상할 수 있으며, 이를 통하여 본 논문에서 제안하는 X-밴드 전치 증폭기 모듈로써의 적용에 효과적일 것이라 기대한다.

제 2 장 연구 이론

2.1 윌킨슨 전력 분배기의 기본 특성

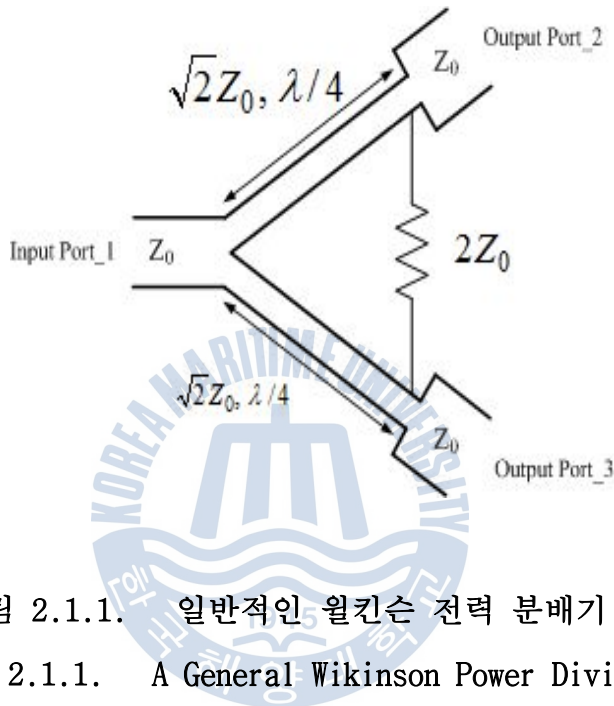


그림 2.1.1. 일반적인 윌킨슨 전력 분배기

Figure 2.1.1. A General Wilkinson Power Divider

위의 그림 2.1.1은 마이크로스트립 선로로 구현된 윌킨슨 전력분배기의 기본 구조를 나타내고 있다. 윌킨슨 전력분배기의 특징은 동위상 전력분배 특성과 전력 결합 특성을 나타낸다. Input port_1을 통하여 신호가 입력이 되면, 각각의 출력 포트 Output Port_2와 Output Port_3을 통하여 신호는 서로 동위상, 동전력 특성을 나타낸다. 반면 Output Port_2와 Output Port_3은 서로 절연되어 있다. 이를 S-parameter 관계식으로 표현하면 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Mag}(S_{21}) = \text{Mag}(S_{31}) \quad (2.1.1.(a))$$

$$\text{Phase}(S_{21}) = \text{Phase}(S_{31}) \quad (2.1.1.(b))$$

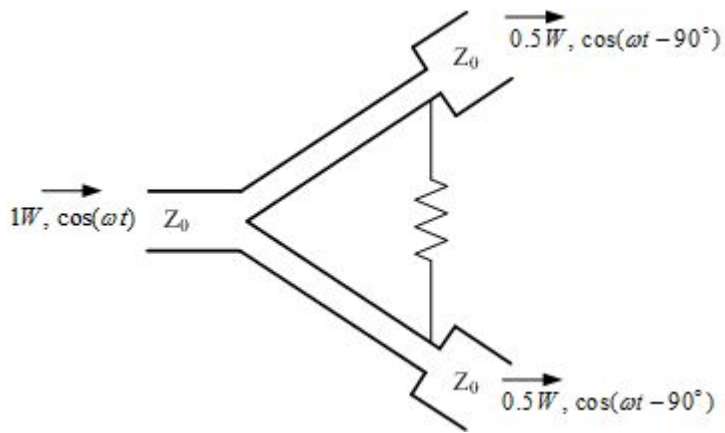
$$\text{Mag}(S_{23}) = 0 \quad (2.1.1.(c))$$

식 2.1.1의 S-parameter 관계식과 무손실 수동소자에 관한 S-parameter 기본 성질로부터 월킨슨 전력분배기의 S-parameter를 구하면 다음과 같다.

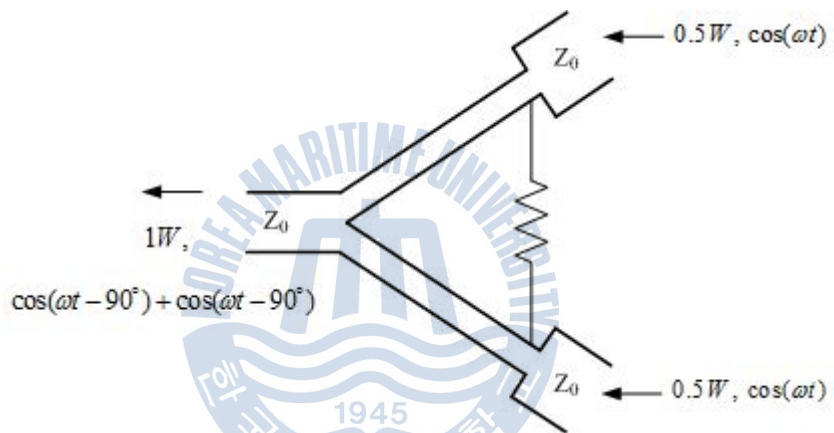
$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} = \frac{-j}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1.2)$$

2.2 전력분배기의 전력 분배 및 결합 특성

상기 식 2.1.1과 2.1.2를 통하여 월킨슨 전력분배기의 입출력 신호의 전력과 위상에 관한 분배 및 결합 특성은 아래의 그림 2.2.1과 같이 나타낼 수 있다.



(a)



(b)

그림 2.2.1. (a) 윌킨슨 전력 분배기의 전력 분배 특성

(b) 윌킨슨 전력분배기의 전력 결합 특성

Figure 2.1.1. (a) Power Dividing Characteristic of Wilkinson

Power Divider

(b) Power Combining Characteristic of Wilkinson

Power Divider

그림 2.2.1(a)와 같이, Input Port_1에 1 W의 전력을 가지는 신호 $\cos(\omega t)$ 를 입력하면, 0.5 W의 전력을 가지며 동위상인 두개의 신호 $\cos(\omega t - 90^\circ)$ 가 Output Port_2와 Output Port_3에서 출력되게 된다. 또한 그림 2.2.1(b)와 같이, 0.5 W의 전력을 가지며 동위상인 두개의 신호 $\cos(\omega t)$ 를 Port_2와 Port_3에 입력시키면, Port_1에서는 동위상 결합되어 1 W의 전력을 가지는 신호 $\cos(\omega t - 90^\circ)$ 가 출력된다. 이와 같은 기능을 가지는 윌킨슨 전력분배기는 여러 개의 증폭기를 병렬 접속한 고효율 전력증폭기에서 증폭기가 전력결합 및 분배소자로서 널리 사용된다[6].

2.3 증폭기 이론 및 특성

이동 단말기, 이동 통신 장비, 레이더 등의 RF 신호를 증폭하여 출력단에 전달하는 역할을 하는 전력증폭기는 무선 통신 시스템 상의 핵심 요소가 된다. 전력 증폭기의 초기 모델은 하이브리드 형태로 제작되었으나, 근대의 기술의 발전에 의하여 화합물 공정을 이용하는 MMIC 형태로 모델링 되어지는 흐름을 나타내고 있다. 이와 같은 전력 증폭기의 흐름에 따라, 현재의 증폭기는 MMIC 소자를 응용하여 고체 전자 소자의 형태로 발전을 해왔으며, 고주파 영역에서의 우수한 출력 전력 특성을 위하여 전력 증폭기를 다수로 연결하는 함으로써, 고주파 영역에서의 단일 전력 증폭기의 단점을 보완하여 응용되어지고 있다.

이와 같은 증폭기는 능동소자로서, 동작점의 위치와 부하 임피던스 이 특성에 따라서 각각의 Class 별로 구분 지을 수 있다. 대표적으로

증폭기에 널리 사용되어지는 증폭기의 Class 별 특성을 살펴보면 다음과 같다.

• Class A : A급 증폭기는 하나의 트랜지스터로써 교류 신호의 양과 음의 스윙을 모두 담당하므로, A급 동작은 트랜지스터가 항상 활성 영역에서 동작한다는 것을 의미한다. 또한, 이는 교류 싸이클의 한 주기 동안 컬렉터의 전류가 흐름을 의미한다. 즉, A급 증폭기는 선형성이 좋으며 높은 이득을 얻을 있는 장점이 있으나, 동작효율이 낮은 단점을 지니고 있다. 따라서 A급 증폭기는 전력 증폭기에는 사용되지 않으며, 주로 전치 증폭기에 사용되어 진다.

• Class B, AB : B급 증폭기의 동작 방식은 동작점을 직류 부하선과 교류 부하선의 차단점에 위치하면, 교류 신호에 의해 증폭기가 구동되지 않는 상태에서 직류 바이어스가 끊어진 상태이므로 트랜지스터는 차단되며, 이 때 교류신호가 인가되면 양의 반 주기 동안에 트랜지스터는 도통 상태가 되어 증폭이 시작 되어 신호의 반 주기 동안에만 전류가 흐르는 동작 방식이다. 이 외에도, 신호의 반 주기만을 사용하는 B급 증폭기의 특성에 따라서, 서로 반대의 주기에서 동작하는 트랜지스터 2개를 결합하여 동작하는 Push-Pull 회로를 사용하여 신호의 전 주기 동안에 동작할 수 있도록 사용한다. 이를 통하여 트랜지스터의 전력 소비를 낮춤으로서 전력 효율을 높이는 효과를 얻을 수 있으며, 낮은 왜곡, 큰 부하 전력 및 높은 전력 효율을 얻을 수 있다. B급 전력 증폭기는 2개의 트랜지스터를 사용할 때에, 문턱 전압에 이르기까지 트랜지스터가 활성화 되지 않는 특성에 의하여 전 주기에

걸쳐 신호가 0V를 교차하는 순간에 교차 왜곡(Crossover)이 발생하게 된다. 이러한 B급 증폭기의 교차 왜곡을 제거하기 위하여, 약간의 바이이스를 걸어주는 방식으로 B급 증폭기의 교차 왜곡을 개선시킨 방식의 증폭기를 AB급 증폭기라 한다.

• Class C : C급 증폭기는 고전력을 부하에 전달하기 위함으로 A급, B급 증폭기와는 다른 방식이다. C급 증폭기는 입력 교류 신호의 짧은 시간 동안에만, 트랜지스터가 활성화되며 그 이외의 시간 동안에는 차단 영역에 있게 된다. 이에 대하여, C급 증폭기에서는 컬렉터 전류를 왜곡시키는 동작 방식을 나타내고 있다. C급 증폭기의 경우 A급, B급 증폭기와 비교하여 높은 부하 전력을 얻을 수 있으며, 전력 효율을 상당히 높은 수준까지 얻을 수 있다. 일반적인 경우 C급 증폭기는 고주파 고전력 증폭기로 사용되어진다. 또한, 고전력 선형 증폭기를 설계하는 목적에서는 A급, B급 보다 C급 증폭기가 유용하게 사용되어진다.

앞 서 나타내고 있는 동작 영역과 부하 임피던스의 특성에 따라, 증폭기는 구분[7]되어 사용되어진다. 이에 대하여 증폭기의 설계를 함에 있어서, 목적에 부합하는 증폭기의 Class(A, B, AB, C 등)를 선택하는 것이 중요시 된다.

위의 증폭기의 Class 별 특성에도 나타나 있듯이, 증폭기의 성능 지표에 있어서 대표적인 특성은 선형성과 효율을 들 수 있다. 능동소자를 설계함에 있어서 선형성에 대한 지표로 널리 쓰이는 척도로는, 원래의 신호와 잡음과 같은 원치 않는 불필요신호가 증폭기의 비선형적

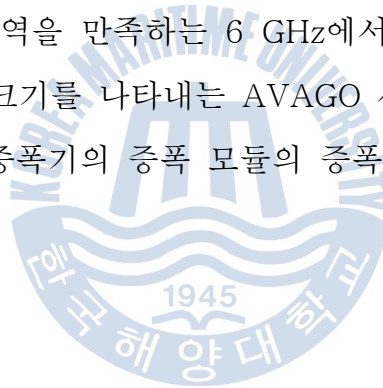
특성에 의하여 상호 변조에 있어서 발생하는 왜곡 신호를 의미하는 IMD(Inter Modulation Distortion)와 능동소자에서의 입력전력에 따른 출력 전력의 특성에 있어서, 포화가 되지 않았다는 조건에서의 출력 전력에서 실제의 출력 전력이 1dB 감소 했을 때의 지점을 의미하는 P1dB(1dB gain compression point), 기존의 신호와 혼변조 왜곡에서의 3차항이 같은 레벨이 되는 전력점을 나타내는 IP3(Third order intercept point)가 있다.

이와 같은 선형성의 척도를 통하여, 능동소자를 설계함에 있어서 신호의 왜곡에 대한 시스템 성능 저하를 개선시키기 위하여 능동소자의 선형성을 향상시키기 위한 노력이 계속 되고 있다. 이는 전력 증폭기에 있어서도 예외가 아니며, 증폭기의 선형성 향상을 위하여서도 다양한 방법들이 연구되어지고 있다. 전력 증폭기는 고출력 특성을 만족하기 위하여 포화 영역에서 동작하여야 하지만, 이때의 포화 영역에서 신호의 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 출력 신호의 왜곡은 시스템 전체의 이득을 감소시키는 등의 성능 저하의 주요한 원인이 되며, 이에 따라서 출력 신호의 왜곡을 감소시키기 위한 노력이 계속되어지고 있다. 증폭기의 선형화를 위한 선형 증폭기 설계 기술에 있어서는 출력 임피던스를 결정하는 최적 부하선을 선택하는 방법과 선형화기를 구현하는 방법[8]등이 존재한다.

전력 증폭기의 선형화를 향상시키기 위한 선형화기를 구현하는 방법으로는 다수의 입력 신호에 대하여 최대 출력 지점 보다 약간 낮은 지점에서 동작하도록 하는 Back-off 방법, 혼변조 신호에 따라서 왜곡 신호를 입력으로 부채환 시키는 Negative-feedback 방법, 출력 측에서 왜곡 신호를 제거하는 Feedforward 방법 등이 있다. 이러한

방법들을 통하여 증폭기의 선형성을 향상 시키는 방법들이 존재한다. 그러나 시스템의 효율 및 안정화 저하, 비용의 증가, 시스템 구성의 복잡성 등의 단점 역시 존재하게 된다[9-10].

위와 같은 증폭기의 이론적 내용을 배경으로 하여, 본 논문에서는 무선 통신 시스템 상에서의 응용을 전치 증폭기 설계 및 개발에 대한 연구를 진행하였다. 연구적인 측면의 목적으로, 본 논문에서는 증폭기의 설계에 있어서 중요시 되는 선형성과 효율적인 측면이 고려된 것보다, 모듈의 전반적인 설계에 초점을 두어 연구를 진행하였다. 이에 관하여 본 논문에서는, 효율 특성은 좋지 못하나 선형성 측면이 좋아 전치 증폭기로써 자주 사용되어 지는 A급 증폭기 타입이며, 본 논문의 목표인 X밴드 대역을 만족하는 6 GHz에서 20 GHz에서 동작하는 5 mm × 5 mm의 크기를 나타내는 AVAGO 사의 “AMMP-5618” 칩을 선택하여, 전치 증폭기의 증폭 모듈의 증폭부를 구성하였다.



제 3 장 전력 분배기/결합기의 설계

3.1 Type_1전력분배기/결합기 설계 및 기본 특성

본 논문의 전력 증폭 모듈 개발을 위하여, 다수의 증폭기의 전력을 분배/결합하기 위한 다양한 형태의 전력 분배기/결합기를 설계를 하였다. X-밴드의 대역 중에서도 위성 통신 시스템상의 Up-link 주파수 대역인 7.9 ~ 8.4 GHz 대역에 맞추어 설계하였으며, 다양한 형태를 통하여, 최적의 전력 분배기/증폭기를 구현하기 위한 연구를 진행하였다[11-13].

다음의 Type_1의 전력 분배기는 기존의 윌킨슨 전력 분배기의 설계 구조에 맞도록 설계하였다. Type_1 전력 분배기의 전체 크기는 657.5mm^2 이다. 또한, 출력 포트에 증폭기를 결합시키기 위한 출력 포트간의 간격은 약 5mm 정도이다. 아래의 그림 3.1.1은 Type_1 전력 분배기의 Layout을 나타내고 있다. 본 Type_1을 포함한 Type_2와 Type_3의 Layout 설계와 시뮬레이션 결과는 Advanced Design System 2008 (ADS 2008) Tool을 사용하여 진행되었다.

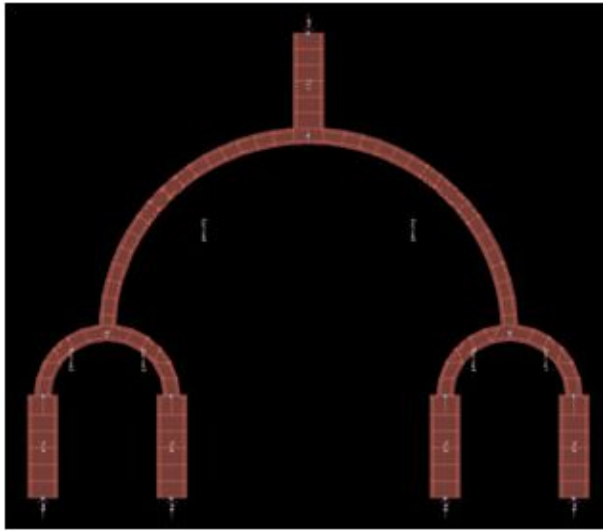
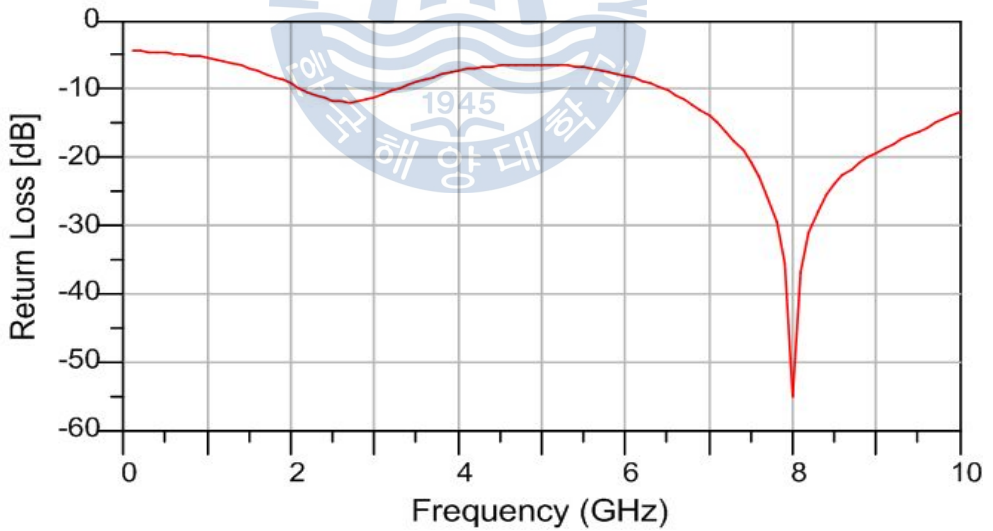
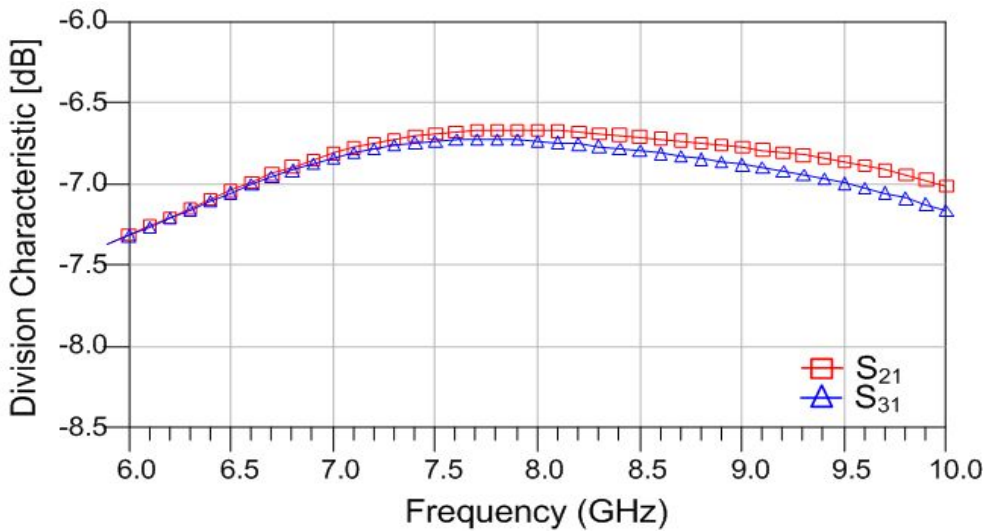


그림 3.1.1. Type_1 전력 분배기의 레이아웃

Figure 3.1.1. Layout of power divider of Type_1



(a)



(b)

그림 3.1.2. (a) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_1 전력 분배기의
반사손실

(b) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_1 전력 분배기의
분배(S₂₁,S₃₁)특성

Figure 3.1.2. (a) Layout simulation data return loss of Type_1
power divider

(b) Layout simulation data division characteristic
of(S₂₁,S₃₁) Type_1 power divider

위의 그림 3.1.2은 시뮬레이션을 통한 Type_1 전력 분배기의 반사 손실 특성, 분배 특성을 나타내고 있다. Type_1의 반사 손실은 X-Band up-link 대역인 7.9 ~ 8.4 GHz의 대역에서 -25 dB 이하의 값으로 양호한 특성을 나타내고 있으며, 분배 특성(S₂₁,S₃₁)의 경우 각각 -6.67 dB 정도로, -6 dB의 근사치를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 분배기의 설계 특성에 따라, S₂₁과 S₃₁은 서로 대칭이며,

S31과 S41은 역시 대칭이다.

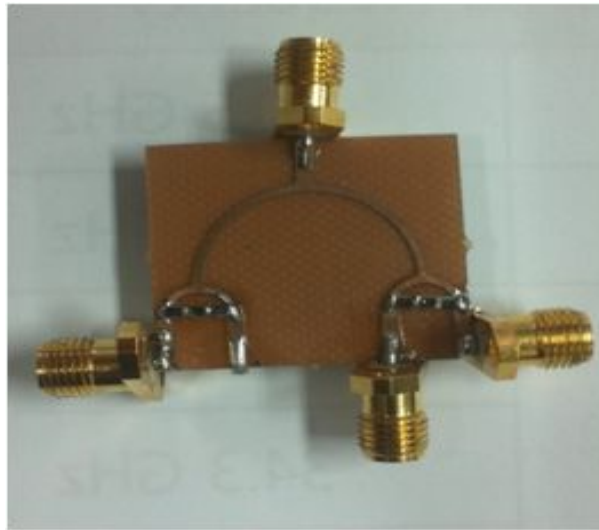
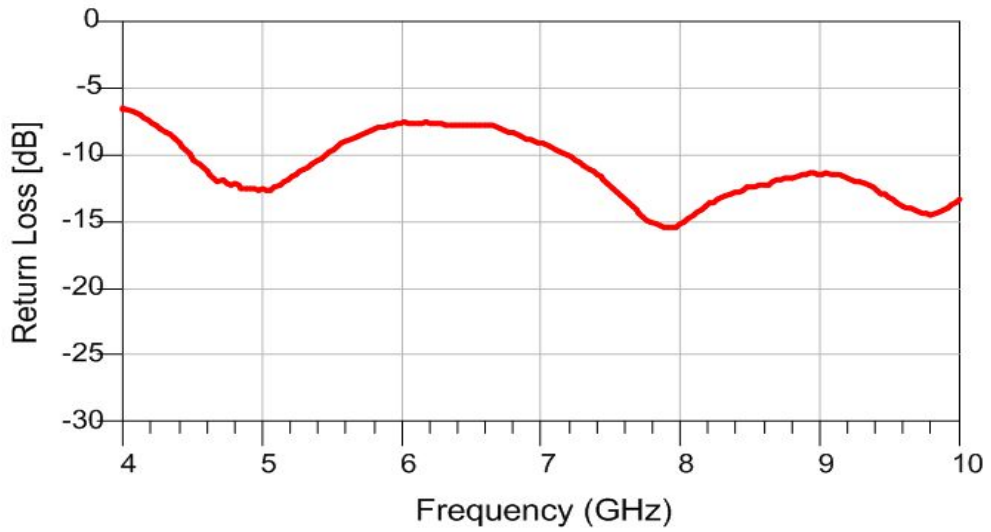


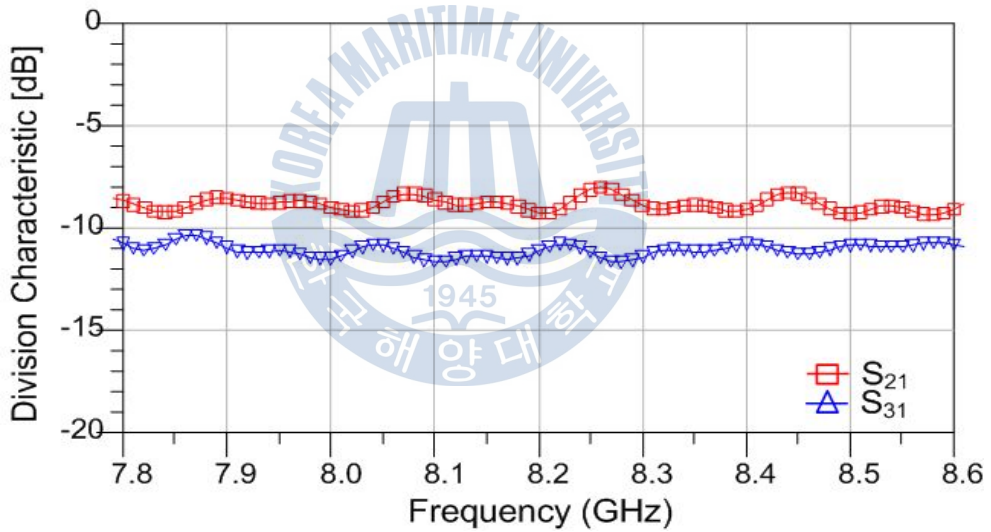
그림 3.1.3. 제작 된 Type_1 전력 분배기의 모습

Figure 3.1.3. A photo of Type_1 power divider

위의 그림 3.1.3은 Type_1 전력 분배기의 제작 된 모습이다. 제작 된 Type_1 전력 분배기의 RF 특성을 확인하기 위하여, 출력 포트의 한 쪽 끝에 50Ω 의 칩 저항으로 종단 시켰으며, 그 이외의 포트는 터미네이터를 다는 것으로 신호 분배특성을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 3.1.4. (a) 제작 된 Type_1 전력 분배기의 반사손실

(b) 제작 된 Type_1 전력 분배기의 분배 특성

Figure 3.1.4. (a) Measured return loss of Type_1 power divider

(b) Measured division characteristic of(S21,S31)

Type_1 power divider

위의 그림 3.1.4는 제작 되어진 Type_1 전력 분배기의 반사 손실 특성, 분배 특성의 측정값을 나타내고 있다. Type_1의 반사 손실 특성은 7.9 ~ 8.4 GHz 대역에서, -12 dB 이하의 값을 나타내고 있다. 측정 된 Type_1 구조의 신호 분배 특성 S21은 대략 -9 dB 정도로 나타났으며, S31은 대략 -10.7 dB 정도로 신호의 분배에 있어서, 큰 손실이 발생함을 알 수 있다. 측정 된 결과를 통하여, Type_1의 경우의 4-way 분배기의 특성에 맞는 신호 분배가 이루어지지 않음을 알 수 있으며, 이는 무선 통신 시스템 상의 전력 증폭기 모듈의 전체적인 성능 저하의 원인이 되어, 무선 통신 시스템 상에 적용이 어려움을 나타내고 있다.

3.2 Type_2전력분배기/결합기 설계 및 기본 특성

다음의 Type_2의 전력 분배기는, 전력 분배기 모듈 전체의 크기를 고려하여 회로의 크기 축소를 목표로 하여 설계한 구조이다. Type_1에서 70.7Ω의 분배선로가 Radius의 모양을 갖는 데에 반하여, 본 Type_2의 경우는 첫 분배 선로를 직선으로 하여 신호를 분배하는 구조로 설계되어졌다. 각 선로의 길이는 첫 분배 선로 길이는 $\lambda/4$, 두 번째 분배 선로의 Radius 길이는 3.2mm가 되며, 각각의 50Ω 입·출력 포트의 선로 길이는 $\lambda/4$ 로 설계되었다. 이에 대한 Type_2 전체의 Layout의 크기는 290.5mm² 이다. 또한, 출력 포트에 증폭기를 결합시키기 위한 출력 포트간의 간격은 약 4.5mm 정도이다. 아래의 그림 3.2.1은 Type_2 전력 분배기의 Layout을 나타내고 있다.

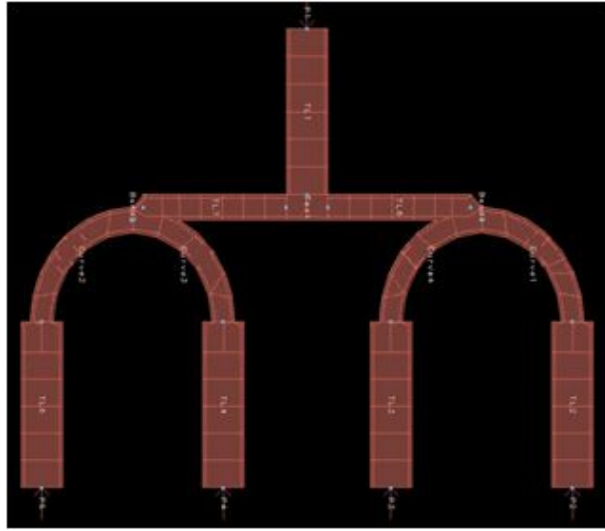
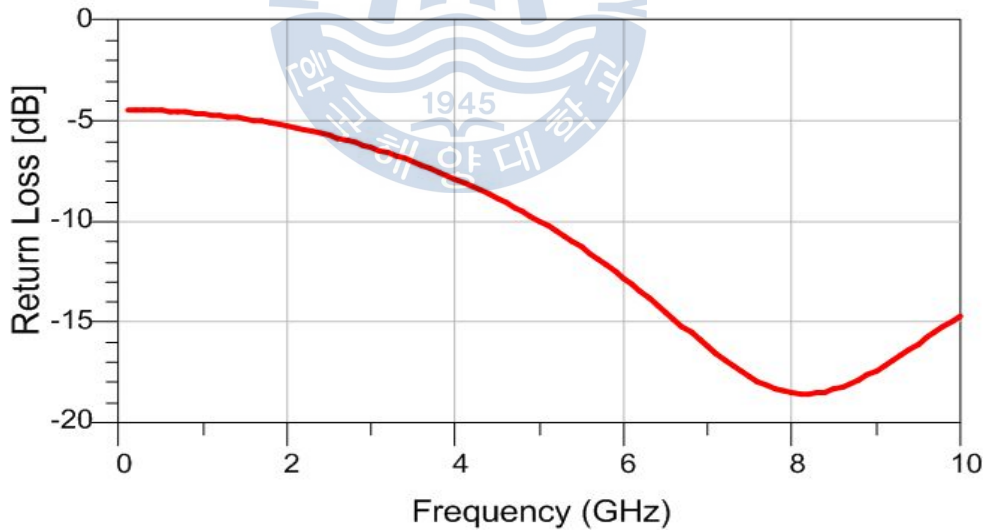
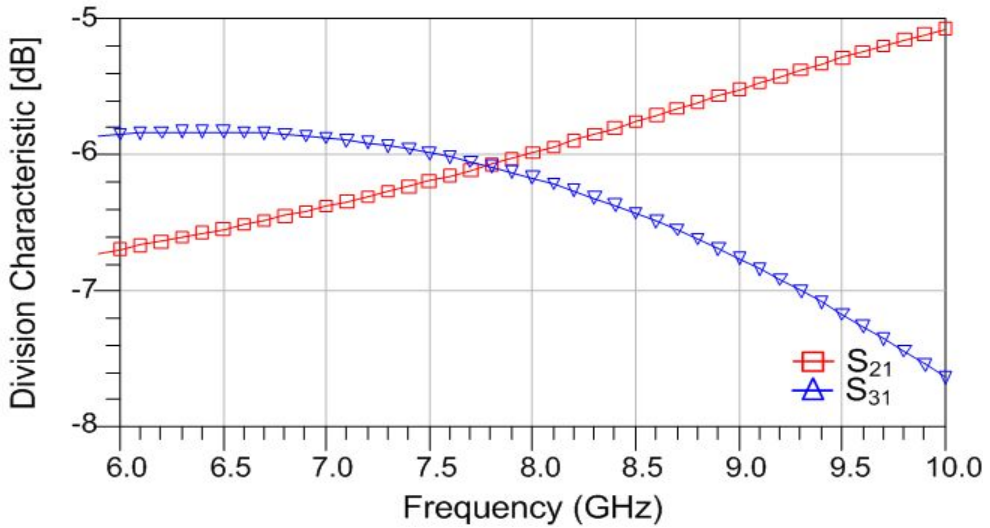


그림 3.2.1. Type_2 전력 분배기의 레이아웃

Figure 3.2.1. Layout of power divider of Type_2



(a)



(b)

그림 3.2.2. (a) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_2 전력 분배기의
반사손실

(b) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_2 전력 분배기의
분배(S₂₁,S₃₁)특성

Figure 3.2.2. (a) Layout simulation data return loss of Type_2
power divider

(b) Layout simulation data division characteristic
of(S₂₁,S₃₁) Type_2 power divider

위의 그림 3.2.2는 시뮬레이션을 통한 Type_2 전력 분배기의 반사 손실특성, 분배특성을 나타내고 있다. Type_2의 반사 손실특성은 7.9 ~ 8.4 GHz 대역에서 -18 dB의 값을 나타내고 있다. 시뮬레이션을 통한 분배 특성의 경우 S₂₁은 -5.9 ± 0.1 dB 신호 분배 특성을 나타낸다. S₃₁의 경우는 -6.3 ± 0.1 dB의 값을 나타내고 있다. 신호 분배 특성은 4-way 분배기의 목표치인 -6 dB의 근사치를 나타내는 것을 확

인 할 수 있었다. 분배기의 설계 특성에 따라, S21과 S51은 서로 대칭이며, S31과 S41은 역시 대칭이다.

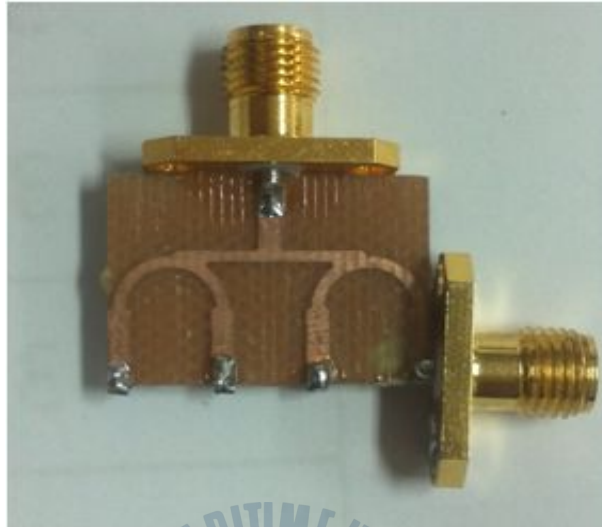
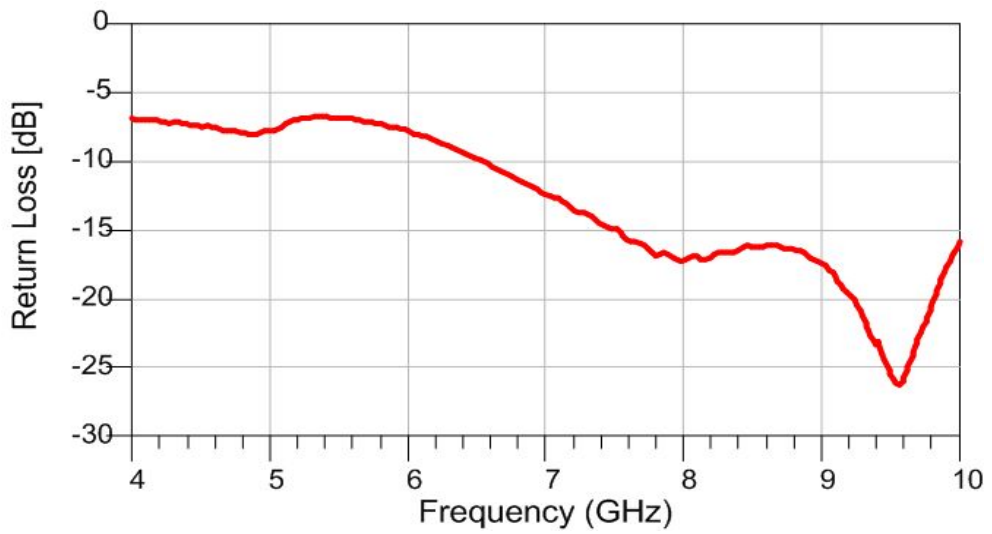


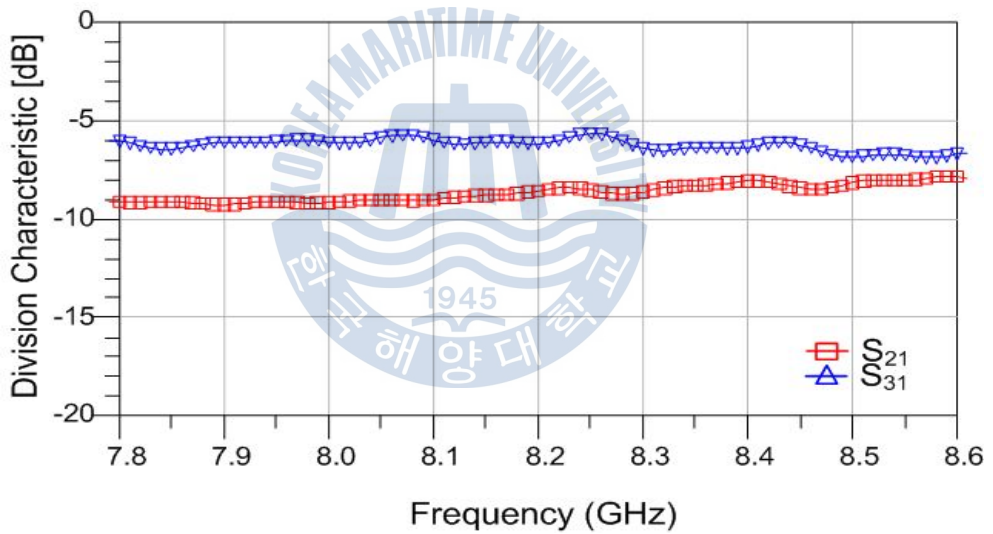
그림 3.2.3. 제작 된 Type_2 전력 분배기의 모습

Figure 3.2.3. A photo of Type_2 power divider

위의 그림 3.2.3은 Type_2 전력 분배기를 제작한 사진이다. 분배기의 RF 특성을 확인하기 위하여, 측정 방법은 Type_1과 동일하게, 출력 포트의 한 쪽 끝에 50Ω의 칩 저항으로 종단 시켰으며, 그 이외의 포트는 터미네이터를 다는 것으로 신호 분배특성을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 3.2.4. (a) 제작 된 Type_2 전력 분배기의 반사손실

(b) 제작 된 Type_2 전력 분배기의 분배 특성

Figure 3.2.4. (a) Measured return loss of Type_2 power divider

(b) Measured division characteristic of(S₂₁,S₃₁)

Type_2 power divider

위의 그림 3.2.4 (a),(b)는 제작한 Type_2의 분배기를 측정된 데이터를 나타내고 있다. 측정된 Type_2 구조의 반사 손실 특성은 X-Band up-link 대역에서 대략 -16 dB 정도의 양호한 특성을 나타내고 있다. 신호 분배 특성의 경우 S21은 -8.8 ± 0.3 dB 정도를 나타내며, S31은 -6.2 ± 0.1 dB 정도를 나타내고 있다. 4-way 분배기의 신호 분배 특성에 있어서, -8 dB 정도의 분배 특성이 나타나는 것은, 신호가 제대로 분배가 되지 않음을 의미하며, 이는 두 번째 분배선로의 충분한 길이가 존재하지 않음에 따른 신호의 불연속 지점이 발생한다는 판단을 할 수 있다. 또한, 발생하는 오차로 인하여 분배기 전체의 특성에 손실을 발생시킬 수 있음을 의미한다. 이로 인하여, Type_2와 같은 구조를 전력 분배기 모듈로써 적용하기에는 옳지 않음을 알 수 있다.

3.3 Type_3 전력분배기/결합기 설계 및 기본 특성

다음의 Type_3의 전력 분배기는, 앞서 설계된 Type_1과 Type_2의 문제점을 보완하여, 전체 증폭기 모듈의 크기와 신호의 분배에 있어 불연속 지점이 생기지 않도록 고려한 구조로 설계되어졌다. Type_3에서 70.7Ω 의 첫 분배 선로의 길이는 $\lambda/4$ 길이인 5.024mm이며, 각각의 50Ω 입·출력 포트의 선로 길이는 5.2mm로 설계되었다. 두 번째 분배 선로의 길이는 $\lambda/4$ 길이의 Radius 길이인 3.2mm로 설계하였다. 이에 대한 Type_3 전체의 Layout의 크기는 727.5mm^2 이다. 또한, 출력 포트에 증폭기를 결합시키기 위한, Type_3의 출력 포

트간의 간격 6mm 정도를 나타내고 있다. 아래의 그림 3.2.1은 Type_2 전력 분배기의 Layout을 나타내고 있다.

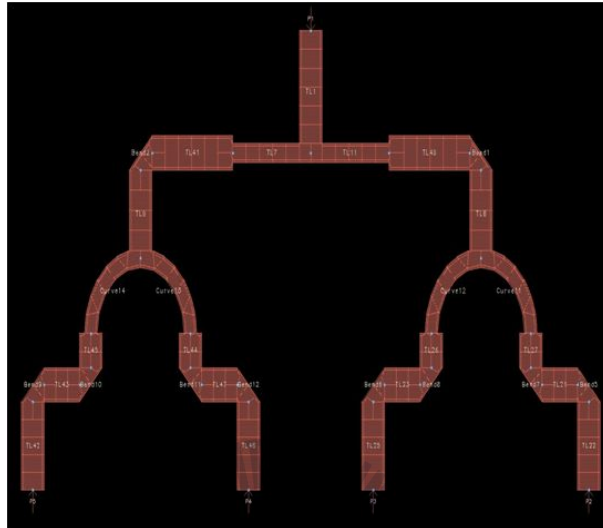
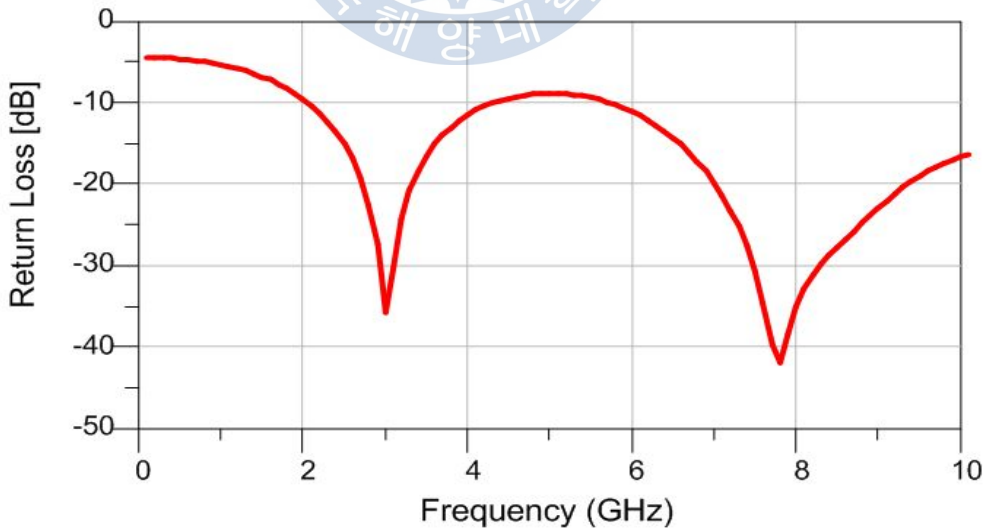
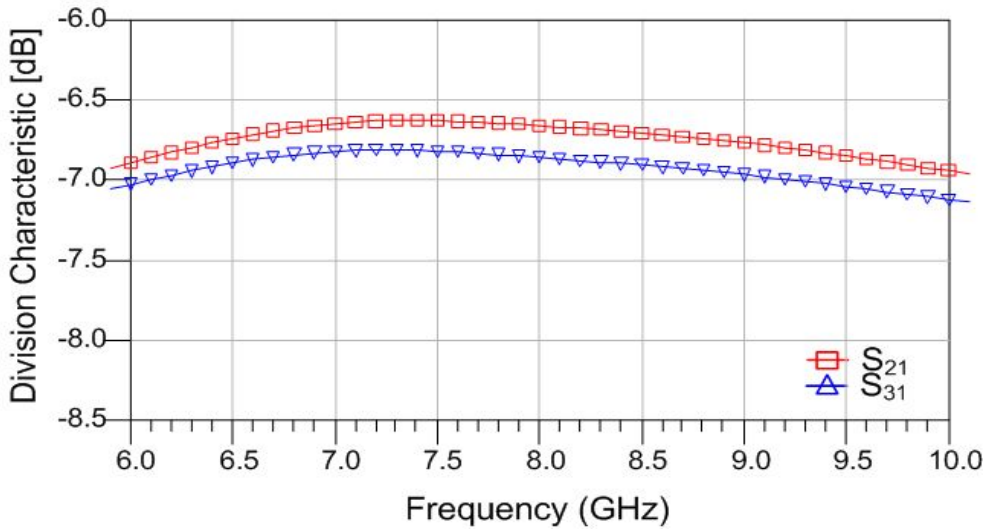


그림 3.3.1. Type_3 전력 분배기의 레이아웃

Figure 3.3.1. Layout of power divider of Type_3



(a)



(b)

그림 3.3.2. (a) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_3 전력 분배기의
반사손실

(b) 레이아웃 시뮬레이션을 통한 Type_3 전력 분배기의
분배(S₂₁,S₃₁)특성

Figure 3.3.2. (a) Layout simulation data return loss of Type_3
power divider

(b) Layout simulation data division characteristic
of(S₂₁,S₃₁) Type_3 power divider

위의 그림 3.2.2(a),(b)는 Type_3 전력 분배기의 반사 손실 특성, 분배 특성을 나타내고 있다. Type_3의 반사 손실특성은 7.9 ~ 8.4 GHz 대역에서 -28 dB 이하의 값을 나타내고 있다. 시뮬레이션을 통한 분배 특성의 경우 S₂₁은 -6.6 ± 0.04 dB 신호 분배 특성을 나타낸다. S₃₁의 경우는 -6.8 ± 0.04 dB의 값을 나타내고 있다. 시뮬레이션을 통한 Type_3의 S-parameter 특성을 살펴본 결과, 신호 분배 특

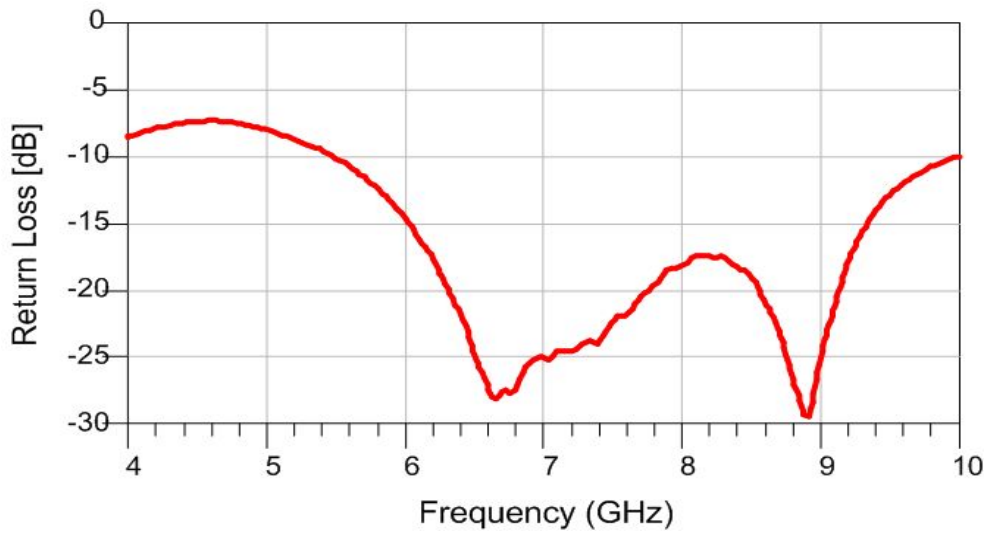
성에 있어, -6 dB의 근사치의 안정적인 분배 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 분배기의 설계 특성에 따라, S21과 S51은 서로 대칭이며, S31과 S41은 역시 대칭이다.



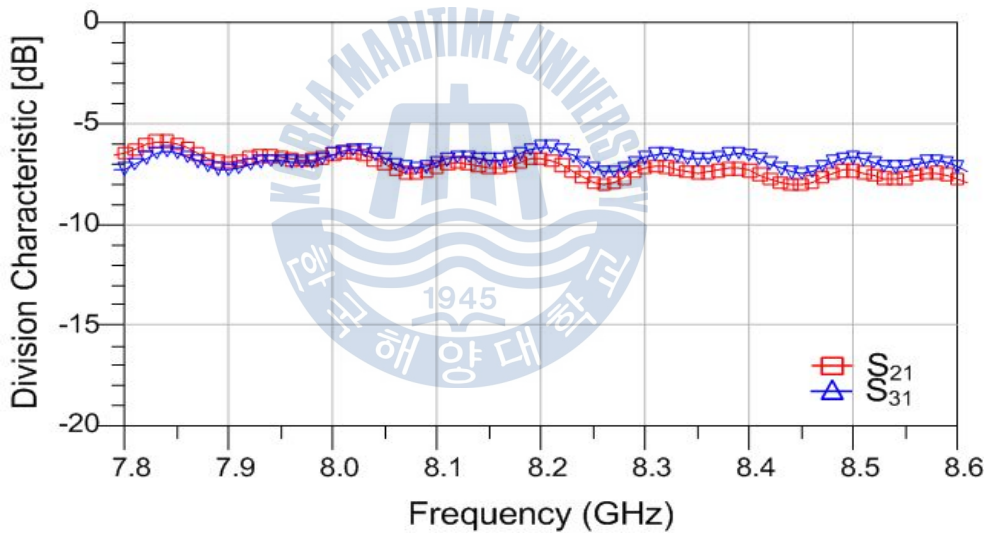
그림 3.3.3. 제작 된 Type_2 전력 분배기의 모습

Figure 3.3.3. A photo of Type_2 power divider

위의 그림 3.3.3은 Type_3 전력 분배기를 제작한 사진이다. RF 특성 확인을 위한 측정 방법은 Type_1과 동일하게, 출력 포트의 한 쪽 끝에 50Ω 의 칩 저항으로 종단 시켰으며, 그 이외의 포트는 터미네이터를 다는 것으로 신호 분배특성을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 3.3.4. (a) 제작 된 Type_3 전력 분배기의 반사손실

(b) 제작 된 Type_3 전력 분배기의 분배 특성

Figure 3.3.4. (a) Measured return loss of Type_3 power divider

(b) Measured division characteristic of(S21,S31)

Type_3 power divider

위의 그림 3.3.4 (a),(b)는 제작한 Type_3의 분배기를 측정 데이터를 나타내고 있다. 반사 손실은 X-Band up-link 대역에서 대략 -18 dB 정도의 양호한 특성을 나타내고 있다. 신호 분배 특성의 경우 S21은 -7.1 ± 0.1 dB 정도를 나타내며, S31은 -6.8 ± 0.3 dB 정도의 양호한 특성을 나타내고 있다. 측정 된 결과를 통한 Type_3의 신호 분배 특성을 살펴 본 결과, 미미한 오차를 가지고는 있으나, 전체적으로 -6 dB의 근사치를 나타내는 것을 알 수 있다. 본 Type_3의 구조 및 시뮬레이션과 측정 결과를 통한 Type_3의 결과는 무선 통신 시스템 상의 전력 증폭기 모듈로서의 적용에 효과적임을 알 수 있다.



제 4 장 전치 증폭기 모듈 설계

4.1 전치 증폭기 모듈로의 응용을 위한 전력 분배기/ 결합기

본 논문의 3장에서는 X-Band 대역의 무선 통신 시스템 상의 응용을 위한 전치 증폭기 모듈에 개발을 위하여, 전치 증폭기 모듈 구성을 위한 전력 분배기/결합기에 관한 설계를 진행하였다. 증폭기 모듈의 설계 목표인 X-Band up-link 대역에서 동작을 하기 위한 총 3가지의 Type에 대한 전력 분배기/결합기를 설계하였다. 그 중 측정 결과를 통하여 가장 우수한 RF 특성을 나타내며, 양호한 분배기/결합기의 특성을 만족하여, 무선 통신 시스템 상에 적용에 가장 효과적인 특성을 나타내는 Type_3의 모델을 적용한, 전치 증폭기 모듈을 개발하였다. 이에 대하여, 앞 선 3장에서 살펴보았던 기본 특성 이외의 전치 모듈로의 적용을 위한 Type_3 분배기/결합기의 위상 특성과 격리 특성을 살펴보았다[14].

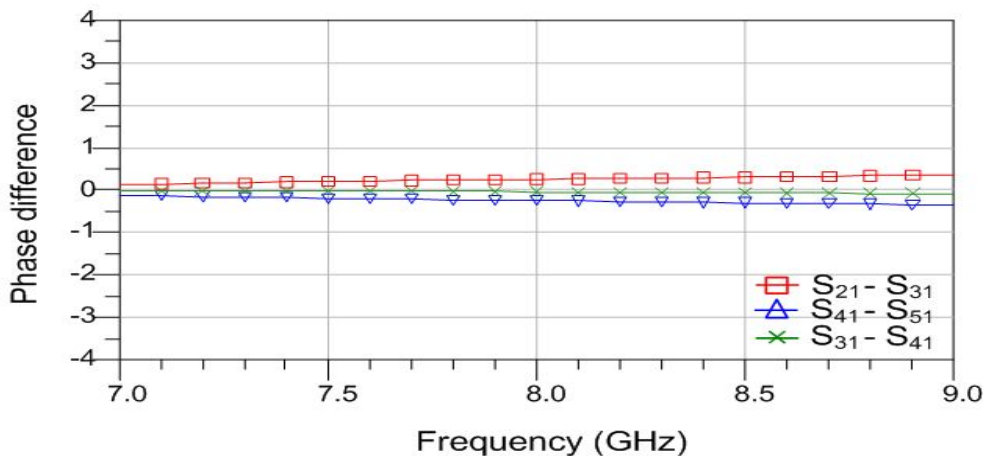


그림 4.1.1. Type_3 전력 분배기의 위상차

Figure 4.1.1. Phase difference of Type_3 divider

위의 그림 4.1.1을 통하여, 동작 주파수 대역 내에서의 Type_3 전력 분배기의 위상차를 알 수 있다. 그림 4.1.1을 통하여 설계 되어진 분배기의 출력 포트간의 위상차는 거의 0° 에 가깝다는 것을 알 수 있다. 위상차가 거의 존재 하지 않는다는 것은, 전치 증폭기 모듈로서 증폭이 된 신호가 결합기를 통하여 결합되는 데에 있어, 위상차에 의한 손실이 발생하지 않는다는 것을 의미한다. 즉, 전체적인 전치 증폭기 모듈의 전력 출력에 있어서, 손실이 거의 일어나지 않게 되는 것이다.

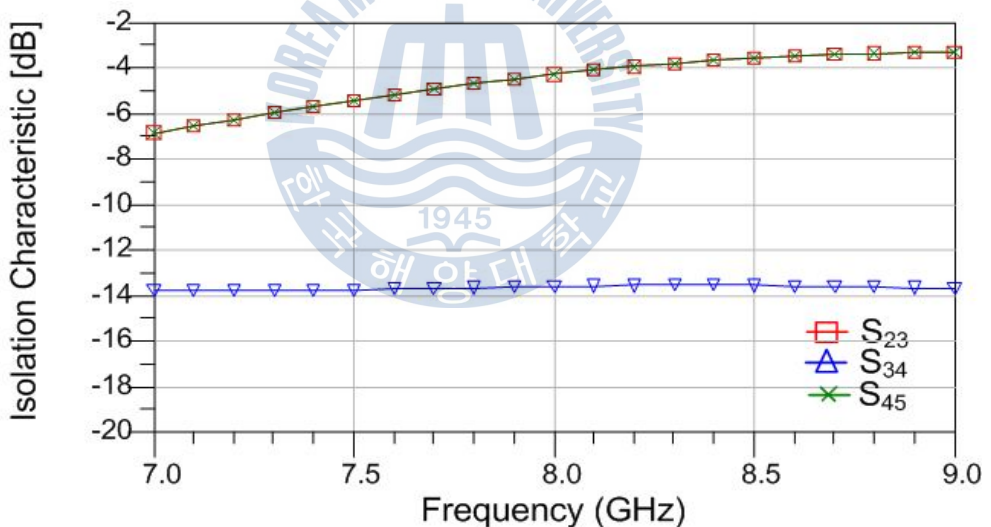


그림 4.1.2. Type_3 분배기 격리 특성

Figure 4.1.2. Isolation characteristic of Type_3 divider

위의 그림 4.1.2는 Type_3의 출력 포트간의 격리 특성 Layout 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이, 출력 포트

간의 격리 특성 중 S34는 -14 dB로 양호한 특성을 나타내며, 인접해 있는 포트 2와 포트 3(S23), 포트 4와 포트 5(S34) 간에는 격리도가 나쁘다는 것을 나타내고 있다. 이를 보완하기 위하여, 윌킨슨 전력 분배기의 설계 이론에 맞는, $2Z_0$ 에 해당하는 저항을 인접한 출력 포트 간에 접속 시켜 주면 된다.

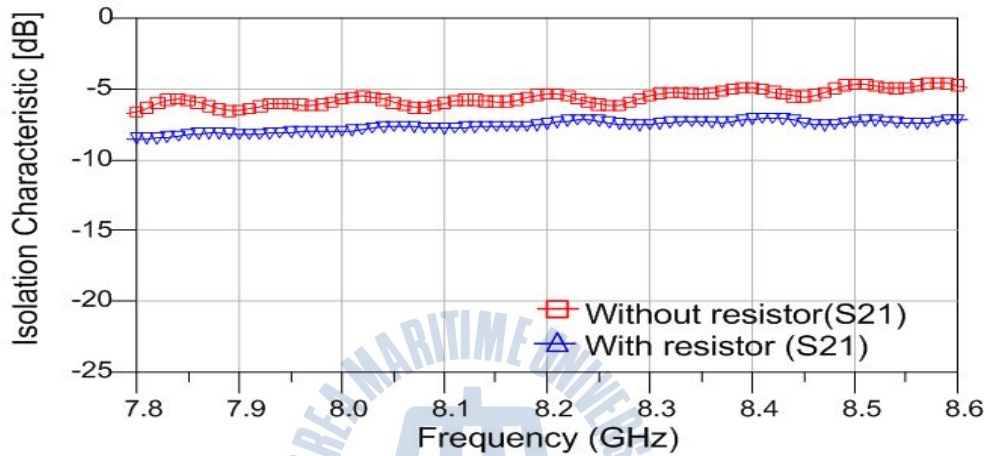


그림 4.1.3. Type_3 분배기 격리도 향상을 위한 저항 접속 특성

Figure 4.1.3. A connect resistor to improve isolation characteristic

위의 그림 4.1.3은 제작 된 Type_3 전력 분배기의 출력 포트간의 저항의 유무에 따른 격리 특성 비교를 나타내고 있다. 그림 4.1.3을 통하여 저항을 접속 한 경우의 격리 특성을 비교하였을 때, 저항이 없는 경우의 격리 특성이 대략 -6 dB 정도를 나타내고 있으며, 저항을 접속 시킨 경우 대략 -7.7 dB 정도의 격리 특성이 나타남을 알 수 있다. 저항을 접속 시킨 경우 대략 -2 dB에 가까운 격리도 향상이 있음을 알 수 있다.

상기 3장의 기본 특성 및 4장의 위상차 특성, 격리 특성을 통하여,

본 논문에서 개발을 위한 무선 통신용 전치 증폭기 모듈에 적용을 위한 전력 분배기/결합기의 모델에 Type_3 분배기 모델이 적합함을 알 수 있다.

4.2 전치 증폭기 모듈의 설계 및 특성

본 절에서는 앞서 살펴본 Type_3 모델을 적용한 전치 증폭기 모듈의 설계 및 특성을 살펴본다. 본 논문에서 제안하는 전치 증폭기의 모듈을 위한 회로는 마이크로 스트립 타입의 PCB FR-4 기판 상에 제작하였으며, X-Band up-link 대역에서의 동작을 목표로 한다.

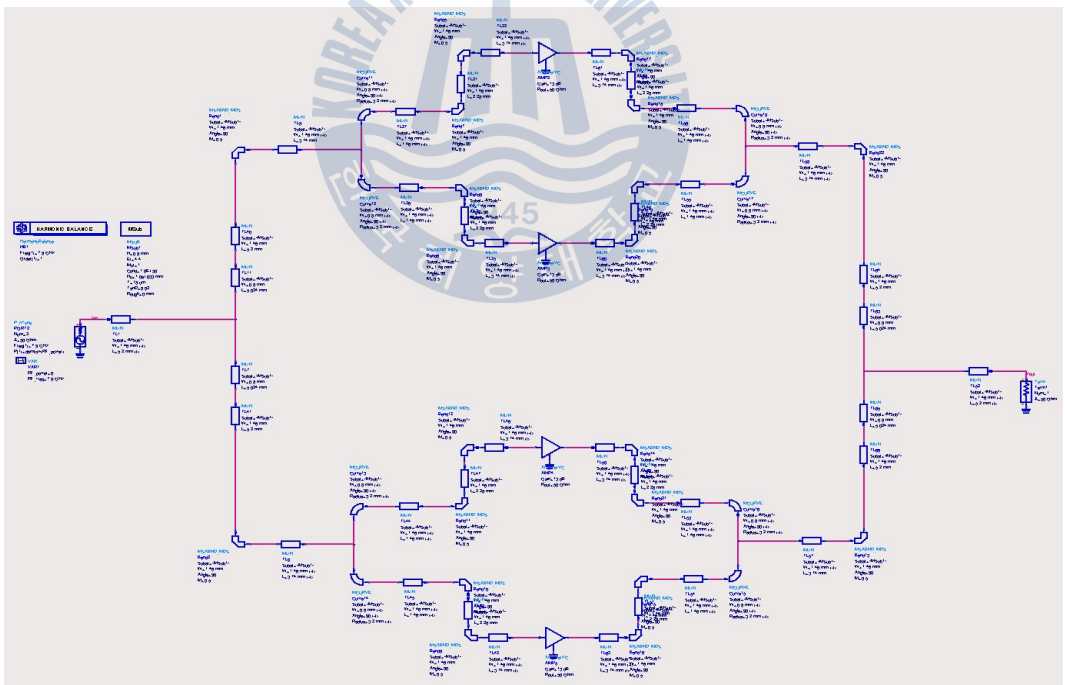


그림 4.2.1. 증폭기와 amplifier를 결합한 전치 증폭기 회로도

Figure 4.2.1. Schematic of divider with amplifier

위의 그림 4.2.1은 Type_3 분배기와 X-Band 대역을 동작 주파수로 갖는 증폭부를 결합시켜 구성한 전치 증폭기 회로도를 나타내고 있다. 위의 그림 4.2.1 회로도를 통한, 전치 증폭기 모듈의 구성은 분배기와 대칭인 구조를 갖는 결합기가 배치되어 있으며, 신호의 증폭을 위한 증폭부가 분배기의 출력과 결합기의 입력 간에 배치되어 있다. 즉, 분배기를 통하여 분배 되어진 신호들은 증폭부를 통하여 증폭된 후, 결합기를 통하여 다시 신호가 결합이 되어 진다. 그림 4.2.1에서의 증폭부는 13 dB의 이득을 가지고 있으며, 50Ω으로 정합되어 있다.

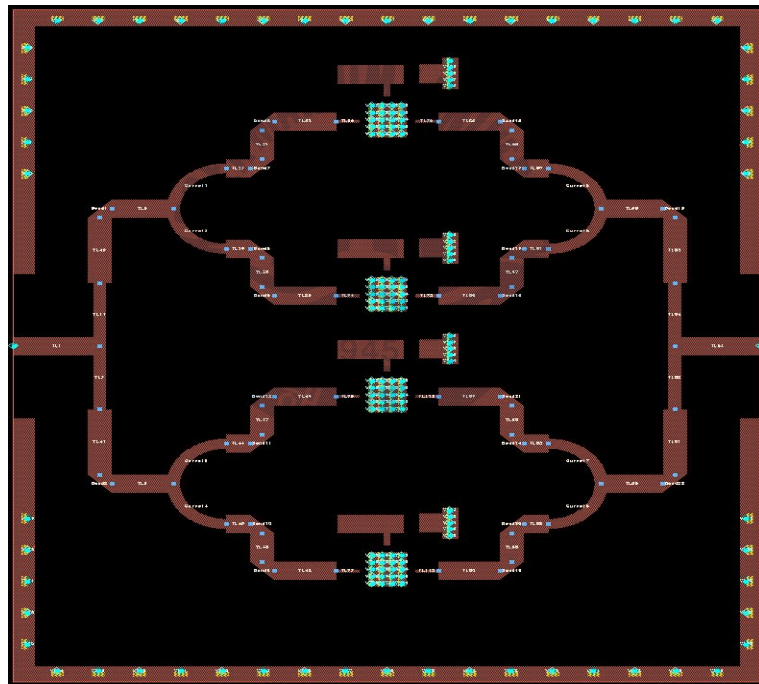


그림 4.2.2. 전치 증폭기 모듈의 레이아웃

Figure 4.2.2. Layout of power amplifier module

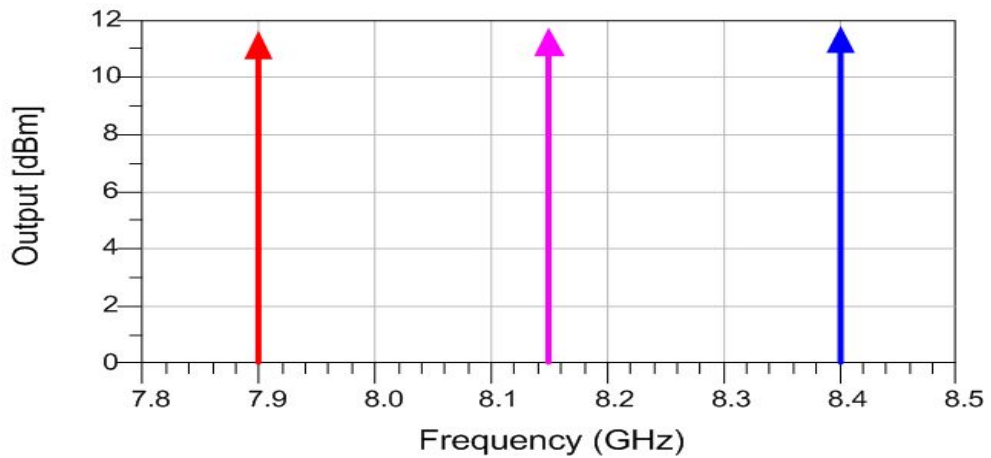


그림 4.2.3. 시뮬레이션을 통한 전치 증폭기 모듈의 출력 전력

Figure 4.2.3. Simulation output power of power amplifier module

표 4.2.1. X-Band up-link 대역에서의 출력 전력

Table 4.2.1. Output power of X-Band up-link bandwidth

	Frequency		
Output(dBm)	7.9 GHz	8.15 GHz	8.4 GHz
	11.443	11.566	11.629

위의 그림 4.2.2은 본 논문에서 제안하고 있는 전치 증폭기 모듈의 레이아웃을 나타내고 있다. 제안하고 있는 증폭기 모듈의 회로는 마이크로 스트립 타입이며, 모듈 회로 전체의 기생성분에 의한 손실을 줄이기 위하여 비어홀을 통하여[15], 접지전위를 공급 받도록 하였다. 또한, 증폭부 구동을 위하여, 바이어스 전원 인가를 위한 회로를 추가적으로 구성하였다. 위의 그림 4.2.3과 표 4.2.1은 본 논문에서 제시하고 있는 전치 증폭기 모듈의 출력 전력을 나타내고 있다. 표 4.2.1

을 통하여, X-Band up-link 주파수 대역에서의 출력 전력은 7.9 GHz에서 약 11.443 dBm, 8.15 GHz에서 약 11.566 dBm, 8.4 GHz에서 약 11.629 dBm을 나타내고 있음을 알 수 있다. 본 시뮬레이션 결과를 통하여 1mW의 전력이 입력되는 경우, 약 14 mW의 전력이 출력 되는 것을 알 수 있다. 상기 결과를 통하여, 본 논문에서 제시하고 있는 X-Band 대역의 전치 증폭기 모듈은, 무선 통신 시스템 상에 효과적으로 사용될 수 있음을 기대할 수 있다.

4.3 전치 증폭기 모듈의 제작 및 특성

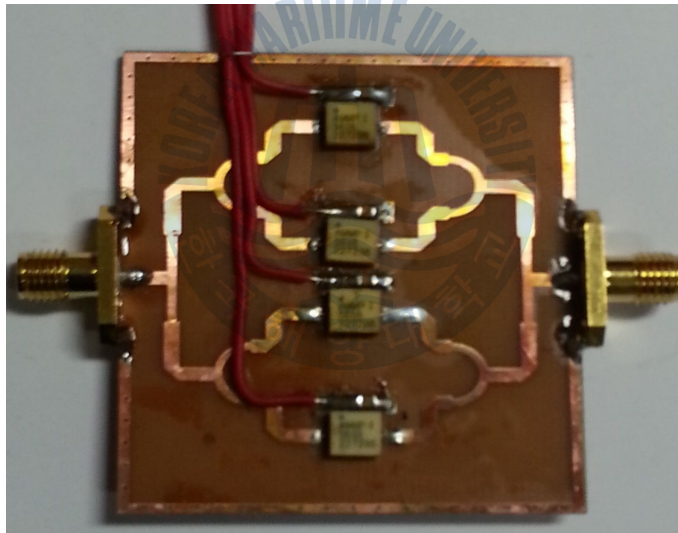


그림 4.3.1. 제작 된 전치 증폭기 모듈

Figure 4.3.1. A photo of power amplifier module

본 논문에서는 제안하는 전치 증폭기 모듈을 X-밴드 무선 통신 시스템 적용을 위하여 전치 증폭기 모듈을 제작하고, Network Analyzer를 통하여 S-parameter를 측정하였다. 위의 그림 4.3.1은

본 논문에서 제안하고 있는 X-밴드 무선 통신 시스템에서의 응용을 위한 전치 증폭기 모듈을 제작 한 사진이다. 본 논문에서는 제안하는 전치 증폭기 모듈의 전체적인 성능을 측정하기에 앞서, 모듈의 증폭부에 접속되는 AVAGO 사의 “AMMP-5618”칩의 S-parameter를 측정하였다.

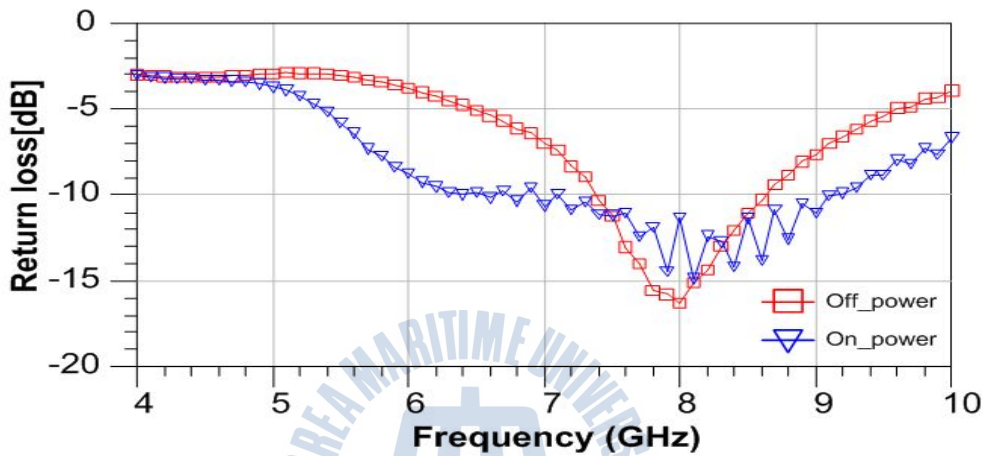


그림 4.3.2. 단일 증폭기 소자의 반사손실

Figure 4.3.2. The return loss of amplifier(AMMP-5618) component

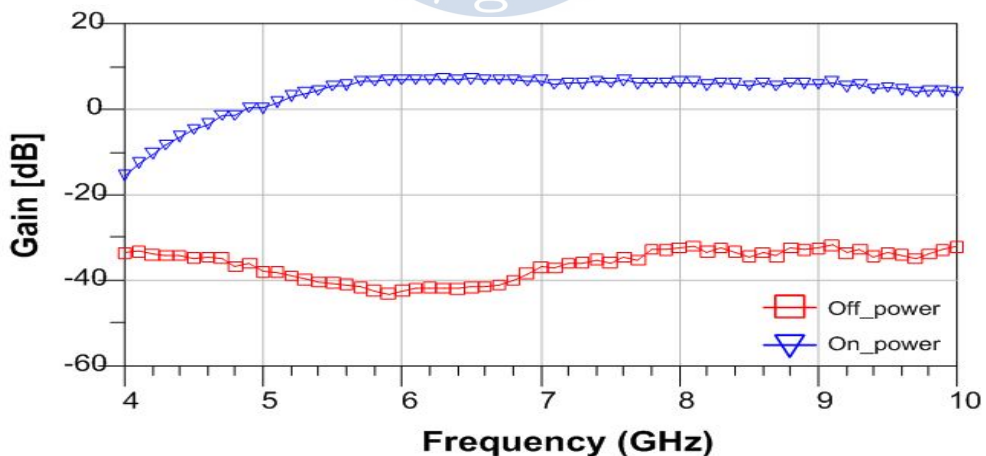


그림 4.3.3. 단일 증폭기 소자의 이득 특성

Figure 4.3.3. The Gain of amplifier(AMMP-5618) component

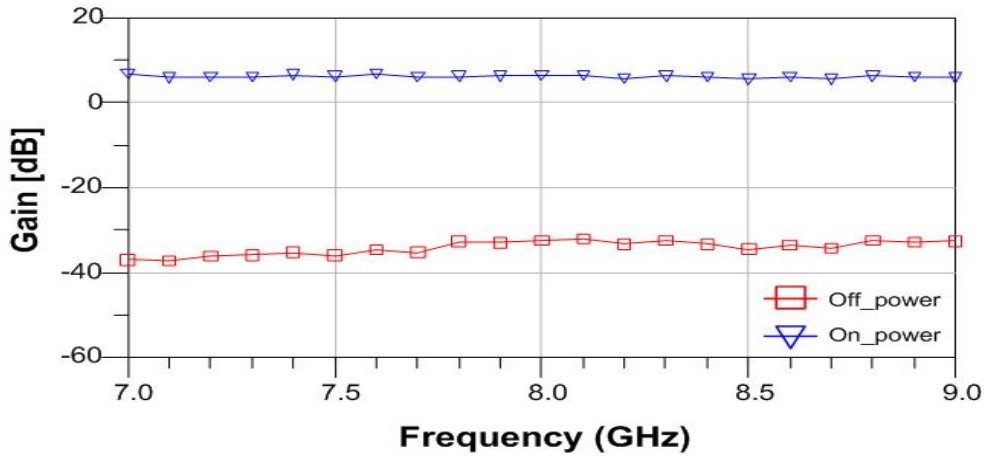


그림 4.3.4. X밴드 대역 내에서의 단일 증폭기 소자의 이득 특성

Figure 4.3.4. The Gain of amplifier(AMMP-5618) component at X-Band

위의 그림 4.3.2는 모듈의 증폭부에 접속되는 “AMMP-5618” 칩 소자의 반사손실을 나타내고 있다. 본 논문에서 제안하는 X밴드 대역 내에서의 소자의 반사 손실 특성은, 바이어스 전압 5V를 인가하지 않는 경우에 $-14 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$ 정도가 된다. 소자의 동작을 위하여 바이어스 전압을 걸어 주었을 경우의 반사 손실은 $-14 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$ 정도로, 양호한 특성을 나타냄을 측정 결과 확인 할 수 있다.

그림 4.3.3과 4.3.4는 증폭 소자의 바이어스 전압 인가 유무에 따른 이득 특성 나타내고 있다. 우선, 목표로 하는 X밴드 대역 내에서 바이어스 전압을 인가하지 않은 상태에서의 소자의 이득 특성은 $-32 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$ 정도의 특성을 나타낸다. 바이어스 전압을 인가한 경우에 소자의 이득 특성은 6 dB 정도로, 신호의 증폭이 원활하게 이루어짐을 확인 할 수 있다.

상기 결과의, 전치 증폭기의 증폭부를 구성하는 “AMMP-5618” 칩 소자의 이득 특성과 시뮬레이션을 통한 전치 증폭기의 출력 전력값을 통하여, 본 논문에서 제안하는 X밴드 대역의 전치 증폭기 모듈로의 응용에 효과적인 특성을 나타낼 것을 기대 할 수 있다.



제 5 장 결 론

최근 급격한 무선 통신 시스템의 발전함에 따라, 무선 통신 시스템 용 부품 시장도 급격히 증가하고 있다. 정보화 시대의 최대과제로 들 수 있는 빠른 전달력과 양질의 서비스를 위하여, 무선 통신 시스템을 구성하는 부품들의 성능 향상은 부품 산업의 최대 과제가 되어졌다. 본 논문에서는 이러한 발전 흐름에 맞추어, 통신 시스템을 구성하는 통신 소자들에 전력을 균등하게 배분 및 결합하여 시스템 전체의 최대의 출력을 낼 수 있도록, X-밴드에서 최적화된 전력 분배기에 대하여 연구 및 개발하였으며, 개발된 전력 분배기를 이용하여 X-밴드에서 사용 가능한 전치 증폭기 모듈을 개발하였다.

전치 증폭기 모듈로의 적용을 위하여, 우선 연구 개발 되어진 Divider는 총 3가지의 Type을 통하여, 최적화 된 분배기를 설계하였다. 전치 증폭기 모듈로의 적용을 위한 분배기는 제작 및 측정 한 RF 특성은, 목표 동작 주파수인 X-Band up-link 주파수인 7.9 GHz ~ 8.4 GHz 대역에서 -18 dB정도의 반사손실을 나타내었다. 신호 분배 특성에 있어서는 S21은 -7.1 ± 0.1 dB 정도를 나타내며, S31은 -6.8 ± 0.3 dB 정도의 양호한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 또한, 원하는 대역에서의 출력 포트간의 위상차와 격리 특성의 결과는, 위상차는 거의 0° 의 근사치로 나타나며, 격리 특성은 구체적으로, 위상차가 거의 존재 하지 않기 때문에 전력 결합에 있어 손실이 발생하지 않음을 알 수 있다. 분배기의 격리 특성은 S23과 S34의 값이 대략 -6 dB, S34의 값이 -14 dB을 나타내고 있다. 이는 출력 포트간의 저항을 접속 시키는 것으로, 격리 특성을 향상시킬 수 있다.

위와 같은 특성을 갖는 분배기를 적용하여, 본 논문에서는 무선 통신 시스템 상의 적용을 위한, X-Band 대역의 전치 증폭기 모듈을 개발하였다. 본 논문에서 개발된 전치 증폭기 모듈의 증폭부를 구성하는 단일 증폭소자는 S-parameter 측정결과 X-band up-link (7.9 GHz ~8.4 GHz) 대역에서 6 dB 정도의 이득 특성을 나타내었으며, 시뮬레이션을 통한 전치 증폭기 모듈 자체의 출력 전력 특성은 11.5 dBm 정도로 나타났다. 상기 결과를 통하여, 본 논문에서 개발한 전치 증폭기 모듈은 X-밴드 대역에서 무선 통신 시스템에의 응용을 위한 전치 증폭기 모듈로 적용에 효과적일 것임을 알 수 있다.



참 고 문 헌

- [1] 이문규, 채연식, 이진구, 「Tuner를 이용한 X-band HIC 전력 모듈의 설계 및 제작」, 대한전자공학회 학술대회 논문집, 제19권, 2호, 대한전자공학회 학술대회 논문집 제19권 2호, 1996.11, pp. 555-558, (1996.11)
- [2] S. Shamsinejad, M. Soleimani, and N. Komjani, 「Novel Miniaturized Wilkinson Power Divider for 3G Mobile Receivers, S. Shamsinejad, M. Soleimani, and N. Komjani」, *Microwave and Millimeter Wave Technology, 2008. ICMMT 2008. International Conference on*, pp.1268-1270, (April 2008)
- [3] 김경학, 박미라, 김동욱, 「Ka-대역 10 W 전력증폭기 모듈의 설계 및 제작」, 韓國電磁波學會論文誌. 第20卷. 第3號, pp.264-272, (2009.3)
- [4] 정은영, 이재욱, 이택경, 이우경, 「순차적 급전을 위한 위성 통신용 SIW 2X4 배열 안테나」, 韓國電磁波學會論文誌, 第22 卷, 第2 號, pp.125-130, (2011. 2)
- [5] 한국통신사업자연합회, <<우리나라 위성 주파수 분배 현황 및 위성망 국제등록 국내외 규정분석>>, 한국통신사업자연합회, (2009)
- [6] 윤영, <<RF 능동회로 설계 이론 및 실무>>, 홍릉과학 출판사.
- [7] 신윤기, <<전자회로의 입문>>, 도서출판 인터비전, 2001.
- [8] 金汜晚, 盧泰文, 金永植, 許得鉉, 韓基天, 「이동통신용 전력증폭기의 설계이론 및 개발현황」, 電子工學會誌 第24卷 第 1號, 1997.1, pp.21-37.

- [9] 원용규, 이상철, 정찬수, 「RF통신용 대전력증폭기의 선형화에 관한 연구」, 2003년도 대한전기학회 전문대학교육위원회 학술대회 논문집, 2003.7, pp.31-33.
- [10] 하성재, 홍의석, 「고출력 전력 증폭기의 선형화 기술」, 대한전자공학회 전자공학회지, 제 29권 제4호, p.39-47, 2002.4.
- [11] Majeed A. S. Alkanhal, 「Reduced-Size Dual Band Wilkinson Power Dividers」, *Computer and Communication Engineering, 2008. ICCCE 2008. International Conference on*, pp.1294-1298, (May 2008)
- [12] Lin Yang, Qing-Xin Chu, 「Design of a Compact UWB Wilkinson Power Divider」, *Microwave and Millimeter Wave Technology, 2008. ICMWT 2008. International Conference on*, pp.360-362, (April 2008)
- [13] Bo Zhou, Hao Wang, Weixing Sheng, 「A Novel UWB Wilkinson Power Divider」, *Information Science and Engineering (ICISE), 2010 2nd International Conference on*, pp. 1763-1765, (Dec 2010)
- [14] Jeong-Gab Ju, Jang-Hyeon Jeong, Bo-Ra Jung, Eui-Hoon Jang, Young Yun, 「Highly Miniaturized 1-4 On-Chip Power Divider/Combiner Circuit On Silicon Substrate for Application to Long Distance Wireless Power Transmission」, *2011 International Conference on Information and Industrial Electronics*, pp. V2-173~V2-175, (Oct 2011)
- [15] Y.Yun, 「A Novel Microstrip-Line Structure Employing a Periodically Perforated Ground Metal and Its Application to Highly Miniaturized and Low-Impedance Passive Components Fabricated on GaAs MMIC」, *IEEE Trans Microwave Theory Tech*, 53,

pp. 1951-1959, (June 2005)



감사의 글

어느 덧 시간이 흘러 학부생으로 입학했던 2005년, 대학원생으로 입학했던 2011년을 보내고, 졸업을 앞 둔 2013년에 와 있습니다. 좋은 추억들과 많은 아쉬움이 남는 시간들이었습니다. 지금 이 자리까지 많은 일들이 있었지만, 그 속에서 항상 격려 해주신 많은 분들께 감사하다는 뜻을 전하고 싶습니다.

우선, 항상 부족한 아들이었지만, 자신감을 갖으라는 사랑으로 응원 해주신 부모님과 누나에게 감사하고 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다. 그리고 본 논문을 지도해주시고 조언을 아끼지 않으셨던 운영 교수님, 강인호 교수님, 강석엽 박사님께도 감사의 뜻을 전하고 싶습니다. 학부생 때부터 많은 지도를 해주신 김동일 교수님, 조형래 교수님, 김기만 교수님, 정지원 교수님, 민경식 교수님께도 감사의 뜻을 전하고 싶습니다.

여태 못한 후배 감싸주고 이끌어 준 장현이 형, 정갑이 형. 옆에서 많이 도와주지 못한 대학교 동기이자 같은 실험실 식구가 된 성조. 늦게 들어와서 굳은 일 마다하지 않았던 기준이. 늘 도움이 되어 주었고 힘이 돼주었기에 고마웠었고, 한편으로 제 역할을 제대로 해주지 못한 점에 대하여 미안한 마음이 있습니다.

대학원 생활에 있어서 많은 도움과 응원해주었던, 학과 조교 은정이 누나 및 대학원 선·후배님들이 있었기에 대학원 생활이 행복했습니다.

마지막으로 가족과 떨어져 타지에서 생활하던 저의 곁에서 항상 도와주며 응원을 아끼지 않았던, 꿈이에게 감사하고 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.