

전파교육

대학원 전파 공학 공부에 관하여

이 행 선
서강대학교 전자공학과

I. 서 론

매년 봄마다 대학원에 전파 공학 또는 초고주파 공학을 전공하기 위해 입학한 학생들을 보며, 어떻게 교육을 해야 학생들이 전파 공학을 쉽게 이해하고, 배운 내용을 활용하는데 도움을 줄 수 있을지에 대한 고민에 빠지게 된다. 전파라는 용어는 대학생뿐만 아니라 일반인에게도 널리 알려져 있는 단어이다. 그러나 눈에 보이지 않고, 전파 전공 서적들은 수식으로 가득 차 있어서 가르치는 사람과 배우는 사람 모두 어려움을 겪는 경우가 많다. 특히 신입생들은 대학에서 제공하는 다양한 과목들 중에 어떤 것이 우선적으로 필요하고, 어떤 것이 부차적으로 필요한지에 대한 선택의 기로에 서게 된다. 이런 어려움을 조금이라도 경감하기 위해 대학원생들이 공부를 해 두었으면 하는 사항들에 대해 정리한 내용을 신는다. 본론에 나열되어 있는 과목들을 순차적으로 내용 파악을 하면 좋겠지만, 대학원 과정이란 비교적 짧은 기간에 전파 공학에 대한 지식을 쌓고 학위 논문도 작성해야 하므로, 여러 과목들을 병렬적으로 공부할 해야만 하는 상황에 처할 수도 있다. 그러므로 대학에 체재하는 시간과 상관없이 전파 공학을 전공하여 업으로 삼는 경우, 가치 있다고 여겨지는 분야의 과목들을 본론에서 다뤄 본다.

II. 본 론

우선 전파 공학은 전파를 이용하여 원하는 목적을 달성하는 방법이 주 관심사가 된다는 것을 염두에 두어야 한다. 가장 우선적으로 알아야 하는 항목은 어떻게 해야 원하는 전파가 만들어지고, 어떤 방식으로 변화 또는 행동하는가에 대한 이해이다.

우선 전파는 시간에 따라 변하는 전하 또는 전류에 의해 발생한다. 이 점을 배우기 위해서 이론적으로 전자장론을 공부하거나, 실험 또는 시청각 자료를 통해 경험해야 한다. 전자장론은 전파를 이루는 전기장과 자기장의 관계를 규정한 맥스웰 방정식의 풀이를 포함하고 있다. 맥스웰 방정식의 해를 통해 전기장과 자기장이 전류 분포의 함수라는 것을 이해

<표 1> 전파 공학 기초 과목

항목	과목	내용
전파의 생성 및 산란 원리	전자장론	전송선로, 그린 함수, 등가 원리
초고주파 회로 설계	초고주파 공학	전송선로, 필터, 증폭기, 발진기, 믹서
	안테나 공학	안테나 설계
전파 응용	통신 이론	변조, 복조, 통신 방식
	디지털 회로 설계	시스템 운영
	소프트웨어	신호 처리, 계산 기능 구현, user interface

해야 한다. 그러나 생성된 전파는 주변 환경의 영향을 받아 변화하는데, 임의의 환경일 때, 전자파 산란이 어떤 방식으로 이루어지는지 대해 간단한 해가 존재하지 않음이 전파 공학을 어렵게 만드는 요인이 된다. 비교적 간단한 해가 알려진 경우는 무한 공간에 매우 작은 전류 요소가 존재하는 경우나, 단순한 형태를 갖는 도파관 내부, 공진기 내부 등의 한정된 구조뿐이기 때문이다. 임의의 형태를 갖는 구조물에 의한 전파 산란은 수치해석적인 방법을 써서 해결할 수 밖에 없는 경우가 많은데, 복잡한 구조에서 수치해석적인 해를 얻기 위해서는 컴퓨터 프로그래밍에 대한 숙련도가 추가적으로 필요하다.

원리를 알고 난 후, 두 번째로 필요한 것은 실험적 능력이다. 이론을 실제로 구현하기 위해 실험 장치 혹은 전자 회로를 제작해야 하는데, 이 단계에서도 전파에 대한 지식이 필요하다. 회로 이론으로 불리는 저주파 영역의 전기 신호와 달리, 전파, 즉 초고주파 신호를 처리하는 회로들은 전파의 반사, 감쇄를 고려해야 한다. 이 방면의 내용을 다른 과목이 초고주파 공학이라는 과목이다. 이 과목에서 관심의 대상인 초고주파 회로들은 주로 회로 이론의 가정을 벗어난 빠른 속도로 변하는 전파를 다루고 있다. 즉, 높은 주파수의 발진기 회로, 초고주파 증폭 회로, 주파수를 높이거나 낮추는 믹서, 특정 주파수만 통과시키는 필터를 포함하고 있다. 또한 초고주파 회로들 간에 신호를 전달해 주는 전송 선로와 전송 선로의 전파를 공중으로 복사시켜 주는 안테나에 설계 지식을 갖고 있으면, 실험 장치나 원하는 무선 통신 기기의 설계가 가능해진다.

전파의 발생 원리와 전파 회로 설계 원리를 배우면 전파 공학의 기초 지식은 갖춰졌다고 할 수 있다. 그 다음 단계로는 전파 응용 분야에 대한 지식이다. 전파를 이용하여 무선 통신을 한다든지, 먼 곳에 있는 물체를 감지하는 레이다로 사용한다든지 하는 것이 이 범주에 속한다. 이런 전파 응용 시스템의 설계

를 위해서는 통신 이론을 통해 변조, 복조의 개념을 배울 필요가 있다. 또한 통신 방식에 따라 설계해야 할 초고주파 회로의 이득, 반사 손실, 잡음 특성 등의 스펙을 결정짓는 방법도 습득해야 한다.

이제 각 분야에서 배워야 하는 세부적인 사항에 대해 살펴봐야 한다.

2-1 전자장론

대학원에서 배워야 할 전자장론의 내용 중 가장 중요한 것은 맥스웰 방정식의 풀이 방법이다. 이를 위해 알아야 할 것은 그린 함수 이론, 등가 원리가 있다. 그린 함수 이론은 미분 방정식 풀이 방법의 하나로, 주어진 미분 방정식과 경계 조건을 만족하는 함수를 임의의 소스(source) 분포에 대해 구하는 방법을 알려주는 이론이다. 전자장론에서 미분 방정식이란 맥스웰 방정식이므로 정해져 있는 셈이다. 그러나 경계 조건과 전류 분포에 해당하는 소스 분포는 문제마다 달라진다. 경계 조건을 형성하는 것은 전류 분포의 주변에 산재해 있는 다른 물질의 분포가 된다. 예를 들어 금속판이 전류 분포 근처에 놓여 있다고 하면, 그 금속판이 경계 조건을 형성하게 된다. 금속 같은 경우, 자유롭게 움직이는 전하를 갖고 있으므로, 표면에서 전기장의 접선 성분을 0으로 만드는 경계 조건을 형성한다. 경계가 좌표계를 이루는 축과 평행하거나 수직이면, 미분 방정식의 변수 분리 방법을 이용하여 정규 함수 형태의 해를 얻을 수 있다. 경계 조건은 동일하나, 임의의 전류 또는 전하 분포에 대한 해를 얻을 때 유용한 개념이 그린 함수이다. 그린 함수는 지정된 경계 조건하에서 소스가 델타 함수 형태로 주어진 경우 해를 의미하므로, 그린 함수를 구했다면 임의의 분포의 소스인 경우는 그린 함수와 컨볼루션(convolution)을 계산하여 생성되는 전자파를 계산해 낼 수 있다. 그러나 전파 공학에서 다루는 구조물의 형태는 변수 분리 방법을 적용할 수 있는 단순 구조가 아닌 경우가 많으므로 그

린 함수가 유용하긴 하나, 그 자체로 해결할 수 있는 문제는 별로 많지 않다. 더 일반적인 형태의 경계조건을 가진 문제를 해결할 수 있는 접근 방법으로 등가 원리가 있다. 등가 원리는 주어진 경계 조건을 만족하는 그린 함수를 찾는 대신, 문제 푸는 사람이 경계 조건을 임의로 정하고, 이 경계 조건을 만족하는 그린 함수를 이용하는 대신, 주어진 경계 면에는 등가 전류를 도입하여 맥스웰 방정식을 푸는 방식이다. 등가 전류는 여전히 미지수이지만 원래의 경계 조건을 이용하여 등가 전류를 찾아내는 방식이다. 등가 원리는 전자파가 물체에 의해 산란되는 정도를 예측할 수 있도록 해주므로 전자장 이론의 매우 중요한 부분이 되고 있다. 등가 원리는 그 자체로써 엄밀한 미분 방정식의 해이지만, 근사적인 계산 방법의 시작점으로도 중요성을 갖는다. 특히 경계 조건을 무한 공간으로 가정한 경우의 해는 수치 해석 방법인 모멘트 방법(moment method)와 안테나 공학에서 널리 활용되고 있다.

2-2 초고주파 공학

초고주파 공학은 전자 회로 소자를 이용하여 전파를 생성하고, 부품 사이에 전달해 주어 전파를 이용하여 설계자가 원하는 기능을 구현하는 방법을 알려주는 과목이다. 전파의 전달 및 생성 과정을 전자장론에서 다루는 수식을 이용하여 설명할 수는 있지만, 전자장론에서 배운 일반적인 경계조건하에서 맥스웰 방정식의 해가 계산 절차가 부담스러워 초고주파 회로 설계에 바로 이용하기에는 무리가 따른다. 회로 설계에 사용할 수 있을 정도로 단순화한 경계 조건에 대한 해를 이용하여 전파 특성을 설명하는 방법이 전송 선로 이론이다. 즉, 전송 선로 이론은 전파 진행 방향에 대해 경계 조건의 변화가 없고, 무한히 길다는 가정 하에 맥스웰 방정식을 푼 해이다. 단면의 구조가 변화가 없으므로, 전파의 진행 방향에 대해 자유도가 1개뿐이어서 해 또한 매우 간단하다. 즉,

진행파와 반사파 두 성분의 합으로 전송선 내의 전기장과 자기장의 표현이 가능하다.

전송 선로로 연결된 초고주파 회로들을 설계할 때 우선적으로 염두에 두어야 할 것은 반사파를 줄이는 것이다. 반사파에 의해 의도하지 않은 방향으로 신호가 왜곡되고, 전력 전달도 방해받는다. 또한 전파를 전달하는 전송 선로에서 신호 전달하는데 시간 지연이 생긴다는 점도 유의해야 한다. 시간 지연은 초고주파 회로에서 위상차의 형태로 관찰되는데, 반사파와 위상지연 두 가지가 저주파 회로 설계에서 별로 염두에 두지 않던 현상이어서 주의해야 한다. 즉 초고주파 회로 설계에서는 서로 다른 부품의 입력 단자에 전파가 전달될 때 시간 지연과 반사파에 의한 신호의 왜곡을 최소화하도록 목표를 갖고 설계해야 한다. 트랜지스터와 다이오드 등의 능동 소자들을 포함한 회로들은 두 부품의 전압, 전류 간의 비선형 특성에 의해 생기는 의도하지 않은 방향의 전파 형태의 왜곡을 최대한 억제해야 한다. 또한 공간상에 복사되는 전파를 안테나를 통해 수신하는 회로를 구성하는 경우, 무한 공간이라는 경계 조건에 의해 얻은 맥스웰 방정식의 해를 이용하게 되는데, 전파 세기가 거리에 반비례한다는 특징을 갖고 있다. 이로 인해 원거리에서 전파를 수신하는 경우, 세기가 매우 약해지고, 잡음에 의한 영향이 커진다는 점을 염두에 두어야 한다. 즉, 세 가지 비이상적인 조건을 회피하면서 회로 설계를 진행해야 한다.

초고주파 공학에서 다루는 부품들은 크게 수동 회로와 능동 회로로 나뉜다. 수동 회로는 전송 선로를 포함하여 분배기, 커플러, 필터 등을 다루고, 능동 회로는 증폭기, 발진기, 믹서 등을 다룬다. 수동 회로는 반사파를 줄이기 위한 임피던스 정합, 능동 회로는 잡음과 비선형 출력을 억제하는 것을 염두에 두고 설계한다.

2-3 안테나 공학

안테나 공학은 회로를 이루는 전송 선로를 따라 진행되는 전파를 공중으로 날려주는 역할을 하는 부품이다. 전파의 가장 큰 특징인 전송 선로 없이 신호를 전달할 수 있게 해주는 역할을 한다. 안테나의 동작은 세부적으로 보면 전송 선로를 따라 진행해 온 전파를 이용하여, 공중에 날려 보낼 때 원하는 방향으로 방출될 수 있도록 전류 분포를 만들어주는 역할이다. 전파의 방출 방향은 전자장론에서 빈 공간의 경계 조건하에서 유도했던 그린 함수를 사용한 등가 원리를 이용하면 계산이 가능하다. 원거리로 전파를 전송하는 것이 안테나의 주목적이므로, 관측 지점이 원거리라는 조건하에 근사식을 구하면 좀 더 간단한 수식으로 복사 패턴의 계산이 가능하다. 안테나를 설계할 때, 설계자가 원하는 전류 분포를 하나의 구조물로 실현 가능한 경우는 구조물의 형태가 원하는 방향으로 전파가 방출되도록 구조물의 형태를 설계하면 되고, 이것이 어려운 상황에서는 복사 패턴이 알려져 있는 방사체를 여러 개 조합하여 원하는 방향의 복사 패턴을 형성하면 된다. 이런 형태의 안테나를 배열 안테나라고 부른다. 초고주파 회로의 전력 효율성이 중요시됨에 따라 전파 방출 방향을 더욱더 정밀하게 제어할 필요가 생겨, 배열 안테나의 설계 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 원하는 방향으로 전파 방사라는 기능을 수행하면서 동시에 입력 단자에서 반사파를 최소화하여 신호 왜곡의 최소화와 최대 전력 전송을 가능하도록 설계해야 한다.

24 전파 응용(통신 이론 등)

전파의 생성 원리와 회로 소자를 이용한 실험 및 설계가 가능해지고 나서, 전파를 이용하여 설계자가 원하는 기능을 갖는 시스템을 설계할 준비가 됐다. 그러나 무선 통신 규격에 맞는 시스템이나 오류 확률을 줄이는 등의 효율적인 설계를 위해서는 응용 분야의 세부 지식에 대한 학습이 필요하다. 무선 통

신 서비스들에서 사용하는 전파들이 안테나에서 방출된 후 공유된 빈 공간에서 퍼져 나가므로, 서로 간섭을 일으킬 수 있다는 것을 염두에 둔 설계가 필요하다. 무선 통신 법규에 의해 사용할 수 있는 주파수 대역이 정해지고, 변조 방식에 따라 먼 곳에서 전파 신호를 수신하여 원 신호를 복조할 때, 오류 확률에 의해 정해지는 신호 대 잡음비, 최적의 송수신 회로 형태 등이 결정된다. 즉, 무선 통신 방식에 따라 초고주파 회로에서 허용 가능한 잡음 지수, 증폭기 구성 방식, 발진기 위상 잡음 등을 결정할 수 있어야 그에 맞는 초고주파 회로의 설계가 가능해진다.

25 디지털 회로 및 소프트웨어 지식

전파 공학을 전공하고 전공 지식만 이용하여 독립적인 시스템을 설계하는 경우, 구현이 쉽지가 않은데, 이는 개별적인 동작 원리나 부품 설계 지식은 있으나 독립적인 완성품으로의 시스템 설계에 대한 경험을 갖지 못한 경우가 많다. 독립적인 완성품이라면 사용자와 상호 작용을 해야 하고, 지시나 명령에 따라 독립적으로 동작해야 한다. 이러한 기능을 수행하기에 편리한 것이 컴퓨터이다. 컴퓨터에서 제어를 하거나 또는 간단하게 마이콤을 포함한 회로를 구성하여 제어해야 하는 경우가 많다. 이를 위해 디지털 회로 설계에 대한 지식과 소프트웨어 작성에 대한 지식을 습득하는 것이 필요하다. 전파를 이용한 무선 통신 시스템이나 레이다, 센서 등을 구현할 때, 복조된 신호로부터 정보를 추출할 때, 신호 처리가 필요한 경우가 많아지고 있는데 이때에도 소프트웨어 작성에 대한 숙련도가 필요하다.

소프트웨어에 대한 지식은 수치해석적인 방법을 이용하여 전파 문제를 해결하는 경우에도 필요하다. 과거와 달리, 높은 복잡성을 갖거나 설계 대상이 대규모의 계산을 필요로 하는 경우에는 소프트웨어의 구조 또한 복잡해진다. 이런 문제들의 해결에 객체 지향의 개념을 구현한 소프트웨어 언어를 활용한다

면, 기존의 포트란이나 C 언어로 작성하는 것보다 복잡도를 낮추고 효율적인 최적화를 이룰 수 있다.

Ⅲ. 결 론

전파 공학을 전공함에 있어서 필요한 과목에 대해 살펴봤다. 앞에 열거한 모든 과목에 대한 깊이 있는

지식이 있는 경우가 가장 이상적이지만, 짧은 기간 동안 모두 다 파악하는 것은 쉬운 일이 아니다. 그러나 학교를 졸업하고도 틈틈이 본론에 열거된 분야에 대해 관심을 갖고 이해도를 높인다면, 전파 공학에 대한 균형 있는 이해와 전파 응용 시스템에 대한 개발 능력을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

≡ 필자소개 ≡

이 행 선



1995년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

2000년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

2000년 8월~2004년 2월: LG전자 선임

연구원

2004년 2월~현재: 서강대학교 전자공학과 부교수

[주 관심분야] 전파 전파, 초고주파 산란 해석, EMI/EMC