

발 간 등 록 번 호

17-1721137-000153-01

RRA-2023-ETC-101

전파인력 현황 및 미래 전파인력 양성 방안 연구

2023. 12.



한국전자과학회



전파인력 현황 및 미래 전파인력 양성 방안 연구

2023. 12.



한국전자파학회

제 출 문

본 보고서를 「전파인력 현황 및 미래 전파인력 양성 방안 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 12. 15.

연구책임자 : 이문규 (서울시립대학교)

연 구 원 : 박지연 (한국전자과학회)

유종원 (한국과학기술원)

김병관 (충남대학교)

양성준 (서울과학기술대학교)

박정훈 (서울시립대학교)

요 약 문

1. 과 제 명 : 전파인력 현황 및 미래 전파인력 양성 방안 연구
2. 연 구 기 간 : 2023.04.17.~2023.12.15.
3. 연구책임자 : 이문규
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부 내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. 전파인력 배출 실태 조사	이문규 박지연 박정훈													
2-1. 수요처 교육 과정 요구사항 분석	유종원 박정훈													
2-2. 미래 전파 신기술 수요조사	양성준 박정훈													
2-3. 전파인력양성 변화상	김병관 박정훈													
3. 시사점 도출	연구 참여자													
4. 보고서 작성	연구 참여자													
분기별 수행진도 (%)		0			40			30			30			

나. 세부 과제별 추진사항

(1) 자료 설문 조사

○ 전국주요 대학 전파 교과목 10년간(2014년~2023년) 이수율.

- 전문대학 포함 32개교(목표 30개교 이상).
- 수요처(산업체, 연구소 등) 팀장급 대상 수요 전과 교육 과정(커리큘럼).
- 분야별 팀장급 이상 직급 20여 명 전과 교육 과정 및 방법 조사.
- 미래 전과 신기술에 대한 산업체 수요조사.
- 5년 후 산업체 수요 신기술 조사.

(2) 자료 분석

- 정례 회의.
 - 대상: 과제 수요기관, 연구참여자, 산업체 연구소, 전과교육기관, 전과 관련 전문가 등.
 - 참여연구원 월 1회 대면/비대면 회의.
- 발표 및 공청회 의견 수렴.
 - 중간보고 발표 (2023년 8월 29일).
 - 최종보고 발표 (2023년 11월 28일).
 - 외부 전문가 자문회의 (2023년 12월 14일).

5. 연구 결과

가. 전파인력 배출 실태 조사

- 전파 관련 핵심 교과목을 이수한 전파인력 배출 현황 표본 조사.
- 조사 내용: 전국 30여 개 주요 대학 대상 과거 10년간(2014년~2023년) 학기별 전파 관련 핵심 교과목 수강생 수.
 - ※ 전파 관련 핵심 포함 교과목: 대학/전문대학에서 평면파, 입사 및 반사 특성, 전송선로 등 전파의 기본 성질을 다루는 교과목 (예: 전자기학2, 전자장 등의 교과목).
 - ※ 전파인력 정의: 전파인력은 직·간접적으로 전파 활용 분야에 종사하는 인력으로 본 연구에서는 대학에서 전파 관련 핵심 교과목을 이수한 자로 정의한다.

나. 미래 전파인력양성을 위한 대학 교육 변화상

- 4차 산업혁명 산업생태계 변화를 고려한 창의적 전파인력양성을 위해 수요처(산업체, 연구소, 대학 등)에서 요구하는 전파 관련 학부/대학원 교육 과정(커리큘럼) 및 교육 방법 조사.
- 조사 내용: 전국 30여 개 주요 대학 대상 과거 10년간(2014년~2023년) 학기별 전파 관련 핵심 교과목 수강생 수.
 - ※ 전파 연관 교과목 예시: 전자기학, 초고주파 공학, 초고주파 능동회로, 초고주파 수동회로, 안테나 공학 등.
- 세계 주요 대학의 전파 관련 교육 과정 및 교육 방법 조사.
- 미래 전파 신기술에 대한 산업체 수요조사.
- 미래 전파인력양성 변화상 조사.

다. 전파인력양성을 위한 방안 마련

- 미래 전파인력양성을 위한 방향성 및 정책 시사점 연구.

6. 기대효과

- 가. 전파 신산업과 전파융합산업에 부합되는 신규 전파인력양성 시스템 개발에 기여

- 나. 전파인력양성 시스템이 대학 교육 과정으로 반영되어 미래 잠재적
전파인력 발굴 및 육성에 기여
- 다. 전파 산업에서 전문인력(석·박사급)에게 로드맵 제공

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
워크스테이션	대	1	데이터 분석	서울시립대학교	확보	
노트북	대	2	자료취합 및 정리	한국전자과학회/ 서울시립대학교	확보	
고성능 프린터	대	1	자료출력	한국전자과학회	확보	

8. 기타사항

- 특이사항 없음.

최종보고서 초록

국문 초록

인공지능(AI), 사물 인터넷(IoT), 빅 데이터, 모바일, 클라우드 컴퓨팅 등이 융합되는 4차 산업혁명, 디지털 대전환 시대를 맞이하고 있으며, 산업 생태계가 이에 따라 변화하고 있다. 이런 전 세계적 시류에 발맞추어 현 전파인력 현황을 진단하고 미래 요구되는 창의적 전파인력양성 방안에 대해 연구를 수행했다. 전파인력 배출 현황, 산업체 수요 교육 방법 및 미래 기술 조사, 미래 전파인력양성을 위한 대학 교육에 대한 연구를 기초로 하여 미래 전파인력양성 방안을 제안한다.

전파인력 배출 현황 부문에서는 국내 32개교 66개 학과(부)를 대상으로 전파 핵심 교과목 이수 학부 전파인력 배출 현황과 전파 핵심 교과목 학생 인식에 대해 조사하고 국외 전파교육 운영 동향을 알아보고, 전파 핵심 교과목 운영 교수가 말하는 수업 개선 사항에 대해 살펴보았다. 전파 핵심 교과목의 이수현황을 2014년부터 2023년까지 10년간 조사한 결과 2015년 이후 9년간 지속적으로 감소하고 있는 실정이다. 2015년 이수자 대비 2023년 이수자의 감소율은 17%이고, 연환산 감소율은 2%이다. 전파 교과목 이수자 감소 원인에 대해 살펴보면, 1) 전파교과목에서 요구하는 수학(미적분, 벡터, 기하) 선택자의 비율이 낮고 수학 기초가 부족한 학생들이 증가, 2) 전파교과목과 연계되는 산업에 대한 이해가 부족하여 중요 교과목 경쟁에서 후 순위, 3) 반도체, AI 분야와 달리, 정부 주도의 학부생 대상 전파인력양성프로그램 전무라 볼 수 있다.

산업체 수요 교육 방법 및 미래 기술 조사 부문에서는 관련 수요조사를 진행하였다. 산업체에서 전자기(EM) 해석 tool, 회로설계 tool, SW coding, 측정장비 교육에 대한 필요성이 매우 높았으며, AI, SDR, 장비제어에 대한 교육 필요성은 상대적으로 높지 않았다. 2021년 대비 전파 분야 유망 산업·기술에 대한 전망을 설문조사하였다. 1) 방송·정보전달 (통신) 분야, 2) 레이더·센싱 분야, 3) 무선에너지 전송 및 응용 분야에서 유

망 기술은 각각 1) mmWave massive MIMO 시스템, Full Duplexing 통신, Terahertz 통신, WiFi-7 모뎀 기술, V2X 기술, 군집 LEO 통신 기술, 2) 인지 레이더(Cognitive Radar), 군집형/Constellation 중소형 위성 SAR, 5G 레이더, UAV 탑재 지하 투과 GPR 레이더, 우주감시레이더, UWB 레이더, 차량 레이더, 3) 원거리 무선충전, 전기차 무선충전, LEV 무선충전, 전파기술 기반의 의료 진단, 전파 에너지를 활용한 전파치료)이다. 여기서 Terahertz 통신과 Full Duplexing 통신, 5G 레이더와 UWB 레이더, 원거리 무선충전에 대한 관심도가 낮아졌다.

미래 전파인력양성을 위한 대학 교육 부문에서는 공개강좌와 국내 학부 전파교육 변화에 대해 알아보았다. 전세계적으로 온라인 플랫폼을 활용한 개방형 교육을 지향하면서 OCW(Open Course Ware), Standford Online, MOOC(Massive Open Online Courses)에서도 다양한 전파 관련 교육 프로그램이 제공되고 있다. 일부 실험 장비/SW 교육도 Virtual 장비를 이용한 온라인상에서 진행되고 있는 등 코로나 팬데믹을 거치면서 활용도가 높아지고 있다. 전파교육의 방법론과 환경도 변화를 맞고 있는데, HW 중심 교육에서 SW 중심 교육으로, 수식을 이용한 전자기 현상 해석에서 EDA(Electronic Design Automation)를 활용한 직관적 설계로, 개별 요소기술 설명에서 종합적 통합 문제해결(PBL, Problem-Based Learning)로, 수천만 원대 고가 장비 활용 교육에서 수백만 원 이하의 저가 장비 활용으로, 정규 교과 중심에서 정규 교과와 비교과 과정을 함께 운용하는 방향으로 이동하고 있다.

본 연구에서는 미래 전파인력 양성을 위해 다음과 같은 제안을 하는 바이다. 첫째, Virtual RF Edu Center, 즉 전국대학/연구소/산업체 간 네트워킹이 가능한 가상전파교육센터를 제안한다. 둘째, 정부 지원 취업 연계 학과 프로그램을 제안한다. 셋째, 전파 분야 학부 경진 대회를 제안한다. 넷째, 중소기업 전파 분야 현장문제 발굴 및 산학장학생 지원 사업을 제안한다. 다섯째, 학부-전문인력 간 Bridge Program으로 전파실전문제 연구단 운영을 제안한다.

영문 초록

We are encountering the fourth industrial revolution and the digital transformation era, where artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), big data, mobile, and cloud computing converge, and the industrial ecosystem is undergoing significant change accordingly. In line with this global trend, we diagnosed the current status of the human resources in radio wave technology and conducted research on ways to cultivate the creative talent in this field for the future. We propose a plan to develop future talent in radio wave technology based on our research into current human resource production, industrial demand surveys for educational methodologies and future technology, and university education aimed at fostering upcoming professionals in this field.

In the section on the status of radio wave personnel production, we conducted a survey across 66 departments (divisions) within 32 domestic universities to assess the current status of the radio wave individuals who have completed undergraduate core radio wave courses. Additionally, we investigated student perceptions of these core subjects, explored overseas trends in radio wave education, and examined the improvements mentioned by professors teaching the core courses. Over a 10-year survey period spanning from 2014 to 2023, the completion rates of the core radio wave courses has been continuously decreasing for nine years since 2015. The reduction rate of those who completed the courses in 2023 is 17%, compared with the completion rate in 2015, resulting in an annualized decline rate of 2%. Analyzing the decline in the number of undergraduate students completing these course reveals several reasons: 1) the low proportion of students opting for the necessary mathematics courses (such as calculus, vectors, geometry) essential for the radio wave courses and the increasing number of students with inadequate foundational math skills, 2) a lower priority in the student competition for important subjects due to the lack of industry understanding linked to these course, 3) no government-led workforce training programs for undergraduate students in radio wave field unlike the semiconductor and AI fields.

In the section on industrial demand surveys for educational methodologies and future technology, we carried out specific surveys related to these demands. In

industry, the need for training on electromagnetic (EM) analysis tools, circuit design tools, SW coding, and measurement equipment is substantially high, but the requirement for training on AI, SDR, and equipment control is relatively not high. We conducted a survey on the outlook for promising industries and technologies in the radio wave field compared them with the outlook from 2021. Promising technologies in the fields of 1) broadcasting, information-delivery (communication), 2) radar, sensing, 3) wireless energy transmission, and applications are 1) mmWave massive MIMO system, full-duplexing communication, terahertz communication, WiFi-7 modem technology, V2X technology, swarm LEO communication technology, 2) cognitive radar, swarm/constellation small and medium-sized satellite SAR, 5G radar, UAV-mounted underground penetrating GPR radar, space surveillance radar, UWB radar, vehicle radar, 3) long-distance wireless charging, electric vehicle wireless charging, LEV wireless charging, medical diagnosis based on radio wave technology, and radio wave therapy using radio wave energy, respectively. Here, interest in terahertz communication, full-duplexing communication, 5G radar, UWB radar, and long-distance wireless charging has decreased.

In the section on university education for nurturing future radio wave personnel, we examined open lectures and observed the changes in radio wave education within domestic undergraduate programs. Aligned with the global trend of open education through online platforms, various radio wave-related education programs are available through open course ware (OCW), Stanford online, and massive open online courses (MOOC). Training for certain experimental equipment and SW is now conducted online using virtual tools, and this method experienced increased utilization during the coronavirus pandemic. The methodology and environment of radio wave education are also undergoing changes. There is a shift from HW-centered education to SW-centered education, from electromagnetic phenomenon analysis using formulas to intuitive design using electronic design automation (EDA), from individual element technology explanation to comprehensive integrated problem-solving based learning (PBL), from using expensive equipment costing tens of millions of won to using low-cost equipment costing less than a few million won, and from focusing on regular curriculum to operating regular and extracurricular courses together.

In this study, we make the following suggestions to train future radio wave personnel. Firstly, we recommend establishing a virtual RF education center facilitating networking among universities, research centers, and industries nationwide. Secondly, we propose a government-supported program within departments associated with employment. Thirdly, we suggest organizing an undergraduate competition focused on the field of radio waves. Fourthly, we present a project aimed at identifying industry-related issues in small and medium-sized businesses and supporting industry-academic scholarships. Lastly, we introduce the operation of research groups dedicated to addressing practical problems in the radio wave field, serving as a bridge program between undergraduate students and professional expertise.

색 인 어	한글	미래 전파인력양성, 전파교육, 미래 전파 신기술
	영문	Cultivation of Future Human Resources in Radio Wave Technology, Radio Wave Education, New Technology for Future Radio Waves

SUMMARY

1. 연구의 필요성

- 지금 대한민국과 선진국들은 디지털 대전환 사회에 진입하고 있고 경제뿐만 아니라 사회 전 분야에서 큰 변혁이 진행되고 있음.
- 디지털 대전환을 이끄는 ICT는 국내 GDP에서 차지하는 비중은 10% 이상, 수출의 30~40%를 차지하는 등 핵심 기술로 자리를 잡고 있음. 특히, ICT는 2020년~2022년 동안 전세계를 휩쓴 코로나 팬데믹을 거치면서 디지털 대전환의 속도가 가속되고 있음.
- 전파공학은 3 kHz에서 300 GHz 주파수 대역에서 전자파의 입사·반사·투과 현상을 다루는 전기전자의 모태가 되는 학문으로 회로, 반도체 소자, 통신 및 레이다 등 다양한 전자기 소재·부품·시스템과 서비스의 바탕이 되는 기술 분야임.
- 기능적으로 전파는 변조에 의한 정보전송 기능(무선·이동 통신), 전파의 파동 특성인 입사·반사·투과 등을 이용한 레이다·센싱 기능, 전자파를 파동 에너지로 활용하는 무선전력전송·에너지 응용 기능으로 나눌 수 있음.
- 전파를 직간접으로 활용하는 산업은 방송에서 시작하여 무선통신, 이동통신, 지상 및 위성 레이다, 위성통신, 에너지 전송으로 확대·발전하고 있음.
- 또한 전파는 반도체 기술, 인공지능으로 대표되는 SW 기술의 진보와 함께 스마트 시티 및 IoT, 위성 (통신과 관측), 스마트 공장, 디지털 트윈, 메타버스, 의료 IT, 정보 보안 등 다양한 분야에서 기술의 공진화(Co-Evolution)가 진행되고 있음.
- 미래를 선도할 전파교육과 인력양성을 위해 다양한 대내외 환경변화인 4차 산업혁명과 인공지능 SW의 발전, 반도체 집적도의 향상, 전파 융복합 응용 신산업의 확대, 인구변화와 지역소멸 이슈 등을 고려한 새로운 교육 내용, 교육 방법, 교육 환경의 개선이 필요함.

2. 연구결과의 요약

가. 학부 전파인력 배출 현황

- 전국 32개교 66개 학과(부)에서 개설되는 전파핵심 교과목의 이수 현황을 2014년부터 2023년까지 10년간 조사한 결과 2015년 이후 9년간 지속적으로 감소하고 있음.
- 2015년 이수자 대비 2023년 이수자의 감소율은 17% (연환산 감소율 2%).
- 전파교과목 이수자 감소의 원인을 정리하면 다음과 같음.
 - 전파교과목에서 요구하는 수학(미적분, 벡터, 기하) 선택자의 비율이 낮고 수학 기초가 부족한 학생들이 증가.
 - 전파교과목과 연계되는 산업에 대한 이해가 부족하여 중요교과목 경쟁에서 후 순위.
 - 정부 주도의 학부생 대상 전파인력양성프로그램 전무함.
- 전파교과목 수강에 대해 대한 학부/대학원 연구생들의 설문 결과 기초 수학의 어려움, 교과목의 활용도(실무 연결)에 대한 이해 부족을 교과목 이수의 어려움으로 들었고, 이를 개선하는 방법으로 실무와 활용의 예를 늘리고, 전자파를 시각적으로 표현하는 EDA tool 도입을 요청하였음.

나. 전파인력양성을 위한 방안 마련

- 산업체 현업에서 바라보는 교육 방법에 대한 설문 분석 결과.
 - 전자기(EM) 해석 tool, 회로설계 tool, SW coding, 측정장비 교육에 대한 필요성이 매우 높았음.
 - AI, SDR, 장비제어에 대한 교육 필요성은 상대적으로 높지 않음.
- 전문 인력양성에 필요한 교육내용(커리큘럼)의 2021년 조사와 비교 변화.
 - 방송·정보전달 (통신): mmWave massive MIMO 시스템, Full Duplexing 통신, Terahertz 통신, WiFi-7 모뎀 기술, V2X 기술, 군집 LEO 통신 기술.

- ✓ ‘Terahertz 통신’ 과 ‘Full Duplexing 통신’ 에 대한 관심이 낮아짐.
- 레이더 · 센싱: 인지 레이더(Cognitive Radar), 군집형/Constellation 중소형 위성 SAR, 5G 레이더, UAV 탑재 지하 투과 GPR 레이더, 우주감시레이더, UWB 레이더, 차량 레이더.
 - ✓ ‘5G 레이더’ 와 ‘UWB 레이더’ 에 대한 관심도가 낮아짐
- 무선에너지 전송 및 응용: 원거리 무선충전, 전기차 무선충전, LEV 무선충전, 전파기술 기반의 의료 진단, 전파 에너지를 활용한 전파치료.
 - ✓ ‘원거리 무선충전’ 은 시장 가치가 상대적으로 높지 않아 관심도가 낮아짐.

다. 미래 전파인력양성

- 전세계적으로 온라인 플랫폼을 활용한 개방형 교육을 지향하면서 OCW(Open Course Ware), Stanford Online, MOOC(Massive Open Online Courses)에서도 다양한 전파 관련 교육 프로그램이 제공되고 있음.
- 일부 실험 장비/SW 교육도 Virtual 장비를 이용한 온라인상에서 진행되고 있는 등 코로나 팬데믹을 거치면서 활용도가 높아지고 있음.
- 전파교육의 방법론과 환경도 변화를 맞고 있음.
 - HW 중심 교육 → SW 중심 교육으로 변화.
 - 수식을 이용한 전자기 현상 해석 → EDA를 활용한 직관적 설계.
 - 개별 요소기술 설명 → 종합적 통합 문제해결 (PBL).
 - 수천만 원대 고가 장비 활용 교육 → 수백만 원 이하의 저가 장비 활용.
 - 정규 교과 중심 → 정규 교과 + 비교과 과정 (Open course, EDA tool 등 활용).

라. 미래 전파인력양성을 위한 제안

○ Virtual RF Edu Center(가상전파교육센터).

- 전국대학/연구소/산업체 네트워킹이 가능한 ‘가상전파교육센터(안)’.
- 표준 실험 교안 개발 - 실험 조교 (TA) 훈련.
- (수업활용) 전국 대학과 산업체/연구소를 유기적으로 네트워킹할 수 있는 현장문제 Online 세미나 개최.
- 교육 콘텐츠 개발, 보급, 관리시스템.
- 각 대학과 기관에서 운영하는 전파 관련 Micro/Nano-degree 콘텐츠 지원.
- 교육용 EDA tool 보급 (EM, 회로 tool).

○ 정부 지원 지역특화·취업연계 전파학과 프로그램(계약학과) 운영.

- 중소기업의 취업과 연계하여 대학은 전파 전문인력 양성하고 기업은 전파 전문인력 제공 받는 프로그램.
- 대학-기업-정부 간 유기적 공조 및 협력으로 서로 간 win-win 가능.
- 정부와 대학 간 협약으로 지역특화 중소기업이 필요로 하는 전파 관련 학위과정 설치.
- 전파 중소기업 우수 인재 양성 및 근로자 장기 재직 유도 가능.
- 주관 대학에 계약학과 운영비 지원.
- 학자금 지원, 교육 과정 실무 비용 지원, 취업 안정성 확보로 전파 분야 인력 유입 기대.
- 이론의 실무 적용 가능, 신산업 접근성 확대 및 기술 개발 기회 제공.
- 다양한 실무 경험으로 전파기업 현장에 필요한 맞춤 인력양성.
- (예) 대기업 지원 타 분야 프로그램.

(1) 삼성전자 지원 반도체, 모바일, 통신, SW 분야는 성균관대(반도체시스템공학과), 경북대(모바일공학과), 연세대(시스템반도체공학과), 한국과학기술원(반도체시스템공학과), 포항공대(반도체공학과), GIST(반도체공학과), DGIST(반도체공학과), UNIST(반도체공학

과), 고려대(차세대통신학과), 성균관대(지능형소프트웨어공학과).

(2) 현대자동차 지원 Mobility 분야는 고려대(스마트모빌리티학부). :SK하이닉스 지원 반도체 분야는 한양대(반도체공학과).

(3) LG디스플레이 지원 디스플레이 분야는 연세대(디스플레이융합공학과).

(4) LG CNS 지원 AI 분야는 고려대(AI데이터사이언스학과).

• (예) 정부 특정분야 계약학과 지원 사업.

(1) 미래차 분야 지원 대학, 동강대(AI기반 e-모빌리티과), 한국항공대(융합기계공학과), 포항대(스마트메카), 우석대(미래전기자동차공학과).

(2) 탄소 중립 분야 지원 대학, 동아대(스마트생산융합시스템공학과), 경상국립대(지능시스템공학과), 순천대(스마트팩토리혁신학과).

(3) 특화산업분야 지원 대학, 한국해양대(친환경스마트 조선기자재학과), 동서대(클라우드융합학과), 한국승강기대(스마트승강기공학과), 중원대(바이오헬스산업학과).

○ 전파 분야 학부 경진대회.

- 미래 전파 전문인력양성을 위한 학부 논문 경진 대회 (학회 중심).
- 전파기술을 활용한 문제해결형 인재 양성을 위한 해커톤 대회(산업체 중심) 개최 지원.

○ 중소기업 산학장학제도.

- 중소기업에서 제안하는 현장 문제를 발굴하여 기업과 정부가 지원하는 산학장학제도.
- 기업 현장 문제 학위 논문 연구 지원(정부), 2년간 full-time 산학장학 지원(기업).

○ 학부-전문인력 Bridge Program, 전파실전문제 연구단 운영.

- 전파연구센터(RRC)에 미래 전파연구인력(학부연구생) 포함.
- 중소기업매칭-학부전파실전문제연구단 운영.

목 차

제1장 서론	20
제1절 들어가는 말	20
제2절 연구의 목표	21
제3절 연구내용 및 범위	22
1. 전파인력 배출 실태 조사	22
2. 미래 전파인력양성을 위한 대학 교육 변화상	22
3. 전파인력양성을 위한 방안 마련	22
제2장 미래 전파인력양성	23
제1절 전파인력 배출 현황	23
1. 전파 핵심 교과목 이수 학부 전파인력 배출 현황조사	23
2. 전파 핵심 교과목 학생 인식 조사	28
3. 국외 전파교육 운영 동향	31
4. 전파 핵심 교과목 운영 교수 수업 개선 사항	37
제2절 산업체 수요 교육 방법 및 미래 기술 조사	40
1. 산업체 교육 방법 수요조사	40
2. 미래 전파 신기술에 대한 산업체 수요조사	48
제3절 미래 전파인력양성을 위한 대학 교육	60
1. 공개강좌(Open Course)	60
2. 국내 학부 전파교육 변화 예	69
제3장 결론 및 시사점	75
제1절 요약 및 결론	75
1. 학부 전파인력 배출 현황	75
2. 산업체 수요 분석	75
3. 미래 전파인력양성	76
제2절 미래 전파인력양성을 위한 제안	77
부록 1: 전파 핵심 교과목 이수자 데이터	81
부록 2: 전파 분야 유망 산업·기술 정의	89

표 목 차

표 2-1 설문 양식 예시	24
표 2-2 연도별 수강 인원 및 비율	27
표 2-3 2022~2023학년도 수능 국어/수학 선택과목별 응시 인원 및 비 율	38

그 립 목 차

그림 2-1 맥스웰 방정식, 파동 방정식, 전송 선로	23
그림 2-2 지난 10년간(2014~2023년) 전과교과목 이수 추이	27
그림 2-3 일리노이 대학 Electrical & Computer Engineering 학부과정 커리큘럼	33
그림 2-4 MIT EECS 학부과정 커리큘럼	33
그림 2-5 스탠포드 대학교 EE 학부과정 커리큘럼(2023~2024)	34
그림 2-6 케임브리지 대학교 학부과정 커리큘럼	34
그림 2-7 도쿄 대학교 EEIC 학부과정 커리큘럼	35
그림 2-8 Hype Cycle의 5단계와 기대치	49
그림 2-9 MIT OCW	61
그림 2-10 MIT OCW에서 제공되는 visualizing e&m	61
그림 2-11 Stanford Online lectures	62
그림 2-12 Coursera	63
그림 2-13 edX	64
그림 2-14 EMPossible의 MATLAB 기반의 예제 파일들	64
그림 2-15 VSA 89600B GUI 및 웹캠을 이용한 원격 오실로스코프 측정	65
그림 2-16 실험실 키트	66
그림 2-17 Remote LAB에서 진행한 세 가지 실험	66
그림 2-18 KOCW의 도입 화면	67
그림 2-19 자바실험실 파동 시뮬레이션	68
그림 2-20 자바실험실 위상배열안테나	68
그림 2-21 10만 원 수준 저가 네트워크분석기를 활용한 임피던스 측정	70
그림 2-22 도플러 레이더(HW)와 MATLAB 이용한 코딩(SW)	70
그림 2-23 안테나 이득 향상 위한 정합 회로 설계(HW)와	

RTL-SDR(SW)을 이용한 FM 라디오 성능 시험	71
그림 2-24 학부 팀 프로젝트를 통해 진행된 캔테나를 이용한 레이다와 보행자 움직임 감지 시험	73
그림 2-25 직각 도파관에서 전자기 수식과 전자기 해석 tool인 CST로 해석한 결과 비교	74
그림 3-1 서울시립대 X-TWICE 실전문제연구단 홍보 팜플렛 (예)	80
그림 부록 2-1 Wi-Fi 세대 간의 비교	93
그림 부록 2-2 V2X 통신 구성 요소	94

제1장 서론

제1절 들어가는 말

- 지금 대한민국과 선진국들은 디지털 대전환 사회에 진입하고 있고 경제뿐만 아니라 사회 전 분야에서 큰 변혁을 맞이하고 있음.
- 디지털 대전환을 이끄는 ICT는 국내 GDP에서 10% 이상, 수출의 30~40%를 차지하는 등 핵심 기술로 자리를 잡고 있음. 특히, 2020년~2022년 동안 전세계를 휩쓴 코로나 팬데믹을 거치면서 디지털 대전환의 속도가 가속되고 있음.
- 전파공학은 3 kHz에서 300 GHz 주파수 대역에서 전자파의 입사·반사·투과 현상을 다루는 학문으로 전기전자의 모태가 되었고 회로, 반도체 소자, 통신 및 레이다 등 다양한 전자기 소재·부품·시스템과 서비스의 기반이 되는 분야임.
- 기능적으로 전파는 변조에 의한 정보전송 기능(무선·이동 통신), 전파의 파동 특성인 입사·반사·투과 등을 이용한 레이다·센싱 기능, 전자파를 파동 에너지로 활용하는 무선전력전송·에너지 응용 기능으로 나눌 수 있음.
- 전파를 직간접으로 활용하는 산업은 방송에서 시작하여 무선통신, 이동통신, 지상 및 위성 레이다, 위성통신, 에너지 전송으로 확대·발전하고 있음.
- 또한 전파는 반도체 기술, 인공지능으로 대표되는 SW 기술의 진보와 함께 스마트 시티 및 IoT, 위성 (통신과 관측), 스마트 공장, 디지털 트윈, 메타버스, 의료 IT, 정보 보안 등 다양한 분야에서 기술의 공진화(Co-Evolution)가 진행되고 있음.
- 미래를 선도할 전파교육과 인력양성을 위해 4차 산업혁명과 인공지능 SW의 발전, 반도체 집적도의 향상, 전파 융복합 응용 신산업의 확대, 인구변화와 지역소멸 이슈 등 다양한 대내외 환경변화를 고려한 새로운 교육 내용, 교육 방법, 교육 환경의 개선이 필요함.

- 본 연구에서는 미래 전파인력을 양성하기 위한 전파인력 배출 실태 조사, 산업체 수요조사, 해외 대학의 전파교육 근황을 살펴보고 전파인력양성 정책 제안을 위한 시사점을 도출하고자 함.

제2절 연구의 목표

- 국내에서 본격적인 전파인력양성은 1992년부터 전국 6개 대학에 전파공학과를 신설하면서 본격적으로 시작되었음.
- 당시 전파공학과는 이동통신의 폭발적 수요에 맞춰 전파인력을 배출하기 위한 사업으로 학과 운영 지원뿐 아니라 고가의 측정장비를 구매하여 산업체의 요구에 부응하는 전파 전문인력을 배출할 수가 있었음.
- 이후 2002년부터 2006년까지 진행된 ‘전파교육 기반 강화사업’은 15개 대학에 장학금, 실험·실습장비 구매비 등을 지원하여 전파인력양성에 크게 기여하였음. 당시 인력배출 성과로 첫해인 2002년 대비 2004년 전파전공 교육 인원이 1,828명에서 6,606명으로 늘었고 실험·실습장비 구매비도 180억 원에서 360억 원 규모로 증가하였음¹⁾.
- 이후 전파인력지원에 대한 프로그램형 재정지원 사업의 부재, 4차 산업혁명과 같은 인류사를 바꿀 환경 변화의 진행 등 전파교육 및 인력양성 방안에 대한 재정립이 필요하게 됨.
- 본 연구에서는 전국 주요 대학 통계조사를 통해 전파인력 배출 현황과 문제점 및 개선 방향, 산업체에서의 전파교육 방법에 대한 수요조사와 신기술 변화, 국내외 전파교육 사례조사를 통해 미래 전파인력에 대한 정책 제안을 하고자 함.

1) 김인석, 이재욱, 안준오, 구현철. (2008). 대학원 전파 교육의 문제점과 대책. 전자파기술, 19(1), 96-106.

제3절 연구내용 및 범위

1. 전파인력 배출 실태 조사

- 전파 관련 핵심 교과목을 이수한 전파인력 배출 현황 표본 조사.
- 조사 내용: 전국 30여 개 주요 대학 대상 과거 10년간(2014년~2023년) 학기별 전파 관련 핵심 교과목 수강생 수.
 - ※ 전파 관련 핵심 포함 교과목: 대학/전문대학에서 평면파, 입사 및 반사 특성, 전송선로 등 전파의 기본 성질을 다루는 교과목 (예: 전자기학2, 전자장 등의 교과목).
 - ※ 전파인력 정의: 전파인력은 전파 직·간접적으로 활용하는 분야에 종사하는 인력으로 본 연구에서는 대학에서 전파 관련 핵심 교과목을 이수한 자로 정의.

2. 미래 전파인력양성을 위한 대학 교육 변화상

- 4차 산업혁명 산업생태계 변화를 고려한 창의적 전파인력양성을 위해 수요처(산업체, 연구소, 대학 등)에서 요구하는 전파 관련 학부/대학원 교육 과정(커리큘럼) 및 교육 방법 조사 (제2장 1절).
 - ※ 전파 연관 교과목 예시: 전자기학, 초고주파 공학, 초고주파 능동회로, 초고주파 수동회로, 안테나 공학 등.
- 세계 주요 대학의 전파 관련 교육 과정 (제2장 1절) 및 교육 방법 (제2장 3절) 조사.
- 미래 전파 신기술에 대한 산업체 수요조사 (제2장 2절).
- 미래 전파인력양성 변화상 조사 (제2장 3절).

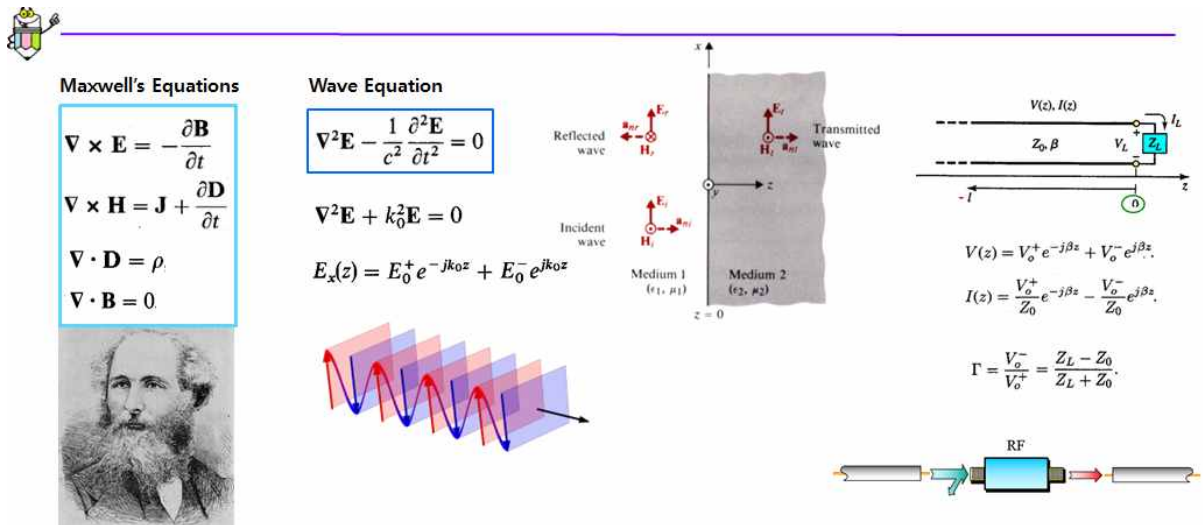
3. 전파인력양성을 위한 방안 마련

- 미래 전파인력양성을 위한 방향성 및 정책 시사점 연구 (제3장).

제2장 미래 전파인력양성

제1절 전파인력 배출 현황

- 공과계열 대학 내 전자계열 학부에서 전파계열 교육 과정은 전자기학(전자계열은 다수가 필수) - 전자기장(다수가 선택) - 초고주파공학(선택), 상위 과목(RF 회로, 안테나 공학 등)으로 진행되고 있음.
- 전파계열의 첫 전공과목이라고 할 수 있는 전자기학 이수에 필요한 기초 지식으로 미적분, 기하, 벡터, 물리 필요.
- 전파 기초 교과목의 핵심 내용: 맥스웰 방정식, 파동방정식, 전파의 입사·반사·투과 특성, 전송선로, 임피던스 정합 등.



[그림 2-1] 맥스웰 방정식, 파동 방정식, 전송 선로

1. 전파 핵심 교과목 이수 학부 전파인력 배출 현황조사

가. 설문 개요

- 전파 관련 핵심 교과목을 이수한 전파인력 배출 현황에 대한 표본 조사를 진행.

- 전국 50여 대학 전과 관련 학과(부) 요청.
- 전과교과목 이수 시기: 지난 10년간(2014년~2023년) 학기별.
- 내용: 전과 관련 핵심 교과목 수강생 수.
- 조사 방법: 한국전자과학회 활동 중인 교수에게 E-mail 문의.
- 조사 기간: 2023년 9월 24일~2023년 10월 31일.
 - 전과 관련 핵심 교과목은 평면파, 입사 및 반사 특성, 전송선로 등 전파의 기본 성질을 다루는 교과목으로 대다수 대학에서 전자기학2 또는 전자장과 유사 이름으로 개설된 교과목을 의미함. 전파인력은 전파를 직·간접적으로 활용하는 직무 인력을 말함.
- 설문 양식: [표 2-1] 참조.
 - 10년 내 복수 학과와 분반과 이수 학생 수 조사.

[표 2-1] 설문 양식 예시

제목:	학부 전과 관련 교과목 수강인원 조사							
대학/학과(부)	OO대학교 OO학과							
조사자명	홍길동							
조사자 연락처 (핸드폰)	010-0000-0000							
이메일	*****@*****.ac.kr							

년도	학년	학기	분반	학과	과목명	담당교수	수강 인원	개설학과 정원
2014	2	2	1	전자공학과	전자기이론2	이00	59	54
	2	2	1	전기공학과	전자기이론2	김00	53	50
	2	2	1	반도체공학과	전자기이론2	김00	44	44
	2	2	1	제어계측공학과	전자기이론2	김00	59	45
2015~ 2022년 표시 생략								
2023	2	2	1	전자공학과	전자기이론2	이00	55	47
	2	2	1	전기공학과	전자기이론2	김00	51	46
	2	2	1	반도체공학과	전자기이론2	김00	44	41
	2	2	1	제어계측공학과	전자기이론2	김00	23	41

나. 설문 결과

○ 설문 응답 대학: 국내 32개교 66개 학과(부) (가나다순):

UNIST, 강원대, 건국대, 경북대, 경상대, 고려대, 공주대, 광운대, 서강대, 서울과기대, 서울시립대, 세종대, 수원대, 순천향대, 숭실대, 안동대, 연세대, 인하대, 전남대, 전북대, 제주대, 중앙대, 청강산업대, 충남대, 한국기술교육대, 한국외대, 한국항공대, 한국해양대, 한남대, 한밭대, 한양대, 홍익대.

※ 통계 데이터 - 부록 참조.

○ 이수자 추이 통계 작성: 설문 응답 학과 중 아래 대학은 통계산출에서 제외함.

- 통계 산출 제외 대학: 한밭대, 한남대, 청강산업대, 안동대, 세종대 국방시스템공학과, 세종대-지구자원시스템공학과, 숭실대-IT융합전공, 숭실대-전자공학전공.

- 통계산출 제외 사유:

- ✓ 학과 통폐합 등으로 모수 변화가 크거나 산출이 어려운 경우.

- ✓ 10년 이수자 통계 수치 수집이 안 되는 경우.

○ 최종 통계 데이터 사용: 27개교 50개 학과(부) 또는 전공 (부록 참조).

- (가나다순) UNIST-(전기전자공학과), 강원대-(전기전자공학과), 건국대-(전기전자공학부), 경북대-(전자공학부), 경상대-(전자공학과, 전기공학과, 반도체공학과, 제어계측공학과, 융합전자공학부), 고려대-(전기전자공학부), 공주대-(스마트정보기술공학과, 전기전자제어공학부, 광공학과), 광운대-(전자공학과, 전자통신공학과, 전기공학과, 전자융합공학과, 전자재료공학과), 서강대-(전자공학과), 서울과기대-(전기정보공학과, 스마트ICT융합공학과), 서울시립대-(전자전기컴퓨터공학부), 세종대-(물리천문학과, 전자정보통신공학과, 나노신소재공학과), 수원대-(전기전자공학부 전자공학전공), 순천향대-(전자정보공학과, 전기공학과, 정보통신공학과), 연세대-(전기전자공학부), 인하대-(전자공학, 정보통신공학과), 전

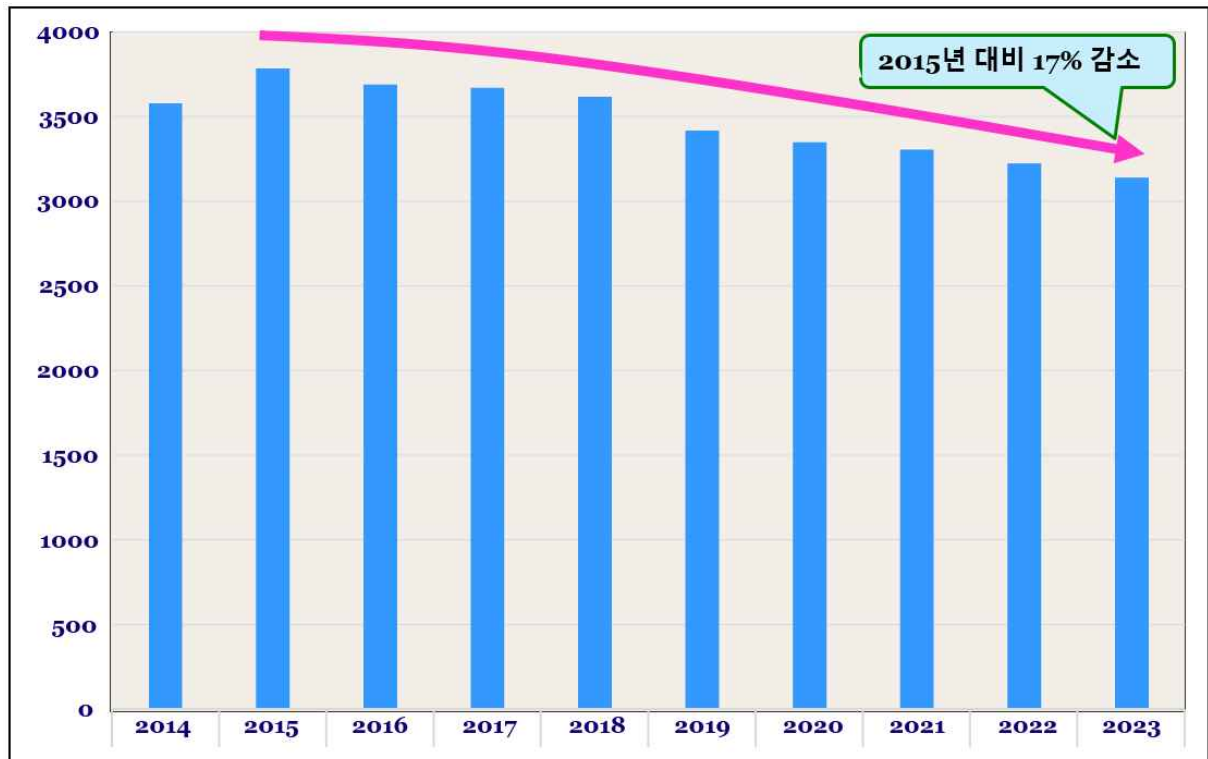
남대-(전자공학과), 전북대-(전기공학과, 전자공학부, 과학교육학과(물리), 융합기술공학부), 제주대-(통신공학과, 전자공학과), 중앙대-(전자전기공학부), 충남대-(전기공학과), 한국기술교육대-(전기전자통신공학부), 한국외대-(전자공학과), 한국항공대-(항공전자정보공학부), 한국해양대-(전자전기전공, 전자정보통신전공, 전파융합전공), 한양대-(융합전자공학부, 전기전자공학과), 홍익대-(전자전기공학부).

○ 10년간 이수율 추이.

- 통계 데이터를 연도별로 총합하여 전과 핵심 교과목 이수율 추이를 파악함 ([표 2-2], [그림 2-2]).

[표 2-2] 연도별 수강 인원 및 비율

연도	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
이수자 총수	3,575	3,779	3,685	3,665	3,613	3,415	3,345	3,302	3,220	3,135



※ 2014년~2023년 이수 통계 data가 존재하는 27개교 50개 학과 조사

※ 2023년 최종 이수율= 72.6%

※ 매년 정원 변동 (구조조정, 편입, 결원 등)으로 최종년도 이수율만 계산

[그림 2-2] 지난 10년간(2014~2023년) 전과교과목 이수 추이

○ 통계 결과 설명.

- 27개교 50개 학과의 결과를 선별하여 산출된 지난 10년간 (2014~2023년) 전과교과목 이수 추이를 보여주고 있음.
- 2015년을 기점으로 전과 교과목 이수율은 지속적 감소 추세이며, 2023년 이수율은 2015년 대비 17% 감소 수치를 보여줌.
- 이수 시기 중 조사 대상 학교 학과에 대한 정원 변동은 크지 않을 것이라 가정하면 이수율 추이는 점차 낮아지고 있는 것으로 추정할 수 있음.
- 2023년 대학알리미를 통해 확인한 통계 데이터에 참여하는 학과 (부)의 총정원은 4,321명이고 전과 핵심 교과목 이수자는 3,158명 이므로 73%의 이수율을 보이고 있음.

※ 이수율 계산에서 재수강 비율은 반영되지 않았음. 참고로 전파핵심 교과목의 재수강 비율은 10~20% 정도로 추산함.

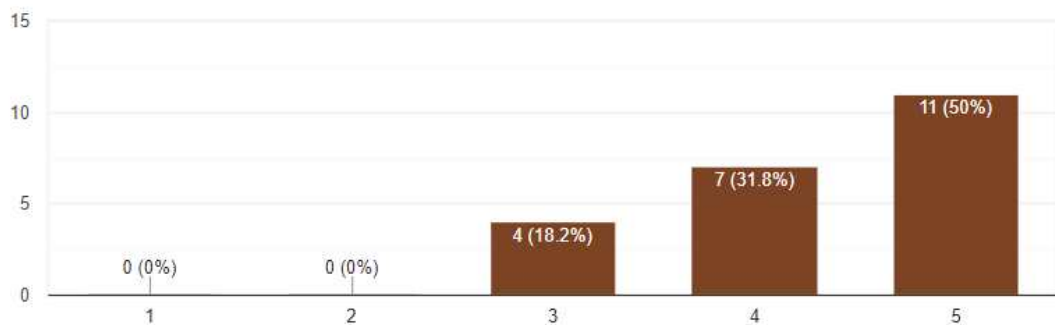
2. 전파 핵심 교과목 학생 인식 조사

가. 설문 개요

- 전파 핵심 교과목과 연관이 있는 전자공학 유관 분야(전파공학, 전력전자, 고속반도체회로, 센서반도체, 지능형반도체 등)에 있는 대학원 연구생과 학부 연구생을 대상으로 수행 연구에서 전파교과목의 중요성과 과목에 대한 인식 조사.
- 설문 대상.
 - 전파와 연관이 있는 분야 학부 고학년/대학원 석사과정/학부 연구생 22명.
 - 전파교과목 이수학생 81.3%, 미이수학생 18.2%.

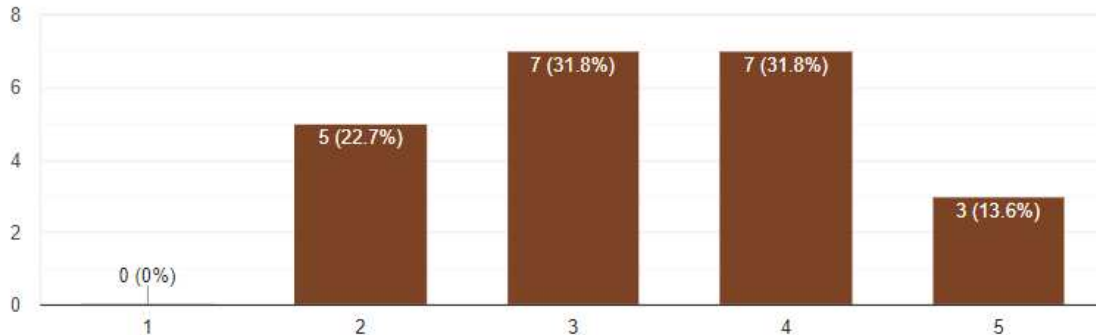
나. 설문 내용 및 응답

- (설문1) 전기전자계열에서 다른 교과목들과 비교하여 ‘전파기초교과목’ 수강의 필요(중요)성.



- 전자기학 내에서 HW 관련 연구 즉 전자기학과 연관이 높을 것으로 생각되는 전파공학, 전력전자, 고속반도체회로, 센서반도체, 지능형반도체 관련 연구실 학생들을 대상으로 조사함.
- 전자기학/전파공학의 필요와 중요성을 4점 이상 표시한 학생의 비율은 81.8%.

○ (설문2) 전과기초교과목'에서 배우는 내용에 대해 IT 산업에서 응용을 이해하고 있다.



- 전자기학/전과공학의 응용 분야에 대한 이해 정도에 대한 설문으로 3점과 4점을 표시한 비율은 63.6%이고 2점을 표시한 응용에 대한 이해도가 낮은 학생도 22%에 이릅니다.
 - 전자기학이 산업에서 어떻게 활용되는지에 대한 이해가 높지 않음을 알 수 있음.
 - 전자기학을 배우는 목적을 제시하고 관련 산업에 대한 이해를 높이는 것이 중요하다고 생각됨.
- (설문3) (전과교과목 미수강을 한 학생에 한함) 수강신청 필요성이 있음에도 수강하지 않았다면 이유는? (주관답변)
- (답변) 실무적이지 않고 이론적인 부분이 너무 강하다고 생각이 들었음.
 - (답변) 높은 난이도로 수업의 이해가 어려울 것으로 생각.
- (설문4) 전과기초교과목에 수업 개선 사항에 대해 (2가지 이상) 자유로운 의견을 제시해 주세요.
- (1) 교과목 운영 및 활용 강조:
 - ✓ 전과교과목 적극 홍보를 통해 수업의 유익함을 강조 필요.
 - ✓ 특히, 전과 기초과목이 어렵다고 생각하는 경향이 있는데 응용 분야를 소개해주고 실생활에서 활용할 수 있는 실무와 연결하여 설명하면 도움이 될 것 같음.
 - ✓ 기초는 전공 필수로 지정 필요.

- ✓ 학생들이 수학적인 문제해결 능력 향상을 위해 전자기학의 다양한 예제를 소개하고 수업 시간에 예제 풀이의 비중을 높여 주시길.
 - ✓ 공식 유도보다는 공식의 활용 중심으로 수업이 유익하다는 관점을 강조.
 - ✓ 실제 사용되는 예시를 들어 전파와 관련된 지식의 활용 방법을 학생들에게 제공.
 - ✓ 전자기학 이후에 연결되는 교과목과 응용을 소개.
- (2) 시각화 및 EDA tool 활용.
 - ✓ 시뮬레이션 활용과 실습 강화:
 - ✓ 전파 이론을 이해하기 위해 시뮬레이션을 활용하며, Ansys의 학생용 tool 등을 무료로 제공하고 있음.
 - ✓ EDA tool 사용 실습과 전파 관련 진로에 대한 소개 요청.
 - (3) 현장 기업과 연계한 교육.
 - ✓ 기업과의 연계를 강화하기 위해 초청 강연 및 현장실습 기회를 제공.

다. 설문 응답 분석

- 전파공학과 연관 있는 연구 분야 종사 대학원 및 학부 연구생을 대상으로 전파 교과목에 대한 인식과 개선 방향에 대한 의견을 조사함.
- HW 관련 분야이므로 연구에 전자기 지식이 필요하고 과목의 중요성은 대체로 인식하고 있음.
- 전파교과목에 대한 연관 ‘수학(미적분, 벡터, 기하 등)’에 대한 부담을 느끼고, 복잡한 계산에 대한 어려움을 느끼고 있음.
- 개선사항으로 과목의 중요성과 응용 분야에 대한 소개와 보이지 않은 전자파를 그림으로 표시하여 개념을 파악할 수 있는 EDA 도입을 원하고 있음.

3. 국외 전파교육 운영 동향

- 미래 전파인력양성 방안 마련을 위해 국외 대학과 기관의 전파 관련 교육 운영현황과 교육 방법 등을 살펴보고자 함.
- 국외 운영은 공개된 웹사이트 등을 통해 조사하였고, 교육 방법 등 특이사항은 국외 교직 경험이 있거나 국외에서 학부를 졸업한 전파전문가 그룹(3명)을 서면 조사를 통해 수행되었음.

가. 국외 전파교육 운영 사례 조사

(1) 일리노이 대학 전기컴퓨터공학부 (Electrical & Computer

Engineering department at the University of Illinois), 미국.

- introductory course는 3학년 필수과목.
- 마이크로파 회로(능동/수동)는 4학년 선택과목.
- Focus Area와 같이 학과에서 선택한 list 중의 하나²⁾ (국내는 마이크로디그리, 트랙 등의 용어를 사용).

(2) 울름 대학교(Universität Ulm)³⁾, 독일.

※ 독일: 차량용 레이더 및 밀리미터파 연구가 뛰어난 대학연구소.

- 기본 장 및 파동은 필수과목으로 운영.
- Specialization(트랙 등의 선택 분야로 보임) 중 하나로 high frequency technology가 있음.

(3) 매사추세츠 공과대학(Massachusetts Institute of Technology), 미국.

- MIT EECS 학과는 Electrical Science and Engineering, Electrical Engineering and Computer Science, Computer Science and Engineering 등 8가지 전공으로 나뉘짐.
- 주요 전공과목: Electromagnetic field, Forces and Motion, Electromagnetic Waves and Applications.

2) <https://ece.illinois.edu/academics/ugrad/curriculum/ee-curriculum-06>

3) Research, Study, Knowledge transfer - Universität Ulm (uni-ulm.de)

(3) 스탠포드 대학교(Stanford University), 미국.

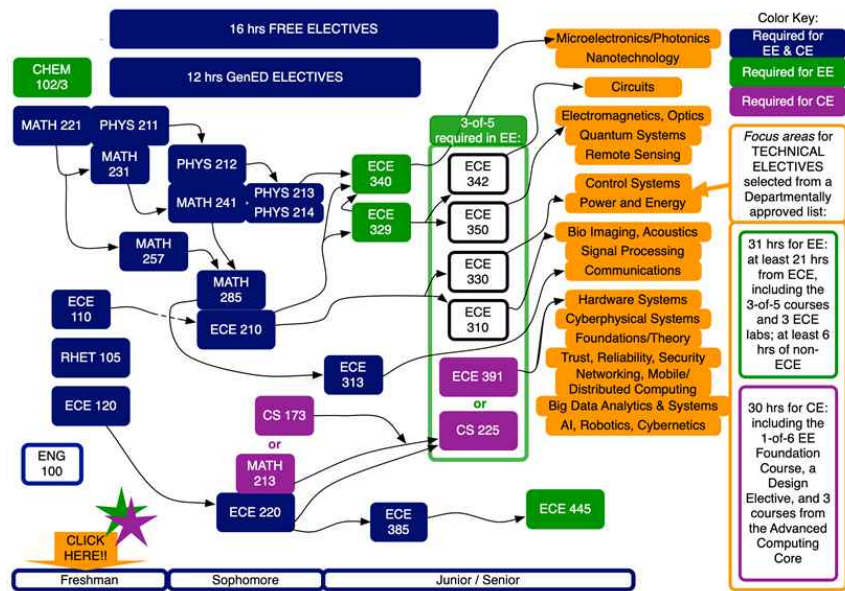
- 교육 분야 (3): HW and SW, Information Systems and Science, Physical Tech. and Science.
- 주요 전공과목: Introduction to Electromagnetics and Its Applications, The Electrical Engineering Profession.

(4) 케임브리지 대학교(University of Cambridge), 영국.

- 교과 과정(9): 기계공학, 에너지, 지속 가능성 및 환경, 항공우주 및 항공열공학, 토목 구조 및 환경 공학, 전기전자공학, 정보 및 컴퓨터 공학, 전기 및 정보 과학, 계측 및 제어 공학, 생명공학.
- (학부) 1, 2학년 동안 모든 공과대학 학생들이 기계, 전자, 재료 등 공학 전반적인 분야에 대해 교육 실시. 3학년 때 항공, 기계 및 구조, 전기 및 전자 등 9가지의 전공 중 선택.

(5) 도쿄 대학교(Tokyo University), 일본.

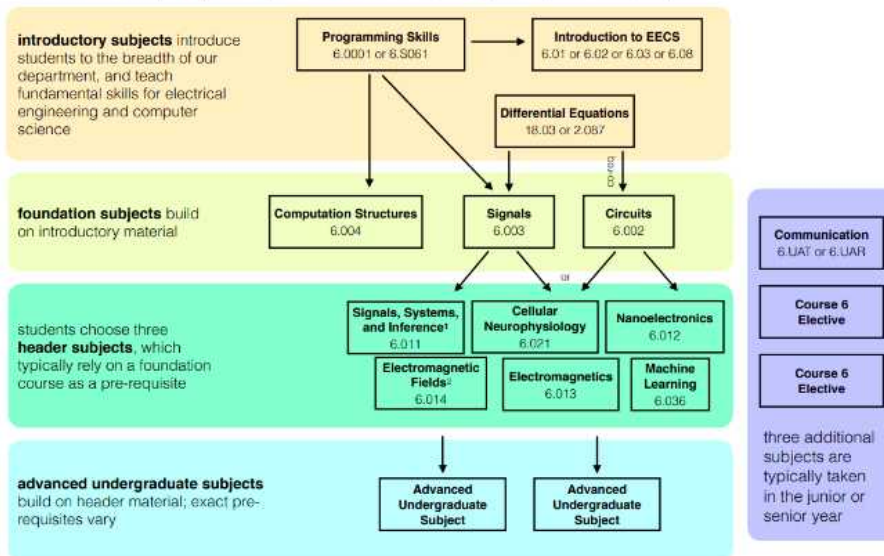
- EEIC는 전기전자공학과를 의미하는 EE와 정보통신공학과를 의미하는 IC 두 학과로 구성.
- 4학년부터 연구실에서 연구가 시작되며, 4학년 가을학기는 온전히 졸업 논문 작성을 위한 커리큘럼으로 구성.
- 주요 전공과목: 전기자기학, 전자파 공학, 우주전기전자시스템 공학.



[그림 2-3] 일리노이 대학 Electrical & Computer Engineering 학부과정 커리큘럼

6-1: Electrical Science and Engineering

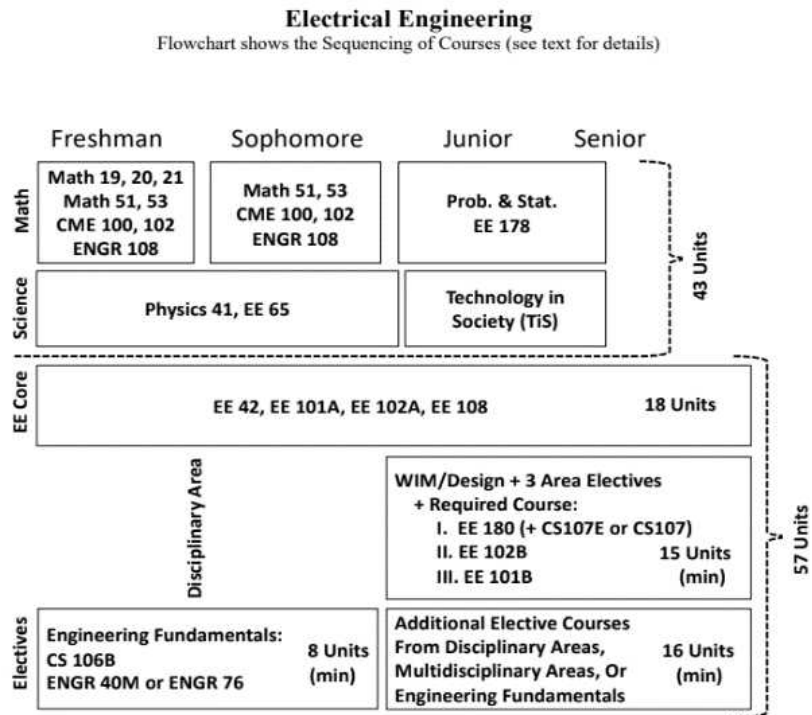
The 6-1 curriculum builds primarily on the **Physics II** and **Calculus II** GIRs; not all subjects require a GIR as a pre-requisite



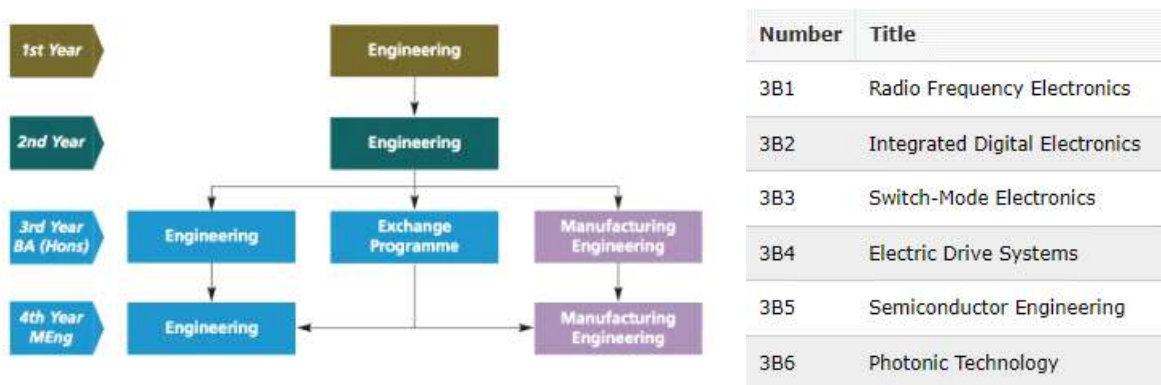
¹ 6.011 also requires a probability prerequisite

² 18.03 is also a prerequisite of 6.014

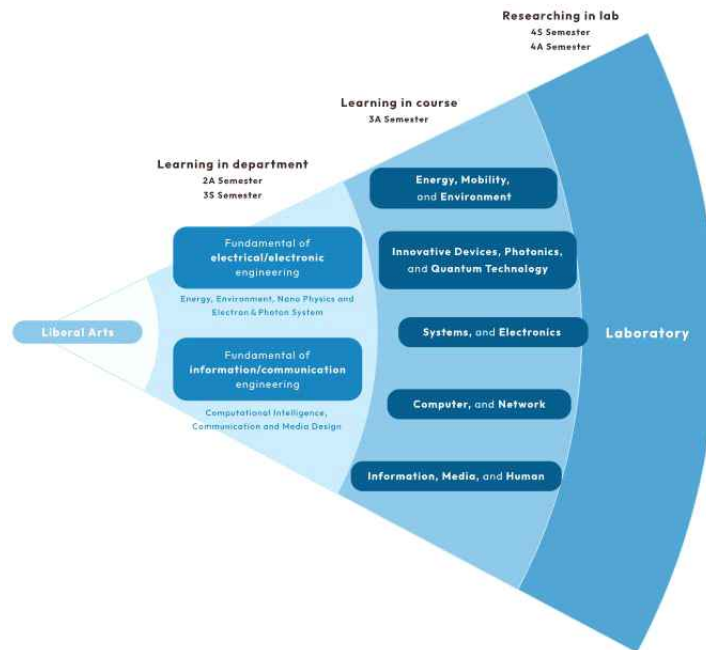
[그림 2-4] MIT EECS 학부과정 커리큘럼



[그림 2-5] 스탠포드 대학교 EE 학부과정 커리큘럼(2023~2024)



[그림 2-6] 케임브리지 대학교 학부과정 커리큘럼



[그림 2-7] 도교 대학교 EEIC 학부과정 커리큘럼

나. 세계 주요 대학 전파 관련 교육 과정 및 교육 방법 조사

(1) 학부과정 전파 교과목 비교.

- 전체 교육 과정 중, 전파 관련 교과목이 전공 필수과목과 전공 선택과목에서 차지하는 비중.
 - (답변 종합) 경우에 따라 상대적으로 전공 필수과목의 비중이 높은 곳도 있었고, 전공 선택과목의 비중이 높은 곳도 있었으나, 수치적으로 비슷한 수준이기에 거의 유사하다고 판단.
- 전파 교과목들 중 필수과목으로 지정된 과목.
 - (답변 종합) 전자기학1, 2 (static/dynamic).
- 타 분야 대비 전파 교과목의 선수(prerequisite) 과목에 대한 공부량.
 - (답변 종합) 미적분학 등의 선수 과목이 다소 부담될 수 있으나, 공대로 한정하여 비교하면 공부량이 크게 많지 않음.
- 학부과정에서 전파 교과목이 주로 편성된 학년.
 - (답변 종합) 2학년 과목은 거의 드물며, 대부분 3, 4학년에 편성되어 있음.

- 필수·선택 과목을 모두 포함한 설강되는 전체 전과 교과목의 수 비교.
- (답변 종합) 유사한 수준.

(2) 제도 비교.

- 학부제, 학과, 세부전공 관련 설문 (무학과, 트랙, Division 등)에 대한 국내, 해외 비교.
- 현재 대학별로 다양한 교과과정을 구성하고 있는 형태에서, 전과 학문 분야를 고려하였을 때, 전과인력양성에 긍정적인 영향을 미치는 제도에 대한 선택, 학부제(무학과) 혹은 기존 학과 제도.
 - (답변 종합) 전문성을 많이 요하는 전과학문의 특성으로 인해 기존 학과제 내에서 트랙 운영이 긍정적이라는 답변이 공통.
- 학과 제도 외에도, 학과 내에서도 세부 전공(트랙) 혹은 마이크로 디그리(등을 통해 교육 과정의 연계성을 강화하는 방향이 현재 진행되고 있는 중, 전과 학문 분야를 고려 시, 전공을 세부적으로 나누기 적절한 학년.
 - (답변 종합) 공통적으로 3학년이라고 응답.

(3) 교육 방법 비교.

- 이론, 실험, 설계, 실습에 대한 비교.
- 공학인증제도에서 실험, 설계의 중요성을 강조한 이후로 국내 대학들은 실험과 설계 과목을 여전히 운영하고 있는데, 전과 교과목 교육에 있어 이론, 실험, 설계, 실습 과목들의 적당한 비중.
 - (답변 종합) 이론 70%, 실험 20%, 설계 10% (크게 국내와 다르지 않음).
- 해외 대학과 국내 대학의 이론 과목에서의 가장 큰 차이점.
 - (답변 종합) 국내와 큰 차이 없다고 여겨짐.
- 해외 대학과 국내 대학의 실험 및 실습 과목에서의 가장 큰 차이점.
 - (답변) 공통된 의견으로, 실습 전문 TA 혹은 테크니션의 중요성

에 대해 강조.

- (답변)실험 환경이 열악하고, TA나 전담 인력이 없다면 실험과목에 대한 전문성이 결여되고 이는 담당 교수의 부담으로 이어짐.
- (답변)해외 대학의 경우 환경 및 테크니션의 지원으로 인해 실험과목이 시수는 많지 않더라도 효율적으로 운영됨.
- 전과 교과목에 있어 인상 깊었던 교육 방법.
- (답변) 주제별로 담당교수가 강의실에서 실험 데모를 진행 함 (전송선로, 안테나 등).
- (답변) 학생들의 흥미를 일으킬 수 있는 방식이 효율적이라는 의견.

(4) 기타 의견 및 사례.

- 학부생들이 갖는 인식은 어려운 과목/분야가 되기 쉬움.
- 전자기학1(static)에서 전자기학2(dynamic) 구조의 전자기학 1/2 수업으로, 분야에 대한 흥미를 이끌어 전과 과목으로의 진입 장벽을 낮추거나 허물 수 있는 과목/실험/데모 등의 장치가 필요한 것으로 보임.
- 유입된 학생의 경우에도 응용 분야에 대한 소개가 적어 전과 관련 교과목에 대한 선호도가 떨어짐.
- 대학에서는 개설 시수, TA 지원, 시설 확충 등의 실험/실습에 대한 개선 한계가 있으므로, 학회, 기업 등에서 학부 과정 교육 프로그램 운영, SW 지원 등으로 전과 관련 학습/실습이 보완되고, 응용 분야에 대한 소개로 흥미와 관심을 유발할 수 있도록 함.

4. 전과 핵심 교과목 운영 교수 수업 개선 사항

- 전과계열 교과목을 20년 이상 강의한 대학 교수를 통해 현장에서 전과교육에 대한 문제점과 개선 방향을 조사하였음.

가. 진단

- 전파교과목은 운영 시 겪는 가장 큰 어려움으로 전파 관련 기초 수학에 대한 이해 부족을 들고 있음⁴⁾.
- 전파기술을 이해하기 위해 필수적인 학부과정의 전파교육은 과학의 한 분야인 전자기 이론을 기본으로 벡터미적분, 미분 방정식, Fourier 해석학 등 어려운 수학을 사용하기에 학생들이 기피하는 대표적인 분야임.
- 특히, 최근 대학생들은 어려운 수학을 싫어하고, 영상에 길들여져 눈으로 보아야 좋아하는 감성적인 측면이 강함. 따라서 눈에 보이지 않으며, 이론이 복잡한 전파 분야를 기피하는 경향이 있음⁵⁾.
- 고교과정 벡터 및 기하 과목 선택률 저하⁶⁾.
 - 전자기학 관련 고교 수학은 ‘미적분’과 ‘(벡터)기하’가 해당되나 ‘기하’ 교과목의 수능 응시 선택과목 비율선택이수 비율이 6% 수준으로 매우 낮음.
 - 벡터와 기하에 대한 이해가 낮은 상태로 2학년 전자기학과 전파 교과목을 이수하는 경우 수업이 어려울 수 있고 전파 후속 과목들의 이해와 흥미도 낮아짐.

[표 2-3] 2022~2023학년도 수능 국어/수학 선택과목별
응시 인원 및 비율⁷⁾

영역		2022학년도		2023학년도	
		인원(명)	비율(%)	인원(명)	비율(%)
국어	화법과 작문	321,691	70	332,870	65.9
	언어와 매체	133,889	30	172,263	34.1
수학	확률과 통계	222,011	51.6	240,669	50
	미적분	170,484	39.7	210,199	43.7
	기하	37,304	8.7	30,242	6.3

4) 박영철, 구현철, 박용배, 안준오, 이재욱, 이행선, 김인석, “학부과정 전파교육의 문제점과 대책,” 한국전자과학회지, 제20권, 제1호, pp. 152-157, 2009년 1월.

5) 장병준 2012 “설계를 통한 학부과정 전파 교육 사례 - Part 1” 電磁波技術 : 韓國電磁波學會誌 = The Proceedings of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 23(3): 66~71

6) 장병준 2012 “설계를 통한 학부과정 전파 교육 사례 - Part 1” 電磁波技術 : 韓國電磁波學會誌 = The Proceedings of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 23(3): 66~71

7) 2022~2023학년도 수능 국어/수학 선택과목별 응시 인원 및 비율. 자료=이투스에듀.

나. 개선 방향

○ 실무 중심의 교육 환경 개선.

- 프로젝트 중심의 교육을 도입하여 실무 경험을 강조.
- 현업에서 사용되는 도구(tool) 및 소프트웨어를 활용한 실습을 강조.
- 업계와의 협력을 통한 현장 실습 기회 제공을 고려.
- 온라인 교육 플랫폼을 통한 접근성 향상을 고려.
- 가상 실험 환경을 도입하여 학생들이 실험을 체험하도록 도움을 줌.

○ 현장과 과목의 연계성 강화.

- 전자기학 적용 사례를 소개하여 학생들에게 현업에서의 가능성을 보여줌.
- 산업체 현장 견학이나 기업 강사 초빙을 통해 실무와의 연계 강화.
- 사회에서 전파 분야로 성공한 졸업생 세미나를 개최.
- 산업 전문가 멘토들과 만날 수 있는 커뮤니티/네트워크 구축.

○ 기타 학부 전파교과목 운영에 도움이 될 만한 내용⁸⁾.

- 단기적 지원.
 - ✓ 다학제간 융합 전파인력 확대.
 - ✓ 장학금 및 학술대회 참여 지원.
 - ✓ 전파 분야 동아리 지원.
 - ✓ 전파 관련 작품 경연대회 및 홍보.
- 장기적 지원.
 - ✓ 산업체 수요 기반 계약학과 운영 (정부, 지자체 지원)
 - ✓ 고부가 산업 및 기술 활성화를 위한 관련 실험기자재 지원.
 - ✓ 우수 인재 해외 연구 기회 제공.
 - ✓ 전파 기반 다학제 특화 센터 설립 및 운영을 통한 산학, 연학 연계 체계 구축.

8) 박영철, 구현철, 박용배, 안준오, 이재욱, 이행선, 김인석, “학부과정 전파교육의 문제점과 대책,” 한국전자과학회지, 제20권, 제1호, pp. 152-157, 2009년 1월.

- ✓ 산업체 및 공공부문 인력 재교육.
- ✓ 잠재 인력(초·중·고 학생)에 대한 학습 프로그램 개발, 운영.
- ✓ 여성 전파인력양성.

제2절 산업체 수요 교육 방법 및 미래 기술 조사

- 4차 산업혁명 산업생태계의 환경변화를 고려한 미래 전파인력양성이 필요함.
- 산업체, 연구소 등 전파인력의 수요처에서 요구하는 전파 관련 학부/대학원 교육 방법 및 교육 과정 (내용, 신기술)에 대해 조사하고자 함.
- 교육 방법은 교과 vs 비교과, 이론 vs 실습, HW 실습 vs SW 실습, coding 도입 등으로 분류하여 다룸.
- 수요처(산업체, 연구소 등)에서 바라보는 교육 과정을 조사하기 위해 향후 미래에 주목해야 하는 핵심 전파 신기술을 도출하고 기술의 성숙도를 조사하였음. 이를 통해 대학원과 같은 전문인력양성에 연구 방향성을 간접적으로 제시하고자 함.

1. 산업체 교육 방법 수요조사

- 산업체 현업에서 5년 이상의 경력을 가지고 있는 전파전공 현장 전문가들을 대상으로 전파교육 방법에 대한 설문조사를 실시함.
- 현장에서 전파지식을 직접 활용하는 인력으로 실무관점에서 현 전파교육의 문제점을 파악하고자 하였음.

가. 산업체 경력자 대상 전파 교육 방법 설문조사

(1) 설문 개요.

- 설문 대상: 전파 관련 현장 전문가 (5년 이상 근무 경력자).
- 설문 내용:

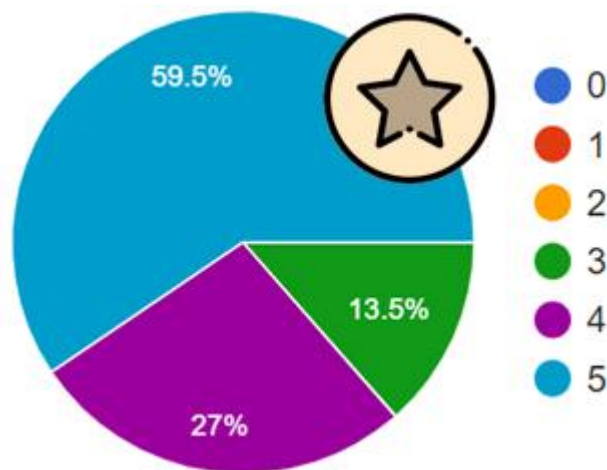
본 설문은 한국전자과학회 교육위원회에서 진행합니다. 최근 대학은 SW/AI를 접목한 융합 교육 등 새로운 변화를 맞이하고 있습니다.

다. 전파 관련해서 보강이 되어야 할 내용을 중요성에 비추어 1-5 단위로 답해 주세요. (0: 불필요, 3. 필요, 5:매우 필요)

(2) 각 문항 질문 및 설문 결과.

○ 문항 1: 전자기 EM tool (예: CST, HFSS 등) 교육 - 눈에 보이는 전파와 필요성: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 교육 방법: (비율 -합이 100%)

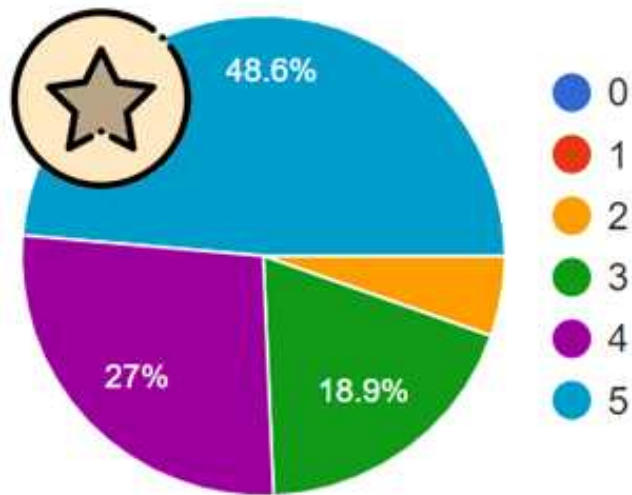
- (1) 이론 (____%) (2) 실습 (____%)
부가설명(필요시) _____



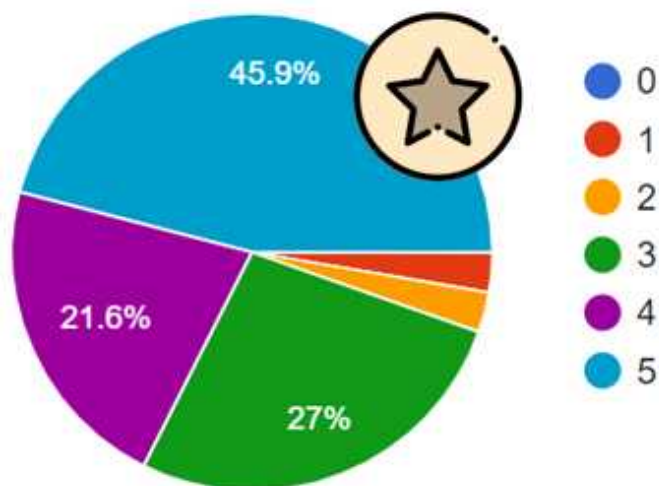
- (설문결과분석) EM tool은 눈에 보이지 않은 전파를 시각화할 수 있는 tool로 적극 도입의 필요성을 제시한 비율이 60%로 매우 높음.

○ 문항 2. RF 회로설계 tool (예: ADS, AWR, Cadence 등) 교육 (임피던스 매칭) 필요성: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 교육 방법: (비율 -합이 100%)

- (1) 이론 (____%) (2) 실습 (____%)
• 부가설명(필요시) _____



- (설문결과분석) 회로설계 tool은 기생효과가 많은 RF/마이크로파 회로 해석에 필수적인 tool로 도입의 필요성이 48%로 매우 높은 편.
 - EM tool보다는 필요성이 낮으나 회로설계 실무에서 필수적으로 사용하고 있음.
- 문항 3. SW (예: Matlab, Python 등) 접목 필요성: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 교육 방법: (비율 -합이 100%)
- (1) 이론 (____%) (2) 실습 (____%)
 - 부가설명(필요시) _____



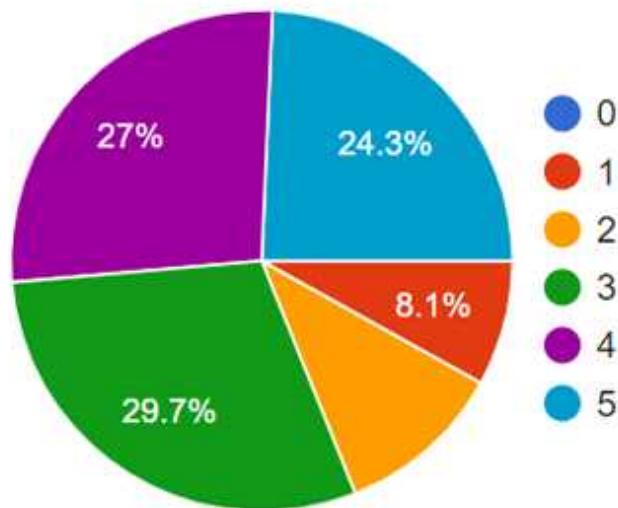
- (설문결과분석) EM 개발자들에게 SW는 점점 활용도가 높아지고

있음. EM에 SW를 접목하는 것에 대한 필요성에 공감하는 비율이 46%로 매우 높은 편.

- 전파가 다른 분야들과 융합되기 위해 SW의 도입과 coding 등 활용능력이 중요해지고 있음.

○ 문항 4. 전파 교육에 AI 접목 필요성: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 교육 방법: (비율 -합이 100%)

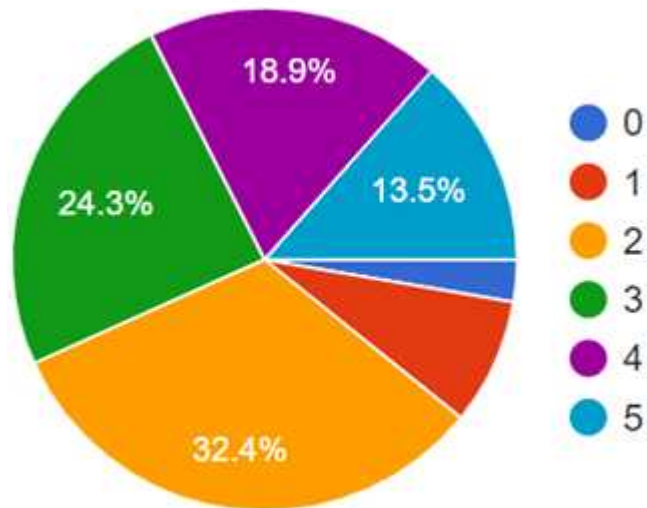
- (1) 이론 (____%) (2) 실습 (____%)
- 부가설명(필요시) _____



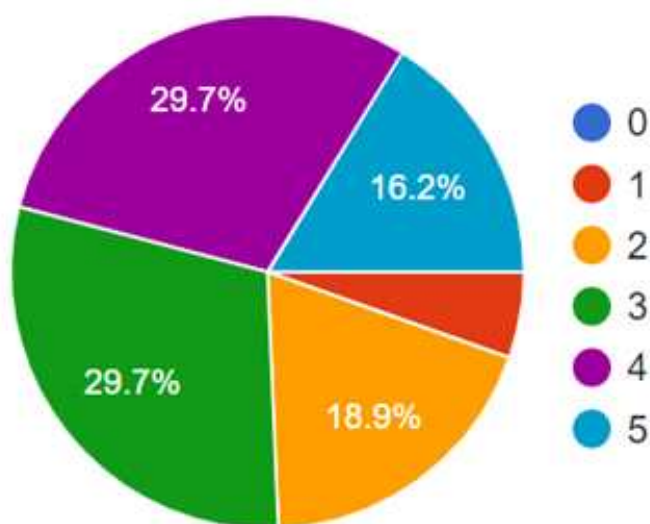
- (설문결과분석) EM 개발자들에게 AI를 활용하거나 적용하려는 필요성이 높아지고 있으나 적극 도입(5점)의 비율이 24%로 아직은 높지 않음.

○ 문항 5. SDR (Software Defined Radio) (예: USRP 등) 필요성: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 교육 방법: (비율 -합이 100%)

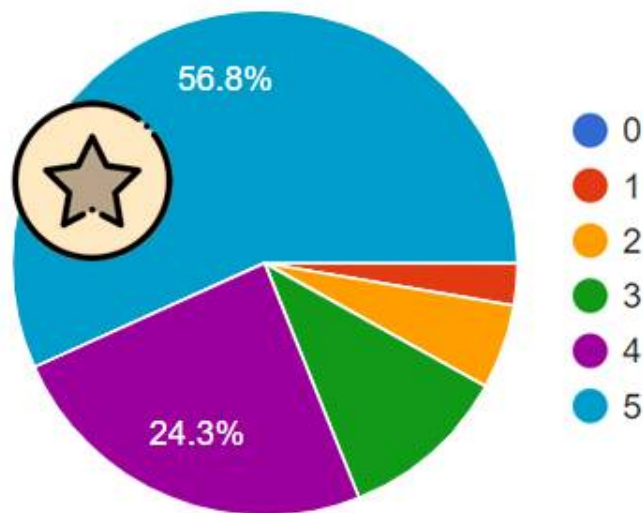
- (1) 이론 (____%) (2) 실습 (____%)
- 부가설명(필요시) _____



- (설문결과분석) EM 개발자들에게 SDR을 이용한 개발과 활용의 필요성이 높아지고 있으나 적극 도입(5점)의 비율이 14%로 아직은 높지 않음.
- 문항 6. RF 장비 제어 (Labview, VEE, GPIB 등) 필요성: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 교육 방법: (비율 -합이 100%)
 - (1) 이론 (____%) (2) 실습 (____%)
 - 부가설명(필요시) _____



- (설문결과분석) EM 개발자들에게 장비제어는 필수적인 내용으로 필요성이 높아지고 있으나 적극 도입(5점)의 비율이 16%로 아직은 높지 않음.
- 문항 7. 측정 등 장비교육 필요성: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 교육 방법: (비율 -합이 100%)
- (1) 이론 (____%) (2) 실습 (____%)
 - 부가설명(필요시) _____



- (설문결과분석) EM 개발자들에게 장비 교육의 필요성이 높고 적극 도입(5점)의 비율이 59%로 매우 높은 편임.
- 문항 8. 전과교육 관련한 제안을 자유롭게 기술해 주세요.
- 주관 설문응답 항목 분류하여 재정리.

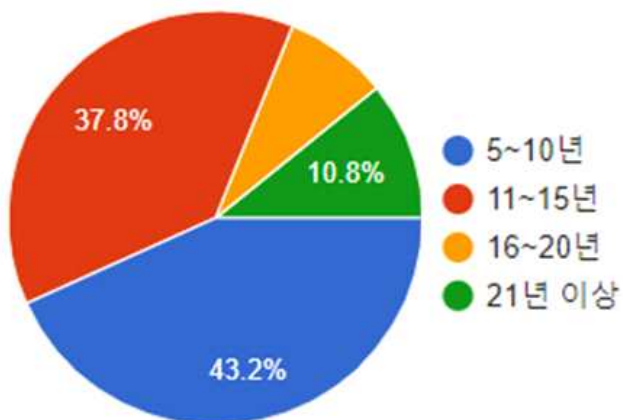
항 목	내 용
실무 중점	<ul style="list-style-type: none"> • 이론 보다 실습 위주의 교육 • 다양한 적용 사례를 바탕으로 교육을 진행하는 것이 중요 • 실무 중심의 교육과 최신 기술 트렌드에 대한 이해가 중요
Tool 활용법	<ul style="list-style-type: none"> • 전자파 및 회로 설계 시뮬레이션 교육의 중요성을 강조 • 동시에 실무에서는 매트랩, 파이썬 등의 기본 소프트웨어 역량 강화가 더 유용 • 특히, EM 해석 tool(CST, HFSS 등) 교육과 계측(VNA, SA 등)은 필수라고 강조함

(2) 설문자 정보.

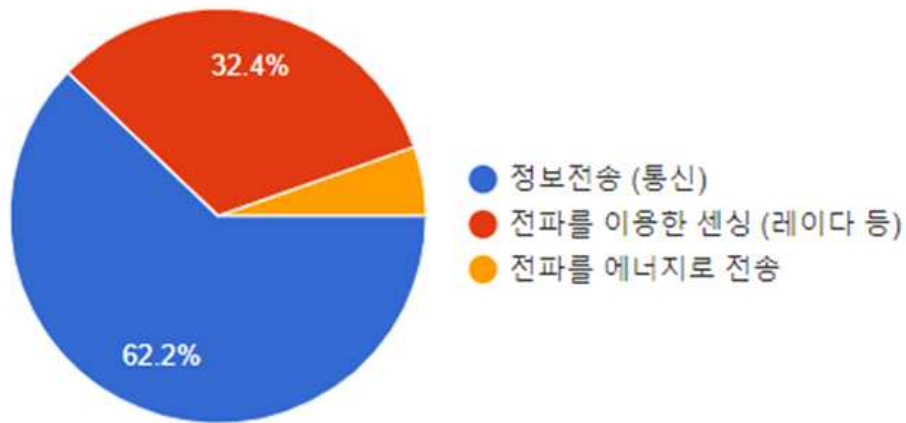
○ 총 설문 인원수 : 37명.

- 현장에서 전파 분야를 직접 활용하는 인력으로 산업체 관점의 교육수요를 반영할 수 있을 것으로 판단되는 전파 분야 석사 이상의 학위를 갖고 산업체 경력 5년 이상을 대상으로 실시.

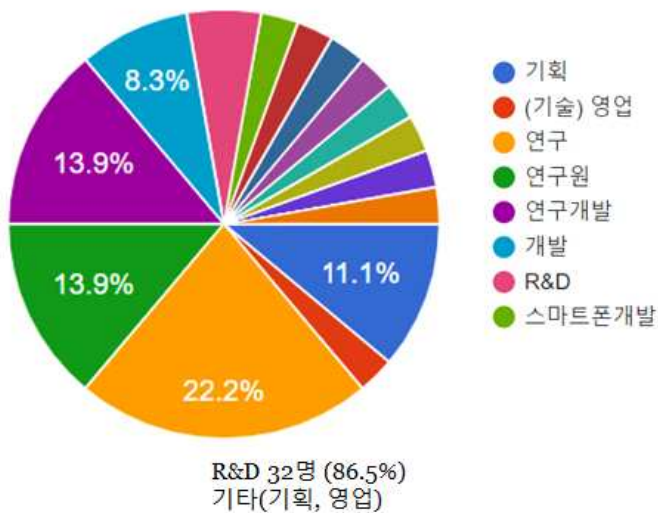
○ 전파 관련 업무 경력: 5년 이상 특히 10년 이상 경력이 48%를 차지함.



- 근무자 전파 활용: (1) 정보전송 (통신), (2) 전파를 이용한 센싱 (레이다 등), (3) 전파를 에너지 순으로 무선통신·레이다 관련 업종 근무.



- 직종: R&D 계열이 전체 응답자의 87%.



2. 미래 전파 신기술에 대한 산업체 수요조사

- 전파 기술에 대한 변화를 조사하고 미래 인력양성에서 산업체의 수요를 분석하고 전문인력양성에 참고하는 목적으로 조사함.

가. 설문조사 개요

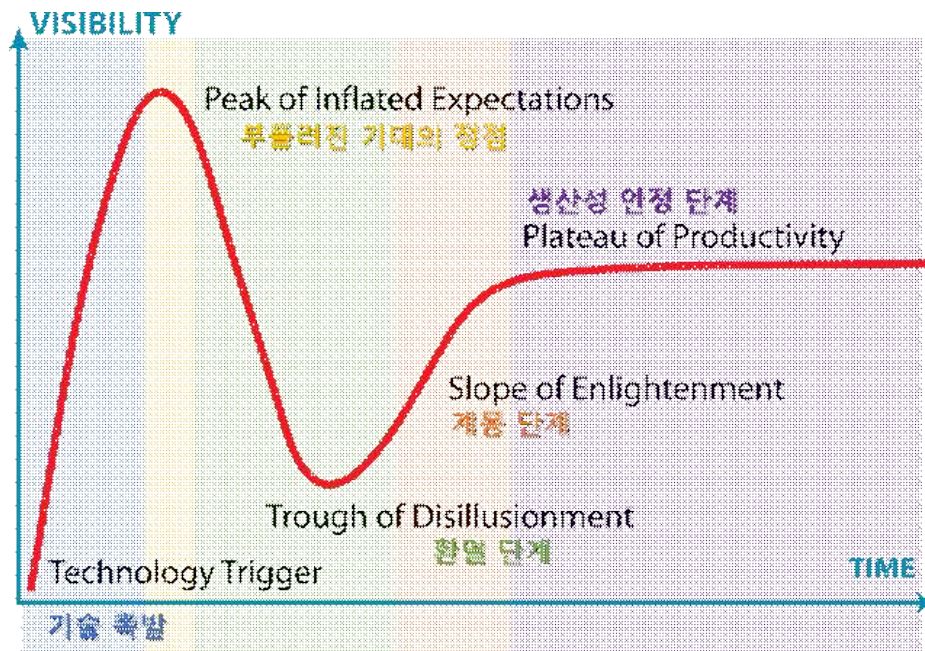
(1) 개요.

- (목적) 본 장에서는 설문을 통해 미래 전파산업을 형성할 유망 전파 산업·기술과 발전 진행도를 파악하고자, 전파산업 내 유망 산업·기술 항목들을 Hype Cycle에 표시.
- (방법) 본 설문의 구성은, 2021년도에 한국전자과학회에서 진행한 전파 유망 산업·기술 설문 및 전문가 델파이 회의를 통해 도출된 결과를 활용.
- 동일한 산업·기술 품목들에 대해 본 조사 시점(2023년도) 기준 Hype Cycle 상에서의 위치를 갱신할 수 있도록 함.
- 또한, 2023년도 기준으로 새로운 전파 유망 산업·기술을 조사함.
- 기간: 23년 11월 1일 ~ 11월 30일.
- 설문 응답 17명 (대학 00%, 연구소 00%, 산업체 00%).

(2) 하이프 사이클(Hype Cycle) 기술 성숙도 분석.

- 하이프 사이클(Hype Cycle) 기술.
 - 가트너(Gartner)의 Jackie Fenn이 개발.
 - 기대주기 모델.
 - 기술의 성숙도(maturity), 수용도(adoption), 사업화 수준을 시각적 도구로 표현하기 위한 목적.
 - Gartner사는 분야별로 여러 가지 Hype Cycle이 있으며 대략 2,000개 이상의 기술을 100개 이상의 그룹으로 분류해 매년 업데이트.
 - 특히, IT 관련 분야에서는 다양한 기술에 대한 미래 예측의 근거로 많이 활용.

- 세로축은 신기술에 대한 시장의 관심도(Visibility) 또는 기대성(expectations)을 표현.
- 가로축은 기술성숙도(maturity) 또는 시간으로 표현.



[그림 2-8. Hype Cycle의 5단계와 기대치]

○ Hype Cycle의 5단계.

- 1단계(발생기, Innovation Trigger): 잠재적 기술이 관심을 받기 시작하는 시기로 초기 개념 증명 내용과 미디어의 관심이 시작됨. 상용화 가능성이 증명되지 않은 상태.
- 2단계(거품기, Peak of Inflated Expectations): 초기 미디어의 관심이 최고조에 달하고 일부의 성공적 사례와 다수의 실패 사례가 소개됨. 일부 기업은 실제 사업에 착수하지만, 대부분 기업들은 관망 상태
- 3단계(환멸기, Trough of Disillusionment): 실험 및 구현이 결과물을 내놓는데 실패함에 따라 관심이 낮아짐. 제품화를 시도한 주체들은 크게 쇠신하거나 폐업함.
- 4단계(성숙기, Slope of Enlightenment): 시장에서 사업화 사례가

구체화되고, 2~3세대 제품들이 출시되고 더 많은 기업들이 사업에 투자하는 시기. 보수적인 기업들은 여전히 유보적인 태도.

- 5단계(안정기, Plateau of Productivity): 기술이 시장의 주류로 자리 잡기 시작함.

나. 전파 분야 유망 산업·기술에 대한 설문 조사 항목 및 분석 결과

(1) 개요.

- 전파 산업은 기술적으로 통상 (1) ‘방송·정보전달(통신)’, (2) ‘레이다·센싱’, (3) ‘무선에너지 전송 및 응용’, (4) ‘기타’로 분류⁹⁾.
- 2021년도 (참고) 2021년도 전파 유망 산업·기술 전문가 델파이 회의 결과 제시된 전파 유망 산업·기술 항목¹⁰⁾.
- 방송·정보전달 (통신), 레이다·센싱, 무선에너지 전송 및 응용군에서 발굴하였으며, 아래 표에 표시.

9) 정보통신기획평가원 전파·위성 분야 응용기술 분류 체계 참조

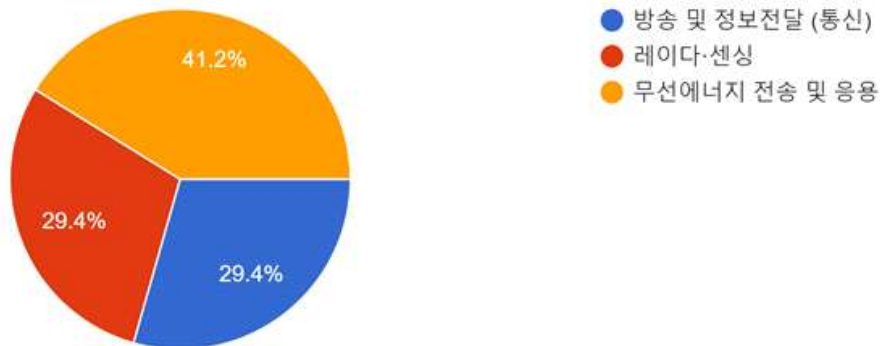
10) 전파 산업 생태계분석 및 유망 산업 도출, 한국전자과학회 수행 한국방송통신전파진흥원 보고서, 2022년 03월

- 1. 방송 · 정보전달 (통신)
 - ✓ mmWave massive MIMO 시스템
 - ✓ Full Duplexing 통신
 - ✓ Terahertz 통신
 - ✓ WiFi-7 모뎀 기술
 - ✓ V2X 기술
 - ✓ 군집 LEO 통신 기술

- 2. 레이더 · 센싱
 - ✓ 인지 레이더(Cognitive Radar)
 - ✓ 군집형/Constellation 중소형 위성 SAR
 - ✓ 5G 레이더
 - ✓ UAV 탑재 지하 투과 GPR 레이더
 - ✓ 우주감시레이더
 - ✓ UWB 레이더
 - ✓ 차량 레이더

- 3. 무선에너지 전송 및 응용
 - ✓ 원거리 무선충전
 - ✓ 전기차 무선충전
 - ✓ LEV 무선충전
 - ✓ 전파기술 기반의 의료 진단
 - ✓ 전파 에너지를 활용한 전파치료

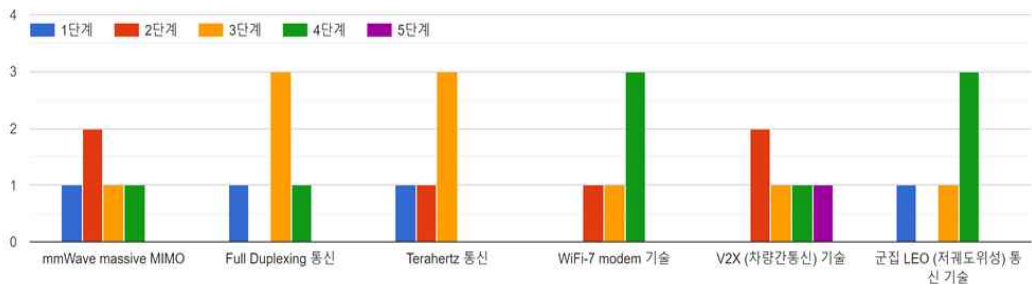
○ 문항 (1-0) 귀하의 전문 분야를 선택해주십시오.



- (결과분석) 각 3개 분야의 비중을 균등하게 두어 분야별 전문가 수를 비슷하게 두어 각 분야에서 다양한 의견을 수렴.

(가) 방송·정보전달(통신) 분야 성숙도 변화.

○ 문항 (1-1) <방송·정보전달(통신) 분야> 귀하가 생각하기에 아래의 기술은 현재 Hype Cycle에서 어느 단계에 위치합니까?



유망 산업·기술명	21년도	23년도
mmWave massive MIMO 시스템	3	2.4
Full Duplexing 통신	3	2.8
Terahertz 통신	2	2.4
WiFi-7 모뎀 기술	2	3.4
V2X 기술	3	3.2
군집 LEO 통신 기술	2	3.2

- (결과분석) 기술성숙도가 평균적으로 조금씩 커져가는 것이 일반적이지만 Full Duplexing이나 MIMO 기술의 성숙도는 낮아진 것도 있음. 이는 전문가 pool이 적고, 설문응답자의 편차가 존재하

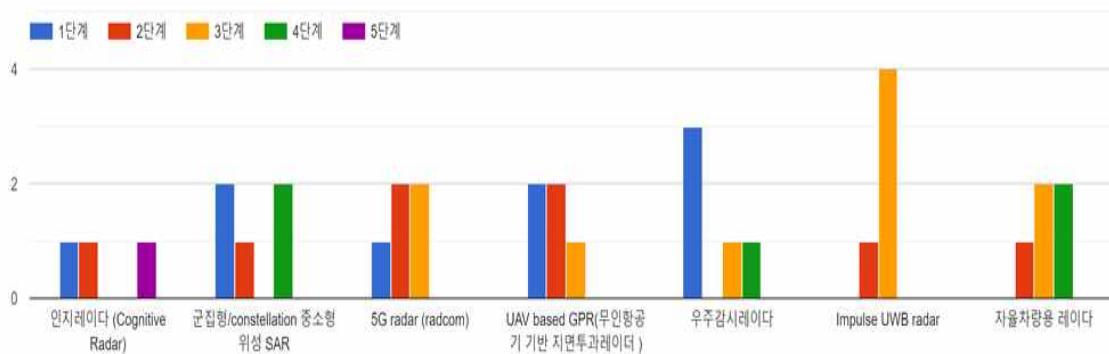
는 경우 텔파이 분석에서는 의견 조율을 거쳐야 하지만 이를 수행하지 못해서 생기는 문제로 보여짐.

○ 방송·정보전달(통신) 분야 성숙도 변화 의미 해석.

- 21년도 전과 분야 전문가들의 의견과 비교하여, 위의 6개 유망 산업·기술에 대한 기술적 진보(또는 인식의 변화)를 재평가할 수 있었음.
- 대부분 기술들은 21년도와 비교하여 Hype Cycle 상에서 단계가 증가한 것으로 조사됨. 특히, WiFi-7 모뎀 기술과 군집 LEO 통신 기술은 21년도와 비교하여 확연한 단계 상승을 보임. 이는 해당 기술들이 23년도를 기준으로 상용화 단계에 진입했다고 평가할 수 있음.

(나) 레이더·센싱 분야 성숙도 변화.

○ 문항 (1-2) <레이더·센싱 분야> 귀하가 생각하기에 아래의 기술은 현재 Hype Cycle에서 어느 단계에 위치합니까?



유망 산업·기술명	21년도	23년도
인지 레이더 (Cognitive Radar)	1	2.7
군집형/Constellation 중소형 위성SAR	2	2.4
5G 레이더	1	2.2
UAV탐재 지하 투과 GPR 레이더	2	1.8
우주감시레이더	2	2
UWB 레이더	3	2.8
차량 레이더	3	3.2

- (결과분석) 기술성숙도가 평균적으로 조금씩 커져가는 경향을 보이나 UWB 레이더 분야는 성숙도가 낮아짐. 전문가 설문에서 기존 성숙도를 보여주고 평가하므로 더 낮게 평가하는 경우는 그 분야에서 새로운 기술이 대두되는 경우가 있을 수 있음. 2년 전에 비해 기술 UWB 기술의 활용과 가능성이 늘어나면서 기술에 대한 기대감이 고조된 것으로 보여짐.

○ 레이더·센싱분야 성숙도 변화 의미 해석

- 대부분의 기술들은 21년도와 비교하여 Hype Cycle 상에서 단계가 증가한 것으로 조사됨.
- 다만, 일부 항목들(UAV 탑재 지하 투과 GPR 레이더, UWB 레이더) 21년도와 비교하여 23년도에 오히려 Hype Cycle 단계가 감소한 것으로 조사됨.
- 이는 실제 기술의 후퇴를 의미하는 것은 아닐 것이며, 해당 기술의 이해도 향상, 추가적인 기술적 난제 발견, 또는 전문가들의 인식 변화로 인해 기술의 상용화까지 더 많은 발전이 필요하다고 판단되었음을 추측.
- 이러한 기술들은 조사 시점에 따라 상용화 예상 기간이 크게 변동될 수 있음.

(다) 무선에너지 전송 및 응용 분야 분야 성숙도 변화

- 문항 (1-3) <무선에너지 전송 및 응용 분야> 귀하가 생각하기에 아래의 기술은 현재 Hype Cycle에서 어느 단계에 위치합니까?



유망 산업·기술명	21년도	23년도
원거리 무선충전	3	2.1
전기차 무선충전	3	3.4
LEV (저속전기차) 무선충전	3	3.1
전파의료 (진단)	3	2.4
전파의료 (치료)	3	2.1

- (결과분석) 기술성숙도가 평균적으로 조금씩 커져가는 경향을 보이나 전기차 무선충전을 제외하면 모두 기술성숙도가 낮아짐. 전파의 에너지활용 분야는 초기 기대와 달리 시장 성장이 정체되어 산업에서 관심도가 낮아져 여전히 연구소와 대학을 중심으로 연구하고 있음.

○ 무선에너지 전송 및 응용 분야 성숙도 변화 의미.

- 무선에너지 전송 및 응용 분야의 전반적인 Hype Cycle의 변화는 약간의 단계 상승을 보이며, 21년도와 비교하여 꾸준히 발전되고 있음을 알 수 있음.
- 특히, 21년도 이후의 전기자동차 상용화가 가속화됨에 따라서, 전기차 관련 기술 분야들이 원거리 무선 충전 또는 전파 의료 분야에 비해서 Hype Cycle의 인식 단계가 빠르게 상승한 것으로 보임.
- 전반적으로 3, 4단계에 위치하는 것을 알 수 있음.

(2) 전파 분야 유망 산업·기술 (현재)에 대한 정리.

- 21년도 전파 분야 유망 산업·기술의 전문가 델파이 회의 결과와 비교하여, 동일한 산업·기술 항목들에 대한 Hype Cycle 상에서의 단계를 재조사 하였음.
- 2년 동안의 기술 발전과 인식 변화로 인해 대부분 기술들은 Hype Cycle의 단계가 소폭 상승한 것을 확인하였으며, 대부분의 산업·기술이 3, 4단계에 위치하기 때문에 여전히 유망한 산업·기술이라고 판단.
- 일부 기술항목은 Hype Cycle 상에서의 평균 단계가 소폭 하락하였

음.

- 이는 21년도와 비교하여 23년도 기준, 더 많은 기술적 난제를 발견하고 이해함에 따라 상용화 시기가 더 늦춰질 것이라고 예상하는 의견이 추가되었다고 보여짐.

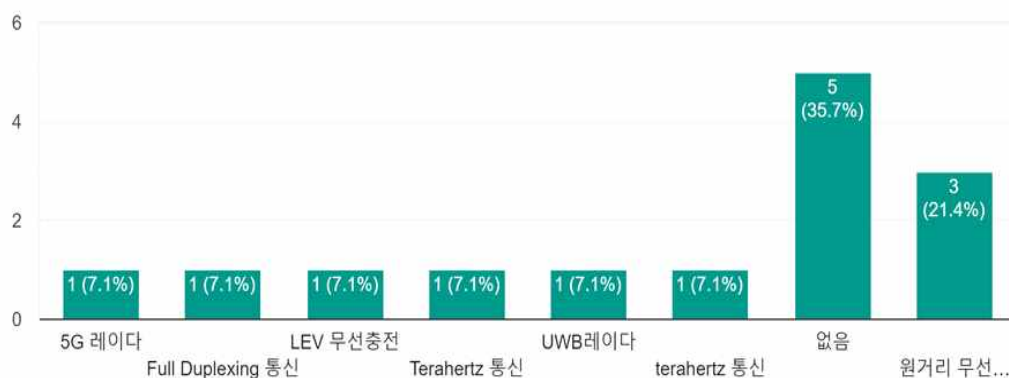
다. 전파 분야 유망 산업·기술 추가 및 제외 제안에 대한 설문 조사 항목 및 분석 결과

(1) 개요.

- 21년도 전파 분야 유망 산업·기술 전문가 델파이 회의 참석자와 본 23년도 설문 참여자가 일부 다름.
- 동일한 전문가 역시 2년이 지난 시점에서 해당 분야의 의견 변동 가능성 있음.
- 21년도 이후에 새롭게 주목할만한 전파 분야 유망 산업·기술에 대해 조사.
- 21년도에는 유망하다고 여겨졌으나 23년도에는 중요도가 크게 감소한 기술 항목 조사.

(2) 설문.

- 문항 (2-1): 선정된 품목·기술 중 제외하고 싶은 전파유망 품목·기술은?



○ (설문 응답 해석).

- ‘없음’을 선택한 경우에는 21년도 기준, 전파 분야 전문가 델파이 회의에서 도출한 유망 산업·기술이 23년도에도 모두 여전히 유망하다는 의견을 나타냄. 총 5명이 제외하고 싶은 항목이 ‘없음’이라 답변.
- 방송·정보전달(통신) 분야에서는 ‘Terahertz 통신’ (2표)과 ‘Full Duplexing 통신’ (1표)에 대한 제외 의견이 있음. 즉, 일부 전문가는 해당 기술이 23년도에는 더 이상 유망하지 않다는 의견을 제출.
- 레이더·센싱 분야에서는 ‘5G 레이더’ (1표)와 ‘UWB 레이더’ (1표)에 대해 제외 의견이 있음.
- 무선에너지 전송 및 응용 분야에서는 ‘원거리 무선충전’ (3표), ‘LEV 무선충전’ (1표)를 해당 리스트에서 제외해야 한다고 응답. 특히, ‘원거리 무선충전’의 경우 5명의 전문가 중 3명의 전문가가 더 이상 유망하지 않다고 응답하였음에도 불구하고, Hype Cycle 상에서의 단계는 3단계 미만에 위치함.
- 따라서 ‘원거리 무선충전’의 발전도는 아직 충분히 성숙되지 않았으나, 상용화 가치가 부족하다고 판단되는 기술일 것으로 예상.

○ 문항 (2-2): 응답 분야의 품목·기술 외에 추가하고 싶은 전파유망 품목·기술은?

(2-2) 응답 분야의 품목·기술 외에 추가하고 싶은 전파유망 품목·기술은?
• 무인기 감시 AESA 레이더
• Zero-power 무선통신
• 다중 레이더 (Multi-Static Radar)
• 위성단말 및 지구국
• 에너지 하베스팅
• Cognitive Radio
• 마이크로파 가열기술
• 인공지능 레이더
• 통신 및 무선전력전송 동시 지원 시스템
• 전파의료기술
• Synthetic Aperture Radar
• 우주 에너지 전송

○ (설문 응답 해석).

- 21년도 전파 분야 전문가 델파이 회의에서 도출된 유망 산업·기술 외에 23년도에 추가적으로 주목받아야 한다고 생각되는 산업·기술에 대한 개인별 의견을 수집.
- 다만, 이는 추가적인 회의와 논의 없이 개인적인 판단 기준에 근거하기 때문에, 해당 산업·기술 항목들은 전파 분야 유망 신기술이라고 선불리 판단하기는 어려움.
- 추가적인 전문가 논의와 검증을 통해 유망 산업·기술로 정의해야 할지 판단 가능. 신규 제안된 각 산업·기술에 대한 간단한 정의는 기존의 유망 산업·기술과 함께 정리.

○ 문항 (2-3): 귀하가 생각하기에 (2-2)에서 응답한 품목·기술은 현재 Hype Cycle에서 어느 단계에 위치합니까?

(2-2) 응답 분야의 품목·기술 외에 추가하고 싶은 전파유망 품목·기술은?	(2-3) 귀하가 생각하기에 (2-2)에서 응답한 품목·기술은 현재 Hype Cycle에서 어느 단계에 위치합니까?
• 무인기 감시 AESA 레이더	3
• Zero-power 무선통신	2
• 다중 레이더 (Multi-Static Radar)	1
• 위성단말 및 지구국	1
• 에너지 하베스팅	5
• Cognitive Radio	2
• 마이크로파 가열기술	4
• 인공지능 레이더	2
• 통신/무선전력전송 동시 지원 시스템	2
• 전파의료기술	1
• Synthetic Aperture Radar	4
• 우주 에너지 전송	1

○ (설문 응답 해석).

- (2-2)에서 수집한 전파 분야 유망 산업·기술 항목들은 추후에 전문적인 논의를 거쳐 추가적으로 고려할 대상임.
- 이 때, 각 전문가들이 제안한 Hype Cycle 상의 위치는 참고 자료로 활용할 수 있음.
- 특히, Hype Cycle의 1, 2단계에 위치하는 산업·기술들은 소수의 전문가들만이 고려하고 있을 확률이 높아, 적극적으로 논의될 여지 있음.

○ (기술정의) 여기서 언급한 각 기술에 대한 정의는 부록 ‘전파 분야 유망 산업·기술 정의’ 참조.

제3절 미래 전파인력양성을 위한 대학 교육

- 미래 전파인력양성 방안 마련을 위해 다양한 교육 방법 시도를 살펴보고자 함.

1. 공개강좌(Open Course)

- 대학교의 교육 과정뿐만 아니라 온라인 플랫폼을 활용한 개방형 교육을 수강할 수 있는 OCW(Open Course Ware), Stanford Online, MOOC(Massive Open Online Courses)에서도 전파 관련 교육을 진행.

가. MIT OCW(OpenCourseWare)¹¹⁾

- 2001년부터 MIT의 OER(Open Educational Resources)을 공유하여 교육 기회 제공.
- 학부와 대학원 수준 과정의 모든 교육 자료를 온라인으로 게시.
- 인증, 자격 조건, 등록 및 가입 필요 없음
- 강의 자료 무료 열람, 다운로드 가능.
- Receivers, Antennas, and Signals, Electromagnetics, Principles of Wireless Communications 등 다양한 전파 관련 강의 자료에 자유롭게 접근하여 학습 이용 가능.

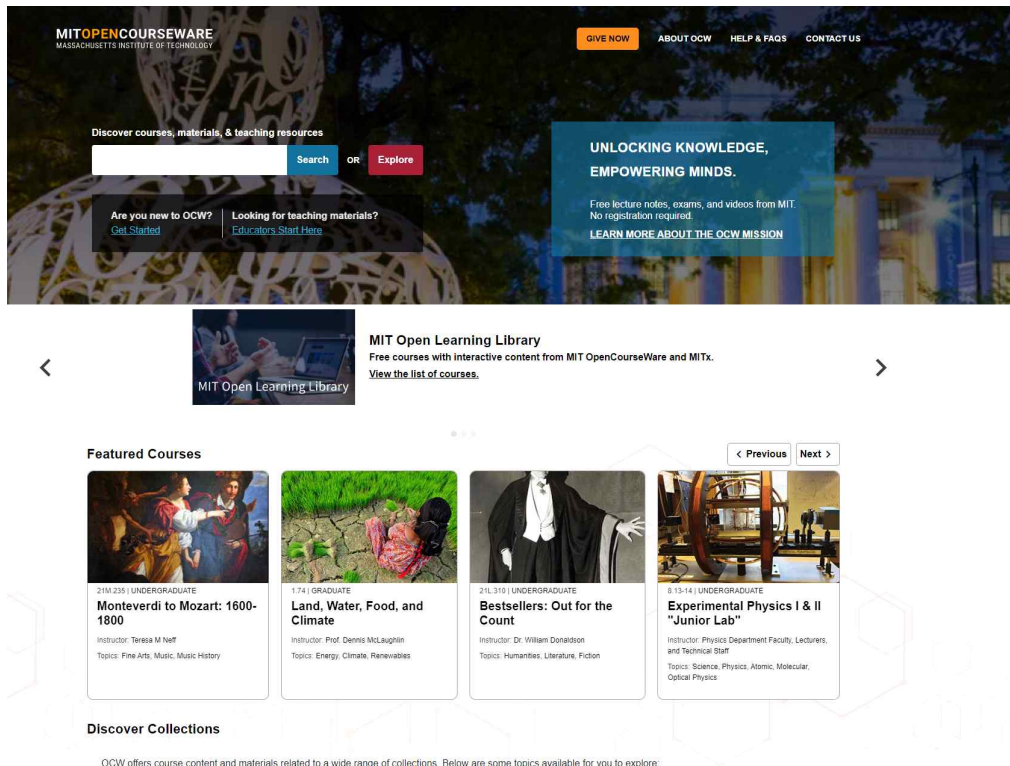
나. Stanford Online¹²⁾

- Stanford University(스탠포드 대학)에서 온라인 플랫폼에서 다양한 분야에서의 기초 및 심화 교육 제공.
- 각 과정 약 10주 과정, 총 150~250시간 커리큘럼으로 온라인 e러닝 교육 진행.
- introduction 강의는 무료, 심화 강의는 유료로 구성.

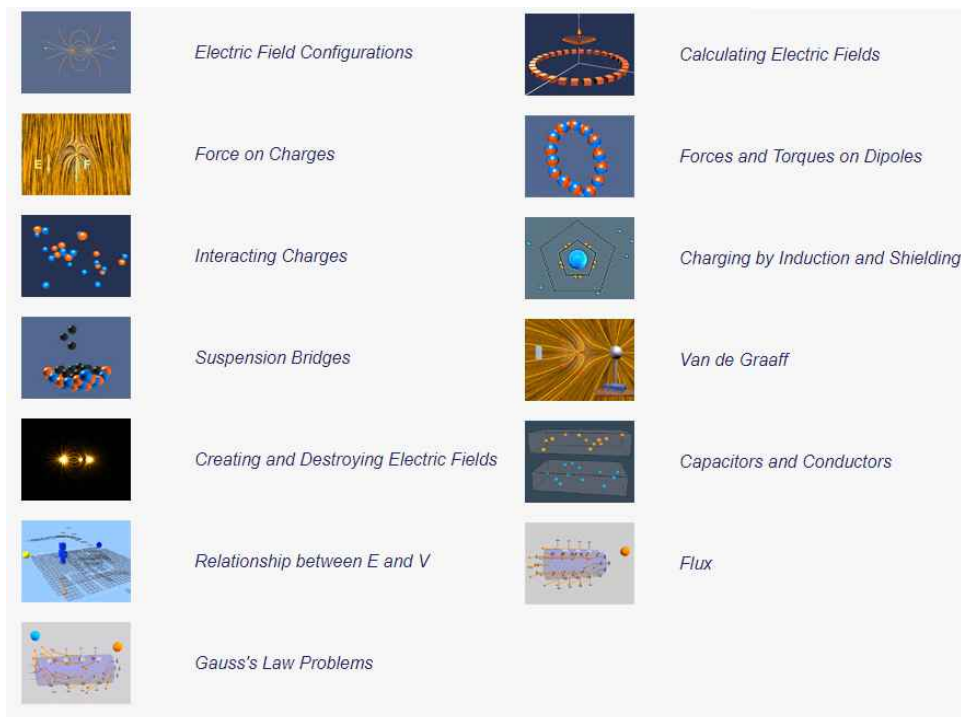
11) <https://ocw.mit.edu/>

12) <https://online.stanford.edu/>

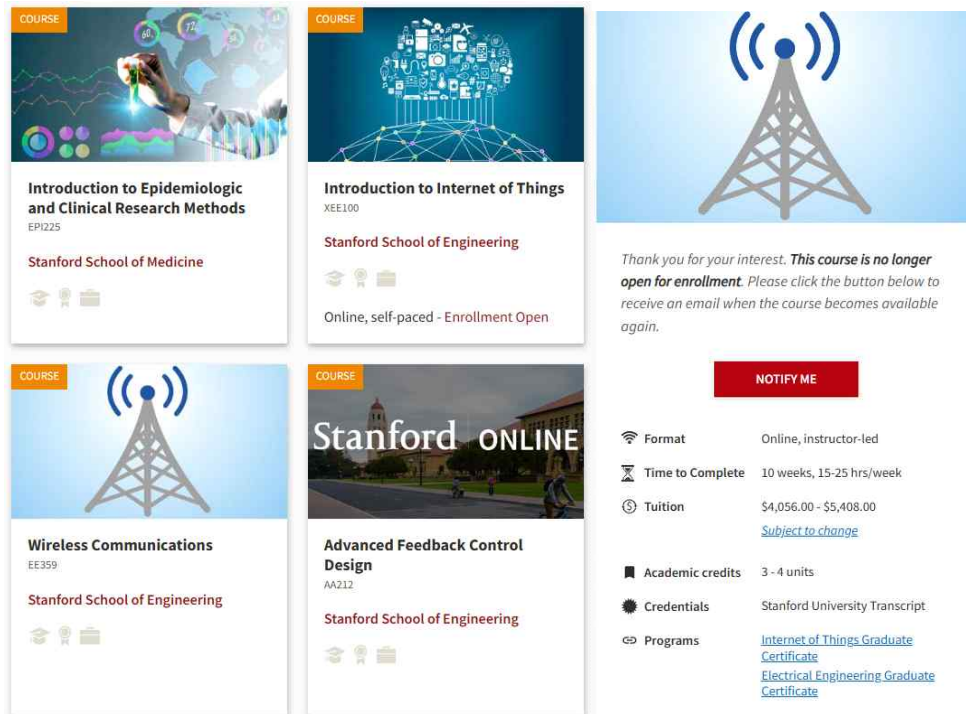
- 수료 시 학사 학위 제공하거나, 수강에 학사 학위가 필요한 강의 있음.



[그림 2-9] MIT OCW



[그림 2-10] MIT OCW에서 제공되는 visualizing e&m



[그림 2-11] Stanford Online lectures

다. Coursera, edX 등

- 대표적인 MOOC에는 미국의 스탠퍼드 대학교, 미시간 대학교 등이 협력하여 설립된 ‘Coursera’와 MIT, 하버드 대학교가 공동 투자로 설립된 ‘edX’가 있음¹³⁾¹⁴⁾.
- microwave engineering/EM 강의가 타 반도체 혹은 통신 분야에 비해 적음.
- 사유: 높은 난이도로 인해 학부 과정에 신기술을 적용한 강의를 만들기 어려운 것으로 보임.
- 2010년 전후로 MATLAB 및 시뮬레이션 기반의 시각 강의자료는 이미 도입이 많이 된 것으로 보임.
- Coursera 기준 (대학에서 운영하는 강의).
 - KAIST, 한국.

13) <https://www.coursera.org/>

14) <https://www.edx.org/>

:신소재 홍승범 교수.

:<https://www.coursera.org/specializations/electrodynamics>

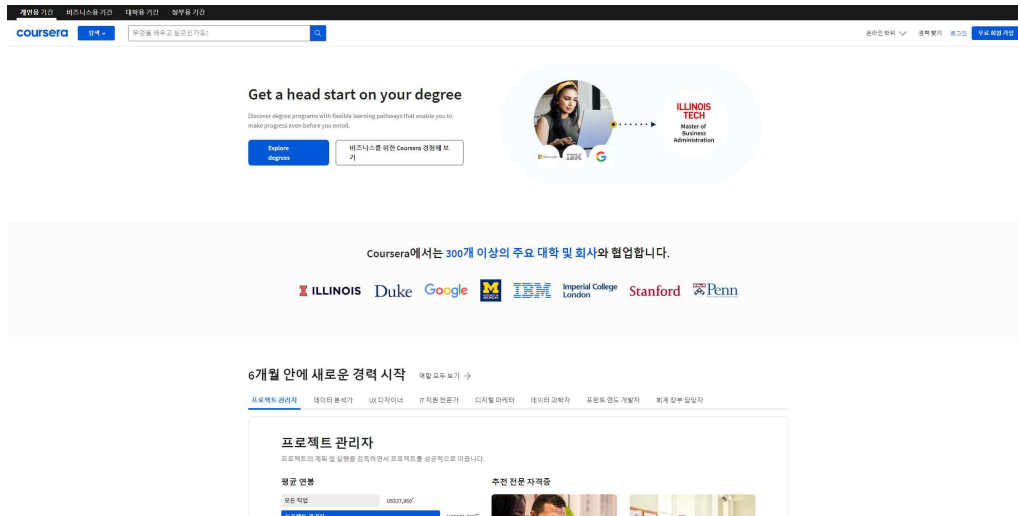
- RICE university, 미국.

:<https://www.coursera.org/specializations/introduction-to-electricity-magnetism>

- TU/e (에인트호번 공과대학), 네덜란드.

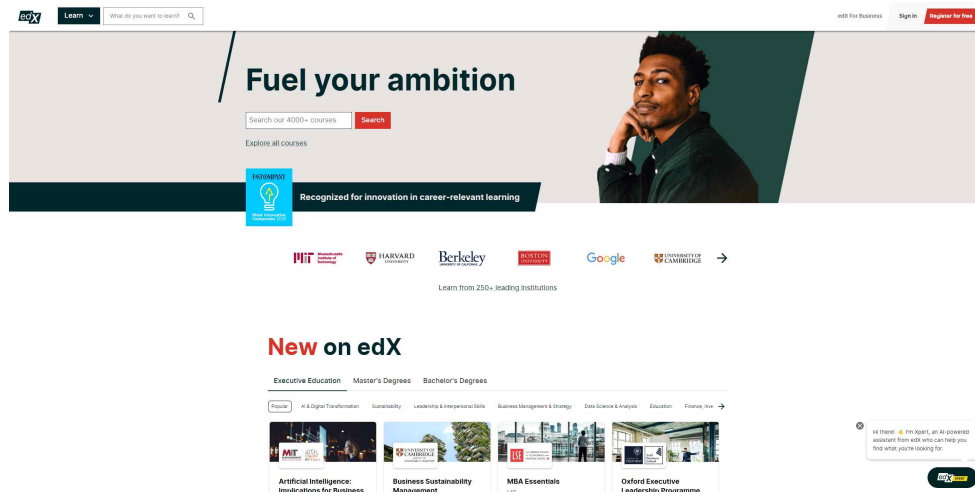
:<https://www.coursera.org/learn/microwave-antenna>

:Microwave Engineering and Antennas에서 최초로 시행¹⁵⁾.



[그림 2-12] Coursera

15) A. B. Smolders, D. M. W. Leenaerts, K. A. P. Hastenberg, E. Den Boer and U. Johannsen, "Launching the First Massive Open Online Course (MOOC) on Microwave Engineering and Antennas," 2021 51st European Microwave Conference (EuMC), London, United Kingdom, 2022, pp. 5-8, doi: 10.23919/EuMC50147.2022.10050254.

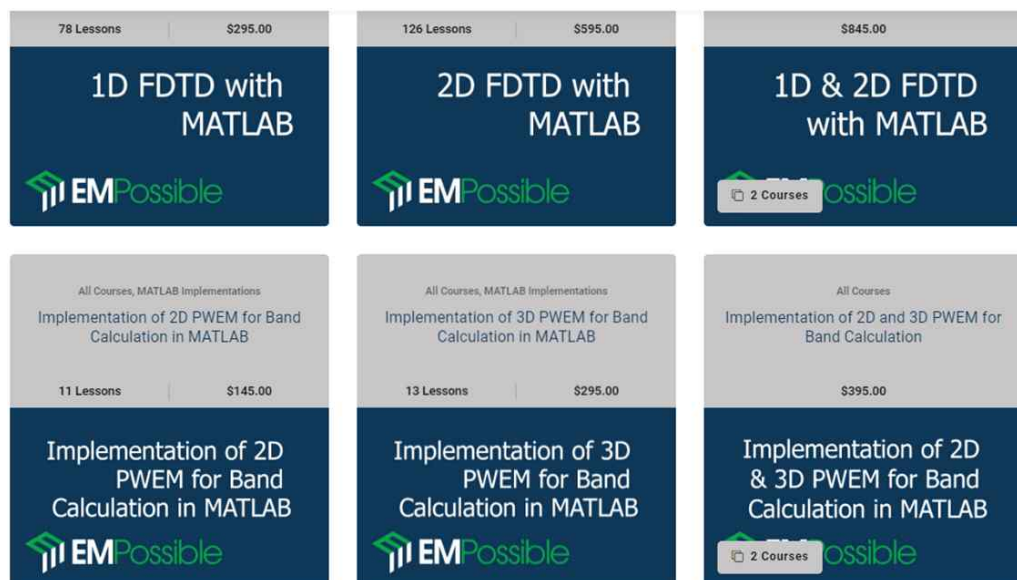


[그림 2-13] edX

라 전파/microwave 관련 Open 강의 자료

○ EMPossible  .

- Computational EM.
: <https://empossible.net/>
- MATLAB 기반의 예제 파일을 모두 제공하고 있음.
- MATLAB의 경우 웹에서도 실행 가능, 추후 이에 대한 활용 가능성 큼.



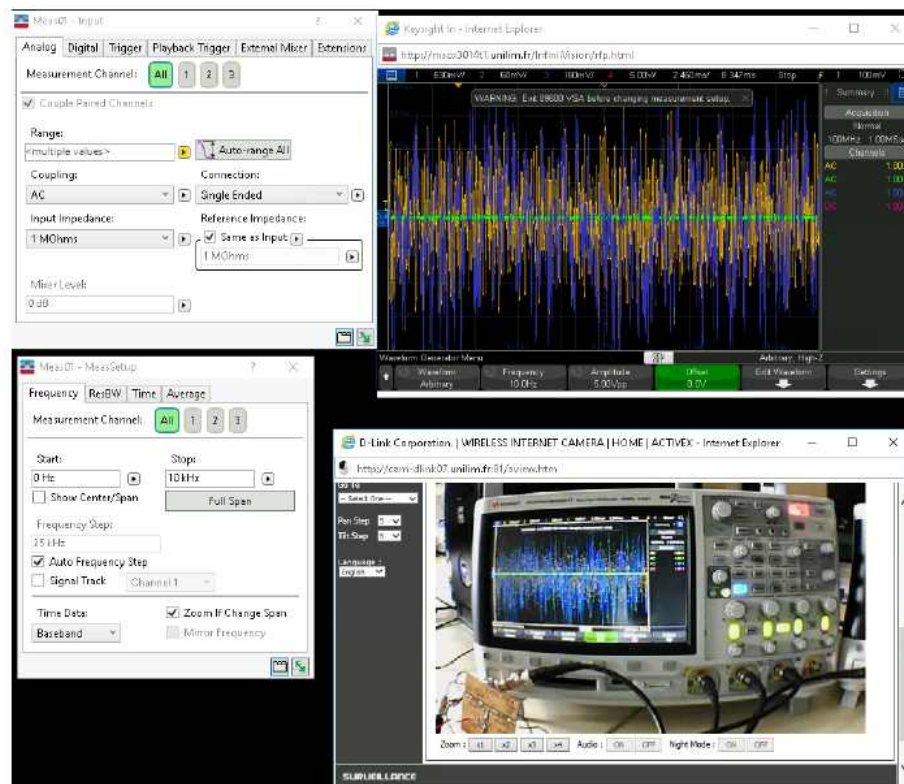
[그림 2-14] EMPossible의 MATLAB 기반의 예제 파일들

○ (코로나) 비대면 마이크로파 교육.

- 리모주 대학교(Universit ´ e de Limoges), 프랑스.

:측정 장비를 카메라로 보여주면서 원격 제어가 가능하게 함16).

:Remote Lab (키트를 택배로 보내주고 받음)17).

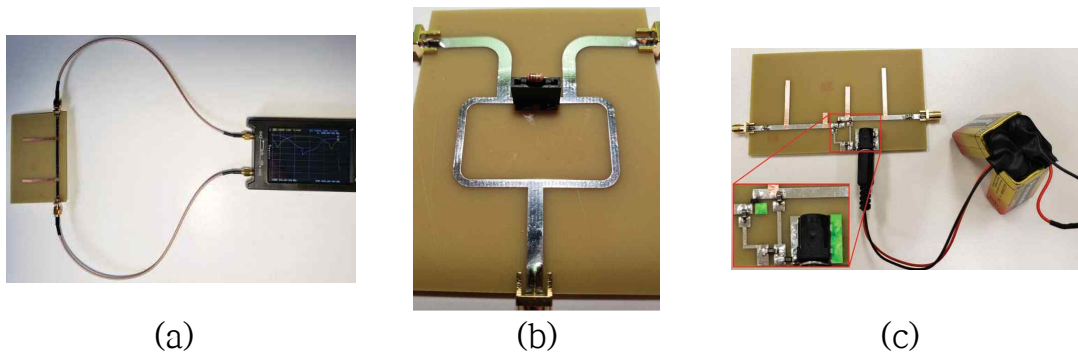


[그림 2-15] VSA 89600B GUI 및 웹캠을 이용한 원격 오실로스코프 측정

- 16) A. Fontana et al., "Microwave Engineering education during COVID-19 pandemic: challenges and solutions implemented in practical work," 2021 51st European Microwave Conference (EuMC), London, United Kingdom, 2022, pp. 17-20, doi: 10.23919/EuMC50147.2022.10050218.
- 17) A. K. Iyer, B. P. Smyth, M. Semple and C. Barker, "Going Remote: Teaching Microwave Engineering in the Age of the Global Pandemic and Beyond," in IEEE Microwave Magazine, vol. 22, no. 11, pp. 64-77, Nov. 2021, doi: 10.1109/MMM.2021.3102649.



[그림 2-16] 실험실 키트 (a) 보안경, (b) 100Ω 저항, (c) 핑크 방지 장갑, (d) 디지털 멀티미터, (e) Nano VNA, ((e) Nano VNA, (f) 필터 회로, (g) 윌킨슨 전력분배기 회로, (h) 증폭기 회로, (i) 자, (j) 드라이버, (k) X-ACTO 칼, (l) 구리 테이프 (3mm), (m) 9 V 배터리 2개, (n) 배럴 플러그가 달린 9 V 클립, (o) 단락된 9 V 클립, (p) SMA 직선 어댑터, (q) 50Ω SMA 부하, (r) 20 dB 감쇠기



(a) (b) (c)
[그림 2-17] Remote LAB에서 진행한 세 가지 실험 (a) 1 GHz 대역제거 마이크로스트립 스텔브 필터, (b) 1 GHz 윌킨스 전력 분배기, (c) 공동 에미터 RF BJT 증폭기 회로

○ 온라인/Open 교육으로의 전환 고려사항.

- 이론 교육은 다른 분야와 마찬가지로 국내외적으로 다양한 Open course가 있음.

- 실험의 경우 고가장비, (기생소자 효과 등 발생으로 인한) 정밀한 실험조작 등으로 온라인 진행이 어려움.
- 시뮬레이션의 경우 점차 온라인(원격접속) 교육이 늘어나고는 있으나 계산량에 의한 시뮬레이션 시간의 증가로 복잡한 구조는 진행이 어려움.

○ KOCW(Korea OpenCourseWare)¹⁸⁾.

- 고등교육 교수학습자료 공동활용 체제로 국내·외 대학 및 기관에서 자발적으로 공개한 강의 동영상, 강의자료를 무료로 제공하는 서비스.
- 국외 MIT, UNESCO, GLOBE와 유사한 목적의 국내 기관.
- 전과 관련 교과목: 전자기학, 마이크로파공학, 안테나공학 등 수십 종의 강의가 영상자료와 강의노트가 무료로 제공되고 있음.



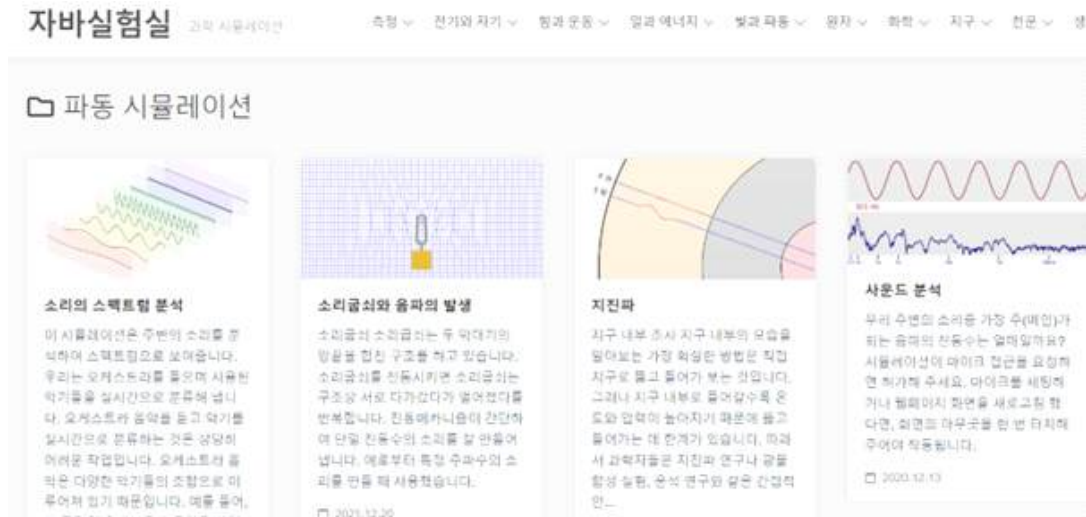
[그림 2-18] KOCW의 도입 화면

○ 자바 실험실.

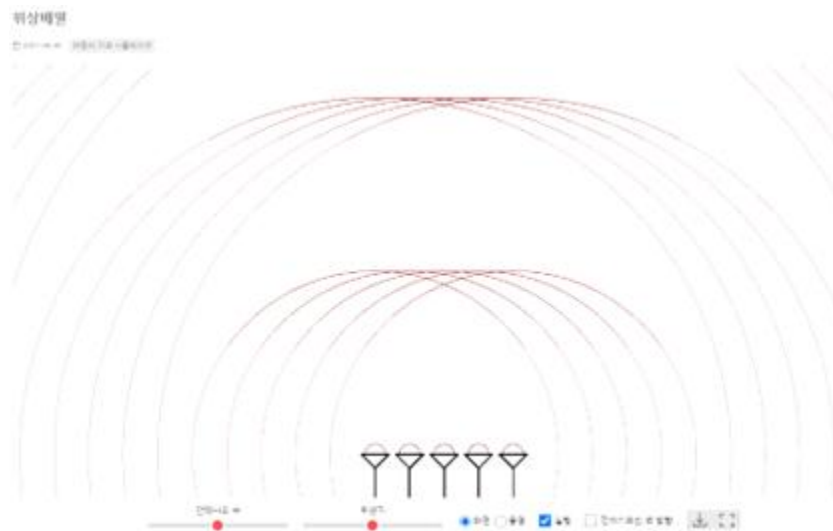
- 현재 물리, 화학, 지구, 천문, 생명과학, 수학, IT 등 다양한 분야에서 약 400여 가지의 실험실습용 시뮬레이션이 제공.
- 전과 관련해서 전류, 파동 특성, 전기력선, 자기력선, 전자기 유도, 안테나 원리 등 다양한 시뮬레이션(가상실험)이 소개되어 있음.

18) <http://www.kocw.net/home/index.do>

- 별도의 플러그인이나 프로그램 설치 없이 일반 웹브라우저로 실행 가능.
- 수업 중 자료 사용에 대한 대부분 저작권이 오픈되어 있음.



[그림 2-19] 자바실험실 파동 시뮬레이션¹⁹⁾



[그림 2-20] 자바실험실 위상배열안테나²⁰⁾

19) https://javalab.org/category/light_wave/wave/

20) https://javalab.org/phase_array/

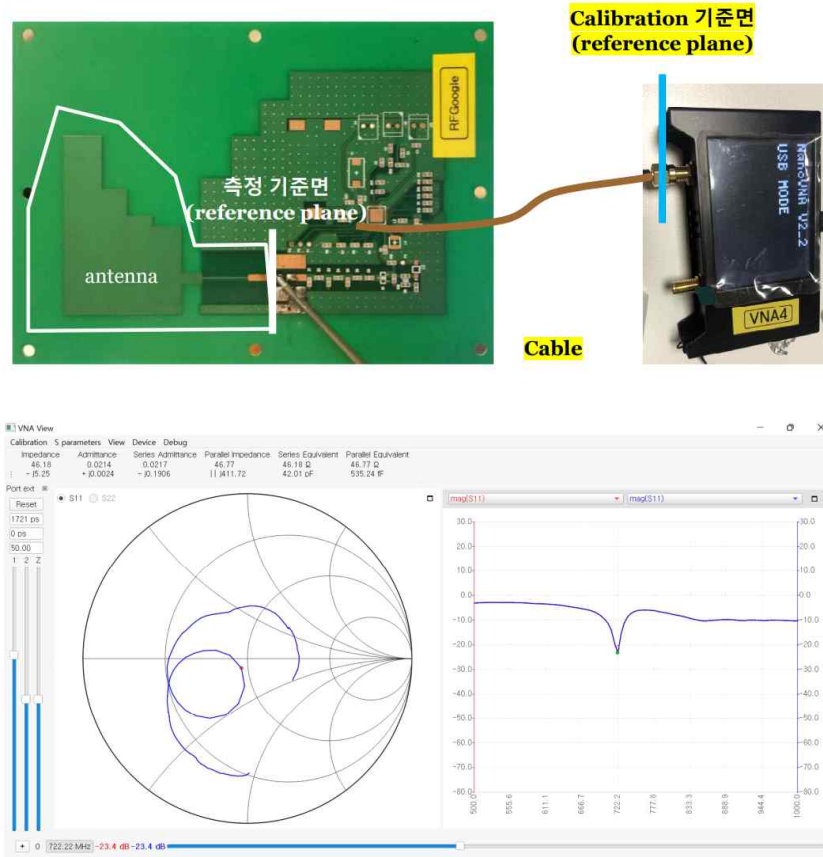
2. 국내 학부 전파교육 변화 예

- 전통적인 전파교육 실험은 수천만 원 수준의 고가 기본 장비인 네트워크분석기, 스펙트럼분석기, 신호발생기를 활용하여 주로 회로를 구성하여 분석적 실험을 수행.
- 최근 설계(design)의 중요성 강조, PBL(Problem-Based Learning)과 Flipped Learning 같은 교육 방법 적용, 수십만 원 수준의 저가 RF 장비(네트워크분석기, 스펙트럼분석기 등) 등장, 파이썬/Matlab 같은 coding 기반의 SW 보급, Aduino 같은 SW 기반의 제어보드 보급 등 새로운 교육 방법과 환경변화로 다양한 시도가 이루어지고 있음.
- 사례를 통해 이러한 변화가 어떻게 적용되고 있는지 살펴보고자 함.

가. 전파교육-초고주파공학설계 운영

- 서울시립대 초고주파공학설계는 전파핵심교과목인 전자장2와 초고주파공학을 이수한 학생들을 대상으로 3학년 2학기에 개설하여 운영함.
- 국민대학교에서는 설계 중심의 SW 기반의 RF 교육을 지향하고 있고 SDR, radar 활용 등을 교과 실험으로 운영하고 있음.
- (서울시립대 교안 예) 중간/기말고사를 제외하고 총 13주 실험으로 구성.
 - Matlab 기초 2주.
 - Matlab GUI 기반 Arduino 제어 2주.
 - Matlab RF Toolbox, PCB Toolbox 2주.
 - 저가 VNA 활용 S-parameters 측정 1주.
 - EM 해석 tool (CST) 활용 Loop/Patch 안테나 설계 2주.
 - Matlab 활용 Impedance Matching 1주.
 - 제작 안테나 적용 SDR (RTL)을 이용한 Software FM radio 설계 1주.

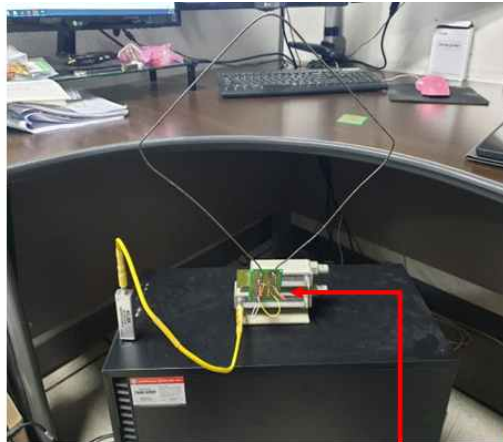
- 24 GHz Doppler Radar 원리 및 coding 1주.
- Matlab 활용 RF budget 해석 및 trouble shooting 문제 1주.



[그림 2-21] 10만 원 수준 저가 네트워크분석기를 활용한 임피던스 측정

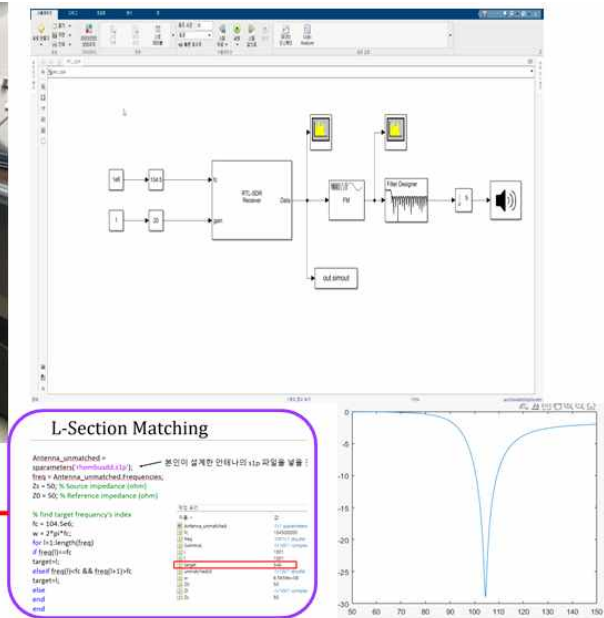


[그림 2-22] 도플러 레이더(HW)와 MATLAB 이용한 코딩(SW)



-Return Loss = 20 dB @106.4MHz
 -Return Loss \cong 8~9 dB at 104.5MHz

coding



[그림 2-23] 안테나 이득 향상 위한 정합 회로 설계(HW)와
 RTL-SDR(SW)을 이용한 FM 라디오 성능 시험

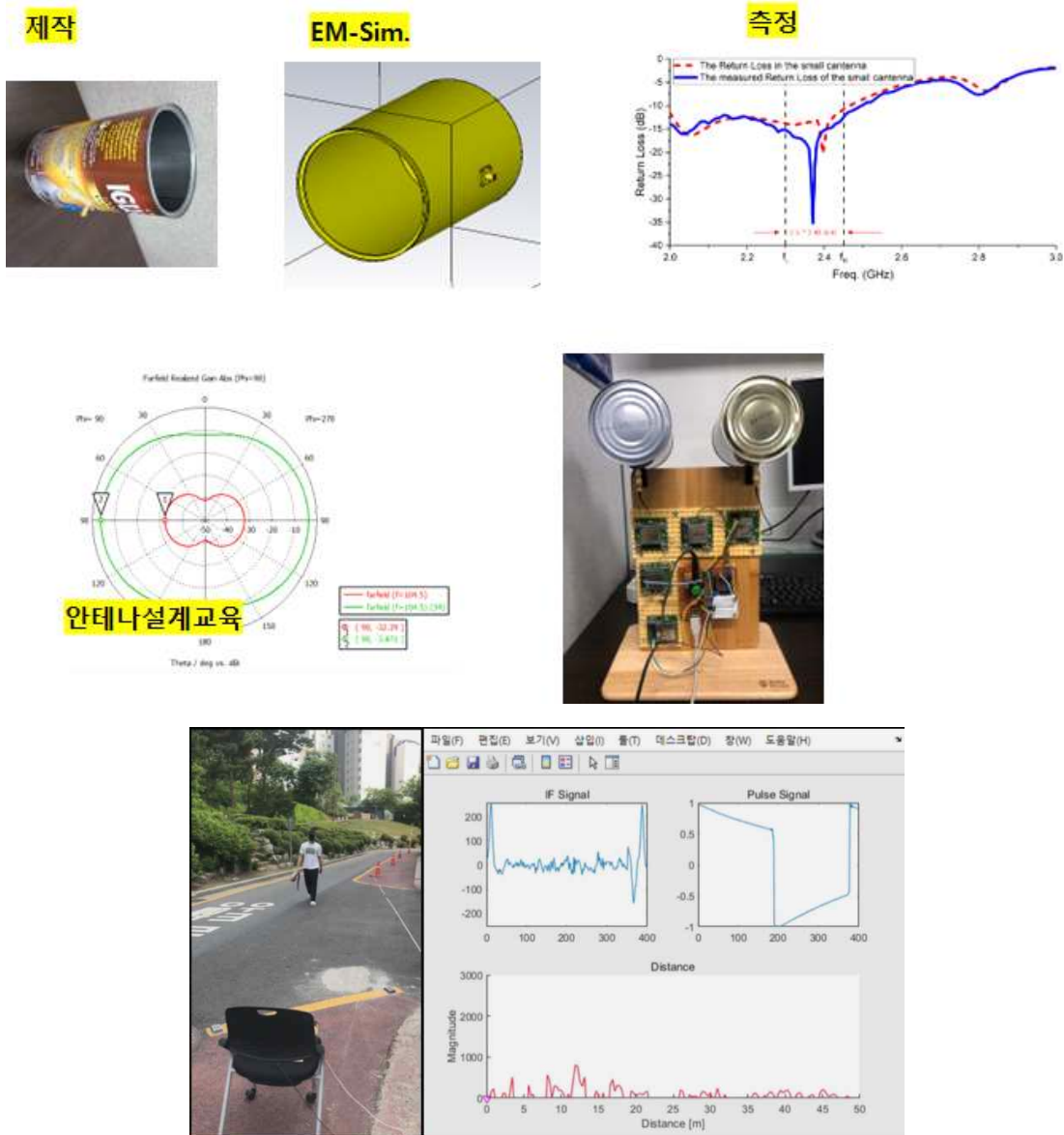
○ 운영결과.

- 현재 학부 대학생들은 2000년 이후 태어나 이전 세대처럼 아날로그 라디오, 텔레비전, 안테나 등 전자 부품을 조작해 본 경험이 없고 Smart phone을 활용하며 자란 세대임.
- 이들에게 부품 레벨 교육은 흥미가 낮고 상대적으로 SW에 기반한 RF/전자 시스템 응용에 더 많은 관심을 보임.
- SW 강화 교육을 위해 SDR 등 범용 RF 송수신 기기 등을 활용한 서비스 등이 교육에 더 적합하다고 판단됨.
- (Doppler 레이다 운영 예) 초고주파공학설계에서 1주 3시간 동안 도플러센서의 원리, RF 송수신구조 이해, 도플러 신호처리를 위한 matlab coding 및 수정, doppler 레이다를 이용한 움직임 감지 수업을 진행하고 있음. 3시간에 다루기에 매우 많은 양 같으나 전파를 이용한 움직임 검출 원리를 이해하고 활용을 체감함으로써 대학원 진학 등 전문과정으로 가는 진로 선택에 도움이 되고 있다고 생각됨.

나. 전파교육 - 종합설계(캡스톤 설계)- 서울시립대 사례

- 캡스톤설계: 저학년에서 동안 익힌 전공지식(요소기술)을 바탕으로 학생들이 스스로 기획·설계·제작함으로써 창의성과 실무능력, 팀워크, 리더십을 배양하기 위한 학부 최상위 교과목.
- 도시사회문제 해결형 주제 제시.
 - FMCW 레이더의 원리를 설명한 후 이를 활용한 도시사회문제 해결형 주제 수행.
 - ✓ 레이더를 활용하여 해결하는 대표적인 도시사회문제로 독거노인 모니터링, 노약자 교통안전, 자살조기감지, 빈집 관리 등.
 - (예) 2.4 GHz FMCW 레이더 설계 제작: can을 활용한 안테나 설계, FMCW의 기본 블록 설계 제작, 레고블록을 활용한 시스템 구현, Matlab-GUI, 움직임 검출을 활용한 적용사례 적용.
 - 참고자료로 MIT에서 운영하는 coffee-can radar²¹⁾ 소개.

²¹⁾<https://ocw.mit.edu/courses/res-ll-003-build-a-small-radar-system-capable-of-sensing-range-doppler-and-synthetic-aperture-radar-imaging-january-iap-2011/>

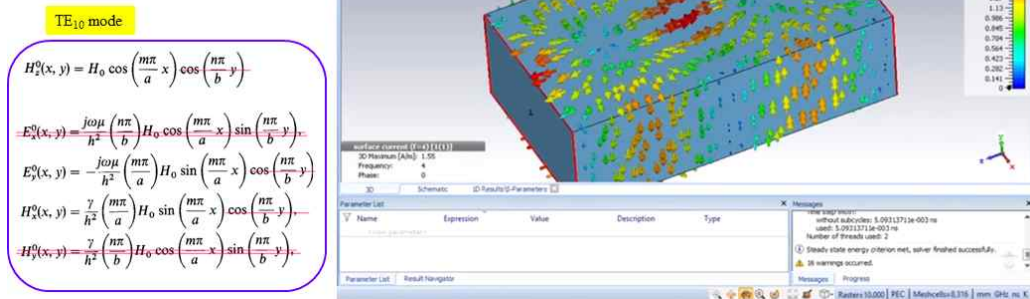


[그림 2-24] 학부 팀 프로젝트를 통해 진행된 캔테나를 이용한 레이다와 보행자 움직임 감지 시험

다. 비교과 과정 - RF bootcamp 운영

- 비교과과정은 정규 교과목에서 다루기 힘든 요소를 보강하기 위해 주로 방학 중 운영하는 제도.
- 서울시립대에서 운영하는 RF bootcamp 중 상용 전자기 해석 tool을 활용하는 과정을 1일 코스로 운영하고 있음.

- 개설 사유: 수학적으로 기술한 부분을 전자기 문제를 시각적으로 표현함으로써 전자기 문제에 직관을 제공.
- 예제: rectangular waveguide를 해석 이후 EM tool 활용 field 시각화.
- [그림 2-25]와 같이 전자기 tool 중 하나인 CST를 비교과로 다루고 rectangular waveguide를 해석한 후 교과서의 수식 표현과 비교 분석하는 1일 과정의 비교과 과정을 운영함.



[그림 2-25] 직각 도파관에서 전자기 수식과 전자기 해석 tool인 CST로 해석한 결과 비교.

제3장 결론 및 시사점

제1절 요약 및 결론

1. 학부 전파인력 배출 현황

- 전국 32개교 66개 학과(부)에서 개설되는 전파핵심 교과목의 이수 현황을 2014년부터 2023년까지 10년간 조사한 결과 2015년 이후 9년간 지속적으로 감소하고 있음.
- 2015년 이수자 대비 2023년 이수자의 감소율은 17% (연환산 감소율 2%).
- 전파교과목 이수자 감소의 원인을 정리하면 다음과 같음.
 - 전파교과목에서 요구하는 수학(미적분, 벡터, 기하) 선택자의 비율이 낮고 수학 기초가 부족한 학생들이 증가.
 - ※ 2023년 ‘기하’ 교과목 수능 선택비율 6.3%
 - 전파교과목과 연계되는 산업에 대한 이해가 부족하여 중요교과목 경쟁에서 후 순위.
 - 정부 주도의 학부생 대상 전파인력양성프로그램 전무함.
 - ※ 정부가 집중 육성하는 반도체, AI 분야로 인재 집중
- 전파교과목 수강에 대해 대한 학부/대학원 연구생들의 설문 결과 기초 수학의 어려움, 교과목의 활용도(실무 연결)에 대한 이해 부족을 교과목 이수의 어려움으로 들었고, 이를 개선하는 방법으로 실무와 활용의 예를 늘리고, 전자파를 시각적으로 표현하는 EDA tool 도입을 요청하였음.

2. 산업체 수요 분석

- 산업체 현업에서 바라보는 교육 방법에 대한 설문 분석 결과.
 - 전자기(EM) 해석 tool, 회로설계 tool, SW coding, 측정장비 교육에 대한 필요성이 매우 높았음.
 - AI, SDR, 장비제어에 대한 교육 필요성은 상대적으로 높지 않음.

- 전문 인력양성에 필요한 교육내용(커리큘럼)의 2021년 조사와 비교 변화.
 - 방송·정보전달 (통신): mmWave massive MIMO 시스템, Full Duplexing 통신, Terahertz 통신, WiFi-7 모뎀 기술, V2X 기술, 군집 LEO 통신 기술.
 - ✓ ‘Terahertz 통신’ 과 ‘Full Duplexing 통신’ 에 대한 관심이 낮아짐.
 - 레이더·센싱: 인지 레이더(Cognitive Radar), 군집형/Constellation 중소형 위성 SAR, 5G 레이더, UAV 탑재 지하 투과 GPR 레이더, 우주감시레이더, UWB 레이더, 차량 레이더.
 - ✓ ‘5G 레이더’ 와 ‘UWB 레이더’ 에 대한 관심도가 낮아짐
 - 무선에너지 전송 및 응용: 원거리 무선충전, 전기차 무선충전, LEV 무선충전, 전파기술 기반의 의료 진단, 전파 에너지를 활용한 전파치료.
 - ✓ ‘원거리 무선충전’ 은 시장 가치가 상대적으로 높지 않아 관심도가 낮아짐.

3. 미래 전파인력양성

- 전세계적으로 온라인 플랫폼을 활용한 개방형 교육을 지향하면서 OCW(Open Course Ware), Stanford Online, MOOC(Massive Open Online Courses)에서도 다양한 전파 관련 교육 프로그램이 제공되고 있음.
- 일부 실험 장비/SW 교육도 Virtual 장비를 이용한 온라인상에서 진행되고 있는 등 코로나 팬데믹을 거치면서 활용도가 높아지고 있음.
- 전파교육의 방법론과 환경도 변화를 맞고 있음.
 - HW 중심 교육 → SW 중심 교육으로 변화.
 - 수식을 이용한 전자기 현상 해석 → EDA를 활용한 직관적 설계.
 - 개별 요소기술 설명 → 종합적 통합 문제해결(PBL,

Problem-Based Learning).

- 수천만 원대 고가 장비 활용 교육 → 수백만 원 이하의 저가 장비 활용.
- 정규 교과 중심 → 정규 교과 + 비교과 과정 (Open course, EDA tool 등 활용).

제2절 미래 전파인력양성을 위한 제안

- 지금까지 전파인력 배출 현황조사, 산업체의 교육 방법과 교육내용(신기술)에 대한 수요조사, 교육환경 변화 등을 고려하여 미래 전파인력양성을 위해 아이디어를 제안하고자 함.
- Virtual RF Edu Center(가상전파교육센터).
 - 전국대학/연구소/산업체 네트워킹이 가능한 ‘가상전파교육센터(안)’.
 - 표준 실험 교안 개발 - 실험 조교 (TA) 훈련.
 - (수업활용) 전국 대학과 산업체/연구소를 유기적으로 네트워킹할 수 있는 현장문제 Online 세미나 개최.
 - ※ IEEE MTT-s webinar²²⁾는 산업체 연구소 대학을 연결하여 매월 수차례 유료/무료 web seminar를 개최하고 있음.
 - 교육 콘텐츠 개발, 보급, 관리시스템.
 - ※ 과거 이와 유사한 센터로 2002년~2010년에 운영한 전파교육연구센터(RERC)²³⁾가 있음.
 - 각 대학과 기관에서 운영하는 전파 관련 Micro/Nano-degree 콘텐츠 지원.
 - 교육용 EDA tool 보급 (EM, 회로 tool).
 - ※ 유사 업무를 하는 기관으로 ‘반도체설계교육센터(IDEC)²⁴⁾’ 이 있음.
- 정부 지원 지역특화·취업연계 전파학과 프로그램(계약학과) 운영.
 - 중소기업의 취업과 연계하여 대학은 전파 전문인력 양성하고 기

22) <https://resourcecenter.mtt.ieee.org/>

23) 이혁재, 홍혜림. (2010). 국내 유일의 전파교육연구기관, KAIST의 전파교육연구센터(RERC)를 찾아서. 전자파기술, 21(3), 51-56.

24) <https://www.idec.or.kr/>

업은 전파 전문인력 제공 받는 프로그램.

- 대학-기업-정부 간 유기적 공조 및 협력으로 서로 간 win-win 가능.
- 정부와 대학 간 협약으로 지역특화 중소기업이 필요로 하는 전파 관련 학위과정 설치.
- 전파 중소기업 우수 인재 양성 및 근로자 장기 재직 유도 가능.
- 주관 대학에 계약학과 운영비 지원.
- 학자금 지원, 교육 과정 실무 비용 지원, 취업 안정성 확보로 전파 분야 인력 유입 기대.
- 이론의 실무 적용 가능, 신산업 접근성 확대 및 기술 개발 기회 제공.
- 다양한 실무 경험으로 전파기업 현장에 필요한 맞춤 인력양성.
- (예) 대기업 지원 타 분야 프로그램.

(1) 삼성전자 지원 반도체, 모바일, 통신, SW 분야는 성균관대(반도체시스템공학과), 경북대(모바일공학과), 연세대(시스템반도체공학과), 한국과학기술원(반도체시스템공학과), 포항공대(반도체공학과), GIST(반도체공학과), DGIST(반도체공학과), UNIST(반도체공학과), 고려대(차세대통신학과), 성균관대(지능형소프트웨어공학과).

(2) 현대자동차 지원 Mobility 분야는 고려대(스마트모빌리티학부). :SK하이닉스 지원 반도체 분야는 한양대(반도체공학과).

(3) LG디스플레이 지원 디스플레이 분야는 연세대(디스플레이융합공학과).

(4) LG CNS 지원 AI 분야는 고려대(AI데이터사이언스학과).

- (예) 정부 특정분야 계약학과 지원 사업.

(1) 미래차 분야 지원 대학, 동강대(AI기반 e-모빌리티과), 한국항공대(융합기계공학과), 포항대(스마트메카), 우석대(미래전기자동차공학과).

(2) 탄소 중립 분야 지원 대학, 동아대(스마트생산융합시스템공학과), 경상국립대(지능시스템공학과), 순천대(스마트팩토리혁신학과).

(3) 특화산업분야 지원 대학, 한국해양대(친환경스마트 조선기자재학과), 동서대(클라우드융합학과), 한국승강기대(스마트승강기공학과), 중원대(바이오헬스산업학과).

○ 전파 분야 학부 경진대회.

- 미래 전파 전문인력양성을 위한 학부 논문 경진 대회 (학회 중심).
- 전파기술을 활용한 문제해결형 인재 양성을 위한 해커톤 대회(산업체 중심) 개최 지원.

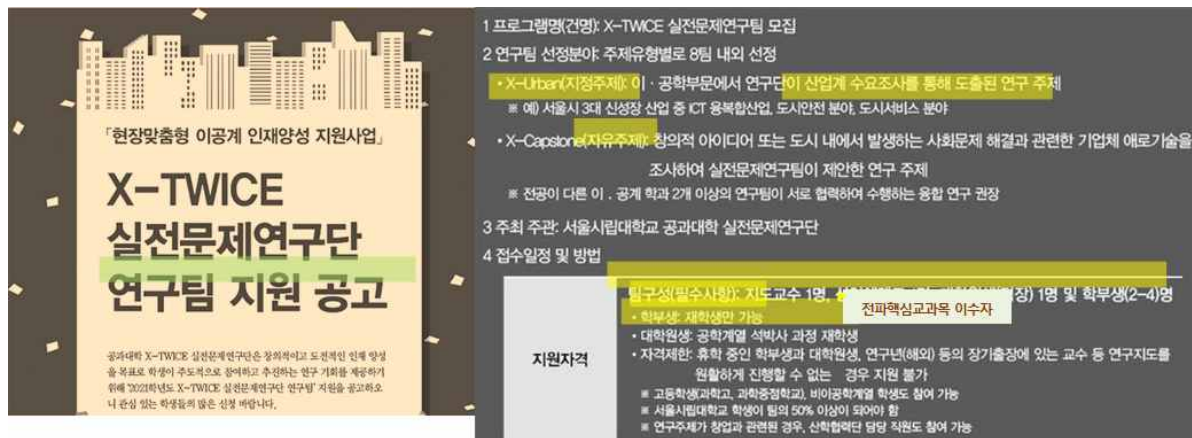
※ 해커톤(hackathon)은 해킹(hacking)과 마라톤(marathon)의 합성어로 팀 단위로 정해진 시간 내에 집중적으로 작업하여 결과물을 만들어내는 대회로 결과물 설계에 필요한 기초 교육 실시한 후 문제를 제시하고 팀 단위로 창의적 프로젝트를 수행하는 이벤트.

○ 중소기업 산학장학제도.

- 중소기업에서 제안하는 전파 분야 현장 문제를 발굴하여 기업과 정부가 지원하는 산학장학제도.
- 기업 현장 문제 학위 논문 연구 지원(정부), 2년간 full-time 산학장학 지원(기업).

○ 학부-전문인력 Bridge Program, 전파실전문제 연구단 운영.

- 전파연구센터(RRC)에 미래 전파연구인력(학부연구생) 포함.
 - ✓ 전파 관련 전공 소개 및 전문인력양성 프로그램.
 - ✓ (안) 예산: RRC당 50만원×12개월×5명 = 3,000만원/년.
- 중소기업매칭-학부전파실전문제연구단 운영.
 - ✓ 학부연구원에 중소기업의 현장문제 소개.
 - ✓ 지도교수, 대학원 지원인력 포함.



[그림 3-1] 서울시립대 X-TWICE 실전문제연구단 홍보 팜플렛 (예)

부 록 1: 전과 핵심 교과목 이수자 데이터

1. 설문 응답 데이터 (raw data)

대학명	학과명	23년 조사학과 정원 (모수추정)	연도별 수강 인원 및 비율									
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
홍익대	전자전기공학부	197	182	167	122	173	208	116	91	72	75	58
한양대	융합전자공학부	145	142	121	133	110	133	141	134	103	132	158
한밭대	모바일융합공학과	40										8
	전기공학과											72
	정보통신공학과											67
	전자공학과											136
	창의융합학과											24
	신소재공학과											28
한남대	컴퓨터통신무인 기술학과				60	87	76	56				
	정보통신공학과	51	32	52	49					17	30	47
	전기전자공학과	36	19	19	25	31	17	29	28	30	44	34
한국해양대	전자전기전공	37	48	49	42	44	47	45	42	44	43	35
	전자정보통신전 공	31	40	38	47	37	47	36	36	26	35	33
	나노반도체전공	26		13	13	28	34	23	23	26	31	24
	전파융합전공	34	51	28	33	39	39	34	33	40	25	28
한국항공대	항공전자정보공 학부	176	105	132	109	112	98	79	111	63	67	101

한국기술교육대	전기전자통신공학부	43	68	76	71	75	77	29	50	42	33	41
충남대	전기공학과	45	81	65	80	86	75	78	68	62	57	70
청강산업대	모바일통신전공	40				60	60	60	60	50	42	34
중앙대	전자전기공학부	232	230	243	231	277	253	223	229	194	144	174
제주대	통신공학과	26	36	37	30	37	40	25	38	27	37	35
	전자공학과	34	25	31	33	29	44	30	26	29	36	36
전북대	전기공학과	42	60	61	62	68	63	45	13	50	55	48
	반도체과학기술학과		39	37	37	30	30					
	전자공학부	157	180	172	186	174	189	172	194	160	169	168
	과학교육학과(물리)	15	6	15	16	16	20	14		7	11	16
	융합기술공학부	27	42	52	43	35	33	29	26	26	26	30
전남대	전자공학과	54	19	15	8	44	47	30	20	22	8	36
인하대	전자공학	40	44	23	19	8		18		18	31	40
	정보통신공학과	113	80	61	58	68	76	62	78	68	56	65
연세대	전기전자공학부	200	40	45	45	30	30	30	30	32	15	13
안동대	전자공학과	117				47	46	54	50	41	47	37
순천향대	전자정보공학과	45	52	45	40	54	54	48	47	52	43	47
	전기공학과	55	12	67	80	84	56	68	73	75	83	63
	정보통신공학과	46	17	12	41	18	28	46	23	14	40	45
수원대	전기전자공학부 전자공학전공	50	8	9	9	16	9	9	8	13	14	15
세종대	물리천문학과	56	44	22	32	42	13	0	48	32	23	36
	전자정보통신공학 학과	149	19	45	10	99	71	54	112	128	74	69
	국방시스템공학							28	35	27	26	27

	과											
	나노신소재공학과	84	53	68	70	66	117	92	70	84	94	70
	지구자원시스템공학과	45				27	19	43	55	37	19	0
서울시립대	전자전기컴퓨터공학부	144	47	123	92	96	69	64	92	94	71	71
서울과기대	전기정보공학과	142	128	133	130	167	163	147	147	139	109	103
	스마트ICT융합공학과	54	159	177	192	178	177	170	170	174	143	60
서강대	전자공학과	102	39	29	30	17	16	13	16	22	20	13
광운대	전자공학과	136	65	71	81	73	63	128	146	144	119	103
	전자통신공학과	79	25	47	28	20	60	20	43	16	12	0
	전기공학과	70	93	77	82	99	96	83	100	121	154	99
	전자융합공학과	69	66	72	79	52	47	66	33	62	40	68
	전자재료공학과	72	80	91	41	30	52	150	19	76	68	70
공주대	스마트정보기술공학과	28	30	31	31	29	26	21	22	16	25	21
	전기전자제어공학부	148	78	81	92	67	64	71	55	65	62	53
	광공학과	27	35	27	36	31	26	39	30	26	21	25
고려대	전기전자공학부	164	78	100	123	91	75	86	74	92	85	105
경상대	전자공학과	47	52	41	64	65	61	63	54	55	55	55
	전기공학과	46	73	73	61	62	62	52	58	48	51	43
	반도체공학과	38	42	42	39	49	34	35	40	23	44	33
	제어계측공학과	41	49	43	38	53	36	40	44	33	23	36
	융합전자공학부	50	26	50	58	49	35	19	41	30	42	33
건국대	전기전자공학부	195	186	155	132	82	91	94	127	120	110	120
강원대	전기전자공학과	93	67	61	64	69	69	79	60	60	80	80

UNIST	전기전자공학과	80	10	10	10	9	13	10	10	10	10	60
한국외대	전자공학과	50	42	48	47	51	56	44	56	48	54	43
경북대	전자공학부	277	402	479	460	354	338	339	280	315	352	277
숭실대	IT융합전공	104			15	20	0	23	32	61	38	24
	전자공학전공	104			68	86	97	105	120	109	118	98

2. 통계 활용 데이터

대학명	학과명	23년 조사학과 정원	연도별 수강 인원 및 비율									
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
총합		4321	3575	3779	3685	3665	3613	3415	3345	3302	3220	3135
홍익대	전자전기공학부	197	182	167	122	173	208	116	91	72	75	58
한양대	융합전자공학부	145	142	121	133	110	133	141	134	103	132	158
	전기전자공학과	36	19	19	25	31	17	29	28	30	44	34
한국해양대	전자전기전공	37	48	49	42	44	47	45	42	44	43	35
	전자정보통신전공	31	40	38	47	37	47	36	36	26	35	33
	전파융합전공	34	51	28	33	39	39	34	33	40	25	28
한국항공대	항공전자정보공학부	176	105	132	109	112	98	79	111	63	67	101
한국기술교육대	전기전자통신공학부	43	68	76	71	75	77	29	50	42	33	41
충남대	전기공학과	45	81	65	80	86	75	78	68	62	57	70
중앙대	전자전기공학부	232	230	243	231	277	253	223	229	194	144	174
제주대	통신공학과	26	36	37	30	37	40	25	38	27	37	35
	전자공학과	34	25	31	33	29	44	30	26	29	36	36
전북대	전기공학과	42	60	61	62	68	63	45	13	50	55	48
	전자공학부	157	180	172	186	174	189	172	194	160	169	168
	과학교육학과(물리)	15	6	15	16	16	20	14		7	11	16
	융합기술공학부	27	42	52	43	35	33	29	26	26	26	30

전남대	전자공학과	54	19	15	8	44	47	30	20	22	8	36
인하대	전자공학	40	44	23	19	8		18		18	31	40
	정보통신공학과	113	80	61	58	68	76	62	78	68	56	65
연세대	전기전자공학부	200	40	45	45	30	30	30	30	32	15	13
순천향대	전자정보공학과	45	52	45	40	54	54	48	47	52	43	47
	전기공학과	55	12	67	80	84	56	68	73	75	83	63
	정보통신공학과	46	17	12	41	18	28	46	23	14	40	45
수원대	전기전자공학부 전자공학전공	50	8	9	9	16	9	9	8	13	14	15
세종대	물리천문학과	56	44	22	32	42	13	0	48	32	23	36
	전자정보통신공 학과	149	19	45	10	99	71	54	112	128	74	69
	나노신소재공학 과	84	53	68	70	66	117	92	70	84	94	70
서울시립대	전자전기컴퓨터 공학부	144	47	123	92	96	69	64	92	94	71	71
서울과기대	전기정보공학과	142	128	133	130	167	163	147	147	139	109	103
	스마트ICT융합 공학과	54	159	177	192	178	177	170	170	174	143	60
서강대	전자공학과	102	39	29	30	17	16	13	16	22	20	13
광운대	전자공학과	136	65	71	81	73	63	128	146	144	119	103
	전자통신공학과	79	25	47	28	20	60	20	43	16	12	0
	전기공학과	70	93	77	82	99	96	83	100	121	154	99
	전자융합공학과	69	66	72	79	52	47	66	33	62	40	68
	전자재료공학과	72	80	91	41	30	52	150	19	76	68	70
공주대	스마트정보기술 공학과	28	30	31	31	29	26	21	22	16	25	21
	전기전자제어공 학부	148	78	81	92	67	64	71	55	65	62	53

	광공학과	27	35	27	36	31	26	39	30	26	21	25
고려대	전기전자공학부	164	78	100	123	91	75	86	74	92	85	105
경상대	전자공학과	47	52	41	64	65	61	63	54	55	55	55
	전기공학과	46	73	73	61	62	62	52	58	48	51	43
	반도체공학과	38	42	42	39	49	34	35	40	23	44	33
	제어계측공학과	41	49	43	38	53	36	40	44	33	23	36
	융합전자공학부	50	26	50	58	49	35	19	41	30	42	33
건국대	전기전자공학부	195	186	155	132	82	91	94	127	120	110	120
강원대	전기전자공학과	93	67	61	64	69	69	79	60	60	80	80
UNIST	전기전자공학과	80	10	10	10	9	13	10	10	10	10	60
한국외대	전자공학과	50	42	48	47	51	56	44	56	48	54	43
경북대	전자공학부	277	402	479	460	354	338	339	280	315	352	277

부 록 2: 전파 분야 유망 산업 · 기술 정의

1. 방송·정보전달(통신) 분과

○ mmWave massive MIMO system.

- 높은 데이터 전송률과 주파수 대역 부족 현상의 해소를 위한 24~100GHz 대역의 통신 기술.
- 2015년 국제 전기 통신 연합 (ITU)에서 제시한 5세대 통신의 KPI (key performance indicator)인 최대 전송속도 (peak data rate), 사용자 체감 속도 (user experienced data rate), 지연 (latency), 주파수 효율 (spectrum efficiency) 등의 달성을 위한 기술²⁵⁾.
- 3GPP에서 개발한 새로운 RAT (radio access technology)인 5G NR의 mmWave 대역인 FR2를 포함하고 있음.
- MIMO (multi-input multi-output) 통신을 위해, 3GPP의 Rel. 15 NR에서 mmWave에 필요한 빔 기반 동작 (beam-based operation)의 지원을 정의함. 2020년 6월 완료된 Rel. 16에서 FR2를 위한 다중 빔 동작 강화 (multi-beam operation enhancements)로써 다음의 기술을 포함²⁶⁾.
- 무선 자원 제어 (radio resource control, RRC)를 통한 빔추적을 방지하여 오버헤드 및 지연 감소.
- Secondary Cell의 빔 실패 복구.
- L1-SINR의 측정 및 보고.
- 통합 액세스 백홀(IAB, Integrated Access and Backhaul)을 위해 Rel. 16에서 FR1 및 FR2에 대해 유연한 범위 확장을 위한 멀티-홉 백홀 (multi-hop backhaul) 기술이 포함

○ Full Duplexing 통신.

- 제한된 시간/주파수 자원에서 주파수 효율을 향상시키기 위한 방법으로 동시에 송/수신이 가능한 통신 기술.
- 무선 통신에서 사용되고 있는 반이중(half-duplex) 무선 통신 방식은 시간 또는 주파수 자원을 나누어 송신 및 수신하기 때문에,

25) 조용호, “5G 이동통신 표준화 동향”, IITP 주간기술동향 1838호 기획시리즈, 2018.

26) “3GPP releases 16, 17 & beyond”, 5G America whitepaper.

송/수신의 직교성으로 간섭 제어가 되지만 시간/주파수 자원의 효율이 떨어짐²⁷⁾.

- 대역 내 전 이중 통신(in-band full-duplex)과 같이 송/수신이 동시에 가능한 기술을 포함하며, 이를 통해 단위 주파수, 단위 시간당 신뢰할 수 있는 정보의 수로 표현되는 주파수 효율을 이론적으로 두 배까지 올릴 수 있는 기술.
- 같은 자원을 이용하여 송신과 수신을 동시에 수행하고자 할 때, 수신단에서 송신단의 신호를 받는 자가 간섭(SI, Self-Interference) 현상이 존재하며, SI를 제거하는 방법 및 기술들을 포함.
- 대역 내 전이중 통신의 간섭 제거 기술을 이용하여, 대역 외 밴드 간섭 신호(out-of-band interference)를 제거할 수 있으며, 보호 대역(guard band) 오버헤드 감소 등과 같은 주파수 효율의 증가를 기대할 수 있음.

○ Terahertz 통신.

- 초고속 전송을 위하여 (예: 수십~수백 Gbps 전송률 또는 그 이상) 100 GHz 이상의 테라헤르츠 대역을 사용하는 통신.
- 100 GHz 이하의 밀리미터파 주파수 대비 넓은 스펙트럼의 확보로 수십~수백 Gbps급 초고속 통신의 구현이 상대적으로 용이.
- 초고속 전송이 요구되는 칩/기기 간 통신, 가상현실 기기 통신, 고해상도 디스플레이 무압축 무선 전송, 키오스크(kiosk) 링크 등의 근거리 응용 및 점대점 백홀, 6G 이동통신 등 중장거리 응용 등에도 이용 가능할 것으로 예상.
- 2030년경 상용화가 예상되는 6G 통신의 최대 목표 전송률은 5G의 수십 배에 달하는 1 Tbps이고 이를 지원할 수 있는 대역폭의 확보를 위해 테라헤르츠 주파수 대역 사용이 필수적으로 요구됨.
- 2019년 5G 상용화 이후 주요 각국에서는 차세대 이동통신 기술 선점 및 주도권 확보를 위해 6G 기술 목표/비전 설정, 정부 주도

27) 김선애, 장갑석, 박병재, 이문식, 방승찬, “동일대역 전이중 방식 송수신기 기술 및 표준화 동향”, 한국정보통신기술협회, 2014.

연구지원, 산학연 생태계 조성, 기술 표준화 등 치열한 개발 경쟁에 돌입.

○ Wi-Fi 7 modem 기술

- IEEE 802.11be는 IEEE 802.11ax의 후속 표준으로 6 GHz 이하 대역에서 30 Gbps 이상의 전송률을 제공하기 위한 극초고속 무선랜 기술임.
- IEEE 802.11 working group에서는 6세대 Wi-Fi인 IEEE 802.11ax의 후속 표준으로서 Wi-Fi 기반 AR/VR, 실시간 게임, 산업용 무선랜, 초고속, 초저지연 무선통신 서비스 등의 높은 전송 속도 및 낮은 지연시간을 요구하는 응용들도 가능하도록 IEEE 802.11be 기술의 표준화를 추진 중.
- 802.11ax (Wi-Fi 6) 대비 802.11be의 차별 요소.
- 6 GHz 대역 동작.
- 320 MHz 대역폭 전송.
- 16 공간 스트림.
- HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest).
- 다중 AP 간 협력 전송 등을 통한 전송률 향상.
- 실시간 응용 지원을 위한 저지연 전송 기술.
- Wi-Fi 7에서는 5G인 NR(New Radio)처럼 4차 산업 혁명 시대에 대비하고자 저(低)지연성과 광활한 전송속도를 구현하는 것을 목표.
- Wi-Fi 세대 간의 특징은 다음과 같음.

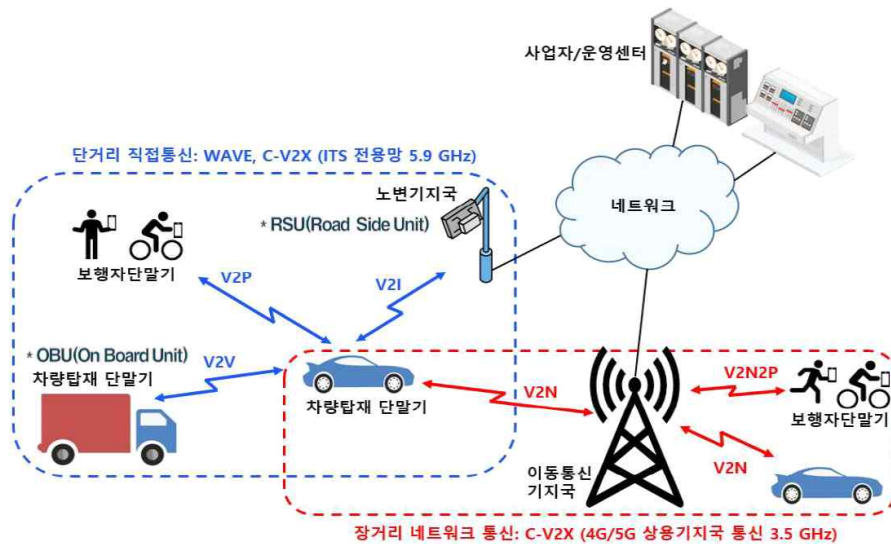
Wi-Fi generations					
	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 6E	Wi-Fi 7 (expected)
Launch date	2007	2013	2019	2021	2024
IEEE standard	802.11n	802.11ac	802.11ax		802.11be
Max data rate	1.2 Gbps	3.5 Gbps	9.6 Gbps		46 Gbps
Bands	2.4 GHz and 5 GHz	5 GHz	2.4 GHz and 5 GHz	6 GHz	1–7.25 GHz (including 2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz bands)
Security	WPA 2	WPA 2	WPA 3		WPA3
Channel size	20, 40 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	20, 40, 80, 80+80, 160 MHz	Up to 320 MHz
Modulation	64-QAM OFDM	256-QAM OFDM	1024-QAM OFDMA		4096-QAM OFDMA (with extensions)
MIMO	4x4 MIMO	4x4 MIMO, DL MU-MIMO	8x8 UL/DL MU-MIMO		16x16 MU-MIMO

Source: IEEE, Intel Corporation, Wi-Fi Alliance

[그림 부록 2-1] Wi-Fi 세대 간의 비교

○ V2X 통신기술.

- 교통안전 확보, 교통혼잡 완화, 운전자 편의성 향상 등을 목적으로, 차량과 통신 가능한 주변의 모든 사물(차량, 노변 인프라, 사람, 정보 제공 서버 등)과 정보교환을 하기 위한 무선통신 기술.
- V2X는 Vehicle-to-Everything을 의미하며 다음 통신 기술을 포함, Vehicle-to-Vehicle(V2V), Vehicle-to-Network(V2N), Vehicle-to-Infrastructure(V2I), Vehicle-to-Pedestrian(V2P).



[그림 부록 2-2] V2X 통신 구성 요소²⁸⁾

○ 군집 LEO 통신 기술.

- 지상국과 소형 군집화된 저궤도 (Low Earth Orbit, LEO) 위성 간 통신 서비스를 제공하는 기술.
- 다수의 저궤도 위성을 군집으로 운용하여 이를 통해 지상, 해상, 상공 등에 통신 서비스를 제공함.
- 위성은 고도에 따라 저궤도 (Low Earth Orbit, LEO) 위성, 중궤도 (Medium Earth Orbit, MEO) 위성, 정지궤도 (Geostationary Orbit, GEO) 위성으로 구분할 수 있음. 이를 구분하는 고도의 기준은 다양하지만, 이동통신표준화단체인 3GPP에서는 300-1,500 km 상공을 저궤도로, 1,500-36,000 km 상공을 중궤도로 구분하고 있으며, 36,000 km 이상 존재하는 위성은 정지궤도 위성으로 분류하고 있음.
- 정지궤도 위성은 그 공전속도가 지구의 자전속도와 동일하기 때문에 지상에서 관측 시 항상 동일한 지역에 떠있는 것처럼 보이며, 반면 저궤도 위성은 지상 관측 시 빠른 속도 (600 km 고도가정시 7.65 km/s)로 이동하는 것으로 보여짐.

28) 배정숙, “자율 주행을 위한 통신 기술,” 2021. 6. 29.

○ Cognitive Radio(인지 무선).

- 무선통신 장치가 스스로 주변의 전파 환경을 인지하고, 전파 정책에 맞는 주파수를 선정하여 주파수 이용 계획을 수립하고, 가장 적합한 주파수와 전송 파라미터를 결정하여 통신하는 무선 기술.
- 인지 무선(CR, Cognitive Radio)은 1999년에 조셉 미톨라 3세(Joseph Mitola III)가 재구성 가능한(reconfigurable) 소프트웨어 정의 무선(SDR, Software Defined Radio) 기술을 기반으로 주파수 이용률을 높이자는 목적으로 제안한 기술.
- 이동통신 대역의 주파수 점유율(이용률)은 매우 높으나 대부분 무선통신 시스템의 주파수 점유율은 매우 낮음. 통상 상업용 주파수에서 무선통신 시스템의 평균 주파수 점유율이 15% 이하이고, 국방 등 공공 주파수는 이보다 더욱 낮음. 특히 지역적으로 사용되지 않고 비어 있는 TV 유휴 채널(TVWS, TV White Space)이 많음.
- 인지 무선(CR)로 주파수 이용률을 향상하기 위해 비어 있는 주파수 채널을 찾는 스펙트럼 센싱(sensing) 기능 또는 지오로케이션(geolocation) DB를 사용한 주파수 관리 기능이 필요함.
- 비어 있는 주파수 채널을 찾아내면 정부의 스펙트럼 정책에 맞는지 확인하고, 주파수 이용 계획을 자체 수립한 다음에 가장 적합한 주파수 채널을 선정하여 기술기준에 맞는 규격으로 통신함. 통신을 하는 중에도 주기적으로 면허를 받은 사용자(면허권자)가 해당 채널을 사용하는지를 확인함. 만일 면허권자가 나타나면 정해진 시간 내에 인지하고, 그 채널을 비워주어야 함. Joseph Mitola III는 인지 무선(CR)에 무선통신 장치가 스스로 학습하여 주파수를 더욱 효율적으로 이용하는 개념도 포함.

2. 레이더 · 센싱 분과

○ 인지 레이더 기술(Cognitive Radar).

- 인지 레이다는 감지-행동 사이클, 기억 메모리, 주의 관심, 지능 등의 네 가지 인지 원칙을 따르는 레이다 시스템.
- 레이다 주변 환경과의 지속적인 상호작용에 의한 경험으로부터 학습 과정을 통해 스스로 동작 규칙을 만들고 결정하며, 전문가가 달성할 수 있는 수준의 복잡한 상황까지 감지하고 학습하여 적응 가능해야 함.
- 인지 레이다는 동작의 결과를 예측하고 명시적인 의사 결정을 수행하고 환경으로부터 학습하고 학습된 지식을 저장 사용 가능해야 함.
- 온라인으로 추정, 추론 및 학습을 통하거나 데이터베이스에서 주변 환경에 대한 정보와 지식을 습득하고 이해·해석하며 이를 활용하여 정보를 추출하고 데이터 처리를 향상시켜야 함.

○ 군집형/Constellation 중소형 위성 SAR.

- 중소형 다중 위성에 의한 지구 관측용 군집/Constellation SAR 시스템 기술과 소형 위성에 탑재 가능한 경량화/소형화/고성능 SAR의 부품 및 시스템 기술.
- 중소형 위성에 탑재 가능한 SAR (Synthetic Aperture Radar) 시스템 기술로서 해상도, 관측범위, NESZ (Noise Equivalent Sigma Zero), Ambiguity 등의 고성능화를 위한 부시스템 및 궤도환경기술을 포함.
- 정밀 관측을 위한 경량화 안테나(예: 메쉬, solid-surface, 인플레이터블) 기술로서 고이득/광대역/저부엽 성능을 구현하고, 발사 시 안테나 수납효율을 높이기 위한 전개형 안테나의 고효율, 경량화, 고안정성 전개 기술과 우주 환경 재료 기술을 포함.
- 위성 탑재 송수신부의 경량화/고효율 및 고출력, 저잡음 성능과 Dual/Quad 편파 활용을 위한 안테나 급전, 송수신 구성, 고속 스위칭 기술을 포함하고, 펄스압축, 정합필터, 데이터 저장 및 송수신, SAR 신호처리 기술 등을 포함.
- 다중위성의 constellation에서 궤도 수, 위성 수, 인접 궤도 간격에 따른 access (접근율), response time (반응시간), coverage (관

측범위) 등의 성능 분석을 포함.

- Bistatic SAR 및 TomoSAR 시스템 설계 및 동기화 기술과 3차원 영상 획득 기술을 포함.

○ 5G Radar.

- 하나의 하드웨어 플랫폼에서 동일한 주파수 및 파형을 사용하여 레이더 및 무선통신 기능을 동시에 수행할 수 있는 시스템
- 레이더와 무선통신을 결합한 연구는 다방면에서 활발하게 진행되고 있으며, RadCom(Radar-Communication), JRC(Joint Radar-Communication), DRFC(Dual Functional Radar-Communication)와 동일함.
- 레이더 시스템과 무선 통신 시스템 서로 간에 미치는 해로운 간섭(ISI, Inter-System Interference)을 효율적으로 관리하여 두 시스템이 서로를 과도하게 간섭하지 않고 작동하게 하는 RCC(Radar-Communication Coexistence) 시스템과는 상이함.
- 레이더의 요구사항(표적의 최대탐지거리, 도플러 및 각도 오프셋)과 무선 통신의 요구사항(데이터 속도, 비트 오류율)을 만족시킬 수 있는 기술을 포함.

○ UAV 탑재 지하 투과 GPR 레이더 기술.

- UAV 탑재 지하투과 GPR(Ground Penetrating Radar) 레이더 및 UAV의 원격 제어를 통한 지질 및 구조물 탐사 기술.
- GPR 탐사가 사용하는 주파수 대역은 보통 수십에서 수천 MHz를 이용하며 지하 매질의 전기전도도에 따라 차이가 있지만, 보통 몇 미터에서 수백 미터 정도를 투과할 수 있는 전자파 송신기술을 포함하며 되돌아오는 수신전파를 신호처리 및 분석할 수 있는 레이더 기술을 포함.
- GPR 레이더를 UAV에 적용함으로써 유인기나 헬리콥터에 비해 속도와 위치를 보다 정확하게 유지시킬 수 있어야 하며, 보다 낮은 고도에서 높은 정밀도로 신속하게 미리 입력된 계획대로 임무 수행이 가능한 비행 시나리오 수행 및 비행제어기술 포함.
- 전통적인 개념의 GPR 레이더 기술을 UAV에도 적용하기 위하여

각종 소자의 고효율화, 소형화와 경량화, 저 전력화, 저비용화를 통한 저변확대를 가능하게 하는 SWaP-C(Size, Weight, Power, Cost) 개념 적용 기술 포함.

- 움직이는 비행체에 탑재되므로 기체는 바람에 의한 공기저항과 자체 진동에 취약하고 고도 및 속도가 일정하게 유지하기 위한 자세 보정 기술과 이에 따른 신호처리 오차를 극복할 수 있는 요동 보상 알고리즘 기술 포함.
- 항공기 위치 및 자세 정보 획득 및 보상을 위한 IMU 또는 EGI(Embedded GPS/INS)의 탑재가 요구되며 정밀한 해상도 및 위치 보상을 위한 DGPS 등과 같은 위치 보상 기술 적용 및 정보 획득 기술 포함.

○ 우주 감시 레이더.

- 우주감시기술은 감시수단별로 광학 시스템, 레이저 시스템, 레이더 시스템, 우주기반 시스템으로 구분할 수 있으며, 아래 표와 같이 기술 단계별로 1단계는 광학 시스템 및 레이저 시스템이 포함되고, 2단계는 레이더 시스템이 포함되며, 3단계는 위성에 탑재된 시각감지기를 활용하는 우주기반 시스템이 포함.
- 탐지거리 및 개발 비용 문제 등으로 광학시스템을 이용한 우주 감시시스템이 우선 개발되어 운용 중이지만, 레이더는 개발 비용이 매우 고가인 단점에도 불구하고 감시 영역이 넓고 기상조건 등의 영향 없이 전천후 감시가 가능하여 가장 효율적인 감시 수단으로서 선진국에서 우주감시레이더 개발 및 운영 노력 중.

○ UWB 레이더.

- 짧은 시간의 펄스 신호를 사용하여 넓은 주파수 대역으로 데이터를 송수신하는 근거리 무선통신 기술.
- 신호 에너지를 수 GHz 대역폭에 걸쳐 분사하여 송신함으로써 다른 협대역 신호와 간섭을 주고받지 않고 통신할 수 있는 기술을 포함.
- IEEE에서 정의한 기술 표준 802.15.4z는 대부분 휴대폰에 적용되고 있으며, 기존의 WAPN 802.15.4 대비 채널의 보안성을 강화하

고 정밀 측위 구현 및 저속 데이터 전송에 중점을 둔 기술임.

- 802.15.4z는 기존 기술 표준을 바탕으로 데이터 패킷을 주고받는 물리계층의 추가를 통해 암호화, 난수 생성을 이용한 외부의 침입에 대한 UWB 통신 보안 기술을 포함.
- 매우 정밀한 공간 인식과 방향성을 바탕으로 각 Tag에서 측정된 전파 진행 시간 차이를 이용한 ToF(Time of Flight)와 레이더 개념을 이용하여 상대 방향을 측정하는 AoA(Angle of Arrival) 기술을 포함.
- 매우 짧은 길이의 펄스를 사용하여 초당 200~1,000회 수행을 통해, 주 신호 경로 근처에 있는 자연 및 인공 물체에 의한 반사 또는 굴절로 인한 다중 경로 효과의 방해로부터 물체의 위치를 실시간으로 정밀하게 탐지하는 기술을 포함.

○ 차량 레이더.

- 안전한 차량 운행을 위해 전자파를 활용해 차량 주변 객체의 위치, 속도, 상태 등의 다양한 정보 감지 및 차량 내 탑승자 감지 기술.
- 주파수에 따라 단거리, 중거리 및 장거리를 모두 감지하여 긴급 자동제동장치, 스마트 크루즈 컨트롤 등 다양한 ADAS(Advanced Driver Assist Systems)를 구현할 수 있는 기술을 포함.
- 전자파 기반 센서로 전자파를 송신하고 객체로부터 반사되는 신호를 통해 표적 탐지 및 거리를 측정하므로 야간, 강한 빛, 악천후 등으로 인해 시계 확보가 어려운 환경에서도 객체의 정확한 위치 및 속도 정보를 획득할 수 있는 기술을 포함.
- 주행 시 사각지대에서 접근하는 객체를 인지하여 운전자에게 정보를 제공하고, 주차 시 보조 역할을 할 수 있는 기술을 포함.
- 차량 내 이동 감지를 통해 차량 내 방치될 수 있는 영유아와 같은 교통 약자의 탑승 여부를 확인할 수 있는 기술을 포함.
- 정확한 거리 측정이 가능한 레이더 특성을 활용해 차량 내부에 설치된 레이더와 차량 내 탑승자의 흉부 간 거리 측정 및 거리 변화 감지가 가능하고, 이를 통해 호흡을 확인하여 탑승자의 건

강 상태를 확인할 수 있는 기술을 포함.

○ 무인기 감시 AESA 레이더.

- 무인기 감시를 위한 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더는 고성능 및 효율적인 레이더 시스템으로, 고정 또는 회전하는 레이더 안테나 배열을 특징으로 함. 이 안테나 배열은 독립적으로 조절 가능한 작은 모듈로 이루어져 있으며, 각 모듈은 방향을 제어할 수 있음.
- 고해상도의 실시간 이미지를 생성할 수 있음. 또한 여러 임무를 동시에 처리할 수 있어, 동시에 공격 및 탐지 기능을 수행할 수 있음.
- 안테나 배열의 각 모듈은 독립적으로 조절이 가능하므로 전자적으로 빠르게 빔을 스캐닝하고 방향을 조절할 수 있음. 이는 빠른 대응성과 적응성을 제공.
- 필요한 영역에만 레이더 빔을 집중시킬 수 있어, 전력 소모를 최소화하면서도 감지와 추적을 효율적으로 수행할 수 있음. 또한, 장애물 회피 능력이 뛰어나 다양한 환경에서 사용될 수 있음.
- 레이더 특성상 낮은 확률로 감지되고 획득되기 어려운 특성이 있어, 적대적인 환경에서의 운용에 용이.
- 주로 군사 응용에서 무인기의 감시, 탐지, 추적, 그리고 통신과 연계하여 사용되어 다양한 임무를 수행하는 데 기여.

3. 무선 에너지 전송 및 응용 분과

○ 원거리 무선충전 기술.

- 원거리 무선충전은 방사된(radiated) 안테나로부터 전자기파를 통해 에너지를 전달하는 방식을 기반으로 수 m 공간 내 또는 수 km 무선전력전송 송신 및 수신 기술을 의미함.
- 원거리 무선충전 기술의 원역장(far-field)은 reactive 전자기장이 존재하지 않는 방사된 전자기파만 존재하는 구간인 Fraunhofer

영역을 의미하지만, 넓은 관점에서는 전자기장이 wave를 형성하여 방사 특성을 갖기 시작하는 방사근역장(radiating near-field)인 Fresnel 영역의 일부도 포함할 수 있음.

- 전자기장에서 wave 임피던스가 매질의 고유 임피던스에 수렴하기 시작하는 Fresnel 영역부터는 송신 안테나로부터 분리되어 방사된 전자기파를 수신하는 방식이므로 이론적으로는 거리에 제약이 존재하지 않으며 송신전력, 송신/수신 안테나의 크기 및 이득/빔폭 등에 따라 전송 거리가 결정됨.
- 초기에는 공중 전동 비행기기에 실시간으로 무선전력을 공급하거나, 대량의 전력을 전선을 통해 전달하기 어려운 수 m에서 수 km에 이르는 지역에 무선으로 전력을 공급하기 위한 기술로 개발이 시작되었음.
- 최근 고주파 부품 및 소자의 고성능화와 소형화가 진행되고, 배열 안테나의 성능과 빔포밍 제어 기술이 고도화되면서 수 m 공간 내 방사근역장 안에서도 전력을 집중화할 수 있는 공간 무선충전 개념의 기술 개발이 진행되고 있음.

○ 전기차 무선충전.

- 무선전력전송은 무선으로 전기 에너지를 전송하는 기술을 말하며, 유선 연결이 불편·위험·불가능한 상황에서 전기 장치로 전원을 공급하는데 유용함.
- 무선전력전송 기술은 스마트폰 등 모바일 기술과의 성공적인 융합에 힘입어, 4차 산업혁명 시대를 맞아 다양한 분야(AGV, 드론, 로봇, 자율주행차, 가전, IoT, 의료, 소재, 우주항공 등)로 확대.
- 무선전력전송 적용분야는 (1세대)스마트폰 → (2세대)전기차 → (3세대)로봇, 가전 등으로 변화.
- 무선전력전송 기술은 전력 도달 거리에 따라 자기유도 방식, 자기공진 방식, 전자기파 방식의 3가지로 구분.

○ LEV 무선충전 기술.

- LEV(Light Electric Vehicles)을 대표로 주방가전, 전동공구, 로봇, 드론 등의 무선전력 공급을 지원하는 중출력(수십 W ~ 수 kW)

무선충전 기술.

- AC-DC(단상 220 V/3상 280 V) 전력변환을 무선전력 송신을 위한 수 kHz에서 수 MHz에 이르는 전파를 생성하기 위한 무선전력 인버터 증폭기, 고효율 무선전력 코일 및 안테나, 무선전력 전력 변환 및 충전 수신 시스템으로 구성.
- 충전력 이상의 무선충전 기술부터는 송신/수신 무선전력 출력 및 충전 안정성을 확보하기 위해 FOD(Foreign Object Detection), LOD(Live Object Detection), PD(Position Detection), 발열 저감, EMF/EMI 저감 등의 기술에 대한 고려가 중요.

○ 전파의료 진단 기술.

- 생체 내부에서 전자파 전파특성을 센싱하고, 이를 기반으로 생체 조직의 구성 분포, 대사 및 장기 활동 등을 진단하는 전파의료 응용 기술.
- 생체 내에서 적절한 투과성을 가지는 전자기파를 이용하여 생체를 대상으로 한 비파괴 단층 영상의 획득 및 생체조직에 따른 산란 신호 특성 차이를 센싱 분석하는 기술.
- 생체 외부의 근·원거리에서 전파 신호를 송수신하여 생체의 산란신호를 분석, 생체 내부의 활동을 센싱하는 기술을 포함.
- 테라헤르츠 전파의 생체조직 수분 함유도, 스펙트럼 분석 특성 등의 전파 특성 차이에 따라 암 조직 경계 구분, 종치 검출 등의 암 경계를 진단하는 기술을 포함.
- 특정 전자기파의 생체조직에 따른 특이 반응 신호를 기반으로 한 질병의 긴급 현장 진단(예: 뇌졸중, 암 조기진단) 기술을 포함.

○ 전파의료 치료 기술.

- 전파 에너지를 생체 내부의 병소에 선택적으로 가해 질병을 치료하는 전파의료 응용 기술.
- 생체 내부의 병소(예: 고형암, 통증 신경 등)에 전자파 탐침(프로브)을 침습 삽입하고, 탐침에서 병소로 방출되는 전파 에너지가 열로 변환되어 고열로 병소를 제거하는 기술을 포함.
- 생체 외부에서 배열 안테나를 통해 전파 에너지를 비침습적으로

병소(예: 고형암, 염증 질환 등)에 정밀 집속하고, 에너지 변환된 열을 이용하여 병소를 제거하는 기술을 포함.

- 암 조직에 테라헤르츠 전파를 조사해 암세포의 생체분자 특성 변화를 유도, 암 활성화를 낮추는 기술.
- 생체 외부에서 전극 또는 안테나를 통해 생체에 지속적인 전파 자극을 가해 뇌질환(예: 알츠하이머)의 치료, 뇌파의 활성화 및 안정화를 유도하는 헬스케어 및 치료 기술을 포함.

○ Zero-power 무선통신.

- 전력 소모가 거의 없거나 무시할 만큼 낮은 무선통신 기술을 나타냄. 이 기술은 작은 전자기기나 센서 네트워크에서 사용되며, 에너지 하베스팅, 저전력 무선 프로토콜, 저전력 소비 전자 부품, 그리고 저전력 수면 모드 등을 통해 구현됨.
- Zero-power 무선통신에서 중요한 개념 중 하나는 에너지 하베스팅임. 에너지 하베스팅은 주변 환경에서 발생하는 에너지를 수집하여 전력을 생성하는 기술로, 태양광, 진동, 온도 차 등을 활용할 수 있음.
- 전통적인 무선 통신 프로토콜은 상대적으로 많은 전력을 요구하나 zero-power 무선통신에서는 저전력 무선 프로토콜이 사용되어 에너지 소모를 최소화하고 전력 효율을 향상시킴.
- Zero-power 무선통신에서는 저전력 소비 전자 부품이 중요한 역할을 함. 초저전력 마이크로컨트롤러, 저전력 소비 센서, 저전력 무선 송수신 장치 등이 사용되어 효율적인 에너지 관리를 실현함.
- Zero-power 무선통신 장치는 통신이 필요하지 않을 때에는 수면 모드로 전환하여 전력 소모를 최소화함. 이 모드에서는 주기적으로 깨어나 에너지를 수집하거나 필요한 경우에만 통신을 수행함.
- Zero-power 무선통신 기기는 작고 효율적인 디자인이 필요함. 이를 위해 초소형 전자 부품과 센서, 소형 안테나 등이 사용되어 기기의 무게와 부피를 최소화함.
- Zero-power 무선통신은 주변 에너지 환경에 적응하여 최적의 에

너지 수집 및 전송 전략을 선택함. 이는 주변 조건에 따라 에너지 효율성을 극대화함.

전파인력 현황 및
미래 전파인력 양성 방안 연구



국립전파연구원

National Radio Research Agency

(58323) 전남 나주시 빗가람로 767

발 행 일 : 2023. 12.

발 행 인 : 서 성 일

발 행 처 : 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4567

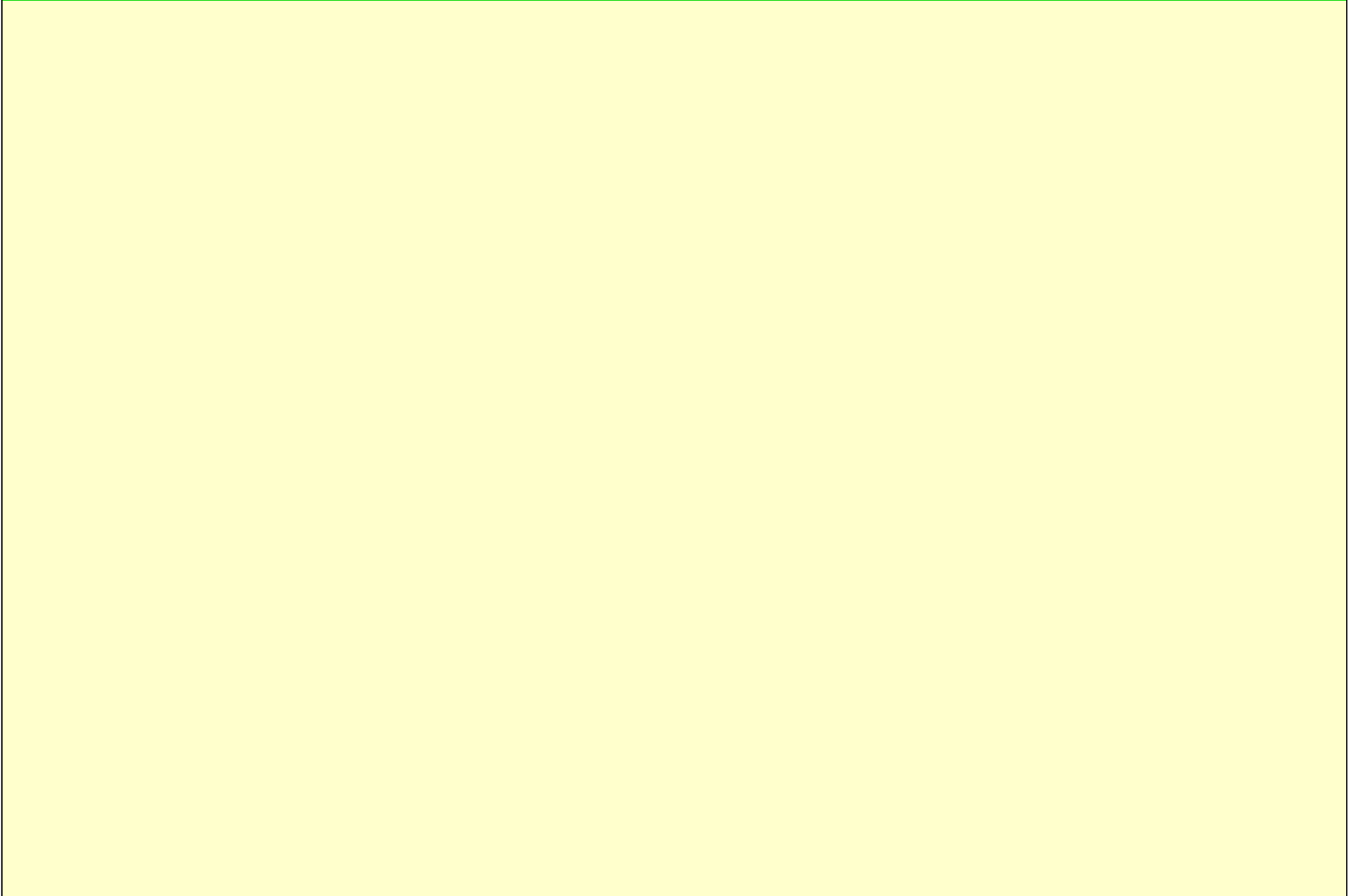
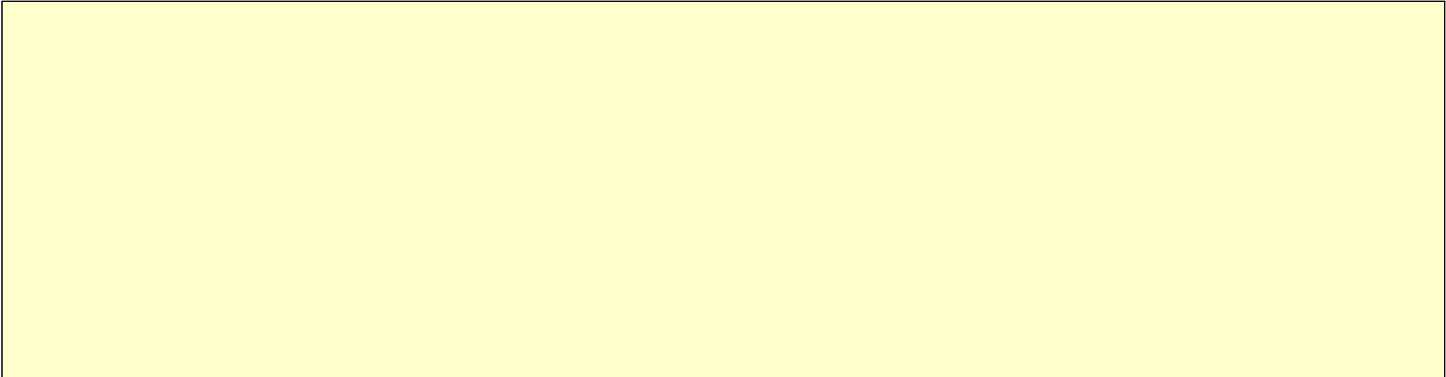
인 쇄 : 시립문화사

Tel. 02) 2217-3769

ISBN : 979-11-5820-237-8 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.



비매품/무료
93560



9 791158 202378
ISBN 979-11-5820-237-8