

합격

합격 5단계
CBT / 실전모의고사

합격 4단계
10개년 기출문제

합격 3단계
실전평가문제

합격 2단계
출제경향 확인문제

합격 1단계
개념확인 및 개념확인문제

무선설비기사 필기시험대비

안테나엔지니어링

편저 김한기



정통하었느냐



@JeongTongEDU



@정통에듀

www.baraemedu.com | ☎ 02.854.8886



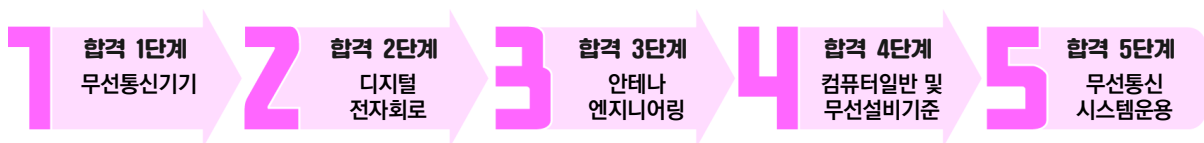
정통에듀
JEONGTONGEDU

무선설비기사

목차	2020년			2021년			2022년			2023년				평균
	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	계	
1장 전자파 이론	3	3	3	×	2	1	1	3	1	3	1	2	23	1.91
2장 급전선 및 정합회로	3	5	6	5	4	6	3	5	5	4	4	2	52	4.33
3장 안테나 이론	1	4	1	1	2	1	4	3	4	2	3	2	28	2.33
4장 안테나 종류 및 특성	6	3	4	2	3	2	3	2	3	6	5	6	45	3.75
5장 주파수대에 따른 전파 특성	×	×	2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	2	1.67
6장 지상파 전파	×	×	1	×	2	1	3	1	1	×	×	×	9	0.75
7장 대류권 전파	2	2	1	×	×	2	2	1	2	×	×	1	13	1.08
8장 전리층 전파	1	3	×	5	2	2	×	2	3	×	1	×	19	1.58
9장 우주통신과 전파 잡음	×	×	1	1	×	1	1	×	×	1	×	×	5	0.41
10장 최근 신규 문제 출제경향	4	×	1	6	5	4	3	3	1	4	6	7	44	3.67
[부록] 무선설비 산업기사 기출문제														
[부록] 무선설비 기사 기출문제														



▶ 무선설비기사 공부순서



자료출처 : kca 국가기술자격검정(https://www.cq.or.kr/qh_quagm01_001.do)

1. 시행구분

- 정기검정 : 연간계획에 따라 전국(시험장)에서 동시시행
- 수시검정 : 전 종목 대상으로 필요시 시행

2. 시행절차

① 원서접수 (필기)

- 접수방법
 - 인터넷접수 : 접수홈페이지(www.cq.or.kr) 접속하여 접수
- 검정과목 면제신청(해당자)
 - 인터넷접수시 면제신청란 기재
 - 우편정보통신/통신선로관련종목접수시 검정과목 면제신청 및 증빙서류 제출

② 필기시험 수험생 준비물

- 응시준비
 - 수험표
 - 신분증(주민등록증 또는 운전면허증, 여권 등)
 - 컴퓨터용 흑색 사인펜
 - ※ 수정테이프(수정액은 사용불가)
 - ※ 답안은 감독관 확인 후 수정이 가능

③ 문제공개 이의신청 접수

- 접수기간
 - 시험종료 익일부터 5일간

④ 합격자(예정자) 발표 및 응시자격 증빙서류 제출

- 발표방법
 - 인터넷 발표 (www.cq.or.kr)

- 서류제출

- 합격예정자발표후 5일 이내 우편으로 반드시 원본제출
 - ※ 응시자격 제한이 있는 종목은 반드시 응시자격 서류를 제출

⑤ 원서접수(실기)

- 접수방법

- 인터넷접수(www.cq.or.kr)
 - ※ 시험일시 및 장소본인선택(선착순)

⑥ 실기시험 수험생 준비물

- 응시준비

- 수험표
- 신분증(주민등록증 또는 운전면허증, 여권 등)
- 실기시험 준비물(자격증별)

무선설비기사 수험준비물

시험방법	품명	규격	단위	수량	비고
작업형	브레드보드	1,000홀 이상, 가로세로 각 30Cm 이내	개	1	
작업형	연결핀	φ0.4mm~φ0.6mm 단선	개	1	
작업형	니퍼	소형	개	1	
작업형	롱노우즈	소형	개	1	
작업형	드라이버(+, -)	일반용	개	1	
작업형	멀티미터	일반용	개	1	
작업형	템플릿	스미스차트 및 회로설계용	개	1	
작업형	컴퍼스	스미스차트 및 회로설계용	개	1	
작업형	자	스미스차트 및 회로설계용	개	1	
작업형	계산기(공학용)	공학용	개	1	
작업형	필기도구(볼펜또는싸인펜)	일반용	개	1	

*상기 소요기자재 현황은 시험문제 및 검정장 여건에 따라 일부 변경될수 있습니다.

⑦ 최종합격자 발표

- 발표방법
 - 인터넷발표(www.cq.or.kr)

⑧ 자격증 발급

- 발급신청
 - 자격증 교부신청서
 - 증명사진 1매
 - 신분증
 - 수수료

※ 개설 시험장의 접수인원이 5인 이하일 경우 시험장소가 변경될 수 있습니다.

3. 응시자격 및 경력인정 기준

① 자격등급별 응시자격체계



② 세부응시자격

등급	응시자격
기술사	다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람 1. 기사 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 직무분야(고용노동부령으로 정하는 유사 직무분야를 포함한다. 이하 "동일 및 유사 직무분야"라 한다)에서 4년 이상 실무에 종사한 사람 2. 산업기사 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 5년 이상 실무에 종사한 사람 3. 기능사 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 7년 이상 실무에 종사한 사람 4. 응시하려는 종목과 관련된 학과로서 고용노동부장관이 정하는 학과(이하 "관련학과"라 한다)의 대학졸업자등으로서 졸업 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 6년 이상 실무에 종사한 사람 5. 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야의 다른 종목의 기술사 등급의 자격을 취득한 사람 6. 3년제 전문대학 관련학과 졸업자등으로서 졸업 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 7년 이상 실무에 종사한 사람 7. 2년제 전문대학 관련학과 졸업자등으로서 졸업 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 8년 이상 실무에 종사한 사람 8. 국가기술자격의 종목별로 기사의 수준에 해당하는 교육훈련을 실시하는 기관 중 고용노동부령으로 정하는 교육훈련기관의 기술훈련과정(이하 "기사 수준 기술훈련과정"이라 한다) 이수자로서 이수 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 6년 이상 실무에 종사한 사람 9. 국가기술자격의 종목별로 산업기사의 수준에 해당하는 교육훈련을 실시하는 기관 중 고용노동부령으로 정하는 교육훈련기관의 기술훈련과정(이하 "산업기사 수준 기술훈련과정"이라 한다) 이수자로서 이수 후 동일 및 유사 직무분야에서 8년 이상 실무에 종사한 사람 10. 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 9년 이상 실무에 종사한 사람 11. 외국에서 동일한 종목에 해당하는 자격을 취득한 사람
기능사	다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람 1. 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야의 산업기사 또는 기능사 자격을 취득한 후 「근로자직업능력 개발법」에 따라 설립된 기능대학의 기능장과정을 마친 이수자 또는 그 이수예정자 2. 산업기사 등급 이상의 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 5년 이상 실무에 종사한 사람 3. 기능사 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 7년 이상 실무에 종사한 사람

등급	응시자격
	- 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 9년 이상 실무에 종사한 사람 - 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야의 다른 종목의 기능장 등급의 자격을 취득한 사람 - 외국에서 동일한 종목에 해당하는 자격을 취득한 사람
기사	다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람 - 산업기사 등급 이상의 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 1년 이상 실무에 종사한 사람 - 기능사 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 3년 이상 실무에 종사한 사람 - 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야의 다른 종목의 기사 등급 이상의 자격을 취득한 사람 - 관련학과의 대학졸업자등 또는 그 졸업예정자 3년제 전문대학 관련학과 졸업자등으로서 졸업 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 1년 이상 실무에 종사한 사람 2년제 전문대학 관련학과 졸업자등으로서 졸업 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 2년 이상 실무에 종사한 사람 - 동일 및 유사 직무분야의 기사 수준 기술훈련과정 이수자 또는 그 이수예정자 - 동일 및 유사 직무분야의 산업기사 수준 기술훈련과정 이수자로서 이수 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 2년 이상 실무에 종사한 사람 - 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 4년 이상 실무에 종사한 사람 - 외국에서 동일한 종목에 해당하는 자격을 취득한 사람
산업기사	다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사람 - 기능사 등급 이상의 자격을 취득한 후 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에 1년 이상 실무에 종사한 사람 - 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야의 다른 종목의 산업기사 등급 이상의 자격을 취득한 사람 - 관련학과의 2년제 또는 3년제 전문대학졸업자등 또는 그 졸업예정자 - 관련학과의 대학졸업자등 또는 그 졸업예정자 - 동일 및 유사 직무분야의 산업기사 수준 기술훈련과정 이수자 또는 그 이수예정자 - 응시하려는 종목이 속하는 동일 및 유사 직무분야에서 2년 이상 실무에 종사한 사람 - 고용노동부령으로 정하는 기능경기대회 입상자 - 외국에서 동일한 종목에 해당하는 자격을 취득한 사람

등급	응시자격
기능사	응시자격에 제한이 없음
비고	※ 비고 1. “졸업자등”이란 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교를 졸업한 사람 및 이와 같은 수준 이상의 학력이 있다고 인정되는 사람을 말한다. 다만, 대학(산업대학 등 수업연한이 4년 이상인 학교를 포함한다. 이하 “대학등”이라 한다) 및 대학원을 수료한 사람으로서 관련 학위를 취득하지 못한 사람은 “대학졸업자등”으로 보고, 대학등의 전 과정의 2분의 1 이상을 마친 사람은 “2년제 전문대학졸업자등”으로 본다. 2. “졸업예정자”란 국가기술자격 검정의 필기시험일(필기시험이 없거나 면제되는 경우에는 실기 시험의 수험원서 접수마감일)을 말한다. 이하 같다) 현재 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따라 정해진 학년 중 최종 학년에 재학 중인 사람을 말한다. 다만, 「학점인정 등에 관한 법률」 제7조에 따라 106학점 이상을 인정받은 사람(「학점인정 등에 관한 법률」에 따라 인정받은 학점 중 「고등교육법」 제2조제1호부터 제6호까지의 규정에 따른 대학 재학 중 취득한 학점을 전환하여 인정받은 학점 외의 학점이 18학점 이상 포함되어야 한다)은 대학졸업예정자로 보고, 81학점 이상을 인정받은 사람은 3년제 대학졸업예정자로 보며, 41학점 이상을 인정받은 사람은 2년제 대학졸업예정자로 본다. 3. 「고등교육법」 제50조의2에 따른 전공심화과정의 학사학위를 취득한 사람은 대학졸업자로 보고, 그 졸업예정자는 대학졸업예정자로 본다. 4. “이수자”란 기사 수준 기술훈련과정 또는 산업기사 수준 기술훈련과정을 마친 사람을 말한다. 5. “이수예정자”란 국가기술자격 검정의 필기시험일 또는 최초 시험일 현재 기사 수준 기술훈련과정 또는 산업기사 수준 기술훈련과정에서 각 과정의 2분의 1을 초과하여 교육훈련을 받고 있는 사람을 말한다.

]자료출처 : kca 국가기술자격검정(https://www.cq.or.kr/qh_quagm01_006.do)

1. 시험과목 및 시험방법

구분	과목	출제유형(시험시간)	합격기준
필기	1. 디지털전자회로 2. 무선통신기기 3. 안테나에너지니어링 4. 무선통신시스템 운용 5. 컴퓨터일반 및 무선설비기준	객관식 4지선다형 (2시간 30분)	과목당 100점을 만점으로 하여 매과목 40점 이상, 전과목 평균 60점 이상 : 과목당 20문항
실기	무선설비 실무	작업형 (3시간 50분)	100점을 만점으로 60점 이상

2. 응시수수료

필기	18,800원	실기	55,700원
----	---------	----	---------

제 1 편

개념확인 및 개념확인문제

17

제1장 전자파 이론	19
개념확인 1 변위 전류(displacement current)	20
개념확인 2 Maxwell의 방정식	20
개념확인 3 파동방정식	22
개념확인 4 전파의 에너지()	23
개념확인 5 포인팅의 정리()	23
개념확인 6 전파의 성질	24
개념확인 7 전파의 분류	26
■ 출제경향확인문제	27
■ 실전평가문제	30
제2장 급전선 및 정합회로	35
개념확인 1 급전선의 필요조건, 특성임피던스, 무손실조건, 무왜조건	36
개념확인 2 진행파와 정재파의 특징 비교	37
개념확인 3 전압 정재파비, 반사계수, 투과계수	38
개념확인 4 선로의 임피던스	39
개념확인 5 급전선의 특징(평행 2선식, 동축케이블)	40
개념확인 6 동조급전선과 비동조급전선의 특징비교	42
개념확인 7 전압급전과 전류급전	43
개념확인 8 도파관의 특징	45
개념확인 9 도파관내의 전파의 mode	46
개념확인 10 도파관내의 전파의 속도	47
개념확인 11 도파관의 여진 방법, 임피던스 정합 방법	49
개념확인 12 임피던스 정합의 종류	50
개념확인 13 평형 · 불평형 변환회로(Balun)의 종류	52
■ 출제경향확인문제	54
■ 실전평가문제	64
제3장 안테나 이론	75
개념확인 1 임피던스 정합	76

개념확인 2	미소 다이폴 안테나	76
개념확인 3	수직접지 안테나	78
개념확인 4	수평비접지 안테나	79
개념확인 5	안테나의 고유 주파수, 선택도	80
개념확인 6	안테나의 loading	81
개념확인 7	안테나의 저항 종류과 효율	82
개념확인 8	안테나의 지향성과 반치각	83
개념확인 9	안테나의 이득(Gain)	84
개념확인 10	수신 안테나의 최대 유기 기전력	86
■ 출제경향확인문제		87
■ 실전평가문제		94

제4장	안테나의 종류와 특성	101
개념확인 1	안테나의 분류	102
개념확인 2	장 · 중파대 통신의 특징, 접지방식	104
개념확인 3	수직 접지 안테나	106
개념확인 4	역 형 안테나	107
개념확인 5	원정관(圓頂冠) 안테나	108
개념확인 6	미소 Loop 안테나	109
개념확인 7	Bellini-Tosi 안테나	110
개념확인 8	Adcock 안테나	111
개념확인 9	Wave 안테나(Beverage 안테나)	111
개념확인 10	단파대 통신의 특징, 반파장 다이폴 안테나	113
개념확인 11	제펠린(Zeppeline) 안테나	114
개념확인 12	빔(Beam) 안테나	115
개념확인 13	롬빅(Rhombic) 안테나	116
개념확인 14	단파대 진행파 안테나	117
개념확인 15	접어진 안테나(Folded dipole)	119
개념확인 16	Whip 안테나	120
개념확인 17	Yagi 안테나	122
개념확인 18	Coner reflector 안테나	124
개념확인 19	Helical 안테나	125
개념확인 20	대수 주기 안테나(log periodic 안테나)	127

개념확인 21	라디오, TV 송신용 안테나	128
개념확인 22	극초단파대 이상의 안테나의 특징	129
개념확인 23	슬롯(slot) 안테나	131
개념확인 24	파라볼라(Parabola) 안테나	132
개념확인 25	카세그레인(Cassegrain) 안테나	133
■	출제경향확인문제	135
■	실전평가문제	151
제5장	주파수대에 따른 전파 특성	161
개념확인 1	장파	162
개념확인 2	중파	162
개념확인 3	단파	164
개념확인 4	초단파대 이상	164
■	출제경향확인문제	166
■	실전평가문제	170
제6장	지상파 전파	173
개념확인 1	전파 통로에 의한 분류	174
개념확인 2	지표파	175
개념확인 3	직접파	176
개념확인 4	대지 반사파	177
개념확인 5	회절파	178
■	출제경향확인문제	180
■	실전평가문제	185
제7장	대류권 전파	189
개념확인 1	radio duct의 발생 원인	190
개념확인 2	대류권에서의 페이딩	191
■	출제경향확인문제	194
■	실전평가문제	198
제8장	전리층 전파	201
개념확인 1	전리층의 종류 및 특징	202

개념확인 2	굴절률과 임계주파수, 정할의 법칙	203
개념확인 3	최고 사용주파수(MUF), 최적 운용 주파수(FOT), 도약거리	205
개념확인 4	전리층에서의 감쇠	206
개념확인 5	전리층에서의 페이딩(fading)	208
개념확인 6	델린저 현상과 자기람	210
■	출제경향확인문제	212
■	실전평가문제	220

제9장	우주통신과 전파 잡음	227
개념확인 1	전파의 창의 범위를 결정하는 요소	228
개념확인 2	공전의 종류와 잡음 방해의 개선방법	229
■	출제경향확인문제	232
■	실전평가문제	234

제10장	최근 신규 문제 출제경향	235
개념확인 1	전송량의 단위	236
개념확인 2	잡음지수(Noise Figure)	237
개념확인 3	산란계수(Scattering Parameter)	239
개념확인 4	스미스 차트(Smith Chart)	240
개념확인 5	Friis의 전달공식	243
개념확인 6	이동통신용 안테나	244
개념확인 7	전자파 장애 분석하기	245
개념확인 8	이동통신 기지국 설치	250
■	출제경향확인문제	251
■	실전평가문제	258

제 2 편	기출문제	269
--------------	-------------	-----

제 3 편	CBT 실전모의고사	351
--------------	-------------------	-----

제 1 편 개념확인 및 개념확인문제

무선설비기사



제 1 장

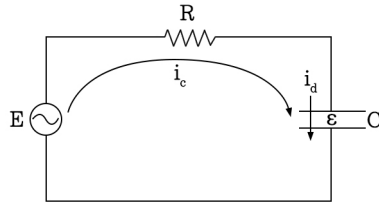
전자파 이론

- 1 변위 전류(displacement current)
- 2 Maxwell의 방정식
- 3 파동방정식
- 4 전파의 에너지(P [J/m³])
- 5 포인팅의 정리(P_o [W/m²])
- 6 전파의 성질
- 7 전파의 분류



개념확인 1

변위 전류(displacement current)



전도전류와 변위전류

■ 변위 전류(i_d)

완전 유전체나 진공 중에 흐른다고 가정한 전속밀도(D)의 시간적 변화율 변위

$$i_d = \frac{dD}{dt} [\text{A/m}^2]$$

개념확인문제

유전체에서 변위 전류를 발생하는 것은?

- | | |
|--------------------|--------------------|
| ① 분극 전하 밀도의 시간적 변화 | ② 분극 전하 밀도의 공간적 변화 |
| ③ 전속 밀도의 시간적 변화 | ④ 전속 밀도의 공간적 변화 |

정답 ③



개념확인 2

Maxwell의 방정식

Maxwell은 변위 전류도 전도전류와 같은 성질을 가지고 있는데 착안하여 Ampere의 주 회 법칙과 Faraday의 전자 유도 법칙 및 가우스의 전자기 정리를 기초로 한 전계와 자계와의 관계를 나타내는 전자파의 해석에 기초가 되는 방정식이다.

(1) Ampere's 주회법칙

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (\text{단, } H: \text{자계, } J: \text{전류밀도, } D: \text{전속밀도})$$

- ① 전류의 방향과 전류에 의한 자계의 방향을 결정하는 법칙
- ② 도체에 전류가 흐르면 오른나사의 법칙에 따라 자계는 그 나사의 회전방향으로 발생한
다는 법칙 - 암페어의 오른나사의 법칙

(2) Faraday's 전자 유도 법칙

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

공간상의 임의의 한 점에서 그 점의 자속밀도가 시간적으로 변화하면 그 점을 중심으로 자속밀도와 직각인 평면 내에 전기장의 와류가 발생한다는 것을 의미한다.

(3) 전기에 관한 가우스의 정리

$$\text{div} D = \rho \quad \text{또는} \quad \nabla \cdot D = \rho$$

여기서 ρ 는 전하 밀도로서 단위는 $[C/m^3]$ 이다.

전속(electric flux)밀도(D)의 발산(divergence)은 전하밀도와 같다는 의미이다.

(4) 자계에 관한 가우스의 정리

$$\text{div} B = 0 \quad \text{또는} \quad \nabla \cdot B = 0$$

공간의 모든 점에서 자속밀도가 새로 발생하거나 소멸하는 것은 없다는 의미이다.

※ 참고

① ϵ (유전율): $\epsilon = \epsilon_s \cdot \epsilon_o$ (ϵ_s : 비유전율, ϵ_o : 진공중의 유전율로써 $\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} [F/m]$ 이다.)

② μ (투자율): $\mu = \mu_s \cdot \mu_o$ (μ_s : 비투자율, μ_o : 진공중의 투자율로써 $4\pi \times 10^{-7} [H/m]$ 이다.)

개념확인문제

다음 중 전자계의 기초 방정식이 아닌 것은?

① $\text{rot } H = i + \frac{\partial D}{\partial t}$

② $\text{rot } E = -\frac{\partial B}{\partial t}$

③ $\text{div } D = \frac{\rho}{\epsilon}$

④ $\text{div } H = 0$

정답 ③

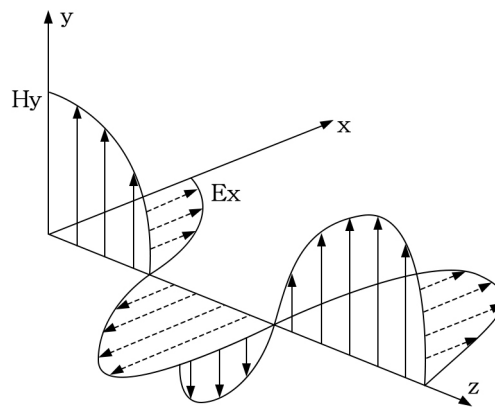


개념확인 3

파동방정식

(1) 평면파

균일한 매질 내에서 전기장(E)과 자계(H)가 한쪽(즉, x 및 y) 방향 성분만 있고 진행 방향(z)에는 전기장 및 자계 성분이 없는 파를 평면파라 한다.



z방향으로 진행하는 평면파

- 평면파 : 일정한 진행 방향으로 수직인 파면을 가지는 파
- 구면파 : 공간의 한 점에서 모든 방향으로 한결같이 퍼져나가는 파

$$P_o = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{120\pi} = \frac{E^2}{377} [\text{W/m}^2], \quad P_o = E \cdot H$$

포인팅(Poynting) 전력은 전파의 진행 방향을 그 방향으로 하는 Vector량으로 취급된다. 이때의 전력을 Poynting Vector라 하고, $P_o = E \times H$ (벡터의 표시)라 표시한다.

개념확인문제

다음 포인팅 전력을 나타낸 식이다. 이들 중 틀린 것은?

① $\frac{E^2}{Z_0}$

② $\frac{E^2}{120\pi}$

③ $E \cdot H$

④ $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$

정답 ④

개념확인문제

전계강도가 3.77[V/m]인 자유공간에서 단위면적당 단위시간에 통과하는 전자파 에너지(Poynting power)는 약 얼마인가?

① $3.77\pi [\text{mW}/\text{m}^2]$

② $37.7 [\text{mW}/\text{m}^2]$

③ $120 [\text{mW}/\text{m}^2]$

④ $120\pi [\text{mW}/\text{m}^2]$

정답 ②



개념확인 6

전파의 성질

■ 전자파의 정의

전자파는 전계(E)와 자계(H)라는 매질이 공간적으로 90°차이를 두고 동시에 존재하며 파의 진행방향과 각각 직각으로 진동해 나아가는 파이다.

(1) 전파는 횡파이며 평면파이다.

① 횡파 : 매질의 이동 방향과 파동의 진행방향이 서로 수직인파.(고저파) → 전자파, 광파 등

② 종파 : 매질의 이동 방향과 파동의 진행방향이 서로 수평인파.(소밀파) → 음파 등

(2) 전파 속도

전자파의 속도(V)는

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_o\mu_o}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_s\mu_s}} = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_s\mu_s}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\mu_s\epsilon_s}} [\text{m/sec}] \text{ 이다.}$$

$$\rightarrow V = f \cdot \lambda = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \lambda = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- ① 투자율이나 유전율이 클수록 속도가 늦어진다.
- ② 전파의 속도는 공간상의 매질의 종류에 따라 달라짐을 의미한다.
- ③ 전파의 속도(V)는 자유공간($\epsilon_s = \mu_s = 1$)에서는 광속도(C)와 같다.

(3) 위상속도(V_p)와 군속도(V_g)의 곱은 광속도(C)의 제곱과 같다.

매질 내에서 파가 에너지를 전파하는 속도를 군속도(group velocity)라고 하며 매질의 굴절률이 n일 때 위상 속도는 $V_p = \frac{C}{n}$, 군속도는 $V_g = nC$ 이다. 이때 C는 광속도를 말하며 $V_p \cdot V_g = C^2$ 의 관계가 있다.

(4) 전파는 빛의 성질과 유사하다.

- ① 반사와 굴절
- ② 전자파는 주파수가 낮을수록 회절 현상이 심하고 주파수가 높을수록 직진성이 강하다.
- ③ 편파성
- ④ 간섭
- ⑤ 감쇠

개념확인문제

전파에 관한 설명으로 맞는 것은?

- ① 전파는 종파이다.
- ② 매질의 종류에 관계없이 속도는 광속과 같다.
- ③ 군속도 * 위상속도 = (광속도)²
- ④ 진행 방향에는 E 및 H가 없고 직각인 방향에만 E와 H성분이 있는 경우를 구면파라고 한다.

정답 ③



개념확인 7

전파의 분류

주파수의 분류	통용어	주파수 범위	파장 범위
VLF(Very Low Frequency)	초장파	30[kHz]이하	10[km]이상
LF(Low Frequency)	장파	30 ~ 300[kHz]	1 ~ 10[km]
MF(Medium Frequency)	중파	300 ~ 3,000[kHz]	100 ~ 1,000[m]
HF(High Frequency)	단파	3 ~ 30[MHz]	10 ~ 100[m]
VHF(Very High Frequency)	초단파	30 ~ 300[MHz]	1 ~ 10[m]
UHF(Ultra High Frequency)	극초단파	300 ~ 3,000[MHz]	10 ~ 100[cm]
SHF(Super High Frequency)	센티미터파	3 ~ 30[GHz]	1 ~ 10[cm]
EHF(Extremely High Frequency)	밀리(미터)파	30 ~ 300[GHz]	1 ~ 10[mm]

$$\lambda(\text{파장}) = \frac{V(\text{전파의 속도})}{f(\text{주파수})} \Big|_{\text{(자유공간)}} = \frac{C}{f}[\text{m}], \quad C(\text{광속도}) = 3 \times 10^8[\text{m/s}]$$

개념확인문제

다음 중 VHF(Very High Frequency)와 UHF(Ultra High Frequency) 대역의 주파수 범위는?

- ① VHF: 300~3,000[MHz], UHF: 30~300[MHz]
- ② VHF: 3~30[MHz], UHF: 30~300[MHz]
- ③ VHF: 30~300[MHz], UHF: 300~3,000[MHz]
- ④ VHF: 30~300[MHz], UHF: 3~30[MHz]

정답 ③

출제경향 1 변위 전류(displacement current)

1 유전체에서 변위전류를 발생하는 것은?

- ① 분극 전하 밀도의 시간적 변화
- ② 분극 전하 밀도의 공간적 변화
- ③ 전속 밀도의 시간적 변화
- ④ 전속 밀도의 공간적 변화

[해설]

변위 전류(i_d) : 완전 유전체나 진공중에 흐른다고 가정한 전속밀도(D)의 시간적 변화율

$$i_d = \frac{i}{S} = \frac{dD}{dt} [A/m^2]$$

2 두 개의 금속판을 마주보게 놓고 전압을 인가했을 때 극판 사이의 전속밀도(D)는 얼마인가? (단, 극판에 축적된 전하를 $Q[C]$, 극판 면적을 $S[m^2]$, 극판 사이의 유전율을 $\epsilon[F/m]$ 라 한다.)

- ① $\frac{Q}{S} [C/m^2]$
- ② $\frac{D}{\epsilon} [V/m]$
- ③ $\frac{dQ}{dt} [A]$
- ④ $\epsilon \frac{dE}{dt} [A/m^2]$

[해설]

콘덴서의 면적을 $S[m^2]$, 콘덴서에 충전된 전하의 총량을 $Q[C]$ 라 하면 콘덴서 양극간의 전속 밀도

(D)는 $D = \frac{Q}{S} [C/m^2]$ 가 된다.

출제경향 2 Maxwell의 방정식

1 다음 중 전자계의 기초 방정식이 아닌 것은?

- ① $\text{rot } H = i + \frac{\partial D}{\partial t}$
- ② $\text{rot } E = - \frac{\partial B}{\partial t}$

$$\textcircled{3} \text{ div } D = \frac{\rho}{\epsilon}$$

$$\textcircled{4} \text{ div } H = 0$$

[해설]

$\text{div } D = \rho$, $D = \epsilon E$ 이므로 $\text{div } E = \frac{\rho}{\epsilon}$ 가 된다.

3 Maxwell 방정식을 이루는 법칙이 아닌 것은?

- ① 패러데이(Faraday) 법칙
- ② 암페어(Ampere) 법칙
- ③ 스넬(Snell) 법칙
- ④ 가우스(Gauss) 법칙

[해설]

빛을 비롯한 파동은 지나고 있는 매질의 성질에 따라서 다른 진행 속도를 가지게 되는데, 이때 매질에 따른 속도의 차이에 의해 진행 방향이 꺾이는 굴절 현상이 일어난다. 스넬의 법칙은 이때 일어나는 파동의 굴절 현상을 정량적으로 설명한 법칙이다.

4 무한히 긴 직선도선에 흐르는 전류에 의한 자계의 방향을 나타내는 법칙은 무엇인가?

- ① 렌츠의 법칙
- ② 암페어의 오른나사법칙
- ③ 전장의 가우스 법칙
- ④ 패러데이의 법칙

출제경향 3 파동방정식

1 자유공간의 특성 임피던스를 잘못 표현한 것은?

- ① ϵE
- ② E/H
- ③ $\sqrt{(\mu_o/\epsilon_o)}$
- ④ 120π

[해설]

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_{0(\text{자유공간})}}} = 120\pi \approx 377[\Omega]$$

2 평면파를 바르게 설명한 것은?

- ① 전자파의 진행방향에 전계, 자계의 성분이 있다.
 ② 전자파의 진행방향에 전계, 자계의 성분이 없다.
 ③ 전자파의 진행방향에 전계의 성분만 있다.
 ④ 전자파의 진행방향에 자계의 성분만 있다.

[해설]

균일한 매질 내에서 전계(E)와 자계(H)가 x 및 y 방향 성분만 있고 진행 방향 z에는 E 및 H 성분이 없는 파를 평면파라 한다.

출제경향 4 전파의 에너지($P[J/m^3]$)출제경향 5 포인팅의 정리($P_o[W/m^2]$)

1 다음 포인팅 전력을 나타낸 식이다. 이들 중 틀린 것은?

- ① $\frac{E^2}{Z_0}$ ② $\frac{E^2}{120\pi}$
 ③ $E \cdot H$ ④ $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$

[해설]

포인팅(Poynting) 전력(P_o): 단위 면적당 단위 시간에 통과하는 전자파 에너지.

$$P_o = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{120\pi} \approx \frac{E^2}{377} [w/m^2], P_o = E \cdot H$$

2 Poynting Vector를 바르게 나타내는 식은?

- ① $\frac{1}{2} E \times H$ ② $\sqrt{\epsilon\mu} E \times H$
 ③ $E \times H$ ④ $\nabla \cdot (E \times H)$

[해설]

포인팅 벡터(Poynting Vector)의 표기 방법은 $P_o = E \times H$ 이다.

3 다음 중 포인팅 벡터의 단위는?

- ① J/m^2 ② W/m^2
 ③ J/m^3 ④ W/m^3

4 전자계에서 전계의 세기를 E, 자계의 세기를 H, 전계와 자계 사이의 각을 θ ($\theta < 90^\circ$)라고 할 때 포인팅(Poynting) 벡터의 크기는 어떻게 표시되는가?

- ① $EH \sin\theta$ ② $EH \cos\theta$
 ③ $EH \tan\theta$ ④ EH

5 전계강도가 $3.77[V/m]$ 인 자유공간에서 단위면적당 단위시간에 통과하는 전자파 에너지(Poynting power)는 약 얼마인가?

- ① $3.77\pi [mW/m^2]$ ② $37.7 [mW/m^2]$
 ③ $120 [mW/m^2]$ ④ $120\pi [mW/m^2]$

출제경향 6 전파의 성질

1 전파에 관한 설명으로 맞는 것은?

- ① 전파는 종파이다.
 ② 매질의 종류에 관계없이 속도는 광속과 같다.
 ③ 군속도 $\times$ 위상속도 = (광속도)²
 ④ 진행 방향에는 E 및 H가 없고 직각인 방향에만 E와 H 성분이 있는 경우를 구면파라고 한다.

[해설]

- ① 전자파는 횡파이며 평면파이다.
 ② 전파의 속도는 매질의 유전율과 투자율의 제곱근에 반비례하다.

- ③ 군속도 $\times$ 위상속도 = (광속도)²
 ④ 전파는 빛의 성질과 유사하다.(직진성, 굴절성, 회절성, 반사성, 전반사성, 편파와 감쇠등)

2 다음 중 전파의 전파속도에 영향을 미치는 요소로 맞는 것은?

- ① 유전율과 투자율 ② 점도와 유전율
 ③ 투자율과 도전율 ④ 유전율과 도전율

3 비유전율(ϵ_s)이 40이고 비투자율(μ_s)이 1인 매질 내를 전파하는 전자파의 속도는 자유공간을 전파할 때와 비교하여 몇 배의 속도가 되는가?

- ① 1/2배 ② 2배
 ③ 4배 ④ 9배

4 위상속도에 대한 설명으로 맞지 않은 것은?

- ① 일정 위상자리가 이동하는 속도를 말한다.
 ② 위상속도와 군속도의 곱은 광속의 제곱이 된다.
 ③ 도파관 내에서 위상속도는 광속도보다 빠르다.
 ④ 매질의 굴절률이 커지면 위상속도는 빨라진다.

해설

매질 내에서 파가 에너지를 전파하는 속도를 군속도(group velocity)라고 하며 매질의 굴절률이 n 일 때 위상 속도는 $V_p = \frac{C}{n}$, 군속도는 $V_g = nC$ 이다. 이때 C 는 광속도를 말하며 $V_p \cdot V_g = C^2$ 의 관계가 있다.

출제경향 7 전파의 분류

1 다음 중 VHF(Very High Frequency)와 UHF (Ultra High Frequency) 대역의 주파수 범위는?

- ① VHF: 300~3,000[MHz],
 UHF: 30~300[MHz]
 ② VHF: 3~30[MHz],
 UHF: 30~300[MHz]
 ③ VHF: 30~300[MHz],
 UHF: 300~3,000[MHz]
 ④ VHF: 30~300[MHz],
 UHF: 3~30[MHz]

2 다음 중 파장이 가장 짧은 주파수대는 어느 것인가?

- ① UHF ② VHF
 ③ SHF ④ EHF

3 $\lambda/4$ 수직 안테나의 길이가 5[m]일 때 전파의 주파수는?

- ① 5[MHz] ② 10[MHz]
 ③ 15[MHz] ④ 20[MHz]

- 1 두 개의 금속판을 마주보게 놓고 전압을 인가했을 때 극판 사이의 전속밀도(D)는 얼마인가? (단, 극판에 축적된 전하를 Q[C], 극판 면적을 $S[m^2]$, 극판 사이의 유전율을 $\epsilon[F/m]$ 라 한다.)

① $\frac{Q}{S}[C/m^2]$ ② $\frac{D}{\epsilon}[V/m]$
 ③ $\frac{dQ}{dt}[A]$ ④ $\epsilon \frac{dE}{dt}[A/m^2]$

- 2 Maxwell 방정식을 이루는 법칙이 아닌 것은?

- ① 패러데이(Faraday) 법칙
 ② 암페어(Ampere) 법칙
 ③ 스넬(Snell) 법칙
 ④ 가우스(Gauss) 법칙

- 3 공간의 어느 점에 있어서 자속밀도 B가 시간적으로 변화하는 경우에 성립하는 식은? (단, E는 그 근방에 발생하는 전계이다.)

① $\text{rot} E = \frac{\partial B}{\partial t}$ ② $\text{rot} E = \frac{\partial H}{\partial t}$
 ③ $\text{rot} E = -\frac{\partial H}{\partial t}$ ④ $\text{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}$

- 4 다음 중 전계와 자계에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 자기력선은 발산이 있으나 전기력선은 없다.
 ② 전계와 자계 모두 에너지 보존법칙이 성립한다.
 ③ 전계는 전류 및 자하에 의하여 형성된다.
 ④ 전기력선은 항상 폐곡선을 형성한다.

- 5 맥스웰의 제1방정식 “ $\Delta \cdot D = \rho$ ”에서 발산에 대한 정의로서 바르지 못한 것은?

① $\nabla \cdot A = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\oint A \cdot dS}{\Delta V}$
 ② 벡터장의 원천을 파악 하는데 이용된다.
 ③ 발산 값이 (+)이면 벡터장이 흘러나오는 원천이다.
 ④ 발산 값으로 (0)은 없다.

- 6 무한히 긴 직선도선에 흐르는 전류에 의한 자계의 방향을 나타내는 법칙은 무엇인가?

- ① 렌츠의 법칙
 ② 암페어의 오른나사법칙
 ③ 전장의 가우스 법칙
 ④ 패러데이의 법칙

- 7 맥스웰 방정식에서 “ $\nabla \cdot \bar{D} = \rho$ ”에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 자계의 변화가 없으면 자계의 형태로 존재한다.
 ② 변화하는 전계에 의해 수직방향의 자계가 발생한다.
 ③ 자계의 발생은 전하의 이동과 관련 없다.
 ④ 전계는 전하에 의해 형성된다.

- 8 자유공간의 특성 임피던스를 잘못 표현한 것은?

① ϵE ② E/H
 ③ $\sqrt{(\mu_o/\epsilon_o)}$ ④ 120π



9 전자파의 진행방향에 수직인 단위면적을 통과하는 전력을 무엇이라 하는가?

- ① 전력밀도 ② 전계강도
③ 전압분포 ④ 전류분포

10 다음 중 포인팅 벡터(Poynting Vector)를 옳게 표시한 식은?

- ① $\frac{E}{H}$ ② $\frac{H}{E}$
③ $\frac{1}{2}EH^2$ ④ $\frac{E^2}{120\pi}$

11 다음 중 포인팅 벡터의 단위는?

- ① J/m^2 ② W/m^2
③ J/m^3 ④ W/m^3

12 다음 중 포인팅 벡터의 크기를 나타내는 것은? (단, E : 전계의 세기, H : 자계의 세기, μ : 투자율, ϵ : 유전율)

- ① EH ② $\mu\epsilon$
③ E/H ④ $\sqrt{\mu/\epsilon}$

13 전계강도가 $3.77[V/m]$ 인 자유공간에서 단위 면적당 단위시간에 통과하는 전자파 에너지(Pointing power)는 약 얼마인가?

- ① $3.77\pi[mW/m^2]$ ② $37.7[mW/m^2]$
③ $120[mW/m^2]$ ④ $120\pi[mW/m^2]$

14 자유공간에서 단위 면적당 단위 시간에 통과하는 전자파 에너지가 $3[W/m^2]$ 일 경우 전계강도는 약 얼마인가?

- ① $8.45[V/m]$ ② $16.81[V/m]$
③ $33.63[V/m]$ ④ $45.65[V/m]$

15 전자계에서 전계의 세기를 E , 자계의 세기를 H , 전계와 자계 사이의 각을 θ ($\theta < 90^\circ$)라고 할 때 포인팅(Poynting) 벡터의 크기는 어떻게 표시되는가?

- ① $EH \sin\theta$ ② $EH \cos\theta$
③ $EH \tan\theta$ ④ EH

16 다음 중 전파의 전파속도에 영향을 미치는 요소로 맞는 것은?

- ① 유전율과 투자율 ② 점도와 유전율
③ 투자율과 도전율 ④ 유전율과 도전율

17 비유전율(ϵ_s)이 4이고 비투자율(μ_s)이 1인 매질 내를 전파하는 전자파의 속도는 자유공간을 전파할 때와 비교하여 몇 배의 속도가 되는가?

- ① 1/2배 ② 2배
③ 4배 ④ 9배

18 다음 중 파동의 전파속도에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 투자율이 클수록 증가한다.
② 유전율이 클수록 증가한다.
③ 언제나 일정하다.
④ 파동의 전파속도는 진동수와 파장의 곱에 비례한다.

19 전파의 파장과 관련이 있는 것은?

- ① 전파의 편파 ② 전파의 속도
③ 전파의 흡수 ④ 전파의 간섭

20 다음 중 위상속도와 군속도의 관계로 가장 적합한 것은? (단, V_p : 위상속도, V_q : 군속도, C : 광속도이다.)

- ① $V_p \cdot V_q = C$ ② $V_p \cdot V_q = C^2$
③ $\frac{V_p}{V_q} = C$ ④ $\frac{V_p}{V_q} = C^2$

21 위상속도에 대한 설명으로 맞지 않은 것은?

- ① 일정 위상자리가 이동하는 속도를 말한다.
② 위상속도와 군속도의 곱은 광속의 제곱이 된다.
③ 도파관 내에서 위상속도는 광속도보다 빠르다.
④ 매질의 굴절률이 커지면 위상속도는 빨라진다.

22 어떤 전자파의 전계의 세기는 $E = 10\cos(10^9t + 30z)$ 와 같다. 이 전자파의 위상속도는 얼마인가

- ① $\frac{1}{9} \times 10^8$ [m/sec]
② $\frac{1}{3} \times 10^8$ [m/sec]
③ 3×10^8 [m/sec]
④ 9×10^8 [m/sec]

23 다음 중 전파에 관한 설명으로 옳은 것은?

- ① 진행방향에는 전계와 자계가 없고 직각인 방향에만 전계와 자계성분이 있는 경우를 구면파라고 한다.
② 매질의 종류에 관계없이 속도는 광속과 같다.
③ 전파는 종파이다.
④ 군속도 $\times$ 위상속도 = (광속도)²

24 다음 중 전자파의 성질에 대한 설명으로 틀린 것은?

- ① 전자파는 횡파이다.
② 전자파는 편파성이 없다.
③ 전계나 자계의 진동방향과 직각인 방향으로 진행하는 파이다.
④ 전계와 자계가 서로 얹혀 도와가며 고리 모양으로 진행하는 파이다.

25 다음 중 전파의 성질에 관한 설명 중 잘못된 것은?

- ① 전파는 횡파이다.
② 균일 매질 층을 전파하는 전파는 직진한다.
③ 굴절률이 다른 매질의 경계면에서는 빛과 같이 굴절과 반사작용이 있다.
④ 주파수가 높을수록 회절작용이 심하다.



26 다음 중 전파의 성질에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 송신측에서 수직 다이폴을 사용하면 수신측에서도 수직편파 안테나를 사용해야 한다.
- ② Snell의 법칙은 매질의 경계면에서 일어나는 회절현상을 분석할 때 사용한다.
- ③ 도체에 전파가 진입할 때의 감쇠되는 정도는 표피작용의 깊이(Skin Depth)로 알 수 있다.
- ④ 주파수가 높을수록 직진성이 강하고 낮을수록 회절이 잘 된다.

27 다음 중 평면파와 구면파에 대한 설명으로 틀린 것은?

- ① 평면파는 구면파보다 도달거리가 짧다.
- ② 안테나로부터 원거리에서는 평면파로 간주하여도 된다.
- ③ 전계와 자계성분이 서로 직각이다.
- ④ 자유공간에서의 속도는 광속과 같다.

28 다음 중 전자계 현상에 대한 설명으로 틀린 것은?

- ① 유전율이 커지면 파장은 길어진다.
- ② 전계 벡터가 X축과 Y축 방향으로 구성되어 그 크기가 같은 경우를 원형 편파라고 한다.
- ③ 복사 전계의 크기는 거리에 반비례한다.
- ④ 전파의 주파수가 높을수록 직진성이 강하다.

29 전기장, 자기장 또는 전자기장 벡터의 시간경과에 따른 궤적을 무엇이라 하는가?

- ① 주파수 ② 위상
- ③ 주기 ④ 편파

30 주파수 대역 구분 중 중파의 대역은 무엇인가?

- ① 30~300[kHz] ② 0.3~3[MHz]
- ③ 3~30[MHz] ④ 30~300[MHz]

31 전자파의 단파 주파수 범위에 해당하는 파장 범위는?

- ① 0.1[m]~1[m]
- ② 1[m]~10[m]
- ③ 10[m]~100[m]
- ④ 100[m]~1,000[m]

32 다음 중 VHF(Very High Frequency)와 UHF(Ultra High Frequency) 대역의 주파수 범위는?

- ① VHF : 30~3,000[MHz],
UHF : 30~300[MHz]
- ② VHF : 3~30[MHz],
UHF : 30~300[MHz]
- ③ VHF : 30~300[MHz],
UHF : 300~3,000[MHz]
- ④ VHF : 30~300[MHz],
UHF : 3~30[MHz]

33 다음 중 파장이 가장 짧은 주파수대는 어느 것인가?

- ① UHF ② VHF
③ SHF ④ EHF

34 A의 주파수는 $720[\text{kHz}]$ 이고 B의 주파수는 $640[\text{kHz}]$ 일 경우 A와 B의 파장비율은?

- ① 8 : 7 ② 7 : 8
③ 9 : 8 ④ 8 : 9

35 $\lambda/4$ 수직 안테나의 길이가 $5[\text{m}]$ 일 때 전파의 주파수는?

- ① $5[\text{MHz}]$ ② $10[\text{MHz}]$
③ $15[\text{MHz}]$ ④ $20[\text{MHz}]$

36 $30[\text{MHz}]$ 주파수에 대한 전파의 $1/2$ 파장은 얼마인가?

- ① $1[\text{m}]$ ② $5[\text{m}]$
③ $10[\text{m}]$ ④ $15[\text{m}]$

37 자유공간에서, 전파가 $20[\mu\text{s}]$ 동안 전파되었을 때 진행한 거리는?

- ① $2[\text{km}]$ ② $6[\text{km}]$
③ $20[\text{km}]$ ④ $60[\text{km}]$

38 기차가 진동수 $500[\text{Hz}]$ 의 기적을 올리면서 $50[\text{m/sec}]$ 의 속도로 달려오고 있다. 멈춰있는 관측자에게 들리는 기적 소리의 진동수는 몇 $[\text{Hz}]$ 인가?

- ① 약 $480[\text{Hz}]$ ② 약 $580[\text{Hz}]$
③ 약 $680[\text{Hz}]$ ④ 약 $780[\text{Hz}]$

39 비유전율 50, 비투자율 1이며 도전율 $20[\text{V/m}]$ 인 증류수에 $15.9[\text{GHz}]$ 의 파가 진행할 때 고유 임피던스가 $44.27 + j9.96[\text{ohm}]$ 이었다. 이 때 전계와 자계의 위상차는?

- ① 전계가 자계보다 $12.6[^\circ]$ 앞선다.
② 전계가 자계보다 $22.5[^\circ]$ 앞선다.
③ 자계가 전계보다 $12.6[^\circ]$ 앞선다.
④ 자계가 전계보다 $22.5[^\circ]$ 앞선다.

40 초고주파 대역에서 사용하는 마이크로스트립(Microstrip) 전송선로가 비유전율 $\epsilon_r = 7.6$ 을 가지며, 기판의 폭(W)과 두께(h)의 비가 $W/h = 5$ 일 때, 위상속도는 얼마인가?

- ① $1.0 \times 10^8[\text{m/s}]$
② $1.2 \times 10^8[\text{m/s}]$
③ $1.4 \times 10^8[\text{m/s}]$
④ $1.6 \times 10^8[\text{m/s}]$