

전파자원 신기술 동향

(THz기술 중심으로)

최상호

한국전파진흥원 전파방송정책연구실장
shchoi@korpa.or.kr

I. 서론

농경사회에서는 땅이, 산업사회에서는 석유 등과 같은 천연자원이 중요한 자원이었으나, 오늘날 지식정보사회에서는 무형의 인위적 자원인 전파자원의 중요성이 더욱 부각될 것이다. 아울러 전파자원은 공공재 형태의 유한자원이므로 통신·방송·융합 기술발전과 함께 수요가 지속적으로 증가하고 있어 효율적 이용이 요구되고 있다. 이를 위해 전파자원의 공정한 분배와 효율적 이용을 위한 전파관리 정책 마련 및 신기술 개발을 통한 신규 주파수 대역 발굴이 절실하다. 특히 이용실적을 기반으로 한 주파수 회수·재배치 등을 통하여 대역을 재정비하고, 공유기술의 등장과 함께 부각될 수 있는 스펙트럼 관리의 패러다임 변화에 대응할 수 있는 방안 마련이 필요하다. 또한 이미 분배된 FACS을 위한 기술개발을 통해 이용활성화를 도모함으로써 주파수 수요 및 서비스 수요에 부응하고, 이용률에 근거하여 FACS 대역을 기존 분배대역에서 단계적으로 확대 분배하는 것이 바람직하다.

본 글에서는 신정부에서 추진하고 있는 신성장 동력 기술개발 계획 마련에 도움이 될 수 있는 전파를 이용한 IT, BT 및 NT의 실질적 융합 기반기술인

테라헤르츠 기술을 소개하고자 한다. 먼저 테라헤르츠 기술(THz 기술)의 개요를 언급하고, 기술 및 시장전망, 국내외 정책 동향, 분야별 기술개발을 언급하였으며, 최종 활성화 방안을 도출하였다.

II. 테라헤르츠 기술 개요

현재 전 세계적으로 $30\text{kHz}\sim 300\text{GHz}$ 의 주파수대역이 이용가능한 주파수 대역으로 인식되고 있지만, 주파수의 수요 급증 및 서비스 니즈에 힘입어 고주파수 대역인 테라헤르츠(THz) 대역으로 확장을 통한 신규 전파자원 확보 및 다양한 애플리케이션의 개발이 고려되고 있다. 한편 UWB, CR 등 공유기술 개발을 통한 신규 전파자원 확보도 가능하지만, 새로운 대역을 개척함으로써 간섭 없는 깨끗한 테라헤르츠와 같은 주파수 대역을 확보하는 것 역시 중요하다고 보인다.

먼저 테라헤르츠(THz)의 의미는 아직 개발되지 않은 주파수 영역인 $0.1\text{THz}\sim 10\text{THz}$ 대역의 전자기파를 말하며, 전파의 투과성을 가지고 있는 최단 파장 대역이다. 특히 광파의 직진성과 반사성을 동시에 보유한 최장파장 대역으로 방사능을 방출하여 인체조직을 파괴하는 X-ray와 달리 인체에 무해한 원적외선 대역으로 간주되고 있다.

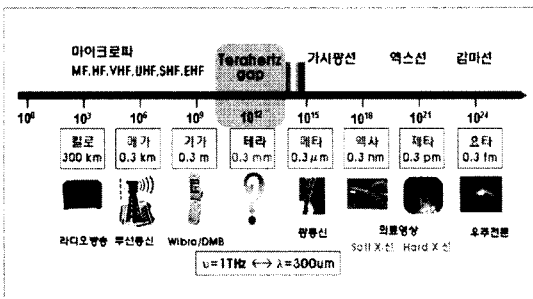
테라헤르츠 기술은 테라헤르츠 주파수 대역을 사용하는 기술로서 광기술과 마이크로파(무선)기

술 간의 단절을 있고, 각각의 기술의 한계돌파를 가능하게 하는 가교역할의 융합기술로 알려져 있다. 아울러 국가적인 전략 핵심기술로서 테라헤르츠 소자(광·전자)와 응용기술 개발로 수십억 달러 이상의 부가가치 창출은 물론 통신, 환경, 보건, 농업, 의료, 보안, 등 산업 전 분야에서 응용 가능하여 새로운 패러다임을 확립할 차세대 신기술로서 평가되고 있다. 일본의 경우, 2005년 일본 과학기술학술심의위원회(일본 문부과학성자문기구)에서 10대 미래 기간기술 중 최우선 추진 과제로 선정되었으며, 2004년 미국 MIT대학에서 발표하는 10대 미래 유망기술로 테라헤르츠 기술이 선정된바 있다.

국내에서도 국가적인 전략기술 및 한계기술 극복 차원에서 시급히 연구개발 투자가 활성화된다면 IT·BT·NT 융합의 기반기술로 활용가능하며, 향후 상용화시기에는 의료·약품, 보안·환경·안전, 산업응용, 천문우주 등 다양하고 혁신적인 응용서비스 제공이 가능할 것으로 전망하고 있다. <표 1>에는 테라헤르츠 응용분야에 대한 예시를 나열하였다.

<표 1> 테라헤르츠 응용분야 및 내용

응용 분야	내용 (예시)
정보통신	테라비트 광통신, 테라헤르츠 무선통신, 초고속 정보처리시스템, 고주파 계측기기 등
생체·의료·약품	암진단 등 각종 의료용 분석·계측기기, 생체·의약품 DB, 분자구조해석 등
보안·환경·안전	위험물 검사시스템, 보안물질 DB, 테라헤르츠 센서·카메라, 환경분석시스템 및 환경물질 DB 등
산업 응용·표준	테라헤르츠 카메라, 나노 공업재료 분석장치, 반도체·전자재료 평가장치, 농작물 육성관리시스템 등
기초과학·천문우주	테라헤르츠 화상장치, 테라헤르츠 디바이스, 테라헤르츠 센서·이미저, 테라헤르츠 발진기 등



[그림 1] 테라헤르츠 의미

Ⅲ. 테라헤르츠 시장전망 및 개발동향

1) 시장전망

'07년 현재 테라헤르츠 대역을 이용한 장비시장 규모는 국내외적으로 미미하지만, THz 영상 및 분광시스템은 상용화되어 시장을 형성하고 있으며, 암 조기발견을 위한 의료영상, 반도체 결함분석, 유기물의 성분분석 등 다양한 기초연구 분야에 활용 중에 있다. 현재까지 테라헤르츠 기술개발은 태동단계에 있어 시장 전망에 대한 정확한 통계들이 없으며, 많은 응용분야를 갖고 있어 통계 수집 및 분석의 어려움이 존재한다. 다만 몇몇 일본 대학에서 발표한 자료를 근거로 세계시장 규모는 2015년에 7,247억엔 정도에 이를 것으로 전망하고 있다.

〈표 2〉 세계 시장 전망

(단위 : 억엔)

구 분	연 화		비 중	
	2010년	2015년	2010년	2015년
정보통신기술 응용	619	3,800	36.5%	52.4%
시큐리티 응용	519	1,583	30.6%	21.8%
바이오·메디컬	58	1,044	3.4%	14.4%
농업·식품응용	388	596	22.9%	8.2%
공업응용	86	192	5.1%	2.6%
환경응용	8	18	0.5%	0.2%
우주계측응용	16	16	0.9%	0.2%
합 계	1,694	7,247	100.0%	100.0%

※ 출처: 테라헤르츠 테크놀로지 시장조사보고서 ('05년, 일본 오사카대학)

2) 기술개발 동향

대다수 테라헤르츠 대역 이용기술은 현재 국내외에서 태동단계에 있으며, 먼저 통신, 의료 및 감시기술 분야에서 다양한 응용기술 제품을 출시하고 있다.

특히 영국 벤처기업인 'TeraView'는 고해상도 의료영상, 제약 및 고분자 소재의 성분검사용으로 테라헤르츠 영상장치를 개발하여 상용화하였으며, 일본 Nikon社, Aispec社에서는 소재 분석, 생체 및 제약 분석, 분광실험용으로 테라헤르츠 시스템을 개발하고 상용화에 돌입하였다.

향후 2010년 서브-테라헤르츠 대역(0.3THz)의 전파자원을 활용한 통신기술이 확보되어 10Gbps급 이상의 초고속 무선통신서비스 가능할 전망이다.

이를 위해 미국 AT&T社에서는 100m 이내에서 활용가능한 테라비트급 단거리 무선통신기술 확보를 위해 THz PANs(Personal Area Networks) 기술을 적극 개발 중에 있으며, 일본 NTT社는 고속 무선 LAN/PAN을 위한 서브-테라헤르츠 링크기술 확보차원에서 과감한 투자를 하여 시범사업을 실시 중에 있다. 특히 소형, 저잡음, 고출력 테라헤르츠 신호원 제작기술도 확보될 전망이다.

이를 위해 '00년, 일본의 동북대학에서 세계 최초 소형(탁상형), 저전력(mW급) 테라헤르츠 신호원 개발에 이어 최근 고출력(~1W급) 신호원 개발에도 성공하였다. 역시 미국, 중국 등은 고출력, 저가형, 소형화된 연속 테라헤르츠 진공소자 기술을 확보하기 위해 대규모 투자를 추진하고 있는 것으로 파악되고 있다.

3) 개발정책 동향

미국, 유럽 등 주요국은 THz기술을 미래유망기술로 선정하고 '90년대 중반부터 THz기술 개발에 국가적 역량을 집중하고 있다. 특히 미국은 '04년 미국 에너지성(DOE), 국립과학재단(NSF) 및 10개 대학이 공동으로 '테라헤르츠 과학기술 네트워크'를 결성하여 THz 기술개발을 추진하고 있다. 아울러 유럽은 '00년 영국 Leed 대학 등 6개국 7개 기관이 공동으로 'TERAVISION'을 구성하여 기술개발을 추진하고 있으며, '01년 이태리

〈표 3〉 분야별 국내 기술격차

구분		선진국 (미국, 영국, 일본 등)	국내	기술 격차
대분류	중분류			
① THz 소재	강상관전자계 소재 및 메타물질 개발	○ 강상관전자재료 이용 THz 발생/검출기 개발(일본)	○ THz 소재개발을 위한 강상관 전자재료의 에피박막 성장기술 개발	2년 (70%)
	THz 대역용 유기물 기반 E/O (Electro-Optic) 재료 개발	○ 유기단결정소재로 THz 발생/검출에 성공(일본) ○ 고분자박막소재로 THz 발생/검출기 개발(미국)	○ 유기 단결정/박막소재를 THz 시스템에 응용한 연구사례 없음	3년 (70%)
	비선형 분광소재 이용 THz 발생/검출 기술 개발	○ THz 대역 동작특성을 갖는 비선형 분광소재 시연(미국) ○ 리튬나이오베이트의 주파수 변환 특성 이용 THz 소자 연구개발중(미국, 영국, 일본)	○ 리튬나이오베이트 이용 0~2.1 THz 광원(수mW) 연구 개발중	2년 (70%)
② THz 소자 (신호원, 검출기)	신호대잡음비가 높은 THz 발생기/검출기 개발	○ 고성능 THz 검출기/레이저 탑재 THz 펄스이미저 개발(영국)	○ 광전도 안테나 방식 고 신호대잡음비 THz 발생/검출기 개발	2년 (80%)
	THz 고출력 신호원 및 응용기술 개발	○ 세계최초 수 mW급 THz 파라메트릭 발진기 개발(일본)	○ 전자빔 가속방식 수 W급 고출력 THz 신호원 제작	2년 (70%)
	THz 양자폭포레이저 개발 및 소형/고성능 THz 소자 개발	○ 화합물반도체 이용 양자폭포레이저 개발(미국, 영국) ○ 최근 이를 이용한 고성능 실온 이미지 센서 개발중	○ 양자폭포레이저 개발을 위한 양자우물 구조설계 연구중	3년 (50%)
③ THz 이미징/분광기술	고해상도 THz 현미경 기술개발	○ 초미세 해상도를 갖는 THz 현미경 개발(미국)	○ 근접장 주사광 방식 THz 현미경 연구중	2년 (60%)
	THz 이미징시스템/분광 시스템 개발	○ THz 고감도/고해상도 영상감지시스템 연구개발중(미국) ○ THz 파라메트릭 발생기를 사용한 이미징 기술 연구중(일본)	○ 펄스형 신호원 이용 고속 투과 및 반사형 이미징 장치 개발중	2년 (80%)
	THz 보안기술 및 바이오 메디칼 기술 개발	○ 3차원 THz 펄스 영상기술 이용 조직분석(영국) ○ THz 기술 및 보안기술 접목 연구(미국, 일본)	○ 고출력 THz 시스템 이용 생화학 물질 분광분석 기술개발중	2년 (60%)
④ THz 유무선 통신	THz 도파로 전파특성연구 및 표면 플라즈몬 발생기 기술개발	○ 유전재료 기반 도파관에서 THz 신호 방향의 효율성 제고 연구 실시(미국)	○ 알루미늄 판을 이용한 표면 플라즈몬 생성연구	2년 (80%)
	THz 근거리 무선 통신시스템 기술개발	○ THz 통신채널을 통한 오디오 신호 송신 최초 시연(미국) ○ 서브-THz 통신부품 이용 근거리 무선통신시스템 시연(일본)	○ 서브-THz 대역의 THz O/E (Optic-Electro) 포토믹싱 기술 개발중	3년 (60%)

Genoa 대학 등 6개국 10개 기관이 '테라헤르츠 브릿지' 구성하여 사업을 수행 중에 있다. 일본 역시, '03년 대학 및 국립연구소가 연대하여 결성한 '테라 테크놀로지 포럼'을 중심으로 차세대 영상기술개발 등에 연간 100억엔을 투자하여 기술개발을 추진하고 있다.

초기단계의 THz 기술 개발은 국가적 차원에서 조기에 주도함에 따라 기술개발 역량을 결집하여 국내 THz 기술 및 관련 산업 진흥을 도모할 필요성이 있음에도 불구하고, 현재까지 해외와는 달리 국내의 경우 본 산업을 육성하기 위한 정부의 지원이 미미한 실정이다. 아울러 국내 THz 기술 수준은 선진국에 비해 2~3년의 기술 격차가 벌어지고 있어 시급성이 요구되고 있고, 출연연구소마다 개별적으로 초기 개발을 준비 또는 진행 중에 있어 중복투자의 가능성이 매우 심각하다. 따라서 우리나라도 정부주도하에 신규 전파자원의 확보 및 다양한 응용서비스 개발과 신산업 창출 유도 등을 위해 관련 기관과 협력하여 THz 기술개발 및 이용활성화 계획을 수립하여 개발을 추진함으로써 해외 선진기술과 대등한 위치를 확보하여야 할 필요성이 있다.

IV. 기술개발 분야

본 장에서는 향후 국내에서 개발되어야 할 핵심 연구 과제를 분야별로 도출하여 정리하였다. 특히 테라헤르츠 소재, 신호원, 이미징·분광 및 통신 기술 개발로 크게 분류하였으며, 표준화 대상 기술분야를 언급하였다.

1) 소재기술 분야

먼저 소재 기술개발분야에 있어서, 기 확보된 유기/고분자 소재 합성기술과 무기 단결정 성장 기술, 강상관전자계 소재를 기반으로 광대역 테

라헤르츠 대역에 적용 가능한 고품위 소재 기술을 개발하고, 소자 전문 연구기관과의 유기적 협력 연구를 통해 소재 특성의 최적화 및 소자로의 적용 기술 개발이 필요하다. 아울러 미국 등 기술 선진국과의 국제 협력 연구를 강화하여 세계 기술개발을 선도하고, 고효율 소재 양산기술을 연관 산업체로 기술 이전을 추진하여야 한다.

〈표 4〉 소재기술 개발분야

개발분야	주요 연구내용
산화물 기반의 강상관전자계 소재 개발	□강상관전자계 소재의 대면적박막 기술 - 대면적(4-인치급) 박막 성장 기술 개발 - 강유전체, 강자성체, 초전도체의 다종 박막화 및 광대역($> 10\text{THz}$) 특성화 - THz 물성측정 시스템 구축
테라헤르츠 대역 유기/고분자 소재 개발	□고효율 안정성 유기 소재 기술 개발 - 전기광학특성 100 pm/V 이상, 광화학안정성 $10,000 \text{ h}$ 이상 - 고분자 후막 제조 기술 개발, 유기 단결정 성장 기술 개발
고품위 텔루라이드 단결정 성장 기술 개발	□LEK, S-PVT 법을 이용하여 성장 - 2인치 크기의 고품위 ZnTe, CdZnTe 단 결정 성장 - 활성원소 주입 기술 개발
Mg:RE-LiNbO ₃ 단결정 성장 기술 개발	□Czochralski 법을 이용하여 성장 - 3인치 크기의 Mg:RE-LiNbO ₃ 단 결정 성장 및 가공 기술 개발

2) 신호원 기술분야

현장 설치형 高出力 발생장치의 경우, 국내에서 핵심모듈의 원천기술을 확보하고 있는 소형 고속기 기반 고효율 테라헤르츠 발생장치를 먼저 집중 개발함으로써, 향후 고효율 신호원 발생장치 시장의 국가 경쟁력과 원천기술 확보가 가능하도록 유도할 필요성이 있다. 아울러 소형 THz 신호원 개발은 THz 발생 메커니즘과 관련이 깊어 비선형 광학결정의 선택 또한 매우 중요하고, 광전도안테나를 이용하는 방식에서부터 반도체 양자우물/

초격자를 이용하는 등 다양한 전략을 구사할 수 있다. 또한 진공전자 기반의 초소형 THz 발진기형 신호원은 보안 검색 및 진단기에 적용 가능할 뿐만 아니라, THz 무선 통신용 발진기로도 활용이 가능하며, 우수성이 입증되면 큰 대체효과가 기대될 것이다.

〈표 5〉 신호원기술 개발분야

개발분야	주요 연구내용
현장 설치형 고출력 테라헤르츠 발생장치 개발	□현장 설치형 다색 고출력 발생장치 개발 - 출력 : >10 kW (첨두), >1 W (평균) - 대역 : 0.3 ~ 3 THz - 주요 특징 : 공항, 항만, 병원 등 현장 설치 가능
소형(table-top) 광대역 고속 가변 테라헤르츠 신호원 개발	□비선형 광학 결정을 이용한 고속 주파수 가변형 신호원 개발(소형) - 광대역 가변 신호원 구현(2~30 THz) - 신소재 비선형 광학결정(유/무기 결정) - 차주파수(DFG) 방식의 THz 신호원 - 광주입형 THz 파라메트릭 발생기(TPG)
THz 진공전자 기반의 초소형 발진기 개발	□진공전자기반의 초소형 THz 발진기 개발 - 고밀도 전자빔 전자총 설계/제작/분석 - THz 발진기 회로 설계/제작/특성 분석

3) 이미징·분광기술 분야

국내에서 기술 경쟁력을 보유하고 있는 고출력 결맞음 다색 테라헤르츠 발생장치를 이용하여 고감도 영상장치를 개발하고, 실시간 영상 검출 및 분석을 위한 기술을 국내의 여러 팀과 협력하여 개발할 필요성이 있다. 기 확보하고 있는 자유전자레이저, 펄스초 레이저 기술 등 각 분야의 핵심 기술과 전문 인력을 활용하여 연구개발의 효율성을 극대화하고, 테라헤르츠 시스템의 고출력/결맞음/소형화등 핵심기술을 공유하여 정보통신, 보안, 비파괴, 의료 분야 응용 기술을 개발하기 위하여 상호 보완적으로 연구를 수행하여야 한다.

테라헤르츠 이미징/분광 응용에 있어서, 가장 핵심적인 고속 THz 신호 검출 및 고속 분광영상기술을 조기에 개발하여 관련 산업을 진흥하고 산업주도권을 확보하여야 할 것이다.

〈표 6〉 이미징·분광기술 개발분야

개발 분야	주요 연구내용
고출력 테라헤르츠 실시간 영상기술 개발	□고출력 다색 테라헤르츠 발생장치를 이용한 실시간 영상기술 개발 - 고감도 테라헤르츠 영상 감지 장치 개발 - 보안 검색용 원격 테라헤르츠 영상 실시간 검출 및 분석 기술 개발 - 의료용 실시간 테라헤르츠 영상 검출 및 분석 기술 개발
생체 물질 분석용 광대역 고정밀 분광기술 개발	□광대역 테라헤르츠 분광기술 개발 - 펄스초 레이저 동기화 기술, 시간 지터 축소 기술 - 광대역 테라헤르츠 검출기술 개발, 생체 물질 분석 성능 시험
고속 THz 신호 검출 및 영상 기술개발	□100 Hz 이상의 스캔속도를 갖는 THz 분광/영상시스템 개발 - 고반복율을 가지는 광지연기 개발, 고속 데이터 수집 및 처리기술 개발 - 반사 및 투과형 영상시스템 설계·제작기술, 분광, 영상 적용기술

4) 통신기술 분야

먼저 THz 통신은 새로운 형태의 신호원을 이용한 시스템이므로 변환기, 혼합기, 안테나, 증폭기 등의 THz 통신용 소자들을 개발이 이루어져야 함과 동시에 경제성을 고려한 소자의 개발이 병행되어야 한다. THz 통신 분야는 THz 기술을 이용한 다른 분야에 비해 세계적으로 연구가 미진하나, 파급효과는 상대적으로 매우 크기 때문에 소자 및 시스템에 대한 원천기술 확보를 위해 재료, 설계, 통신 시스템 분야 간의 연계연구(협조)가 상당히 중요하다.

〈표 7〉 통신기술 개발분야

개발 분야	주요 연구내용
THz 포토닉스 기술을 이용한 THz 송수신 시스템 개발	□ 테라헤르츠 유/무선통신용 부품 및 시스템 개발 - THz 변환기, 혼합기, 안테나 등 - THz 신호전송 및 처리용 광결정 소자, 초고속 THz 송수신 시스템
THz 통신용 양자폭포 레이저(QCL) 개발	□ 테라헤르츠 통신용 양자폭포레이저 설계/제작 - QCL 개발을 위한 다층초격자 성장 기술 확보(MBE 장비) - QCL 설계/제작(패키지)/성능분석, QCL 기반의 THz 통신모듈 제작
테라헤르츠 무선통신용 진행파관 (TWT) 개발	□ 테라헤르츠 무선통신용 고출력/광대역 진행파관(TWT) 개발 - 3차원 EM/PIC 시뮬레이션을 이용한 진행파관 설계/분석 - 전자빔 발생용 전자총 설계/제작/분석 - 미세가공을 이용한 진행파관 회로 제작 및 특성 분석 - 진행파관 제작 및 성능 분석

V. 결론

21세기의 주요 트렌드인 융합기술과 신성장이론을 바탕으로 하는 신기술이 전 세계 경제·사회·문화 구조를 혁신적으로 변화시키고 있으며, 차세대 기술혁명은 IT, BT 및 NT 등 어느 한 분야에 국한되지 않는 신기술간 융합 형태의 기술이 주도할 것으로 예측되고 있다. 이에 부응하여 우리 정부는 2006년 12월 국가 R&D 사업 Total Roadmap-중장기 발전전략을 수립하여 부처별 특성화 기술 개발이 추진되고 있으나, 전파방송 분야에 대한 신기술 개발이 미흡한 상황이다. 따라서 다양한 형태의 정부 전파정책지원 요구에 효과적으로 대응하고, 국가 전파방송 기술분야 중장기 기본계획 등에 적기에 반영시키기 위한 차세대 전파 신기술의 발굴 및 연구개발 노력이 절실히 요구되고 있다.

첨단기술간의 융합성, 과학기술의 한계극복을 위한 혁신성 그리고 새로운 시장창출을 위한 시장성을 고려하여 예측된 세계 각국의 유망기술 중 하나인 테라헤르츠 기술은 향후 미래사회의 수요에 맞는 전파분야 신기술로서 평가되고 있다. 따라서 정부주도하에 국내 출연연구기관들과 협력하여 중복성을 피하고, 효율적 투입 및 기존의 역량을 바탕으로 미래 신기술인 테라헤르츠 기술 개발에 총력을 기울여야 할 것이다. 한편 테라헤르츠 기술은 전파주도의 실질적인 융합기술로 향후 15년 이내에 활성화가 보장되고 조기 연구개발 투자로 원천기술 및 특허확보가 가능한 태동기술임에 틀림이 없다. 아울러 학술적으로 테라헤르츠파 공학, 테라헤르츠 포토닉스 및 테라헤르츠 전자공학의 3개 분야에서 진행되고 있으며, 학술적으로 융합되어 정보통신, 생명공학, 의료, 안전, 건강, 산업, 환경, 우주, 과학 등 모든 분야에 있어 기반기술로 자리매김할 것으로 예측되고 있다. 마지막으로 국민의 삶의 질 제고와 전파가 가꾸어 가는 따뜻한 세상을 맞이하기 위해 신속한 국가차원의 정책수립 및 재정지원을 기대해 본다. ■

◆ 참고문헌 ◆

- [1] 강정진 (2007) 「해의 차세대 전파 신기술 발굴 및 분석 연구」, 한국전파진흥원 중간 연구보고서
- [2] 강광용의 출연연 7개 기관 대표 (2007) 「테라헤르츠 대역 기술개발 및 이용활성화 추진계획(안)」, 한국전파진흥원