

협력지능형교통체계를 위한 효율적인 전파 활용 방안에 관한 연구

김 종 현*, 이 찬 주°

A Study of Efficient Use of Radio Frequency for Cooperative Intelligent Transport System

Jong-heon Kim*, Chan-joo Lee°

요 약

본 논문에서는 협력지능형교통체계(cooperative intelligent transport system, C-ITS) 서비스 도래 시 예상되는 다양한 전파활용 기술 및 서비스에 대한 국내외 현황을 조사하였으며, 주파수 대역별로 구분하여 C-ITS용으로 활용이 가능한 주파수 대역들을 제시하였다. 해외의 경우에는 ITU-R 권고, 미국, 유럽 및 일본의 사례를 조사하였으며 단거리 전용통신 주파수와 차량 레이더 주파수 대역분야로 구분하였다. C-ITS 활용 주파수 현황을 비교 검토한 결과, 국내에서 C-ITS로 활용할 수 있는 주파수들을 극초단파 대역, 마이크로파 대역, 밀리미터파 대역 그리고 테라헤르츠 대역으로 구분하여 제시하였다.

Key Words : C-ITS, radio frequency, DSRC, spectrum policy, automotive radar

ABSTRACT

In this paper, we investigated the various radio frequency application techniques and services over domestic and foreign status based on the expected C-ITS service. Also we classified and suggested the applicable frequency bands for C-ITS. For overseas cases. Recommendations of ITU-R and cases of USA, Europe, and Japan were investigated and those frequency bands were classified according to the DSRCs and the automotive radar applications. As a result of comparisons and reviews of C-ITS frequency application, the available national frequencies classified by the UHF, microwaves, millimeter waves and tera-hertz bands are suggested.

I. 서 론

차량이 주행하면서 도로 인프라 및 다른 차량과 끊임 없이 상호 통신이 가능한 현장 중심의 양방향 서비스 제공이 가능한 C-ITS 서비스를 위해서는 V2I(vehicle to infra), V2X(vehicle to everything) 기반의

실용화 기술 개발은 필수적이다. 이러한 기술들은 대부분이 전파 이용을 기반으로 다양한 무선기기들이 IoT(internet of things)와 같은 센서 기술들과 접목하여 자동차, 도로, 교통시스템과 융합한 새로운 전파 이용 시스템 및 서비스들로 개발될 것으로 예상된다^[1-3].

※ 본 논문은 방송통신전파진흥원에서 지원하는 2016년도 전파방송정책연구 및 지원사업(KCA연구 2016-7)에 의한 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

• First Author : (ORCID:0000-0002-3003-125X)Kwangwoon University Department of Electronic Convergence Engineering, jhkim@kw.ac.kr, 중신회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-7101-0685)Shinhan University Department of IT Convergence, cjlee@shinhan.ac.kr, 중신회원

논문번호 : 201807-231-C-RN, Received July 30 22, 2018; Revised November 5, 2018; Accepted November 9, 2018

최근 들어 차량의 안전과 관련한 기술동향의 추세는 최종적으로 자율주행을 목표로 하고 있으며, 이 기술의 필수요소는 차량간 통신 및 차량과 노변 기지국간 통신 기술로써 2014년 2월 미국의 DOT (Department of Transportation)는 차량 안전도를 높이기 위해 법률 검토를 시작으로 차량에 의무적으로 장착할 계획이다. 국내에서는 TTA 주도로 WAVE (wireless access for vehicular environment) 통신 표준을 기반으로 통신 표준을 제정하였고 2015년에는 WAVE 물리계층 성능시험 규격에 따라 인증시험환경구축 및 시험을 하였다⁴⁾.

국토교통부에서는 지능형교통체계 기본계획 2020을 수립하고 지능형교통체계 추진계획 등을 수립하고 기반조성을 위한 연구개발 및 표준화, 관련 법·제도 정비 등을 추진하고 있으며 전파연구원에서는 2025 미래전파 기술수요 예측 조사를 통해서 새로운 기술과 서비스들을 조사하였으며, 또한, TTA의 ITS/차량 ICT PG에서 스마트 자동차와 도로에 관련된 ICT 기술의 표준 연구를 진행 중이다⁵⁾.

이처럼 차량 및 교통 분야는 전파의 주요 응용산업으로 부각되고 있으며 이 분야에서의 전파 이용 현황을 조사하고 분석하는 연구는 전파 이용을 촉진하기 위해 매우 의미가 있다.

각국의 시스템 도입에 대한 분석을 통해 향후 국내의 기술적인 발전 및 서비스 방향을 전망하고, 주요국의 전파 기술 및 전파 이용 활용 사례를 분석하여 교통 분야에서 전파신기술 확보 계획을 수립하는 기초 자료로 필요성이 크다고 하겠다.

II. 주요국의 주파수 분배 현황

2.1 ITU-R 권고

2.1.1 단거리 전파통신(DSRC)용 주파수

ITS 서비스를 위한 주파수 사용에 대한 논의는 ITU-R SG5 WP5A에서 하고 있으며, ITU에서는 DSRC(dedicated short range communications)용 ITS 주파수 대역인 5.725~5.875GHz(150MHz 대역폭)의 ISM 대역의 사용을 권고하고 있다. Rec. ITU-R M.1453-2 “ITS - DSRC at 5.8GHz”에서는 5.8GHz 주파수 대역에서 5.795~5.805GHz 주파수 대역(10MHz 대역폭)과 5.805~5.815MHz 주파수 대역(10MHz 대역폭)에 대하여 DSRC 송신 장비를 위한 기술들과 특성들을 설명하고 있다⁶⁾.

또한, Rep. ITU-T M. 2228에서 Advanced ITS

radiocommunications를 정의하고 서비스 요구사항들과 일본, 한국 그리고 유럽의 현재 현황을 소개하고 있으며 이 보고서에서 정의하는 ITS의 기술적 특징은 차량 네트워크는 현재 V2I에서 V2N으로 진화할 것이며 무선 성능은 커버리지가 최대 1000 m, 데이터 전송 속도 (data rate)가 27 Mbps, 패킷 사이즈가 최대 2 kbytes 그리고 지연속도(latency)는 100 m/s이내이다⁷⁾.

2.1.2 소출력 레이더용 주파수

Rec. ITU-R SM.1538 “Technical and operating parameters and spectrum requirements for short range radiocommunication devices”에 의하면, 근거리 전파통신 장치(SRD, short range devices)로 사용할 수 있는 주파수 대역은 다음과 같다⁸⁾.

이 권고안에서 제시한 주파수 대역중에는 정보를 위한 이동 검지 장치로는 소출력 레이더를 활용하여 전파를 이용하여 물체의 위치, 속도 등의 특성을 수집하는 기능을 수행하는 무선측위(radio-determination) 용도로 사용한다. 차량 레이더에 관한 권고로는 Rec. ITU-R M.1452 “Transport information and control systems - low power short-range vehicular radar

표 1. 근거리 전파 통신 대역 주파수 분배 현황
Table 1. SRDs frequency band

Frequency allocation	Purpose of Radio Stations
6765 ~ 6795kHz, 433.05 ~ 434.79MHz 61 ~ 61.5GHz, 122 ~ 123GHz, 244 ~ 246GHz	ISM within band under RR No. 5.138
13553 ~ 13567kHz, 26957 ~ 27283kHz, 40.66 ~ 40.70MHz, 2400 ~ 2483.5 MHz, 5725 ~ 5875MHz, 24 ~ 24.25GHz	IISM within band under RR No. 5.150
868 ~ 870MHz	non-specific SRD and alarms
5795 ~ 5805MHz	RTTTs, road transport and telematics)
5805 ~ 5815MHz	RTTTs
9200 ~ 9500MHz, 9500 ~ 9975MHz 10.5 ~ 10.6GHz, 13.4 ~ 14.0GHz	movement detection
63 ~ 64GHz, 76 ~ 77GHz	RTTTs

equipment at 60GHz and 76GHz”가 있으며 60~61GHz(1GHz 폭) 주파수 대역과 76~77GHz(1GHz 폭) 주파수 대역에서 동작하는 소출력 단거리 차량 충돌 방지 레이더 운용의 시스템 요구 사항들을 권고하고 있다^[9].

2.2 미국

2.2.1 단거리 전용통신(DSRC)용 주파수

미국은 ITS 서비스를 위한 DSRC 방식은 자동요금 징수(electronic toll collection, ETC) 서비스와 차량 장치식별(automatic equipment identification, AEI) 서비스를 우선적으로 제공하고 있다. AEI 서비스는 물류 및 유통에 사용중인 트럭 또는 트레일러의 현재 위치 및 도착 예정시간 등을 파악하여 효과적인 물류 전달이 가능하게 하며, 수동방식의 ETS 시스템을 위한 DSRC용으로 902~928MHz의 주파수 대역을 사용하고 있다.

그러나 기술의 진보와 더불어 다양한 차량용 서비스가 요구되어 ITU-R의 ITS용 주파수 권고에 따라 5.850~5.925GHz 주파수 75MHz 폭을 능동 방식의 ETC 시스템 사용이 가능하도록 하였다. 현재 미국의 DSRC 규격은 ASTM E2213-02 표준이다. FCC에서는 이 주파수대역을 차량 안전 운행을 향상시키는 목적으로 하였으며 DSRC의 공공 안전용으로 응용분야는 교통정보 제공 서비스, 자동요금 징수 서비스, 교차로 충돌 방지 서비스, 차량과 차량 간 서비스 등이 있다.

2.2.2 차량 레이더용 주파수

미국은 47 CFR part 15.253에서 46.7~46.9GHz (200MHz 폭) 주파수대역과 76~77GHz(1GHz 폭) 주파수대역을 차량용 레이더 주파수로 사용하고 있다. 그 외에도 57~64GHz 주파수 대역도 차량용으로 사용할 수 있도록 FCC에서 규정하고 있으나, 57~64GHz 대역은 고정운용(fixed operation)용으로만 제한하고 있다^[10].

2.3 유럽

2.3.1 단거리 전용통신(DSRC)용 주파수

유럽은 2007년 2월 ITS 주파수인 5.855~5.925GHz 주파수 대역 사용을 위하여 다른 시스템과 주파수 양립성에 관한 연구 보고서(ECC REPORT 101)를 발표하였으며, DSRC용으로 5.795~5.815GHz(20MHz폭)를 사용하고 있다. Advanced

ITS를 위해 5.855~5.925GHz(70MHz 폭) 대역을 분배하였으며, 또한 C-ITS 운영을 위하여 5.9GHz 대역 내 Wi-Fi도 이용하려고 한다^[11].

2.3.2 차량 레이더용 주파수

유럽의 24GHz 대역은 아마추어, ISM, Non-specific SRD 등으로 분배되어 있으며, 24GHz 대역에서 차량용 레이더로 이용하기 위해서는 유럽 기술기준인 ERC Recommendation 70-03 Annex 6 Equipment for Detecting Movement and Alert의 f항의 규정을 만족시켜야 한다. Annex 6 조항에서 24.05~24.25GHz 대역에서는 송신 최대출력은 100 mW EIRP 이하로 규정되어 있으며, 유럽의 대부분의 나라에서는 24GHz 대역을 이동체 감지 및 경보용 (detecting movement and alert)으로 사용하고 있다^[12]. 그러나 21.625~26.625GHz 대역을 차량 레이더 사용 주파수 대역으로 사용하는 것을 2013년 6월까지로 제한하였으며, 2013년 중반부터 76~77GHz 주파수 대역만을 차량 레이더용으로 사용하도록 하였으며, WRC-15에서 76~81GHz 주파수 대역의 4GHz 대역폭을 차량 레이더 용도로 분배하였다.

2.4 일본

2.4.1 단거리 전용통신(DSRC)용 주파수

일본은 ITS용 주파수로 5.770~5.850GHz (80MHz)폭 주파수를 분배했으며, 일본의 5.8GHz 대역 ITS 관련 표준은 ARIB에서 STD-T75(DSRC 시스템) 및 STD-T-88(DSRC 어플리케이션 서브 레이어) 규격 기술을 제정하였다. STD-T75는 STD-T55 표준에서 전송속도를 개선한 것으로 STD-T55에서는 5.790~5.810GHz 대역(20MHz 폭)과 5.830~5.850GHz(40MHz 폭) 주파수 대역을 하향링크와 상향링크로 각각 분배하였다. 이 주파수 대역은 통행요금 자동징수 시스템에 사용되고 있다. STD-T75는 전자지불, 인터넷 접속, 교통정보 및 지역정보 제공, 대중교통 예약, 정보검색, 주차장 관리 등 시설관리 및 화물차량 관리 등과 같은 서비스를 제공한다^{[13], [14]}.

일본의 경우는 기존 할당된 5.8GHz 주파수는 그대로 ITS 용으로 사용하면서 700MHz 대역인 UHF 10MHz 대역폭을 추가로 할당하였다. 2009년 ITS Info-communications Forum에서 “Experimental Guideline for Vehicle Communications System using 700MHz-Band”를 발표하였는데 주요내용은 2012년 7월 이후 기존의 아날로그 TV 방송이 디지털화 되면서 발생하는 여유 주파수 중 700MHz 대역 중

10MHz 폭을 차량 안전용으로 도입하기 위한 것이었다. 2012년에는 ARIB 표준인 ARIB STD-T109 “700MHz intelligent transport systems”을 발표하였으며 주파수 대역은 755.5~764.5 (9MHz 폭)이다¹⁵⁾.

2.4.2 차량 레이더용 주파수

일본의 경우 탐지 및 이동체 측정 센서용 대역에 대한 기술기준은 무선설비규칙 제4장(업무별 또는 전파형식 및 주파수대별에 의한 무선설비 조건)에 규정되어 있으며 24.05~24.25GHz 대역이 공공 서비스, 비면허 소출력 서비스인 탐지 및 이동체 측정 센서용, 아마추어 등으로 분배되어 있으며, 무선측위 (radiolocation) 장비 용도로 100MHz 폭, 이동체 감지 센서용으로 76MHz 폭을 분배하고 있다. 또한, 차량 레이더 주파수로는 60~61GHz와 76~77GHz 그리고 77~81GHz 주파수 대역으로 각각 분배되어 있다¹⁶⁾.

2.5 국내 주파수 분배 현황

2.5.1 단거리 전용통신(DSRC)용 주파수

국내의 경우, 2001년 정보통신부고시 제2001-21호로 전파법 제9조의 규정에 의하여 지능형교통시스템(ITS)과 관련하여 사용되는 단거리전용통신(DSRC)용 주파수는 하이패스 단말기용으로는 5.795~5.805GHz 주파수 대역의 10MHz 폭을 사용하고 있고, 5.805~5.815GHz 주파수 대역 10MHz 대역폭은 지자체의 첨단교통시스템을 위한 교통정보 수집 및 제공 그리고 실시간 신호제어 시스템 운영 등으로 이용하고 있다.

2013년 국토교통부에서는 C-ITS 서비스의 도입을 위하여 5.855~5.925MHz 주파수 대역에서 70MHz 폭에 대하여 비면허 주파수로 수요를 제기하였으며 2016년 6월에 차세대 ITS용 WAVE 주파수 대역으로 주파수 분배표를 개정하였다.

2.5.2 차량 레이더용 주파수

2001년 정보통신부고시 제2001-21호로 전파법 제9조의 규정에 의하여 차량레이더용 주파수를 분배하였다. 특정소출력무선국 차량레이더용 주파수대역은 76~77GHz(1GHz 폭)이며 용도는 차량 등의 충돌방지 장치이다. 2012년에는 추가로 24.25~26.65GHz (2.4GHz 폭)을 특정소출력무선기기(차량충돌방지레이더용)으로 분배하였다. 그리고 2015년에 24~27GHz(3GHz 폭) 주파수 대역을 비허가 무선기기/용도 미지정으로도 사용할 수 있도록 개정하였다.

2.5.3 도로정보감지레이더용 주파수

2014년에는 34.275~34.875GHz(600MHz 폭) 주파수대역을 도로정보감지레이더용으로 사용하도록 주파수 분배표를 개정하였다. 도로정보감지레이더는 고속도로·국도상의 장애물, 낙하물, 결빙 상태, 정지차량 및 역주행 차량, 악천후, 노면상태, 터널 내 화재, 대형사고 상황 등을 감지하여 그 정보를 운전자에게 실시간 제공함으로써 사고를 사전에 예방할 수 있는 시스템이다. 이 주파수대역에서는 기술적인 요구사항만 충족한다면 누구나 자유롭게 개발, 제작, 생산 및 판매할 수 있도록 규제를 완화하였다.

III. C-ITS 주파수 활용 방안

본 논문에서 주요 주파수 대역별로 국내와 주요국의 C-ITS 활용 주파수 현황을 비교 검토하여, 국내에서 C-ITS로 활용할 수 있는 주파수들을 대역별로 고찰하였다.

3.1 극초단파(UHF) 대역

3.1.1 700MHz 대역

일본의 경우, 2011년 12월에 비 가지거리 무선통신을 위하여 ITS 주파수 대역으로 기존 할당된 5.8GHz 주파수는 그대로 이용하면서 추가로 아날로그 TV 방송이 디지털화 되면서 발생하는 700MHz 대역 여유 주파수 중에서 일부는 이동통신용으로 그리고 그림 1과 같이 755.5~764.5MHz 주파수 대역에서 9MHz 폭을 차량 안전용으로 도입하였다.

700MHz 대역 주파수는 5.8GHz 대역 주파수와 비교하여 전파의 전달 거리가 길고 커버리지가 넓으며 건물의 뒤까지 회절하는 특성으로 시야가 확보되지 않은 교차로에서 차량 간 통신에 적합하며 높은 신뢰도가 요구되는 안전 운전 지원 시스템을 위한 주파수로 5.8GHz 주파수 대역보다 우수하다는 장점을 가지고 있다.

일본은 700MHz 대역 주파수를 활용하여 안전 운

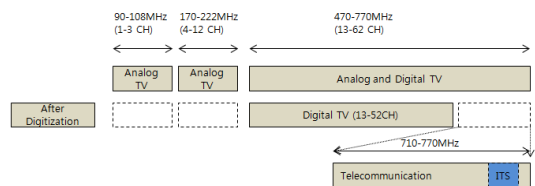


그림 1. 일본의 700MHz 대역 주파수 분배
Fig. 1. 700MHz band frequency allocation in Japan

전 지원 시스템을 위한 차량 간 통신을 구현하기 위한 다양한 검증 실험들을 수행하였다. 그리고 검증 실험의 가이드라인으로 ITS Info- Communications Forum에서 ITS forum RC-006을 개발하였으며 새로운 ARIB 표준으로 ARIB STD-T109 “700MHz intelligent transport systems”을 발표하였다. 이 표준에서 700MHz 대역 ITS 기본 파라미터들은 다음과 같다. 중심 주파수는 760MHz 이고 점유 대역폭은 9MHz 이하, 그리고 송신 전력은 10 mW/MHz이하이다³⁾.

또한, ITU-R SG5 WP5A에서 ITU-R M.2228 “Advanced ITS Radiocommunications” 기술보고서 작성에 참여하여 일본의 advanced ITS 무선통신 현황을 소개하였다. 여기서 700MHz 대역 주파수를 활용하여 교차로의 한 모퉁이에 장애물로 인하여 시야가 확보되지 못한 경우에 V2X통신을 활용하여 주변의 교통상황을 전달하여 안전하게 교차로에서 운행이 가능하도록 하는 시험과 앞 차량으로 인하여 시야가 확보되지 못하는 경우, 전방의 교통상황을 V2X통신을 이용하여 파악하고 안전하게 운행가능 하도록 하는 시험 등을 다양하게 수행하였다.

한국은 2012년 말 지상파 아날로그방송 종료 이후 2015년에 지상파 아날로그 방송용 주파수 대역이었던 700MHz 주파수 대역의 분배에 대한 논의를 끝내고 그림 2와 같이 분배안을 확정하였다. 그리고 주파수심의 위원회에서 2015년 11월 재난안전통신망에 먼저 20MHz 폭(상하향 10MHz)과 지상파 UHD용으로 30MHz 폭, 이동통신에 40MHz 폭(상하향 20MHz)을 분배하기로 결정하였다.

UHD 방송용으로 지상파에 분배하는 700MHz 주파수는 HD 방송에서 UHD 전환 기간에 한해 분배하는 것으로, UHD 전환이 완료되면 과거 아날로그방송의 디지털 전환했던 것처럼 다시 회수된다. 따라서 700MHz 주파수는 지상파 4사에 UHD 5개 채널(6MHz×5), 재난망(20MHz), 이동통신(40MHz) 등 통신용으로 2개 대역을 활용하는 것으로 되었다.

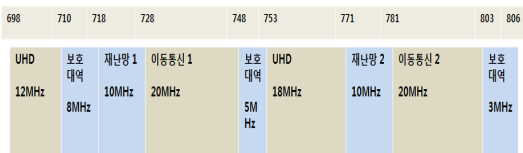


그림 2. 한국의 700MHz 대역 주파수 분배
Fig. 2. 700MHz band frequency allocation in Korea

3.2 마이크로파 대역

3.2.1 5.8GHz 대역

미국은 1999년 V2X 통신을 지원하는 5.9GHz WAVE 주파수 대역을 할당하였으며, 2010년 IEEE에서 WAVE를 ITS의 통신 표준으로 정하고 차량간 통신이나 차량과 노변 기지국과의 통신을 그림 3과 같이 5.85~5.925GHz 주파수 대역에서 한 개의 제어채널(CCH)와 여섯 개의 서비스채널(SCH)로 운영하도록 규정하고 있다. 미국의 WAVE 주파수를 이용한 서비스 활용방안은 공공 부문 응용 서비스가 우선적으로 고려되고 있다.

유럽은 2008년 WAVE 주파수 대역을 할당하고 ETSI에서 WAVE 표준을 수용하였으며, 2009년 유럽의회는 유럽 표준화기관인 CEN, ETSI, CENELEC에게 C-ITS 표준 개발을 요청하는 M/453문서를 제공하였다. 그림 4는 유럽의 주파수 분배 현황을 보여준다. 5.855~5.875GHz 대역 주파수의 20MHz 폭을 ITS용으로 분배하였으며 5.875~5.905GHz 대역 주파수의 30MHz 폭은 ITS 차량 안전용으로 할당하였다. 그리고 5.905~5.925GHz 대역 주파수의 20MHz 대역폭은 향후 서비스의 확장을 위하여 확보하였다.

일본은 표 2와 같이 1997년 5770~5850MHz 대역은 비면허 DSRC용으로 사용할 수 있도록 하여 80MHz 대역폭을 확보하고 700MHz UHF 대역과 함께 멀티채널 구조로 ITS 시스템을 제안하고 있다. 2010년 ITS Safety 2010 프로젝트를 통해 컨셉 검증 단계의 프로젝트(ASV, Smartway, DSSS)의 FOT를 수행하였으며, 2010년 발표된 “새로운 정보통신 기술

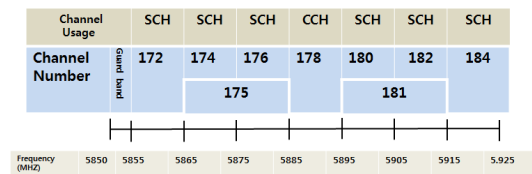


그림 3. 미국의 WAVE 주파수 채널
Fig. 3. The WAVE frequency allocation in U.S.

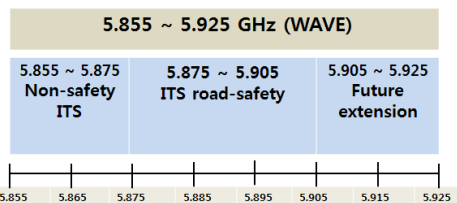


그림 4. 유럽의 WAVE 주파수 채널
Fig. 4. The WAVE frequency allocation in Europe.

표 2. 일본의 5.8GHz 대역 주파수 분배 현황
Table 2. 5.8GHz band frequency allocation in Japan

Frequency allocation (MHz)		Purpose of Radio Stations
5725~5770	Mobile	Public Service General Service
	Radiolocation	Public Service
	Amateur	Amateur Service
5770~5850	Mobile	Public Service Unlicensed Low-Power Service (DSRC) General Service
	Radiolocation	Public Service
	Amateur	Amateur Service

전략”하에 ITS SPOT 전국 서비스가 2011년부터 전개되었다^[17].

한국에서는 5.800GHz에서 10MHz 대역폭을 하이패스 단말기용으로, 5.810GHz에서 10MHz 대역폭을 각 지자체의 교통정보수집 및 실시간 신호제어 시스템으로, 5.835~5.855GHz의 20MHz 대역을 DSRC 예비용으로 할당해 사용하고 있다. 그러나 이것은 국제표준에서 권고하는 주파수 대역은 아니지만 전체 40MHz를 할당하여 운영중이다. 특히 10MHz 하나의 채널에서 하루 평균 하이패스 교통량이 317만대 이용하므로, 고속도로 및 일반국도 중첩 사용 시 간섭으로 인한 통신오류가 발생하는 경우가 있으므로 추가 주파수 할당이 필요하다.

따라서, 2016년 10월부터 3대 신사업분야인 무인비행체(드론), 사물인터넷(IoT), 자율주행자동차 전용전파 주파수로 총 6,859MHz 대역폭을 공급하기로 했다. 여기서, 드론용으로는 2,679MHz 폭, 자율주행차용으로는 4,070MHz 폭의 주파수가 할당된다. 이중 자율주행차와 관련한 C-ITS용으로 5.9GHz대역에서 70MHz폭의 주파수가 우선으로 제공된다. 이를 위하여 과기정통부는 개정된 전파법 시행령을 2016년 6월 23일 부터 시행하였다.

과기정통부는 5690~5925MHz 대역에 용도 분배된 방송중계용 주파수 및 아마추어용 주파수를 회수하고 방송중계용 주파수는 6~7GHz 주파수 대역, 그리고 아마추어용 주파수는 10.3~10.5GHz 주파수 대역으로 각각 변경하였다. 이에 따라, 5650~5725MHz, 5825~5850MHz 주파수 대역은 Wi-Fi, IoT, 드론 등 다양한 무선기기에서 사용할 수 있도록 분배하였고 5855~5925MHz 주파수 대역을 자율주행자동차를 위한 안전 서비스 등의 ITS용으로 사용할

표 3. 한국의 5.8GHz 대역 주파수 분배 현황
Table 3. 5.8GHz band frequency allocation in Korea

Frequency allocation (MHz)	Purpose of Radio Stations
5855~5925 Fixed Fixed-Mobile (Earth-to-space) Mobile Amateur Radiolocation	ITS (Antenna power density <10 mW/MHz)

수 있도록 분배하였다. 표 3는 5850~5925MHz 대역 70MHz폭의 개정된 주파수 분배표이다.

그리고 「전파법」 제45조(기술기준), 「전파법 시행령」 제25조(신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국)에 따라 지능형교통시스템용 무선기기(미래창조과학부고시 제2016-68호, 2016. 6. 23)의 안테나 공급전력밀도를 10mW/MHz 이하로 개정하여 고시하였다^[18].

3.2.2 24GHz 대역

24GHz 단거리 레이더는 감지 각도는 넓지만 근거리 감지만 가능하여 애플리케이션으로는 사각지대 감지(blind spot detection, BSD), 차선변경 지원(lane change assist, LCA), 후방 교차충돌 경고(rear cross traffic alert, RCTA), 후방 사전충돌 경고(rear pre crash, RPC) 등 트래픽 잼 어시스트(TJA)에 활용되기도 한다.

국제적으로도 24~27.5GHz 대역을 단거리 차량용 레이더 주파수로 분배하여 사용하고 있다. ETSI TR 102 664 V1.2.1, ‘Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters(ERM); Road Transport and Traffic Telematics(RTTT); Short range radar to be used in the 24GHz to 27,5GHz band; System Reference Document’에서는 차량용 레이더 시스템과 관련된 주요국들의 표준과 규정들을 제시하고 있다.

표 4와 같이 국내는 24.25~27GHz 대역을 차량충돌방지 레이더용으로 주파수를 분배하였고 아울러 24~27GHz 대역을 용도 자유 대역으로 지정하여 3GHz 대역폭을 자율주행 차를 위한 차량용 센서 등과 같은 분야에 활용할 수 있다.

최근 들어 첨단 안전 차량(advanced safety vehicle, ASV)에 대한 운전자의 요구가 높아짐에 따라, 주행환경 인식 센서를 적용한 차량의 수요도 증가하고 있어 차량 센서 주파수의 활용도가 높아지며 특히

표 4. 지능형교통시스템용 무선기기
Table 4. Radio station for ITS

Frequency allocation (GHz)	Purpose of Radio Stations
24 ~ 24.05 Amateur Amateur-Satellite	Amateur Radio ISM Equipment Unlicensed Radio/ Flexible Access Common Spectrum
24.05 ~ 24.25 Radiolocation Amateur Earth exploration - Satellite (active)	ISM Equipment Object detection sensor Unlicensed Radio/ Flexible Access Common Spectrum
24.25 ~ 24.45 Fixed, Mobile	WLL(Wireless Local Loop) specific low power devices (Anti-collision Radar/ Unlicensed Radio/ Flexible Access Common Spectrum
24.45 ~ 24.65 Fixed, Mobile Inter-Satellite	
24.65 ~ 24.75 Fixed Fixed-Satellite (Earth-to-space) Inter-Satellite Mobile	
24.75 ~ 25.25 Fixed Fixed-Satellite (Earth-to-space) Mobile	

24GHz 주파수 대역의 단거리 레이더의 수요보다 70GHz 대역의 장거리 레이더의 수요가 늘어날 것으로 예상된다.

3.3 밀리미터파 대역

3.3.1 34GHz 대역

한국의 경우, 34.5GHz 주파수를 사용하는 레이더 센서 기반 실시간 돌발상황 감지 시스템은 도로에 설치한 레이더 센서를 통해 수집된 정보를 이용하여 도로상의 장애물(정지차량, 역주행, 낙하물 등)을 인지,

표 5. 한국의 34GHz 대역 주파수 분배 현황
Table 5. 34GHz band frequency allocation in Korea

Frequency allocation (GHz)	Purpose of Radio Stations
34.2 ~ 34.7, 34.7 ~ 35.2 Aeronautical radionavigation Space research	specific low power devices (road information detection radar)

분석 및 판단하고 해당 정보를 운전자와 도로관리자에게 제공한다. 최장 탐지거리 520 m, 최고 탐지속도 200 km/h로 탐지거리 내에서 30 cm 입방체를 90%까지 감지해낼 수 있으며 100 m 이내에서 노면상태(결빙·수막·강설)를 90% 정확도로 판별해낼 수 있다.

3.3.2 60GHz 대역

표 6과 같이 국내는 57~66GHz 대역은 용도 자유 대역으로 자율주행 차와 도로 위 센서간 무선 근거리 초고속 통신 같은 분야에 활용될 수 있다.

표 6. 한국의 60GHz 대역 주파수 분배 현황
Table 6. 60GHz band frequency allocation in Korea

Frequency allocation (GHz)	Purpose of Radio Stations
57 ~ 58.2 , 58.2 ~ 59 59 ~ 59.3 , 59.3 ~ 64 64 ~ 65 , 65 ~ 66 Fixed, Mobile Inter-Satellite, radiolocation, space research	specific low power devices (road information detection radar)

3.3.3 76GHz 대역

WRC-15에서는 고해상도 차량레이더 운용을 위해 77.5~78GHz 대역을 차량용 주파수로 신규 분배하는 방안에 대한 의제가 논의되었으며 인접 대역인 76~77.5GHz 및 78~79GHz 대역은 이미 무선탐지업무로 분배가 되어있어 중간대역인 77.5~78GHz 대역을 무선탐지업무로 추가 분배함으로써 고해상도 차량레이더 운용을 위한 광대역화가 가능하기에 WRC-12에서 일본 등 아태지역 국가의 제안을 통해 WRC-15 의 제로 채택되었다¹⁹⁾.

ITU의 연구결과 77.5~78GHz의 무선탐지 업무분배를 위한 타 업무와의 공유 가능성은 확인하였으나, 의제의 초기 취지에 맞게 동 대역을 차량용으로 한정하여 분배 또는 다양하게 활용도를 높이기 위하여 다른 용도로 확장하여 무선탐지업무로 분배할 것인가에 대한 이슈가 제기되었다. 결국 WRC-15에서 논의 끝에 그림 5와 같이 77.5~78GHz 대역을 차량레이더뿐만 아니라 항공기의 계류장 접근 제어 등의 용도를 확장한 무선탐지업무로 분배하였다.

일본의 차량용 전파 레이더는 Rec. ITU-R M.1452-2 “millimeter wave vehicular collision avoidance radars and radiocommunication systems for intelligent transport system applications”의 시스

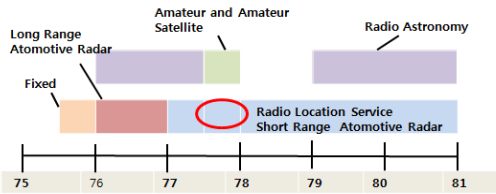


그림 5. 79GHz 대역 고해상도 차량 레이더 주파수 현황
Fig. 5. 79GHz band automotive radar frequency

템 요구사항을 따르며 표 7과 같다. 일본은 2012년 12월부터 79GHz 대역 주파수를 사용한 고해상도 전파 레이더를 이용하여 건물목에서 보행자를 감지하거나 고속으로 주행 시 도로를 횡단하는 보행자를 감지한다.

밀리미터파를 전파 레이더는 우수한 표적 인식 성능, 여러 가지 기상 조건에서도 비교적 오류가 적고, 소형화 및 경량화가 가능하다는 장점을 갖고 있다. 최근 Infineon, NXP, ST Micro 등에서 높은 수율과 우수한 가격 경쟁력을 가진 차량용 레이더 반도체를 출시하였고, 우수 자동차 메이커들은 이미 차량용 77GHz 대역의 레이더 장착을 제공하고 있다. 77GHz 대역은 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS)에는 널리 사용되고 있으나 전파간섭 등의 우려로 타 용도로는 사용을 제한하고 있다.

한국은 표 8과 같이 76~77.5GHz 대역 주파수를

표 7. 일본의 차량용 레이더 기술적 요구사항
Table 7. Automotive radar technology characteristics in Japan

Type of Radar	Frequency/Bandwidth (Max)	Output Power / Antenna Gain	Measurement Distance/Resolution
UWB	22-29GHz/ 4750MHz	41.3 dBm/MHz -	30m/ 20cm
76GHz	76-77GHz/ 500MHz	10mW 40dBi	200m/ 1-2m
79GHz	77-81GHz/ 4GHz	10mW / 35dBi	70m/ 20cm

표 8. 한국의 76GHz 대역 주파수 분배 현황
Table 8. 76GHz band frequency allocation in Korea

Frequency allocation (GHz)	Purpose of Radio Stations
76 ~ 77.5 Radio Astronomy Aeronautical Radionavigation Space Operation (space-to-Earth)	specific low power devices (Anti-collision Radar)

차량충돌방지 레이더용 주파수로 분배했으며 2016년 10월부터 무인비행체(드론), 사물인터넷(IoT), 자율주행자동차 등 3대 신사업분야에 중에서차량충돌방지구고해상도 레이더를 위해 77~81GHz대역에서 4GHz 폭의 주파수를 배정하였다.

3.4 테라헤르츠 대역

ITU-R에서는 THz 대역 연구 과제 ‘Technical and operational characteristics of applications of science services operating above 275GHz’를 채택하였으며 해당 대역을 이용하는 센싱 및 이미징 기술 및 무선통신 기술에 대한 동향에 대한 보고서 작업을 진행 중에 있다²⁰⁾.

유럽은 국내와 동일하게 122~123GHz 대역 1GHz 폭과 244~246GHz 주파수 대역 2GHz 폭을 용도자유 대역으로 지정하고 초고속 통신, 의료영상진단, 보안 검색 등을 위한 활용 연구를 진행 중에 있다.

특히 자율주행을 위한 THz 센싱 및 THz 근거리 통신 분야에서 THz 주파수 대역의 활용이 미래 기술 개발 분야로 주목받고 있다. 자율주행을 위하여 비가 오거나 눈이 내리는 나쁜 기상 조건에서 비포장 도로, 과속방지턱이나 도로경계석 등 과 같은 복잡한 환경에서 도로의 이미지를 실시간으로 인식하기 위하여 차량의 앞에서 주변 환경을 인식하기 위한 센싱이 필요하다.

국내에는 2016년 ICT 융합서비스 도입을 통한 산업 창출을 위하여 미래부에서 ‘K-ICT 용도 자유 대역 (Free band) 주파수 공급 방안’을 발표하였으며, 기존에 용도별로 기술방식을 일일이 규정하던 방식에서 벗어나 산업체 수요가 존재하는 서비스를 우선 고려하는 ‘용도 자유 대역’은 엄격한 할당절차를 거쳐야 하는 일반 이동통신 또는 방송용 주파수와 달리 출력 등 기기간의 혼신방지를 위한 방지를 위한 기술기준

표 9. 한국의 122~123GHz와 244~246GHz 대역의 주파수 분배표
Table 9. 122~123GHz and 244~246GHz band frequency allocation in Korea

Frequency allocation (GHz)	Purpose of Radio Stations
122.25 - 123 Fixed, Mobile INTER-Satellite, Amateur	Unlicensed Radio/ Flexible Access Common Spectrum
241 - 248 Radioastronomy, radiolocation, Amateur, Amateur-Satellite	

만 만족하면 허가나 신고 없이 자유롭게 사용할 수 있는 비면허 주파수 대역을 말한다. 특히, 122~123GHz 대역 1GHz 폭과 244~246GHz 대역 2GHz 폭은 '테라헤르츠(Tera Hertz, THz)' 대역으로 현재까지 구체적인 활용방안은 나오지 않았지만, 무인자동차와 도로 위 센서 간 초고속 통신 같은 분야에 활용될 수 있다. 표 9는 2016년 6월 23일에 고시된 122~123GHz와 244~246GHz 대역의 주파수 분배표이다.

IV. 시사점 및 제언

본 논문에서는 C-ITS 분야에서 전파이용 활성화를 위하여 주파수 대역별로 구분하여 국내외 현황을 조사 분석하고, 각 주파수 대역에서 활용 용도를 조사하여 가능한 활용 서비스들을 파악하였다.

일본의 경우, UHF 대역의 700MHz 주파수 활용을 통한 안전 운행 지원 시스템은 필드 테스트를 마친 상태에서 국내의 700MHz 대역 중 HD 방송에서 UHD 방송으로 전환이 완료되는 시점에서 회수되는 HD 방송 주파수 대역에 대한 활용 검토가 가능하다. 따라서, 국내의 경우에도 일본과 같이 현재 5.8GHz 대역은 ITS용으로 사용하면서 700MHz 대역을 추가로 사용하여 멀티채널로 운영하여 통신 성공률을 높이는 방안을 검토할 필요가 있다.

또한, 비허가무선기기/용도미지정 용도로 분배된 57~66GHz 대역은 용도 자유 대역이어서 자율자동차와 도로 위 센서 간 무선 근거리 통신의 용도에 대한 활용으로의 검토가 가능하다.

WRC-15에서 결정된 77.5~78GHz 주파수의 차량 레이더를 위한 추가 분배를 통해서 광대역 고해상도 차량용 레이더의 활용이 가속화될 것으로 예상되며 자율주행차의 개발에 맞추어서 이에 따른 산업 수요도 늘어날 것으로 전망된다. 그리고 WRC-19 의제 1.12 ITS 구현을 위한 국제/지역 주파수 조화 검토를 통해서 국제적으로 보다 하모나이즈된 주파수 분배가 이루어질 것으로 예상된다. 자율주행차의 개발이 가속화되면서 앞으로는 센싱 및 이미지 기술 그리고 무선 통신 기술을 위한 THz 주파수 활용한 기술 개발이 요구될 것으로 예상되므로 이 주파수 대역에 대한 활용 방안에 대한 연구가 요구된다.

또한 이동통신 및 WLAN의 경우에서도 핵심칩은 외산에 전적으로 의존하였으며, WAVE 또한 NXP, Infineon 등이 차량용 반도체시장을 선점하고 있으며 특히 마이크로웨이브 이상 대역의 부품시장에서는 핵심부품이 국산화 되어 있지 못하므로 이에 대한 대비

도 요구된다.

최근 CEPT ECC(Electronic Communication Committee)의 보고서에서는 RLAN과 ITS 신호 대역 사이의 주파수 공유 기법과 양립성에 대한 연구결과 최소결합 손실(Minimum Coupling Loss, MCL)의 계산 결과 I/N 레벨 -6dB를 만족하기 위해서는 충분한 이격거리가 필요하다는 결과를 발표하였다²¹⁾.

결과적으로 RLAN과 ITS 장비들은 서로 양립하기 위해서는 경감기법이 필요하며, 데이터 패킷을 전송하기 전에 잠재적인 간섭원을 검출하는 “listen - before - talk” 과정에 주안점을 두고 있다.

그러나 현재까지의 연구결과는 하나의 간섭원이 다른 장비에 미치는 영향만을 가정한 것이며 간헐적인 간섭신호로 인한 문제나 다수개의 Wi-Fi 장비들이 미치는 영향, 차량의 이동속도로 인한 문제 등은 고려하지 않았다. 미국의 경우 다양한 환경을 고려한 테스트 필드를 구축하고 실험하고 있으며, 유럽의 경우는 주파수 양립성에 관한 다양한 시뮬레이션 결과들이 보고되고 있다. 국내에서도 전파환경을 확인하고 잡음 및 다중경로 간섭 등에 관한 측정 후 전국의 실정에 적합한 통신 규정이 제안되어야 할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 C-ITS 서비스를 위한 전파 기술 활용에 필요한 국내외 표준과 정책 및 서비스 현황을 조사하고 주파수 대역에 따른 활용 용도를 조사하여 향후 C-ITS 및 자율주행차를 위한 필요한 주파수 대역 및 활용 기술들을 제시하였다.

본 연구를 통해서 기술적 측면에서는 C-ITS 서비스를 위한 전파 기술이 차량의 안전, 차량 진단 및 모니터링, 차량 트래픽의 효율 증대, 엔터테인먼트 제공 등 다양한 부가 기술 창출에 기여할 수 있고 신규 서비스 창출 시 요구되는 전파 기술 및 전파 자원의 수요 전망을 통하여 보다 효율적인 전파 이용 계획 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

산업적 측면에서는 기존의 방송통신 위주의 전파이용에서 타 분야에서의 전파이용 활성화를 통해서 새로운 산업 및 비즈니스 창출에 기여할 수 있으며 자동차를 비롯한 교통 분야가 향후 국내 산업을 이끌어 나갈 잠재력이 있는 분야이기 때문에 전파의 주요 응용 산업 분야로 활성화가 가능하다.

국내 도로 환경은 다른 국가들과 비교해서 상대적으로 복잡하고 협소하므로 ITS 신호와 다른 통신 장비들과 간섭문제 그리고 주파수 공유문제와 양립성에

대한 연구가 필수적으로 보완되어야 할 것이다.

References

- [1] G. Gang, et al., "Research on C-ITS technology trends," The Korea Transp. Inst., Intell. Transp. Soc. of Korea, Oct. 2013.
- [2] M. Gang, et al., "MAC technology for V2I, V2V vehicle communication," *Commun. Korean Inst. Inf. Sci. Eng.*, vol. 22, no. 1, May 2008.
- [3] D. Gwag, et al., "V2X networking technology standardization trend," *TTA J.*, no. 124, pp. 72-74, Aug. 2009.
- [4] Y. Oh, et al., "ITS/ vehicle ICT," *TTA J.*, vol. 160, pp. 8-15, Jun. 2015.
- [5] National Radio Research Agency, "Survey of 2025 future radio technology level," Mar. 2013.
- [6] ITU-R, "Intelligent transport systems - Dedicated short range communications at 5.8GHz," Rec. M.1453, 2006.
- [7] ITU-R, "Advanced intelligent transport systems radiocommunications," Rep. M.2228 - 1, Jul. 2015.
- [8] ITU-R, "Technical and operating parameters and spectrum requirements for short range radiocommunication devices," Rec. SM.1538, 2006.
- [9] ITU-R, "Transport information and control systems - low power short-range vehicular radar equipment at 60GHz and 76GHz," Rec. M.1452, 2000.
- [10] US Federal Government, "Operation within the bands 46.7-46.9GHz and 76.0-77.0GHz," 47 Code of Federal Regulations(CFR), Section 15.25. Jan. 2000
- [11] ECC, "Compatibility studies in the band 5855-5925MHz between intelligent transport systems (ITS) and other systems," Report 101, Feb. 2007.
- [12] ERC, "Relating to the use of Short Range Devices (SRD)," Rec. 70-03, May 2018.
- [13] ARIB, "Electronic toll collection system," ARIB STD-T55, Nov. 1997.
- [14] ARIB, "Dedicated short- range communication system," ARIB STD-T75, Sept. 2001.
- [15] ARIB, "700MHz band intelligent transport systems," ARIB STD-T109 Version 1.2, 12. 2013.
- [16] Institute for Future Radio Engineering, "Regulations of radio equipments for tasks, radio types and frequency bands," Japan Radio Equipment Regulations 2006 revision, Chap. 4, 2011.
- [17] National Radio Research Agency, "Domestic and international regulations and standardization trend of wireless technologies for security, safety and medical services," RRA-2013-RT-104, pp. 85-89, Nov. 2013.
- [18] Ministry of Science, ICT & Future Planning, "Unlicensed Radio equipments for radio stations," Notice No. 20160124, Nov. 2016, from http://www.rra.go.kr/ko/reference/lawList_view.do?lw_seq=412
- [19] S. Oyama, "Spectrum for ITS WRC-19 Agenda Item 1.12," *ITS Info - Commun. Forum*, France, Mar. 2016.
- [20] ITU-R, "Technical and operational characteristics of the fixed service in the frequency range 275-1000GHz," Question ITU-R 235, 2015.
- [21] CEPT, "Compatibility studies related to RLANs in the 5725-5925 MHz band," *ECC Report 244*, Jan. 2016.

김 종 현 (Jong-heon Kim)

한국통신학회 논문지 Vol. 42, No. 11 참조

이 찬 주 (Chan-joo Lee)

한국통신학회 논문지 Vol. 42, No. 11 참조