

미래 주파수 공유 정책 및 기술 기준

강규민 · 황성현 · 정병장

한국전자통신연구원

I. 서 론

최근 무선·이동통신 트래픽 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며, 실외 사용자 대비 실내 사용자 비율과 hotspot에서 요구되는 트래픽 비율이 계속적으로 증가하고 있는 추세이다. 국내 스마트폰 사용자가 2010년 720만 명에서 2012년 8월 2,997만 명으로 4배 이상 증가하였으며, 전 세계 이동통신망을 통한 M2M(Machine-to-Machine) 단말의 접속 건수가 2009년 5,700만 건에서 2015년에는 2억만 건 이상으로 증가할 것으로 전망되고 있다^[1]. 국내 이동 통신사들의 모바일 트래픽은 지난 3년간 약 50배 이상 증가하였으며, 전 세계적으로 향후 5년 내 10배, 10년 내 100배 이상 급증할 것으로 예상되고 있어, 현재 활용되고 있는 주파수로는 통신 블랙아웃 발생이 우려된다^[2].

이와 같은 모바일 트래픽 폭증에 대비하여 전 세계적으로 현재 약 300 MHz 대역폭에서 향후 5년 이내에 500 MHz, 10년 내에 1 GHz 이상의 주파수 대역폭 확보가 요구되고 있으며, 효율적 주파수 자원 활용을 위한 기술과 대용량 데이터 처리를 위한 소형 셀 기술 등이 개발되어야 한다^{[3][4]}. 또한, 스마트 기기의 보급으로 대용량 데이터 제공에 대한 요구가 높아지면서 원활한 모바일 트래픽 망 및 초고속 hotspot 서비스를 위한 주파수 광대역화 기술, 주파수 공유 기술 및 전파 이용에 대한 혁신적인 정책 및 기술 개발이 이뤄져야 한다. 이를 위해 미이용 주파수 활용, 시·공간적 주파수 공유 등의 스펙트럼 이용 고효율화 및 대용량화를 위한 핵심 원천 기술도 활발하게 연구 개발되고 있으며, 광대역 주파수 자원의 확보를 위한 최적의 주파수 회수·재배치 추진, 유연한

주파수 이용 및 공유를 위한 기술기준, 간섭 분석·관리 등 스펙트럼 이용 정책이 전 세계적으로 활발하게 추진되고 있다.

한정된 주파수 자원을 효율적으로 활용하기 위한 주파수 이용 정책 패러다임 변화가 미국을 중심으로 가속화되고 있다. FCC(Federal Communications Commission: 연방통신위원회)는 TV 방송용으로 분배된 주파수 대역 중 현재 지역적으로 사용하지 않고 비어 있는 주파수 대역인 TVWS(TV White Space: TV 유휴대역)를 효율적으로 활용하기 위해 NPRM(Notice of Proposed Rulemaking)을 2004년 공고하였고, 이어서 2nd R&O(Report & Order, '08.11), 2nd MO&O(Memorandum Opinion & Order, '10.09), 3rd MO&O('12.04) 등에 걸쳐 TVWS 이용 개정안을 발표하였다^{[5][8]}. 2012년 7월 미국 대통령 과학기술자문위원회(PCAST: President's Council of Advisors on Science and Technology)에서는 회수 재배치에 의한 주파수의 배타적 이용은 필연적으로 주파수 자원의 고갈을 야기하기 때문에 회수 재배치에 의한 주파수 이용방안은 지속 가능하지 않으며, 주파수 공유를 위한 기술기준, 이용 정책, 핵심 기술 마련이 시급하다고 언급하였다^[9]. 최근 FCC는 효율적 주파수 이용을 위한 incentive auction 제도 도입, TV 대역 무선마이크 이용 효율 개선, 3.55~3.65 GHz 대역(100 MHz 대역폭)을 소형 셀 공유 용도 사용 등을 위한 정책 및 기준안을 지속적으로 마련 중이다. EU(European Union) 의회는 RSPP(Radio Spectrum Policy Program) 주파수 공유 촉진 프로그램 승인(Decision no. 243) 및 TVWS 기기 기술기준을 마련 중이다^{[10][11]}. 또한, 국내에서도 TVWS를 중심으로 주파수 공유 정책 및 기술 기준 마련을 위한

노력이 활발히 진행 중이다^{[12][13]}.

서론에 이어서, 제 II 장에서는 각국의 주파수 공유 정책 동향에 대해 기술한다. 제 III 장에서 각국의 주파수 공유 기술 기준 동향을 TVWS를 중심으로 살펴 본 후, 제 IV 장에서는 미래 주파수 공유 정책 및 기술 기준을 예측하고, 제 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 주파수 공유 정책 동향

2-1 미국

미국의 주파수 공유 정책은 FCC와 PCAST를 중심으로 활발하게 추진되고 있다. CR(Cognitive Radio: 인지 무선) 기술에 바탕을 둔 미국의 스펙트럼 공유 정책은 TVWS부터 검토가 시작되었다. FCC는 2002년 12월 발표한 NOI(Notice of Inquiry)와 2004년 5월 발표한 NPRM에서 TVWS의 비면허 기기 사용을 검토하기 시작하여^{[5][14]}, 2006년 10월에 1차 R&O를 거쳐 2008년 11월에 2차 R&O를 발표하고, 동시에 TVWS 사용 규칙인 MO&O를 채택하였다^[6]. 비로소 2010년 9월에 2차 MO&O를 통해 TVWS 사용 규칙을 최종 확정하고 Super Wi-Fi라는 용어가 이 문서에서 처음 등장하기 시작한다^[7]. 2011년 1월에는 TVBD(TV Band Device)의 데이터베이스 사업자로 9개 기관을 우선 선정하였다. 한편, 2012년 10월에는 TV 대역 주파수 효율적 이용을 위한 대안으로 incentive auction 도입을 위한 NPRM을 발표하였으며^[15], 2012년 12월에 군/위성용으로 사용하고 있는 3.5 GHz 대역의 연방 주파수를 소형 셀 및 스펙트럼 공유 주파수로의 전환을 고려하는 NPRM을 발표하였고^[16], 2013년 2월에는 5 GHz U-NII(Unlicensed National Information Infrastructure) 대역을 추가로 지정하는 NPRM을 연속 발표하면서 주파수 공유 이용 도입·확대를 위한 정책 기초 의지를 계속 표명하고 있다^[17].

2009년 4월에 오바마 미국 대통령의 지시로 설립된 PCAST는 대통령에게 과학 및 기술 정책과 관련

된 자문을 제공하는 대통령 직속 과학기술자문위원회이다. 2010년 6월에 발표한 대통령 교서에서 오바마 대통령은 미상무부, NTIA(National Telecommunications and Information Administration), FCC에 무선 브로드밴드를 위한 500 MHz 주파수를 10년 이내에 확보할 것을 지시한 바 있고, 그 일련의 조치로 2012년 7월에 PCAST는 정부가 소유하고 있는 주파수를 공유 방식으로 이용할 것을 권고하는 보고서를 작성하여 대통령에게 제출하였다^[9]. 이 보고서는 미국 연방이 소유하고 있지만 이용이 저조한 대역에서 1,000 MHz를 새롭게 발굴하여 공유할 것을 권고하면서 미국의 광대역 스펙트럼을 확보한다는 의미에서 스펙트럼 슈퍼 하이웨이(Spectrum Super-highway)라는 용어를 사용하였다. 또한 1,000 MHz 주파수를 확보하기 위해 우선적으로 2,700~3,700 MHz 대역을 고려할 것을 권고하는 동시에 소형 셀 주파수 수요의 증가, 공유 주파수의 이용 효율을 측정하기 위한 새로운 척도의 개발 필요성, 연방 주파수로의 계층적 접속 구조, 이러한 새로운 시도를 검증하기 위한 도시 선정과 서비스 고안 등에 대해 권고하고 있다. PCAST 보고서가 작성되고, 약 1년이 지난 2013년 6월에 오바마 대통령은 두 번째 대통령 교서를 발표하고, 주파수 공유를 위한 구체적인 행동을 요구한다^[18]. 이 교서에서 오바마 대통령은 주파수 공유 기술의 상용화를 앞당기기 위해 관계기관과 협조하여 스펙트럼 정책팀(Spectrum Policy Team)을 구성할 것을 지시하고, 3개월, 6개월, 그리고 12개월이 되는 시기별로 구체적인 보고서(관련기술개발에 활용될 수 있는 연방 장비 목록과 설명을 담은 보고서, 관련 기술개발의 표준화정책/모범사례/건본들의 개발 계획을 담은 보고서, NTIA/FCC와 협력방법을 기술한 보고서, 등)를 제출하도록 지시하고 있다.

2-2 유럽

영국의 주파수 정책을 주관하는 Ofcom(Office of

communications)은 2007년 12월에 발표한 문서에서 디지털 방송 전환 이후 발생하는 유헴 주파수(Digital Dividend)를 인지 무선 기반 비면허 용도로 사용할 것을 처음 제안하였다. 2009년 2월에 발표한 문서에서는 유헴 주파수를 결정하는 방법으로 데이터베이스(Database), 스펙트럼 센싱(Spectrum Sensing), 그리고 비콘(Beacon)을 모두 검토하였으나, 5개월간 여러 의견을 검토한 후 2009년 7월에 발표한 문서에서 비콘은 제외하고 데이터베이스를 당분간 필수 방법으로 검토하되, 스펙트럼 센싱은 데이터베이스의 단점을 보완하는 선택적인 방법으로 검토하기로 결정하였다^[19]. 2009년 11월에 발표한 문서에서 데이터베이스 구현에 필요한 중요 사항들을 검토하기 시작하였고^[20], 2010년 11월에 데이터베이스 구조와 동작을 정리한 문서를 발표하였다^[21]. 2012년 11월에는 기술 중립적인 입장에서 TVWS 장치와 데이터베이스의 동작 및 요구사항을 정리하여 발표하였다^[22].

유럽의 경우, CEPT(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations: 유럽우편전기통신주관청회의) 산하 ECC(Electronic Communications Committee: 전자통신위원회)에서 2011년 1월에 인지 무선 시스템(CRS: Cognitive Radio Systems)의 기술 및 동작 요구사항을 발표하였다^[23]. 유헴 채널을 결정하는 방법으로 데이터베이스를 기본적으로 채택하고, 센싱은 신뢰성 부족으로 보조적으로 사용하거나 부적합하다는 의견을 담고 있다. 따라서 주로 데이터베이스를 이용한 TVWS 장치의 동작을 위한 요구사항을 정리하고 있다. 한편, EC(European Commission: 유럽연합 집행위원회)의 스펙트럼 정책을 주관하고 있는 RSPG(Radio Spectrum Policy Group: 무선 스펙트럼 정책그룹)에서 2009년 9월에 디지털 방송 전환 이후 발생하는 유헴 주파수의 활용에 대해 검토하는 문서에서 인지 무선 기술의 도입 가능성에 대해 검토하였고, 2011년 2월에 발표한 문서에서 인지 무선 기술 도입에서 고려해야 하는 기능들과 각계 의

견들을 바탕으로 주파수 공유 정책의 방향을 제안하고 있다^[24].

2-3 한국

국내의 경우, KCC(Korea Communications Commission: 방송통신위원회) 주관으로 2011년 12월에 TVWS 활용 기본 계획을 마련하였다. TVWS 활용 기본 계획은 2012년에 TVWS 기술기준을 제정하고, 2013년과 2014년에 데이터베이스 기반 시범서비스와 상용서비스를 각각 실시하고, 2015년에 센싱 기반 실험서비스를 실시한다는 목표이다. 그 일환으로 2012년 7월부터 각계 전문가로 구성된 기술기준검증위원회를 운영하기 시작했고, 2012년 7~9월에는 TVWS 기술기준안 실내의 검증을 실시하였다. 또한 2012년 9월에는 주파수 분배표와 무선설비 규칙에 대한 관련 고시 전자공청회를 실시하였다. 한편, 미래창조과학부 주관으로 TVWS 시범서비스를 2013년 12월부터 실시할 계획이다.

III. 주파수 공유 기술 기준 동향

급증하는 모바일 트래픽 수요를 수용하기 위한 주파수 공유 정책 및 기술 기준은 현재 TVWS를 활용하여 마련되고 있으며, 다른 공유 주파수 대역으로 점차 확대되고 있는 추세이다. TV 방송의 디지털 전환 시기가 도래함에 따라 TV 대역 내 현재 지역적으로 사용하지 않고 비어 있는 주파수 대역인 TVWS의 효율적인 공유와 활용을 위한 정책 및 기술기준 등이 미국, 영국, EU 등을 중심으로 전 세계적으로 활발히 전개되고 있다. 본 장에서는 각국의 주파수 공유기술 기준 동향을 TVWS를 중심으로 살펴보고자 한다.

3-1 미국

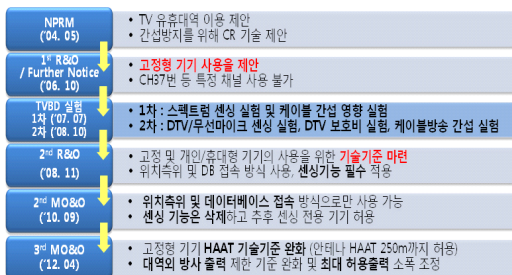
주파수 공유 대역에서 공유대역 무선 설비를 효

울적으로 운용하기 위해서는, 공유 주파수 대역에서 허가를 받고 사용 중인 1차 사용자가 있는 경우에는 우선적으로 1차 사용자 서비스를 보호해야 하며, 2차 사용자 간의 효율적인 주파수 사용을 위한 기술적 요구사항 등도 함께 마련되어야 한다. 따라서 TV 대역 무선설비(TVBD)가 TV 대역 내 기존서비스인 DTV, 허가 받은 무선 마이크 등을 충분히 보호하고, 동시에 TVWS를 효율적으로 사용하기 위해서 TVBD의 종류, 동작 채널, 출력 전력, 대역 외 방사 등과 같은 세부 기술적 요구사항과 기존 서비스(DTV, 무선마이크, CATV 등)를 충분히 보호하기 위한 보호요구사항 마련이 필요하다. 미국 FCC에서 2004년도 비면허 방식으로 TVWS 이용 제안을 한 후, 2006년에 1st R&O를 통해 고정형 TVBD 사용을 제한하였고, 2008년 2nd R&O를 통해 고정형 및 휴대형 기기의 사용을 위한 기술기준을 마련하였다. 이후에도 관련 기관과의 협의 및 연구, 분석을 통해 기술 기준 수정 및 보완 작업을 계속 진행 중이며, 최근 2012년 4월에 3rd MO&O를 통해 TVBD 출력 및 안테나 설치 조건에 대한 수정안을 마련하였다 [5]-[8]. [그림 1]은 미국의 TVWS 이용 기술기준 추진 현황을 보여 준다.

2007년과 2008년 Adaptrum, Motorola사 등에서 제출한 TVBD 프로토 타입을 활용하여 두 차례에 걸쳐 진행된 실내외 테스트를 통해 DTV 보호비, TOV (Threshold of Visibility) 등을 측정하였으며, 스펙트럼 센싱 필드테스트 결과, 센싱만으로는 가용 채널

확보가 힘들다는 것을 확인하였다. 2008년 2nd R&O에서는 가용 채널 획득 방법으로 위치 측위 및 DB 접속 방식뿐만 아니라, 스펙트럼 센싱 방식을 필수적으로 요구하였으나, 2010년 2nd MO&O에서 위치 기반 DB 접속 방식만 사용하고, 스펙트럼 센싱 전용기기는 추후에 사용 가능하도록 결정하였다[7]. FCC에서는 비면허 무선마이크 사용을 위해 무선마이크 전용 2개 채널을 할당하여 운용 지역을 TVWS 데이터베이스에 등록함으로써 간섭으로부터 보호받을 수 있도록 하였다. 또한, 2011년 1월에는 ComSearch, Google, Spectrum Bridge 등 9개 업체를 TVWS 데이터베이스 운영 사업자로 선정하고, 이후 1개 업체를 추가로 선정하였다.

최근 2012년 4월에는 TVWS 고정형 기기의 HAAT (Height Above Average Terrain) 기준, TVBD 출력기준 및 보호 이격거리 등을 관계 기관들과의 의견 수렴 및 검증 절차를 거쳐 개정하였다. 여기서 HAAT는 평균 지상고로부터 높이를 의미하며, 평균 지상고는 기기의 안테나를 중심으로 3~16 km 반경 내의 평균 고도를 의미한다. 최근 발표된 3rd MO&O 주요 개정 내용을 살펴보면 다음과 같다. 기존의 76 m HAAT 제한으로는 고정형 TVBD를 실제 환경에서 사용하기 어렵기 때문에 제조사 등의 의견을 반영하여 안테나까지 포함한 높이 제한을 250 m까지 완화하였다. 송신신호 전력밀도의 경우 roll-off(양쪽 각각 250 kHz 대역폭)를 감안하여 실제 TVBD 신호대역을 5.5 MHz로 가정하고, 이 때 최대 전력을 사용할 경우 100 kHz당 송신신호 전력 세기를 기존 대비 0.4 dB 증가하여 송출할 수 있도록 기준을 변경하였다. 또한, 대역 외 방사 전력 기준을 상대적인 값(-72.8 dB, 동작 채널은 6 MHz RBW(Resolution Band Width), 인접 채널은 100 kHz RBW로 측정)에서 절대적인 값으로 고정하여 작은 송신 전력을 이용하는 TVBD의 경우 제작이 용이하도록 하였다. FCC에서는 안테나 HAAT의 기준에 따른 보호 이격거리 기준을 기존 2nd



[그림 1] 미국 TVWS 이용 기술 기준 추진 현황

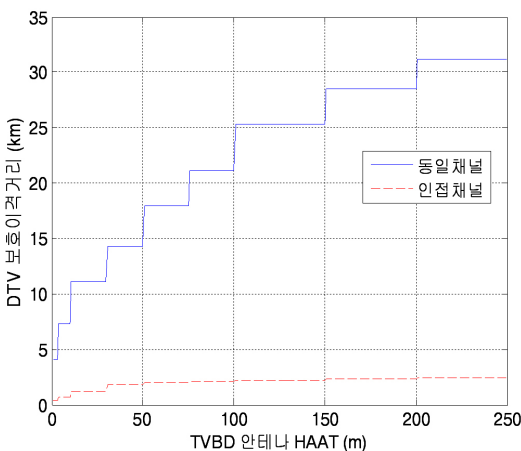
MO&O 기술 기준보다 세분화하여 [그림 2]와 같이 보호 이격거리 기준을 수정, 보완하였다.

TVWS에서 운용될 기기의 설치 형태에 따라 고정형 TVBD와 개인/휴대형 TVBD로 구분한다. 고정형 TVBD란 특정 고정 장소에 안테나를 설치하여 전파를 송수신하는 기기를 말하며, 자기 위치를 측위하여 데이터베이스에 등록 후 가용 채널을 획득하여 운용된다. 고정형 TVBD의 경우, TV채널 2번, 5~13번, 14~36번, 38~51번 중 사용하지 않고 비어 있는 채널을 활용해서 동작한다. 반면, 개인/휴대형 TVBD는 안테나가 기기에 고정되어 있으며, 휴대가 가능한 기기를 말한다. 위치 측위 기능과 데이터베이스 접속 기능이 있는 모드 II 기기와 데이터베이스 접속 없이 고정형 TVBD 또는 개인/휴대형 모드 II TVBD에 접속한 후 동작 가능한 모드 I 기기가 있다. 개인/휴대형 TVBD는 채널 21~51번 내에서 사용 가능하다.

TVBD의 기술적 요구사항을 살펴보면, 안테나에 전달되는 고정형 TVBD 최대 출력 전력은 6 MHz 대역폭당 1 watt(30 dBm)이며, 안테나 이득은 6 dBi 이하로 최대 방사 출력은 4 watts EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power)로 제한되고, 개인/휴대형 TVBD

의 최대 허용 출력은 100 mW(20 dBm) EIRP로 제한된다. 스펙트럼 센싱으로만 가용 채널을 획득해서 사용하는 TVBD의 경우 최대 허용 출력은 50 mW(17 dBm) EIRP이다. TVBD로부터 안테나에 전달되는 송신 신호는 100 kHz RBW로 측정했을 때 <표 1>에서 제시한 값 이하로 송신전력 밀도를 유지해야 한다.

TV 대역에서 가용 채널 확보 방안으로 주로 데이터베이스 이용 방식과 스펙트럼 센싱 방식이 고려되고 있으며, 스펙트럼 센싱 기술 구현의 어려움으로 인해 데이터베이스 이용 방식을 우선 적용하여 가용 채널을 획득하는 TVBD 네트워크가 우선적으로 시장에 나올 것으로 예상된다. 데이터베이스 이용 방식은 간섭 회피 관점에서 신뢰성이 높기 때문에 기존 보호 서비스의 간섭 보호 측면에서 장점이 있으나, TVBD가 항상 데이터베이스에 접속 가능해야 하며, 별도의 데이터베이스 구축 및 운영이 필요하다는 단점이 있다. 반면에, 스펙트럼 센싱 방식은 위치 측위 및 데이터베이스 접속이 필요 없으며, 주변 환경에 따라 가용 채널을 능동적으로 확보할 수 있는 장점이 있으나, 센싱 기술 구현의 어려움과 기기의 제조비용이 상승하는 단점이 있다. FCC에서는 TVWS 데이터베이스 이용 방법에 관한 기준을 다음과 같이 정하고 있다. 고정형 TVBD의 경우, TVWS 데이터베이스에 기기 정보를 등록하여 운용하며, 최소 하루 한번 이상 데이터베이스에 접속해야 한다. 실제 TVBD 위치와의 오차 범위는 +/- 50 m 이내로 보장되어야



[그림 2] TVBD 안테나 HAAT에 따른 보호 이격거리 기준(FCC 3rd MO&O)

<표 1> TVBD별 송신 전력밀도 제한 기준(FCC)

TVBD 종류	최대송신전력 (BW : 6 MHz)	전력밀도제한 (RBW : 100 kHz)
고정형	30 dBm	12.6 dBm
개인/휴대형	20 dBm	2.6 dBm
개인/휴대형 (인접채널사용)	16 dBm	-1.4 dBm
센싱 전용	17 dBm	-0.4 dBm

한다. 개인/휴대형 TVBD(모드 II)가 동작을 시작할 때마다 자신의 위치를 재설정해야 하며, 최소 60초마다 위치를 체크해야 한다. 또한, 100 m 이상 위치 변경 시 DB에 재접속하여 가용 채널 목록을 재 확보해야 하며, 실제 TVBD 위치와의 오차 범위는 +/- 50 m 이내로 보장되어야 한다.

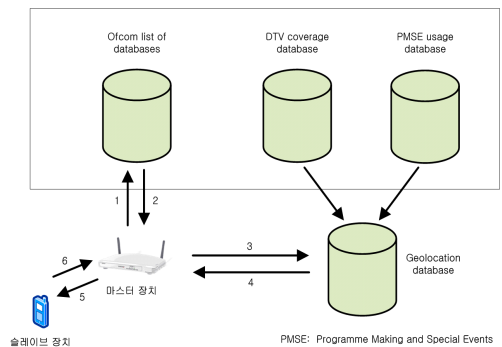
3-2 유럽

EU에서는 2000년 초반부터 WSI(Wireless Strategic Initiative), WWRF(Wireless World Research Forum) 등 학교, 연구소 및 기업체로 구성된 기술 협의체에서 주파수 공유 기술을 논의하기 시작하였으며, 특히 방송 주파수 및 국방 주파수 등을 대상으로 spectrum sharing, spectrum co-farming 방안을 검토하였다. EU에서는 주로 FP6(Framework Programme 6)/FP7을 통해 CR 기술 및 TVWS 활용을 위한 프로젝트를 산·학·연 합동으로 추진하고 있다. EU CEPT 산하 ECC에서는 2011년 1월 ECC Report 159를 발표하여 TVWS 이용에 대한 기술 기준을 정의하고, ECC SE43 표준화 기구에서 추가적인 기술 기준 보완 작업을 진행하였다^[23]. 또한, EU FP7 프로젝트 COGEU에서는 2011년 Geo-location 기반 데이터베이스를 이용한 TVWS 대역에서의 1차 사용자 보호 특성을 연구 분석 중이다.

영국 Ofcom은 2007년에 TVWS의 비면허 사용을 제안한 이후, 이에 대한 연구를 진행하여 2012년 7월 TV 대역에서 동작하는 WSD(White Space Device)에 대한 기술 기준을 발표하였다. 2007년 12월 디지털 방송 전환 후 활용 방안으로서, 인지 무선 기술을 사용하여 방송사업자와 같은 면허권자에게 유해한 간섭을 주지 않는 조건으로 비면허 기기 허용을 검토하고, 2009년 7월 스펙트럼 센싱 기준 제정을 위해 영국의 도심 밀집 지역, 도심, 부도심, 시골 지역별 은닉노드 감쇄를 측정하였다^[19]. 2009년 7월 가용 채널 획득 방법으로 스펙트럼 데이터베이스 접속 방식, 센싱 방식, 비콘 신호 방식을 검토하고, 관련 기술

기준을 제안한 후 세 가지 방식에 대한 검토 결과, 데이터베이스 접속 방식과 스펙트럼 센싱 방식을 사용하여 관련 기술 기준 제정을 추진하였다. 이후 현재 기술 수준을 감안하여 데이터베이스 접속 방식을 적용 가능한 방식으로 판단하고, 데이터베이스 접속 방식과 운영에 관한 의견을 수렴하였다^[20]. 2010년 11월 데이터베이스 접속 방식을 이용한 기술 기준을 제안하고, 이에 대한 자문을 접수하여 정리한 후, 2011년 9월에 발표하고, 이를 다시 보완하여 2012년 7월에 TV 대역에서 동작하는 WSD에 대한 기술 기준을 발표하였다^[25].

[그림 3]은 영국 Ofcom에서 제시한 TVWS 데이터베이스 접속을 통한 가용 채널 획득 방법을 나타낸다. 먼저, 마스터 WSD가 Ofcom 데이터베이스에 접속하여 위치 정보를 제공할 TVWS 데이터베이스 리스트 정보를 가져온다. 이어서, TVWS 데이터베이스에 WSD의 해당 위치 정보 및 장치 정보를 전송하면 TVWS 데이터베이스에서는 해당 WSD가 사용 가능한 가용 채널 및 송신 전력 세기 정보를 전송하고, 마스터 WSD는 슬레이브 WSD에 가용 채널 및 송신 전력 정보를 제공한 후 WSD가 TVWS에 동작하게 된다. 현재 영국에서도 미국과 마찬가지로 Ofcom의 정책 추진과 더불어 민간 기업 주도의 TVWS 활용 시범서비스를 활발하게 추진 중이다.



[그림 3] 영국의 TVWS 데이터베이스 접속 방법

3-3 한국

국내에서도 TVWS 도입은 우선적으로 DB 접속 기반으로 이루어질 전망이다, TV 대역에서 이용될 무선기기의 이용 기술 기준안은 전문가 회의, 실내외 검증 등을 통해 <표 2> 및 <표 3>과 같이 마련되었다.

TV 대역 이용 무선 설비는 470~698 MHz 주파수 대역에서 운용되며, 데이터베이스 접속을 통해 결정된 채널에서만 동작해야 한다. 단, 데이터베이스에 접속이 불가능한 무선 설비의 경우 데이터베이스 접속 무선 설비로부터 채널 정보를 받아서 동작이 가능하다. 국내 TVWS 기술기준안에서 제시한 기술적 요구사항은 <표 2> 및 <표 3>과 같다.

3-4 기타 국가

일본 총무성은 2012년 1월 TVWS 이용 시스템 공

<표 2> 국내 고정용/이동용 무선설비의 공중선 전력 및 공중선 복사전력 기준안

무선설비 종류	고정용	이동용
6 MHz 대역폭 당 최대 출력 전력	1 W 이하 (인접채널 점유시 사용불가)	100 mW 이하 (인접채널 점유시 40 mW 이하)
공중선 절대 이득	6 dBi	0 dBi
6 MHz 대역폭 당 최대 송신 실효 복사 전력	4 W EIRP (인접채널 점유시 사용불가)	100 mW EIRP (인접채널 점유시 40mW EIRP 이하)

<표 3> 국내 고정용/이동용 무선설비의 100 kHz 분해 대역폭 당 대역 내·외 발사 조건

무선설비 종류	고정용	이동용	
		-	인접채널 점유시
송신전력	12.2 dBm	2.2 dBm	-1.8 dBm
인접 채널 방사 전력	-42.8 dBm	-52.8 dBm	-56.8 dBm

유 방침을 공표하였고, White Space 특구를 지정하여 area-oneseg 중심의 방송형 시범서비스를 운영 중이며, 주파수 공유를 위한 CR 기반 차세대 통신 기술은 NICT를 중심으로 연구·개발 중이다.

싱가폴 SWSPG(Singapore White Spaces Pilot Group)는 2012년 9월에 세 개의 상업적인 모델을 가지고 TVWS 활용을 위한 프로젝트를 진행하였다. 첫 번째 모델은, Microsoft, Neul, SICC 등이 참여하여 나무와 언덕 등으로 Wi-Fi 서비스가 어려운 골짜지에서 TVWS를 이용하여 Wi-Fi 서비스를 실시하였다(Through the Trees). 두 번째 모델은 StarHub, I2R, Microsoft, Neul, Adaptrum 등이 참여하여 싱가포르 해안 선박들에게 Wi-Fi 서비스를 제공하였다(Over the Water). 세 번째 모델은 A*STAR's, Power Automation 등이 참여하여 스마트시티 또는 스마트 그리드에 TVWS를 활용하였다(Into Homes).

브라질에서는 TVWS를 이용한 저렴한 비용의 무선 인터넷 접속 서비스 개발을 검토 중이며, 남아프리카공화국은 수도 케이프타운에 있는 스텔른보쉬 대학에 3개의 BS(Base Station)를 설치하여 반경 10 km 이내의 10개 학교(6,400명 이상의 학생)에 인터넷 서비스(2.5 Mbps)를 제공하고 있다. 한편, 케냐에서는 TVWS를 이용하여 케냐 전역을 커버하는 저비용, 무선통신망을 구축하여 전력이 없는 곳에서도 태양열을 이용하여 고속 인터넷을 사용할 수 있도록 하는 마왕구(Mawingu) 프로젝트를 진행 중이다. 또한, 마이크로소프트사는 탄자니아에서 TVWS 활용을 위한 준비를 하고 있으며, 나이지리아에서도 웨이브텍이라는 회사에서 TVWS 활용을 준비하고 있다.

IV. 미래 주파수 공유 정책 및 기술 기준 예측

4-1 미래 주파수 공유 정책 예측

폭발하는 미래 무선 트래픽의 지속적 수용을 위해서는 광대역 폭 확보가 우선적으로 전제되어야 한

다. 광대역 확보 방안으로는 현재 활용도가 높지 않아 광대역 확보가 용이한 밀리미터파 대역 등을 이용하는 방안을 생각할 수 있다. 한편, 무선·이동 통신 서비스가 집중되고 있는 6 GHz 이하 대역에서는 기존의 방식으로는 광대역 확보가 불가능하며, 회수/재배치에 의한 대역 확보는 지속적으로 추진하기 어렵다. 6 GHz 이하 대역에서 광대역 확보를 위해서는 기존의 배타적 주파수 이용 방식을 탈피하여 공유 중심의 주파수 이용으로의 전환이 필연적이다.

주파수 공유 이용을 위해서는 CR 기술 등의 신규 기술 개발과 더불어 주파수 공유 이용을 위한 기준·규정이 마련되어야 한다. 이는 기존의 배타적 주파수 이용에서 공유 중심의 새로운 패러다임의 주파수 이용 방안이므로, 주파수 이용 규정과 기술 개발이 입체적으로 진행되어야 한다.

최근 진행되고 있는 CR 기술 연구는 면허사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수(White Space)를 시/공간적으로 이용하는 방법을 중심으로 진행되고 있다. 기존 면허사용자의 서비스 보호를 위해 엄격한 간섭 기준을 만족하는 주파수를 사용해야 하고, 그 주파수를 결정하는 방법은 전 세계적으로 데이터베이스 접속 기반 방식을 우선적으로 고려하고 있다. 데이터베이스 접속 기반 방식은 신뢰성이 높고 무선기기의 구현 복잡도·가격 상승 요인이 작아 주파수 공유의 일차적인 단계로 적합한 방식이긴 하나, 주파수 공유 활용의 효율을 극대화하기 위해서는 보다 진보된 기술의 도입을 적극 고려하여야 한다. 궁극적으로 주파수 이용 효율을 극대화하기 위해서는 면허사용자와 CR 사용자 사이에서 간섭이 상호 용인되는(interference-tolerant) 조건에서 공존하는 방향으로 주파수 공유 기술이 발전할 것이고, 기존의 White Space 개념을 보다 확대하여 Gray Space에서 동작하는 CR 기술의 도입이 필요할 것이다^[26]. 기존에 UWB(Ultra Wide Band)나 Bluetooth를 비슷한 개념으로 볼 수 있으나, 진정한 Gray Space CR 기술은 면허사용

자와 CR 사용자 사이에 정교한 협력(Cooperation) 또는 공존(Coexistence)을 가능하게 하는 프로토콜 및 장치가 요구된다. 또한 Gray Space CR 기술이 동작하기 위해서는 White Space CR 기술과는 다른 차원의 주파수 공유 정책이 마련되어야 할 것이다.

White Space를 결정하는 방법도 데이터베이스 접속 방식뿐만 아니라, 스펙트럼 센싱이나 비콘 방식도 지원될 수 있도록 기술 및 정책적 지원이 계속되어야 할 것이다. 특히, 폭발적인 수요가 예상되고 있는 근접성 기반의 D2D(Proximity-based Device-to-Device) 통신에 CR이 적용되기 위해서는 성능이 우수하면서도 구현이 용이한 스펙트럼 센싱 기술이 적합할 것으로 예상되기 때문이다.

CR 사용자의 스펙트럼 접속 권한도 현재의 단편적인 비면허 방식에서 탈피하여 이용자의 요구와 주파수 용도를 고려한 새로운 접근이 필요하고, 이를 지원할 수 있는 정책이 마련되어야 할 것이다. PCAST에서 정의한 이차 접속(Secondary Access)을 이러한 예로 볼 수 있다^[9]. 면허사용자(여기서는 연방 우선 접속, Federal Primary Access)와 CR 사용자(여기서는 일반 허가 접속, General Authorized Access) 사이에서 요금이나 스펙트럼 이용 목적에 따라 QoS를 CR 사용자보다 보장해 주는 접속 권한이다. Qualcomm과 Nokia에서 제안한 ASA(Authorized Shared Access)도 주파수 용도에 맞게 변형한 CR 방식이라 할 수 있다^[27]. 지역적 또는 시간적으로 많은 모바일 트래픽이 예상되는 소형 셀에 ASA 면허를 허가하여 기존 면허주파수와 같이 이용하여 효과적인 트래픽 오프로딩을 수행할 수 있다.

주파수는 유한한 자원인 반면, 트래픽은 더욱 가파르게 증가할 것이므로 이에 대처하기 위해서는 결국 주파수를 효과적으로 공유하는 방향으로 진화할 것이다. CR 주파수는 상황에 따라 언제든지 비면허 또는 면허 용도로 사용될 수 있고, 동등한 지위를 갖는 CR 사용자 사이에서 White Space CR 방식뿐만

아니라, 나아가서 Gray Space CR 방식까지 지원될 수 있도록 주파수 정책도 진화해야 할 것이다.

4.2 미래 주파수 공유 기술 기준 예측

제 III장에서 살펴본 바와 같이, FCC에서는 TV 대역에서 이미 운용 중인 1차 사용자 서비스를 충분히 보호하고, TVWS 내에서 TVBD 네트워크를 효율적으로 활용하기 위해 TVBD와 DTV간의 보호 이격 거리, TVBD 기기 형태별 가용 채널, 허용 출력, 데이터베이스 접속을 통한 가용 채널 획득 방법 등 다양한 기술 기준을 마련하고 있다. 또한, 기술 기준을 한번에 완료하기 보다는 1차 사용자인 방송사, 통신사업자, 데이터베이스 운영자, 무선기기 제조업체 등 관련 분야의 다양한 의견을 반영하여 계속 수정 보완함으로써 주파수 공유 대역의 운용을 보다 나은 방향으로 개선하려고 노력하고 있다. CR 기술은 DTV 전환 시기를 맞이하여 TV 대역에서 중점적인 검토가 먼저 진행되었으나, 모든 주파수 대역에 적용될 수 있는 기술이다. 무선 트래픽 폭증에 의한 주파수 고갈 문제 해소를 위해 6 GHz 이하 많은 대역에서 CR 기술에 의한 주파수 공유 이용이 추진될 것으로 예상된다.

주파수 공유 이용 효율의 극대화를 위해서는, 지역 형태 및 전파 환경을 고려하여 보다 세분화된 환경 맞춤형 1차 사용자 보호 요구 사항 및 기술 기준 마련이 필요하다. 주파수 공유 대역 기기의 형태별 분류에서는 고정형, 개인 휴대형뿐만 아니라, 고속 이동형 기기에 관한 기술 기준도 마련해야 할 것으로 예상된다. 또한, 폭발적으로 증가하는 데이터 수요를 만족시키기 위해서는 소형 셀 구성이 필요하며, 이를 위해서는 출력 레벨이 낮은 공유 대역 기기 운용에 대한 기술 기준이 요구된다. 현재 가용 채널 획득 방법은 주로 데이터베이스에 의존하고 있지만 향후 스펙트럼 센싱 기술이 개선되어 가용 채널 획득에 대한 신뢰성이 높아질 경우 데이터베이스에

속하지 않고도 가용 채널을 능동적으로 확보할 수 있게 된다. 또한, 향후 출현할 공유 대역 기기의 세부 기술적 요구사항은 TVWS 기술 기준 마련 시 경험했던 많은 부분들을 직간접적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 논문에서는 폭증하는 모바일 트래픽 요구 조건을 만족시키기 위해 전 세계적으로 일어나고 있는 주파수 공유 정책 및 기술 기준에 관해 전반적으로 소개하였다. 또한, 가까운 미래에 새롭게 출현할 주파수 공유 대역의 정책 흐름과 기술 기준 제정 방향에 대해 기술하였다. 현재 전 세계적으로 TV 대역에서 사용하지 않고 비어 있는 주파수 대역인 TVWS를 활용하여 무선 인터넷 서비스, 소형 셀 네트워크, 무선 백홀 등 다양한 통신/네트워크 서비스를 제공하기 위해 주파수 공유 정책, 기술 기준, 핵심 기술 개발, 시범서비스 등이 다각도로 진행되고 있음을 살펴보았다. TVWS 공유를 위해 추진된 기술 개발 및 스펙트럼 이용 기준안 등을 바탕으로 하여 향후 확대될 미래 주파수 공유 이용 기준안 및 기술 개발의 방향성을 예상할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 박승창, "제 4세대 이동통신 기반의 M2M 기술개발 동향", 정보통신산업진흥원 주간기술동향, 제 1550호, pp. 14-25, 2012년 6월.
- [2] Cisco, "Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2011-2016", *Cisco White Paper*, pp. 1-29, Feb. 2012.
- [3] ITU-R, "Estimated spectrum bandwidth requirements for the future development of IMT-2000 and IMT-advanced", *Rep. ITU-R M.2078*, 2006.

- [4] M. Song, C. Xin, Y. Zhao, and X. Cheng, "Dynamic spectrum access: From cognitive radio to network radio", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 2, pp. 23-29, Feb. 2012.
- [5] FCC, "Notice of proposed rulemaking", *ET Docket No. 04-113*, May. 2004.
- [6] FCC, "Second report and order and memorandum opinion and order, in the matter of unlicensed operation in the TV broadcast bands, additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz band", *ET Docket No. 08-260*, Nov. 2008.
- [7] FCC, "Second memorandum opinion and order, in the matter of unlicensed operation in the TV broadcast bands, additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz Band", *ET Docket No. 10-174*, Sep. 2010.
- [8] FCC, "Thrid memorandum opinion and order, in the matter of unlicensed operation in the TV broadcast bands, additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz Band", *ET Docket No. 12-036*, Apr. 2012.
- [9] PCAST, "Traditional practice of clearing government-held spectrum of Federal users and auctioning it for commercial use is not sustainable", *PCAST Final Report*, Jul. 2012.
- [10] ECC, "Complementary report to ECC report 159 further definition of technical and operational requirements for the operation of white space devices in the band 470-790 MHz", *ECC Report 185*, Jan. 2013.
- [11] ECC, "Technical and operational requirements for the operation of white space devices under geolocation approach", *ECC Report 186*, Jan. 2013.
- [12] KCC, "방송통신위원회 공고 제 2012-113호", 2012년 9월.
- [13] K. M. Kang, J. C. Park, S. I. Cho, B. J. Jeong, Y. J. Kim, H. J. Lim, and G. H. Im, "Deployment and coverage of cognitive radio networks in TV white space", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 12, pp. 88-94, Dec. 2012.
- [14] FCC, "Notice of inquiry, in the matter of additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz band", *ET Docket No. 02-328*, Dec. 2002.
- [15] FCC, "Notice of proposed rulemaking", *ET Docket No. 12-118*, Oct. 2012.
- [16] FCC, "Notice of proposed rulemaking and order", *ET Docket No. 12-148*, Dec. 2012.
- [17] FCC, "Notice of proposed rulemaking", *ET Docket No. 13-22*, Feb. 2013.
- [18] The White House, "Presidential memorandum-expanding America's leadership in wireless innovation", *The White House Office of the Press Secretary*, Jun. 2013.
- [19] Ofcom, "Digital dividend: cognitive access, statement on license-exempting cognitive devices using interleaved spectrum", *Statement*, Jul. 2009.
- [20] Ofcom, "Digital dividend: geolocation for cognitive access", *Consultation*, Nov. 2009.
- [21] Ofcom, "Implementing geolocation", *Consultation*, Nov. 2010.
- [22] Ofcom, "TV white space: A consultation on white space device requirements", *Consultation*, Nov. 2012.
- [23] ECC, "Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the 'white spaces' of the frequency band 470-790 MHz", *ECC Report 159*, Jan. 2011.
- [24] EC, "RSPG opinion on cognitive technologies", *RSPG 10-348*, Feb. 2011.
- [25] Ofcom, "Regulatory requirements for white space

devices in the UHF TV band", *Regulatory Requirements*, Jul. 2012.

[26] J. M. Peha, "Spectrum sharing in the gray space", *Telecommunication Policy*, Elsevier, vol. 37, pp.

167-177, 2013.

[27] U. Rehfuss, O. Schulz, and S. Crisp, "Optimised spectrum use by authorized shared access", *Nokia Siemens Networks*, Apr. 2012.

≡ 필자소개 ≡

강 규 민



1997년 2월: 포항공과대학교 전자전기 공학과 (공학사)

1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기 공학과 (공학석사)

2003년 2월: 포항공과대학교 전자전기 공학과 (공학박사)

2003년~현재: 한국전자통신연구원 인지무선기술연구실 선임연구원

[주 관심분야] Cognitive Radio, 스펙트럼공학, 네트워크 최적화, 통신시스템 설계 및 이론, 신호처리

정 병 장



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1996년~2003년: 삼성종합기술원 전문연구원

2003년~현재: 한국전자통신연구원 인지무선기술연구실 실장
[주 관심분야] 통신 신호 처리, Cognitive Radio 및 이동 통신 전송

황 성 현



1996년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)

1998년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)

2001년 2월: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 (공학박사)

2001년 1월~2005년 9월: 삼성전자 SOC 연구소 책임연구원

2005년 10월~현재: 한국전자통신연구원 인지무선기술연구실 선임연구원

[주 관심분야] Cognitive Radio, 디지털 통신 시스템 설계
167-177, 2013.