

미국의 전파 정책 및 전략 계획

Spectrum Policy and Strategic Plan in the United States of America

김 창 주

Chang-Joo Kim

요 약

본고에서는 미국의 전파 정책 및 이용 전략을 분석하고, 이를 토대로 시사점을 제시한다. 먼저 전파기술의 발전과 함께 시장기반의 전파 정책과 주파수 공동사용 정책의 탄생 등 전파 정책의 패러다임 변화를 살펴본다. 또한, 전파자원에 대한 수요가 급증하는 정보화 사회에서 미국의 전파 이용 전략을 분석하고, 이의 시사점을 도출한다. 특히, 주파수 이용 효율을 향상시키기 위하여 dynamic spectrum access 기술의 적극 개발 및 테스트베드 구축을 통하여 이의 실현 가능성을 실험하는 중장기 이용전략을 중점적으로 검토한다. 끝으로 모바일 중심의 wireless broadband 사회를 맞이하여 National Broadband Plan에 따른 주파수 재배치에 대한 검토와 시사점을 다룬다.

Abstract

In this paper, We shed light on radio spectrum policy and strategic planning of the United States of America and draw some conclusions. First of all, as the radio technology evolves with time, paradigm shift from command & control to market-based approach and spectrum commons is reviewed. Strategic spectrum planning of USA is also analyzed and some suggestions are drawn. In particular, USA plan for developing dynamic spectrum access(DSA) technologies and implementation of the test-bed for the DSA spectrum sharing is discussed, which improves the spectral utilization. Finally We deal with spectrum re-farming issue for mobile broadband and implicative points based on the National Broadband Plan.

Key words : Radio Resource, Spectrum Policy, Strategic Plan, USA

I. 서 론

전파자원은 국가의 소중한 무형자산으로서 무선 통신의 발전과 함께 자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나, 21세기의 정보화 사회에서는 전파자원도 그에 못지않게 소중한 자산으로 인식되고 있다^{[1]~[4]}. 특히, 전파자원은 국가의 경제발전은 물론 안보나 공공 안전, 재난 구조, 그리고 새로운 과학기술의 탐구 등 그 응용 분야가 매우 다양하다.

미국은 세계에서 무선 통신이 가장 발달한 나라로서 1900년대 초기부터 선박 통신이나 방송 등에 전파를 이용하면서 관련 규칙 등을 제정하여 전파관리를 선도하고 있다. 우선 미국의 전파관리 및 정책을 시대 별로 정리하면 다음과 같다.

1912년에는 전파간섭을 해소하기 위하여 무선규칙(radio act)을 제정하여 상무성(Department of Commerce)에 무선국을 등록하도록 하였으나 주파수, 출력, 동작 시간 등을 관리하지 않아서 전파를 성공적으로 관리하지는 못하였다. 1922년에 상무성은 연

한국전자통신연구원(Electronics Telecommunications Research Institute)

· Manuscript received August 1, 2012 ; Revised August 1, 2012 ; Accepted August 1, 2012. (ID No. 20120801-1S)

· Corresponding Author : Chang-Joo Kim (e-mail : cjkim@etri.re.kr)

방정부의 스펙트럼 이용을 조정하기 위하여 IRAC (Inter-department Radio Advisory Committee)를 구성하여 스펙트럼 이용을 연방정부 간에 서로 조정함으로써 어느 정도 효율적인 전파관리가 이루어지기 시작하였다.

1927년에는 새로 개정된 Radio Act를 토대로 FRC (Federal Radio Commission)을 설립하였으나 1934년에 FRC를 FCC(Federal Communications Commission)로 개편하면서 무선서비스를 분류하고, 주파수를 할당하는 등 본격적인 Command & Control 방식의 전파관리가 시작되었다. 이 법의 305조항에 따르면 대통령은 연방정부와 Washington 내에 있는 외국대사관이 사용하는 주파수를 관리하는 권한을 계속 보유하게 규정되어 있는데, 대통령은 이 권리를 상무성 산하의 NTIA 의장(Assistant Secretary for Communications and Information)에게 권한을 위임하고 있다.

그림 1은 Communication Act의 결과로서 미국의 전파를 상무성 산하의 NTIA와 의회 산하의 FCC가 나누어서 관리하는 체계를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 NTIA는 연방정부가 사용하는 주파수를 관리하고, FCC는 지방정부 및 상업용 주파수를 관리한다^{[3],[4]}.

IRAC는 NTIA를 비롯하여 상무성, 국방부(육군, 해군, 공군), 법무부, 내무부, 교통부(FAA, coast Guard), NASA 등 20개의 정부기관 대표가 참여하는 자문위원회로 매월 2 회씩 정기적인 회의를 통하여 주파수 업무를 토의한다. IRAC의 주요 임무는 주파수 분배, 할당 및 관리에 있어 NTIA를 자문하고, 연방정부 사이에 스펙트럼 이용 및 간섭을 조정한다.

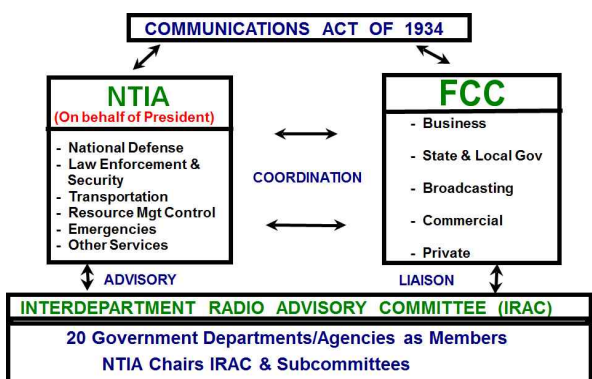


그림 1. 미국의 주파수 관리^{[3],[4]}
 Fig. 1. Spectrum management in the United States of America^{[3],[4]}.

NTIA는 IRAC의 권고사항을 승인, 거절 또는 변경하여 사용할 수 있다. IRAC는 NTIA가 의장과 비서를 맡고 있고, 산하에 6개의 소위원회와 4개의 ad hoc 그룹을 두고 있다.

그림 2는 기술발전 및 시대의 변화에 따라 전파 정책이 어떻게 변화하였는지를 나타낸다. 1927년 방송주파수간에 간섭을 피하기 위하여 서로 다른 주파수를 충분한 이격 주파수를 두고, 이를 배타적(exclusive)으로 사용할 수 있도록 한 Command & Control 방식의 전파관리가 시작되었고, 1951년에는 Coase 교수가 전파도 토지처럼 재산권(property rights) 제도를 도입하여야 한다고 주장하였다. 이 논문으로 Coase 교수는 1991년 노벨 경제학상을 수상하였고, 1993년 FCC가 경매 제도를 도입하는 토대가 되었다. 한편, Spectrum commons는 1948년 Shannon의 spread spectrum 기술을 토대로 주파수의 공동 사용(spectrum sharing)이 가능하다는 이론을 바탕으로 공동 사용의 개념이 탄생하였다. 이러한 결과를 토대로 FCC는 1985년도에 ISM 대역을 공표하였고, 이후 Wi-Fi, Blue-tooth, RFID, 그리고 Zigbee 등의 기기가 탄생하는 계기가 되었다.

한편, 2000년대에 접어들면서 주파수 수요가 급증하는데 비하여 자원은 한정되어 있기 때문에 이를 공동 사용하는 대역을 점차 확장하기 시작하였다. 종래에는 spectrum commons 대역에서만 공동 사용하던 방식에서 벗어나 배타적으로 이용하던 대역에 cognitive radio 기술을 적용하여 primary user에게 간섭을 주지 않으면서 secondary user로서 주파수를 공동 사용하는 제도를 마련하기 시작하였다. 2004년에 FCC는 TVWS(TV White Space)에서 면허 없이 2차 사용자로 사용하는 NPRM(Notice of Proposed Rule-Making) 04-186^[5]을 공표하였다. 이를 계기로 IEEE-802.22 WRAN(Wireless Rural Area Network) working group이 구성되었고, 이후 표준화 과정을 거쳐 2011년 7월에 WRAN 표준을 완성하였다. 앞으로도 open access 대역을 점차 확대하여 opportunistic spectrum access를 더욱 확대할 것으로 판단된다.

본 논문은 서론에 이어 제 II장에서 미국의 주파수 수요 예측 및 이용 현황을 다루고, 제 III장에서 미국의 중장기전파 이용계획 및 전략을 분석한다. 제 IV장에서는 정책 분석에 대한 분석과 시사점을

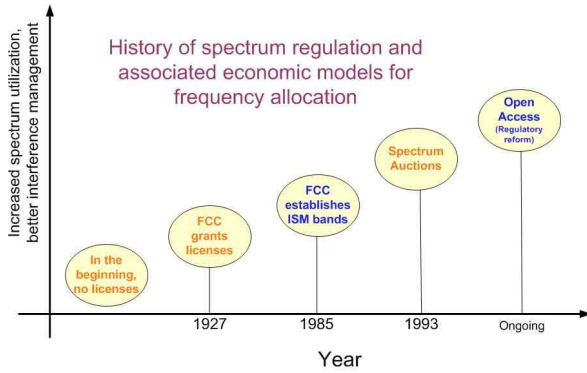


그림 2. 미국의 전파 관리의 역사
Fig. 2. History of spectrum management in the United States of America.

다루고, V장에서 결론을 맺고자 한다.

II. 주파수 수요 예측 및 이용 현황

2007년 6월 애플사가 아이폰을 출시한 이후 앱스토어 등 무선서비스가 활성화되면서 무선 트래픽 급증하고 있고, 국방 분야도 network centric warfare로 전환하면서 주파수에 대한 수요가 급증하고 있다. 이 밖에도 교통, 물류이동, u-health, smart business 등이 활발해지면서 사회 전 분야에서 주파수 자원에 대한 수요가 증가하고 있다.

그림 3은 이동 통신 주파수의 수요에 대하여 시스코 시스템스, Coda Research, 그리고 Yankee Group이 예측한 자료이다. 이 중에서 시스코 시스템스가 가장 많이 증가할 것으로 예측하였는데, 2014년에 현재

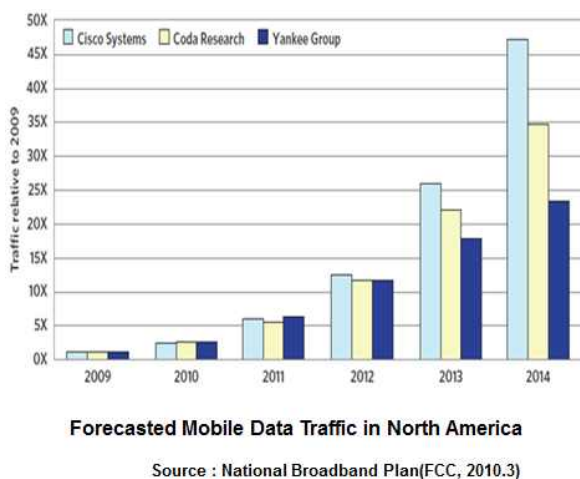


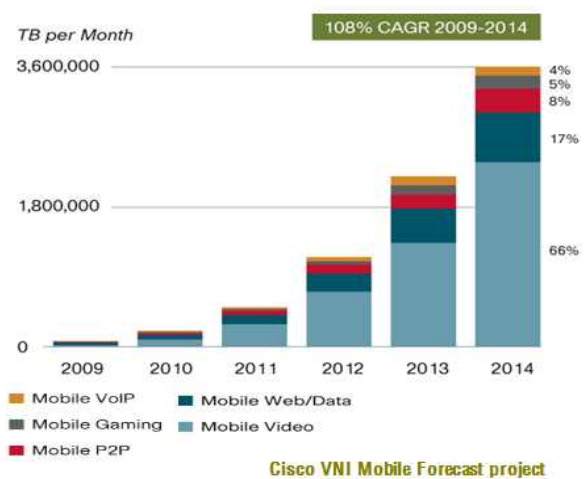
그림 3. 미국의 이동 통신 주파수 수요^[6]
Fig. 3. Spectrum demand for mobile service in the USA^[6].

의 약 10배가 될 것으로 내다보고 있다. 한편, 여러 이동 통신사업자가 측정된 자료에 의하면 이동 통신의 traffic은 상기에서 예측한 데이터보다 더 높은 것으로 나타나 있다.

그림 4는 미국의 주파수 분배현황을 나타낸다. 정보화 사회의 진전에 따라 40 GHz 이하의 대역은 수요가 많아서 주파수 자원의 공동 사용을 많이 모색하고 있다. 그 이상의 대역에서는 60 GHz 대역과 77 GHz 대역 등 몇몇 대역의 수요는 늘어나고 있으나, 전체적으로 아직은 이용 현황이 미흡하다. 이러한 주파수 대역은 전파기술을 활발히 개발하여 미래의 이용에 대비하여야 할 것이다.

그림 5는 미국의 주파수 자원에 대하여 연방기관이 사용하는 주파수의 비율을 나타낸다. 국방 분야는 UHF까지의 주파수의 약 40 %를 차지하고, 그보다 높은 주파수 대역에서는 40 % 이상을 점유하여 주파수를 가장 많이 사용한다. 그 다음으로 법 집행 및 공공안전 분야, 그리고 운송 분야가 그 뒤를 잇고 있다.

한편, 주파수의 수요가 많은 3 GHz 이하의 대역에 대하여 주파수 이용 현황을 보면 수요는 매우 많으나 실질적인 주파수 이용율(spectral occupancy)은 높지 않다. 이동 통신이나 방송 등 특정 역무에 대한 활용도는 매우 높으나, 전체적인 활용도는 10~20 % 정도로 알려져 있다. 그림 6은 미국의 shared spectrum company에서 주파수 이용량을 측정된 자료이다. 전파 특성이 가장 좋은 UHF 주파수의 이용량이



UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS THE RADIO SPECTRUM

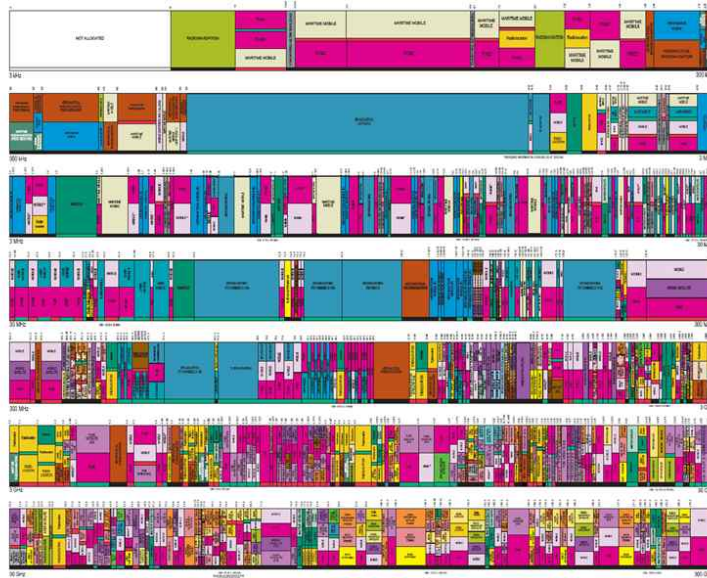


그림 4. 미국의 주파수 분배표^{[3],[4]}
Fig. 4. USA frequency allocation table^{[3],[4]}.

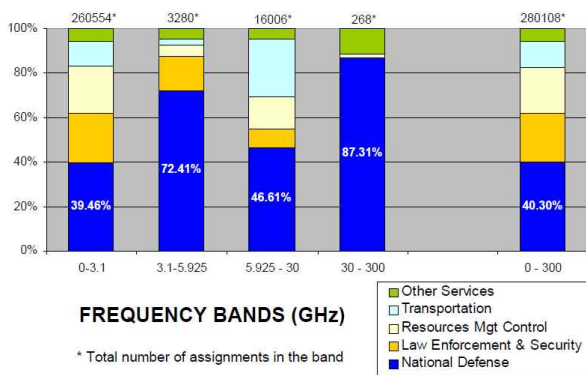


그림 5. 연방기관별 주파수 이용 현황^{[3],[4]}
Fig. 5. Federal Government spectrum use^{[3],[4]}.

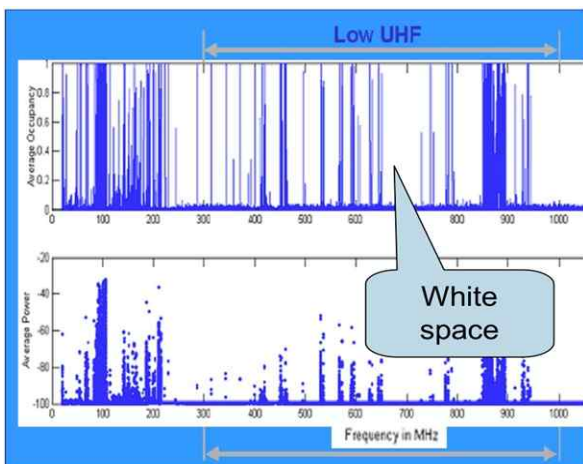


그림 6. 주파수 이용량 측정 결과^[7]
Fig. 6. Measurement results of spectrum occupancy^[7].

약 15 % 이하이다. 또한, FCC가 NYC(New York City)에서 측정한 자료에도 30 MHz~3 GHz 대역의 주파수 이용율이 13 % 정도이다^[7]. 따라서 DSA와 같은 opportunistic spectrum access 기술을 적극 개발하여 이용효율을 획기적으로 높여야 한다.

III. 전파자원 중장기 이용 계획 및 전략

이상 언급한 바와 같이 정보화 사회가 발전함에 따라 전파에 대한 수요는 기하급수적으로 증가하고 있다. 따라서 폭발적으로 늘어나는 주파수 자원에 대한 수요에 대처하기 위하여 끊임없는 기술 개발과 함께 정책 개발이 병행되어야 한다. 이러한 상황을 인식한 미국의 부시대통령은 2003년 6월에 미국의 경제성장을 촉진하고, 국제사회에서의 leadership을 유지하며, 국가 안보 및 재난 보호 등에 적절히 대응할 수 있도록 준비하라는 Spectrum Policy Initiative를 공표하였다.

이후 후속조치로 상무성에서 Spectrum Policy Initiative Report를 작성하였고, 이에 따라 이를 실현하기 위한 Agency Strategic Spectrum Plan을 각 연방기관들이 2년마다 작성하여 NTIA에 제출하게 되었고, NTIA는 이를 기초로 2008년에 Federal Strategic Spectrum Plan을 작성하였다. 그림 7은 이에 대한 흐름을 나타낸다.



그림 7. 미국 전파 정책의 흐름도
Fig. 7. Flowchart of USA Spectrum Policy.

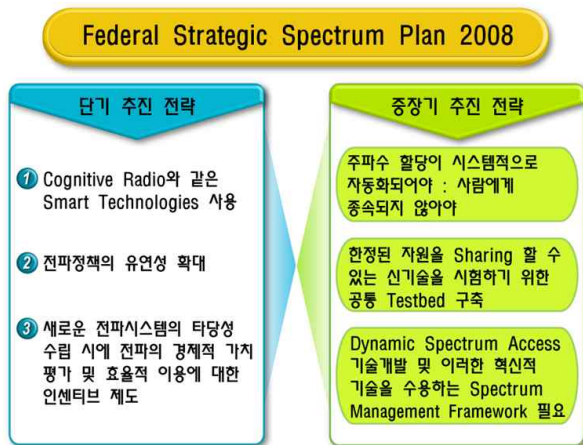


그림 8. NTIA의 스펙트럼 전략^[8]
Fig. 8. Spectrum Strategic Plan of NTIA^[8].

그림 8은 Federal Strategic Spectrum Plan을 요약한 내용으로 미국의 전파 정책에 대하여 단기적 대응 전략과 중장기 대응 전략으로 구분하여 정리한 그림이다. 단기적으로는 cognitive radio와 같은 smart radio 기술을 적극 개발하여 사용하고, 스펙트럼 정책도 spectrum liberalization 정책과 같은 유연한 정책을 도입하도록 전략을 수립하였다. 한편, 각 연방행정 기관에서 주파수와 관련된 시스템을 도입하는 경우,

미리 주파수의 효율적으로 이용하는지에 대한 사전 심의를 하도록 하고 있다. 중장기적으로는 스펙트럼 정책이 시스템적으로 이루어지도록 추진하고, 주파수를 효율적으로 이용하기 위한 테스트베드를 개발하고 DSA(Dynamic Spectrum Access)를 수용하기 위한 spectrum management framework을 구축하는 것으로 되어 있다. 여기에서 테스트베드를 구축하여 실험을 하는 것은 개발된 기술에 대한 철저한 검증을 한 후에 적용하겠다는 의지로 판단된다.

한편, FCC는 그림 9에 나타낸 바와 같이 2008년부터 national broadband plan을 수립하여 2011년 6월



그림 9. FCC의 national broadband plan 개요^[6]
Fig. 9. National broadband plan of FCC^[6].

표 1. NTIA의 500 MHz 발굴 후보 대역^[8]

Table 1. Candidate bands for 500 MHz broadband services of NTIA

Band	Allocation	Key DOD Systems	Other Federal Users
406.1-420 MHz	Federal	Ericsson MASTR® III, Motorola MSF 5000C74, and Motorola Saber series of radios LMR systems	DOC, DHS, GSA, DOJ
1300-1390 MHz	Federal	Range data links, Cobra Dane, Lightweight Counter Mortar Radar, DWTS, MSEHCLOS, WIN-T, AN/TP S-59	FAA, DHS, NSF, TVA, NASA
1675 - 1710 MHz (FastTrack 1695 - 1710 MHz)	Federal/Non-federal Shared	Meteorological Satellite (GOES) downlinks and Radiosondes	DOC, NOAA, NASA
1755-1780 MHz	Federal	SGLS (uplink); UAVs - Pointer, Raven, others; HCLOS; DWTS; air combat training systems; PGMs	DOJ, DOA, DOC, DHS, DOE, FAA, DOI, NASA, TVA, NSF, VA, HUD
1780-1850 MHz	Federal		DOJ, DOA, AID, DOC, DHS, DOE, EPA, FAA, HHS, HUD, DOI, OPM
2200-2290 MHz	Federal	Missile telemetry, Airborne telemetry, SGLS (downlink)	DOA, DOC, DHS, GSA, DOI, DOT, DOJ
2700-2900 MHz	Federal	Air surveillance radars	FAA, NOAA, DOE
2900-3100 MHz	Federal/Non-federal Shared	AEGIS, ground penetrating and weather radars, Future Navy radars	NOAA, DOE
3100-3500 MHz	Federal/Non-federal Shared	AEGIS, Fire Finder counter battery radar, airborne radar, future Navy radars	DOE
3500 - 3650 MHz (FastTrack 3550 - 3650 MHz)	Federal	Airborne Station Keeping Equipment, Shipborne radar, Missile Defense radars, future Navy radars	DOE
4200-4400 MHz (4200 - 4220 / 4380 - 4400 MHz)	Federal/Non-federal Shared	Radar altimeters on most DOD aircraft, PGMs, and large UAVs	FAA, DOI, DHS

오바마 대통령에게 보고하고 이를 승인 받았다. 특히, 눈에 띄는 부분은 2011년 10월까지 NTIA와 FCC가 협력하여 500 MHz를 wireless broadband 용도로 사용할 수 있도록 주파수를 확보 계획을 구체적으로 수립하라는 것이다. 그리고 연방정부의 행정 기관은 이를 달성할 수 있도록 협력하라는 내용이다.

표 1은 상기의 오바마 memorandum에 따라 NTIA를 중심으로 검토되고 있는 500 MHz 후보 주파수에 대한 list이다. 이 중에서도 1,755~1,850 MHz와 3,500~3,650 MHz 대역은 유력한 wireless broadband 후보 대역으로 평가되고 있다.

한편 미국 대통령 과학기술자문위원회(President's Council of Advisors on Science and Technology)는 2012년 7월에 회수 및 재배치는 시간 및 비용이 많이 초래되어 실현 가능성이 낮다고 주장하며 이용율이 낮은 주파수를 발굴하여 공동 사용하는 정책을 적극 채용하라고 권고하였다. 이를 위하여 Obama

대통령이 상무성 장관으로 하여금 정부가 사용하고 있는 주파수 대역에서 1 GHz를 즉시 발굴하여 주파수 공동 사용을 이행하도록 하는 policy memorandum을 채택할 것을 권고하였다^[10].

IV. 분석 및 시사점

미국의 전파 정책에서 주목할 점은 IRAC라는 연방정부 주파수 자문위원회가 구성되어 국가의 소중한 전파자원을 국가의 공공목적에 맞게 사용한다는 점이다. 또한, 중장기전략에서 밝힌 바와 같이 주파수를 사용하는 새로운 시스템의 도입이나 개발계획을 수립하는 경우에 NTIA의 사전심의를 받도록 함으로써 체계적인 주파수 이용 계획을 추진하는 점이다. IRAC 제도와 주파수 사전심의 제도는 주파수 자원을 공공의 수요 및 목적에 맞게 주파수 자원을 사용하는 것은 물론 중장기이용 계획의 수립 및 효율적 이용에 필요한 제도로 판단된다. 이러한 제도는

우리나라에서도 국내 여건에 맞게 보완하여 도입할 필요가 있다.

둘째, 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위한 새로운 기술을 적극 개발한다는 점이다. Federal Strategic Spectrum Plan에 기술된 바와 같이 Dynamic Spectrum Access 기술 등을 적극 개발하고, 이를 위한 테스트 베드를 구축하는 등 주파수 이용 효율을 높이는 기술을 적극 개발하여 활용하겠다는 전략이다. 이러한 방향에 맞게 Shared Spectrum Access 기술인 TV White Space의 공동 사용, UWB(Ultra Wide-Band) 기술을 이용한 spectrum underlay 공동 사용, 3.65 GHz 대역에서 contention-based protocol을 이용한 WiMAX와 Wi-Fi의 주파수 공동사용, 그리고 DFS(Dynamic Frequency Selection) 기술을 이용한 radar와 Wi-Fi의 공동 사용 등을 적극 개발하여 사용하고 있다.

셋째, 시장 기반의 전파 정책을 적극 도입하고 있다는 점이다. 1993년도에 경매 제도를 도입한 이후 AWS(Advanced Wireless Service) 주파수 할당과 digital dividend 대역의 할당 등에서 경매를 통하여 주파수를 할당하였다. 특히, 700 MHz upper C band(11 MHz×2=22 MHz)를 경매하면서 용도자유화(Spectrum Liberalization) 제도를 도입하여 서비스나 기술을 주파수 이용권자가 스스로 결정하도록 하였다. 그리고 시장이 이동통신서비스를 중심으로 재편되면서 NBP(National Broadband Plan)를 수립하여 10년 이내에 500 MHz 대역을 wireless broadband 용의 주파수를 확보하는 계획을 추진하고 있다. 이를 위하여 incentive auction 등을 적극 검토하고 있다. 이와 같이 주파수 자원을 시장의 수요에 맞게 분배하고, 이를 주파수 이용권자가 스스로 서비스와 기술을 선택하도록 하는 제도는 시장 스스로 주파수의 경제적 가치를 최대한 높이는 제도이다. 우리나라에서도 부분적으로 기술 중립성은 추진하고 있으나, 아직까지는 제한적이다.

넷째, 미국은 2000년대 초반까지 독자적인 주파수 할당으로 국제사회와 조화를 이루지 못하였다. 특히, 세계적으로 WCDMA 이동 통신으로 사용하고 있는 2.1GHz 대역을 독자적으로 경매하여 국제적인 로밍에 어려움을 겪고 있다. 2003년 부시 대통령이

국제사회에서의 통신 분야의 leadership을 확보하라는 취지에 따라 현재는 WRC 활동 등에 적극 참여하여 미국의 입장을 적극 반영하고 있다. 전파의 이용이 점차 늘어나는 상황에서 주파수 재배치 등의 업무는 시간과 예산이 많이 소요되는 일로 국제 주파수 분배 기구에서 자국의 입장을 반영하는 것은 매우 중요한 업무이다. 따라서 WRC 활동을 비롯하여 인접 국가와의 간섭 조정 등을 적극적으로 추진하여 국제적인 조화를 이루어야 할 것이다.

V. 결 론

미국은 전파통신의 초기부터 무선통신이 가장 발달한 국가로서 전파기술은 물론 전파 정책을 선도하는 국가이다. 1927년 FRC를 창설하여 command & control 방식의 전파관리를 본격적으로 시작하였고, spectrum commons 대역 할당을 통하여 새로운 기술을 창출하도록 하였으며, 경매제도(auction)의 도입과 시장 기반의 전파 정책을 적극적으로 추진하였다. 또한, 동적 주파수 이용 기술을 선도하여 spectrum sharing을 적극 추진하고 있다. 특히 주파수 자원의 중요성을 일찍이 인식하고 연방주파수 자문위원회를 설치하여 주파수 자원을 국가의 공공목적에 맞게 사용할 수 있는 토대를 마련하였고, 2003년도에는 대통령이 주파수 자원의 중요성을 인식하고, 이를 체계적이고 효율적으로 이용하는 계획을 수립하도록 상무성에 지시하였다. 이후 매 2년마다 각 부처별로 이행계획을 수립하여 NTIA에 제출하였고, 이를 토대로 NTIA는 2008년도에 연방정부의 중장기 전략을 수립하였다. 2010년도에는 FCC가 계획한 NBP를 토대로 “Unleashing the wireless broadband revolution”이라는 presidential memorandum을 탄생시켜 2020년까지 wireless broadband service를 위하여 500 MHz의 주파수를 확보하도록 하였다. 이와 같이 미국은 새로운 기술개발을 토대로 주파수의 공동사용을 통하여 주파수의 이용 효율을 향상시키는 것은 물론 미국의 경제성장을 촉진하는 정책을 추진하고 있다. 또한, 시장기반의 전파 정책을 통하여 새로운 전파통신 서비스의 창출은 물론 전파자원의 이용효율을 극대화시키고 있다.

이러한 미국의 중장기스펙트럼 전략 및 이용 계

획이 우리나라의 전파 정책에 도움이 되기를 바라면서 결론을 맺는다.

참 고 문 헌

[1] 김창주, "Spectrum Sharing 정책 및 기술", 한국전자과학기술지, 전자과학기술, 23(3), pp. 3-12, 2012년 5월.

[2] NTIA, Spectrum Policy for the 21st Century-The President's Spectrum Policy Initiative: Jun. 2003.

[3] NTIA, Spectrum Policy for the 21st Century-The President's Spectrum Policy Initiative: Report I, Jun. 2004.

[4] NTIA, Spectrum Policy for the 21st Century-The

President's Spectrum Policy Initiative: Report II, Jun. 2004.

[5] FCC, "Unlicensed operation in the TV broadcast bands", *ET Docket No. 04-186*, May 2004.

[6] FCC, National Broadband Plan, Nov. 2010.

[7] M. A. McHenry, NSF Spectrum Occupancy Measurements, Project Summary (2005), <http://www.share-spectrum.com>

[8] NTIA, Federal Strategic Spectrum Plan, Nov. 2008.

[9] T. Orwan, "DoD CIO spectrum and communications policy", *PSMC Conference*, Jul. 2011.

[10] PCAST, "Realizing the full potential of government-held spectrum to spur economic growth", Jul. 2012.

김 창 주



1976년~1980년: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1986년~1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1989년~1993년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1979년 12월~1983년 3월: 국방과학

연구소 연구원

1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

1994년~1998년: 한국전자통신연구원 전파신호처리연구실장

1999년~2001년: 한국전자통신연구원 이동통신모뎀연구부장

2003년~2010년: 한국전자통신연구원 전파기술연구부장
[주 관심분야] 이동통신, 전파기술, Cognitive Radio 기술 등