

미래의 스펙트럼 관리 정책과 동적 스펙트럼 관리 기술이 나아가야 할 방향

전형석 | 이혁재
한국정보통신대학교

요약

이동통신관련 산업이 발전함에 따라 전파 자원의 수요가 급증하여 스펙트럼의 경제적 가치는 계속적으로 높아지고 있다. 따라서 기존의 명령과 통제에 의한 정부의 일방적인 주파수 할당 방식에서 벗어나 시장원리를 도입함으로써 주파수의 활용을 극대화할 필요성이 제기 되고 있다. 나라마다 조금씩의 차이는 있지만 주요 내용은 스펙트럼을 거래 가능한 재화로 취급하여 시장원리에 따라 스펙트럼을 관리하려는 것과 스펙트럼 접속 에티켓(etiquette)을 바탕으로 모두가 스펙트럼을 공유하는 관리 방식이 그것이다. 본 원고는 이러한 정책 흐름의 변화 과정 속에서 현재 국내의 주파수 정책의 최상 동향을 살펴보고 이를 분류하고 필요한 정책적, 기술적 과제를 살펴봄으로써 동적 스펙트럼 관리 기술 및 비즈니스 모델 개발의 가이드라인을 제공하고자 한다.

1. 서론

전파 자원은 국가의 중요한 무형자원으로써 무선 통신 산업의 급속한 발전에 따라 그 중요성이 점차 강조되어 왔다. 1990년대 이후 무선 이동 전화의 발전과 인터넷의 확산은 전파 산업이 국민생활 모든 영역에 깊숙이 뿌리를 내릴 수 있는 계기를 마련해주었으며, 2000년대의 비면허 대역의 할당과 WLAN(Wireless Local Area Network), WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술 개발은 기존의 이동 통신 기술

과 함께 무선 데이터 통신 서비스 보급에 큰 역할을 함으로써 전파 산업이 국가의 핵심 산업으로 자리잡을 수 있는 발판을 마련해 주었다. 이제 우리는 유비쿼터스 정보화 사회로 진입하는 중요한 시점에 서있다. 유비쿼터스 사회에서는 언제 어디서나 주변의 모든 정보를 편리하게 주고 받을 수 있는 사회로 대용량 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 광대역 무선 통신 시스템의 활용이 더욱 두드러질 것으로 예상된다. 이를 대비하기 위해서는 신규 서비스를 위한 많은 스펙트럼을 확보해야 하지만 현재는 추가 할당할 수 있는 주파수 대역이 더 이상 남아 있지 않은 실정이다. 한가지 흥미로운 사실은 최근 미국의 연방통신위원회(FCC: Federal Communications Commission)을 비롯해 많은 단체에서 스펙트럼의 사용량을 측정한 결과 국가를 막론하고 이동 전화와 방송같은 상업목적의 주파수 대역을 제외한 거의 모든 주파수 대역의 사용률이 10% 내외로 측정되었다는 사실이다[1]. 이러한 결과는 현재의 스펙트럼 부족 현상은 물리적인 부족이라기 보다는 제도적 모순에 의한 부족으로 관리 정책에 그 원인이 있다는 사실을 말해준다.

스펙트럼 관리의 목적은 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 서비스간의 통신 장애를 피하기 위한 간섭 제어와 스펙트럼의 이용률 향상을 위한 효율적 활용 및 분배가 그것이다. 과거 스펙트럼의 수요가 공급을 넘지 못하는 상황에서 주파수 이용률 향상이라는 목적은 큰 의미가 없었다. 따라서 간섭 제어에 초점이 맞추어져 정부가 시스템, 서비스간의 충돌을 줄일 수 있도록 스펙트럼의 사용 용도, 주체, 기술 등의 모든 사항을 일방적으로 결정하였다. 이것이 대부분의 나라가 현재 채택하고 있는 스펙트럼 관리 모델인 명령과 통제

(Command and control)방식의 관리 모델이다. 하지만 이제는 휴대전화의 보편화와 광대역 통신 시스템과 대용량 서비스의 개발에 따른 주파수 수요량의 증가로 명령과 통제 관리 방식에서 제공할 수 있는 주파수 공급량이 부족한 상태이다. 더군다나 무선 기기 사용의 폭발적 증가에 따라 스펙트럼의 혼잡은 기존 주파수 대역에서의 통신 간섭 현상 및 성능 저하 현상 문제도 심각하게 대두되고 있다. 이를 기술적으로 극복할 수 있는 UWB(Ultra WideBand), Cognitive Radio와 같은 간섭 회피 기술이 연구되고는 있지만 이를 활용할 수 있는 적절한 정책적인 제도보완은 현재 마련되어 있지 않다.

따라서 많은 선진 국가에서는 전파 자원의 효율적 활용의 필요성을 깨닫고 국가적 차원에서 중요 정책 과제로써 미래의 스펙트럼 관리 정책에 대해 논의를 활발히 진행 중에 있다. 동적 스펙트럼 관리(DSM: Dynamic spectrum management)와 동적 스펙트럼 접속(DSA: Dynamic spectrum access)기술은 이러한 변화의 중심에 서있다[2]. 아직은 동적 스펙트럼 관리, 접속 기술이 개념 확립과 적용 시나리오(비즈니스 모델) 발굴, 기초 기술 개발의 단계에 머물러 있지만 다양한 시각과 창조적인 아이디어를 바탕으로 한 많은 보고서들이 출판되고 있다.

하지만 이들 중 적지 않은 보고서들이 간과하고 있는 중요한 점은 현재의 정책 이슈에 대한 고려가 많이 없다는 것이다. 스펙트럼 정책의 변화에 대한 흐름 분석과 고려 없이는 구체적인 DSA, DSM 기술 개발은 불가능하다. 스펙트럼 정책은 사회에 미치는 엄청난 영향 때문에 기술, 사회, 경제 등 국가적 차원에서 여러 분야와 함께 고려되어야 한다. 따라서 정책 수립 과정은 매우 복잡하고 많은 검토와 논의를 통해 결정되어야 하므로 쉽게 결론을 이끌어내기가 힘들고 예상하기도 어렵다. 하지만 현재 많은 기술 보고서들은 빈 주파수 대역을 찾아 적용적으로 통신하는데 있어서 필요한 기술 개발에만 초점을 맞추고 있다. 문제는 그렇게 간단하지 않다. DSM, DSA 기술은 정책의 흐름 속에서 네트워크의 구조와 비즈니스 모델에 따라 각기 다른 형태로써 개발되어야 한다. 변화의 흐름 속에서 잘못된 예측과 이를 바탕으로 한 그릇된 가정은 오히려 DSM, DSA 핵심 기술의 개발을 저해하고 정책 결정의 혼선만을 제공할 뿐이다.

본 원고는 이에 따라 국내의 주파수 정책의 최신 동향을

살펴보고 이를 분류하고 필요한 정책적, 기술적 과제를 살펴봄으로써 DSM, DSA 기술 개발의 가이드라인을 제공하고 자 한다. 이를 위해 제 II장에서는 현재의 주파수 관리 모델을 살펴보고 이를 바탕으로 제 III장에서는 동적 스펙트럼 관리 기술의 적용에 있어서 현재의 정책이 가지고 있는 문제점을 기술 하였다. 제 IV장에서는 현재 논의되고 있는 미래의 스펙트럼 관리 모델들을 소개하고 각 모델들에 있어서 필요한 기술 및 도전 과제들에 대해서 언급하였다. 마지막 제 V장에서는 이전까지의 분석을 통하여 앞으로의 스펙트럼 정책 방향을 예상하고 이를 뒷받침 할 수 있는 기술에 대해 논의하였다.

II. 현재의 스펙트럼 관리 모델

현재 여러 나라에서 사용하고 있는 스펙트럼 관리 모델은 면허(license) 기반과 비면허(unlicensed) 기반 관리 모델로 나눌 수 있다. 면허 기반 모델은 정부가 특정 주파수 대역에 대해 사용자에게 배타적 이용 권한을 수여하는 방식으로 정부의 주도아래 스펙트럼의 용도 및 사용자가 결정되는 명령과 통제(Command and Control) 방식과 주파수 할당시 스펙트럼의 재산권을 인정하고 경매(auction)와 같은 시장 원리를 통해 스펙트럼의 독점적 사용권한을 수여하는 시장(Market) 모델로 나눌 수 있다. 우리나라에서는 시장모델과 심사방식을 혼합하여 심사대가할당방식이 사용되고 있다. 비면허 기반 모델은 면허 기반 모델과는 달리 배타적 사용권한을 인정하지 않으므로 누구나 스펙트럼을 사용할 수 있다. ISM(Industrial, Scientific, Medical), U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) 대역이 비면허 기반 모델에 의해 관리되는 대표적인 예이다. 각 스펙트럼 관리 모델의 자세한 내용은 다음과 같다.

1. 명령과 통제(Command and Control)

명령과 통제방식의 관리 모델은 스펙트럼 사용에 대해 정부가 사용 용도, 주체, 방법 등의 구체적인 조건들을 제시하고 관리하는 중앙 집중식 관리 모델이다. 많은 나라들이 스펙트럼 관리 모델로써 지금까지 명령과 통제 방식을 사용해

왔다. 정부가 직접적으로 스펙트럼의 용도를 지정함으로써 국가 자원인 주파수의 관리가 용이하고, 통신 기기 사이에 일어날 수 있는 전파 간섭을 비교적 쉽게 제어할 수 있는 장점이 있다. 하지만 명령과 통제방식은 특정 용도로만 제한적으로 주파수가 사용되며, 주파수의 이용 효율이 고려되지 않는 방식이다. 따라서 주파수 수요가 많은 상황에 적절히 대처하기에는 적합하지 않은 관리 방식이라고 할 수 있다. 이에 따라 최근에는 스펙트럼 관리 정책의 흐름이 과거 전파 간섭 통제의 중심에서 스펙트럼의 이용효율을 극대화하기 위하여, 시장 모델(Market model) 관리 방식이나 공유 모델(Commons model) 관리 방식이 주목 받고 있다. 그렇다면 하더라도, 비상시, 항공, 천문, 군사, 위성, 기상 등과 같은 국가 및 공공적인 차원에서 필요한 주파수 대역의 경우 명령과 통제방식에 의해 관리되어 지고 있다.

2. 시장 모델 (Market model)

시장 모델은 주파수 수요 증가에 따른 스펙트럼의 가치 상승의 효과를 반영하기 위해 시장 경제 원리를 스펙트럼 관리에 적용한 것이다. 즉, 오랫동안 경제학자들이 주장해왔던 것처럼 스펙트럼에 대한 재산권(property right)을 인정하고 재화(good)로 취급함으로써 주파수의 할당과 분배에 있어서 거래를 허용하는 것이다. 따라서 시장 모델은 사업자 간의 경쟁을 유도하고 각자의 이윤을 극대화 하는 과정에서 스펙트럼 이용 효율을 향상을 유도하는 스펙트럼 관리 모델이다. 대표적인 예가 경매제도인데, 이미 1989년 뉴질랜드에서 최초로 주파수 할당 경매를 시도하였으며, 이후 미국이 1990년대 PCS 대역을 경매제도를 통해 분배하여 큰 성공을 거두었다. 독일, 영국, 네덜란드 등의 나라가 3G 주파수 사업자 선정에 있어서 경매제도를 채택하였다. 하지만 경매제도의 경우 대기업에 의한 주파수 매집(買集) 및 담합의 위험성이 항상 존재한다. 이와 달리 프랑스나 대한민국의 경우에는 행정적 유인가격(Administrative Incentive Pricing: AIP)을 통해 주파수 가치를 기회비용에 근거하여 추정하고, 최초 주파수 할당시 심사제도를 통해 선정 사업자에게 이에 해당하는 비용을 징수하고 있다. 심사 방식은 사업자 선정에 있어서 투명성 부족과 로비 활동의 과열 등이 단점으로 지적되어 왔다. 표 1과 표 2에서는 각각 3G 이동 통신 주파수 대역에 대해 경매제도와 심사제도를 채택한 나라별 사업자

선정의 결과를 보여준다[3].

〈표 1〉 경매제도 채택 주요 국가별 3G 이동 통신 주파수 경매 결과 (2002년 12월 31일 기준)

	국 가	경매 시기	선정 사업자 수	금액(백만달러)
1	United Kingdom	2000.4.	5	35,411
2	Netherlands	2000.7.	5	2,515
3	Germany	2000.8.	6	46,323
4	Italy	2000.10.	5	10,084
5	Austria	2000.11.	6	716
6	Canada	2001.2.	5	931
7	Australia	2001.3.	6	578
8	Hong Kong, China	2001.9.	4	671
9	Denmark	2001.10.	4	496
10	Taiwan, China	2002.2.	5	1,397

자료: ITU (2003)수정 인용[3]

〈표 2〉 심사제도 채택 주요 국가별 3G 이동 통신 주파수 심사 결과 (2002년 12월 31일 기준)

	국 가	경매 시기	선정 사업자 수	금액(백만달러)
1	Finland	1999.3.	4	-
2	Spain	2000.3.	4	444
3	Japan	2000.6.	3	-
4	Portugal	2000.12.	4	360
5	Poland	2000.12.	3	1,839
6	Rep. of Korea	2000.12. 2001.8.	3	2,886
7	Sweden	2000.12.	4	-
8	France	2001.7. 2002.5.	3	1,042
9	Luxembourg	2002.5.	3	-
10	Ireland	2002.6.	3	173

자료: ITU (2003)수정 인용[3]

3. 공유 (Common)

공유 모델은 이전 관리 모델들과는 달리 특정 사업자에게 스펙트럼 사용의 독점적 권한을 수여하지 않고 모두에게 자유로운 이용을 허용하는 개방형 주파수 관리 모델이다. 정부는 이용자가 시장 변화와 기술 발전에 따라 주파수 이용이 능동적으로 이루어 지도록 자율성 보장을 위해 최대 출력 전력과 같은 전파 간섭 방지를 위한 최소한의 기술 표준만을 규제 한다. 따라서 개발자들은 다양한 기술 개발을 통해 전파 간섭을 완화하고 이용 효율을 향상시킬 수 있으며 이를 통해 기술 혁신을 이끌어 낼 수 있는 장점이 있다. 현재 ISM대역과 UNII 대역이 공유 대역으로 할당된 대표적인 주파수 대역이다. 이들은 2000년대 이후 WLAN, WPAN 시장의 폭발적 성장의 바탕이 되었으며 다양한 형태의 서비스 및 기술 개발의 촉진제 역할을 해왔다. 하지만 공유 모델은

명확한 주파수 사용 권한이 정의되어 있지 않으므로 이로 인해 사용자들의 무분별한 스펙트럼의 사용과 이에 따른 전파 간섭으로 이어져 결국 서비스 품질의 저하를 가져올 수 있다. 이를 가리켜 공공재의 비극(tragedy of commons)이라고 한다⁴⁾. 이러한 문제는 소유 권한에 대한 불명확한 정의에서 비롯된 것으로 제 IV 장에서 해결 방안과 대안 모델을 소개하도록 하겠다.

III. 현재 스펙트럼 관리 모델과 문제점

1. 기술 사용의 제약

현재의 주파수 관리 모델에서는 스펙트럼 면허권이 기술 중심으로 할당되어 주파수의 효율적 사용을 저해하고 있다. 실시간 방송 서비스를 제공해주는 아날로그 TV 전송 전용 주파수 대역은 우리나라에서는 산악지대와, 전파사각지역이 많아 가장 비효율적으로 사용되는 주파수 대역중 하나이다. 현재는 방송국에서 일방적으로 프로그램을 제공하는 실시간 방송의 개념 보다는 사용자가 필요에 따라 선택적으로 프로그램을 시청할 수 있는 쌍방향 방송시대로의 변화에 있고, 디지털 TV 기술은 이러한 흐름에 따라 소비자에게 맞춤형 방송서비스를 제공해줄 수 있으며 서비스의 질적인 측면에 있어서도 좋은 화질을 제공해줄 수 있다. 하지만 현재의 관리 모델은 면허권 소지자에게 특정 기술만을 사용할 것을 강요하고 있어 디지털 TV 방송을 위해서는 별도의 대역 할당이 필요하다. 물론 디지털전환이 완전히 이루어진 후에는 많은 여유주파수가 기대되고 있지만, 바로 이러한 점들이 비효율적으로 이용되는 주파수 대역의 이용률을 기술적으로 향상시킬 수 있음에도 불구하고 현재의 관리 모델은 이를 수용치 못함으로써 주파수 부족 현상을 부추기고 있는 것이다. 따라서 면허권 소지자가 스펙트럼의 사용 상황에 따라 기술적으로 유연하게 대처할 수 있는 기술 중립적인 관리 모델이 필요하다.

2. 서비스 제공의 제약

만약 특정 서비스를 위해 주파수의 추가적인 할당이 필요하다면 기술적이나 경제적, 제도적 측면에서 바라보았을 때

제공되고 있는 서비스 주파수에 인접한 주파수를 할당하는 것이 최선의 선택일 것이다. 현재의 관리모델이나 기술을 최대한 유지할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 현재 이동통신 서비스 주파수에 인접한 TV 주파수 대역이나 공공 안전(Public Safety)용 주파수 대역은 넓은 대역을 할당 받고 있음에도 불구하고 사용효율은 매우 낮다. 만일 이러한 스펙트럼을 인접한 이동통신 서비스가 필요에 따라 용도변경을 하여 활용할 수 있다면 트래픽 부하를 크게 완화시킬 수 있을 것이다. DRIVE^[18]와 overDRIVE^[19] 프로젝트는 이에 대한 가능성을 열어두고 서비스의 트래픽 상황에 따라서 다른 대역의 주파수를 사용할 수 있는 DSA 기술을 개발한 프로젝트이다. 하지만 현재의 주파수 관리 모델은 특정 서비스에 주파수 대역을 용도 지정함으로써 서비스의 트래픽을 주파수 대역에 효율적으로 분산시키지 못하고 있다.

3. 스펙트럼 거래의 제약

최근 들어 주파수 관리 정책에 있어서 서비스간의 전파 간섭을 정부의 중앙 통제 방식으로 관리하는 것 보다는 간섭 문제는 기술적으로 극복하고 시장 원리를 주파수 할당문제에 도입하여 경제적 가치에 따라 스펙트럼을 효율적으로 이용하고자 하는 움직임이 빠르게 전개되고 있다. 하지만 이러한 움직임은 명령과 통제 기반의 주파수 정책 아래에서 특정 서비스에 대한 최초 주파수 대역을 선정함에 있어서 시장의 수요와 공급원리를 적용하였고, 이에 대한 성공 가능성을 가늠할 수 있다는 데에 의의가 있었다.

현재 여러 나라가 기존의 명령과 통제에 의한 주파수 할당 방식을 재고하고 있으며, SDR, CR과 같이 효과적으로 전파 간섭을 억제할 수 있는 기술들이 개발되고 있다. 따라서 이제는 정책, 기술적 대변화를 고려하여 동적 스펙트럼 할당(Dynamic Spectrum Allocation)의 도입 가능성을 열어두고 어떻게 시장 경제의 원리를 주파수 할당 문제에 도입할 수 있는지에 대해 고민해야 한다. 이러한 문제에 있어서 현재의 스펙트럼 관리 모델은 면허권이 시간, 공간, 주파수상 세분화 되어 있지 않아서 시장 경제 도입시 재화의 유동성 문제에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 현재 주파수 면허권 소지자는 시간, 지리적으로 광범위한 접속 권한을 가지고 있으며 보통 수십 MHz이상의 단위로 구성된 스펙트럼을 할당 받는다. 이렇게 큰 단위의 스펙트럼은 주파수 시장에서

매매가 이루어지기 매우 힘들다. 따라서 유동성을 원활히 하기 위해서 소규모 네트워크의 스펙트럼 요구량 맞추어 면허권에 명시된 스펙트럼 단위의 세분화 필요하다.

IV. 미래의 스펙트럼 관리 모델

다음은 FCC의 주파수 정책 변화의 흐름을 바탕으로 미래 가능한 네 가지 스펙트럼 관리 모델에 대해 살펴보고자 한다. 각각은 '명령과 통제(Command and control)', '배타적 사용(Exclusive-use)', '1, 2차 사용자의 공존(Shared Use of Primary Licensed Spectrum)', '공유(Commons)' 이다[8].

1. 명령과 통제(Command and Control)

이 방식은 앞서 설명한 주파수 관리 방식으로 시장원리를 배제하고 특정 서비스와 기술에 대해 스펙트럼의 접속권한을 독점적으로 수여하는 모델로 많은 나라가 지금까지 스펙트럼을 관리하는 기술로 채택해 왔다. 하지만 DSA 기술의 도입확대에 따라서 앞으로는 국가차원에서 반드시 보호해야 할 대역만을 통제하는 제도로 점차 활용 비중이 낮아 질 것으로 예상된다.

2. 배타적 사용 (Exclusive-use)

배타적 스펙트럼 할당 방식은 면허권의 거래 가능 여부에 따라서 장기 배타적 사용(long-term exclusive use)과 단기 배타적 사용(short-term exclusive use)로 나누어 생각할 수 있다

(1) 장기 배타적 사용(long-term exclusive use)

정부에서 비교적 긴 시간 동안 면허권 소지자의 주파수 접속 권한을 인정하는 방식으로 단기 배타적 사용과는 다르게 계약된 기간 동안에는 면허권의 매매가 이루어 질 수 없도록 하는 관리 방식이다. 현재 대한민국의 이동통신 주파수 할당 정책이 대표적인 예이다. 정부에서 계약 기간 동안 면허권 소지자에게 서비스나 기술의 종류를 제한시키는가 아닌가에 따라서 두 가지 상황이 존재할 수 있는데 현재 대부분의 나라에서는 종류의 제한을 두는 방식을 따르고 있다.

(2) 단기 배타적 사용(short-term exclusive use)

장기 배타적 사용과는 달리 정규에서 수여한 주파수 접속 권한의 변경이 가능하다. 주파수 도매 시장(secondary market)을 통해 면허권에 대한 매매가 이루어지며, 이미 FCC에서는 이와 관련하여 스펙트럼의 임대 가능하도록 관련 법안을 정비 중에 있다[1,5,6,7]. 이와 관련하여 FCC에서는 스펙트럼 매니저(spectrum manager) 모드와 디팩토(de facto transfer) 모드 두 가지를 제시하였다. 두 방식의 차이점은 스펙트럼 매니저 모드의 경우 매니저가 스펙트럼 면허권에 대한 모든 책임을 가진 상태에서 스펙트럼을 임대하는 반면 디팩토 모드의 경우 스펙트럼 면허권에 대한 모든 권한을 임차인(lessee)에게 양도한다. 이때 주파수 임대에 있어서는 매매 가능한 스펙트럼의 양에 제한을 두지 않아 시간, 공간상 원하는 만큼의 스펙트럼을 교환 가능하도록 하였다.

또한 면허권 소지자는 스펙트럼 임대시 임차인에게 추가적인 임대조건을 만들 수 있도록 하였다. 이러한 FCC의 주파수 정책 변화는 앞서 언급한 시장 원리를 적극적으로 반영한 것으로 궁극적으로 주파수 도매 시장에서의 원활한 재화의 흐름의 보장과 다양한 사업 모델의 등장에 대한 촉매제 역할을 함으로써 통신 사업자간의 경쟁을 촉진시킬 것으로 기대된다.

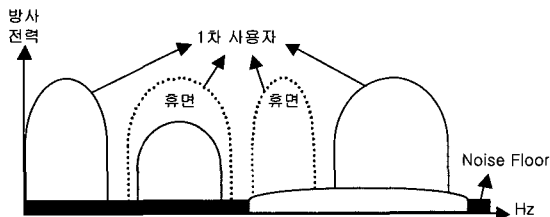
하지만 한편으로 FCC는 모든 주파수 대역에 대해 앞서 설명했듯이 스펙트럼의 배타적 사용권의 임대를 허용하였지만 임대된 스펙트럼에서의 서비스 변경은 아직까지 허용하지 않고 있다(임대인은 면허권에 명시된 최초 허가 받은 서비스만을 제공해야 함). 또한 FCC가 공표한 면허권 임대 절차는 실시간 진행이 불가능 하기 때문에 capacity-on-demand 형식의 스펙트럼 교환이 불가능 하다. 그렇다면 동적 스펙트럼이 가능한 사업자간의 실시간 스펙트럼 교환을 위해서는 어떠한 기술적, 정책적, 경제적 노력들이 필요한 것인가? 이 질문에 대한 답은 어떤 스펙트럼을 공유할 것인가, 어떤 사업자간의 스펙트럼 공유인가에 따라 방향이 틀려질 것이다.

공통적으로는 첫째는 스펙트럼의 원활한 접속을 위해 스펙트럼 교환시 시간, 공간적으로 주파수 단위를 좀더 작은 단위로 분할해야 한다. 공간적으로는 특정 지역의 트래픽 쏠림 현상을 지원하기 위해 한 개 혹은 몇 개의 기지국 단위

로 스펙트럼 단위가 제공되어야 하며, 시간적으로는 하루에도 몇번의 스펙트럼 교환이 가능하도록 분 또는 시간 단위의 면허권이 허가되어야 하며, 스펙트럼은 서비스들의 기본 채널 단위 (CDMA 1x: 1.25MHz, W-CDMA: 5MHz 등)를 고려하여 적은량의 스펙트럼도 교환이 가능하도록 단위 구성을 해야한다. 둘째로 스펙트럼 거래시 필요한 허가 및 등록, 반환 등의 절차가 실시간으로 정부가 통제할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 주파수의 거래 및 등록 절차가 Machine-driven 프로토콜에 의해 이루어져야 한다. 셋째로 주파수 시장에서의 스펙트럼 매매는 사업자간의 거래 혹은 정부와 사업자간의 거래의 형태가 존재할 수 있다. 어떤 거래이든지 이들의 거래를 위한 통합 관리 프로토콜(common coordinated protocol) 개발이 필요하다. 특히 동일 서비스 사업자가 아닌 경우에는 시스템의 표준이 서로 달라 기술 개발이 매우 힘들다. 비콘(beacon) 신호 전송은 이런 점에 있어서 대안 기술로 제시되고 있다. 마지막으로 정부는 주파수 시장의 독과점 방지를 위해 모든 사업자들의 스펙트럼 접속권한의 공평성(access fairness)을 보장해주어야 한다.

3. 1, 2차 사용자의 공존 (Shared-use)

배타적 사용 관리 모델과는 달리 공존 모델은 스펙트럼 사용을 허가 받은 사용자 (1차 사용자, primary user)와 그렇지 않은 사용자 (2차 사용자, secondary user)가 동시에 스펙트럼을 사용하는 모델이다. 따라서 면허권의 거래가 일어나지 않으며 2차 사용자는 1차 사용자의 통신을 방해하지 않는다는 조건 아래에서 같은 주파수 대역을 사용할 수 있다. 이러한 스펙트럼의 접속 권한의 구조 때문에 수직적 공유 (Vertical sharing)라고도 한다. 이때 1차 사용자의 스펙트럼을 어떤 방식으로 공유하는가에 따라서 Underlay 모델과



(그림 1) Underlay 모델과 Overlay 모델

Overlay 모델로 종류를 나눌 수 있다 (그림 1참조). 각각의 상세한 설명은 다음과 같다.

(1) Underlay 모델

Underlay 방식의 스펙트럼 공유는 2차 사용자가 1차 사용자의 통신 장애를 일으키지 않도록 매우 낮은 송신 전력으로 통신 하여 1, 2차 사용자가 동시에 스펙트럼을 공유하는 방식을 말한다. 따라서 2차 사용자는 1차 사용자에게 미치는 간섭까지 고려해야 하므로 많은 제약조건 속에서 통신하게 된다. 초광대역 무선 통신 (UWB: Ultra WideBand)이 대표적인 예인데 현재 미국에서는 UWB 시스템의 주파수 대역을 기존의 통신 시스템 주파수 대역과 중복되도록 할당하였지만 1차 사용자의 서비스 보호를 위해 2차 사용자의 최대 방사전력 스펙트럼 밀도를 -41.3 dBm/MHz 로 제한 하였다. 따라서 노이즈 레벨 보다 낮은 전력으로 통신해야 하는 Underlay 모델의 2차 사용자는 활용 측면에 있어서 단거리 고용량 데이터 전송 서비스(의료장비, 홈 네트워크 등)에 국한될 수밖에 없다는 한계점이 있다.

(2) Overlay 모델

Overlay 방식은 Underlay 방식과 마찬가지로 1차 사용자의 주파수 대역을 2차 사용자가 면허권 없이 사용한다는 공통점이 있지만 두 사용자가 동시에 스펙트럼을 사용하지 않고 오직 1차 사용자가 스펙트럼을 사용하지 않을 때에만 스펙트럼을 사용할 기회를 갖는다. Overlay 모델도 역시 면허권을 가지고 있는 1차 사용자의 통신 서비스에 장애를 주어서는 안된다. 따라서 Overlay 모델에서는 2차 사용자가 계속적으로 1차 사용자가 사용하지 않는 대역(white space)을 찾아서 확보하고 있어야 하며, 이때 페이딩(fading)과 같이 검출기의 성능을 열화시키는 현상들을 극복할 수 있어야 한다.

간략한 동작 순서는 다음과 같다. 스펙트럼 센싱 (Spectrum Sensing): 2차 사용자는 스펙트럼 접속을 위해 1차 사용자가 사용하지 않는 비어있는 주파수 대역을 찾는다. 이때 2차 사용자는 네트워크를 이루어 서로 협력 관계를 유지할 수도 있으며, 독립적으로도 행동할 수 있다. 데이터 전송(Data Transmission): 2차 사용자는 스펙트럼 센싱을 통해 확보한 주파수 대역에서 통신 서비스를 시작한다. 2차 사용자가 독립적으로 행동한다면 다른 2차 사용자들과 경쟁

(competition)을 통해 확보한 주파수 대역에서 데이터 전송을 하지만, 네트워크를 이루고 있다면 네트워크 개체들의 센싱 정보 교환과 전송 순서를 조정할 수 있는 2차 사용자의 통합 MAC 프로토콜이 필요하다. 그 외에도 인증(authentication), 보안(security)과 관련된 문제들을 해결해야 한다. 주파수 복귀(Relinquish): 2차 사용자가 사용하고 있는 스펙트럼을 반납하는 경우는 두 가지 경우이다. 첫 번째는 2차 사용자의 데이터 전송이 모두 끝났을 경우이고, 두 번째는 1차 사용자가 스펙트럼을 사용하려 하기 때문에 반납해야 하는 경우이다. 따라서 2차 사용자는 1차 사용자가 원할 경우 통신에 간섭을 주지 않기 위해 즉시 스펙트럼을 비워줘야 하며, 이를 위해 데이터 전송시에도 스펙트럼 센싱을 통해 1차 사용자를 계속 모니터링 해야 한다.

현재 Overlay 모델은 DARPA의 xG 프로젝트를 통해 군사용 주파수 대역에서의 활용 가능성을 보여 주었으며[10] IEEE 802.22 그룹에서는 TV 주파수 대역을 이용한 상업적 목적의 통신 서비스를 위한 표준을 진행 중에 있다[11].

4. 공유 (Commons)

지금까지 소개한 스펙트럼 관리 모델은 모두 스펙트럼에 대한 면허권을 인정하였다. 하지만 공유 모델에서는 특정 사용자에게 스펙트럼 사용에 대한 독점적 권한을 수여하지 않는다. 따라서 허가 받은 모든 기기들은 공유 모델 대역에서 자유롭게 통신할 수 있다. 이를 가리켜 스펙트럼 사용자들의 접속 권한이 모두 동등하기 때문에 수평적 공유(Horizontal sharing) 라고도 한다. 다음은 서로 다른 세가지 공유 모델에 대해 자세히 설명하겠다.

(1) Uncontrolled Commons

Uncontrolled commons 모델에서는 정부가 제시한 최소한의 조건(전송 전력, 에티켓)만 만족한다면 어떠한 기기도 공유 모델 대역에서 허가 없이 통신을 할 수 있다. 따라서 서비스의 자율성이 최대한 보장되는 사용자 중심의 스펙트럼 관리 모델이라고 할 수 있다. 현재 2.4GHz 대역의 산업, 과학, 의료 기기를 위한 ISM 밴드나 5GHz 대역의 U-NII 밴드가 uncontrolled commons로 관리되는 대표적인 주파수 대역이다. 사용자의 자율성을 최대한 보장해주는 uncontrolled commons 모델은 WLAN (Wireless Local Area Network), 블

루투스 등의 소출력 통신 기기 서비스 시장을 폭발적으로 성장 시켰지만 동시에 이로 인한 통신 기기들간의 간섭 문제가 심각하게 대두 되었다. 이러한 문제는 소유권이 명확하게 규정되어 있지 않은 공유자원(스펙트럼)의 과다사용으로 인해 생겨난 공공재의 비극(Tragedy of commons)[4]에 대한 결과라고 할 수 있다. 비록 이를 극복하기 위해 IEEE 802.11n와 같이 간섭 보호 기능을 포함하는 혁신적인 기술들이 개발 되고는 있지만, 간섭으로부터의 보호를 원천적으로 해결하지는 못하기 때문에 이를 관리자 측면에서 보호할 수 있는 규제의 필요성이 대두되고 있다.

(2) Managed Commons

Managed commons은 Uncontrolled commons에서 문제되고 있는 공공재의 비극을 해결하고자 제시된 스펙트럼 관리 모델이다[8]. Uncontrolled commons에서의 공공재의 비극은 사용자간의 스펙트럼에 대한 재산권(property rights)이 명확하게 확립돼 있지 않아 자원을 효율적으로 배분하지 못하기 때문에 생기는 문제이다. [13]에서는 이를 위해서는 비면허 대역에서의 통신 기기 및 서비스들간의 협력과 통제가 필요하다고 주장하였다. 즉 managed commons은 uncontrolled commons와 마찬가지로 서로 다른 기기들이 비면허 대역에서 사용의 대가 없이 스펙트럼을 이용하는 것은 같지만 다른 점은 통신 개체들이 경쟁이 아닌 협력을 통해 스펙트럼을 공유하는 모델이라고 할 수 있다. 따라서 managed commons는 서로 다른 통신 규격을 가지고 있는 기기들의 협력을 이끌어 내기 위해 어들을 제어할 수 있는 중심 개체(central entity)와 통합 관리 프로토콜, 관리 제도 개선 및 새로운 통신 에티켓이 필요하다. 모든 통신 시스템을 제어하는 중심 개체에 있어서는 FCC와 같은 정부 단체가 역할을 맡는 것이 가장 적합하지만 많은 경제학자들과 공학자들은 국가 기관은 공공의 이익을 대변하기 때문에 관리 정책 수립의 과정이 매우 느리고, 유연하지 못하기 때문에 시대 상황을 제대로 반영할 수 없고 따라서 기술 발전의 저해를 가져온다고 주장한다. [12,13]에서는 이에 대해서 공공의 자원인 스펙트럼의 접속에 있어서 공정한 경쟁을 이끌 수 있는 최소한의 정부 통제는 필요하지만, 더 이상의 통제는 산업계가 스스로 만들어 갈 수 있도록 관리제도를 개선해야 한다고 주장하였다.

통합 관리 프로토콜(Commons Management Protocol)은 통신 기기들의 다양한 전송 규격에 상관없이 모두를 제어할 수 있게 하는 가장 중요한 기술이다. [13]은 좋은 통합 관리 프로토콜이 되기 위한 조건들은 제시하였는데, 첫째로 기술 및 서비스, 비즈니스 모델의 혁신을 유도할 수 있어야 하고, 둘째로 스펙트럼의 접속시 발생하는 거래 비용 (transaction cost)을 줄일 수 있어야 한다고 언급하였다. 이때 거래비용이란 직접적으로 발생하는 금전상의 비용뿐만 아니라 다른 기기들과의 협력을 위해 부가적으로 발생하는 모든 간접비용을 일컫는다. 셋째로 기술의 진보 변화에 따라 유동적으로 수정 가능한 프로토콜이어야 한다는 것이고, 마지막으로 스펙트럼 접속에 있어서 사용자간에 공평성(fairness)를 항상 유지할 수 있는 프로토콜이어야 한다는 것이다. [13]에서는 이와 함께 managed commons 모델에서 통신 기기들을 분산 제어(distributed control) 할 수 있는 몇 가지 기초적인 규정들도 같이 제시하였는데, 각각은 다음과 같다. managed commons 에서 동작하는 모든 기기들은 전력 제어(power control)가 가능해야 하며 전력 제한 기준은 전체 협력 네트워크의 전력 총합의 형태로 규정되어야 한다. 모든 통신 기기들은 귀환 루프(feedback loop)를 통해 주변의 간섭을 제어할 수 있도록 송신과 수신이 모두 가능한 것이어야 한다. 다른 기기들과 스펙트럼 공유에 있어서 필요한 정보(동작 파라미터, 위치, 스펙트럼 정보 등)를 전송할 수 있어야 하며 특히 보안(security)과 인증(authentication)에 관련된 정보에 있어서는 신뢰성 높은 전송이 보장되어야 한다. 스펙트럼 접속에 있어서는 통신 시스템의 규격이 배제될 수 있는 경합 해결(Contention resolution) 방식에 따라 스펙트럼의 접속 권한을 수여해야 한다.

(3) Private Commons

Private commons은 FCC에서 주파수 2차 시장의 활성화와 기술 개발을 촉진시키고 이를 통해 스펙트럼의 접속 효율성을 향상시키고자 제안한 스펙트럼 공유 방식이다[6]. Private commons에서는 스펙트럼 면허권 소지자 또는 면허권 임차인이 스펙트럼 사용에 대한 모든 책임과 권한을 가진다. 따라서 Uncontrolled commons에서 스펙트럼의 접속 방식과 규제, 절차 등이 정부에 의해 제한되었던 것과는 달리, 스펙트럼 접속에 있어서 필요한 기술적인 조건(간섭 완화를 위

해 필요한 프로토콜, 센싱, 보안 등의 기술), 사용 절차 및 규제, 그리고 사용자 그룹 등의 세부조건들을 면허권 소지자나 임차인이 임의로 결정할 수 있다. FCC는 이에 대한 승인 절차를 간략화 하고 규제를 최소화 함으로써 스펙트럼 사용의 자율성을 최대한 보장하려고 한다. 그리고 이를 통해 통신 장애 현상이 심각한 혼잡 공유 대역(overcrowded commons bands)의 사용자 그룹을 흡수하고 따라서 간섭 완화를 유도하며, 면허권 소지자는 이들에게 적절한 스펙트럼 사용료를 부과하는 방식으로 주파수 2차 시장의 활성화를 기대하고 있다. 또한 무선 기기 제조업자와 하드웨어, 소프트웨어 개발자들에게도 스펙트럼의 소유권과 자유로운 활용 권한을 제공함으로써 산업계의 요구사항을 수용하고 이에 따른 다양하고 새로운 무선 통신 기술 개발과 발전을 기대하고 있다. 현재 FCC는 peer-to-peer 통신에만 private commons의 사용을 허가하도록 제한하였으며, 따라서 ad-hoc이나 mesh 네트워크를 중심으로 근거리 통신 시장에 private commons이 먼저 적용될 것으로 예상된다.

V. 결 론

지금까지 우리는 미래의 스펙트럼 관리 모델과 각 모델에서 필요로 하는 기술적 과제들에 대해 알아보았다. 이동통신 관련 산업이 발전함에 따라 전파 자원의 수요가 급증하여 스펙트럼의 경제적 가치는 계속적으로 높아지고 있다. 이에 따라 세계 주요국들은 각자 자국의 상황에 맞추어 전파법의 개편을 추진하고 있다. 이는 주파수의 가치가 높아짐에 따라 효율적인 스펙트럼 관리와 함께 기존의 정부 주도 방식의 할당방식을 벗어나 시장원리를 도입함으로써 주파수의 활용을 극대화하려는 노력으로 해석된다. 나라마다 조금씩의 차이는 있지만 주요 내용은 유희 면허 대역의 이용률 향상을 위해 스펙트럼의 소유권을 인정함으로써 거래 가능한 재화로 취급하여 시장원리에 따라 스펙트럼을 관리하려는 것과 기존의 비면허 대역에서 전파 간섭 현상의 문제점을 보완하기 위해 공유 모델에서의 접속 자율성을 보장하는 선에서 에티켓내지 관리 규제를 추가하는 것이다.

이에 따라 본 원고에서는 현재 스펙트럼 관리 모델이 가지

고 있는 한계점을 언급하고, 이를 바탕으로 미래 가능한 스펙트럼 관리 모델에 대해 논의 하였다. 많은 학자들은 보고서를 통해 궁극적으로 스펙트럼의 관리는 정부의 통제가 아닌 시장 원리와 선진 기술을 바탕으로 사용자간의 협력과 협의를 통해 관리되는 분산형(Distributed) 관리 시스템으로 이루어져야 한다고 주장한다. 하지만 경제학, 공학적인 입장에서 분산형 관리 시스템이 최적의 관리 시스템이라고 해도 스펙트럼은 국민의 자산으로 공공 자원으로써 활용되어야 하므로 변화의 선택을 신중히 할 필요가 있다.

즉, 앞으로 당분간은 스펙트럼 정책 결정을 위해 여러 스펙트럼 관리 모델이 공존하는 실험과 검토의 반복적인 논의 과정이 계속될 것이다. 이런 혼돈의 과정에서 현재의 주파수 정책 논쟁을 살펴보는 것은 DSM, DSA 기술 개발을 위해 매우 중요한 의미를 가진다고 생각한다.

저자는 이러한 과정 속에서 본 원고를 통해 스펙트럼 정책 변화의 흐름을 이해하고 올바른 예측을 바탕으로 정책 결정에 도움될 수 있는 많은 기술과 비즈니스 모델이 제안되기를 기대해 본다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Spectrum Policy Task Force, "Spectrum Policy Task Force Report," *Federal Communications Commission ET Docket 02-135*, 2002
- [2] IEEE P1900 Working Group, "Standard Definitions and Concepts for Spectrum Management and Advanced Radio Technologies," draft(v 0.23), Oct., 2006,
- [3] ITU, "The Evolution to 3G Mobile - Status Report," Jun., 2003 <http://www.itu.int>
- [4] G. Hardin, "Tragedy of the Commons," *Science*, vol. 162, pp. 1243-1248, 1968
- [5] FCC, "Promoting Efficient Use of Spectrum through Elimination of Barriers to the Development of Secondary Markets," *Report and Order and Further Notice of Proposed Rule Making, vol. WT Docket No. 00-230*, 2003
- [6] FCC, "Promoting Efficient Use of Spectrum through Elimination of Barriers to the Development of Secondary Markets," *Second Report and Order on Reconsideration and Second Further Notice of Proposed Rule Making*, 2004
- [7] Ofcom (2005). Spectrum Framework Review <http://www.ofcom.org.uk/consult/condocs/sfr/sfr2/sfr.pdf>
- [8] M. Buddhikot, "Understanding Dynamic Spectrum Access: Models, Taxonomy and Challenges," in *Proceedings of IEEE DySPAN2007*, Jun., 2007
- [9] B. Glover and M. Nekovee, "Dynamic Spectrum: Going Full Circle," in *Proceedings of IEEE DySPAN2007*, Jun., 2007
- [10] <http://www.darpa.mil/ato/programs/xg/>
- [11] IEEE 802.22, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard" *IEEE802.22-05/007r46*, Sep., 2005.
- [12] Y. Benkler, "Overcoming Agoraphobia: Building the Commons of the Digitally Networked Environment," *Harvard Journal of Law and Technology*, vol. 287, pp. 394-400, 1998.
- [13] W. Lehr and J. Crowcroft, "Managing Shared Access to a Spectrum Commons," in *Proceedings of IEEE DySPAN2005*, Oct., 2005
- [14] 김용규, 이명호, "스펙트럼 관리 정책의 변화와 그 시사점," *정보통신정책연구* 제13권 제1호 pp. 101-123, 2006년 3월
- [15] KTF, "해외 주요국의 주파수 정책 동향과 시사점," 2005년 5월
- [16] S. Delaere and P. Ballon, "Flexible Spectrum Management and the Need for Controlling Entities for Reconfigurable Wireless Systems," in *Proceedings of IEEE DySPAN2007*, Jun., 2007

- [17] V. Brik, et al., "DSAP: A Protocol for Coordinated Spectrum Access," in *Proceedings of IEEE DySPAN 2005*, Oct., 2005
- [18] <http://www.ist-drive.org>
- [19] http://www.comnets.rwth-aachen.de/~o_drive

약 력



전 형 석

2004년 동국대학교 전자공학과 (공학사)
2005년 한국정보통신대학교 공학부 (공학석사)
2005년 ~ 현재 한국정보통신대학교 공학부 박사과정
관심분야: Cognitive Radio, 통신 신호처리



이 혁 재

1970년 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1977년 Oregon State Univ., E.E. Dept. (공학석사)
1982년 Oregon State Univ., E.E. Dept. (공학박사)
1983년 ~ 2000년 한국전자통신연구원 무선방송연구 소장
2000년 ~ 현재 한국정보통신대학교 공학부 교수
관심분야: 4세대 이동 통신 시스템, SDR, Cognitive Radio

