

# 스펙트럼 및 무선자원 관리 기술 동향

Technology Trend of Spectrum and Radio Resource Management

네트워크 기술의 미래 전망 특집

김승희 (S.H. Kim)	스마트무선기술연구팀 책임연구원
김지연 (J.Y. Kim)	스마트무선기술연구팀 선임연구원
하정락 (J.L. Ha)	스마트무선기술연구팀 책임연구원
백승권 (S.K. Baek)	스마트무선기술연구팀 선임연구원
김진업 (J.U. Kim)	스마트무선기술연구팀 팀장

## 목 차

- .....
- I. 서론
  - II. 스펙트럼 관리 모델
  - III. 스펙트럼 및 무선자원의 효율적 이용 방식
  - IV. 표준화 및 기술 연구 동향
  - V. 결론

\* 본 연구는 지식경제부의 지식경제기술혁신 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [이동통신 무선집속 방식의 환경적응형 자율제어 기술 연구(2008-F-001-02)]

최근 주파수 자원에 대한 수요가 급증하면서 효율적으로 이용하기 위한 정책적·기술적 개선이 요구되고 있다. 기존까지의 정부 주도적인 명령과 통제 방식은 감소되고 시장 경제 원리를 도입한 시장 기반 방식과 주파수를 공유하여 다수의 이용자가 사용할 수 있도록 하는 공유 방식이 증가되고 있으며, 지능형 SDR 개념인 CR 기술이 등장하게 되었다. 본 논문에서는 스펙트럼 관리 현황과 문제점을 살펴보고, 차세대 융합통신 환경에 적합한 스펙트럼 관리 모델과 핵심 이슈들을 소개하였다. 또한 Beyond IMT-Advanced를 지향하는 CRS에서 제공되어야 할 것으로 전망되는 동적 스펙트럼 할당, 통합 무선자원 관리, 동적 스펙트럼 접속 등과 같은 스펙트럼 및 무선 자원의 효율적 이용 방식에 관한 표준화와 기술 동향에 대하여 기술하고자 한다.

## I. 서론

전파 자원은 공공재적 성격의 국가 자원으로써 사용할 수 있는 주파수 대역의 기술적 한계 및 선호 대역의 편중 현상으로 희소성이 존재하는 한정된 자원이다. 이동통신 사용자의 증가 및 광대역 이동 멀티미디어 서비스의 확산으로 전파 자원을 이용한 서비스 및 산업이 활성화되고 있으며 일상생활 전 영역에 걸친 다양한 분야로의 적용이 확산됨으로 인하여 조만 간에 심각한 부족 현상이 발생될 것으로 예상된다. 이에 따라 이와 같은 주파수 이용 환경 및 서비스 사용 패턴의 변화를 반영한 효율적인 관리와 활용 방식이 매우 중요한 정책적·기술적 현안으로 대두되고 있다.

현재 전 세계적으로는 기존까지의 정부 주도적인 명령과 통제(command & control) 방식이 감소되고 시장 경제 원리를 도입한 시장기반(market based) 방식과 주파수를 공유하여 다수의 이용자가 사용할 수 있도록 하는 공유(commmons) 방식의 채택이 증가되고 있는 추세이다. 이에 따라 경매, 임대·거래 제도나 기술·용도 중립성 개념을 적용하고자 하는 시도가 전개되고 있으며, 보다 유연하고 효율적으로 스펙트럼을 이용하고자 하는 CR 기술이 연구되고 있다.

본 논문에서는 스펙트럼 관리 현황과 문제점을 살펴보고, 차세대 융합통신 환경에 적합한 스펙트럼 관리 모델과 핵심 이슈들을 소개하였다. 또한 Beyond IMT-Advanced를 지향하는 CRS에서 제공되어야 할 것으로 전망되는 동적 스펙트럼 할당, 통합 무선자원 관리, 동적 스펙트럼 접속 등과 같은 스펙트럼 및 무선자원의 효율적 이용 방식에 관한 표준화와 기술 동향에 대하여 기술하고자 한다.

## II. 스펙트럼 관리 모델

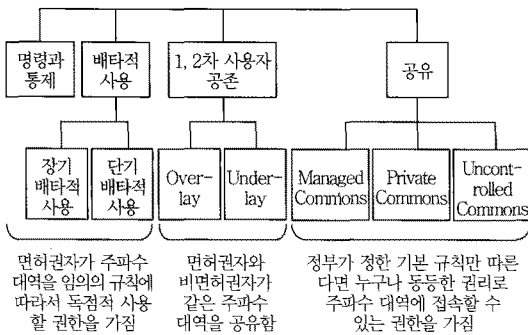
스펙트럼 관리의 목적은 서비스간의 통신 장애를 회피하기 위한 간섭 제어와 스펙트럼의 이용률 향상을 위한 효율적 활용 및 분배로 요약된다. 기존까지의 스펙트럼 수요가 공급을 초과하지 않는 상황에서는 간섭 제어에 초점을 맞추어 정부 주도로 스펙트럼의 사용 용도·주체·기술 등의 모든 사항을 일방적으로 결정하였다. 그러나 향후에는 휴대전화의 보편화와 광대역 통신시스템 개발과 대용량 이동 멀티미디어 서비스의 확산에 따른 주요 주파수 부족 현상이 예상되므로 많은 선진국에서는 국가적 차원에서 미래의 스펙트럼 관리에 대한 논의를 진행하고 있다. 본 장에서는 현재 사용되고 있는 스펙트럼 관리 모델 및 문제점을 살펴보고, 미래에 적합한 차세대 스펙트럼 관리 모델 및 이슈들을 소개하고자 한다.

### 1. 스펙트럼 관리 현황 및 전망

기존까지 사용되고 있는 스펙트럼 관리는 면허 기반과 비면허 기반의 관리 방식으로 분류할 수 있다. 면허 기반은 정부가 특정 주파수 대역에 대해 사용자에게 배타적 이용 권한을 부여하는 것으로, 정부의 주도 아래 스펙트럼의 용도 및 사용자가 결정되며 혼신 및 간섭 배제가 용이하나 시장정보 반영이 미흡한 명령과 통제 모델과, 주파수 할당시 스펙트럼의 재산권을 인정하고 경매와 같은 시장 원리를 통해 스펙트럼의 독점적 사용 권한을 부여하는 시장 기반 모델로 나눌 수 있다. 한편 비면허 대역 기반은 면허 대역 기반 방식과 달리 배타적 사용 권한을 인정하지 않으므로 누구나 스펙트럼을 사용할 수 있다. 신속한 서비스 개시 및 혁신적 주파수 사용은 용이하지만 서비스 품질 보장이 곤란한 공유 모델이 여기에 속한다[1].

요즘 나라마다 다소의 차이는 있지만 유희 면허 대역의 이용률 향상을 위해 스펙트럼의 소유권을 인정함으로써 거래 가능한 재화로 취급하여 시장 경제 원리에 따라 스펙트럼을 관리하거나, 비면허 대역에서는 간섭 문제를 보완하기 위해 공유 모델에서의 접속 자율성을 보장하는 선에서 에티켓 내지 관리 규제를 추가하고 있다. 또한 이와 더불어 기술 사용과 서비스 제공 및 스펙트럼 거래의 제약사항에 따른 문제점으로 인한 비효율성을 개선하고자 경매 및 임대·거래 제도를 활성화하고 기술·용도 중립성과 거래 단위의 세분화 등의 개념을 적용하는 것을 검토하고 있다.

그러므로 미국 FCC의 주파수 정책 변화의 흐름을 바탕으로 미래 가능한 스펙트럼 관리 모델을 살펴보면 (그림 1)과 같다. 즉, 미래에는 명령과 통제 및 공유 모델과 더불어 보다 유연하고 동적으로 스펙트럼을 할당하는 배타적 사용(exclusive use) 모델과 새롭게 대두된 CR 기술을 기반으로 면허권자의 주파수를 비면허권자와 공유하는 1·2차 사용자 공존(shared use of primary licensed spectrum) 모델이 포함되는 네 가지로 분류할 수 있다[2],[3].



(그림 1) 차세대 스펙트럼 관리 모델

## 2. 차세대 스펙트럼 관리에서의 주요 이슈

현재 활발히 논의되고 있는 시장기반의 관리 모델

에서는 전파 자원의 효율적 배분과 시장 경쟁 활성화를 위하여 경매 기반 주파수 할당 제도, 시장 경쟁 촉진과 주파수 이용의 효율 증진 및 진입 장벽 해소를 위한 임대·거래 제도, 주파수의 효율적 이용 및 신규 서비스 수용을 위한 회수·재배치, 기술·용도 중립성에 따른 유연성이 향상되거나 간섭 문제 해소의 제도적 구축이 필요한 주파수 이용 자유화 등이 주요 이슈로 부각되고 있다[4].

- 경매(auction)는 스펙트럼 할당의 효율성 측면과 정부의 재정 수입 측면에서 장점을 갖고 있는 제도로서, 상업용 스펙트럼의 경우 경매를 통하여 초기 할당시 사업자가 위험을 부담하도록 하여 규제기관과 민간의 정보 비대칭성 문제를 해소하고 시장이 스스로 최적의 이용자를 선별할 수 있도록 한다. 이와 같이 경매는 스펙트럼의 가치를 가장 잘 파악할 수 있는 민간 사업자가 스펙트럼 할당 대가를 제시한다는 점에서 자원의 효율적 배분과 할당 과정의 투명성을 달성해 온 것으로 평가되고 있으나 자금력이 큰 사업자가 전파 자원을 독점할 우려가 있으며 경매 대금이 이용요금으로 전가될 가능성이 있다는 문제점이 지적되고 있다. 경매제는 이동통신 및 방송 등과 같이 주파수를 필요로 하는 시장 수요가 증가함에 따라 유럽이나 미국에서는 이미 많이 사용되고 있다.
- 임대(leasing)·거래(trading)는 2차 시장에서 스펙트럼 이용자간에 스펙트럼 이용권이 이전 가능한 제도로서, 스펙트럼의 임대 및 거래를 허용하여 할당 시의 문제점을 시장 스스로가 일부 시정하도록 하고 수요 변화에 따른 대응이 원활히 이루어지도록 한다. 이를 도입하려면 스펙트럼 이용권에 대한 정의, 권리와 의무에 대한 명확한 규정, 스펙트럼 거래와 자유화에 따른 전파 간섭 관리 제도의 수립 등이 선행되어야 한다. 거래의 형

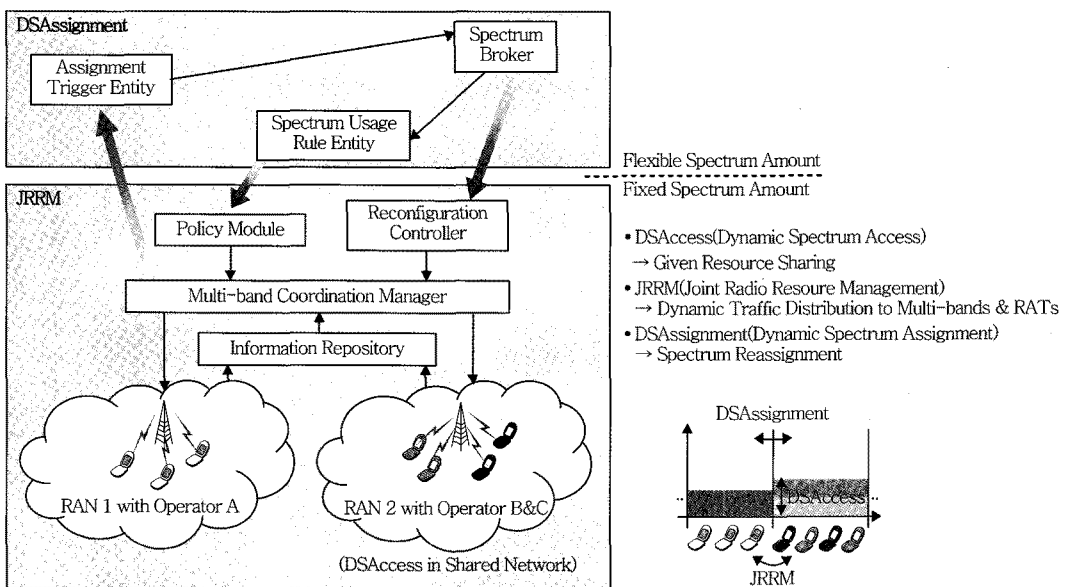
대는 주파수 이용권 이전을 포함하여 용도 변경 및 재설정의 허용 여부 등을 고려하여야 하며 주파수의 효율적 이용, 기술 혁신 및 경쟁의 촉진, 주파수 가치에 대한 정보 제공 등의 장점이 있으나 주파수 매집과 같은 부작용을 가져올 수도 있다.

- 회수·재배치(redeployment, refarming)는 저 활용되고 있는 주파수의 효율적 이용 또는 신규 서비스를 수용하기 위하여 행정적·재무적·기술적 방식을 통하여 특정 주파수 대역의 기존 이용자나 무선 통신기기들을 제거하고 재배치하는 것을 의미한다. 전 세계적으로 아날로그 방송의 디지털 전환에 따른 잉여 주파수(digital dividend)에 대한 활용 방안이 이슈가 되고 있다.
- 자유화(liberalization)는 일반적으로 주파수 이용권에 대한 제약을 없애는 것을 의미하며, 주파수 분배나 할당시 서비스 및 기술에 대한 제약사항을 완화하여 주파수 사용자가 자유로운 서비스를 제공받을 수 있도록 하기 위한 기술·용도 중립성(technology/usage neutrality) 개념을 포함한다.

다. 기술 중립성이란 주파수 이용자에게 기술의 결정 및 변경 권한을 부여하여 주파수 이용자의 판단에 따라 시장 논리에 근거한 기술로 서비스 제공이 가능하도록 하는 것이다. 궁극적으로 간섭을 최소화 할 수 있는 일정 수준의 기술조건을 만족하면 어떤 기술도 사용이 가능하도록 한다는 것을 의미한다. 또한 용도 중립성이란 주파수 이용자에게 용도의 결정 및 변경 권한을 부여하며, 국제 분배 또는 각국의 분배 허용 범위 내에서 용도의 선택이 가능하도록 한다는 것을 의미한다.

### III. 스펙트럼 및 무선자원의 효율적 이용 방식

한정적인 스펙트럼 자원에 대한 수요가 공급을 초과하는 부족 현상이 머지 않아 발생될 것으로 예상되므로 희소성으로 인한 가치가 점차 높아지고 있는 스펙트럼 자원을 합리적으로 분배하고 효율적으로 활용해야 할 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 관리자(regulator) 중심의 정적인 방식으로부터 탈피하여



(그림 2) 스펙트럼의 효율적 이용 방식

시장 지향적·사용자 중심적인 유연하고 동적인 방식으로 스펙트럼 관리 방식에서의 변화가 전개되고 있으며, 정책적 제도 보완과 기술적 발전의 조화로운 진행을 위한 새로운 스펙트럼 관리 방안 및 기술적 접근 방식이 활발히 논의되고 있다.

본 장에서는 스펙트럼 할당 및 운용 과정의 주체인 관리자, 사업자(operator), 사용자 각각의 역할 및 서로간의 관계를 고려하여(그림 2)와 같이 CRS에서 제공되어야 하는 핵심 기술에 대하여 살펴보고자 한다. 특히 스펙트럼 및 무선자원의 효율적인 이용을 제공하기 위하여 동적으로 유연하게 스펙트럼 할당량을 조정하는 동적 스펙트럼 할당(dynamic spectrum assignment), 다양한 무선접속 네트워크간에 트래픽 부하를 균등하게 분배하는 통합 무선자원 관리(joint radio resource management), 유니버설 접속이나 기회적인 주파수 공유에 의한 동적 스펙트럼 접속(dynamic spectrum access) 방식 등에 대하여 기술하고자 한다[5].

## 1. 동적 스펙트럼 할당

기존까지는 엄격한 규제와 장기간의 독점적 배타적으로 스펙트럼을 할당함으로써 인하여 스펙트럼이 비효율적으로 사용되어 왔다. 그러므로 이와 같은 현재의 스펙트럼 관리 방식을 그대로 유지한다면 조만간에 새로운 서비스를 도입하거나 기존 서비스를 확장하기 위하여 요구되는 스펙트럼을 할당할 여유가 없게 될 것이다.

동적 스펙트럼 할당이란 관리자와 사업자 사이의 법률적인 스펙트럼 할당 과정에서 효율적으로 자원을 분배하고자 유연성을 주는 방식이다. 현재의 스펙트럼 이용 환경에 적합하도록 해당 사업자의 주파수 용량을 유연하게 변화시킴으로써 사업자 간의 스펙

트럼 경계를 이동시키는 것으로, 경매, 거래·임대, 회수·재배치 또는 스펙트럼브로커(spectrum broker)를 통한 스펙트럼 교환방식 등이 사용될 수 있다. 이와 같은 스펙트럼 자원의 동적인 할당을 위해서는 현재의 스펙트럼 이용 현황을 정확히 측정하고 설정된 타당한 규정을 토대로 하여 사업자간의 스펙트럼 할당량을 조정해야 한다. 즉, 관리자가 현재의 스펙트럼 할당 및 사용 현황을 고려해서 동적으로 스펙트럼을 할당할 수도 있지만 사업자들이 스스로 알아서 능동적으로 정해진 기준을 만족하는 범위 내에서 스펙트럼브로커를 통해 교환하는 방식도 가능하다.

이와 같은 동적 스펙트럼 할당 방식은 단일 사업자에 대한 시나리오와 다중 사업자에 대한 시나리오로 분류할 수 있다. 단일 사업자에 대한 시나리오에서는 하나의 사업자가 다중 주파수 대역과 다수의 RAN을 보유한 환경에서 RAN 간에 주파수 대역 분배의 유연성을 가지도록 하는 것이다. 기존까지의 배타적 독점적인 스펙트럼 할당에 비해 효율성을 향상시킬 수 있으며 RAN에서의 재구성이 요구된다. 또한 다중 사업자에 대한 시나리오에서는 다중 주파수 대역이 다중 사업자에게 배정된 것으로 사업자들간에 이러한 주파수 대역을 임대하고 공유하는데 유연성을 제공하며 각 사업자는 자신에게 배정된 주파수 대역을 관리하고 스펙트럼 사용에 있어서 사업자들간의 최적화를 기하며 조화로운 사용을 유지하도록 다른 사업 자들과 서로 협상할 수 있다.

## 2. 통합 무선자원 관리

이종 무선접속 네트워크들이 IP 기반으로 통합되고 이러한 네트워크들간에 서비스 커버리지가 중첩되어 운영되는 융합통신 환경에서 다중 무선접속 인터페이스 단말을 가진 사용자는 동시에 여러 무선접

속 네트워크에 접속하거나 다양한 무선접속 네트워크 중에서 최적인 네트워크를 선택하여 지속적으로 끊임 없는 서비스를 제공받을 수 있게 될 것이다.

이러한 상황에서 무선자원 사용 최적화를 위한 부하 분배(distributed radio resource usage optimization)를 제공하기 위한 통합 무선자원 관리란 다중 RAT 및 다중 대역에 할당된 스펙트럼 자원을 하나의 자원 풀(resource pool)과 같이 통합 관리하여 전체적인 시스템 차원에서 트래픽을 효율적으로 분배하는 것이다[6].

사용자들이 특정한 무선접속 네트워크로 집중됨으로 인해 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 사용자 트래픽 부하가 집중된 네트워크로부터 트래픽 수용에 여유가 있는 주변의 네트워크로 이동시켜 트래픽 부하를 무선접속 네트워크들간에 적절히 분배시킨다. 즉, 통합 무선자원 관리는 네트워크 가용 자원, 인터페이스별 신호세기, 비용 등을 고려하여 사용자에게 가장 적합한 네트워크를 선택하도록 지원한다. 그리고, 네트워크의 가용 자원이 부족하여 새로운 사용자로부터의 요청을 처리하지 못할 경우 기존 사용자를 주변의 사용 가능한 네트워크로 이동시켜 발생하는 가용 자원을 확보하여 새로운 사용자의 요청에 대한 수락 가능성을 증가시켜 시스템 성능을 향상시킨다. 이러한 네트워크 차원에서의 단말에 대한 강제적인 버티컬 핸드오버(forced vertical handover) 요구시 단말에서는 필요에 따라 재구성 기능이 수행되어야 한다.

동적 스펙트럼 할당이 관리자 레벨에서 여러 대역의 할당량을 현재의 상황에 알맞게 조정하고 네트워크를 재구성해서 스펙트럼 자원을 효율적으로 활용하고자 하는 것인 반면에, 통합 무선자원 관리는 여러 대역에 할당된 고정된 무선자원 내에서 사용자 레벨에서 사용자들을 효과적으로 분배시킴으로써 스펙트

럼 자원의 이용 효율성을 높이고자 하는 것이다.

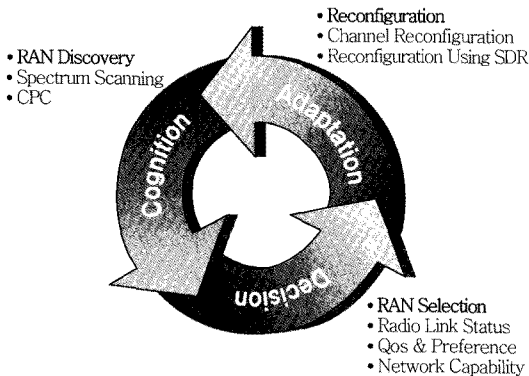
### 3. 동적 스펙트럼 접속

동적 스펙트럼 접속이란 주어진 스펙트럼 자원을 여러 사업자의 사용자들이 공유하여 동적으로 스펙트럼에 접속해서 서비스를 제공받도록 함으로써 공학적인 측면에서 스펙트럼의 이용 효율성을 높이고자 하는 방식이며, 현재 가장 활발하게 연구되고 있는 분야이다. 주어진 자원을 배타적으로 사용할 경우 충분히 활용되지 못하고 낭비될 수도 있는 스펙트럼을 비면허 가입자인 2차 사용자로서 다른 사업자의 사용자와 공유하는 언더레이(underlay) 방식의 UWB 나 오버레이(overlay) 방식의 CR, 또는 다중 무선접속 네트워크가 공존하는 융합통신 환경에서 면허 대역을 사용하는 1차 사용자로서 항시적으로 최적의 RAT/채널을 탐색 및 선택하여 언제 어디서나 사용자 중심의 맞춤형 서비스를 제공하는 유니버설 접속(universal access) 방식에 대하여 중점적으로 살펴보고자 한다[7].

언더레이 방식의 주파수 공유는 2차 사용자가 1차 사용자의 통신 장애를 일으키지 않도록 매우 낮은 송신 전력으로 통신하여 1·2차 사용자가 동시에 주파수를 공유한다. 하지만 2차 사용자는 1차 사용자에게 미치는 간섭까지 고려해야 하므로 많은 제약조건 하에서 통신하게 된다. 즉, 잡음 레벨보다 낮은 전력으로 통신해야 하므로 활용 측면에 있어서 단거리의 고용량 데이터 전송 서비스에 국한되는 한계점을 가진다. 또한 오버레이 방식은 앞서 언급한 언더레이 방식과 마찬가지로 1차 사용자의 주파수 대역을 2차 사용자가 면허권 없이 사용한다는 공통점이 있지만 두 사용자가 동시에 사용하지 않고 오직 1차 사용자가 주파수를 사용하지 않을 때에만 사용할 기회를 갖는 기

회주의적인 주파수 이용 방식으로서 일반적으로 CR 이라고 알려져 있다. 오버레이 방식도 역시 면허권을 가지고 있는 1차 사용자의 통신 서비스에 장애를 주지 말아야 하며, 2차 사용자는 지속적으로 1차 사용자가 사용하지 않는 대역(white space)을 찾아서 확보하고 있어야 한다.

한편, 유니버설 접속은 다중 무선접속 네트워크들이 상호 연동하며 협력하고 동적 주파수 사용이 가능한 CWN 환경에서 최적의 RAT/채널을 탐색 및 선택하여 사용자 중심의(user-centric) 무선접속 서비스를 제공하는 것을 의미한다. (그림 3)과 같이 주변 환경을 인지하고(cognition), 인지된 결과들을 이용하여 판단하며(decision), 상황에 적응하도록 하는(adaptation) 동작 절차를 통하여 수행된다. 이에 따라 사업자에게는 스펙트럼 및 무선자원 사용의 최적화를 제공하게 되며, 서비스 및 통신 환경에 적합한 네트워크의 선택을 통하여 사용자에게 향상된 QoS를 제공할 수 있게 된다.



(그림 3) 유니버설 접속의 동작 절차

#### IV. 표준화 및 기술 연구 동향

기존까지는 엄격한 규제와 장기간의 독점적 배타적으로 스펙트럼을 할당함으로써 비효율적으로 사용되어 왔으며, 특히 군사적 또는 공공안전 분야에

배정된 주파수 이용률은 극히 미미하였다. 이동통신에서의 주파수 이용률은 이에 비하여 상대적으로 높기는 하지만 시·공간에 따라 변화하는 트래픽 특성을 스펙트럼 관리에 적절히 반영하지는 못하고 있는 실정이다. 최근 이와 같은 문제점을 개선하기 위한 유연하고 동적인 스펙트럼 할당 및 기회주의적인 스펙트럼 공유와 같은 스펙트럼과 무선자원 관리에 대한 관심이 집중되고 있다. 본 장에서는 현재 추진되고 있는 표준화 및 기술 연구 동향을 살펴봄으로써 차세대 융합통신에서의 바람직한 스펙트럼 관리 방식을 정립하고 주요 이슈에 관한 연구 내용과 추진 전략을 살펴보고자 한다.

#### 1. 표준화 동향

ITU-R WP1B 및 WP5A/WP5D, IEEE SCC 41, P1900, IEEE 802.22 WRAN 등에서 수행되고 있는 스펙트럼 및 무선자원 관리에 관한 표준화 동향은 다음과 같다.

- 무선통신을 위한 효율적인 스펙트럼 이용에 대한 기대로 인하여 ITU-R에서도 CR 기술의 표준화를 위한 연구가 진행되고 있으며, WRC-07에서 WRC-12 의제 1.19로 채택된 SDR/CR 기술 이용을 위한 규제의 필요성, IMT 외의 육상이동 업무 내에서의 CR 기술 이용, IMT 시스템에서의 CR 기술 이용 등에 관한 사항이 연구되고 있다 [8].

WRC-12 의제 1.19는 주파수 계획 및 스펙트럼 공유 원칙과 기술을 다루는 ITU-R WP1B가 담당한다. 규제를 중점적으로 다루는 이 작업반에서는 CR이 어느 업무에나 적용 가능한 기술로 CR을 이용한 시스템은 운용 대역에 대해 전파 규칙에서 명시한 규정들을 모두 준용하며 운용되어야

할 것이라는 데 동의하였으며, CR 규제 연구에 있어서 필요한 기술에 관한 사항은 다른 작업반과의 협력을 통하여 진행하고 있다.

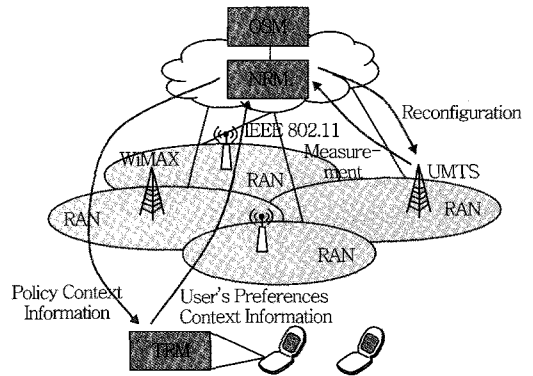
한편 ITU-R WP5A에서는 이동통신 시스템의 급속한 발전에 따라 효율적인 스펙트럼 사용의 중요성이 부각되고 있으며, CR 기술 이용으로부터의 이득에 대한 기대 속에 IMT 외의 육상이동 업무를 위한 CR 시스템에 관한 연구과제가 채택되었다. 이에 따라 CR 시스템 정의, CR 관련 기술과 CR 기술간 연관성, CR 시스템 구현에 있어서 중요한 기술적 특성과 요구사항 및 장점, CR 시스템의 응용 및 스펙트럼 관리에 미치는 영향, 보안 및 인증과 같은 CR 시스템에서의 운용상 고려사항, 기존 시스템과의 공존을 가능하게 할 수 있는 인지 능력, CR 시스템이 스펙트럼의 효율적인 사용에 기여할 수 있는 방법 등에 관한 연구를 수행하고 있다[9].

이와 더불어 ITU-R WP5D에서는 초기 연구 단계로서, IMT-Advanced 이후의 무선이동통신 시스템은 다양한 이종 무선접속 네트워크로 구성되므로 CR 기술이 IMT 시스템에 적용되면 복잡한 네트워크 접속 환경에서의 유연성을 증가시키며 최적의 무선접속 방식을 선택하여 통신하게 함으로써 전체적인 성능 향상의 효과를 얻을 수 있을 것이라고 기대하고 있다. 현재 연구 범위를 확정하고 IMT 시스템으로의 CR 기술 적용에 있어서 수반되어야 하는 고유한 이슈에 관한 연구를 진행중이나 그다지 활성화되지는 못하고 있는 상황이다[10].

- IEEE SCC 41 P1900에서는 다수의 무선이동 네트워크가 운영되는 (그림 4)와 같은 CWN 환경에서 CWN의 성능 및 QoS 향상, 효율적인 무선자원 사용, RAN과 단말에서의 재구성 및 컨텍

스트(context) 정보 수집, 분산 결정(distributed decision making) 방식을 위한 네트워크와 단말 간의 정보 교환 절차에 대한 네트워크 구조와 기능 및 절차를 제안하였다[11].

CWN 환경은 다수의 사업자 및 다양한 이종 RAN이 공존하고 상호 연동되며 다중모드(multi-mode) 혹은 멀티호밍(multi-homing) 기능을 가진 CR 단말들로 구성된다. 네트워크에서는 NRM의 동적 스펙트럼 할당을 제어하는 OSM 기능과 스펙트럼 사용의 최적화를 위해 CWN 및 CR 단말을 관리하는 NRM 기능을 수행하고, 단말에서는 스펙트럼 사용의 최적화를 위해 CR 단말을 제어하는 TRM 기능을 수행한다.



(그림 4) IEEE P1900.4에서의 CWN 환경

- IEEE 802.22 WRAN에서는 최초로 국제적인 CR 기술 관련 표준화를 추진하였으며, 면허 가입자에 대한 비간섭을 전제로 TV 화이트스페이스 대역을 활용한 WRAN 시스템을 개발하고자 시작되었다. 800MHz 이하 TV 방송 주파수 대역에서 단일 규격에 의한 면허 사용자와 비면허 사용자간 주파수 공유를 위한 PHY/MAC 기술 규격의 표준화 작업을 수행하였다. WRAN 통신기기에서는 기존의 TV 대역 사용자에게 간섭을 주지 않고 채널을 사용해야 하므로 기존 사용자가 채



널을 사용하고 있는지를 주기적으로 센싱하는 기능이 필수적으로 요구된다[12].

이와 더불어 IEEE 802.16h TG를 중심으로 TV 화이트스페이스를 활용하려는 기술적인 검토가 진행되고 있으며, IEEE 802.11에서도 SG가 결성되어 기술적인 분석을 시작하였고, IEEE 802.19 산하의 SG에서는 TV 화이트스페이스 상호공존성에 대한 연구가 진행되고 있다. 이와 같이 다양한 IEEE 802 계열에서 TV 화이트스페이스 대역을 이용한 PHY/MAC 계층 프로토콜 연구를 진행중이다.

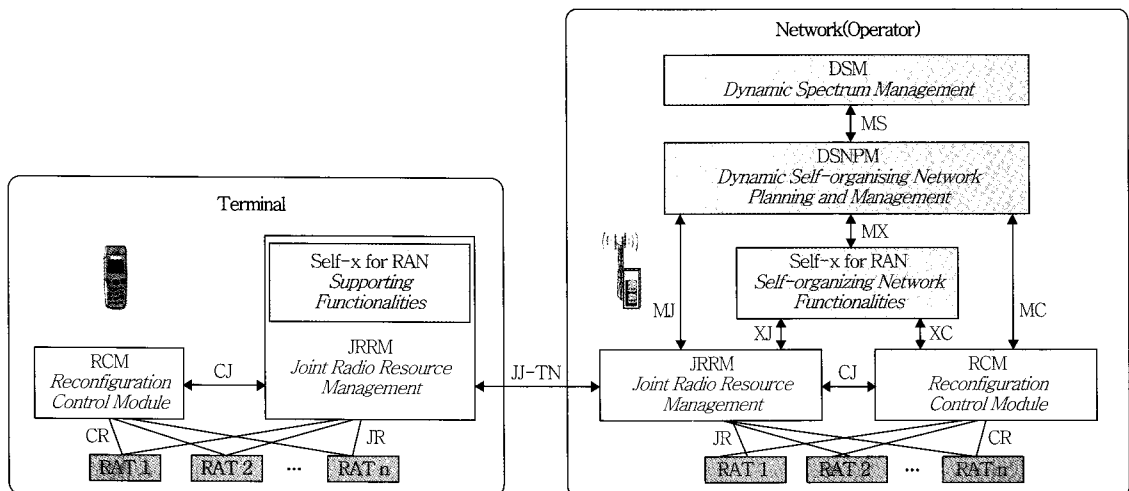
## 2. 기술 동향

E2R/E3, DRiVE/OverDRiVE, DIMSUMNet 프로젝트 등에서 수행되고 있는 스펙트럼 및 무선자원 관리에 관한 기술 동향은 다음과 같다.

- E2R 프로젝트에서는 주파수 사용의 효율성 증대를 위한 FSM과 다양한 RAT이 공존하는 상황에서 단말이 최적의 RAT를 신속하게 선택할 수 있도록 정보를 제공하는 CPC 개념을 연구하였다.

CPC란 단말이 주변의 사용 가능한 무선접속 기술, 주파수 대역 등의 스펙트럼 이용 환경에 대한 정보를 얻을 수 있도록 네트워크에서 제공되는 파일럿 채널로 out-band CPC와 in-band CPC 및 이들의 단점을 보완한 combined CPC 방식으로 분류할 수 있다. 이에 따라 단말에서는 서비스 지역에서의 사업자별 사용 가능한 RAT 및 주파수 정보 등에 관한 CPC 정보를 이용하여 보다 짧은 시간과 적은 전력 소모로 사용자에게 최적의 RAT/채널을 탐색 및 선택할 수 있게 된다.

E2R의 후속으로 수행된 E3 프로젝트에서는 기존까지의 단일 주파수 대역에서 단일 RAT을 사용하여 몇몇 서비스를 제공하던 방식에서 탈피하여 다중 주파수 대역에서 다중 RAT들 중에서 자유롭게 최적의 것을 선택하여 다양한 이동 멀티미디어 서비스를 제공하고자 한다. 다중 RAT 환경에서의 단일 사업자인 경우를 고려한 E3에서의 CWS 기능 구조는(그림 5)와 같다. DSM, DSNPM, JRRM, RCM 등의 구성요소로 이루어지며 이들 간의 인터페이스를 정의하고 있다. 기존까지의 단일 RAT 또는 다중 RAT을 보유한 단일 사업

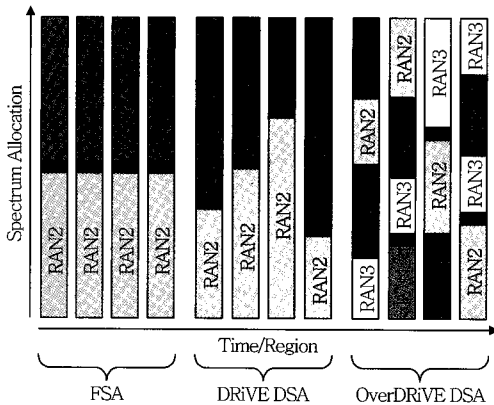


(그림 5) E3에서의 CWS 기능 구조

자 관점에서의 연구를 주로 진행하였으며, 향후에는 다중/메타 사업자 관점까지를 고려하는 방향으로 범위가 확대되고 있다[13].

- DRIVE/OverDRIVE 프로젝트에서는 다중 무선 접속 네트워크 환경에서 시·공간적 동적 스펙트럼 할당을 통한 용량 이득을 얻을 수 있는 방식을 제시하였으며 스펙트럼 할당 개념은 (그림 6) 과 같다.

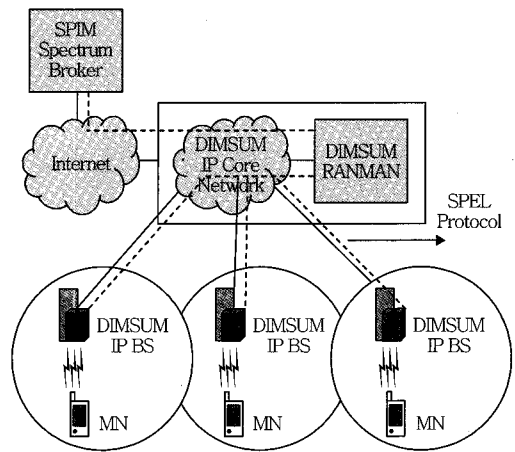
DRIVE 프로젝트에서는 각 RAN 별로 일련의 스펙트럼 블록을 할당하였으며 상호공존을 위해 보호 대역에 의하여 분리되고 부하 이력 및 예측 기법을 이용하여 인접한 RAN에 할당되는 스펙트럼 블록의 폭이 변경되는 Contiguous DSA 방식을 제시하였다. 또한 OverDRIVE 프로젝트에서는 스펙트럼 효율성을 향상시키기 위하여 인접한 RAN에서는 여유 스펙트럼을 제공할 수 없으나 다른 RAN에서는 제공 가능한 경우까지를 고려하여 임의의 RAN에서 사용 가능한 스펙트럼 블록을 동적으로 할당 가능하도록 하였다. 하지만 스펙트럼 할당의 최적화 및 제어가 복잡하고 어려운 문제점을 가진다[14].



(그림 6) DRIVE/OverDRIVE에서의 DSA 방식

- DIMSUMNet 프로젝트에서는 셀룰러 네트워크, 고정 무선 네트워크 및 메시 네트워크 등으로 구

성된 통신환경에서의 Coordinated DSA 모델을 제시하였다. 스펙트럼브로커 및 CAB 기반의 동적 스펙트럼 할당을 위한 DIMSUMNet 구조는 (그림 7)과 같으며, centralized & regional 네트워크 레벨의 중개 메커니즘을 사용하고 SPIM Broker, RANMAN, DIMSUM-BS, DIMSUM-Client 등의 기능요소로 구성된다[15].



(그림 7) DIMSUMNet 구조

스펙트럼브로커에서는 영구적으로 CAB 스펙트럼을 소유하고 요구에 따라 일정시간 동안 임대를 허용하며 개별적인 무선접속 네트워크나 사용자에게 CAB 스펙트럼을 할당한다. CAB이란 스펙트럼 임대 방식에 따른 단기적으로 사용 가능한 면허 대역으로서, automated machine-driven 프로토콜을 통하여 스펙트럼 할당이 수행된다. 이에 따라 장기적이고 배타적인 소유권을 가지는 기존의 면허 대역이나 임대가 요구되지 않는 비면허 대역의 ISM 또는 U-NII와 차별성을 가진다. CAB 사용시 네트워크 사업자에 의하여 CAB의 스펙트럼 할당이 요구되며, 기지국과 단말간 단방향 SPI가 사용되는 간단한 방식과 기지국과 단말간 양방향 SPI가 사용되는 다소 복잡하나 보다 진보된 방식으로 나눌 수 있다.

그리고, DIMSUMNet 스펙트럼 할당 모델에 의하면 스펙트럼 예약 유형(advanced vs. online), 인프라식별자(BS, RANMAN, provider ID, BS location), 임대 관련 세부사항(spectrum amount, spectrum location, primary vs. secondary status, duration) 등으로 구성된 입력 파라미터가 수신되어 네트워크 상태(utilization, current load, interference temperature), 공간 표시 데이터 구조 및 스펙트럼 할당 정책을 이용한 동적 스펙트럼 할당 알고리즘이 구동되면, 그 결과로서 할당되어질 스펙트럼 용량, 위치, 최대 전송 출력, 임대 기간, 가격 등의 출력 파라미터가 산출되도록 한다.

## V. 결론

멀티미디어 이동통신 서비스 사용 및 무선 인터넷 트래픽의 급속한 증가와 다양한 분야에서의 전파 이용이 확산되면서 조만 간에 많은 국가에서 주파수 부족 현상이 발생할 것으로 예상되고 있다. 본 논문에서는 이러한 변화에 적절히 대응하기 위하여 제안되고 있는 스펙트럼 관리 모델을 소개하고 스펙트럼 및 무선자원의 효율적 이용 방식에 관한 표준화와 기술 연구 동향에 대하여 살펴보았다.

최근 세계 주요국에서는 주파수 이용에 관하여 시장 경제 원리와 자율성을 많이 부과하고, 스펙트럼 및 무선자원 관리에서 유연성과 효율성을 향상시키는 방향으로의 연구를 추진하고 있다. 그러므로 우리나라에서도 이와 같은 스펙트럼 관리 패러다임의 변화를 반영하여 국내 상황에 적합한 스펙트럼 관리 체계를 모색하고 주요 정책적·기술적 이슈에 대한 솔루션을 마련해야 할 것이다. 특히 차세대 융합통신 환경에서의 스펙트럼 및 무선자원의 효율적인 이용 방식

인 동적 스펙트럼 할당, 통합 무선자원 관리 및 동적 스펙트럼 접속 기술 등을 선도적으로 연구하여 Beyond IMT-Advanced를 지향하는 CRS에서의 중추적인 역할을 수행하도록 해야 할 것이다.

### ● 용 어 해 설 ●

**인지무선시스템(CRS):** 주변 환경과 설정된 정책에 대한 정보 및 사용 패턴과 사용자 요구조건 등을 모니터링하고, 수집된 정보를 이용하여 미리 정해진 목표를 달성하기 위하여 자율적으로 판단하고 시스템의 동작 파라미터와 프로토콜을 변경하며, 그 동작 결과를 학습하여 시스템 성능을 향상시킬 수 있는 시스템이다. SDR 기반의 재구성 가능한 라디오와 지능형 관리시스템의 기능이 포함되어 구성된다.

**유니버설 접속(UA):** 다양한 이종 무선접속 네트워크가 상호 연동하여 동작하는 융합통신 환경에서 사용자의 QoS·선호도·비용 및 네트워크의 상태·특성 등이 반영된 다중 속성을 기반으로 최적의 RAT/채널을 탐색 및 선택하여 언제 어디서나 상황에 적합한 무선접속 서비스를 제공하는 기술이다.

## 약어 정리

CAB	Coordinated Access Band
CPC	Cognitive Pilot Channel
CR	Cognitive Radio
CRS	Cognitive Radio System
CWN	Composite Wireless Network
CWS	Cognitive Wireless System
DIMSUMNet	Dynamic Intelligent Management of Spectrum for Ubiquitous Mobile Access Network
DRiVE	Dynamic Radio for IP Services in Vehicular Environments
DSA	Dynamic Spectrum Allocation
DSM	Dynamic Spectrum Management
DSNPM	Dynamic Self-Organizing Network Planning & Management
E2R	End-to-End Reconfigurability
E3	End-to-End Efficiency
FCC	Federal Communications Commission
FSM	Flexible Spectrum Management
IMT	International Mobile Telecommunication
ISM	Industrial, Scientific & Medicine

JRRM	Joint Radio Resource Management
NRM	Network Reconfiguration Manager
OSM	Operator Spectrum Manager
OverDRiVE	Spectrum Efficient Unicast & Multicast Services over Dynamic Multi-Radio Networks in Vehicular Environments
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RCM	Reconfiguration Control Module
SCC	Standard Coordination Committee
SDR	Software Defined Radio
SPI	Spectrum Information Channel
TRM	Terminal Reconfiguration Manager
UA	Universal Access
U-NII	Unlicensed National Information Infrastructure
UWB	Ultra Wideband
WRAN	Wireless Regional Area Network
WRC	World Radiocommunication Conference

### 참고 문헌

- [1] 여재현, “주파수 공유정책 현황 및 시사점-CR을 중심으로,” KISDI 이슈 리포트, ISSN 1976-9733, 2008년 8월.
- [2] M. Buddhikot, “Understanding Dynamic Spectrum Access: Models, Taxonomy and Challenge,” In Proc. of IEEE DySPAN 2007, June 2007.
- [3] 전형석 외, “미래의 스펙트럼 관리 정책과 동적 스펙트럼 관리 기술이 나아가야 할 방향,” 한국통신학회지, 제24권 제9호, 2007년 9월.
- [4] 김용규 외, “스펙트럼 관리 정책의 변화와 그 시사점,” 정보통신정책연구, 제13권 제1호, 2006년 3월.
- [5] ETRI, “스펙트럼 자원의 효율적인 활용 방안 연구,” KAIST 위탁과제 최종 연구보고서, 2010년 1월.
- [6] 이경원 외, “이기종 무선망의 통합 자원관리를 위한 효율적인 네트워크 선택과 버티컬 핸드오버 알고리즘,” 정보과학회논문지, 제38권 제3호, 2009년 6월.
- [7] ETRI, “이동통신 무선접속 방식의 환경적응형 자율 제어 기술 연구,” 단계보고서, 2010년 1월.
- [8] 이해영, “ITU-R의 CR 기술 표준화 동향,” TTA Journal, No.124, 2009년 7월.
- [9] ITU-R WP5A, “Working Document towards a Preliminary Draft New Report ITU-R[LMS. CRS],” Document 5A/TEMP/224-E, May 2010.
- [10] ITU-R WP5D, “Working Document towards a Preliminary Draft New Report ITU-R M.[IMT-CRS],” Document 5D/TEMP/364-E, June 2010.
- [11] Soodesh Buljore et al., “Architecture and Enablers for Optimized Radio Resource Usage in Heterogeneous Wireless Access Networks: The IEEE 1900.4 Working Group,” IEEE Commun. Mag., Jan. 2009.
- [12] 김창주, “Cognitive Radio 기술 동향,” 전자통신동향분석, 제21권 제4호, 2006년 8월.
- [13] Jens Gebert, “The E3 Architecture and Solutions for Cognitive Radio Networks,” Cognitive Radio Technical Challenges and Commercial Implications Workshop, Oct. 2009.
- [14] Paul Leaves et al., “Dynamic Spectrum Allocation in Composite Reconfigurable Wireless Networks,” IEEE Commun. Mag., May 2004.
- [15] Milind M. Buddhikot et al., “DIMSUMNet: New Directions in Wireless Networking Using Coordinated Dynamic Spectrum Access,” In Proc. of the 6th Int'l Symp. IEEE WoWMoM 2005, June 2005.