

# 인과지도에 기반한 미래 주파수공유 생태계 분석

송희석\* · 김태한\*\*

## Analysis of Future Spectrum Sharing Ecosystem Based on Causal Map

Hee Seok Song\* · Taehan Kim\*\*

### Abstract

There is tremendous increasing demand on spectrum resource which is boosted by spread of cloud computing and M2M telecommunication as well as smart phone and tablet PC. Recently, spectrum sharing technology has drawn attention to the spectrum policy makers as a promising way to overcome limitation of scarce spectrum resource. To succeed in commercialization of spectrum sharing technology, it is necessary to prospect the future business ecosystem of spectrum sharing and develop appropriate policies and laws at the same time along with the advance of spectrum sharing technology. The purpose of this paper is to prospect future spectrum sharing ecosystem and analyze business ecosystem of spectrum sharing with casual loop map. With the causal map and system dynamics method, it is possible to analyze feedback loops which is not limited to linear thinking and build policies which optimize positive dynamics in business ecosystem of spectrum sharing.

Keywords : Spectrum Sharing, Spectrum Sharing Ecosystem, System Dynamics, Casual Map

논문접수일 : 2013년 08월 27일

논문수정일 : 2013년 12월 09일

논문게재확정일 : 2013년 12월 13일

※ 이 논문은 2013학년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

\* 교신저자, 한남대학교 경영정보학과, e-mail : hssong@hannam.ac.kr

\*\* 한국전자통신연구원 창의미래연구소, e-mail : taehan@etri.re.kr

## 1. 서 론

스마트 폰, 태블릿 PC의 폭발적 사용자 증가와 클라우드 컴퓨팅, M2M통신 등이 가세하면서 어느 때보다 전파자원에 대한 수요가 급증하고 있다. 주파수 수요에 대한 급증은 제한된 주파수 자원의 특성으로 인해 주파수 공급 부족 문제로 이어지고 있다. 또한 전파의 특성상 전파 특성이 우수한 선호 대역이 존재하며 이들 대역에 대한 수요는 매우 높아 경우에 따라서는 선호 주파수 대역을 둘러싼 사업자간 분쟁도 발생하고 있는 형편이다. 이동통신 주파수 대역의 경우, 2012년 4월 기준 3개 통신 사업자들이 보유하고 있는 주파수 대역폭은 260MHz(WiBro용 주파수 제외)이며, 2015년 450MHz, 2020년 600MHz의 대역폭이 필요할 것으로 전망됨에도 불구하고, 지상파 방송의 디지털 전환 이후 2013년부터 할당가능한 주파수 대역폭은 148MHz 밖에 남아 있지 않은 상황이다. 이런 상황이라면 2~3년 안에 네트워크 용량이 한계를 맞게 될 가능성이 크다는 것이 전문가들의 의견이다[정보통신정책연구원 주최 토론회, 2011]. 주파수 부족현상을 해소하고자 하는 노력은 두 가지 관점에서 이루어져 왔다. 첫 번째 관점은 한정된 주파수에 대한 사용효율성을 높이기 위한 노력으로 기존 통제방식의 전파관리 정책을 경매제, 2차 시장, 기술용도 중립성과 같은 시장기반의 전파정책으로 전환함으로써 주파수 사용 효율성을 높이고자 하는 것이 대표적인 예이다. 한편 공학적인 관점에서는 다소 다른 접근 방법을 택해 왔는데 주파수 자원의 공급 제한성을 기술 발전을 통해 타파하고자 하는 노력이 그 예이다. 이는 공급이 제한되지 않으면 경제적인 가치가 높은 주파수를 원하는 사용자가 모두 사용할 수 있어 전체적인 효율이 상승할 것이

라는 원칙에 기반하고 있다. 이러한 공학적인 접근 방법 중의 하나가 주파수공유 기술(Spectrum Sharing Technology)의 개발이다. 최근 들어 개발되고 주목받고 있는 UWB(Ultra-Wide Band), 무선인지(CR; Cognitive Radio) 기술 등이 주파수공유 기술의 대표적인 예이다[여재현 외, 2009].

주파수 자원의 제약문제를 해소하기 위해 현재 선진각국에서는 주파수공유 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 그러나 최근 기술 발전의 속도가 빨라지고 제품 및 서비스 라이프사이클이 짧아지면서 정책과 법규가 기술 발전을 따라가지 못하여 우수한 기술이 도입기 시장에서 상용화에 성공하지 못하고 사장되는 경우를 종종 볼 수 있다. 따라서 주파수공유 기술이 상업적으로 성공하기 위해서는 주파수공유 기술의 개발과 더불어 주파수공유 기술이 활용되는 산업 생태계(이하 주파수공유 생태계라 칭함)를 미리 전망하고 생태계 활성화에 필요한 정책을 동시에 설계해 나가는 접근법이 요구된다. 즉 주파수공유 기술과 같은 혁신기술은 새로운 가치사슬과 비즈니스모델을 창출할 것이므로 새롭게 변화될 주파수공유 생태계를 미리 전망하고, 주파수공유 생태계 활성화에 필요한 동인들을 분석하여 이를 기반으로 적절한 정책과 제도를 개발하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 Chapin and Lehr[2007], Delaere and Ballon[2007], Barrie et al.[2010], Berg et al.[2011], Ballon and Delaere [2009], Xavier and Ypsilanti[2006] 등의 주파수공유기술 활용 비즈니스 생태계에 대한 연구에서 아이디어를 얻어 주파수공유 생태계를 미리 전망하고 주파수공유 생태계 활성화에 영향을 미치는 동인들과 이들 간의 인과관계를 분석함으로써, 미래 주파수공유 생태계가 어떤 피드백 구조로 구성이 되어 있고 이들이 어떤 방식으로 상호작용하는지를 규명함으로써 궁극

적으로 주파수공유 생태계 활성화 정책발굴을 위한 시사점을 제공하고자 한다. 주파수공유 기술개발과 동시에 주파수공유 생태계를 면밀히 분석하여 생태계 활성화를 위한 정책적 조치를 미리 준비한다면 기술 상용화에 대한 위험과 불확실성을 낮출 수 있을 것이다.

본 연구에서는 미래 주파수공유 생태계를 동적, 구조적 측면에서 파악하기 위해 시스템 다이내믹스 방법론을 사용하기로 한다. 시스템 다이내믹스 사고에 의한 주파수공유 생태계 분석은 현상에 대한 원인을 한가지로 파악하는 단선적 사고가 아니라 주파수공유 생태계에 내재되어 있는 피드백 루프들을 확인하고 이들 간의 상호작용 구조를 살펴봄으로써 미래 생태계에 대한 이해를 높일 수 있을 뿐 아니라 향후 주파수공유 활성화를 위한 정책을 개발하는데 있어서도 효과적으로 활용될 수 있다[정재운 외, 2007; 조성숙, 2012]. 또한 시스템 다이내믹스를 활용한 정책 개발은 특정 문제해결을 위해 단편적으로 이루어지는 것이 아니라 주파수공유 생태계에서 발생가능한 모든 상황을 고려한 종합적인 정책개발이 가능하다는 장점을 가진다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 주파수공유기술 동향을 소개하고 주파수공유 생태계 분석을 위해 활용한 시스템 다이내믹스 방법의 개념을 요약한다. 제 3장에서는 주파수공유 기술을 활용하는 비즈니스 생태계의 활성화에 필요한 동인들을 기존 문헌을 통해 분석하고 이들에 대한 인과지도를 작성함으로써 인과관계를 분석한다. 제 4장에서는 주파수공유 생태계에 내재되어 있는 여러 피드백 구조가 어떻게 상호작용하는지를 살펴봄으로써 미래 주파수공유 생태계를 분석하고 주파수공유 활성화 정책을 개발하는데 필요한 시사점을 정리하며, 마지막으로 제 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 주파수공유 기술

최근 무선 트래픽의 폭발적 증가로 주파수공유 기술에 대한 기대와 관심이 그 어느 때 보다 높아지고 있다. 미국의 Cisco systems, Coda Research, 그리고 Yankee Group에서 예측한 무선 트래픽 예측자료에 의하면 2014년의 무선 트래픽은 2009년을 기준으로 할 때 약 20배에서 50배 정도 늘어날 것으로 예측하고 있다[ABI Research, 2007]. 우리나라의 경우, 이미 와이파이가(Wi-Fi) 이용이 폭증하여 통신사마다 와이파이가 망을 확충하는 상황을 볼 때 미래에는 근거리 무선 트래픽을 포함한 주파수 수요가 매우 많아질 것으로 보여진다. 따라서 CR(Cognitive Radio) 기술 등의 주파수 공동 사용 기술을 활용하여 소중한 주파수 자원의 이용 효율을 향상시키는 것이 어느 때 보다 절실히 요구되고 있다[김창주, 2012].

주파수공유 기술은 동일한 주파수 대역이 복수의 용도 또는 복수의 이용자에 의해 이용될 수 있도록 해 주는 주파수 이용 기술을 의미한다. 이러한 공유기술을 통해 주파수공유 시에도 단독으로 주파수를 이용할 때와 유사한 수준의 간섭량만 발생시킨다면 주파수공유 기술의 적용은 실질적인 주파수의 공급 확대 효과를 거둘 수 있다. 공유기술은 크게 언더레이(Underlay) 방식과 오버레이(Overlay) 방식으로 구분된다. 언더레이 방식은 낮은 출력을 통해 1차 업무에 간섭을 주지 않으면서 1차 업무로부터의 간섭을 수용하는 방식이다. 대표적 기술인 UWB(Ultra Wide-band)는 넓은 주파수 대역에 걸쳐 낮은 스펙트럼 밀도의 신호를 송신하여 기존 시스템에 간섭을 주지 않으면서 통신이 가능하도록 하는 방식이다. 오버레이 방식은 1차 업무 수준의 출력을 사용하며 시간, 공간적인 간섭 회피를 통

해 1차 업무와 주파수를 공유하는 방식이다. 대표적 기술인 CR(Cognitive Radio)기술은 지역, 시간, 주파수 등의 통신환경에서 현재의 주파수 이용현황을 실시간으로 감지한 후 지능적으로 판단하여 적절한 주파수, 변조방식, 출력 등을 선택하여 전송하는 통신방식이다[Anker, 2010; Holland et al., 2006; Holland et al., 2007; Bourse et al., 2007; 여재현 외, 2009]. 언더레이 방식은 기존 주파수 이용권자에게 간섭을 일으키지 않도록 출력 수준을 최대한 낮추어 조정하기 때문에 출력 수준에 대한 설정의 문제만 발생하는 반면, 오버레이 방식은 주파수의 배타적 이용권 제한 등 기존 전파관리 체계의 적용에 있어 고려할 사항이 복잡하고 어렵다. 이러한 이유로 주파수공유 기술이 성공적으로 상용화되기 위해서는 기술개발과 더불어 기존 주파수 정책과 법규의 변화가 절대적으로 필요하다.

한편, Peha[2009]는 주파수공유 방식을 ‘방법’과 ‘주체 및 대상’에 따라 분류하고 있다. 여기서 ‘방법’은 주파수 간섭 회피방식을 의미하며, ‘공존’과 ‘협력’ 방식으로 세분한다. 또한 ‘주체

및 대상’은 주파수공유의 주체와 사용대상을 지칭하며, 주파수공유 주체와 대상의 지위에 따라 동등한 지위를 갖는 ‘동등공유’와 1~2차 사용자가 공유하는 ‘1~2차 공유’로 구분하고 있다. 이들 네 가지 유형의 정의와 특성을 정리하면 <표 1>과 같다.

### 2.2 시스템 다이내믹스

시스템 다이내믹스(System Dynamics)는 미국 MIT의 Jay W. Forrester교수가 1960년대부터 산업동태론, 도시동태론 그리고 세계동태 등을 발표하면서 학문적 및 방법론적인 틀을 갖추기 시작하였다[Meadows and Robinson, 1985]. 시스템 다이내믹스의 주요 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다. 먼저 시스템 다이내믹스는 시스템의 동태적인 행동에 관심을 가진다. 즉 시스템다이내믹스는 시간이 경과함에 따라 시스템의 행태가 어떻게 변화하는지에 관심을 가지며 시스템이 변화하고, 진화하고 쇠퇴하는 과정을 관찰한다[김도훈 외, 2000]. 따라서 이 방법

<표 1> Peha[2009]의 공유방식별 주파수공유의 유형

공유주체 공유방법	동등한 지위에서의 공유	1~2차 업무 간 공유
공존 (coexistence)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동등한 지위의 다수 사용자에 의한 주파수공유</li> <li>• 간섭에 취약하므로 소출력 근거리 서비스에 적합</li> </ul> 예) WLAN, 무선전화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차 사용자에게 대한 간섭보호 필요 (기존 할당 체계의 변경 불필요)</li> <li>• 2차 다수 사용자는 동시 공유</li> <li>• 소출력 등 일정한 기준을 충족시키는 모든 사람에게 공유를 허용하는 방법</li> <li>• 기존 면허권자의 재산권을 어느 정도 제한하는 방식</li> <li>• 기술방식에 따라 2가지로 구분(Underlay, Overlay)</li> </ul> 예) TV 유희대역, UWB
협력 (cooperation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동등한 지위의 사용자 간 협력으로 자원할당 및 간섭회피 수행</li> <li>• 지역·시간 구분으로 QoS 보장</li> </ul> 예) TRS, Ad-hoc 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차 사용자와 2차 사용자 간의 협력을 통한 주파수 자원 할당</li> <li>• 기존의 배타적 면허권자에게 주파수에 대한 완전한 재산권을 인정</li> <li>• 주파수 임대 등 2차 시장 활성화를 위해 이용 장벽 완화</li> </ul> 예) 실시간 주파수 임대

론은 동태적인 행동특성을 보여주는 조직, 지역 사회 및 사회의 현상과 복잡한 문제를 연구하는 사례연구에 다양하게 응용되어 왔으며, 특정문제를 해결하려는 노력에도 불구하고 오랜 시간 진행되는 복잡한 문제들을 이해하고 해결책을 모색하는데 매우 유용하게 활용되어 왔다. 둘째, 시스템 다이내믹스는 시스템에서 작용하고 있는 피드백 루프를 강조하며 동태적인 변화의 근본 원인을 피드백 구조에서 찾는다[김도훈 외, 2000; Forrester, 1968]. 다시 말하면, 핵심변수들은 인과적으로 폐쇄된 그러나 물질적으로는 개방된 시스템 내에서 피드백 루프를 통해 상호 연결되어 있으며, 시스템의 행태 변화는 인과적으로 폐쇄된 경계 내에서 시스템 구성요소의 상호작용에 의해 생성된다[Forrester, 1968; Goodman, 1989; Richardson and Pugh, 1981; Sterman, 2000]. 이는 시스템의 변화를 외부적인 요소보다는 내부적인 요소에 의해 설명하고자 함을 의미한다[Richardson, 1991; Lee, 2005; Lyneis and David, 2007]. 셋째, 시스템 다이내믹스는 특히 동태적 관계를 구체화하는데 있어서 시간을 포함시킬 뿐만 아니라, 시스템의 상태에 행동과 결과 간의 시간지연을 포함하도록 허용한다. 즉 현실에서는 원인과 결과가 동시에 일어나는 것이 아니라 원인이 되는 어떤 행동이 일어난 다음 시간이 경과한 후에 결과가 나타나므로 시간지연이라는 개념은 변수들 간의 관계를 정확하게 이해하는데 매우 유용하다.

시스템다이내믹스의 특성에 대한 명확한 이해를 위해 시스템다이내믹스와 통계적 방법론 간의 차이를 비교하면 다음과 같다[김도훈 외, 1999]. 첫째, 통계적 방법론은 기존의 경험적 자료에 근거하여 추론하는 반면 시스템다이내믹스는 변수들 간의 인과적 관계를 통해 추론한다. 둘째, 통계적 방법론은 정태적 행태 즉 점을 추정하고자 하나, 시스템다이내믹스는 동태적

행태 유형에 관심을 가진다. 셋째, 통계적 방법론은 두 변수 간의 상관관계에 초점을 두지만, 시스템다이내믹스는 여러 변수들 간의 순환관계에 초점을 둔다. 넷째, 통계적 방법론은 수치적 정확성을 추구하나, 시스템다이내믹스는 구조적 정확성을 추구한다. 다섯째, 통계적 방법론은 단기적인 정책 예측에 유용하나, 시스템다이내믹스는 장기적인 정책을 예측하는데 유용하다. 마지막으로, 통계적 방법론은 정책처방 실험이 어려우나, 시스템다이내믹스는 정책수단 발견이 용이하다[조성숙, 2012]. 본 연구에서는 대표적인 시장역학 분석 방법인 시스템 다이내믹스를 적용하여 주파수공유 생태계의 피드백 구조와 이들 간의 상호작용을 연구하여 동태적인 관점에서 주파수공유 생태계 활성화에 필요한 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

### 3. 주파수공유 생태계 인과지도

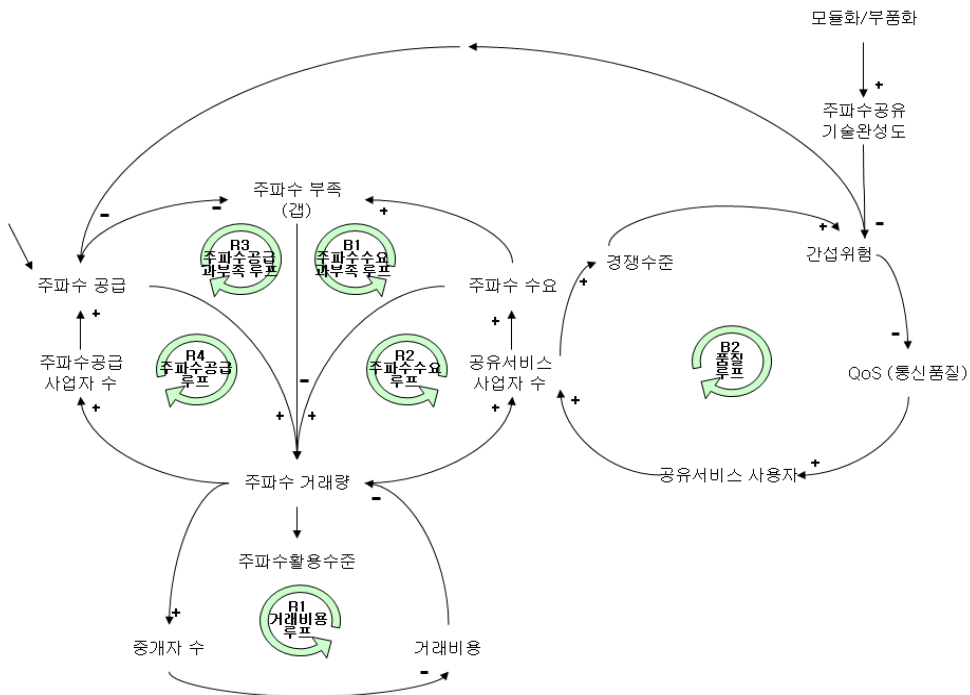
본 장에서는 Chapin and Lehr[2007], Delaere and Ballon[2007], Barrie et al.[2010], Berg et al.[2011], Ballon and Delaere[2009], Xavier and Ypsilanti[2006] 등의 연구결과를 바탕으로 주파수공유기술 활용 비즈니스 생태계 활성화를 위한 동인들을 살펴보고, 각 동인들 간의 인과 관계를 분석하며, 동적 모형을 구성하여 공유기술 활용 비즈니스 생태계 활성화를 위한 인과지도를 제시하고자 한다. Chapin and Lehr[2007]는 주파수공유 생태계의 선순환 구조가 이루어지기 위해서는 주파수 시장의 유동성(Liquidity)이 확보 되어야 한다고 주장하며, 주파수 시장의 유동성을 좌우하는 3가지 요인으로 이용가능한 주파수, 고객 수요, 낮은 거래비용을 꼽고 있다. 이는 2차 시장(유틸리티 주파수 시장)에서의 주파수 수급이 원활할 뿐 아니라 주파수 거래비용이 지나치게 높지 않아야 주파수공유가 활성화 될 수

있음을 의미한다. 또한 주파수공유에 기반한 서비스는 태생적으로 주파수 간섭으로 인한 품질 저하가 우려되므로 낮은 서비스 품질에서도 작동될 수 있는 다양한 서비스를 개발하거나 일정 수준의 서비스 품질 향상이 전제되지 않는다면 주파수공유 활성화는 기대하기 어려울 것으로 기존연구에서 지적하고 있다. 따라서 본 연구에서는 <그림 1>에서와 같이 주파수공유 생태계를 2차 시장에서의 주파수 공급과 수요, 거래비용, 품질 및 기술 측면으로 구분하여 각 동인들의 피드백 구조와 상호작용형태를 분석하기로 한다.

### 3.1 거래비용 루프

전문가들에 의하면 주파수공유의 활성화는 무선 산업의 수직적 해체를 가속화한다고 하였다. 즉 현재의 무선 산업은 주파수 면허권자가

동시에 네트워크 시설 구축에 대한 투자와 모바일 서비스제공에 대한 투자의 주체가 되는 것이 일반적이나 주파수공유가 활성화되면 2차 주파수시장이 마련되어 주파수 이용권에 대한 투자와 모바일 네트워크 시설 구축에 대한 투자, 모바일 서비스 제공에 대한 투자가 분리되어 이루어지는 것이 가능해진다. 무선 산업의 가치사슬이 변화되면서 이러한 기회를 활용하여 복수대역에서 무선서비스를 운영하는 이동통신재판매사업자, 2차 주파수시장에서 주파수 이용권에 대한 관리를 전문적으로 수행하는 주파수 브로커, 최종사용자 애드혹 네트워크 또는 협력형 메시네트워크 구축을 지원하는 고객용 장비 판매자와 같은 새로운 형태의 중개상(Intermediaries)들이 출현하게 될 것이다. 또한 2차 시장에서 주파수 거래량이 증가할수록 새로운 비즈니스 기회를 활용하는 주파수 브로커나 재판매사업자 등의 중개자(Broker)가 증가하게 될 것이



<그림 1> 주파수공유 생태계 인과지도

다. 이러한 중개자들은 무선산업의 해체와 새로운 가치사슬로 인해 소규모의 투자로 사업을 영위할 수 있기 때문에 투자위험이 낮을 뿐 아니라 주파수 공급자와 수요자에게 필요한 정보와 서비스를 공급하게 되어 거래의 효율성을 증진하고 거래비용을 낮추게 된다. 낮은 거래비용은 2차 시장에서 안전하고 효율적인 거래를 가능케 함으로써 더 많은 주파수 거래로 이어지는 자기강화루프를 형성하게 된다(R1. 거래비용 루프).

### 3.2 주파수 수요 및 수요 과부족 루프

2차 주파수시장에서 초기 주파수 수요자는 주파수공유기술 활용 제품을 생산하거나(예; 와이파이 액세스장비의 제조사) 관련 서비스를 제공하는 기업들(예; 셀룰라 사업자)이다. 이후 주파수공유 장비가 시장에서 좋은 반응을 받게 되면 최종사용자들도 직접 주파수공유 시장에 참여하게 될 것으로 기대된다. 예를 들면, 호텔외의 경우 대규모 컨벤션을 개최할 때 무선네트워크의 용량을 확대하기 위하여 일시적으로 2차 주파수시장에서 추가적인 주파수를 확보하여 사용할 수도 있으며, 특정 사용자 커뮤니티가 주체가 되어 지역적인 브로드밴드 서비스를 제공받기 위하여 필요한 만큼의 주파수를 획득하게 될 수도 있다. 2차 주파수시장에서의 주파수 거래 활성화는 주파수 사용비용을 떨어뜨리게 되며, 이는 폭 넓은 주파수 사용을 유도하는 견인차 역할을 하게 된다. 이러한 값싼 주파수의 이용과 2차시장의 활성화는 무선서비스 시장과 무선 산업의 가치체인에 변화를 주게 될 것이다. 즉 전통적으로 높은 인프라 투자와 고 자본이 요구되는 무선 산업의 진입장벽이 점차 낮아져서 작은 규모의 사업자가 저 비용의 투자로 무선 서비스 진입이 가능해지고, 이는 무선통신서비스의 경쟁을 촉진하게 되어 결국 서비스가 격 인하 현상이 나타나게 된다. 낮은 진입비용

은 시장에서의 신속한 진입과 철수를 가능케 하고, 제품과 비즈니스모델의 라이프사이클을 단축시키며, 새로운 서비스가 기존 서비스를 대체하도록 자극할 것이다. 새로운 진입자는 소규모의 투자로 제한된 주파수 사용권을 확보하여 사업을 시작할 수 있으며 비즈니스가 성장하면서 주파수 사용권을 성능요구에 맞게 키워나갈 것이다. 결국 빨라진 제품과 비즈니스 라이프사이클은 신기술, 서비스, 비즈니스모델 도입에 따른 고정비용을 회수하는데 걸리는 시간을 단축하여 시장진입을 촉진하게 되고, 후속기술의 출현도 더 빨리 출현할 것이다. 결과적으로 주파수 거래가 활성화될수록 주파수공유기술을 활용한 사업 기회의 매력도가 높아져 2차 시장에서 주파수를 확보하여 새로운 무선서비스를 제공하는 사업자가 증가할 것이다. 이는 주파수에 대한 수요 증대로 이어져 다시 주파수 거래를 활성화하는 요인으로 작용할 것이다. 주파수 거래의 활성화는 더 많은 공유서비스 사업자의 참여를 유도하게 되는 자기강화 피드백구조를 형성하게 된다(R2. 주파수수요 루프). 한편 주파수 거래량에 영향을 미치는 또 하나의 요인은 주파수 공급과 수요와의 갭이다. 1차 면허권자의 주파수 공급이 확대되더라도 주파수공유를 통해 서비스를 제공하고자 하는 수요가 적거나 수요에 비해 주파수 공급부족이 발생하는 경우 주파수 거래가 부진할 것이다. 따라서 주파수 부족은 주파수 거래량에 음의 영향을 미칠 것이다(B1. 주파수수요 과부족 루프).

### 3.3 주파수공급 및 공급 과부족 루프

주파수공유 기술의 완성도가 높아지면서 간섭위험이 낮아지면 주파수 면허권자들은 1차 서비스에 지장을 주지 않는 범위에서 주파수 활용도 증진을 통해 수익 극대화를 추구하게 될 것이다. 즉 주파수공유 기술의 성숙과 함께 1차

주파수 소유자는 주파수 활용효율을 높이기를 원하기 때문에 이는 시장에서의 주파수 거래를 자극하게 되어 주파수 2차 시장을 활성화하게 된다. 주파수 거래량에 영향을 미치는 또 하나의 요인은 주파수 공급과 수요와의 갭이다. 1차 면허권자의 주파수 공급이 확대되더라도 주파수공유를 통해 서비스를 제공하고자 하는 수요가 적거나 수요에 비해 주파수 공급부족이 발생하는 경우 주파수 거래가 부진할 것이다. 따라서 주파수 부족은 주파수 거래량에 음의 영향을 미칠 것이다(R3. 주파수 공급 과부족 루프), 주파수 거래의 활성화는 더 많은 주파수 공급자의 참여를 유도하게 되는 자기강화 피드백구조를 형성하게 된다(R4. 주파수공급 루프).

### 3.4 품질 루프

주파수공유와 함께 무선장치 또는 시스템이 로컬 네트워크의 상태와 변화하는 응용시스템의 요구를 반영하여 주파수 이용을 확대시킬 것이며 만일 통신품질 문제만 극복된다면 결과적으로 더 광범위한 응용서비스의 제공이 가능할 것이다. 주파수공유 생태계의 초기에는 간섭위험 등으로 인해 통신품질이 저하될 것으로 예상되며 실시간이나 고품질의 통신서비스가 필요하지 않은 서비스 영역에서 주파수공유가 활성화 될 것이다. 그러나 시간이 지나면서 통신품질문제가 극복 가능하다면 공유서비스 사용자가 증대하게 되고 이는 다양한 2차 서비스 사업자의 사업 참여와 새로운 무선서비스의 출현을 자극하게 될 것이다. 2차 서비스 사업자가 증대하면 경쟁의 수준도 높아질 것이고 이는 품질경쟁으로 이어져 더 좋은 장비와 서비스의 개발로 이어질 것이다. 경쟁수준이 높아지면 간섭위험은 증가하게 되나 주파수공유기술의 완성도가 높아지면서 간섭위험이 동시에 줄어들 것

이다(B2. 품질루프). 여기서 주파수공유 기술의 완성도란 주파수대역, 해당 대역의 용도와 사용자에 따라 정해진 안전기준을 만족하는 주파수공유 기술수준을 의미한다. 주파수의 희소성에 기반하여 구축된 현재의 비즈니스모델들은 차별화된 서비스를 선보이지 못한다면 지속가능성이 저하될 것이며 이러한 이유로 주파수공유는 무선통신 업계의 사업자들의 혁신을 자극하게 될 것이다. 한편 주파수공유 기능(주파수공유 알고리즘과 에티켓 기능 등)을 채택한 장비는 복잡하기 때문에 규제당국의 인가를 받는 것이 어려울 것이다. 따라서 장치 제조사의 경우 이미 사용 중인 알고리즘과 에티켓을 재사용하려는 인센티브가 강해질 것이다. 이는 무선시스템 설계에 있어서 모듈러화 또는 부품화를 촉진하게 될 것이다. 주파수공유를 지원하기 위해 사용되는 소프트웨어 무선기술(Software radio technology)은 기존의 수직적으로 통합된 제삼자 소프트웨어 제공자에 대한 수직적 해체를 촉진하게 될 것이고, 동일한 하드웨어에서 수행되는 커스토타이즈 가능한 소프트웨어를 제공하게 되어 결국 다양한 망사업자에게 판매될 것이다. 모듈화 및 부품화가 보편화되면서 장비 개발기술의 복잡도 문제가 해결되면 간섭위험도 낮아져 통신품질이 좋아질 것이다.

## 4. 피드백구조의 상호작용 분석과 정책 개발을 위한 시사점

인과지도에 따르면 주파수공유 생태계는 주파수공급과 수요가 많을수록, 주파수공급 및 수요의 갭이 작을수록, 통신품질이 증진될수록, 거래비용이 낮을수록 주파수공유 수준이 확대되는 것을 볼 수 있다. 먼저 기술위험이 제거된다면 일정수준의 QoS가 보장될 것이며 이는 가격 대비 품질에 만족한 소비자의 가입을 유도하



여 주파수공유서비스 사용자증대를 가져오고 공유서비스 사용자의 증대가 2차 시장에서의 다양한 공유서비스 사업자 참여를 유도하여 2차 시장에서의 주파수 수요가 증가하게 될 것이다. 주파수 수요의 증대는 신규 사업자의 진입을 촉진하여 기술개발 경쟁을 가속화 하게 되고 이는 품질혁신으로 이어져 서비스 사용자 확대로 이어질 것이다. 그러나 한편으로 주파수 수요의 증대는 주파수 가격상승으로 이어져 주파수 거래를 감소시킬 수 있으며 이로 인해 주파수활용 수준이 저하될 우려도 있다. 주파수공유 비즈니스 생태계는 제시된 4개의 양의 루프와 2개의 음의 루프가 상호작용을 통해 활성화 여부가 결정될 것으로 보인다. 각 루프가 상호작용하는 방식을 분석하면 다음과 같다.

첫째, 주파수공급과 수요라는 두 양의 루프(R2, R4)와 주파수 부족으로 표현된 양과 음의 두 루프(R3, B1)의 상호작용 방식이 주파수공유 생태계의 활성화 여부에 중요한 영향을 미칠 것이다. 주파수 공급이 없이는 2차 시장의 형성 자체가 불가능하다는 점에서 초기 주파수공유 생태계에서는 면허권자로 부터 주파수 공급을 유인하는 정책을 개발하여 시행하는 것이 중요할 것이다. 그러나 주파수공유 생태계의 안정기에서는 주파수 공급이 수요를 견인할 수도 있으며 수요가 공급을 유도하여 두 개의 양의 루프가 선순환 구조를 형성할 수 있다. 따라서 공급과 수요가 균형을 이루도록 하는 정책적 지원이 매우중요시 된다. 이러한 피드백 구조 하에서는 축산물 수요 파동에서와 같이 시간지연에 따른 수급 불균형 문제를 제거하기 위한 노력이 매우 중요하다. 주파수공유 생태계에서도 시간지연으로 인한 주파수 과부족이 발생하지 않도록 정책당국은 수급을 지속적으로 모니터링하는 체계가 구축되어야 하고, 2차 시장에서 주파수 공급자와 수요자들에게 수급에 대한 정보를 사전에

제공하는 방법이 마련되어야 할 것이다.

둘째, 양의 루프인 주파수 수요 루프와 음의 루프인 품질 루프 간의 상호작용 또한 주파수공유 생태계 활성화를 결정하는 주요 구조가 될 것이다. 주파수공유 생태계에 있어서 주파수 거래가 활성화 되면, 신사업기회를 활용하려는 사업자들이 경쟁하는 과정에서 거래가 더욱 활성화되는 가치선순환의 피드백루프와 지나친 경쟁을 통한 주파수 간섭위험 증대로 주파수 거래 규모가 적정수준에서 안정화되는 음의 피드백루프가 혼재되어 있어 어떠한 피드백루프가 언제 주파수 생태계를 지배 하느냐에 따라 생태계의 전개 양상이 변화될 것으로 예상된다. 주파수공유 생태계의 초기에는 간섭위험으로 인해 서비스 품질이 상대적으로 낮을 것으로 보인다. 서비스 품질이 낮으면 통신품질이 낮은 일부 응용분야에서만 서비스가 가능하여 사용자 확보에 제약이 존재하게 되며 이로 인해 2차 시장에서 주파수공유 사업에 대한 매력도가 저하되어 주파수 수요가 위축 될 것이다. 따라서 생태계 초기부터 주파수공유 기술의 완성도를 제고할 수 있는 기술개발 촉진 정책을 시행하는 것이 생태계 활성화에 매우 중요할 것이다. 주파수공유 생태계의 성장기를 지나 성숙기에 이르면 품질루프와 같은 음의 피드백 구조가 전체 생태계를 지배하는 양상을 보일 것이다. 품질루프와 같은 음의 피드백 구조가 전체 생태계를 지배하는 경우, 경쟁의 수준이나 간섭위험의 정도에 따라 적정 규모의 거래량 수준에서 안정화를 이루게 될 것이다. 따라서 과열 경쟁이 있는 경우 경쟁을 규제하는 정책의 시행이 필요하며, 안정기에도 간섭위험을 제거할 수 있는 지속적인 기술개발이 이루어진다면 주파수 거래 규모를 일정 수준 확대하는 것이 가능해 질 것이다.

셋째, 주파수 활용수준은 주파수공급과 수요 루프, 주파수 과부족 루프 외에도 거래비용 루

프와의 상호작용을 통해 활성화 여부가 결정될 것이다. 시스템 다이내믹스 이론에 의하면 두 개 이상의 주체가 동일한 목적을 지니고 있음에도 불구하고 정보흐름의 불충분이나 지연 등으로 인해 균형상태 또는 안정화 상태에 도달하지 못하는 경우가 있다고 한다. 이 때 그 원인을 마치 두 당사자의 이해관계가 상충되기 때문인 것으로 오인하는 경우가 많다는 것이다. 주파수공유 생태계를 분석하는데 있어서도 2차 사용자의 이용가능한 주파수를 스캔하는 과정에서 시간 지연이 생길 수 있으며, 특히 지역별 시간별 이용가능한 주파수대역에 대한 데이터베이스가 구축되지 않으면 정보 불충분 또는 지연현상이 나타나게 될 것이다. 이는 주파수공유 생태계에 참여하는 공급과 수요의 주체들이 공동의 목적을 가지고 있을지라도 생태계의 안정화 도달을 어렵게 만드는 요인이 될 수도 있다. 따라서 주파수공유 생태계에서 나타날게 될 정보지연 및 불충분을 해소함으로써 거래비용을 낮추는 거래효율성 증진 정책의 마련도 필요할 것이다. 또한 주파수공유기술의 확대와 함께 무선 산업의 가치사슬 혁신이 이루어지면서 다양한 형태의 중개자가 나타날 것이며 중개자의 비즈니스 활동에 대한 법적근거를 제공하는 것도 필요할 것이다.

## 5. 결 론

본 연구는 주파수공유기술 활용 비즈니스 생태계에 대한 기존 연구에서 아이디어를 얻어 주파수공유 생태계를 미리 전망하고, 주파수공유 생태계 활성화에 영향을 미치는 동인들과 이들 간의 인과관계를 분석함으로써 미래 주파수공유 생태계가 어떤 피드백 루프로 구성되어 있고 이들이 어떤 방식으로 상호작용하는지를 규명하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 주파수공

유 생태계를 주파수공급, 수요, 거래비용, 품질 및 기술 측면에서 각 동인들의 피드백 구조와 상호작용형태를 분석하기 위한 인과지도로 작성하였다. 일반적으로 성장이 따르지 않는 제로섬구조에서는 분배의 악순환으로 집단 간 갈등이 증폭되나, 혁신적 가치가 반복 창출되는 양의 피드백구조에서는 성장과 분배가 선 순환하여 사회적 신뢰가 축적된다. 본 연구는 몇몇 전문가의 통찰력에 기반하여 정책대안을 도출했던 과거의 단선적인 방식을 탈피하여 주파수공유 생태계에 대한 인과지도 분석을 통하여 자기강화적 피드백을 통해 가치 선순환이 이루어질 수 있도록 적절한 정책적 시사점을 제시하였는데 그 의의가 있다. 인과지도에 기반한 주파수공유 생태계 활성화 정책의 개발은 MECE (Mutually Exclusive and Completely Exhaustive) 측면에서의 정책설계가 가능하여 단편적인 정책이 아닌 중복을 배제한 종합적인 정책 개발이 가능하다. 또한 시뮬레이션 기법을 적용하면 각 정책을 시행하기 전에 정책 시행에 따른 각 생태계 활성화 동인 간의 상호작용과 영향관계를 분석할 수 있다는 점에서 장점을 가진다.

제시된 인과지도를 통해 살펴본 주파수공유 생태계는 자기강화적 구조에 의해 확대될 것으로 볼 수 있는 견해와 확대를 억제하는 피드백 루프가 상존하는 구조이다. 이에 향후 연구에서는 긍정론적 시나리오와 부정론적 시나리오를 함께 검토함으로써 어떤 조건에서 긍정론적 시나리오가 발현되고 어떤 조건에서 부정론적 시나리오가 발현될 것인지를 분석하는 것도 필요할 것이다. 한편 주파수공유 기술의 상용화가 시작되고 시장자료에 대한 획득이 가능해지면, 다양한 통계자료를 수집하여 시뮬레이션 모형을 구축함으로써 본 연구에서 제시된 정책이 어떤 범위에서 목표변수의 증폭에 얼마나 기여하

는지를 판단하는 민감도 분석을 수행하는 것도 필요할 것이다. 또한 구체적인 정책대안을 제시하고 정책대안 중 상쇄관계로 인해 결합해서 사용될 경우 비효율적인 정책대안의 조합은 무엇인지 등 정책대안간 상쇄 및 보완관계를 규명하는 추가적인 연구도 필요할 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김도훈, 문태훈, 김동환, “시스템 다이내믹스”, 대영문화사, 2000.
- [2] 김창주, “Spectrum Sharing 정책 및 기술”, 전자파기술, 제23권 제3호, 2012.
- [3] 여재현, 임동민, 이일주, “주파수공유 기술 적용을 위한 전파관리 모형 연구”, 정보통신정책연구원, 2009.
- [4] 정재운, 김현수, 최형립, 홍순구, “시스템 다이내믹스의 정책지렛대를 활용한 RTE 핵심성공요인 도출에 관한 연구”, 정보시스템연구, 제16권 제4호, 2007, pp. 177-194.
- [5] 조성숙, “지역사회서비스 품질, 만족도, 재이용의사의 동태성에 관한 연구”, 한국시스템다이내믹스 연구, 제13권 제2호, 2012, pp. 73-91.
- [6] ABI Research, 2007, “Software Radio and Dynamic Spectrum Access”, ABI Research Report.
- [7] Anker, P., “Cognitive radio, the market and the regulator”, *Proceedings of the IEEE Symposia on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access, Networks(DYSPAN)* held in Singapore, 2010.
- [8] Ballon, P. and Delaere S., “Flexible spectrum and future business models for the mobile industry”, *Telematics and Informatics*, Vol. 26, 2009, pp. 249-258.
- [9] Barrie, M., Delaere, S., and Ballon, P., “Classification of Business Scenarios for Spectrum Sensing”, *IEEE 21st International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications(PIMRC)*, 2010.
- [10] Berg, K., Klemettila, A., Uusitalo, M., and Wijting, C., “Evaluating the Economic Impact of Cognitive Radio with a Three-player Oligopoly Model”, *IEEE Dyspan*, 2011.
- [11] Bourse, D., Agusti, R., Ballon, P., Cordier, P., Delaere, S., Deschamps, B., Grandblaise, D., Lee, A., Martigne, P., Moessner, K., Muck, M., and Sallent, O., “The E2R II Flexible Spectrum Management(FSM) Framework and Cognitive Pilot Channel(CPC) Concept”, *E2R II White Paper*, 2007.
- [12] Chapin, J. M. and Lehr, W. H., “The Path to Market Success for Dynamic Spectrum Access Technology”, *IEEE Communications Magazine*, 2007.
- [13] Delaere, S. and Ballon, P., “The business model impact of flexible spectrum management and cognitive networks”, *INFO*, Vol. 9, No. 5, 2007, pp. 59-67.
- [14] Forrester, Jay W., “Principles of Systems”, Cambridge, 1968.
- [15] Goodman, M. R., “Study Notes in System Dynamics”, Productivity Press, 1989.
- [16] Holland, O., Cordier, P., Moessner, K., and Olaziregi, N., “Stepping stones to the realization of cognitive radio”, *13th International Conference on Telecommunications*, 2006.
- [17] Holland, et al., “Development of a radio

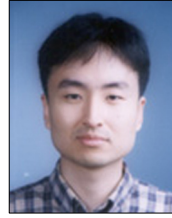
- enabler for reconfiguration management within the IEEE P1900.B study group”, *Proceedings of DySPAN*, 2007.
- [18] Lee, T.-P., “Examining local social welfare policy implementation using system dynamics perspective”, *Proceedings of 23rd international conference of the system dynamics society*, 2005.
- [19] Lyneis, J. M. and David N. F., “System dynamics applied to project management : a survey, assessment, and directions for future research”, *System Dynamics Review*, Vol. 23, No. 2/3, 2007, pp. 157-189.
- [20] Meadows, D. H. and Robinson, J. M., “The Electronic Oracle : Computer Models and Social Decisions”, Chichester, 1985.
- [21] Richardson, G. and Pugh, A., “Introduction to System Dynamics Modelling”, Productivity Press, 1981.
- [22] Richardson, G., P., “Feedback Thought in Social Science and Systems Theory”, Philadelphia, 1991.
- [23] Sterman, J. D., “Business dynamics : Systems thinking and modeling for a complex world”, McGraw-Hill, 2000.
- [24] Xavier, P. and Ypsilanti, D., “Policy issues in spectrum trading”, *INFO*, Vol. 8, No. 2, 2006, pp. 34-61.

## ■ 저자소개



### 송희석

고려대학교 경영학과에서 학사, 한국과학기술원에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. 대우전자와 대우정보시스템에서 15년간 근무하였고 현재 한남대학교 경영정보학과 교수로 재직 중이다. 관심분야는 CRM과 Data Mining, 유비쿼터스 비즈니스, 비즈니스모델, 소셜네트워크 등이다.



### 김태한

서울대학교 경영학과에서 학사, 한국과학기술원 산업공학과에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 한국전자통신연구원 창의미래연구소 선임연구원으로 재직 중이다. 관심분야는 전파자원 가치산정 및 이용정책, 정보통신 비즈니스 모델 등이다.