인과지도에 기반한 주파수공유 생태계 활성화 정책 설계*

송희석** · 김재경*** · 김태한****

Policy Design to Vitalize Spectrum Sharing Ecosystem : A System Dynamics Approach*

Hee Seok Song** · Jae Kyung Kim*** · Taehan Kim****

■ Abstract ■

Demand of spectrum resource is tremendously increasing recently and this trend will continue in the future due to the wide spread of IT services based on cloud computing and Internet of Things technology and as well as smart devices. Recently, spectrum sharing technology has drawn attention to the spectrum policy makers as a promising way to overcome the shortage problem 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 analyze causal relationships between enablers in future business ecosystem of spectrum sharing and propose policies to vitalize spectrum sharing ecosystem based on a system dynamics causal map proposed in the previous research. With the causal map and system dynamics method, it is possible to analyze feedback loops exist in the business ecosystem of spectrum sharing and build policies which optimize positive dynamics in business ecosystem of spectrum sharing. As a result, policy leverages were found in four areas; spectrum supply, spectrum demand, spectrum quality and technology, and spectrum transaction cost. For those policy leverages, 13 policies were identified and intervention timing for each policy was discussed. Finally, the promotion policies of government and market participants to vitalize spectrum sharing ecosystem were discussed.

Keyword : Spectrum Sharing, Spectrum Sharing Ecosystem, System Dynamics, Casual Map, Policy Leverage

Submitted : November 14, 2014

1st Revision : December 10, 2014

Accepted : December 14, 2014

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신, 방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음 (모바일 빅뱅 시대의 주파수 효율 개선 핵심기술 개발).

** MIS Dept. Hannam University

*** MIS Dept. Hannam University, Corresponding Author

**** Creative Future Research Laboratory, ETRI

1. 서 론

스마트 기기의 폭발적인 사용 증가와 클라우드 컴퓨팅과 사물인터넷과 같은 무선통신환경의 변화로 어느 때보다 전파자원에 대한 수요가 급증하고 있다. 이와 같은 주파수 수요에 대한 증가는 제한된 주파수 자원으로 인해 주파수 공급부족 문제를 야기할 수밖에 없으며 이러한 문제는 시간이 지남에 따라 악화될 가능성이 높다. 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. 이를 해결하기 위해 정부는 주파수 회수 및 재배치 등 제도적인 방안을 마련하고 있으며, 관련업계와 연구기관에서는 주파수 효율성이 우수한 무선통신기술을 개발하고 있다(Anker, 2010).

본 연구는 인과지도를 통해 주파수공유 생태계의 피드백 구조를 파악하는데 역점을 둔 이전 연구(Song and Kim, 2012)의 후속 연구로서 이전 연구에서 시스템 다이내믹스를 기반으로 만들어진 주파수공유 생태계 인과지도를 바탕으로 주파수공유 생태계의 활성화를 위한 정책을 설계하는 데 그 목적이 있다. 이를 위해서 이전 연구에서 제안된 시스템 다이내믹스의 인과지도를 분석하고 주파수공유 생태계의 활성화를 위한 최적의 정책과 그 개입지점을 찾고자 한다. 본 연구는 지금까지 소수의 전문가들의 통찰력을 바탕으로 단선적인 방식의 정책 대안을 도출했던 방식을 탈피하여 주파수공유 생태계를 나타내는 인과지도에서 자기강화 피드백 구조를 통해 주파수 공유의 선순환이 이루어 질 수 있도록 하는 정책대안을 발굴하여, 생태계 전체의 활성화를 유도할 수 있다는 점에서 차별화된 접근법이라 할 수 있다. 인과지도에 기반을 둔 주파수공유 생태계 활성화 정책의 개발은 MECE(Mutually Exclusive and Completely Exhaustive) 측면에서의 정책설계가 가능하여 단편적인 정책이 아닌 중복을 배제한 종합적인 정책개발

이 가능하다. 또한 각 정책을 시행하기 전에 정책 시행에 따른 각 생태계 활성화 동인 간의 상호작용과 영향관계를 분석할 수 있다는 점에서 사전에 정책 시행에 따른 효과와 부작용을 전망해 볼 수 있다는 점에서 장점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 주파수공유 생태계 인과지도를 바탕으로 주파수공유 생태계의 활성화를 위한 정책을 도출하고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 시스템 다이내믹스

미국 MIT의 Jay W. Forrester 교수가 1960년대부터 산업동태론, 도시동태론 그리고 세계동태 등을 발표하면서 학문적 및 방법론적인 틀을 갖추기 시작한 시스템 다이내믹스(System Dynamics)는 대표적인 시장역학 분석 방법들 중 하나로 여러 분야에서 사용되고 있다(Forrester, 1968). 시스템 다이내믹스는 시간의 경과에 따라 시스템에 속한 주요 변수들이 변화하는 과정을 보여줌으로서 조직, 사회 및 생태계와 같은 특정 시스템과 관련된 현상과 문제를 연구하는 사례연구에 다양하게 응용되어 왔고, 시스템 내부에서 오랜 시간 진행되는 복잡한 문제들을 이해하고 해결책을 모색하는데 유용하게 활용되어 왔다(Kim et al., 2000).

또한, 시스템 다이내믹스는 시스템의 참여 요소들 사이에서 작용하고 있는 피드백 루프를 통하여 시스템 행태변화의 근본 원인을 밝혀낸다(Forrester, 1968; Kim et al., 2000). 즉, 인과적으로 연결된 시스템의 핵심변수들이 시스템 내에서 피드백 루프를 통해 상호 연결되어 있고, 이들 구성요소의 상호작용에 의해 시스템의 행태변화가 발생한다(Forrester, 1968; Richardson and Pugh, 1981; Goodman, 1989; Richardson, 1991). 이를 통해 시스템의 변화를 내부적인 요소에 의해 설명할 수 있다(Lee, 2005; Lyneis and Ford, 2007; Richardson, 1991). 시스템 다이내믹스는 시스템의 상태에 행동

과 결과 간의 시간지연을 포함하도록 허용함으로써, 원인이 되는 사건이 발생한 다음 시간이 경과한 후에 결과가 나타나는 현실의 상황을 보다 정밀하게 시뮬레이션 할 수 있도록 하여 시스템 내부의 주요 관심 변수들 간의 관계를 정확하게 이해하는데 매우 유용한 특징을 갖고 있다.

본 연구에서는 대표적인 시장역학 분석 방법 중 하나인 시스템 다이내믹스를 적용하여 정책과 의사결정과 구조 등이 어떻게 상호 연결되어 주파수 공유 생태계의 성장과 안정성에 영향을 주는지를 밝히고자 한다. 즉 주파수공유 생태계의 구조적인 특성과 이를 통제 및 관리하는 정책과 의사결정을 함께 연구하여 동태적인 관점에서 주파수공유 생태계 활성화에 필요한 정책방향을 제시하고자 한다.

2.2 주파수공유 생태계 인과지도

이전 연구에서는 Chapin and Lehr(2007), Dela-

ere and Ballon(2007), Berg et al.(2011), Ballon and Delaere(2009), Xavier and Ypsilanti(2006) 등의 연구결과를 바탕으로 주파수공유 기술 활용 비즈니스 생태계 활성화를 위한 동인들을 살펴보고, 각 동인들 간의 인과 관계를 분석하며, 동적 모형을 구성하여 <Figure 1>과 같은 주파수공유 기술 활용 비즈니스 생태계 활성화를 위한 인과지도를 제시하였다. 그 결과 주파수공유 생태계를 2차 시장에서의 주파수 공급과 수요, 거래비용, 품질 및 기술 측면으로 구분하였고 각 동인들의 피드백 구조가 도출되었다.

앞서 말한 바와 같이, 시스템 다이내믹스는 시스템 내의 주요 변수들의 인과관계와 피드백 루프를 통해 시간의 변화와 지연에 따른 시스템의 전체적인 행태를 보여준다. <Table 1>은 주파수공유 생태계 인과지도를 구성하고 있는 주요 변수들과 피드백루프를 나타내고 있다.

<Figure 1> Causal Loop of Spectrum Sharing Ecosystem(Song and Kim, 2013)

〈Table 1〉 Factors in Causal Map of Spectrum Sharing Ecosystem

Component	Feedback Loop	Factors
Spectrum Supply	Spectrum Supply	Spectrum Supply, Number of Supplier, Spectrum Transaction Amount
	Spectrum Supply Shortage	Spectrum Supply, Spectrum Transaction Amount, Spectrum Shortage
Spectrum Demand	Spectrum Demand	Spectrum Demand, Number of Sharing Service Provider, Spectrum Transaction Amount
	Spectrum Demand Shortage	Spectrum Demand, Spectrum Transaction Rate, Spectrum Shortage
Transaction Cost	Transaction Cost	Spectrum Transaction Rate, Number of Intermediary, Transaction Cost
Quality	Quality	Number of Sharing Service Provider, Competition Level, Interference Rate, QoS, Number of Sharing Service Customer

2.3 정책지렛대

시스템 다이내믹스 사고에 의한 주파수공유 생태계 활성화정책 개발은 현상에 대한 원인을 한가지로 파악하는 단선적 사고가 아니라 주파수공유 생태계에 내재되어 있는 피드백 루프들을 확인하고 피드백 루프의 역동성을 활용하거나 피드백 루프의 구조를 변화시키는 등 생태계 자체의 긍정적인 역동성을 극대화함으로써 최소의 노력으로 정책의 효과를 극대화할 수 있다는 점에서 장점이 있다. 또한 시스템 다이내믹스 관점에서 주파수공유 생태계를 분석하면 적절한 정책지렛대를 발견함으로써 효과적인 정책 개발도 가능해진다. 시스템 다이내믹스에서는 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 정책이나 대안을 정책지렛대라고 하며 (Jung et al., 2007) 문제해결을 위한 개입지점이 어디인가에 따라 지렛대의 성과가 달라진다고 하였다. 정책지렛대는 주로 저장-유량도의 작성을 통해 얻어지는 시뮬레이션 결과 값을 민감도 분석 등의 과정을 거쳐 도출하는 것이 일반적이다. 이 경우 연구자가 정책(유량변수)의 값을 조작하여 문제의 행태(저장변수의 값)가 연구자의 의도와 가장 잘 부합되는 정책(유량변수의 값)이 지렛대로 정의된다. 본 연구에서는 정책지렛대 도출 방법으로 저장-유량도 대신 인과지도를 선택하고 있는데 이는 현재로서는 주파수공유 생태계 활성화에 관여하는 정책 및 이들을 구성하는 변수들의

구체적인 값을 정의할 수 있을 정도의 상황 전개가 이루어지지 못했기 때문이다. 정재운 외(2007)의 연구에서도 인위적인 정의를 통해 시뮬레이션을 하더라도 그 결과에 대한 신뢰도를 보장할 수 없는 상황에서는 인과지도를 활용한 정책지렛대 도출이 효과적임을 지적한 바 있다.

3. 주파수공유 생태계 활성화를 위한 정책방향

본 연구의 목적은 주파수공유 생태계의 자기 강화루프가 우세하게 발현되기 위한 정책적 대안들을 규명하는 것이다. 특히 정책대안 중 레버리지 효과를 나타내는 정책지렛대를 발견하고 이러한 정책이 개입되는 적정 지점을 설계하는 것이 중요하다. 여기서는 앞에서 도출된 주파수공유 생태계 인과지도를 바탕으로 주파수공유 생태계 활성화 정책을 도출하고 적정 정책 개입지점을 설계하기로 한다. 이를 위해 기존문헌 연구를 통해 주파수공유 생태계 활성화 정책으로 제시된 항목들을 파악하고 이들이 인과지도 상에서 어떤 지점에서 이행될 때 정책지렛대로 사용될 수 있는지를 판단한다.

3.1 주파수공급 측면의 정책지렛대

주파수 공급측면의 정책으로는 주파수 공급확대를 촉진하는 정책과 공급자 규제완화, 수급 불균

형 해소 정책을 들 수 있다. 먼저 공급확대를 위해서는 전파관리 당국의 주파수공유대역 확대지정과 같은 적극적 공급확대 정책과 배타적 이용권자에 대한 공유를 의무화함으로써 공급량을 확대하는 정책을 생각해 볼 수 있다. 공급자 규제완화 정책으로는 주파수이용 자유화방안을 마련할 필요가 있으며, 주파수 수급 불균형 해소를 위해서는 수급모니터링 및 정보제공 체계 강화를 들 수 있다. 이러한 정책지렛대의 구체적인 내용은 다음과 같이 요약된다.

3.1.1 주파수공유 대역 확대지정(주파수공급 확대 정책지렛대)

만일 기존사업자의 주파수 점유로 이용가능한 주파수의 양이 인위적으로 제한된다면 규제기관의 적극적 시장 활성화 조치가 필요하다. 규제당국의 활성화 조치는 주파수공유를 통해 2차 주파수 시장에 상당한 주파수대역을 제공함으로써 이루어질 수 있다. 실제로 방송통신위원회도 이동통신 주파수 확보계획인 '모바일 광개토 플랜'을 발표하였다(KCC, 2012). 이러한 조치는 통신서비스 시장에서의 경쟁이 심화될 것을 예고하는 것이며, 기존 사업자들은 주파수 확보 전략이 더 이상 효과적인 전략이 아님을 확신하게 될 것이다. 협력방식의 주파수공유의 경우 1차 이용권자는 주파수공유를 통한 수익을 추구하게 되고, 공존방식의 주파수공유의 경우 새로운 이용권의 확보를 위한 비용지불이 필요하지 않기 때문에 시장에서 이용가능한 주파수의 양은 균형수준까지 확대될 것이다. 주파수 공유 대역의 확대지정은 기존 주파수 외에도 재배치 및 회수 주파수 대역에 대해서도 추가 적용이 가능할 것이다.

3.1.2 배타적 이용권자에 대한 공유 의무화(주파수공급 확대 정책지렛대)

초기 주파수공유 생태계에서 원활한 주파수 공급의 장애요인으로 예상되는 것은 간섭위험과 같은 서비스품질 요인이다. 1차 면허권자 입장에서

는 주파수공유 기술의 완성도가 보장되지 않는다면 1차 서비스 사용에 피해를 주기 때문에 주파수 공급을 꺼리게 될 것이다. 또한 주파수공유 무선서비스의 사용자 측면에서도 서비스 품질이 낮을 경우 기타 무선서비스에 비해 유사하거나 높은 가격을 지불하지는 않을 것이다. 즉 서비스 품질이 검증되지 않은 초기 주파수공유 생태계에서 주파수 공유기술 활용서비스의 가치는 서비스 품질에 대한 우려 때문에 장기 균형상태의 가치수준에 비해 더 낮을 것이므로 1차 면허권자는 원하는 수준의 임대료를 보장 받기 어려울 것이다. 결과적으로 1차 면허권자는 원하는 수준의 임대료를 받지도 못하는 상황에서 자신의 1차 서비스에 피해를 주면 서까지 주파수 공급을 꺼리게 될 것이다. 따라서 주파수공유 기술의 완성도가 미비한 초기시장에서는 배타적 이용권자에 대한 공유 의무화의 효용성에 대한 면밀한 검토가 필요하다(Yeo et al., 2009). 배타적 이용권자에 대한 공유 의무화는 배타적 이용권에 대한 실질적인 제한에 해당되기 때문에 법적 근거가 반드시 필요하다. 시장지배적 사업자가 주파수를 다량 보유하면서 서비스는 활성화시키지 않는다면 주파수 총량제와 더불어 공유 의무화를 부과하는 것도 가능할 것이다. 배타적 이용권자에 대한 공유 의무화는 초기 주파수공유 생태계에서만 적용될 것이며 공유 기술의 완성도가 높아진다면 자발적인 1차 사업자의 주파수 공급이 확대될 가능성이 높아질 것이다. 실제로 공유기술의 확산을 위해 주파수의 배타적 이용권을 획득한 면허권자가 대역의 일부 또는 전부를 비면허 기반으로 제3자에게 임대(leasing)해 주는 Private Commons 제도의 도입이 검토되어왔다(KISDI, 2010).

3.1.3 주파수이용 자유화(공급자 규제완화 정책지렛대)

주파수 이용자유화는 주파수에 부여된 용도 및 기술 규정에 대한 조건을 제거 또는 완화함으로써 주파수 이용자가 용도와 기술을 선택하여 사용할 수 있도록 하는 것으로 주로 시장기반의 전파관리

국가들을 중심으로 경쟁을 통한 효율적인 주파수 관리를 위해 도입되고 있다. 주파수이용 자유화는 기술 및 용도 중립성이라고도 하는데 이는 기술 및 용도의 결정, 변경 권한을 주파수 이용권자에게 부여해 주는 것으로 시장기반 전파관리 정책의 지향점이라고 볼 수 있다. 궁극적으로는 완전한 기술 및 용도의 결정 및 변경 권한을 시장에 부여하는 것을 의미하지만 현실적으로는 간섭 등의 문제로 제한적으로 적용하고 있다. 기술 및 용도 중립성은 완전한 도입보다는 제한적 도입 사례가 더 많으며 간섭 방지를 위한 최소 기술 조건의 부여가 필요하다(Yeo et al., 2009).

3.1.4 주파수 수급 모니터링 및 정보제공 체계 강화(수급불균형 해소 정책지렛대)

주파수공유 생태계의 초기에는 공급확대 정책의 선행으로 공급이 수요를 건인하는 구조가 될 것이다. 그러나 주파수공유 생태계의 안정기에서는 주파수 공급과 수요가 서로를 건인하는 선순환 구조를 형성하도록 하는 정책적 지원이 필요하다. 따라서 시간지연에 따른 수급 불균형이 발생하지 않도록 수급을 지속적으로 모니터링하고 2차 시장에 주파수 수급에 대한 정보를 사전에 제공하는 체계가 마련되어야 할 것이다. 한편 주파수 자원은 공급용량의 한계가 존재한다는 점에서 공급자 마켓이 될 가능성이 크다. 따라서 공급부족이 수요부족 보다 심각한 문제로 대두될 가능성이 크다. 이러한 점에서 수급불균형 해소는 공급확대 정책과 밀접한 연관성을 가진다고 볼 수 있다.

3.2 주파수수요 측면의 정책지렛대

주파수 수요측면에서 고려될 수 있는 정책으로는 주파수 수요촉진과 수급 불균형 해소 정책이 있다. 수요 촉진을 위한 구체적인 정책 대안으로는 2차 시장에서의 주파수 이용권의 제정 및 규제 완화, 서비스 품질을 고려한 다양한 응용 서비스 발굴 지원, 역무 통합 및 사업허가의 간소화를 들 수

있으며 그 내용은 다음과 같다.

3.2.1 2차 시장에서의 주파수 이용권의 제정 및 규제완화(주파수 수요촉진 정책지렛대)

주파수공유기술 기반 무선서비스 성공을 위한 두 번째 동인은 2차 주파수시장에서의 충분한 주파수 수요이다. 협력적 주파수공유의 경우, 시장은 2차적 주파수사용을 위해 돈을 지불할 사업자를 필요로 하며 공존방식의 주파수공유의 경우에도 이용권(easements)의 제정을 지지하는 세력과 규제하에서 이용권을 사용하여 가치를 창출하는 사업자가 필요하다(Xavier and Ypsilanti, 2006; Chapin and Lehr, 2007; Dalaere and Ballon, 2007). 주파수공유기술 활용서비스는 초기에는 TV 유희대역과 같이 1차 이용이 저조한 기존응용 분야에서 활용될 것으로 보인다. 주파수공유 기술을 활용하여 이러한 대역의 주파수를 활용하는 서비스를 제공하기 위해서는 2차 이용자의 이용권을 법적으로 보장하고 2차 이용자에게 대한 이용 규제를 완화하는 정책이 마련되어야 한다. 즉 다수 이용권자가 있는 경우, 이용권을 명확히 하고 2차 주파수 거래에 대한 책임을 부여하는 등에 대한 판례와 표준 절차를 설정할 필요가 있다.

3.2.2 서비스품질을 고려한 다양한 응용서비스 발굴 지원 정책(주파수 수요촉진 정책지렛대)

일단 주파수공유기술 활용서비스는 주파수 이용권이 보장된 무선서비스에 비해 서비스 품질은 낮을 것으로 기대된다. 그런데 전통적인 전화 네트워크와 인터넷의 서비스 품질이 다른 것처럼 주파수공유기술 기반 서비스는 특정 응용분야에 적합하도록 서로 다른 서비스 품질을 제공하게 될 것이다. 주파수공유기술 활용 서비스의 품질에 적합한 응용 분야를 발굴하는 것도 주파수공유기술 기반의 통신 능력을 증진하는 것 이상으로 중요한 일이다. 예를 들면, VHF 주파수를 사용하는 주파수공유 기술 활용서비스의 경우, 2.4GHz와 5GHz의

비면허 대역을 사용하는 무선랜 서비스에 비해 투과특성이 뛰어나기 때문에 빌딩 벽을 투과하여 통신을 하는 네트워크를 구축할 때 와이파이(Wi-Fi)보다 효과적이다. 또 다른 예로 사용자의 PC에 새로운 미디어가 로드되면 사용자의 차량에 있는 엔터테인먼트 시스템에도 자동으로 미디어가 싱크되는 서비스의 경우, 업데이트에 있어서 일정수준 지연이 발생하더라도 값 비싼 셀룰러 망을 이용하여 대용량의 데이터를 전송받는 것에 비해 공유주파수를 사용하는 것이 더 효과적일 것이다(Chapin, 2007). 따라서 주파수공유 산업의 진입기에는 다양한 통신 서비스 품질수준에 적합한 응용서비스를 개발하여 보급하는 것이 수요 촉진에 중요할 것이다.

3.2.3 역무 통합 및 사업허가의 간소화(주파수 수요촉진 정책지렛대)

역무 통합 및 사업허가의 간소화는 주파수 공유에 대한 수요를 증가시킬 것으로 예상된다(Dalaere, 2007; Yeo et al., 2009). 예를 들면 무선호출 허가 보유 사업자가 이동통신 서비스를 제공하기 위해서 별도의 주파수를 이용하지 않고 기존 이동통신 대역에서 공유가 허용된다면 공유기술을 이용해 타 이동통신사업자의 대역을 활용하는 것이 보다 경제적으로 유리할 것이기 때문이다. 역무 통합 및 사업허가의 간소화는 경제적 가치가 높은 서비스에 대한 진입장벽 완화의 효과를 가져올 수 있다.

3.3 주파수품질 및 기술위험 측면의 정책지렛대

품질 및 기술위험 측면의 정책으로는 기술개발 촉진, 경쟁규제, 소비자보호 정책을 고려할 수 있다. 기술개발촉진 측면에서 구체적인 정책 대안으로는 주파수공유 서비스 품질 보장을 위한 기술개발 지원과 안전기준의 마련이 될 것이며, 경쟁규제 측면에서는 시장에 반하는 경쟁을 규제하는 법적장치를 마련하고, 소비자보호 측면에서는 서비스 인증제 및 소비자 정보보호 대책 마련과 같은 정책적 고려가 필요할 것이다. 각각의 세부 내용

은 다음과 같다.

3.3.1 주파수공유 서비스 품질보장을 위한 기술 개발 지원 및 안전기준 마련기술개발촉진 정책지렛대)

주파수 이용권을 확보하여 서비스하고 있는 기존응용 분야에서 주파수공유기술을 이용하여 서비스를 제공할 경우 낮은 서비스품질이 상업화 성공의 장애요인으로 작용할 것이다. 장기적으로는 주파수 특성이 뛰어난 TV 유희대역에서조차도 다수의 2차적 사용자의 경쟁으로 인해 서비스품질이 낮아질 가능성도 존재한다. 이렇게 되면 주파수공유기술 활용서비스의 서비스 품질을 제고하기 위한 기술이 주요 연구영역이 될 것이다. 주요 연구 대상 분야는 다수의 주파수대역에서 동시에 운영 가능하도록 하는 에티켓 기술, 일정수준의 서비스 품질 요구사항을 충족하도록 지리적으로 독립적인 2차 사용자를 조정하는 기술, 혼잡지역에서 네트워크 수준의 경로의사결정을 할 때 이용가능한 주파수정보를 획득하는 기술 등이 될 것이다. 기존 응용분야에서 서비스품질을 증진하기 위한 비 기술적인 방법도 존재한다. 주파수 사용권을 위한 옵션과 선물계약과 같은 파생상품 시장의 창출도 가능하며 이 시장은 사업자들로 하여금 주파수 사용권을 획득하지 못하는 위험을 헤지하는 방법을 제공하게 될 것이다. 대안적으로 서비스 제공자들은 보장된 주파수사용 서비스와 함께 주파수공유기술 활용서비스들을 번들로 제공할 수도 있다. 즉 한 개의 디바이스에 두 개의 운영모드를 부여하여 보장된 주파수 사용서비스와 값싼 주파수공유기술 활용서비스를 선택하여 사용하는 것도 가능할 것이다. 이상과 같이 제시된 다양한 기술개발을 촉진하기 위한 지원정책과 간섭을 최소화할 수 있는 안전기준의 마련이 필요할 것이다. 이외에도 주파수 간섭은 주파수공유기술 관련 장비들을 시험하거나, 주파수 공급자와 수요자 간 별도의 계약과 같은 합의를 통해 줄일 수 있다(Chapin, 2007).

3.3.2 반 경쟁행위의 규제(경쟁규제 정책지렛대)

주파수공유 생태계가 성장하는 가치 선순환의 시나리오 하에서는 2차 시장에서 고객유치를 위한 사업자간 경쟁 또는 제한된 주파수공급으로 인한 사업자간 주파수 확보 경쟁이 격화될 수 있으며 통신서비스 분야 선도기업의 2차 시장 진입을 통한 독점적 시장위치 형성 등 자유로운 경쟁을 해치는 경우가 나타날 수도 있다. 이러한 상황을 대비하여 시장에 반하는 경쟁행위를 규제하는 법적 조치도 필요할 것이다(Delaere and Ballon, 2007). 주파수 공급자는 주파수 수요자(2차 주파수 사용자)의 비즈니스가 지속가능한 비즈니스로 확인된 경우, 2차 사용자의 비즈니스를 몰수하여 새로운 사업기회를 찾고자할 것이다. 예를 들면, 주파수 공급자가 최종사용자에 대한 서비스 품질이 저하되도록 2차 사용자의 주파수 사용을 줄이도록 강요하는 방식으로 위협을 가할 수 있으며 2차 사용자에게 불리한 추가적인 계약을 강제할 지도 모른다. 이 경우 1차 사용자의 주파수 사용패턴에 제약을 가하는 방법과 같은 2차 사용자 보호를 위한 창의적인 계약방식이 마련될 필요도 있다.

3.3.3 서비스 인증제 및 소비자 정보보호 대책 마련(소비자보호 정책지렛대)

주파수공유 생태계의 초기에는 통신 서비스 품질의 저하로 사용자가 기대한 수준의 서비스를 받지 못하게 될 가능성이 크며 이로 인해 소비자 분쟁이 빈번히 발생하게 되고 이는 초기 주파수 생태계의 성장을 위협하는 요인이 될 수 있다. 그러므로 소비자가 서비스의 품질을 쉽게 이해하고 서비스를 사용할 수 있도록 소비자 관점의 서비스 인증제도도 필요할 것이다. 또한 주파수공유 생태계가 활성화되면 각 개인은 다양한 영역에서 많은 응용 서비스를 무선 통해 사용하게 될 것이다. 주파수공유 생태계에서는 유선과 무선에서 개인 활동이 증가함에 따라 개인 정보 노출이 심해지고, 개인 정보의 불법 취득도 많아지게 될 것이다. 개인정보의 부적절한 사용으로 인한 개인 정보 침해

문제는 주파수공유 생태계가 가져다줄 긍정적인 효과를 반감시키는데 결정적인 요인이 될 수 있기 때문에 개인정보의 보호는 중요하다. 따라서 주파수공유 생태계에서 발생 될 수 있는 개인정보 침해에 대한 대응책도 마련해야 할 것이다.

3.4 거래비용 측면의 정책지렛대

거래비용 감소를 위해 필요한 정책으로는 거래 효율성 증진을 고려해야 하며, 이를 위해 사용권 이전절차 간소화, 기회탐색 비용 절감을 위한 거래당사자 정보제공, 간접 발생 시 분쟁 예방 방안 마련과 같은 정책이 마련되어야 할 것이다.

3.4.1 사용권 이전절차 간소화(거래효율성 증진 정책지렛대)

충분한 주파수 공급과 수요활성화와 더불어 주파수공유기술 기반의 무선서비스 활성화를 위한 또 다른 동인은 2차 주파수 시장에서의 낮은 거래비용과 위험이다. 2차 주파수 시장에서의 원활한 거래를 위한 사용권 이전절차 간소화와 같은 규제 개혁도 거래비용을 줄이는데 도움이 될 것이다.

3.4.2 기회탐색 비용 절감을 위한 거래당사자 정보제공(거래효율성 증진 정책지렛대)

2차 주파수시장에서의 거래비용은 기회탐색비용과 정부 규제를 충족하는 비용 등이 포함된다. 이러한 거래비용은 주파수공유기술 기반 서비스 시장이 성장하면서 자연스럽게 생겨나는 주파수 브로커들에 의해 줄어들 수 있다. 그러나 브로커가 활성화되기 전인 주파수공유 생태계 초기에 이러한 문제를 보다 원활히 해결하기 위해서는 거래당사자에게 필요한 정보를 적시에 제공하는 체계를 마련할 필요가 있다. 이러한 비용과 위험은 정부가 운영하든 민간이 운영하든 1차 사용자들에 대한 검증된 데이터를 관리하는 정보등록기(Information registry)를 구축함으로써 줄일 수 있다(Chapin and Lehr, 2007). 예를 들면 게시된 정보는 송수신

자의 지리적 위치, 변조와 대역폭과 같은 파형 특징, 1차 사용자의 시스템이 운영되지 않는 시간대 등을 포함한다. 이러한 정보는 2차 사용자가 낮은 위험으로 주파수 사용 알고리즘을 공격적으로 실행하는 것을 가능케 한다. 1차 사용자의 행위변화에 따라 정보등록기의 데이터가 갱신되면 이를 2차 사용자에게 즉각 통지하는 기능도 필요하다. 이 때 도전적인 과제는 정보등록기의 정보가 정확한지를 확인하는 것이다. 효과적인 정보등록기 관리 메커니즘은 비협력적 주파수 공유 환경에서 간섭위험을 현저히 줄일 수 있다. 결과적으로 규제당국은 자유로운 이용권을 보장해야 하며 정보등록기 관리 강화로 간섭위험을 줄여나가는 것이 바람직하다.

3.4.3 간섭 발생 시 분쟁 예방 방안 마련 (거래효율성 증진 정책지렛대)

초기 주파수공유 기술 활용 시장에서는 장비에 대한 시험만으로는 간섭위험을 줄이는 데 다소 불

완전하다. 따라서 간섭이 발생했을 때 이를 해결하는데 소요되는 비용을 줄일 수 있는 메커니즘이 필요하다. 이를 위한 첫 번째 접근법은 모든 주파수공유 장비들이 제조사, 모델, 소프트웨어 버전 정보를 필요 시 전송하도록 요구하는 것이다. 또한 주파수공유 장비들은 항공기의 블랙박스과 같이 사후 간섭분석을 위해 최근에 운영된 주파수 대역들에서의 로그를 유지하는 것이 필요하다. 2차 주파수 사용자가 다수의 장비를 고객 사이트에 배치하여 서비스 하는 경우, 사용권이 종료된 후에도 필드에 여전히 남아 권한 없이 특정 주파수 대역을 계속적으로 사용하게 될 위험이 존재한다. 이러한 위험은 장비 내에 서브시스템을 설치하여 운영에 있어서 시간제약을 부여함으로써 줄일 수 있다.

이상의 제시된 정책에 대해 인과지도상의 개입 지점과 개입시기를 포함한 정책지렛대로 정리하면 <Figure 2>와 <Table 2>와 같다.

<Figure 2> Policy Leverage by Causal Loop Analysis

〈Table 2〉 Policy Leverage for Spectrum Sharing Ecosystem

Perspective	Policy Leverage	Policy Alternatives	Initiation Points
Spectrum Supply Perspective	Supply Expansion	Expanding spectrum sharing frequencies(KCC, 2012)	Spectrum Supply
		Putting sharing liability to exclusive user(KISDI, 2010)	Spectrum Supply
	Supplier Deregulation	Liberation of spectrum usage(Yeo et al., 2009)	Number of Spectrum Supplier
	Decreasing Order Imbalance	Monitoring spectrum supply and demand(KCC, 2008)	Excess of Spectrum
Spectrum Demand Perspective	Demand Promotion	Lessening regulation in the 2nd spectrum market(Xavier and Ypsilanti, 2006; Chapin and Lehr, 2007; Dalaere and Ballon, 2007)	Spectrum Demand
		Discover various application service(MOS, 2014)	Spectrum Demand
		Simplifying business licensing process(Yeo et al., 2009, Dalaere and Ballon, 2007)	Spectrum Demand
Quality and Technology Perspective	R&D Promotion	Support R&D for spectrum sharing technology to ensure quality(Chapin and Lehr, 2007)	Maturity of Sharing Technology
	Competition Regulation	Regulate anti-competitive practices(Dalaere and Ballon, 2007)	Competition Level
	Consumer Protection	Preparing consumer privacy protection and service quality certification(MOS, 2014)	Sharing Service User
Transaction Cost Perspective	Increasing Transaction Efficiency	Simplifying procedures for transfer of exclusive rights(KCA, 2009)	Transaction Cost
		Providing transaction information to save opportunity search cost(Chapin and Lehr, 2007)	Transaction Cost
		Preparing plan for conflict prevention when interference occurs(Lee, 2004)	Transaction Cost

4. 향후 연구

4.1 정책의 개별시행효과에 대한 비교 분석

향후 연구에서는 2차 시장에서의 주파수거래 활성화를 위해 제시된 8가지 정책이 주파수거래(또는 주파수 활용수준)의 활성화 정도에 미치는 영향을 종합 비교함으로써 개별정책 중 가장 효과성이 뛰어난 정책들이 무엇인지를 판단해볼 수 있다. 비교의 기준은 주파수거래의 활성화 수준이나 활성화에 이르는 소요시간, 쇠퇴억제 효과, 안정화 여부 등이 될 것이다. 또한 어떤 조건에서 개별정책의 효과성이 극대화 될 수 있는지에 대해서도 추가적인 분석을 수행할 수 있다.

4.2 정책의 병행시행에 따른 시너지 효과 및 상쇄 효과 분석

한편 두 개 이상의 정책이 동시에 적용되었을 때 목표변수인 주파수거래 및 주파수 활용수준에 얼마나 시너지 효과가 나타나는지 또는 상쇄효과가 나타나는지를 시뮬레이션을 통해 분석해 볼 수 있다. 시뮬레이션을 통해 정책지렛대 병행시행에 따른 효과를 분석할 필요가 있는 경우는 다음과 같다.

4.2.1 주파수공급 확대와 공급자 규제완화 정책의 병행시행에 대한 효과분석

주파수공급 확대 정책은 2차 시장에서의 주파수

공급을 직접 확대하는 역할을 수행하며, 공급자 규제완화 정책은 자유로운 주파수 이용을 촉진하여 주파수 공급에 자발적으로 참여를 유도하는 정책이다. 과연 이들 정책이 보완적인 관계의 정책인지 상충되는 정책인지를 규명하기 위해서는 두 정책이 병행 시행되었을 때 정책성차가 개별 정책으로 시행되었을 때보다 높게 나타나는지를 봄으로써 판단할 수 있게 된다.

4.2.2 주파수공급 확대와 수요촉진 정책의 병행시행에 대한 효과분석

주파수공급 확대 정책과 수요촉진 정책이 동시에 이루어졌을 때 과연 개별정책 시행과 비교하여 정책성차가 높아지는지를 살펴볼 필요가 있다. 또한 공급과 수요정책이 어떤 관계일 때 정책성차가 극대화 되는지 살펴보는 것이 필요하다. 예를 들면 주파수 공급을 확대하는 정책은 면허권자의 2차 주파수 시장 참여를 확대하게 되어 자체 경쟁으로 인한 요금인하가 이루어지고 주파수 활성화 수준이 높아질 것이다. 그런데 주파수 공급 확대와 동시에 수요 측면의 정책을 병행한다면 이 두 가지 정책 조합이 시너지를 발생시켜 주파수활성화 수준이 더욱 높아질 수도 있으며, 또는 상쇄관계를 형성하여 주파수공급 측면의 정책만 시행했을 때와 비교하여 그 효과가 미미하게 나타날 수도 있다.

4.2.3 주파수공급 확대와 수요촉진, 수급불균형 해소 정책의 병행시행에 대한 효과분석

주파수공급 확대와 수요촉진, 수급불균형 해소 정책은 주파수 수급 원활화를 위한 직접적인 정책들로써 동시에 시행되었을 때의 정책 효과가 개별적으로 시행되었을 때의 효과에 비해 어떻게 나타나는지를 살펴볼 필요가 있다.

4.2.4 주파수공급 확대와 수요촉진, 수급불균형 해소, 기술개발촉진, 거래효율성 증진 정책의 병행시행에 대한 효과분석

인과지도에 나타난 다섯 가지 피드백루프를 동

시에 촉진하는 정책을 시행했을 때의 정책성차를 살펴볼 필요가 있다. 이들 피드백 루프는 서로 연결되어 있다는 점에서 피드백 루프 간 상호작용이 이루어지고 있으므로 정책들의 동시 시행이 전체 피드백루프에 긍정적인 작용을 하는지 상쇄작용을 할 것인지를 살펴보는 것은 매우 의미 있는 일이다.

4.3 생태계 성숙단계에 따른 단계별 정책 효과 분석

마지막으로 생태계 성숙단계에 따라 어떤 정책을 시행하는 것이 바람직한지와 같이 적절한 정책 시행 시기를 판단하는 목적으로 시뮬레이션을 활용할 수 있다. 즉 정책 개입 시점에 대한 시뮬레이션을 통해 정책성차가 극대화되는 개입시기를 발견하는 것이다. 주파수공유 생태계의 초기 단계에는 주파수 공급을 확대하는 것이 무엇보다 중요한 선결과제가 될 것이다. 또한 서비스 품질별로 다양한 주파수 응용 서비스를 발굴하여 수요를 촉진함과 동시에 공유주파수 서비스 품질 향상을 위한 기술개발 촉진도 생태계 초기에 이루어져야 할 것이다. 생태계가 성장하면서 주파수 수급 불균형의 문제도 나타날 것이며, 반 경쟁행위 및 소비자 보호 문제 등이 등장하게 될 것이다. 또한 주파수 거래 효율성을 높이기 위한 노력도 필요할 것으로 보인다. 따라서 각 정책지렛대별로 적절한 개입시기를 판단하기 위한 시뮬레이션을 추가로 시행할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구는 주파수공유 생태계의 구조적 측면에서 생태계 활성화에 필요한 가장 효과적인 정책이 무엇인지를 규명하는 것을 최종 목표로 하였다. 주파수공급, 수요, 거래비용, 품질 및 기술 측면에서 각 동인들의 피드백 구조와 상호작용형태를 분석하기 위해 이전 연구에서 작성된 시스템 다이내믹스 인과지도를 바탕으로, 주파수공급, 주파수수요, 주파수품질 및 기술위험, 그리고 주파수거래비

용 측면에서 8개의 정책지렛대와 13개의 정책대안들을 도출하였다. 이러한 정책대안들은 기존 문헌과 인과지도를 바탕으로 도출되었지만, 그 실효성을 검증할 단계가 남아있다.

향후 연구에서는 주파수공유 생태계 인과지도 상에서 도출된 적절한 주파수 정책들과 개입지점들을 시뮬레이션 모형을 통해 주파수 정책들을 통한 각 정책지렛대의 효과를 살펴볼 수 있고, 복수개의 정책지렛대가 동시에 사용될 경우도 고려하여 주파수공유 생태계를 활성화하기 위한 정책별 효과를 판단 및 비교해볼 수 있을 것이다. 즉, 개별정책 시행의 효과를 분석하고, 정책지렛대의 조합에 따른 시너지 효과 및 상쇄 효과를 분석하고, 생태계 성숙단계에 따른 단계별 정책 효과도 분석해 볼 수 있다.

References

- Anker, P., "Cognitive radio, the market and the regulator", *Proceedings of the IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access*, Networks(DYSPAN) held in Singapore, 2010.
- Ballon, P. and S. Delaere, "Flexible spectrum and future business models for the mobile industry", *Telematics and Informatics*, Vol.26, 2009, 249-258.
- Berg, K., A. Klemettila, M. Uusitalo, and C. Wijting, "Evaluating the Economic Impact of Cognitive Radio with a Three-player Oligopoly Model", *IEEE Dyspan*, 2011.
- Chapin, J.M. and W.H. Lehr, "The Path to Market Success for Dynamic Spectrum Access Technology", *IEEE Communications Magazine*, 2007.
- Delaere, S. and P. Ballon, "The business model impact of flexible spectrum management and cognitive networks", *INFO*, Vol.9, No.5, 2007, 59-67.
- Forrester, J.W., *Principles of Systems*, Cambridge, 1968.
- Goodman, M.R., *Study Notes in System Dynamics*, Productivity Press, 1989.
- Jung, J., H.S. Kim, H.R. Choi, S.G. Hong, "Critical Success Factors of RTE Based on Policy Leverage of System Dynamics", *Information Systems Research*, Vol.16, No.4, 2007, 177-194.
- KCA, Analysis on Economic Effect of Spectrum Lease System, Korea Communications Agency, 2009.
- KCC, Report of Medium-and Long-term Plan, Korea Communications Commission, 2008.
- KCC, Report of Kwang Gae Tou Plan, Korea Communications Commission, 2012.
- Kim, D.H., T.H. Moon, D.H. Kim, *System Dynamics*, Dae Young Cultures, 2000.
- KISDI, Study on Spectrum Management Model for Spectrum Sharing Technology Application, Korea Information Society Development Institute, 2010.
- Lee, S.H., "Policy Trend of Spectrum Transaction System", *Information and Communication Policy*, Vol.16, No.2, 2004, 1-19.
- Lee, T.-P., "Examining local social welfare policy implementation using system dynamics perspective", *Proceedings of 23rd international conference of the system dynamics society*, 2005.
- Lyneis, J.M. and D.N. Ford, "System dynamics applied to project management : a survey, assessment, and directions for future research", *System Dynamics Review*, Vol.23, No.2/3, 2007, 157-189.
- MOS, *ICT and Future Planning, Report of Basic Spectrum Promotion Plan*, Ministry

- of Science, 2014.
- Richardson, G. and Pugh, A., Introduction to System Dynamics Modelling, Productivity Press, 1981.
- Richardson, G.P., Feedback Thought in Social Science and Systems Theory, Philadelphia, 1991.
- Sterman, J.D., Business dynamics : Systems thinking and modeling for a complex world, McGraw-Hill, 2000.
- Song, H.S. and T. Kim, "Analysis of Future Spectrum Sharing Ecosystem Based on Causal Map", *Journal of information technology applications and management*, Vol.20, No.4, 2013, 19-31.
- Xavier, P. and D. Ypsilanti, "Policy issues in spectrum trading", *INFO*, Vol.8, No.2, 2006, 34-61.
- Yeo, J.H., D.M. Lim, and I.J. Lee, Study on Spectrum Management Model for Spectrum Sharing Technology Application, Korea Information Society Development Institute, 2009.

◆ About the Authors ◆

Hee Seok Song (hssong@hnu.kr)

Hee Seok Song is a professor in the Management Information System Department in Hannam University, Korea. He received an MA in management science and a PhD in management engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology. He had worked for Daewoo Information Systems and experienced system integration projects about customer relationship management and electronic commerce. His main research interests include data mining and customer relationship management. He has published in a number of international conferences and journals in artificial intelligence and data mining such as Expert Systems with Applications, Artificial Intelligence Review, Expert Systems, Knowledge-Based Systems and so on.

Jae Kyung Kim (kjkkej@hnu.kr)

Jae Kyung Kim is currently a Professor at Dept. of Global IT Business, Hannam University. He received his Ph.D. in Management from University of Nebraska-Lincoln in 2009. His research articles were appeared in Expert Systems with Applications, Omega, Decision Support Systems, etc. His current research interests include IT service, innovative business models, e-business, intelligent information and knowledge management, and human-computer interaction.

Taehan Kim (taehan@etri.re.kr)

Taehan Kim is currently a senior researcher at Future Research Creative Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute. He is also an assistant professor at the department of Information and Communication Technology Management, University of Science and Technology. He received his Ph.D. in Industrial Engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology in 2005. His research interests include spectrum policies, ICT-based business models, and so forth.