



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 일 구 교수 지도  
석사학위 청구논문

스펙트럼 셰어링을 위한 게임이론  
기반의 안전한 블록체인 네트워크  
확장에 관한 연구

2020

성신여자대학교 대학원  
미래융합기술공학과  
최 예 진

스펙트럼 셰어링을 위한 게임이론  
기반의 안전한 블록체인 네트워크  
확장에 관한 연구

이 일 구 교수 지도

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2019년 11월

성신여자대학교 대학원

미래융합기술공학과

최 예 진

# 인 준 서

최예진의 석사학위 논문으로 인준함

2019년 11월

심사위원장 김 경 진 (서명 또는 인)

심 사 위 원 이 일 구 (서명 또는 인)

심 사 위 원 박 새 림 (서명 또는 인)

성신여자대학교 대학원

## 논문 개요

4차 산업혁명 시대를 대비하면서 고도화된 무선통신 네트워크와 주파수에 대한 수요는 계속해서 증가하고 있다. 제한된 주파수 자원 환경에서 효율적인 주파수 공유를 가능하게 하도록 스펙트럼 셰어링 기술에 관한 연구 개발이 진행되고 있지만, 스펙트럼의 관리 방식에 따라 각각의 장단점이 존재한다.

본 연구에서는 다양한 유형의 스펙트럼 공유자들이 주파수를 효율적으로 공유할 수 있도록 블록체인 기반 스펙트럼 셰어링 시스템을 제안하였다. 블록체인 기술을 활용한다면 기존의 중앙 집중형 시스템보다 더욱 다양한 사용자들의 참여와 많은 주파수 자원을 공유할 수 있게 할 것이다. 또한, 동적 수익 및 비용을 평가하고 관리 할 수 있으며 다양한 비즈니스 모델을 설계할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 스펙트럼 자원의 증가와 일반 사용자의 스펙트럼 공유를 유도하기 위한 문제를 게임 이론적 접근을 통해 해결하였다. 게임 이론을 적용하여 스펙트럼 셰어링 시스템에 참여하지 않는 사용자들의 협력을 끌어내는 방안을 연구하였으며, 협력하는 사람들에게만 협력하고, 협력하지 않으면 동일하게 협력하지 않는 Tif for Tat (TFT) 전략을 적용하였다. 일정 비율 이상의 TFT 전략을 사용하는 사용자가 존재하고, 사용자들이 공유 전략을 지속해서 변경하도록 한다면, 기존의 중앙집중식 방법보다 스펙트럼 셰어링을 55.1% 이상 향상할 수 있다는 것을 확인하였다.

# 목 차

## 논문 개요

I. 서론	1
1. 연구배경 및 목적	1
2. 논문 구성	4
II. 관련 연구	5
1. 주파수 공동사용	5
1) 주파수 공동사용	5
2) 동적 스펙트럼 할당(DSA, Dynamic Spectrum Access)	6
2. 블록체인	9
1) 블록체인 개요	9
2) 블록체인 구조	9
3) 블록체인 유형	11
4) 스마트 컨트랙트(Smart Contract)	12
3) 블록체인을 이용한 IoT의 안전한 확장	13
III. 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 시스템	15
1. BSS(Blockchain-based Spectrum Sharing)	15
1) BSS 시스템 설계 개요	15
2) 시스템 구조	17
2. 게임 이론의 적용	20
1) BSS 시스템의 네트워크 확장 방안	20

2) 네트워크 확장을 위한 게임 이론의 적용 .....	20
IV. 평가 및 분석 .....	22
1. 시뮬레이션 방법 .....	22
2. 시뮬레이션 결과 .....	24
1) 협력 유형 수에 따른 스펙트럼 셰어링의 변화 .....	24
2) 조건협력 비율에 따른 스펙트럼 셰어링의 변화 .....	27
3) 협력 유형 변경 방법에 따른 스펙트럼 셰어링의 변화 .....	31
V. 결론 및 향후 연구 .....	33

참고문헌

ABSTRACT

## 표 차 례

[표 1] DSA 방식과 DSS 방식의 장단점 .....	7
[표 2] 블록체인의 유형별 특징 .....	12
[표 3] 기존 IoT 환경과 블록체인 IoT 환경 .....	14
[표 4] 플레이어의 선택에 대한 점수 .....	24
[표 5] 시뮬레이션 1의 모델별 플레이어 유형 비율 .....	26
[표 6] 시뮬레이션 2, 3의 모델별 플레이어 유형 비율 .....	27

## 그림 차례

[그림 1] IoT 가입자와 기기의 증가 .....	2
[그림 2] 블록체인의 구조 .....	10
[그림 3] 블록체인 기반 스펙트럼 셰어링의 다양한 보상 개념도 ....	16
[그림 4] 스펙트럼 셰어링 시스템 구조 .....	17
[그림 5] 스마트 계약 기반의 스펙트럼 셰어링 개념도 .....	19
[그림 6] 플레이어 유형 수에 따른 스펙트럼 셰어링 횟수의 변화	25
[그림 7] 협력 유형 수에 따른 스펙트럼 셰어링 횟수의 변화 (R20) .....	28
[그림 8] 조건협력 비율에 따른 스펙트럼 셰어링 횟수의 변화 (R100) ...	29
[그림 9] 협력 유형 변경 방법에 따른 스펙트럼 셰어링 횟수의 변화 ..	31

# 제 1 장 서론

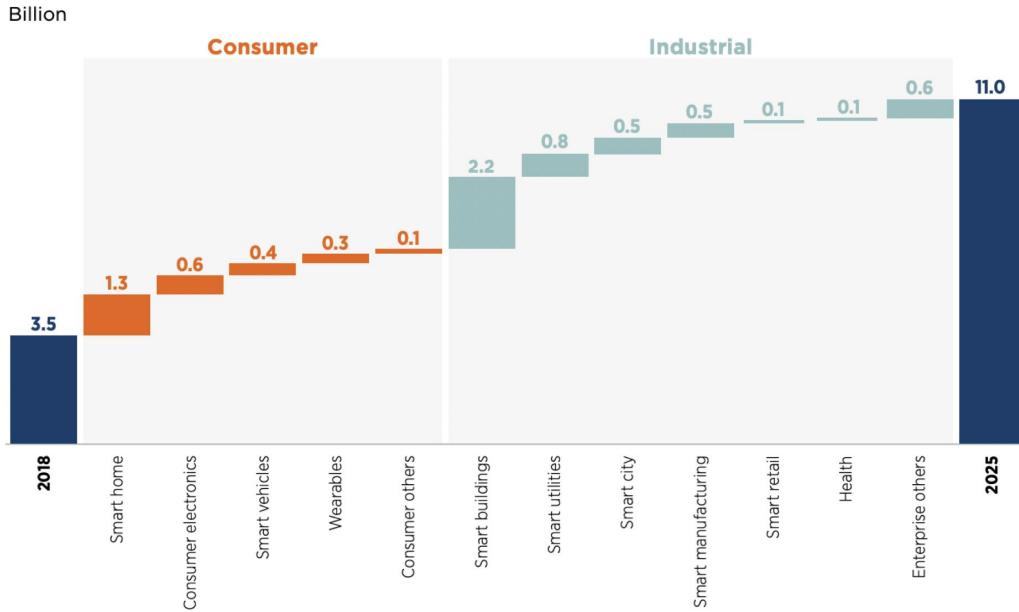
## 1. 연구배경 및 목적

빅데이터, 블록체인, IoT, 클라우드, 인공지능 등 다양한 ICT 기술이 융합하는 4차 산업혁명 시대가 도래하면서 이를 성공적으로 실현하기 위한 논의가 확대되고 있다. 스마트홈, 시티, 팩토리화 자율주행 자동차, 무인항공기, AI 로봇 등 다양한 서비스가 네트워크를 기반으로 지능화되기 위해서는 고도화된 무선통신 인프라가 필수적이다. 또한, 각종 사물이 네트워크에 연결되어 정보를 공유하는 사물인터넷(Internet of Thing, IoT)와 만물인터넷 (Internet of Everything, IoE)의 등장으로 주파수의 수요는 계속해서 증가하고 있다[1]. 세계이동통신사업자협회(GSMA)에서는 2025년까지 아시아 태평양 지역에서 약 75억 개의 새로운 IoT 연결될 것이며 [그림 1]과 같이 IoT 가입자, 기기가 2018년 35억 개에서 2025년 110억 개로 증가할 것이라고 발표하였다[2].

이처럼 수십억의 IoT기기가 인터넷에 연결될 것으로 예상하기 때문에, 주파수의 수요는 계속해서 증가할 것이다. 주파수 수요를 맞추기 위한 기술 연구 및 정책 수립의 필요성이 대두되고 있으며, 앞으로 다가올 4차 산업혁명 시대를 위해 주파수 확보는 미래의 초연결 사회를 위한 국가 핵심 과제로 부상하였다. 한정적인 주파수 자원 문제를 해결하기 위해 새로운 대역의 신규 주파수 자원을 확보하거나 주파수 효율 향상을 위한 기술 연구가 진행되고 있다[3]. 그중 사용자 또는 네트워크의 요구에 따라 주파수 할당을 변경할 수 있는 인지 무선 기술을 이용하여 주파수를 효율적으로 활용하기 위한 기술적 방안 또한 연구되었다[4].

[그림 1] IoT 가입자와 기기의 증가[2]

Source : GSMA Intelligence



주파수를 효율적으로 사용하기 위해 국가적으로 여러 기술적, 정책적 방안을 적용하고 있지만, 대부분 TV 방송용 전파나 공공기관, 이동 통신사의 주파수 대역을 활용하여 주파수를 공동으로 하고자 한다. 하지만 이러한 기업, 정부 등이 제공하는 주파수를 공동 사용하는 것만으로 급증하는 주파수의 수요를 충족시킬 수 없을 것이다.

만약 정부 기관, 기업과 일반 시민들, 그리고 IoT 기기들까지 사용하지 않는 주파수를 블록체인 기반의 플랫폼을 통해 공유한다면 기존 공동사용 방식보다 더 많은 주파수를 공유할 수 있으며, 제3의 기관 없이도 자율적으로 주파수를 거래하고 임대할 수 있게 된다. 기업이나 일반 시민들의 주파수 공유는 2차 임대(전대차) 등의 해결해야 하는 쟁점들이 존재하지만, 앞으로 다가오는 초연결 사회에서 다양한 사용자들이 참여할 수 있는 주파수

거래 플랫폼이 만들어진다면 주파수 공동사용을 위한 비용이 감소할 것이며 주파수를 더욱 효율적으로 관리 할 수 있을 것이다.

본 논문은 중앙집중화 방식으로 운영되는 것이 아닌 블록체인과 스마트 계약을 이용하여 분산화 방식으로 주파수를 공유할 수 있는 모델을 제안하고자 한다. 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 모델은 정부 기관, 기업, 일반 시민들 모두 사용하지 않는 주파수를 다른 사용자들에게 공유할 수 있고, 스마트 계약을 이용하여 제3의 기관 없이도 빠르고 효율적으로 주파수를 거래할 수 있다[5]. 또한, 주파수의 보안성 지표를 스마트 계약에 적용하여 주파수의 보안성을 평가하고 관리하여 사용자들에게 안전한 전파 환경을 제공할 수 있다[6].

## 2. 논문 구성

본 논문은 2장에서는 스펙트럼 셰어링에 관한 연구들을 소개하고, 기존 스펙트럼 셰어링의 동향을 살펴본다. 또한, 중앙집중식 스펙트럼 셰어링의 한계점을 분석하고, 문제를 해결하고자 블록체인 기술을 개념과 유형을 정리하였다. 3장에서는 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 시스템을 네트워크를 확장하기 위해 게임 이론 적용 방안을 분석한다. 4장에서는 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 시스템에 게임 이론을 적용하여 이를 시뮬레이션하고 이를 평가 및 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론을 맺고자 한다.

## 제 2 장 관련 연구

### 1. 주파수 공동사용

#### 1) 주파수 공동사용

주파수 공동사용은 주파수를 효율적으로 이용하기 위해 시간과 공간별로 사용되지 않는 주파수를 찾아 이용하는 기술이다[7]. 주파수는 혼신만 발생하지 않는다면 여러 이용자가 사용하여 활용도를 높일 수 있다. 이러한 특징을 이용하여 한국에서는 TV 방송용으로 할당된 주파수의 대역 중 사용되지 않고 비어 있는 주파수(TV White Space, TVWS)를 이용하여 주파수 공동사용을 적용하였고[8], 미국에서는 군사 또는 위성에서 사용 중인 3.5GHz 대역의 150MHz 대역폭 (3.55~3.7GHz)을 공유하여 시민광대역무선 서비스(Citizens Broadband Radio Service, CBRS)를 제공하였다[9]. 하지만 폭발적으로 증가하는 주파수 수요로 인해 다수의 이용자가 주파수 공동사용을 이용할 수 있는 다양한 방법이 논의되고 있으며, 기존 정부의 주도로 이루어진 주파수 공동사용이 아닌 시장 경제 모델 및 공유 모델을 기반으로 한 주파수 공동사용이 연구되고 있다[10]. 따라서 정부 또는 기관의 규칙에 따르는 정적인 방식이 아닌, 사용자 중심의 동적인 방식으로 스펙트럼을 관리하기 위해 동적 스펙트럼 할당방식이 큰 관심을 받게 되었다.

## 2) 동적 스펙트럼 할당(Dynamic Spectrum Access) 기술

동적 스펙트럼 할당(Dynamic Spectrum Access, DSA)이란 기존의 비효율적인 스펙트럼 할당을 효율적으로 분배하기 위해 거래, 경매, 임대, 회수, 재배포 등의 방식으로 스펙트럼 자원을 동적 할당하는 방식이다[11]. 여러 스펙트럼을 감지하여 이를 관리하기 때문에 다수의 스펙트럼을 관리하는 방식에 따라 중앙 집중 방식과 분산 방식으로 나뉠 수 있다. 중앙 집중 방식과 분산 방식에 따라 장단점이 존재하기 때문에, 각 방식에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다

[12]에서는 동적 주파수 할당을 위해 네트워크 구조를 기준으로 중앙 집중식 동적 스펙트럼 할당 (Dynamic Spectrum Allocation, DSA)과 분산형 동적 스펙트럼 선택(Dynamic Spectrum Selection Distribute, DSS)로 나누어 비교하였다. 해당 논문에서는 게임 이론을 적용하여 DSA와 DSS의 스펙트럼 관리 전략에 대해 단순 비교 분석하였고, 스펙트럼 셰어링의 기술적 해결 방법을 제외한 앞으로의 연구 방향과 경제, 비즈니스 모델의 필요성에 대해서만 논의하였다.

[13, 14]는 동적 주파수 할당을 중앙집중식 방법으로 적용하였는데, 저자들은 데이터베이스에 접근하여 스펙트럼을 순차적 할당하였을 때 발생하는 성능 저하 문제를 해결하였다. 하지만 실시간으로 스펙트럼을 탐지하는 기술이나 배치 및 공유 절차를 관리하는 제 3자에 대한 언급이 존재하지 않았다.

[15-17]는 중앙에서 스펙트럼을 동적 할당하는 형태가 아닌 분산된 자원의 할당 정책 또는 기술을 제시하고 이를 게임 이론을 통해 스펙트럼 자원을 공유할 수 있도록 하였다. [18]은 분산된 자원을 게임 이론을 기반으로 동적 할당할 경우, 네트워크에 부담이 없지만, 구현이 복잡하고 스펙트럼 공유에 대한 낮은 공정성을 단점으로 언급하였다. [표 1]은 중앙집중식

동적 스펙트럼 할당방식과 분산형 동적 스펙트럼 선택 방식을 비교한 표이다.

[표 1] DSA 방식과 DSS 방식의 장단점

중앙집중식 동적 스펙트럼 할당	분산형 동적 스펙트럼 선택
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실시간 스펙트럼 탐지에 부적합</li> <li>• 배치를 위한 추가 인프라가 필요</li> <li>• 공유 절차를 관리하는 제3자 필요</li> <li>• 공정한 스펙트럼 할당 제공 가능</li> <li>• 정적 공유 방식, 공유 시간이 상대적으로 긴 경우 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실시간 스펙트럼 탐지 가능</li> <li>• 추가 인프라 불필요</li> <li>• 공정성 문제 존재</li> <li>• 간섭을 막기 위한 신중한 조정 필요</li> <li>• 효율적, 활용도 높은 공유 체계 필요</li> </ul>

동적 할당 시 중앙 집중형 구조를 가지게 되면 배치를 위한 추가 인프라가 필요하다. 또한, 공유를 관리하는 제 3자가 필요하며 실시간으로 스펙트럼을 탐지하기에는 해결해야 할 문제들이 많다. 분산화 구조일 경우 추가 인프라와 관리자를 통한 스펙트럼 할당이 불필요하지만, 구현 복잡성과 효율성, 공정성의 문제가 존재한다[18]. 스펙트럼을 관리하고 할당하기 위한 기술 또한 중요하지만, 공유를 증진하고 동적으로 이익 및 비용을 평가하여 효율적으로 관리 할 수 있는 비즈니스 모델에 관한 연구가 필요하다[19].

본 연구에서는 블록체인 기술을 이용해 이러한 문제를 해결하고자 한다. 스펙트럼 셰어링에 블록체인 기술을 활용한다면 기존 시스템보다 더욱 다양한 이용자들 간의 참여와 많은 주파수 자원을 공유할 수 있게 할 것이다 [20].

## 2. 블록체인

### 1) 블록체인 개요

블록체인 기술은 Satoshi Nakamoto가 2008년 발표한 탈중앙화 된 화폐 비트코인 논문을 통해 소개되었다[21]. 블록체인은 거래기록을 네트워크에 참여하는 사용자가 공동으로 소유하는 분산 원장을 사슬처럼 연결하는 기술이다. 블록체인은 블록과 블록을 체인 형태로 연결한 것으로, 이전 블록의 해시값을 갖고 있다. 블록체인 기술은 탈중앙화 형태의 분산 원장으로 무결성, 신뢰성을 보장하며 투명하게 정보를 공유한다는 특징을 갖고 있다 [22]. 블록체인 네트워크에서 트랜잭션이 발생하면 합의 알고리즘에 따라 트랜잭션을 확인하고 승인하는 과정을 거친다. 각 트랜잭션은 비대칭 암호화 기반의 디지털 서명을 과정을 거쳐 하나의 블록으로 만들고 이를 각 사용자가 소유하고 있는 원장에 저장한다[23].

네트워크 참여자들이 같은 원장을 소유하고 있으므로 한번 기록된 내용은 쉽게 위변조할 수 없다. 이러한 특징으로 기존의 중앙 집중형 시스템보다 높은 무결성과 신뢰성을 보장한다. 또한, 거래내용과 데이터가 분산되어 관리되고 저장되기 때문에 네트워크 일부에 문제가 생겨도 전체 시스템에 영향을 미치지 않는다[24].

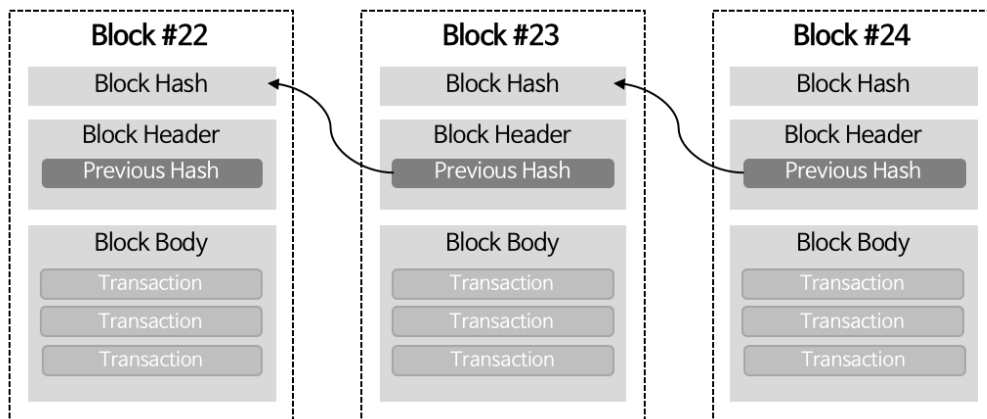
### 2) 블록체인 구조

블록체인의 블록은 헤더(Header)와 바디(Body)로 구성되어 있다. 블록체인마다 헤더와 바디를 구성하는 요소는 조금씩 다르지만, 헤더에는 각 블록체인을 연결하고 무결성을 검증할 수 있는 정보들이 들어있다.

비트코인의 블록 헤더는 비트코인의 버전(Version), 이전 블록 해시(Prev Block Hash), 블록의 유효성을 검증할 수 있는 머클 루트 해시(Merkle Root Hash), 난수 값 논스(Nonce), 논스 값 계산의 난이도를 나타내는 비

츠(Bits), 블록 생성 시간을 나타내는 타임스탬프(Time Stamp) 총 6개로 이루어져 있다[22]. 블록 바디에는 트랜잭션에 정보가 기록된다. [그림 2]는 블록체인의 구조를 나타낸 그림이다.

[그림 2] 블록체인의 구조



블록 헤더의 머클 루트 해시(Merkle Root Hash)는 각 거래를 2개씩 묶어 SHA 256 알고리즘으로 해시화하고, 이를 계속 2개씩 묶어 해싱하였을 때 가장 최상위에 있는 해시값이다[25]. 이러한 이진 트리 방식은 블록체인의 크기에 상관없이 데이터를 빠르게 검색할 수 있다. 또한, 모든 트랜잭션 정보를 갖고 있지 않아도 머클 루트 해시를 통해 거래 내역을 검증할 수 있으며, 하나의 트랜잭션 정보가 변한다면 상위 해시값이 모두 변경되기 때문에 거래 내역의 위변조를 쉽게 확인할 수 있다.

### 3) 블록체인의 유형

블록체인의 유형은 참여자의 참여 방식에 따라 허가형 블록체인과 비허가형 블록체인으로 나뉜다. 비허가형 블록체인은 특별한 허가를 받지 않고 모두에게 개방되어 누구나 자유롭게 참여할 수 있는 공개형(Public) 블록체인을 의미한다. 비트코인, 이더리움, EOS 블록체인이 대표적인 퍼블릭 블록체인의 예이다[26, 27]. 반대로 허가형 블록체인은 네트워크에 참여하기 위해 허가를 받아야 하는 블록체인으로, 컨소시엄(Consortium) 블록체인과 비공개형(Private) 블록체인이 있다. 허가형 블록체인에는 하이퍼레저 패브릭(Hyperledger fabric), 리플(Ripple), 코다(Corda) 등이 해당한다. 비허가형 블록체인의 경우 완전한 탈중앙화가 가능하지만, 많은 노드가 참여하기 때문에 트랜잭션 속도가 느리다[28]. 허가형 블록체인의 경우 불완전한 탈중앙화 형태이지만, 트랜잭션 속도가 상대적으로 빠르며 접근 권한을 관리할 수 있는 특징이 있다. 아래의 [표 2는] 블록체인의 유형별 특징을 정리한 표이다.

[표 2] 블록체인의 유형별 특징

유형	비허가형	허가형	
	공개형 (Public)	비공개형 (Private)	컨소시엄 (Consortium)
네트워크	완전 탈중앙화	불완전 탈중앙화	불완전 탈중앙화
신원	신원 확인 불가능	신원 확인 가능	신원 확인 가능
접근성	누구나 접근 가능	특정 소수만 접근 가능	컨소시엄에 참여하는 사람만 접근 가능
참여 방식	허가 없이 참여 가능	허가 후 참여	허가 후 참여
트랜잭션 속도	비교적 느림	비교적 빠름	비교적 보통

#### 4) 스마트 컨트랙트 (Smart Contract)

1994년 Nick Szabo는 특정 계약 조건을 컴퓨터 트랜잭션을 통해 실행하여 계약 조건을 자동으로 충족시키는 스마트 컨트랙트(Smart Contract)를 제안하였다[29]. 1994년에는 기술적 한계로 실제로 구현되지 못하였지만, 2009년 비트코인의 스크립트 시스템을 시작으로 블록체인 기반의 스마트 컨트랙트가 개발되었다. 스마트 컨트랙트는 블록체인 플랫폼에 실현되어있는 일련의 소프트웨어 코드로, 스마트 컨트랙트에 설정되어있는 조건이 성립되는 경우, 블록체인에 담겨진 특정 자산에 대한 계약 자동 이행을 보장하는 기술이다[30]. 2015년 비탈릭 부테린이 비트코인 스크립트 시스템의 문제들을 해결한 이더리움 기반 스마트 컨트랙트가 등장하였다. 이더리움 스마트 컨트랙트는 비트코인 스크립트의 튜링 불완전성 문제와 조건문(if), 반복문(loop) 사용 문제를 해결하고 다양한 자산에 대한 조건이 설정할 수 있도록 하였다[31]. 블록체인 기반의 스마트 컨트랙트는 다양한 산업의 혁신적인 변화를 이끌 기술로 부상하였다.

### 5) 블록체인을 이용한 IoT의 안전한 확장

다가오는 4차 산업혁명 시대에서는 스마트 시티, 스마트홈, 자율주행 자동차, 무인항공기의 IoT 기기 보안 취약 문제는 사람의 생명과 직결된다. 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 블록체인 기술을 통해 안전하게 네트워크를 확장하기 위한 연구가 진행되고 있다[32]. [32]는 IoT 기기에 설치된 소프트웨어를 화이트리스트팅 하여 스마트 컨트랙트를 통해 보안성을 평가하고 블록체인에 기록하는 방법을 제안하였다. 또한, 블록체인에 기록된 보안성을 기준으로 자동으로 주변 기기들을 연결하여 안전한 확장이 가능하도록 하였다. 블록체인 기술을 IoT 환경에 적용한다면 비용, 확장성, 보안 이슈 등을 해결할 수 있고 IoT 기기에서 생성된 데이터의 무결성 및 투명성을 보장하여 높은 효율성을 기대할 수 있게 된다. [표 3]은 기존 IoT 환경과 비교하여 블록체인 기반의 IoT 환경의 특징을 나타낸 표이다.

[표 3] 기존 IoT 환경과 블록체인 IoT 환경

특징	기존 IoT 환경	블록체인 기반 IoT 환경
확장성	중앙 시스템에서 관리할 수 있는 기기의 수가 제한됨	분산 시스템으로 새로운 노드를 쉽게 추가 가능
효율성	중앙 시스템에서 데이터의 처리 및 저장을 위해 많은 비용 소요	분산 시스템으로 중앙 시스템보다 데이터 처리, 저장 비용 절감
안정성	중앙 서버 및 네트워크에 장애 발생 시, 연결된 기기 사용 불가	서버 및 네트워크 일부에 문제가 생겨도 전체 시스템에 영향을 미치지 않음
보안성	데이터의 조작이 쉽고, 위·변조 검증 및 복구가 어려움	분산 시스템이 각각 데이터를 저장하고 있어, 위·변조가 어려움

## 제 3 장 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 시스템

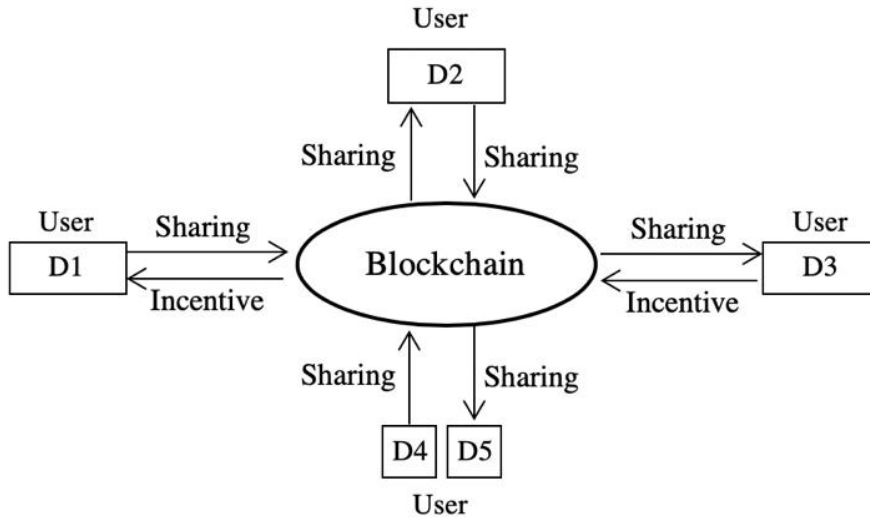
### 1. BSS(Blockchain-based Spectrum Sharing)

#### 1) BSS 시스템 설계 개요

Blockchain-based Spectrum Sharing (BSS) 은 우리 주변의 다양한 스펙트럼 공유자와 스펙트럼 이용자를 블록체인과 스마트 계약을 이용하여 빠르고 효율적으로 거래를 체결하도록 한다. BSS는 다양한 형태의 IoT 기기들과 개인 이용자와 기업, 공공기관 등의 다양한 사용자가 빠르게 스펙트럼을 공유할 수 있으며, 스펙트럼에 대한 평판 시스템을 통해 주파수 품질을 향상하고 보안성을 유지하도록 한다. BSS의 평판 시스템은 스펙트럼의 품질, 이용 정보, 보안성 등을 평가하게 되며, 정부, 규제 기관 또한 블록체인에 기록된 주파수 자원과 평판을 기반으로 주파수를 효율적으로 관리 할 수 있다. 또한, BSS에서도 블록체인과 화이트리스트 방식을 사용하여 자동으로 보안성을 평가한다면, 기기를 안전하게 이용할 수 있을 뿐만 아니라 빠르게 연결 및 확장할 수 있을 것이다.

스펙트럼 공유에 대한 보상은 여러 형태로 가능한데, 금전적인 보상, 네트워크 통신 비용에 대한 할인, 다른 스펙트럼 자원 등으로 구성된다. 여러 형태의 보상이 제공되기 때문에 시장 활성화 및 공유 증진의 효과를 얻을 수 있다. [그림 3]은 BSS를 통해 이루어지는 여러 형태의 스펙트럼 셰어링에 대한 보상을 설명한다.

[그림 3] 블록체인 기반 스펙트럼 셰어링의 다양한 보상 개념도

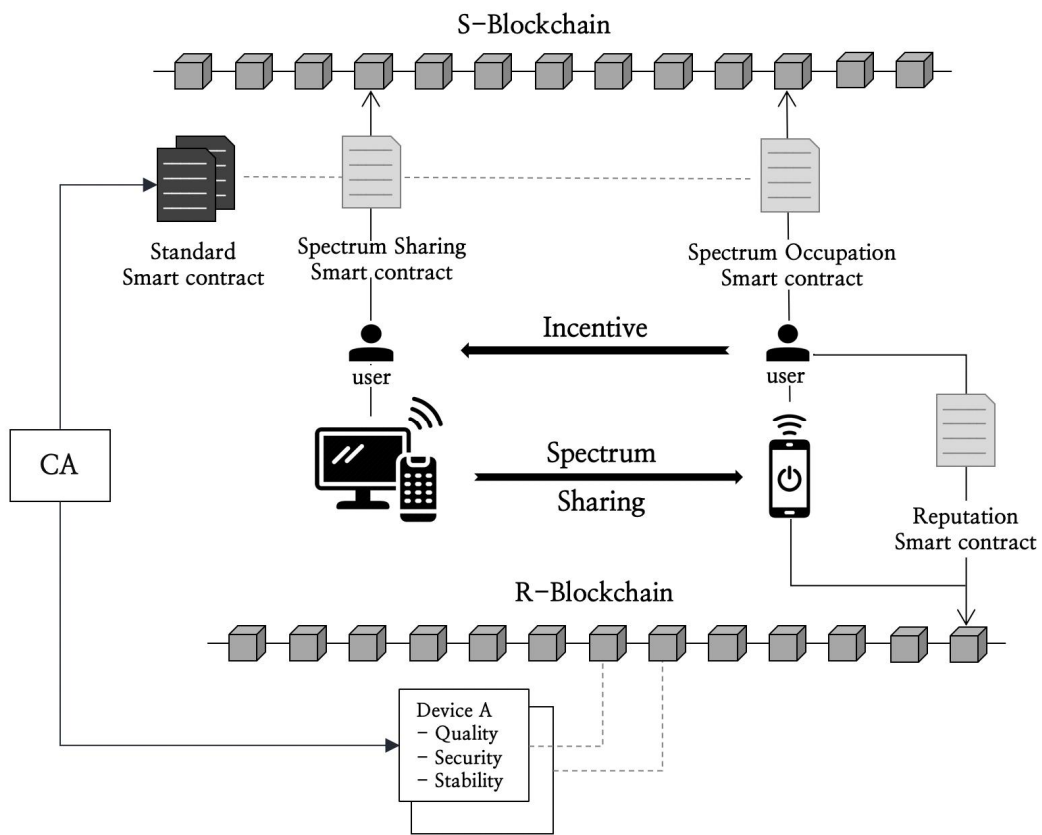


BBS에서는 다양한 기기들을 통한 스펙트럼 공유가 가능하다. 가정용 무선 AP 등 유선 네트워크가 연결된 기기를 기반으로 스펙트럼을 공유한다면, 공유자는 스마트 계약을 이용하여 사유 모드와 공유 모드에 대한 조건을 설정할 수 있다. 기기를 사용하지 않는 시간대를 설정하여 자동으로 스펙트럼을 공유하거나, 단거리 전파 (Sub 1GHz 혹은 2GHz 대역)와 장거리 전파(5GHz)에 대한 조건을 나누어 설정할 수 있다. 공유자뿐만 아니라 사용자도 스펙트럼 거래 조건 및 시간을 설정하여 조건에 해당하는 스펙트럼을 자동으로 연결할 수 있다.

## 2) BSS 시스템 구조

[그림 4]는 스펙트럼 셰어링 시스템 구조를 나타낸다. 스펙트럼 셰어링이 관리되는 S-Blockchain을 통해 스펙트럼의 공유와 점유가 기록된다.

[그림 4] 스펙트럼 셰어링 시스템 구조

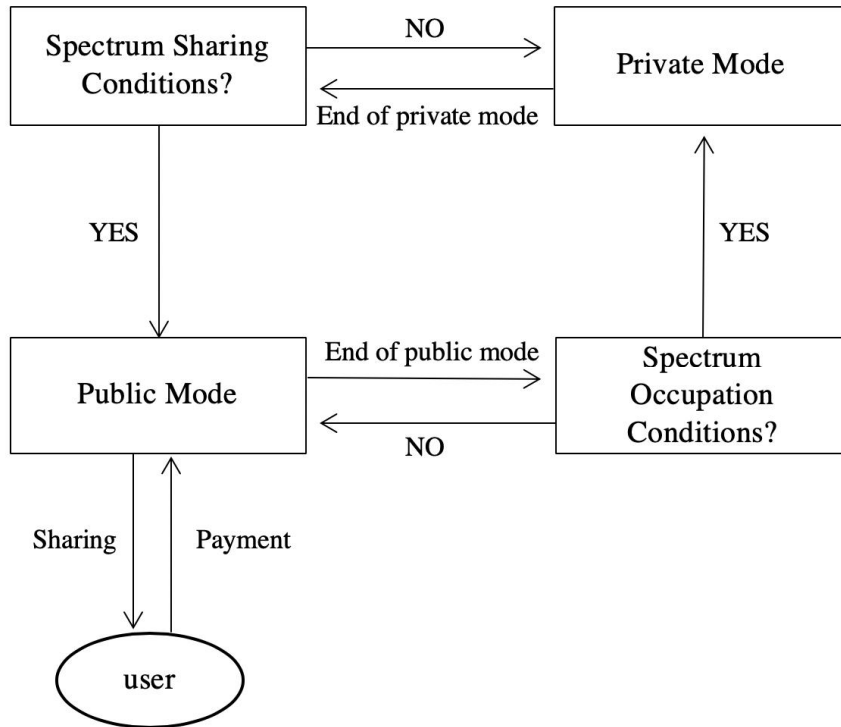


CA인 정부, 규제 기관에서 스마트 컨트랙트 표준을 작성하여 블록체인에 기록해놓으면 사용자들은 이를 기반으로 스펙트럼 공유 스마트 컨트랙트를 작성할 수 있다. 스펙트럼 셰어링 조건을 작성하여 블록체인에 기록해

놓으면, 스펙트럼을 원하는 사용자가 스펙트럼 점유 스마트 계약을 작성한다. 스펙트럼 점유 스마트 계약이 블록체인에 기록되면, 이를 기반으로 스펙트럼 셰어링과 보상이 이루어진다. 스펙트럼 공유가 종료되면, 스펙트럼 이용자는 주파수의 품질, 주파수의 보안성, 안정성 등을 R-Blockchain에 기록한다. R-blockchain에 이용 정보 및 품질 통계가 기록될 때에는 암호화 과정과 비식별화 과정을 거쳐서 기록되기 때문에 공유자와 이용자의 프라이버시를 보호할 수 있다. 사용자 수, 평균 트래픽량, 전파 간섭 정보 등에 대한 품질 통계 또한 포함되기 때문에 R-Blockchain에 저장된 내용을 기반으로 CA가 스펙트럼의 평판을 관리 할 수 있다. 평판 시스템을 통해 스펙트럼 공유자가 계속해서 주파수 품질을 관리 하도록 한다.

[그림 5]는 스마트 계약을 통해 설정된 조건을 기반으로 스펙트럼을 공유하는 Public 모드와 사유자가 스펙트럼을 독점 사용할 수 있는 Private 모드를 설명한다. 다양한 사용자가 다양한 형태의 기기들을 통해 거래할 수 있는 BSS는 스펙트럼 자원을 공유하는 사용자의 존재가 핵심이다

[그림 5] 스마트 컨트랙트 기반의 스펙트럼 셰어링 개념도



## 2. 게임 이론의 적용

### 1) BSS 시스템의 네트워크 확장 방안

다양한 사용자가 여러 형태의 기기들을 통해 거래할 수 있는 BSS는 스펙트럼 자원을 공유하는 사용자의 존재가 핵심이다. 다양한 보상을 통해서 스펙트럼 자원의 공유를 유도할 수 있지만, 스펙트럼 자원은 한정적이기 때문에, BSS에서 스펙트럼을 공유하는 사용자보다 스펙트럼을 공유받기 원하는 사용자가 더 많을 것으로 예상할 수 있다. 그러므로 BSS에서는 스펙트럼 셰어링을 제공하는 사용자의 일정 비율을 유지하는 것이 핵심 과제가 될 것이다.

### 2) 네트워크 확장을 위한 게임 이론의 적용

본 논문에서는 스펙트럼 자원의 증가와 일반 사용자의 스펙트럼 공유를 유도하기 위한 문제를 게임 이론을 적용하여 해결하고자 한다. 게임 이론은 이해관계가 상충하여 상호 작용을 하는 상황에서, 각 플레이어의 행동을 설명하고 이를 예측하기 위해 사용된다. 게임 이론은 구속력 있는 약속을 맺을 수 있는지에 따라 협조적 게임과 비협조적 게임으로 나뉘는데, 동적인 무선 네트워크는 비협조적 게임으로 표현할 수 있다[33, 34].

각 플레이어가 얻는 손익의 합이 0이 된다면 제로섬 게임, 손실과 이득의 합이 0이 되지 않는다면 넌 제로섬 게임에 해당한다. 스펙트럼 셰어링은 각 플레이어가 스펙트럼 셰어링을 통해 일어나는 손실과 이득의 합이 0이 되지 않기 때문에 넌 제로섬 게임으로 표현할 수 있다. 또한, 무선 통신은 계속 지속하기 때문에 반복 게임으로 표현한다.

우리는 이러한 게임 모델에서 일반 사용자들, 즉 현재 스펙트럼 셰어링을 제공하지 않는 기기들이 BSS에서 스펙트럼을 공유하도록 하는 방안을 연구하고자 한다. 스펙트럼 셰어링을 증진하기 위해 인센티브 정책을

적용할 수 있지만, 스펙트럼 셰어링에 대한 보상은 다른 기기, 다른 시간에 대한 스펙트럼 셰어링, 금전적인 보상 등 여러 형태로 제공될 수 있으므로 게임 모델을 통한 시뮬레이션에서는 인센티브, 즉 스펙트럼 셰어링으로 얻을 수 있는 Payoff를 제외하고 모델링 하였다.

정치학자 로버트 액셀로드(Robert Axelrod)는 반복 게임, 비협력 게임에서 가장 성공적인 상호 작용 전략에 대해 설명하였는데, 우리는 이 전략을 BSS 모델에 적용하였다[35]. 로버트 액셀로드의 게임 모델은 다음의 조건을 전제로 한다. 사용자들은 모두 상호작용했던 상대를 인지할 수 있고, 상대의 행동을 기억할 수 있다. 또한, 서로의 선택을 확인할 수 있다. 주파수 공유가 요구되는 네트워크 환경에서는 단말에 부여된 ID 정보에 기반을 두어 네트워킹했던 상대 단말을 인지하고 서로의 행동과 선택을 로그 파일 형태로 저장하고 관리하고 있다.

이러한 게임에서 협력을 진화시킬 수 있는 가장 확실한 전략(Tit for Tat, TFT)은 4가지의 키워드로 설명할 수 있다. 협력(Nice), 보복(Retaliatory), 용서(Forgiving)와 명료(Clear)이다. 먼저 협력하고, 상대가 배신한다면 바로 보복하고, 상대가 다시 협력한다면 바로 용서한다. 그리고 이러한 전략을 상대에게 명료하게 보여주는 것이다. BSS에서도 이러한 협력의 진화를 만들어 내기 위해 TFT 전략을 기반으로 사용자 유형을 설정하고자 한다.

## 제 4장 평가 및 분석

### 1. 시뮬레이션 방법

협력의 진화 TFT 전략과 게임 이론을 기반으로 BSS 시스템을 모델링하였다. 먼저 10,000개의 플레이어를 설정하고, 1명의 플레이어 당 1개의 통신 기기를 가지고 있다고 가정하였다. 플레이어는 다른 상대에게 스펙트럼을 공유할 것인지, 아니면 공유하지 않을지 선택할 수 있다. 우리는 선택을 결정하는 4가지의 스펙트럼 공유 유형을 설정하였다. 공유 유형은 완전 협력자, 조건 협력자, 비협력자, 랜덤 협력자, 총 4개의 유형으로 이루어져 있다. 완전 협력자는 국내 정부가 관리하는 무료 와이파이 기기 또는 개인이 조건 없이 통신 기기를 통해 누구에게나 스펙트럼을 공유하는 플레이어이다. 조건 협력자는 비밀번호 등 특정 조건에 해당하는 사람들에게 스펙트럼을 공유하는 플레이어, 비협력자는 누구에게도 스펙트럼을 공유하지 않는 플레이어이다. 마지막으로 랜덤 협력자는 시간, 공간 또는 조건에 의해 스펙트럼을 랜덤하게 공유하는 플레이어이다. 각 유형은 다음과 같이 협력, 또는 비협력의 선택한다.

- 완전 협력자는 모든 게임에서 항상 협력한다.
- 조건 협력자는 조건부로 협력하며, 협력의 진화 TFT 전략을 사용한다. 총 10번의 게임을 진행한다면 처음에는 협력으로 시작, 다음에는 상대의 이전 선택 값을 따라 한다.
- 비협력자는 모든 게임에서 항상 비협력을 선택한다.
- 랜덤 협력자는 모든 게임에서 협력과 비협력을 랜덤으로 선택한다.

게임을 진행할 때 협력은 Public 모드로 상대에게 스펙트럼을 공유하며, 비협력은 Private 모드로 스펙트럼을 사유한다고 가정한다. 만약 어느 하나의 플레이어가 스펙트럼을 공유한다면, 상대 플레이어는 +3의 이득을 취한다[35]. 스펙트럼을 공유한 플레이어는 공유에 대한 비용(배터리, 전파, 전력 등)으로 1점을 잃게 된다. 해당 점수 체계는 TFT 모델의 점수 체계를 동일하게 적용하였다.

[표 4]는 각 플레이어의 선택에 대한 점수를 정리한 표이다. 라운드마다 플레이어들은 자신을 제외한 모든 플레이어와 10번의 게임을 진행하게 된다. 플레이어들은 게임마다 협력 또는 비협력을 선택해서 [표 4]의 보상표를 기준으로 점수를 얻게 된다. 각 라운드가 종료되면 점수를 기준으로 순위를 매겨, 하위 5% 사용자의 유형을 상위 5%의 사용자 유형으로 변경하게 된다. 하위 5%의 사용자 유형이 변경되면, 점수를 초기화하고 다음 라운드를 진행한다.

스펙트럼 셰어링을 기존 방식과 비교하기 위해 BSS 모델과 같이 10000개의 플레이어를 설정하였다. 1명의 플레이어당 1개의 통신 기기를 가지고 있다고 가정하였고, 플레이어의 스펙트럼 공유 유형을 설정하였다. 기존의 중앙 집중형 방식으로 스펙트럼 공유를 제공하는 기기들은 전부 항상 스펙트럼을 조건 없이 제공하는 항상 협력자에 해당한다. 또한, BSS에서 조건 협력자, 비협력자, 랜덤 형태에 해당하는 기기들은 스펙트럼 공유 기능을 갖고 대부분 스펙트럼 공유를 하지 않고 있으므로 비교 모델에서는 비협력자 유형으로 설정하였다. 비교 모델의 플레이어는 협력자 (25%), 비협력자 (75%)로 설정되었다. 비교 모델 또한 한 번의 라운드가 종료되면, 하위 5%의 유형을 상위 5%의 유형으로 변경하고 점수를 초기화하여 다음 라운드를 진행한다.

[표 4] 플레이어의 선택에 대한 점수

Selection	Public	Private
Public	+2 , +2	+3 , -1
Private	-1 , +3	0, 0

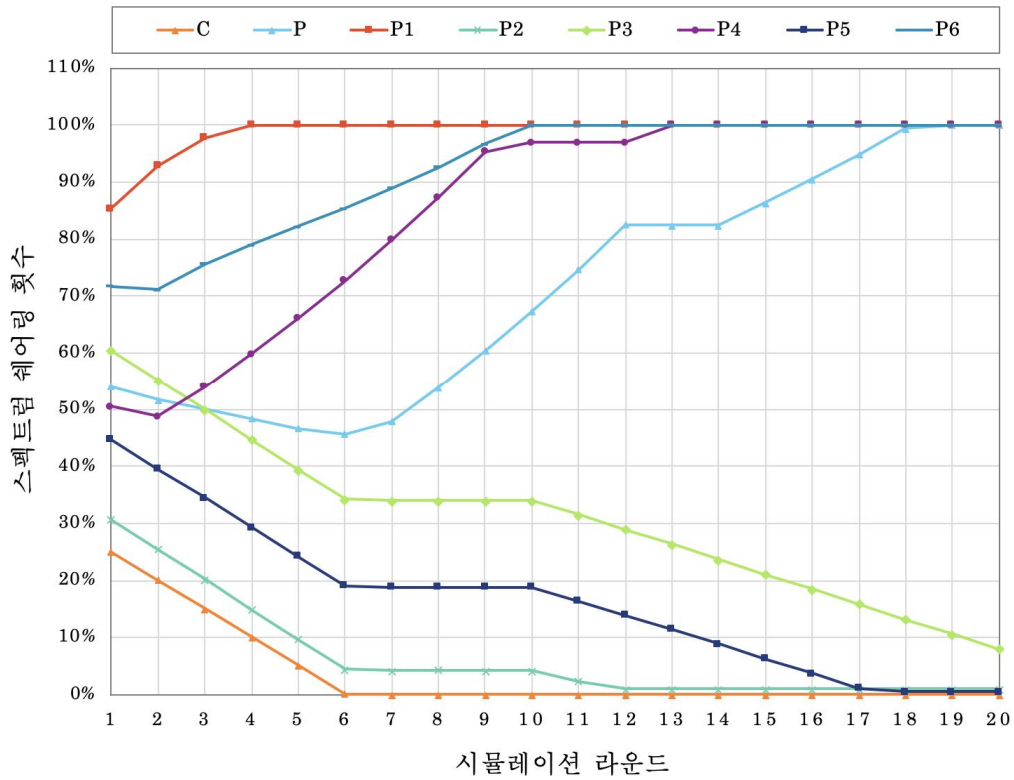
## 2. 시뮬레이션 결과

### 1) 협력 유형 수에 따른 스펙트럼 셰어링의 변화

[그림 6]은 기존 모델과 제안 모델인 BSS 모델, 그리고 제안 모델, 그리고 제안 모델을 기반으로 플레이어 유형 비율을 변경하였을 때 나타나는 스펙트럼 셰어링 횟수의 변화를 나타낸다. Y축은 각 플레이어가 Public 모드를 선택한 횟수, 즉 스펙트럼 공유 횟수이다. 스펙트럼 셰어링이 100%일 경우 모든 사용자가 협력, 즉 스펙트럼을 공유한 것을 의미한다. X축은 수행된 시뮬레이션 라운드를 나타낸다. 시뮬레이션 1은 총 20번의 라운드가 진행되었다.

기존 모델(C)과 제안 모델(P)의 스펙트럼 공유 횟수를 비교함과 동시에, 플레이어 유형 비율 변화에 따른 스펙트럼 공유 횟수를 비교하였다. 시뮬레이션 1에서의 기존 모델(C)은 TV White Space의 주파수 효율을 극대화하는 중앙집중식 동적 주파수 할당 모델이라고 가정했다[8]. 완전 협력자들은 항상 협력하기 때문에 스펙트럼 공유를 증가시키기 위해서 기존 비율(25%)을 그대로 유지하였다. 따라서 P1~P6의 모델은 협력 유형을 제외한 나머지 75%의 플레이어에 대한 유형 비율을 변경했다. [표 5]는 모델별 플레이어 유형의 비율을 나타낸다.

[그림 6] 협력 유형 수에 따른 스펙트럼 셰어링의 변화



[그림 6]에서 볼 수 있듯이 제안 모델(P)과 기존 모델(C)은 초반 라운드에서 스펙트럼 셰어링 횟수가 감소한다. 비협력자가 높은 점수를 얻고, 완전 협력자가 계속 가장 낮은 점수를 얻기 때문이다. 이 과정에서 기존 모델과 제안 모델의 스펙트럼 셰어링 횟수가 감소하게 된다. 하지만 최하위권을 유지하는 완전 협력자 플레이어들이 모두 다른 유형으로 변경되고 난 뒤, 제안 모델의 스펙트럼 셰어링의 횟수는 55.1% 증가하였다. 조건 협력자의 전략 때문에 비협력자가 점수를 얻지 못하고 비협력자의 유형이 변경되기 때문이다. [표 5]에서 볼 수 있듯이 제안 모델은 6라운드 이후에는 스펙트럼 셰어링 횟수의 그래프가 상승 곡선을 그리고, 18라운드 이후에는 모든

플레이어의 100%가 스펙트럼을 공유한다. 하지만 비교 모델은 완전 협력자의 유형이 변경된 뒤 0.1%의 기기만 스펙트럼을 공유한다. 또한, 비교 모델은 6라운드부터는 스펙트럼의 셰어링이 이루어지지 않는다. 이처럼 스펙트럼 셰어링 횟수가 계속해서 증가하는 P1, P3, P6 모델은 전부 비협력 유형의 사용자 비율이 낮고, 조건협력 유형 사용자 비율이 높다.

[표 5] 시뮬레이션 1의 모델별 플레이어 유형 비율

모델	조건협력	비협력	랜덤
C	0	3	0
P	1	1	1
P1	10	1	1
P2	1	10	1
P3	1	1	10
P4	10	10	1
P5	1	10	10
P6	10	1	10

기존 모델(C)의 경우 비협력자의 비율이 제일 높아서, 기존 협력자들 또한 계속해서 점수를 얻지 못하고, 스펙트럼 셰어링의 횟수 또한 계속해서 감소한다. 스펙트럼 셰어링 횟수가 계속해서 급격하게 감소하는 P2, P5 모델은 비협력자의 비율이 높다. P3 모델의 경우 조건 협력자와 비협력자의 비율이 같지만, 랜덤 협력자의 비율이 높아 비협력자가 꾸준히 높은 점수를 기록한다. 따라서 비협력자의 증가로 스펙트럼 공유 횟수가 점차 감소하였다.

## 2) 조건 협력 비율에 따른 스펙트럼 셰어링

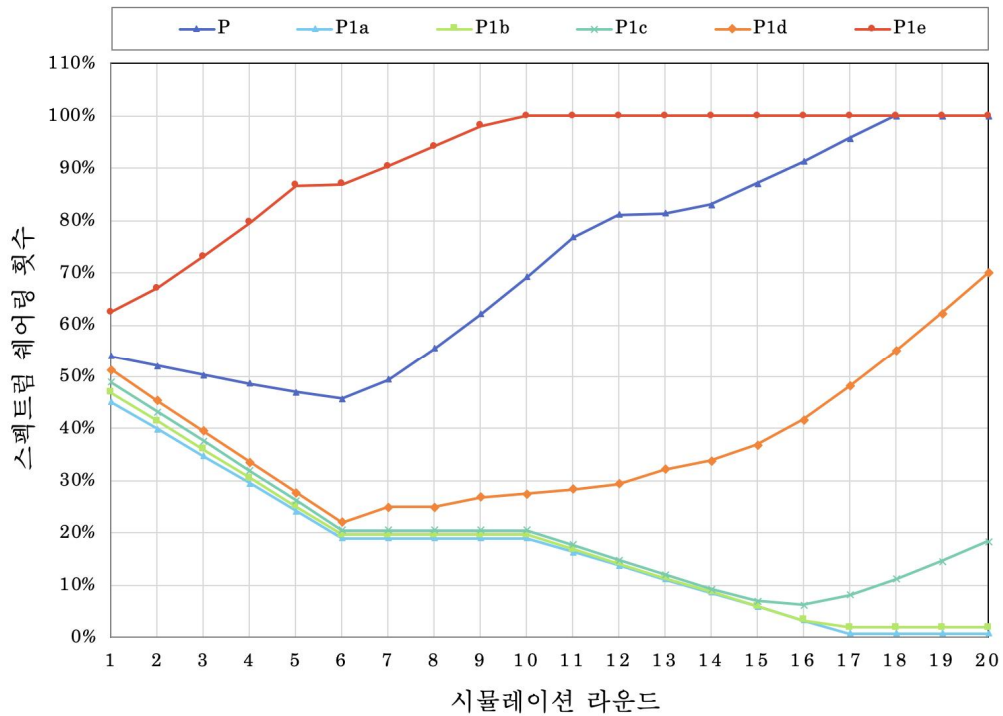
[그림 6]을 통해 조건 협력자의 비율이 높고 비협력자의 비율이 낮을 경우, 스펙트럼 셰어링의 횟수가 증가하는 것을 확인하였다. [그림 6]의 모델들 또한 이전 시뮬레이션과 같이 협력 유형의 플레이어들은 스펙트럼 공유를 증가시키기 위해서 기존 비율(25%)을 그대로 유지하였다.

[그림 7]은 조건 협력자의 비율 변화에 따른 스펙트럼 공유 횟수의 변화를 나타낸다. 제안 모델(P)은 조건 협력자와 비협력자, 랜덤 협력자가 각각 25%일 때, P1a부터 P1e의 모델은 0.4의 비율로 조건 협력자의 비율을 높게 설정하였다. 표 3은 모델들의 유형 별 비율을 자세히 나타낸다.

[표 6] 시뮬레이션 2, 3의 모델별 플레이어 유형 비율

모델	조건협력	비협력	랜덤
P	1	1	1
P1a	0.2	1.4	1.4
P1b	0.4	1.3	1.3
P1c	0.6	1.2	1.2
P1d	0.8	1.1	1.1
P1e	1.2	0.9	0.9

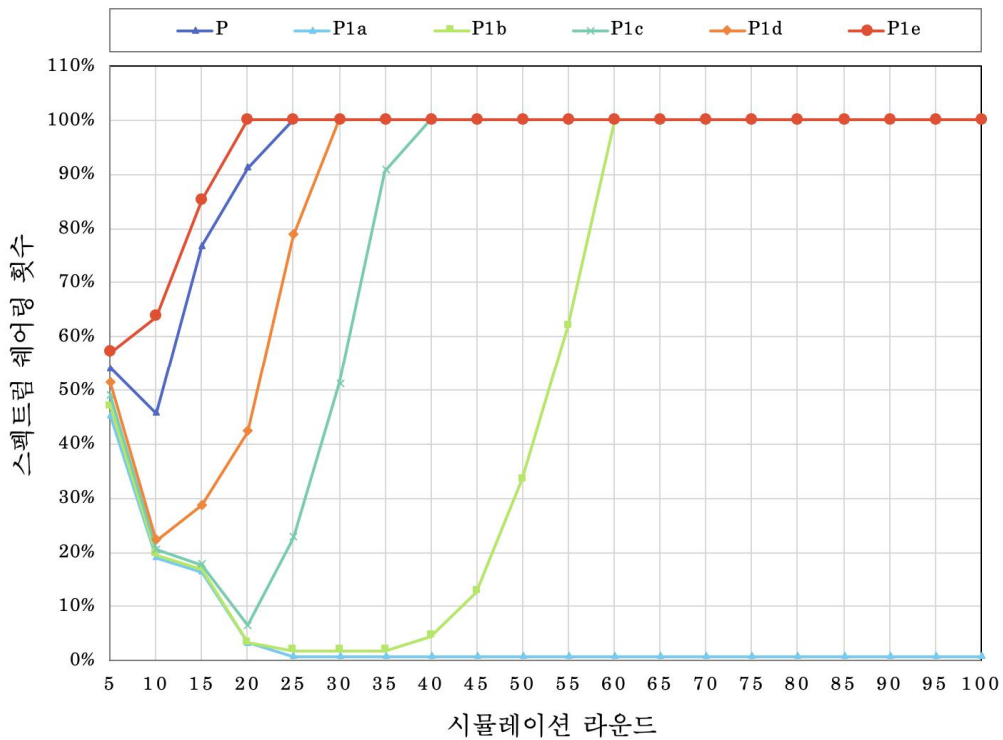
[그림 7] 조건협력 비율에 따른 스펙트럼 셰어링 횟수의 변화 (Round 20)



[그림 7]에서는 조건협력 유형 사용자의 비율에 따른 공유 횟수의 변화를 확인할 수 있다. P1a과 P1b 모델의 경우 스펙트럼 셰어링의 횟수가 감소하였다. 하지만 P1c, P1d, P1e 모델의 경우 스펙트럼 셰어링 횟수가 초반 하락하였지만, 낮은 점수를 가진 랜덤협력자와 완전 협력자가 높은 점수를 가진 비협력자로 변경된 이후 조건 협력자가 우위를 점령하게 된다. 따라서 스펙트럼 셰어링 횟수가 증가하였고, P1d, P1e 모델의 경우 모든 플레이어가 조건 협력자로 변경되어 모든 플레이어가 100%의 스펙트럼 셰어링을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

시뮬레이션 3에서는 총 100번의 라운드가 진행되었다. [그림 8]에서 볼 수 있듯 P1a의 모델을 제외하고는 100라운드 안에서 일정 시간이 지난 뒤 스펙트럼 공유의 횟수가 증가하였다.

[그림 8] 조건협력 비율에 따른 스펙트럼 셰어링 횟수의 변화 (Round 100)



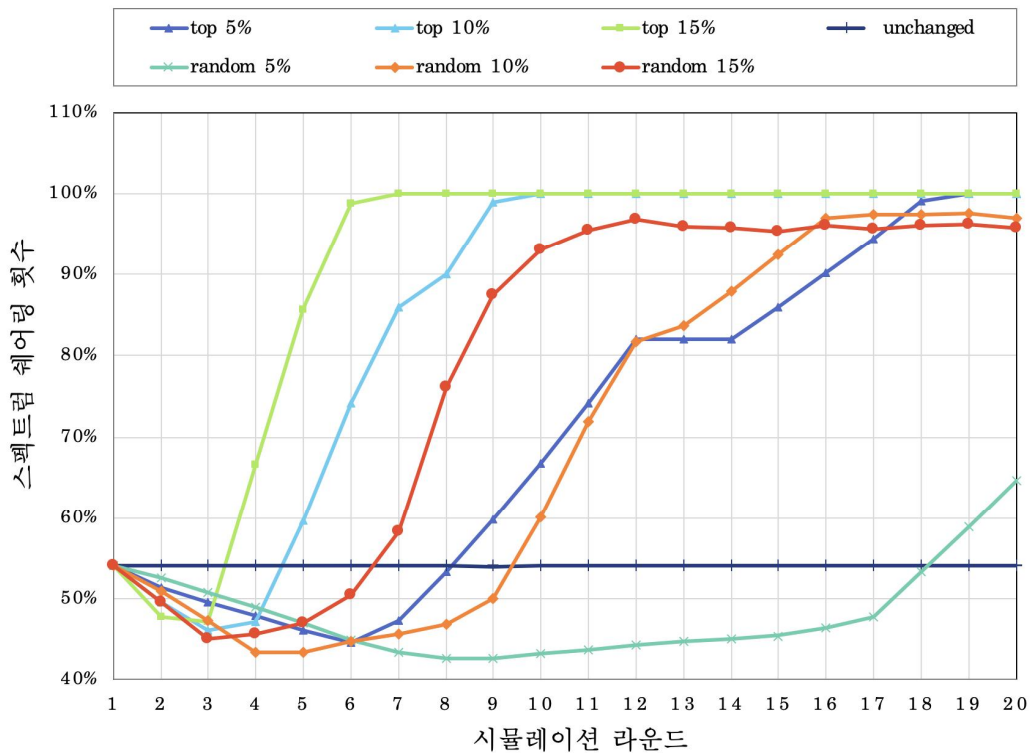
초기 설정에 조건 협력자가 비협력자보다 더 많은 P1e 모델을 제외하고는 초반 라운드에 모두 협력자와 랜덤협력자가 점수를 얻지 못하고 모두 비협력자로 유형이 변경되었다. 따라서 스펙트럼 셰어링의 횟수가 일정 감소하였다. 하지만 일정 시간이 흐른 뒤 조건 협력자의 증가로 스펙트럼 공유 횟수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 조건 협력자의 비율이 높을수록 스펙트럼 공유 횟수는 빠르게 증가하였다.

비협력자들은 서로 게임 상대로 만났을 때, 모두 협력하지 않기 때문에 점수를 가져갈 수 없다. 따라서 비협력자는 조건 협력자와 만났을 때, 조건 협력자의 선제 협력으로만 점수를 얻게 되며, 조건 협력자는 선제 협력으로 점수를 잃게 된다. 조건 협력자는 조건 협력자를 만났을 때, 모든 게임을 협력하여 점수를 얻게 된다. 게임의 보상에 따라 달라질 수 있지만, 일정 비율의 조건 협력자가 존재한다면, 비협력자가 협력하지 않더라도 협력의 진화를 이루어낸다는 사실을 알 수 있다.

### 3) 협력 유형 변경 방법에 따른 스펙트럼 쉐어링의 변화

협력 유형 비율에 따라 스펙트럼 쉐어링에 영향을 미칠 수 있지만, 초기 설정만큼 유형을 변화시키는 방식 또한 스펙트럼 쉐어링의 확장에 영향을 줄 수 있다. [그림 9]는 라운드 종료 시 하위 점수를 갖는 플레이어의 유형 변경 비율과 방법에 스펙트럼 쉐어링 횟수에 미치는 영향을 나타낸다.

[그림 9] 협력 유형 변경 방법에 따른 스펙트럼 쉐어링의 변화



시뮬레이션 4는 모델들은 플레이어 유형 변경 비율과 변경 방법에 따라 나뉜다. 유형 변경 방법은 하위 점수를 갖는 일정 비율의 플레이어가 상

위 점수대의 유형으로 바뀌는 경우(top), 그리고 4가지의 기존 유형 중 무작위로 선택되는 경우(random)로 나뉜다. 유형 변경 비율은 하위 점수대 플레이어의 5%, 10%, 15%의 비율로 나뉜다. 그림 7은 유형 변경 비율과 방법으로 나누어진 모델들과 유형 변경이 없는 unchanged 모델을 포함하여 총 7개 모델의 스펙트럼 쉐어링 횟수를 나타낸다.

[그림 9]에서 볼 수 있듯 플레이어 유형의 변화가 없으면 랜덤 협력자에 의해 미세한 변화가 있지만, 꾸준히 스펙트럼 쉐어링이 일어나는 것을 볼 수 있다. 하위 5%의 점수를 가지는 사용자들의 유형을 무작위로 변경하였을 때에도, 스펙트럼 쉐어링 횟수가 천천히 증가하였다. 우리는 그림 7을 통해 더 많은 비율의 사용자 유형을 변경하였을 때, 그리고 랜덤으로 유형을 변경하는 것보다 상위 유형으로 변경하였을 때 최대 스펙트럼 쉐어링 횟수에 더 빨리 도달하는 것을 확인할 수 있었다.

## 제 5장 결론 및 향후 연구

앞으로 다가올 초연결 시대에서는 주파수 자원은 제2의 기름이 될 것이다. 본 연구에서는 주파수 자원 문제를 해결하고 다양한 사용자들이 다양한 기기의 스펙트럼을 효율적이고 빠르게 공유할 수 BSS를 제안하였다. 또한, 게임 이론을 기반으로 반복 상호 작용하는 관계에서 스펙트럼을 공유하지 않는 사용자들의 협력을 끌어낼 수 있는 TFT 전략을 적용하였다. TFT 전략을 사용하여 스펙트럼 셰어링을 더욱 발전시킬 수 있는 세부 조건을 확인하기 위한 시뮬레이션이 수행되었으며, 게임 이론적 블록체인 기반 스펙트럼 셰어링 환경에서 TFT 전략 사용자가 존재한다면 스펙트럼을 공유하지 않는 사용자들로부터 협력을 끌어낼 수 있고, TFT 전략을 사용하여 스펙트럼 셰어링을 55.1% 이상 증가시킬 수 있다는 사실을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 향후 연구에서는 블록체인과 IoT 기기를 통해 직접 스펙트럼 셰어링 프로토타입을 구현하고 실제 활용 방안에 대해 자세히 연구할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] L. Zhang, Y. C. Liang, and M. Xiao, "Spectrum Sharing for Internet of Things: A Survey," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 26, pp. 132 - 139, 2018.
- [2] GSMA Intelligence, "The mobile Economy Report Asia Pacific edition", 2019
- [3] I. G. Lee, "Interference-aware opportunistic dynamic energy saving mechanism for Wi-Fi enabled IoTs," *Futur. Internet*, vol. 9, no. 3, 2017.
- [4] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: Making software radios more personal" *Softw. Radio Technol. Sel. Readings*, pp. 413 - 418, 2001.
- [5] Y. J. Choi and I. G. Lee, "Game Theoretical Approach of Blockchain-Based Spectrum Sharing for 5G-Enabled IoTs in Dense Networks" 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall), pp.1-6, 2019.
- [6] 신나연, 남지현, 최예진, 이일구, "블록체인 기반의 전파 공유 기술과 전파 정책", *디지털 융복합연구*, Vol. 17. No. 10, pp. 13-21, 2019.
- [7] 안정민, "주파수공동사용 활성화를 위한 입법방향에 관한 연구", *경제규제와 법*, vol.9, no.2, pp.191-205, 2016.
- [8] 이상윤, "주파수 공동사용 활성화를 위한 정책적 고려사항", *정보통신방송정책*, vol.30, no.2, pp.1-21, 2016
- [9] 강규민, 박재철, 최수나, 유성진, 황성현, 변우진, "주파수 공동 사용 정책 및 표준화 동향", *전자통신동향분석*, vol.33, no.3, pp.1-10, 2016.
- [10] 성향숙, "인지 무선(Cognitive Radio)", *TTA Journal* No. 108, pp.117-123, 2006.

- [11] 김승희, 김지연, 하정락, 백승권, 김진업, “스펙트럼 및 무선자원 관리 기술 동향”, 전자통신동향분석, vol.25, no.6 pp.1-12, 2010.
- [12] G. Salami, O. Durowoju, A. Attar, O. Holland, R. Tafazolli, and H. Aghvami, “A comparison between the centralized and distributed approaches for spectrum management,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 13, no. 2, pp. 274 - 290, 2011.
- [13] Y. Pei, Y. Ma, E. C. Y. Peh, S. W. Oh, and M. H. Tao, “Dynamic spectrum assignment for white space devices with dynamic and heterogeneous bandwidth requirements,” *2015 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC 2015*, no. Wcnc, pp. 36 - 40, 2015.
- [14] T. Li, L. Li, and L. Kong, “Database-based dynamic spectrum sharing with service adaptation using OMNeT++ simulator,” *2017 9th IEEE Int. Conf. Commun. Softw. Networks, ICCSN 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 228 - 233, 2017.
- [15] Y. Xu, Y. Xu, and A. Anpalagan, “Database-assisted spectrum access in dynamic networks: A distributed learning solution,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1071 - 1078, 2015.
- [16] A. Shamsoshoara, M. Khaledi, F. Afghah, A. Razi, and J. Ashdown, “Distributed Cooperative Spectrum Sharing in UAV Networks Using Multi-Agent Reinforcement Learning,” *2019 16th IEEE Annu. Consum. Commun. Netw. Conf. CCNC 2019*, pp. 1 - 6, 2019.
- [17] F. Cai, Y. Gao, L. Cheng, L. Sang, and D. Yang, “Spectrum sharing for LTE and WiFi coexistence using decision tree and game theory,” *IEEE Wirel.*

- Commun. Netw. Conf. WCNC, vol. 2016-Sept, Wcnc, 2016.
- [18] R. H. Tehrani, S. Vahid, D. Triantafyllopoulou, H. Lee, and K. Moessner, "Licensed spectrum sharing schemes for mobile operators: A survey and outlook," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2591 - 2623, 2016.
- [19] S. Bhattarai, J. M. Park, B. Gao, K. Bian, and W. Lehr, "An Overview of Dynamic Spectrum Sharing: Ongoing Initiatives, Challenges, and a Roadmap for Future Research," *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 2, no. 2, pp. 110 - 128, 2016.
- [20] 이지윤, 박수민, 홍승필, "블록체인 환경 내 노드 인증 및 식별 방안 제안", *한국통신학회 학술대회 논문집*, pp.476-477, 2018.
- [21] N. Satoshi. "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system, 2008. URL: [http://www. bitcoin. org/bitcoin.pdf](http://www.bitcoin.org/bitcoin.pdf). 2012.
- [22] L Feng, H Zhang, Y Chen and L Lou, "Scalable Dynamic Multi-Agent Practical Byzantine Fault-Tolerant Consensus in Permissioned Blockchain." *Applied Sciences* vol.8, no.10, 2018.
- [23] 박태진, "블록체인을 활용한 온라인 투표 시스템 설계 및 구현", *한양대학교 공학대학원 석사학위 논문*, 2019
- [24] 강승준, "블록체인 기술의 이해와 개발 현황 및 시사점", *정보통신산업진흥원 이슈리포트* vol.13, 2018.
- [25] 김병국, 허준범 "블록체인 소프트웨어의 취약점을 이용한 OS 커맨드 인젝션 공격에 대한 연구", *한국정보보호학회*, vol.29, no.2, pp.309-320, 2019.
- [26] W Meng, EW Tischhauser, Q Wang, Y Wang and J. Han, "When

intrusion detection meets blockchain technology: a review” IEEE Access, vol.6, pp.10179–10188, 2018.

[27] S. K. Kim, U. M. Kim, J. H. Huh, “A Study on Improvement of Blockchain Application to Overcome Vulnerability of IoT Multiplatform Security” Energies, vol. 12, pp.402–430, 2019.

[28] K. J. Kim and S. P. Hong, “A Trusted Sharing Model for Patient Recordsbased on Permissioned Blockchain”, Journal of Internet Computing and Services, vol. 18, no. 6, p.75–184, 2017.

[29] Nick Szabo, “Smart Contracts”, 1994

[30] 박소영, “생활속에 스며드는 스마트 컨트랙트 현황 및 준비과제” 한국과학기술기획평가원, vol.259, pp.1–28, 2018

[31] Vitalik buterin, “Ethereum white paper: a next generation smartcontract & decentralized application platform”, <https://ethereum.org/>, 2014

[32] Y. J. Choi, H. J. Kang and I. G. Lee, “Scalable and Secure Internet of Things Connectivity.” Electronics, vol. 8, no. 75, p.1–15, 2019.

[33] B. Benmammam and F. Krief, “Game theory applications in wireless networks: A survey.” Appl. Inf. Syst. Eng. Biosci., no.5, pp. 208 - 215, 2013.

[34] C. Shi, F. Wang, M. Sellathurai, and J. Zhou, “Non-Cooperative Game Theoretic Power Allocation Strategy for Distributed Multiple-Radar Architecture in a Spectrum Sharing Environment.” IEEE Access, vol. 6,

pp. 17787 - 17800, 2018.

[35] T. Connolly and R. Axelrod, "The Evolution of Cooperation.," Adm. Sci. Q., vol. 29, no. 4, p. 661, Dec. 1984.

# ABSTRACT

## A Study on the Expansion of a Secure Blockchain Network Based on Game Theory for Spectrum Sharing

Ye jin Choi

Department of Future Coverage

Technology Engineering

Graduate School of

Sungshin University

In preparation for the Fourth Industrial Revolution, the demand for advanced wireless communication networks and frequencies continues to grow. To share frequency effectively in a limited frequency resource environment, studies to develop spectrum-sharing technology should be conducted. However, when managing the spectrum in a centralized or decentralized manner, there are problems to be solved.

In this study, a blockchain-based spectrum-sharing system, in which various types of users can efficiently share spectrum in dense networks, is proposed. Furthermore, a method to apply game theory to obtain cooperation from users who do not participate in the spectrum-sharing system is studied. When the simulation was conducted based on game

theory, the proposed blockchain-based spectrum-sharing technique was simulated by using the tit-for-tat (TFT) strategy, in which the system cooperates with the users if the users collaborate and the system does not cooperate with the users if the users do not collaborate. Simulations show that there are more than a certain percentage of users who use the TFT strategy, and if users are encouraged to change their sharing strategy on a regular basis, they can provide more efficient spectrum sharing than traditional centralized methods. It was confirmed that this technique can improve spectrum sharing by 55.1% or more through optimization.