

기본연구 | 25-13

# 주파수 경매에서 네트워크 구축조건 도입 방식에 대한 연구

백소성

2025. 12





기본연구 | 25-13

# 주파수 경매에서 네트워크 구축조건 도입 방식에 대한 연구

백소성

2025. 12



## 서 언

이동통신 네트워크는 디지털 경제의 발전과 국가 경쟁력을 좌우하는 핵심 인프라입니다. 기술 세대가 진화할수록 네트워크의 고도화와 촘촘한 커버리지 확보는 국민의 편익 증진과 직결되는 필수 과제가 되었습니다. 이에 정부는 주파수 할당 시 망 구축 의무를 부과하여 네트워크 투자를 유도해 왔습니다. 그러나 최근 글로벌 통신 시장의 투자 정체 기조 속에서, 기존의 직접 규제 방식은 사업자의 부담을 가중시키고 자칫 비효율적인 투자를 유발할 우려가 있습니다. 따라서 규제의 경직성을 탈피하고 투자의 효율성을 제고할 수 있는 새로운 정책 대안을 모색해야 할 시점입니다.

이에 본 연구는 주파수 자원 이용 및 네트워크 구축의 효율을 극대화하기 위한 정책 방안으로 점수 경매에 기반한 간접 규제 도입을 제안합니다. 본 연구는 사업자가 가격뿐만 아니라 네트워크 품질 및 커버리지 수준을 스스로 제시하고, 이를 종합적으로 평가하여 낙찰자를 결정하는 경매 방식을 이론적으로 분석하였습니다. 이를 통해 네트워크의 외부효과를 내부화하고, 전통적인 직접 규제 대비 사회적 후생을 개선할 수 있는 방안을 제시하였습니다.

본 연구의 결과가 향후 우리나라 주파수 할당 정책 수립에 있어 규제의 합리성을 제고하고, 사업자의 자율적인 투자를 유도하여 통신 시장의 건전한 생태계를 조성하는 데 기여할 수 있는 의미 있는 자료로 활용되기를 기대합니다.

2025년 12월

정보통신정책연구원

원 장 이 상 규



## 목 차

서 언 .....	1
요약문 .....	7
제 1 장 서 론 .....	13
제 2 장 네트워크 구축조건 .....	20
제 1 절 네트워크 구축조건외 필요성 .....	20
제 2 절 직접 규제와 간접 규제 .....	22
제 3 절 국내 사례 .....	24
제 4 절 해외 사례: 미국 .....	28
제 5 절 해외 사례: 영국 .....	32
제 6 절 해외 사례: 오스트리아 .....	34
제 7 절 해외 사례: 싱가포르 .....	37
제 8 절 해외 사례: 홍콩 .....	40
제 3 장 직접 규제와 간접 규제: 단일 대리인 모형 .....	43
제 1 절 완전정보 모형 .....	43
제 2 절 비대칭정보 모형 .....	48
제 4 장 점수 경매 .....	51
제 1 절 점수 경매의 개념 .....	51

제 2 절 점수 경매 모형 .....	53
제 3 절 최고점수 경매 균형 .....	56
제 4 절 제2점수 경매 균형 .....	59
제 5 절 예시 .....	62
제 6 절 최고점수 및 제2점수 경매의 동등성 .....	66
<b>제 5 장 사회적 후생 분석 .....</b>	<b>69</b>
제 1 절 메커니즘 설계 문제 .....	69
제 2 절 최선의 결과 .....	74
제 3 절 점수 경매의 최적성 .....	77
제 4 절 직접 규제와의 비교 .....	80
제 5 절 기존 문헌과의 차별점 .....	82
<b>제 6 장 제한된 정보 하의 대안: 국지적 내부화 .....</b>	<b>84</b>
<b>제 7 장 결 론 .....</b>	<b>87</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>90</b>
<b>부록 A: 표준 경매 모형 .....</b>	<b>92</b>
<b>부록 B: 정리 6.1의 증명 .....</b>	<b>96</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>98</b>

## 표 목 차

〈표 2-1〉 국내 2011년 경매 망 구축 의무 .....	25
〈표 2-2〉 국내 2013년 경매 망 구축 의무 .....	25
〈표 2-3〉 국내 2016년 경매 망 구축 의무 .....	26
〈표 2-4〉 국내 2018년 경매 망 구축 의무 .....	26
〈표 2-5〉 국내 2021년 재할당 망 구축 인센티브 .....	27
〈표 5-1〉 모형 비교 .....	83

## 그림 목 차

[그림 4-1] 누적분포함수 $F_t$ .....	63
[그림 4-2] 모조 타입 $\tau$ 의 균형 점수 $s^I(\tau)$ .....	64
[그림 4-3] 최고점수 경매의 균형 입찰가 $b^I(\theta, x)$ .....	65
[그림 4-4] 제2점수 경매의 균형 입찰가 $b^II(\theta, x)$ .....	65

# 요 약 문

## 1. 제 목

주파수 경매에서 네트워크 구축조건 도입 방식에 대한 연구

## 2. 연구 목적 및 필요성

통신 네트워크 인프라의 고도화는 디지털 전환과 산업 경쟁력 제고를 이끄는 핵심 요소로, 국가 경제와 사회 전반의 혁신을 뒷받침하는 기반의 역할을 한다. 통신 네트워크는 산업 전반의 생산성 향상, 국가 안보, 지역 격차 해소 등 다양한 양의 외부성을 지니고 있어, 시장의 자율적 기능만으로는 사회적으로 최적 수준의 투자가 이루어지기 어렵다. 이러한 문제의식을 바탕으로 많은 국가들은 정부가 적극적으로 시장에 개입하여 네트워크 인프라 확충을 촉진하는 정책을 시행해 왔으며, 특히 일정 수준의 무선국 설치 수나 커버리지·품질 지표 달성을 의무화하는 직접 규제 방식이 주된 정책 수단으로 활용되어 왔다.

그러나 이와 같은 직접 규제 중심 접근의 한계점에 대한 우려가 제기되고 있다 (여재현 외, 2021). 엄격한 커버리지 의무 및 품질 규제는 사업자의 비용 부담을 가중시키고 비효율적인 투자를 강제하여, 규제의 의도와는 달리 네트워크 투자와 커버리지 확대를 오히려 저해하는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 네트워크 투자를 보다 효율적이고 지속 가능한 방식으로 유도하기 위해, 기존의 직접 규제 중심 프레임워크에서 벗어나 투자 인센티브를 강화하면서도 공공성을 확보할 수 있는 새로운 규제를 설계할 필요성이 제기된다.

본 연구는 이러한 문제 인식을 토대로, 주파수 경매 과정에서 일정 지표 달성을

의무화하는 전통적 직접 규제 대신, 점수 경매(score auction)를 활용한 간접 규제 수단을 도입함으로써 주파수 할당 및 네트워크 구축의 효율성을 제고할 수 있는 방안을 탐색하는 것을 목적으로 한다.

### 3. 연구의 구성 및 범위

본 보고서는 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장에서는 네트워크 구축조건 of 필요성을 기술하고, 직접 규제와 간접 규제의 개념을 설명하고, 주요국의 네트워크 구축 정책 사례를 기술한다. 제3장에서는 단일 대리인(single agent) 모형을 통해 정보 비대칭 하에서 직접 규제와 간접 규제의 정책 효과를 분석한다. 제4장에서는 주파수 할당에서 네트워크 구축을 위한 간접 규제의 수단으로서 점수 경매의 모형을 수립하고, 기본적인 결과를 도출한다. 구체적으로, 최고점수 경매와 제2점수 경매의 균형을 유도하며, 두 점수 경매의 정책 효과가 네트워크 품질 및 기대 수입의 측면에서 동등함을 증명한다. 제5장에서는 정책 설계자의 사회적 후생 극대화 문제를 기술하고, 네트워크 외부성을 내부화하도록 점수 규칙을 설계한 점수 경매가 최적을 달성하며, 따라서 직접 규제보다 높은 정책 성과를 달성함을 보인다. 제6장에서는 네트워크 외부성 함수 전체의 추정이 제한적일 때, 한계 사회적 이익에 대한 한 점 추정치(point estimate)만으로도 국지적 내부화(local internalization)에 기반한 간접 규제를 통해 직접 규제에 비해 사회적 후생을 개선할 수 있음을 보인다. 제7장은 연구를 결론짓고, 추가적인 연구 과제를 제시한다.

### 4. 연구 내용 및 결과

본 연구는 점수 경매(score auction)를 활용하여 주파수 할당 과정에 네트워크 구축 의무를 간접 규제 형태로 도입하는 방안을 이론적으로 분석한다. 점수 경매란 입찰자가 가격만을 제시하는 일반적인 경매와 달리 가격과 함께 상품·서비스

의 품질에 관한 조건을 함께 제시하고, 경매 운영자는 가격 및 품질 조건을 종합한 점수에 따라 낙찰자를 결정하는 경매 방식이다(Che, 1993; Asker & Cantillon, 2008). 일반적으로 품질에 관심을 갖는 주체는 판매자가 아니라 구매자이므로, 점수 경매는 경매 운영자가 구매자인 조달 경매(procurement auction)의 맥락에서 주로 활용되어 왔다. 그러나 주파수 할당에서 정부는 단순한 주파수 판매자에 그치지 않고, 네트워크 구축으로 인한 양의 외부성을 고려하여 주파수 이용으로부터 발생하는 사회적 편익을 관리할 책임을 진다. 이러한 점에서 주파수 할당은 경매 운영자가 판매자임에도 불구하고 점수 경매를 도입할 수 있는 특수한 맥락을 제공한다.

본 연구에서 수립한 모형은 다음과 같다. 각 사업자(입찰자)는 입찰가에 더하여, 주파수를 할당받을 경우 제공할 이동통신 서비스의 품질 지표를 제출한다. 정부(판매자)는 사전에 설정한 기준에 따라 입찰가와 품질 지표를 종합하여 점수를 산출하고, 점수가 가장 높은 사업자에게 주파수를 할당한다. 사업자의 사적정보는 주파수에 대한 지불의사(willingness-to-pay)와, 네트워크 구축 비용을 결정하는 파라미터로 구성된다. 즉 본 연구는 2차원 행동(입찰가-품질), 2차원 타입(지불의사, 비용) 모형을 분석한다.

주요 결과에 따르면, 점수 규칙을 적절히 설계함으로써 정부는 점수 경매 기반 간접 규제를 통해 전통적인 직접 규제보다 더 높은 사회적 후생을 달성할 수 있을 뿐 아니라, 비대칭 정보 하에서 실현 가능한 모든 메커니즘 가운데 사회적 후생을 극대화하는 제도를 구현할 수 있다. 보다 구체적으로, 네트워크 구축으로부터 발생하는 양의 외부성을 내부화하도록 점수 규칙을 설계할 경우, 점수 경매는 사회적으로 효율적인 결과를 낳는다.

이 결과의 직관은 다음과 같다. 사회적으로 최적인 네트워크 구축 수준은 낙찰자의 사적정보인 비용 구조에 따라 달라진다. 전통적인 직접 규제는 고정된 네트워크 품질 수준을 부과하므로, 사업자의 비용 구조에 따라 상이한 사회적 최적 수준을 구현할 수 없다. 반면, 최적의 점수 경매는 사업자의 사적 편익이 네트워크

외부성을 포함한 사회적 편익과 일치하도록 인센티브를 설계한다. 이로 인해, 균형에서 사업자는 자신의 사적 이익을 극대화하는 과정에서 사회적으로 효율적인 수준의 네트워크 품질을 자발적으로 선택하며, 자신이 주파수를 할당받아 창출하는 사회적 후생을 반영하여 점수를 제출한다. 즉 최적의 점수 경매는 각 사업자가 사회적 후생을 극대화하는 네트워크 품질을 선택하도록 유도하며, 경매 참여자 중 최대의 사회적 후생을 창출하는 사업자에게 주파수를 할당한다는 점에서 사회적으로 효율적이다.

## 5. 기대효과

본 연구는 주파수 경매에서 간접 규제 형태로 네트워크 구축조건을 도입할 이론적 근거를 제공한다. 본 연구의 결과는 정부가 네트워크로부터 발생하는 양의 외부성에 대한 합리적인 추정치를 보유할 경우, 이에 기반해 최적의 점수 경매를 설계함으로써 사회적 후생을 극대화할 수 있음을 함의한다. 더 나아가, 외부성의 정확한 크기가 불분명하더라도, 그 대략적인 규모에 관한 사회적인 합의가 존재한다면 점수 경매를 통해 이러한 가치를 주파수 할당 결과에 반영할 수 있다. 전통적인 직접 규제는 망 구축 의무의 기준을 지나치게 낮게 설정할 경우, 시장에서 형성되는 실제 품질 및 투자 수준이 정책적으로 기대하는 수준에 미치지 못할 위험이 있다. 반대로 기준을 과도하게 높게 설정할 경우, 사업자의 부담을 필요 이상으로 가중하여 비효율을 초래할 수 있다. 점수 경매에 기반한 간접 규제는 사업자가 시장 여건 및 자사 전략을 고려하여 네트워크 품질과 투자 수준을 탄력적으로 조정할 수 있는 여지를 확보함과 동시에, 네트워크로부터 발생하는 양의 외부성을 사업자의 의사 결정에 체계적으로 반영할 수 있다는 장점을 지닌다.

이에 더해, 간접 규제는 시장 참여자의 저변을 확대함으로써 경쟁을 촉진하고, 주파수 유희 및 경매 유찰 가능성을 완화할 것으로 기대된다. 고정된 망 구축 의무가 부과되는 직접 규제 환경에서는, 의무 준수 비용을 감안한 기대 이윤이 음수

가 되어 경매 참여를 포기하는 사업자가 일부 존재할 수 있다. 반면 점수 경매 기반 간접 규제에서는 사업자가 자신에게 경제적으로 타당한 네트워크 품질 수준을 선택할 수 있기 때문에, 동일한 기업이라도 간접 규제 하에서는 기대 이윤이 양수로 전환되어 경매에 참여할 유인을 가질 수 있다. 이와 같이 간접 규제는 기존 제도하에서 시장 진입이 어려웠던 잠재 사업자들에게 새롭게 입찰에 참여할 기회를 제공하고, 그 결과 이동통신 시장의 경쟁을 활성화하고 주파수의 유희 및 유찰 가능성을 줄이는 데 기여할 수 있다.



## 제1장 서론

디지털 경제에서 네트워크는 다양한 경제 활동 및 사회적 교류를 위한 기초적 인프라로서의 역할을 지닌다(김지환 외, 2024). 전자상거래, 플랫폼, 인터넷 강의, 고화질 동영상 스트리밍, 소셜 미디어, 정부 민원 처리 등 다양한 분야에 걸쳐 현대 사회에서 네트워크가 직간접적으로 기여하지 않는 분야는 드물다. 이동통신 기술은 세대별로 점진적인 발전을 이루어 왔으며, 각 세대의 도입은 새로운 서비스의 가능성을 확장하고 산업 구조의 변화를 야기해 왔다. 3G는 데이터 통신 기능을 제공함으로써 모바일 웹 브라우징, 이메일, 메신저와 같은 정보 기반 서비스의 활용을 지원하였다. 4G는 고속 데이터 전송을 기반으로 스트리밍, 모바일 게임, 플랫폼, 실시간 교통 등의 서비스를 지원하면서 다양한 스마트폰 애플리케이션의 일상화를 이끌었다. 5G 네트워크는 데이터 전송 속도, 지연 시간, 연결 밀도 등의 기술적 성능을 개선하여, 산업 자동화, 대규모 사물인터넷(IoT) 등 다양한 분야에서 활용이 기대되고 있다.

이처럼 네트워크 기술의 진화는 단순한 통신 수단의 개선에 그치지 않고, 다양한 산업 분야의 구조를 변화시키고 새로운 서비스의 등장을 촉진해 왔다. 이에 따라 주요국 정부는 5G 네트워크의 고도화뿐만 아니라, 인공지능(AI), 클라우드, 엣지(edge) 컴퓨팅 등 신산업과의 연계를 고려한 통신 인프라 전략을 적극 추진하고 있다. 특히 AI 기반 서비스는 대량의 데이터를 빠르게 수집 및 전송하고 실시간으로 처리할 수 있는 통신 환경을 전제로 하는 경우가 많아, 고성능 네트워크는 AI 산업 생태계 발전을 위한 중요한 인프라로 간주된다. 자율주행, 실시간 언어 번역, 실시간 영상 분석, 스마트 팩토리과 같은 기술은 빠른 속도, 낮은 지연, 높은 안정성을 지닌 네트워크가 뒷받침되어야만 안정적으로 운영될 수 있다. 이러한 맥락에서 네트워크는 AI 기반 디지털 전환의 토대로서 가능하며, 따라서 네트워크 인프라 확보는 글로벌 시장에서 미래 디지털 경쟁력의 기반이라고 할 수 있다.

일반적으로 공공 인프라를 확충하거나 신기술 개발의 기반 시설을 도입하는 데 있어 크게 두 가지 접근 방식이 있다. 하나는 정부 주도(government-oriented)이며, 하나는 시장 주도(market-oriented)이다. 정부 주도 접근은 공공의 필요나 장기적 국가 전략을 우선시하여, 정부가 직접 재원을 투입하거나 계획, 건설, 운영을 진행하는 방식이다. 이러한 방식은 국가 차원의 일관된 방향 제시 및 자원 배분의 형평성 측면에서 강점을 지니며, 시장 실패가 우려되거나 초기 수익성이 낮은 분야에서 특히 효과적이다. 그러나 재정 부담이 크고, 투자 결정에 있어 시장의 다원적 정보를 활용하기 어려우며, 행정 비효율 및 제한된 혁신 유인으로 인해 시장 주도 방식보다 일반적으로 효율성 및 역동성이 부족하다는 한계가 존재한다.

반면 시장 주도 접근은 민간 부문의 자율성과 효율성을 기반으로 하여, 기업이 수익성을 판단해 자발적으로 투자를 결정하도록 유도하고, 기업 간 경쟁을 통해 인프라의 진화와 신기술 발전을 촉진하는 방식이다. 이 방식은 자본의 효율적 배분, 기술 혁신, 서비스 개선 등에서 강점을 지니며, 공공 재정에 대한 부담이 상대적으로 낮다. 그러나 수익성이 낮은 지역이나 사회적 약자에 대한 서비스 소외 문제, 민간 독과점으로 인한 시장 실패, 장기적 공공성 확보의 어려움 등의 문제가 발생할 수 있다.

실제 산업 정책 운영에 있어 순수한 정부 주도나 시장 주도 접근은 드물며, 일반적으로 두 방식을 균형적으로 조합한 접근을 활용한다. 네트워크 구축의 경우, 해외 주요 국가에서는 시장 주도 접근을 기반으로 하되, 시장 실패를 방지하기 위해 정부가 일정 수준 개입하고 있다. 즉 네트워크를 구축하고 운영하는 주체는 통신 사업자로서, 이들은 기술적 전문성과 투자 판단 능력을 갖추고 있으며, 민간의 자율성을 기반으로 시장에 참여한다. 한편 정부는 주파수 할당 시 네트워크 구축 조건을 부여함으로써 시장에 개입한다. 네트워크 구축조건은 무선국 수, 일반적인 커버리지 수준, 지정된 유형의 장소에 대한 커버리지 등 다양한 품질 기준과 관련하여 통신 사업자가 제공해야 하는 서비스 수준의 하한선을 규정하거나, 통신 사

업자의 서비스 수준에 연계하여 인센티브를 제공한다. 이로써 시장 메커니즘을 통해 자본과 기술의 효율적 활용을 촉진하는 동시에, 네트워크 구축조건을 통해 공공성이 요구되는 영역에서 사회적 목표를 달성할 수 있다.

네트워크 공급에 대한 정부의 개입을 정당화하는 근거는 크게 두 가지이다. 첫째, 네트워크는 양의 외부성(positive externality)을 지니는 대표적인 재화이다. 네트워크로 연결된 이용자가 늘어날수록 각 이용자가 네트워크로부터 얻는 효용은 증가한다. 또한 앞서 설명하였듯이, 네트워크는 첨단 기술 개발의 토대로서 사회 전반의 혁신을 촉진하고 생산성을 높이는 효과를 지닌다. 이에 더해, 네트워크는 국가 안보 체계의 효율적 작동, 재난 발생 시 긴급 대응 체계의 신속한 정보 전달, 고립 지역이나 사회적 약자의 사회적 연결 유지 등 다양한 사회적 가치를 창출한다. 그러나 이러한 외부효과는 민간 사업자의 수익 구조에 직접 반영되지 않기 때문에, 시장에 맡길 경우 네트워크가 사회적으로 바람직한 수준보다 과소공급될 가능성이 높다. 이는 전형적인 시장 실패의 사례로서, 정부 개입의 필요성을 강하게 뒷받침한다.

둘째, 네트워크 구축은 지역별 인구 밀도와 경제활동 수준에 따라 수익성의 차이가 크게 발생한다. 이로 인해 민간이 자발적으로 인프라를 구축하는 경우 수익성이 낮은 농어촌이나 낙후 지역은 시장에서 배제되기 쉬우며, 결과적으로 지역 간 네트워크 접근 격차가 심화된다. 그러나 오늘날 통신은 단순한 소비재가 아닌, 교육, 노동, 의료, 행정 등 주요 공공 서비스에 대한 접근을 가능하게 하는 필수재로 인식되기 때문에, 이러한 격차는 형평성과 사회 통합 차원에서 중대한 정책 문제로 대두된다. 이에 따라 정부는 디지털 격차 해소 및 보편적 서비스 제공을 위해 일정 수준 이상의 인프라가 모든 국민에게 최소한으로 보장될 수 있도록 제도적 개입을 수행할 정당성과 책임을 지닌다.

정부가 네트워크 구축을 위해 활용할 수 있는 정책 수단은 크게 직접 규제와 간접 규제로 나뉜다. 우선 직접 규제(direct regulation)는 주파수 할당 시점에서 정부가 일정 수준의 네트워크 구축조건을 명시하고, 이를 충족하지 못할 경우 제

재나 할당 취소 등의 조치를 취하는 방식이다. 우리나라를 비롯하여 해외 주요국에서는 주로 직접 규제를 활용해 왔다. 예컨대 우리나라의 주파수 할당에서는 기존 기지국 수를 설정한 뒤, 할당일로부터 일정 기간 내에 해당 기준 대비 일정 비율 이상을 구축하도록 의무화하는 방식이 일반적으로 적용되어 왔다. 미국 연방통신위원회(FCC) 또한 주파수 할당일로부터 일정 기간 내에 면허 지역 인구 일정 비율 이상의 커버리지를 요구하는 등의 의무를 부과하고 있다. 이와 같이 직접 규제는 일정한 통신 서비스 수준을 전국적으로 확보하고자 할 때 강제력을 수반하는 제도적 수단으로 유용하게 활용되고 있다.

반면, 간접 규제(indirect regulation)는 네트워크 구축 성과에 따라 보조금 지급이나 주파수 할당대가의 감면 등 경제적 유인을 제공함으로써 기업의 자발적 참여를 유도하는 방식이다. 예컨대 우리나라에서는 2021년 3G 및 4G 주파수 재할당 시 5G 무선국 구축 실적에 따라 재할당 대가를 차등 적용하는 방식을 도입하였는데, 이는 5G 네트워크 투자를 촉진하기 위한 간접 규제의 일환으로 간주할 수 있다. 또한, 미국은 '5G Fund for Rural America'를 통해 농촌 지역 망 구축을 희망하는 사업자들을 대상으로 역경매(reverse auction)를 실시하여, 최저 입찰가(보조금)를 제시한 사업자를 선정하여 망 구축을 위임하고 보조금을 지급하였다. 간접 규제는 경쟁적 유인을 유지하면서도 정책 목표를 달성할 수 있는 유연한 수단으로 여겨진다.

우리나라를 비롯하여 해외 주요국에서는 주파수 할당 시 일정 기간 내에 정해진 수준의 무선국 수, 또는 커버리지 지표를 달성하기를 요구하는 직접 규제가 주로 활용되어 왔다. 그러나 인센티브 설계 이론에 따르면, 일반적으로 대리인(agent)이 사적정보를 지닐 때 특정 수준을 의무로서 부과하는 직접 규제는 금전적 인센티브를 활용하는 간접 규제에 비해 효율성이 낮은 경향을 보인다. 이는 간접 규제에서는 정책 결과가 대리인의 사적정보를 반영할 수 있는 반면, 직접 규제에서는 그렇지 못하기 때문이다. 즉 직접 규제의 경우, 정책 설계자는 대리인의 비용을 정확히 알지 못하는 상태에서 기준값을 직접 결정하며, 대리인은 이를 의무로서

이행한다. 반면 간접 규제의 경우, 정책 설계자가 인센티브 구조를 제시하면 대리인이 자신의 사적정보에 기초하여 사적 이익을 극대화하는 선택을 내린다. 결과적으로 간접 규제는 대리인의 선택 과정을 통해 사적정보가 결과에 반영되도록 유도함으로써, 직접 규제보다 효율적인 결과를 달성할 수 있다.

본 보고서는 점수 경매를 통해 주파수 할당 및 네트워크 구축 정책에 간접 규제를 도입하는 방안을 모색한다. 점수 경매란 입찰자가 가격만을 제시하는 일반적인 경매와 달리, 가격과 함께 서비스 품질, 투자 계획 등 질적 요소를 추가로 제시하는 경매이다. 경매 운영자는 사전에 설정한 평가 기준에 따라 가격과 질적 요소를 종합하여 점수(score)를 산출하고, 가장 높은 점수를 받은 입찰자에게 계약을 낙찰한다(Che, 1993, Asker & Cantillon, 2008). 일반적으로 질적 측면에 관심을 갖는 것은 판매자가 아니라 구매자이기 때문에, 점수 경매는 주로 경매 운영자가 구매자인 조달 경매(procurement auction)의 맥락에서 활용되어 왔다. 반면 주파수 경매에서 정부는 단순한 주파수 판매자에 그치지 않으며, 해당 자원의 활용을 통한 사회적 후생의 극대화를 정책 목표로 삼는다. 따라서 정부는 네트워크 커버리지, 품질, 투자 규모 등 비가격적 속성에 대해 조달 경매의 구매자와 유사한 선호를 갖게 된다. 따라서 본 보고서는 주파수 경매를 정부가 판매자임에도 불구하고 점수 경매를 적용할 수 있는 특수한 맥락으로 파악하고, 이 환경에 적합한 점수 경매 기반 간접 규제 메커니즘을 설계·분석한다.

본 연구에서 분석하는 모형을 간략히 설명하면 다음과 같다. 우선 각 입찰자는 경매에서 입찰가와 함께 네트워크 품질 지표를 제시한다. 이때 네트워크 품질 지표는 단순히 무선국 수와 같이 설비 수준을 나타낼 수도 있고, 특정 속도 이상을 보장받는 인구/지역 비율 등 네트워크 서비스의 품질 자체를 나타낼 수도 있다. 정부는 사전에 공지한 점수 규칙에 따라 입찰가와 품질 지표를 결합하여 각 입찰자의 점수를 산출하고, 가장 높은 점수를 획득한 사업자에게 주파수를 할당한다. 한편 각 입찰자의 사적정보는 주파수에 대한 지불의사(willingness-to-pay)에 더해, 네트워크 품질을 달성하는 데 소요되는 비용을 결정하는 파라미터로 구성된

다. 즉 본 연구는 2차원 행동(입찰가, 품질)-2차원 타입(지불의사, 비용) 모형을 분석한다. 분석을 통해 이러한 2차원 행동-2차원 타입 모형을 표준적인 1차원 행동-1차원 타입의 경매 모형으로 환원(reduce)할 수 있음을 보이고, 이를 토대로 균형을 도출하였다(제4장).

본 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 점수 경매에 기반한 간접 규제 방식이 전통적인 직접 규제 방식보다 더 높은 사회적 후생을 달성할 수 있음을 이론적으로 증명하였다(제5장). 점수 규칙을 통해 네트워크 구축으로부터 발생하는 양의 외부성을 내부화하도록 점수 경매를 설계함으로써, 정부는 구현 가능한 모든 메커니즘 중에서 사회적 후생을 극대화하는 결과를 도출할 수 있다. 이는 비용 구조에 대한 정보 비대칭에도 불구하고, 인센티브 설계를 통해 사업자가 사회적으로 효율적인 수준의 네트워크 품질을 자발적으로 선택하고, 주파수를 할당받아 창출할 수 있는 사회적 편익을 반영한 점수를 선택하도록 유도할 수 있음을 의미한다.

둘째, 네트워크 외부성 함수에 대한 정보가 제한적이더라도, 국지적 내부화(local internalization)를 통해 직접 규제에 비해 사회적 후생을 개선하는 점수 경매를 설계할 수 있음을 보였다(제6장). 위에서 기술한 최적의 점수 경매를 구현하기 위해서는 품질 수준 전체 구간에 대한 외부성 함수의 추정치가 필요하나, 현실적으로 정부가 이러한 정보를 지닌 경우는 드물다. 그러나 이러한 제약 하에서도, 기존 직접 규제가 설정한 목표 수준에서 네트워크 구축의 한계적 사회편익에 대한 한 점 추정치(point estimate)만 확보된다면, 정부는 주어진 목표 수준 근방에서 품질 선택의 유연성을 부여함으로써 사회적 후생을 개선할 수 있다. 이는 외부성에 대한 정밀한 추정이 어렵거나 급격한 제도 변화가 부담스러운 정책 결정자에게, 기존 규제의 틀을 상당히 유지하면서도 사회적 후생을 효과적으로 개선할 수 있는 현실적 절충안을 제시한다.

본 보고서는 다음과 같이 구성된다. 우선 제2장에서는 네트워크 구축조건의 필요성을 기술하고, 직접 규제와 간접 규제의 개념을 설명하며, 주요국의 네트워크 구축 정책 사례를 검토한다. 제3장에서는 단순한 단일 대리인 모형(single-agent

model)을 통해 직접 규제와 간접 규제의 정책 효과를 비교한다. 제4장에서는 주파수 할당의 맥락에서 점수 경매의 모형을 수립하고, 주요 메커니즘인 최고점수 경매와 제2점수 경매의 균형을 유도한다. 이에 더해 수입 동등성 정리(Revenue Equivalence Theorem; Myerson, 1981)의 결과로서, 네트워크 품질과 기대수입의 측면에서 최고점수 경매와 제2점수 경매의 정책 성과가 동등함을 보인다. 본 연구의 핵심 결과인 제5장에서는, 네트워크 외부성을 내부화하도록 점수 규칙을 설계한 점수 경매가 사회적 후생을 극대화함을 보인다. 다음으로 제6장에서는 네트워크 외부성 함수에 대한 제한적 정보 하에서, 외부성을 국지적으로 내부화하는 점수 경매를 통해 직접 규제에 비해 효율성을 개선하는 방안을 제시한다. 마지막으로 제7장에서는 연구를 결론짓고, 점수 경매를 현실 정책에 도입하기 위해 필요한 추가적인 연구 과제를 논의한다.

## 제 2 장 네트워크 구축조건

### 제 1 절 네트워크 구축조건외 필요성

주파수 할당 시 네트워크 구축조건을 도입하는 이유는, 사업자의 인센티브만을 기준으로 네트워크 투자를 결정하면 시장 실패가 일어나기 쉽기 때문이다. 시장 실패의 이유는 크게 외부성(externality)과 형평성(equity)의 측면에서 살펴볼 수 있다.

첫째, 외부성이란 한 경제 주체의 행위가 다른 경제 주체의 편익에 미치는 영향이 시장에서 가격에 반영되지 않는 경우를 가리킨다. 이러한 영향이 긍정적인 경우를 양의 외부성(positive externality)이라 하며, 부정적인 경우를 음의 외부성(negative externality)이라 한다.

일반적으로 외부성은 시장 실패를 초래한다. 양의 외부성을 지니는 재화의 경우, 사적 한계편익이 사회적 한계편익보다 낮다. 사적 선택에서 최적은 사적 한계편익과 사적 한계비용이 일치하는 수준에서 결정되는 반면, 사회적 최적은 사회적 한계편익과 사회적 한계비용이 일치하는 수준에서 결정된다. 따라서 일반적으로 양의 외부성을 지니는 재화는 시장에서 과소 공급된다. 즉, 사적 선택으로부터 도출된 균형에서의 생산량이 사회적으로 최적인 생산량보다 낮다. 같은 원리로, 음의 외부성을 지니는 재화는 과다 공급된다.

네트워크는 양의 외부성을 지니는 대표적인 재화이다. 우선, 네트워크는 연결된 이용자가 많을수록 개별 이용자의 효용이 증가하는 직접적 네트워크 효과를 갖는다. 그러나 개별 소비자의 지불의사는 자신이 누리는 사적 편익에 국한되므로, 자신의 가입이 타인에게 제공하는 추가적 편익은 시장가격에 반영되지 않는다. 나아가 네트워크는 단순한 통신수단을 넘어, 디지털 전환과 기술 혁신의 토대로서 광범위한 파급효과를 창출한다. 고도화된 네트워크는 AI, 자율주행 등 연관 산업의

발전을 견인하고, 재난 대응 및 정보 격차 해소와 같은 사회 안전망 기능을 수행함으로써 공공의 이익에 기여한다. 그러나 이러한 기술적 파급효과 또한 시장가격에 온전히 반영되지 못한다. 즉 네트워크 투자로부터 발생하는 사회적 편익은 사업자의 사적 편익보다 높다. 따라서 네트워크 투자가 전적으로 사업자의 사적 인센티브에 따라 결정될 경우, 사회적으로 최적인 수준보다 과소 공급되는 시장 실패가 발생한다.

둘째, 민간의 사적 인센티브에 전적으로 의존한 투자는 지역 간 불균형을 초래하기 쉽다. 사업자가 네트워크 투자로부터 벌어들일 수 있는 수입은 인구 밀도, 소득 수준, 교통 및 인프라 등 지역별 사회경제적 여건에 따라 상이하다. 이윤 극대화를 추구하는 사업자의 최적 전략은 한계수입이 높은 고수요 지역에 투자를 집중하고, 수익성이 낮은 지역의 투자는 줄이는 것이다.

자원의 효율적 배분 관점에서, 이러한 네트워크 수준의 지역 간 차이가 반드시 사회적으로 바람직하지 않은 것은 아니다. 수요가 높은 지역에 더 많은 자원을 투입하는 것은 경제적으로 합리적이다. 그러나 이러한 격차가 심화되어 필수적인 접근권마저 제한된다면 심각한 형평성 문제로 이어질 수 있다. 수요가 일정 수준에 미치지 못하는 지역의 경우, 사업자의 최적 선택은 네트워크에 투자하지 않거나, 최소한의 수준만을 제공하는 것일 수 있다. 통신 서비스가 사회적 관계, 교육, 재난 관리 등 다양한 분야를 보조하는 사회기반시설로서의 성격을 지닌다는 점에서, 이러한 네트워크 사각지대는 사회적으로 바람직하다고 보기 어렵다.

즉 사적 인센티브에 따라 네트워크를 공급할 경우, 과소 공급 및 불균형 공급이 일어나기 쉽다. 네트워크 구축조건의 목적은 이와 같이 왜곡된 인센티브를 교정하여 사회적으로 바람직한 수준의 투자를 달성하는 것이다.

## 제 2 절 직접 규제와 간접 규제

앞 절에서 기술하였다시피, 사적 인센티브만을 고려한 의사 결정이 시장 실패로 이어질 우려가 있는 상황에서는 정부의 개입이 요구된다. 정부가 개입하는 방식은 크게 직접 규제(direct regulation)와 간접 규제(indirect regulation)으로 구분된다. 이는 정부가 통제하고자 하는 변수가 수량(quantity)인가 또는 가격(price)인가에 따른 구분으로 이해할 수 있다(Weitzman, 1974).

**직접 규제** 직접 규제는 정부가 특정한 목표 수준이나 준수 사항을 명시적으로 설정하고, 민간 사업자에게 이를 의무로서 부과하여 강제하는 방식이다. 이를 명령-통제(command-and-control) 방식이라고도 한다. 네트워크 정책에 있어 직접 규제는 정부가 목표로 하는 기지국 수, 인구/면적 커버리지 비율 등의 지표를 사업자가 충족할 것을 할당 조건으로 부과하는 형태를 띤다.

직접 규제의 가장 큰 장점은 정책 목표 달성의 확실성이다. 사회적으로 필요하다고 판단한 네트워크 품질 수준을 의무화함으로써, 정부는 시장 상황의 변동이나 개별 기업의 여건과 무관하게 목표를 달성할 수 있다. 특히 통신 서비스와 같이 국민의 기본적 편익과 직결되는 필수재의 경우, 소외 지역 없이 보편적인 서비스를 제공하기 위해 직접 규제는 매우 효과적인 수단이다.

그러나 직접 규제는 경직성과 비효율성이라는 단점을 지닌다. 사업자별로 서비스를 제공하기 위한 기술적 세부사항 및 비용 구조가 상이함에도 불구하고 모든 사업자에게 획일적인 기준을 적용하면 일부 사업자가 과도한 준수 부담을 질 수 있다. 예컨대 비용은 높고 실질적 수요는 매우 적은 지역에까지 커버리지를 확보하도록 의무를 부과할 경우, 이를 이행하는 과정에서 사회적 한계비용이 사회적 한계편익을 초과할 수 있다.

**간접 규제** 간접 규제는 직접적인 의무를 부과하는 대신, 품질 수준에 연동하여 금전적 지원을 제공하는 등의 방식을 통해 사업자의 인센티브 구조를 바꿈으로써 사업자의 자발적인 행동 변화를 유도하는 방식이다. 네트워크 정책에서 간접 규제

는 네트워크 구축 실적에 연동된 주파수 할당대가 인하, 네트워크 투자에 대한 세액 공제, 투자 보조금 지급 등이 대표적이다.

간접 규제의 핵심 장점은 효율성(efficiency) 및 유연성(flexibility)이다. 기업이 최적의 투자 수준을 결정하기 위해 필요한 수익성, 비용 구조 등의 정보는 일반적으로 외부에 공개되지 않는 사업자의 사적정보(private information)이다. 이러한 정보 비대칭 상황에서 정부가 일률적인 의무를 직접 부과하는 방식보다, 성과에 연동된 인센티브를 제공하는 방식은 사업자의 자율적 의사결정 과정을 통해 사업자의 사적정보를 간접적으로 반영할 수 있다는 점에서 효율성이 높다. 또한 편익에 비해 비용이 과도하게 높은 지역의 경우 해당 지역에 대해서는 사업자가 인센티브를 적게 받는 대신 투자를 절약할 수 있는 선택지를 보유하므로, 자원 배분의 유연성 또한 제고된다.

하지만 간접 규제는 직접 규제와 비교할 때 정책 성과의 불확실성이라는 단점이 존재한다. 정부가 인센티브를 제공하더라도 기업의 반응을 정확히 예측하기 어렵기 때문에, 최종적으로 달성되는 네트워크 수준이 정부가 사전에 기대한 수준에 미치지 못할 위험이 있다. 인센티브의 수준이 충분하지 않을 경우, 수익성은 부족하지만 정책적으로는 네트워크 확충이 바람직한 지역에 대한 투자가 이루어지지 않아 시장 실패가 그대로 잔존할 수 있다. 반대로 인센티브 수준이 과도하게 높을 경우, 시장 논리만으로도 이미 수행되었을 투자를 공적 재원으로 보조하는 초과보상이 발생할 수 있다. 따라서 간접 규제를 설계할 때에는 성과지표의 산정, 전반적인 인센티브의 수준과 성과에 따른 차등 구조 등 세부사항을 정교하게 설계하여 정책 목표 미달 및 재정 낭비 위험을 최소화하는 것이 중요하다.

### 제 3 절 국내 사례

우리나라의 주파수 경매에서는 할당 후 일정 기간 내에 정해진 수의 기지국 구축을 요구하는 직접 규제를 주로 활용해 왔다. 한편 2021년 3G 및 4G 주파수 재할당에서는 5G 무선국 구축 수에 연동하여 재할당대가를 차등 적용하는 간접 규제가 도입되었다(김희천, 2022).

#### 직접 규제: 망 구축 의무

전파법 제10조 제1항 및 시행령 제11조 제1항에 따르면, 정부는 주파수 할당 시 할당공고를 통해 할당대상 주파수 및 대역폭, 할당방법 및 시기, 주파수 이용기간, 주파수용도 및 기술방식, 가격경쟁 주파수 할당의 방법 및 절차, 최저경쟁 가격 등을 발표하여야 한다. 이에 더해, 정부는 전파법 제10조 제4항 및 시행령 제13조 제2항에 따라 전파자원의 독과점을 방지하고 적절한 수준의 경쟁을 촉진하기 위해 할당받은 주파수를 이용하여 제공하는 역무의 제공시기와 제공지역 및 품질수준에 관한 조건을 붙일 수 있다.

이러한 법적 근거에 따라, 우리나라에서는 주파수 경매 시 할당공고를 통해 망 구축 의무를 규정해 왔다. 할당하는 주파수의 대역별로 기준 기지국 수를 정하고 일정 기간 내에 기준 기지국 수의 일정 비율을 달성할 것을 요구하였다. 대역별 기준 기지국 수와 이행 기간, 달성 요구 비율 등은 할당 시점과 정책적 목표에 따라 탄력적으로 조정되어 왔다. 세부 사항은 아래와 같다.

**2011년 경매** 2011년 경매에서는 800MHz 대역 10MHz폭, 1.8GHz 대역 20MHz폭, 2.1GHz 대역 20MHz폭을 할당하였다. 주파수 이용기간은 할당일로부터 10년으로 설정하였다. 주파수를 할당받은 사업자는 기준 기지국 수 대비 3년 이내 15%, 5년 이내 30% 이상의 기지국을 구축하기 위한 계획을 주파수이용 계획서에 제시하고, 이를 이행해야 한다. 기준 기지국 수는 동일대역 기존 전국사업자의 평균 기지국 수를 근거로 산정되었다.

〈표 2-1〉 국내 2011년 경매 망 구축 의무

구분	기준 기지국수	3년 이내 15% 이상	5년 이내 30% 이상
800MHz 대역	29,000국	4,350국	8,700국
1.8/2.1GHz 대역	40,000국	6,000국	12,000국

주파수를 할당받은 법인은 매년의 주파수이용계획서 준수 및 이행실적을 다음 해 4월말까지 제출해야 한다. 3년차 및 5년차의 점검 결과 할당조건을 미이행하였을 경우, 할당대가 반환 없이 이용기간이 10% 단축된다. 이용기간 종료 시점의 점검 결과 할당조건을 미이행하였을 경우, 재할당을 거부하거나 일부 대역을 회수할 수 있다.

**2013년 경매** 2013년 경매에서는 2.6GHz 대역 80MHz폭, 1.8GHz 대역 50MHz폭을 할당하였으며, 주파수 이용기간은 할당일로부터 8년으로 설정하였다. 2011년과 유사하게, 기존 기간통신사업자의 총 기지국 수를 참조하여 기준 기지국수를 설정하고, 기준 기지국수 대비 3년 이내 15%, 5년 이내 30% 이상을 구축하는 의무를 부과하였다. 이행실적 점검 절차 및 미이행 제재 조치는 2011년 경매와 동일하다.

〈표 2-2〉 국내 2013년 경매 망 구축 의무

구분	기준 기지국수	3년 이내 15% 이상	5년 이내 30% 이상
1.8/2.6GHz 대역	106,000국	15,900국	31,800국

**2016년 경매** 2016년 경매에서는 700MHz 대역 40MHz폭(A블록), 1.8GHz 대역 20MHz폭(B블록), 2.1GHz 대역 20MHz폭(C블록), 2.6GHz 대역 40MHz폭(D블록)+20MHz폭(E블록)을 할당하였다. 이용기간은 A, B, D, E블록은 10년, C

블록은 5년으로 설정하였다. 블록별 망 구축 의무는 다음과 같다.

〈표 2-3〉 국내 2016년 경매 망 구축 의무

구분	기준 기지국수	1년차	2년차	3년차	4년차
A, C, D 블록	106,000	15% 이상	45% 이상	55% 이상	65% 이상
		15,900국 이상	47,700국 이상	58,300국 이상	68,900국 이상

구분	기준 기지국수	1년차	2년차	3년차	4년차
B, E 블록	106,000	10% 이상	25% 이상	35% 이상	40% 이상
		10,600국 이상	26,500국 이상	37,100국 이상	42,400국 이상

1년차부터 4년차까지의 할당조건 이행여부는 익년도에 점검한다. 망 구축 의무 이행률이 10% 미만이거나, 평가결과 점수가 30점 미만인 경우 할당을 취소하며, 망 구축 의무 이행률이 50% 미만이거나 평가결과 점수가 70점 미만인 경우 전체 이용기간의 10%를 단축한다. 이용기간 종료 시점 점검 결과 의무를 미이행하였을 경우, 재할당을 거부하거나 일부 대역을 회수할 수 있다.

**2018년 경매** 2018년 경매에서는 3.5GHz 280MHz폭과 28GHz 2,400MHz폭을 할당하였다. 주파수 이용기간은 3.5GHz 10년, 28GHz 5년으로 설정하였다. 대역별 망 구축 의무는 아래 표와 같으며, 미이행 시 제재 조치는 2016년 경매에 서와 동일하다.

〈표 2-4〉 국내 2018년 경매 망 구축 의무

구분	기준 기지국수	연도별 의무 구축 수	
		3년 15%	5년 30%
3.5GHz 대역	150,000국	22,500국	45,000국
28GHz 대역	100,000대	15,000대	-

### 간접 규제: 2021년 재할당

우리나라는 2021년 3G 및 4G 주파수 재할당에서 5G 무선국 구축 실적에 따라 재할당대가를 차등 적용하는 인센티브 기반 간접 규제를 도입하였다. 이는 5G 네트워크 투자를 촉진하기 위한 정책적 수단인 동시에, 5G 서비스가 확산될수록 기존 LTE 서비스의 매출이 하락한다는 서비스 간 대체 관계를 반영한 것이다.

구체적으로, 과학기술정보통신부는 2021년 이용기간이 만료되는 3G 및 4G 주파수의 총 재할당 대가를 5년 기준 4조 4천억 원으로 설정하되, 통신 3사의 5G 무선국 구축 수량에 따라 재할당대가를 인하하는 방안을 마련하였다. 각 사업자가 무선국을 12만 국 이상 구축할 경우, 이동통신 3사의 총 할당대가는 3조 2천억 원까지 인하된다. 이는 강제적 의무 부과가 아닌 가격 인센티브를 통해 5G 인프라 조기 확산을 유도한 시장 친화적 규제 설계의 일환으로 볼 수 있다.

〈표 2-5〉 국내 2021년 재할당 망 구축 인센티브

5G 무선국 수 (통신사별)	재할당대가 (통신3사 합계)
60,000국 이상 ~ 80,000국 미만	3.77조 원
80,000국 이상 ~ 100,000국 미만	3.57조 원
100,000국 이상 ~ 120,000국 미만	3.37조 원
120,000국 이상	3.17조 원

## 제 4 절 해외 사례: 미국

이 절에서는 미국의 네트워크 구축조건 사례를 기술한다. 미국 또한 우리나라와 같이 주파수 할당 시 사업자가 제공해야 하는 커버리지 수준을 규정하는 직접 규제를 택하고 있다. 미국의 주파수 경매에서 부과하는 네트워크 구축의무는 전체적으로 동일한 틀을 유지하되, 구체적인 수치는 경매 사례마다 다르다. 여기서는 예시로서 2021년 3.7GHz 경매와 2022년 3.45-3.55GHz 경매를 기술한다. 이에 더해, 간접 규제 사례로서 2020년 발표한 5G Fund for Rural America를 설명한다.

### 직접 규제: 2021년 미국 3.7GHz 경매(Auction 107)

2021년, 미국 규제기관인 FCC는 무선 브로드밴드 수요 급증과 일부 지역의 디지털 격차를 동시에 해소하기 위해, 5G FAST Plan에 따라 중대역 3.7GHz 주파수를 상용·유연 용도로 신속히 공급하는 전략을 추진하였다. 2021년 3.7GHz 경매에서 FCC는 할당 주파수 이용 형태를 ① 모바일·점대다점, ② 고정 점대점, ③ IoT 유형 서비스의 세 가지 경우로 구분하고, 낙찰자가 주파수를 어떤 방식으로 활용하는지에 따라 서로 다른 커버리지 의무를 부과하였다.

**모바일·점대다점** 모바일 또는 점대다점(point-to-multipoint) 서비스를 제공하는 사업자는 인구 기반 커버리지 기준을 따른다. 구체적으로, 주파수를 할당받은 사업자는 8년 내에 할당 지역 인구의 최소 45%, 12년 내에 할당 지역 인구의 최소 80%에게 안정적인 커버리지를 확보하고, 실제 서비스를 제공해야 한다. 12년 기준 충족 후에는 이용기간 15년 중 잔여 3년 동안 해당 수준을 유지할 것을 전제로 한다.

**고정 점대점** 고정 점대점 서비스로 의무를 충족하고자 하는 사업자는 인구 규모에 연동된 링크 요건을 따른다. 우선 주파수 할당 이후 8년 이내에, 인구 268,000

명 이하 지역에서는 4개 링크를 운영해야 하며, 인구 268,000명 초과 지역에서는 67,000명당 1개 링크를 운영해야 한다. 다음으로 주파수 할당 이후 12년 이내에, 인구 268,000명 이하 지역에서는 8개 링크를 운영해야 하며, 인구 268,000명 초과 지역에서는 67,000명당 2개 링크를 운영해야 한다. 여기서 대외 고객 제공용 및 내부 서비스용 링크가 모두 인정되며, 모든 링크는 중단 및 갱신 규정에 부합해야 한다.

**IoT 유형 서비스** IoT 유형의 서비스에는 인구 기반 지표 대신 지리적 면적 기반의 대체 기준을 허용한다. IoT 서비스를 제공하는 사업자는 8년 내 주파수 할당 지역 면적의 35%, 12년 내 주파수 할당 지역의 65%에 대한 지리적 커버리지를 입증하면 망 구축 의무를 이행한 것으로 인정한다. FCC는 이 대체 지표가 전통적 인구 지표와의 합리적 균형을 유지하면서도 저전력·고밀도 센서망 등 다양한 활용 양상을 포용한다고 판단하였다.

미이행 시 제재는 다음과 같다. 주파수를 할당받은 사업자가 1차 기준(8년)에 미달하면 2차 기준시점이 10년으로 2년 당겨지고, 이용기간도 13년으로 2년 단축된다. 2차 기준(12년)에 미달하면 해당 주파수에 대한 권한이 위원회 추가조치 없이 자동 종료된다. 이 경우 종료된 주파수는 재경매에 회부될 수 있고, 해당 사업자는 동일 주파수를 재취득할 수 없다.

준수 절차는 전자 커버리지 지도와 근거자료 제출을 기반으로 한다. 주파수를 할당받은 사업자는 면허 지역 경계와 실제 서비스 제공 범위를 정확히 나타내는 전자 지도를 제출한다. 지도에는 전파 모형 및 안정적 서비스에 필요한 신호 세기 등 가정값을 명기하고, 제공 서비스 유형 및 기술 유형을 인증하는 서류를 함께 제출한다. 고정형 배치의 경우, 각 링크에 연계된 고정 송신기의 위치를 포함하여 보고한다. 인구 또는 면적 산정은 측정 시점에 이용 가능한 최신 미국 인구총조사 자료를 사용한다. 이러한 준수 체계는 수치 기준의 달성 여부를 객관적으로 검증하고, 면허 지역 간 비교 가능성을 높이는 것을 목적으로 한다.

### 직접 규제: 2022년 미국 3.45-3.55GHz 경매(Auction 110)

FCC는 중대역 주파수를 확대 공급해 5G 이동통신 확산을 촉진한다는 정책 목표에 부응하여, 3.45-3.55GHz 대역을 경매하고, 해당 주파수에 엄격한 커버리지 의무를 부여하였다. 이는 2020년 제정된 「Beat China by Harnessing Important, National Airwaves for 5G Act of 2020」(Beat CHINA for 5G Act)의 요구인 2021년 12월 31일까지 3.45-3.55GHz 대역의 신규 주파수 경매를 이행하기 위한 조치였다. FCC는 2021년에 경매를 개시해 2022년 최종 낙찰을 마무리했으며, 이 대역을 통해 5G에 적합한 중대역 스펙트럼을 신속하게 시장에 공급했다는 점에서 정책적 의의를 갖는다.

2022년 3.45-3.55GHz 경매의 네트워크 구축의무 형태는 위 2021년 3.7GHz 경매에서와 같다. 단, 3.7GHz 경매에서는 달성 기한을 1차 8년, 2차 12년으로 설정한 반면, 3.45-3.55GHz 경매에서는 달성 기한을 1차 4년, 2차 8년으로 단축하였다는 차이가 있다.

일정 단축의 배경에는 세 가지 정책적 판단이 있다. 첫째, 3.45GHz 대역은 이른바 ‘그린 필드’가 아니라 이미 글로벌 5G 표준화와 장비 생태계가 상당히 진척된 대역이라는 점이다. 3GPP가 규정한 n77(3.3-4.2GHz)·n78(3.3-3.8GHz) 대역과 중첩되어 장비의 상용 가용성이 높고, 인접 대역과의 규모의 경제를 통해 단기간 내 장비·단말 보급이 가능하다는 판단이 전제되었다. 둘째, 공공의 이익을 위해 조기 투자·조기 상용화를 유도할 필요성이 컸다. FCC는 비연방(existing non-federal) 사용자의 정리, 국방부(DoD)의 공존 준비 등 관련 절차를 적극적으로 추진했고, 의회 또한 해당 대역의 신속한 산업 활용을 요구했기 때문에 사업자에게도 이에 상응하는 속도의 구축 의무를 부과할 합리적 근거가 있었다. 셋째, 중대역의 전략적 중요성에 비추어 보다 엄격한 타임라인을 적용하였다.

### 간접 규제: 5G Fund for Rural America

2020년 FCC는 시장 기반 접근만으로는 5G 이동통신망이 구축되기 어려운 농촌 및 낙후 지역으로 5G 서비스를 확산시키기 위해 5G Fund for Rural America 계획을 발표하였다. 이 제도는 직접적인 네트워크 구축 의무를 법적으로 부과하지 않으면서도, 공공 재원을 활용한 재정적 인센티브를 통해 민간 사업자의 자발적인 투자 확대를 유도한다는 점에서 전형적인 간접 규제로 해석된다.

5G Fund는 총 90억 달러 규모의 재원을 두 단계에 걸쳐 배분하는 방식으로 설계되었다. 1단계(Phase I)에서는 약 80억 달러를 역경매(reverse auction), 또는 조달 경매(procurement auction) 방식으로 배분한다. 역경매란 일반적인 경매에서의 판매자-구매자 관계와는 반대되는 구조의 경매 방식으로, 구매자(정부)가 정해진 서비스를 가장 낮은 비용에 제공할 공급자(사업자)를 선정하는 구조이다. 즉 판매자가 가격을 제시하고 구매자가 가장 높은 가격을 선택하는 전통적 경매와 달리, 역경매에서 정부는 구매자로서의 역할을 하며, 사업자들은 특정 지역에 5G 네트워크를 구축하여 목표 커버리지 수준을 달성하기 위해 필요한 최소 보조금 금액을 입찰한다. 입찰 결과 가장 낮은 금액을 제시한 사업자가 네트워크를 구축하고, 자신의 입찰액을 보조금으로서 지원받는다.

2단계(Phase II)에서도 10억 달러 규모의 보조금을 역경매를 통해 배분한다. 단, 일반적인 통신 서비스를 위한 커버리지를 정책 목표로 한 1단계와 달리, 2단계는 정밀농업(precision agriculture)을 위한 5G 인프라 확산을 정책 목표로 삼고 있다는 점이 차이점이다. FCC는 정밀농업이 요구하는 고신뢰·저지연 통신 환경을 농촌 지역에 조성함으로써, 농업 생산성과 자원 효율성을 높이는 것을 주요 목적 중 하나로 제시하였다. 이를 위해 Phase II에서는 농업 지대를 중심으로 한 대상 지역을 선정하고, 이 지역에 5G 서비스를 구축하려는 사업자들에게 경쟁 입찰 기회를 제공한다.

## 제 5 절 해외 사례: 영국

### 혼합형 모델(직접 규제 + 정부 재정 투자): Shared Rural Network(SRN)

영국의 Shared Rural Network(SRN)는 수익성이 낮아 이동통신사의 단독 투자만으로는 커버리지 확보가 어려운 농촌 및 산간 지역을 대상으로, ① 이동통신사에 대한 법적 커버리지 의무(직접규제)와 ② 정부의 직접적인 재정 투자를 결합하여 4G 네트워크를 확대하는 공공-민간 협력 모델이다. 영국 정부와 4개 이동통신사(EE, Three, Virgin Media O2, Vodafone)는 2020년 3월 SRN 프로그램 합의를 체결했으며, 이를 통해 2025년 12월까지 영국 국토 면적의 95%에서 최소 1개 이상의 사업자가 4G 서비스를 제공한다는 목표를 수립했다. 아울러 성과 지표로 28만 개의 건물 및 1만 6천 km의 도로에 대한 커버리지 개선을 함께 제시하였다.

SRN은 총 10억 파운드(약 1조 6천억 원) 규모로 설계되었다. 4개 이동통신사는 주로 부분 음영지역(PNS, Partial Not-Spots) 해소를 위해 5억 3,200만 파운드 규모의 민간 투자를 약속했으며, 정부는 완전 음영지역(TNS, Total Not-Spots) 해소를 위해 20년에 걸쳐 5억 100만 파운드의 공공 자금을 투입한다. 이러한 재원 구조는 SRN이 민간이 감당 가능한 영역은 민간이 책임지고, 시장 기능이 작동하지 않는 영역은 정부가 재정을 투입하는 역할 분담 구조임을 보여준다. 이러한 분업 구조는 정책 대상을 PNS, TNS, EAS로 구분하는 방식에서 명확히 드러난다.

**민간 투자와 직접 규제:** PNS 부분 음영지역, 즉 PNS는 4개 사업자 중 일부만 서비스를 제공하는 지역으로, SRN의 민간 집행 축에 해당한다. 이곳에서의 망 구축은 단순히 자발적 투자가 아니다. SRN 합의 내용은 규제기관인 Ofcom의 면허 변경(license variation) 절차를 통해 각 통신사의 주파수 면허에 반영되었으며, 이에 따라 통신사들은 커버리지 확대를 법적 의무로 부담하게 되었다. 즉, PNS는

민간 자본이 투입되는 영역인 동시에, 사업자들이 면허 의무를 달성하기 위해 망 구축을 수행해야 하는 직접 규제 적용 대상이다.

**정부 재정 투자: TNS & EAS** 반면 완전 음영지역, 즉 TNS는 4개 사업자 모두 서비스를 제공하지 않는 지역으로, 상업적 투자로는 해소가 불가능하다는 판단 아래 정부 지원이 핵심 수단이 된다. 공공자금이 투입되는 만큼, 어느 사업자도 4G 서비스를 제공하지 않는 지역을 엄격히 선별하여 국가 보조의 정당성을 확보한다. 영국 정부는 이를 ‘Publicly Funded, Privately Delivered’ 모델로 정의한다. 즉, 자금은 정부가 대지만, 망 구축과 운영은 민간 사업자가 수행하는 방식이다. 이와 연계된 확장 지역 서비스(EAS, Extended Area Service)는 내무부의 재난 안전통신망 구축 과정에서 확보된 원격지 인프라(약 292개 사이트)를 상업용 망 확장에 활용하는 방식이다. 이는 신규 인프라 건설을 최소화하여 비용을 절감하려는 접근으로, TNS와 EAS는 정부가 시장 실패 구간을 재정과 공공 인프라로 메우는 직접 투자 축을 담당한다.

종합하면, SRN의 성격은 직접 규제와 정부 지원의 결합으로 요약된다. 직접 규제의 핵심은 Ofcom이 주파수 면허에 부과한 법적 의무이다. Ofcom은 각 이통사가 2024년 6월 30일까지 영국 국토의 88%에 대해 ‘양질’의 서비스를 제공하도록 규정하고 그 준수 여부를 평가한다. 이때 ‘양질’의 기준은 단순한 전파 도달을 넘어, 90초 이상의 음성통화 유지와 최소 2Mbps의 데이터 속도(신호 세기 -105dBm 이상 기준)를 보장하는 실질적 품질을 의미한다. 반대로 정부 지원 파트는 5억 100만 파운드의 공공 자금을 TNS 및 EAS 지역에 투입하고, 이통 4사가 공동 설립한 DMSL이 정부의 집행 파트너로서 사업을 관리하며 비용과 위험을 분담하는 구조이다. 결국 정부가 제시한 ‘국토 95% 커버리지’ 목표는 각 이통사에 면허 의무를 부과하는 직접 규제와 취약 지역에 대한 공공 자금 투입이 맞물려 달성되는 체계적인 정책 패키지라 할 수 있다.

## 제 6 절 해외 사례: 오스트리아

### 직접 규제: 2013년 오스트리아 800/900/1800MHz 멀티밴드 경매

2013년 오스트리아 TKK는 800/900/1800MHz 멀티밴드 경매를 시행하며 두 가지 핵심 목표를 설정하였다. 첫째, 디지털 배당 대역인 800MHz를 활용해 농어촌 지역의 광대역 커버리지를 확대하고 LTE 확산을 촉진한다. 둘째, Orange의 인수로 인해 이동통신 시장이 4사에서 3사 체제로 재편됨에 따라, 지속가능한 경쟁을 확보한다.

본 경매에서 주파수를 할당받은 사업자는 '독립적으로 운영되는 네트워크'를 구축하여 일정 수준의 커버리지를 달성해야 한다. 여기서 '독립적 운영'은 최소한 (i) 기지국 및 제어 장치, (ii) 코어망의 주요 구성요소(스위칭·라우팅 장비 및 가입자 DB 등)를 해당 이동사가 직접 운영하는 것을 전제로 한다. 커버리지 수준은 오스트리아 전체 상주인구 중 해당 사업자가 커버리지를 확보한 지역의 상주인구 비율로 정의된다. 다만 800MHz 대역은 인구 커버리지 외에 특정 지방자치단체(municipalities) 커버 의무가 추가되며, 특히 일부 블록에는 농어촌 광대역 확충을 위해 강화된 커버리지 요건이 설정된다.

기존 사업자의 커버리지 의무는 주파수 대역별로 다음과 같이 나뉜다.

**800 MHz** 800MHz 대역은 A1, A2, A3의 세 카테고리로 구분된다. 800MHz 블록을 낙찰받은 사업자는 할당 효력 발생을 기준으로 3년 이내에 두 층의 인구 커버리지를 달성해야 한다. 첫째, 전체 인구 25%에 대해 800MHz 대역만으로 옥외 DL 1Mbps 및 UL 0.25Mbps 품질의 이동통신 서비스를 제공해야 한다. 둘째, 전체 인구 95%에 대해, 보유한 모든 대역을 활용하여 위와 동등한 품질을 제공해야 한다.

800MHz 블록에는 인구비율 의무에 더해 지방자치단체(municipalities) 커버리지 의무가 추가되며, 특히 A3 카테고리에는 강화된 커버리지 의무가 부과된다.

의무 대상 지역은 부록(Annex) H와 I에서 규정하였다. A3 블록 낙찰자는 1.5년 내에 부록 H 지역 120개와 부록 I 지역 60개, 3년 내에 부록 H 지역 240개와 부록 I 지역 120개에 800MHz만으로 커버리지를 확보해야 한다. 반면 A1 또는 A2 블록 낙찰자는 1.5년 내에 부록 H 지역 30개와 부록 I 지역 60개, 3년 내에 부록 H 지역 60개와 부록 I 지역 120개에 800MHz만으로 커버리지를 확보해야 한다. 지역 커버리지의 달성은 단순 옥외가 아니라, 해당 지자체 상주 인구 기준 실내 50% + 실외 90%가 커버되어야 하며, 전송률 기준은 낙찰받은 800MHz 블록 수에 따라 상향된다(1블록: DL 1Mbps/UL 0.25Mbps, 2블록 이상: DL 2Mbps/UL 0.5Mbps).

**900 MHz** 900MHz는 “완전한 5MHz 블록이 사용 가능해지는 시점”을 기준으로 1.5년 내 전체 인구 25%에 대해 12.2kbps를 900MHz만으로 제공해야 한다. 동시에 전체 인구 98%에 대해 12.2kbps 제공 의무가 부과되나, 이는 대역조합 기반 동등 커버리지 달성이 허용된다. 추가로 900MHz에서 완전한 5MHz 블록 2개가 가용해지는 시점으로부터 1.5년 내에 전체 인구 95%에 대해 DL 1Mbps/UL 0.25Mbps를 제공해야 하며, 이 역시 대역 조합을 통한 동등 커버리지로 충족할 수 있다.

**1800 MHz** 1800MHz도 “완전한 5MHz 블록 가용 시점”을 기준으로 1.5년 내 25% 인구에 대해 12.2kbps를 1800MHz만으로 제공해야 한다. 전국 의무는 12.2kbps 기준 90%이며, 대역 조합을 통한 동등 커버리지 달성이 허용된다. 또한 완전한 5MHz 블록 2개가 가용해지는 시점으로부터 1.5년 내에 90% 인구에 대해 DL 1Mbps/UL 0.25Mbps를 제공해야 하고, 이 역시 대역 조합으로 충족 가능하다.

신규진입자의 경우, 기존 사업자와 동일한 커버리지 구조를 유지하되 기한을 완화한다. 신규진입자가 800MHz의 유보(reserved) 블록만을 취득한 경우, 할당 후 2년 내에 10%, 4년 내에 25% 커버리지를 800MHz만으로 달성해야 하며, 커버

리지 기준은 DL 1Mbps/UL 0.25Mbps이다. 이에 더해, 8년 내에 커버리지 95%를 달성해야 하며, 여기서는 대역 조합이 허용된다. 한편 신규 진입자가 유보 블록 외의 주파수를 확보할 경우, 원칙적으로 기존사업자의 의무를 따르되 기한이 연장된다. 800MHz의 경우 인구 25% 달성 기한은 4년, 95% 달성 기한은 6년으로 연장되며, 지자체 커버리지 의무 기한 또한 각각 3년(1단계)과 6년(2단계)으로 완화된다. 또한 신규진입자가 900MHz 또는 1800MHz를 확보한 경우에도 기존사업자 요건을 준용하되, 이행기한을 3년/4년/4년으로 연장한다.

커버리지 의무 준수 입증은 인정된 시뮬레이션 도구 기반으로 하고, 인구 산정은 지정된 마이크로래스터 지오데이터를 사용한다. 사업자는 기한 후 4주 이내에 기지국/GIS/시뮬레이션 파라미터 등 전자파일을 제출해야 하며, 규제기관은 실측 검증을 할 수 있고 비용은 사업자가 부담한다.

## 제 7 절 해외 사례: 싱가포르

### 직접 규제: 2016년 싱가포르 700/900MHz 및 2.3/2.5GHz 멀티밴드 경매

2016년 싱가포르의 규제기관 IDA(현 IMDA)는 700/900MHz 및 2.3/2.5GHz 대역 주파수 경매에서 낙찰자가 해당 대역을 활용해 4G 또는 IMT-Advanced 망을 구축·제공한다는 전제를 명시하고, 신규진입자와 기존사업자를 구분해 망 구축 의무를 부과하였다. 이때 4G/IMT-Advanced 시스템은 고속 이동 시 100Mbps, 저속 이동 시 1Gbps 데이터 속도 구현이 가능한 기술(LTE Release 8 이상 등)로 구체적으로 정의되었다.

**신규진입자** 신규진입자는 900MHz 및 2.3GHz 대역의 주파수 이용권 개시일을 기준으로 전국 단위 서비스 커버리지를 단계적으로 확장해야 한다. 핵심은 ① 전국 옥외 → ② 도로터널·실내 → ③ MRT 지하역/구간의 순차적 커버리지 확보이다. 전국 옥외(outdoor) 서비스 커버리지는 2018.9.30.까지(900MHz·2.3GHz 주파수 이용권 개시 후 18개월) 완료해야 한다. 특이한 점은 커버리지 의무를 ‘인구 대비 %’가 아닌 ‘지리적 영역’으로 정의했다는 것이다. 이때의 “전국 옥외”는 싱가포르 본섬 전역(다만 MRT 지하구간·도로터널은 제외)을 기본으로 하되, 외곽 도서(offshore islands) 및 해안선으로부터 15km 영해까지 포함하는 범위로 정의된다(단, 인접국 간섭 제한 등 IDA 기술요건으로 인한 예외 가능). 이후 도로터널 및 실내(in-building) 커버리지는 2019.9.30까지(권리 개시 후 30개월), 지하 MRT(역사/노선) 커버리지는 2021.9.30까지(권리 개시 후 54개월) 달성해야 한다. 또한, 신규진입자는 할당받은 주파수를 활용해 자사의 소매 고객에게 직접 서비스를 제공해야 하며, 규제기관의 승인 없이는 타 MNO(기존 이동통신사)에게 도매로 망을 제공하는 것이 금지된다.

**기존 사업자** 기존 사업자에 대해서는 신규 진입자와 같이 세분화된 단계별 커버리지 의무를 부과하는 대신, 할당받은 주파수 포트폴리오를 활용하여 기존 네트워크

크를 보강(augment)하고 전국적인 4G 또는 IMT-Advanced 서비스를 제공하도록 의무화하였다. 이행 시한은 700MHz 대역 이용권 개시일로부터 12개월 후인 2018년 12월 31일까지로 설정되었는데, 이는 700MHz 대역의 가용 시점이 아날로그 방송 종료(ASO)에 따라 2018년 1월 1일로 예상됨을 전제로 한 것이다. 만약 700MHz 대역의 가용이 지연될 경우, IDA가 재량으로 해당 시한을 연장할 수 있음이 명시되었다.

IDA는 단순한 물리적 커버리지 구축을 넘어, 이용자 관점에서의 실질적인 서비스 품질을 보장하기 위한 최소 요건을 부과하였다. 모든 낙찰자는 최소한 공중 이동전화(Voice) 및 SMS 서비스를 제공해야 하며, 음성 서비스의 경우 상시 무료 긴급통화 접속과 최대 시속 100km 이동 중에도 끊김 없는(seamless) 핸드오버를 보장해야 한다. 이러한 서비스 요건은 할당받은 주파수의 일부만 활용하거나 4G/IMT-Advanced 기술이 아닌 대체 기술(예: 3G) 또는 도매약정을 통해 제공하는 것도 허용된다. 아울러 망 구축 의무와 더불어, 주파수를 할당받은 모든 사업자는 가상이동통신사업자(MVNO)로부터 4G/IMT-Advanced 서비스 제공을 위한 도매 접근을 요청받을 경우, 이에 대해 성실히 협상해야 할 의무를 진다.

### **직접 규제: 2021년 싱가포르 5G 2.1 GHz 경매**

2021년 싱가포르 규제기관 IMDA는 5G Standalone(SA) 망 확산을 촉진하기 위해 2.1 GHz 대역을 대상으로 기존 이동통신사(existing MNO)만 참여 가능한 스펙트럼 권리 경매를 시행하였다.

이 경매에서 망 구축 의무는 설비기반면허(FBO licence) 조건과 2.1 GHz 스펙트럼 권리 조건을 결합하여 부과되는 구조다. 즉, IMDA는 사업자가 입찰 참여(Pre-Auction Submission) 단계부터, 낙찰 시 면허에 포함될 ‘구체적 조건(specific conditions)’을 사전에 통지한다. 이 조건에는 전국 단위의 5G SA 시스템 및 서비스 전개(rollout), 서비스 커버리지, 그리고 회복탄력성(resilience) 및 사이버보안(cybersecurity) 준수 의무 등이 포함된다.

구체적으로 설비기반면허(FBO Licence)상의 서비스 커버리지 의무는 “싱가포르 본섬(whole island) 전역, 외곽 도서(offshore islands), 그리고 해안선으로부터 15km 이내의 영해(territorial waters)”를 포괄한다. 다만, 인접국 간섭 제한 등 기술적 요건으로 인해 불가피한 한계가 발생하는 경우는 예외로 한다.

동시에, ‘2.1 GHz 스펙트럼 권리’는 5G SA 망 구축을 보다 측정 가능한 형태로 구체화한다. 해당 권리는 할당된 2.1 GHz 대역에서 SA 아키텍처를 기반으로 2023년 12월 31일까지 ‘옥외(outdoor) 커버리지 50%’를 달성해야 한다는 정량적 기준을 명시하고 있다. 여기서 ‘전국 커버리지’의 평가 방식과 관련하여, IMDA는 설비기반면허 및 스펙트럼 권리상의 일반 커버리지 의무(외곽 도서 및 영해 포함)와는 별개로, 2.1 GHz 5G SA 옥외 커버리지 평가는 “174개 육사곤(174 hexagons)” 접근법을 기준으로 이행 여부를 판단할 것임을 질의응답서(Clarifications)를 통해 명확히 했다. 즉, 라이선스상의 일반 의무(본섬 및 영해 포함)와 평가 도구(174개 육사곤 기반의 옥외 평가)가 서로 다른 층위(layer)에서 운영된다는 점이 특징이다.

이행보증(performance bond)은 이 경매에서 망 구축 의무를 강제하는 핵심 수단으로 설계되었다. 설비기반면허는 5G 관련 의무 이행을 담보하기 위해 은행 지급보증 형태의 이행보증 제출을 요구하며, 구체적인 보증 양식(“Required PB Form”)은 IMDA가 확정하여 통지한다. 주요 집행 메커니즘은 다음과 같다. 첫째, 사업자는 IMDA가 최종 확정된 보증 양식을 발행한 날로부터 28일 이내에 이행 보증을 제출해야 하며, 미제출 시 IMDA는 해당 사업자의 5G 시스템 및 서비스 운영 권한을 즉시 정지할 수 있다. 둘째, 이행보증이 몰수되더라도 사업자의 라이선스 의무가 면제되는 것은 아니며, 의무는 그대로 존속한다. 아울러 IMDA는 경매 규칙에서 통지된 설비기반면허의 구체적 조건들이 비한정적(non-exhaustive)임을 명시하고, 필요시 특정 의무에 대해 이행보증을 추가로 요구할 수 있다고 규정하였다. 이는 이행보증이 단순한 형식적 요건을 넘어, 실효성 있는 의무 이행 강제 수단으로 활용됨을 분명히 한 것이다.

## 제 8 절 해외 사례: 홍콩

### 직접 규제: 2021년 홍콩 5G 주파수 경매

2021년 홍콩의 5G 주파수 경매에서는 600MHz, 700MHz, 850MHz, 2.5/2.6GHz, 4.9GHz 대역의 할당이 이루어졌다. 홍콩 통신국(CA)은 낙찰자(Unified Carrier Licence 보유자)에게 할당받은 주파수 대역 및 블록의 특성에 따라 차별화된 '망 구축 및 서비스 롤아웃 의무(network and service rollout requirement)'를 부과하였다. 기본 구조는 면허 발급일로부터 5년 이내에 의무를 달성하고 이를 지속적으로 유지하는 것이며, 상세 요건은 면허(licence) 부속서인 'Schedule 8'에 규정되어 있다.

**600MHz(주파수 블록 A1~A7)** 600MHz 대역은 인구 커버리지 대신 '실내(indoor) 기지국 구축량'을 의무 지표로 채택했다. 구체적으로 낙찰자는 할당된 스펙트럼을 이용하여 최소 100개의 실내 기지국(indoor base stations)을 구축하고, 면허 발급 후 5년 이내에 사용을 개시해야 하며 이후에도 해당 상태를 유지해야 한다. 이는 600MHz 대역이 기술적으로 "실내 사용(Indoor use only)" 전용으로 지정된 점을 고려하여, 그 활용 특성에 맞춰 롤아웃 의무를 설계한 것이다.

**700MHz/850MHz/2.5·2.6GHz(주파수 블록 B1~B7, C, D1~D9)** 700MHz, 850MHz, 2.5/2.6GHz 대역에 대해서는 인구 기반 커버리지 의무가 적용된다. 낙찰자는 할당된 스펙트럼을 활용하여 "홍콩 인구의 최소 90%가 거주하는 지역"에 대해 네트워크 및 서비스를 면허 발급 후 5년 이내에 제공해야 하며, 그 이후에도 해당 커버리지를 유지해야 한다.

**4.9GHz(주파수 블록 E1~E2)** 4.9GHz 대역은 동일한 인구(거주지역) 지표를 사용하되, 목표 수준을 90%가 아닌 50%로 완화하여 설정하였다. 즉, 낙찰자는 홍콩 인구의 최소 50%가 거주하는 지역에 대해 5년 이내에 커버리지를 제공하고, 이후에도 이를 유지해야 한다.

홍콩은 몰아웃 의무의 실효성을 담보하기 위해, 원칙적으로 낙찰자에게 성과보증서를 규제기관에 제출하도록 요구한다. 보증서는 면허 발급 후 5년 내 의무 이행을 보장하기 위한 수단으로, 보증 금액은 블록별로 차등 설정되어 있다. 600MHz(A1~A7)는 블록당 HK\$ 1,000만, 700MHz(B1~B7) 및 2.5/2.6GHz(D1~D9)는 블록당 HK\$ 2,500만, 850MHz(C)는 HK\$ 3,750만, 4.9GHz(E1~E2)는 블록당 HK\$ 4,000만이다.

제출 기한 또한 대역별 상황에 따라 다르게 설정되었다. A1~A7, C, E1~E2 블록은 잠정 낙찰자 공표 후 20영업일 이내에 제출해야 한다. 반면, B1~B7(700MHz)은 2022년 6월 30일 또는 잠정 낙찰자 공표 후 20영업일 중 더 늦은 시점까지 제출해야 하며, D1~D9(2.5/2.6GHz)는 2024년 1월 31일까지 제출하도록 규정되어 있다. 보증서 집행 메커니즘은 “의무 불이행(default) → 정부의 서면 청구(demand) → 은행의 무조건적 지급” 구조이다. 즉, 낙찰자가 기한 내에 기준을 충족하지 못할 경우, 정부가 서면으로 청구하면 은행은 별도 입증 절차 없이 보증금(bonded sum)을 지급해야 한다. 또한, 보증서의 제출 및 유지는 그 자체로 면허 준수 사항으로 취급되어, 이를 위반할 경우 규제당국이 면허를 취소하거나 철회할 수 있음이 명시되어 있다.

홍콩은 일부 ‘기존 주파수 보유자(Incumbent)’에 대해 성과보증서 대신 대체 수단을 허용한다. 2.5/2.6GHz 대역의 기존 보유자가 D1~D9 블록을 추가로 취득한 경우, 2024년 1월 31일까지 해당 대역을 사용하는 네트워크가 이미 90% 인구 커버리지 요건을 충족했음을 입증하는 수치(coverage figures)를 제출함으로써 보증서를 대체할 수 있다. 또한 4.84-4.92GHz 대역의 기존 보유자가 E1 또는 E2 블록을 취득한 경우, 잠정 낙찰자 공표 후 20영업일 이내에 준수 보장 약정을 제출하는 것으로 보증서를 갈음할 수 있다.

준수체계는 (i) Schedule 8 준수의무를 명시하고, (ii) 규제기관이 요구하는 방식·시점에 따라 준수 입증자료 제출을 요구하는 형태다. 라이선스는 “사전 서면 승인이 없는 한” Schedule 8의 몰아웃 요건을 따라야 한다고 규정하며, 규제기관

이 요구할 경우 낙찰자는 준수 여부를 입증하기 위한 정보를 제출해야 한다. 성과 보증서가 부과되는 경우에는, 규제당국이 요구할 때 낙찰자가 마일스톤을 기한 내 충족했음을 입증하는 자료를 제출하도록 별도로 규정한다.

### **직접 규제: 2024년 홍콩 850/900MHz, 2.3 GHz 주파수 경매**

홍콩은 2022년 11월 17일 공개 자문을 거쳐 2023년 5월 2일 발표한 공동 성명에서 850/900MHz 및 2.3GHz 대역의 재할당을 경매로 추진하고 전 블록에 SMRA 방식을 적용하기로 결정하였다. 이번 경매는 총 110MHz 폭(11개 블록: A1-A2, B1-B9)을 대상으로 하며, 해당 대역은 홍콩 전역(territory-wide)을 포괄하는 공중 이동통신 서비스 용도로 지정되었다.

2024년 경매의 롤아웃 의무는 2021년 경매와 동일한 구조로, 낙찰자가 면허 발급일로부터 5년 이내에 네트워크·서비스 구축 의무를 이행하고 달성 후에도 이를 유지하도록 규정한다. 해당 경매에서는 모든 주파수 블록(A1-A2 및 B1-B9)에 대해, 낙찰자가 할당 스펙트럼을 이용하여 홍콩 인구의 최소 90% 커버리지를 제공해야 한다고 명시하고 있다. 이는 경매 대상 전 대역이 전국망 서비스 용도로 지정됨에 따라, 롤아웃 의무 또한 전 블록 90% 인구 커버리지라는 단일 체계로 설정된 것이다.

또한 규제당국은 2021년 경매에서와 동일하게 “5년 내 롤아웃 의무 준수 확보”를 위해 낙찰자가 성과보증서(performance bond)를 제출하도록 규정하며, 규제당국이 완전 준수를 확인하면 보증 책임이 종료된다고 명시한다. 보증 금액은 블록당 HK\$2,500만으로 동일하게 설정되었다. 제출 기한은 주파수 대역별 권리 개시 시점을 고려하여 A1-A2 블록은 2026년 3월 31일 이전, B1-B9 블록은 2027년 1월 29일 이전으로 규정되었다.

## 제3장 직접 규제와 간접 규제: 단일 대리인 모형

제2장에서는 네트워크 구축조건의 필요성 및 직접 규제와 간접 규제에 관한 일 반론을 기술하고, 주요국의 정책 사례를 정리하였다. 이 장에서는 간단한 모형을 통해 네트워크 구축 정책에서 직접 규제와 간접 규제의 정책 효과를 이론적으로 분석한다. 본 장의 단일 대리인 모형(single-agent model) 분석은 후속 장인 제 4장과 제5장에서 다룰 다중 대리인 모형(multiple-agent model), 즉 주파수 경 매 환경으로의 확장을 위한 토대가 된다. 즉, 본 장에서는 단일 대리인이 최적의 네트워크 품질을 달성하도록 하는 문제에 초점을 맞추며, 이어지는 장들에서는 최적의 네트워크 품질에 더하여 효율적 사업자 선별이라는 복합적인 문제를 분석한다.

### 제 1 절 완전정보 모형

네트워크 구축 수준을  $x \geq 0$ 로 표기하자. 네트워크 구축으로부터 발생하는 수입, 즉 사적 편익을  $R(x)$ , 사회적 편익을  $B(x)$ , 네트워크 구축에 필요한 비용을  $C(x)$ 라 한다.  $R(x), B(x), C(x)$ 는 모두  $x$ 에 대한 증가함수이다. 충분히 큰  $x$ , 즉 본 연구에서 고려하는 범위의  $x$ 에 대해 다음을 가정한다:

$$d^2R/dx^2 < 0, d^2B/dx^2 < 0, d^2C/dx^2 > 0.$$

즉 네트워크 구축으로 인한 수입과 사회적 편익은 한계수확체감을 따르며, 구축 비용은 한계비용체증을 따른다. 앞 장에서 기술하였듯이 네트워크가 양의 외부성을 지니므로, 사회적 한계편익은 한계수입보다 높다. 즉 모든  $x$ 에 대해  $R'(x) < B'(x)$ 가 성립한다.

사회적으로 최적인 네트워크 구축 수준은 다음 문제의 해로서 주어진다.

$$\max_x B(x) - C(x)$$

한편 사업자의 이윤을 최대화하는 문제는 다음과 같이 주어진다.

$$\max_x R(x) - C(x)$$

사업자의 최적 네트워크 구축 수준은 사회적 최적보다 낮다. 이를 확인하기 위해, 사업자의 최적 네트워크 수준을  $x^{br}$ 이라 하자. 극대화 문제의 일계 조건으로부터  $R'(x^{br}) = C'(x^{br})$ 이다. 양의 외부성에 의해  $R'(x^{br}) < B'(x^{br})$ 이다. 따라서  $B'(x^{br}) > C'(x^{br})$ 이다. 즉  $x^{br}$ 에서 사회적 한계편익이 한계비용보다 높으므로, 네트워크를 추가 구축함으로써 사회적 후생을 높일 수 있다. 그러므로 사회적 최적 네트워크 수준은  $x^{br}$ 보다 높다. 이로써 사적 인센티브 하에서 네트워크가 과소 공급되며, 즉 시장 실패가 일어남을 확인할 수 있다.

네트워크 구축에 따르는 사회적 편익  $B(x)$ , 수입  $R(x)$ , 비용  $C(x)$ 가 알려져 있을 경우, 사회적 계획가(social planner)는 여러 정책 수단을 통해 시장 실패를 해결할 수 있다. 이러한 정책 수단은 크게 직접 규제와 간접 규제로 나뉜다.

**직접 규제** 직접 규제란 네트워크 구축수준 자체를 직접 규정하는 형태의 규제를 가리킨다. 상술한 모형에서 최적 직접 규제는 단순하다. 즉 사회적 계획가는 사회적 최적 네트워크 구축 수준 문제의 해  $x^{\text{so}}$ 를 도출해, 사업자에게 이 수준의 달성을 의무로서 부과하면 된다.

**간접 규제** 간접 규제란 보조금이나 세금 등을 통해 사업자의 네트워크 구축 인센티브를 교정하는 형태의 규제를 뜻한다. 양의 외부성의 경우, 네트워크로부터 발생하는 사회적 편익과 사적 편익 사이의 불일치를 보조금을 통해 해소함으로써 사회적 최적을 달성할 수 있다. 사업자의 네트워크 구축수준이  $x$ 일 때 사회적 계획가가 지급하는 보조금을  $S(x)$ 라 하자. 이러한 간접 규제 하에서 사업자의 이윤 극대화 문제는 다음과 같다.

$$\max_x R(x) + S(x) - C(x)$$

보조금을  $S(x) := B(x) - R(x)$ 로 정의할 경우, 사업자의 이윤 극대화 문제가 사회적 최적 문제와 일치함을 확인할 수 있다. 다시 말해, 사회적 편익과 사적 편익 간의 격차, 즉 양의 외부성의 크기를 보조금으로 지급하여 사적 인센티브를 공적 인센티브와 일치시킬 수 있다. 이러한 간접 규제 하에서 사업자의 최적 선택은 사회적 최적 수준과 일치한다.

상술한 보조금보다 간단한 형태의 간접 규제로도 사회적 최적 수준을 달성할 수 있다. 아이디어의 핵심은 사업자의 최적 네트워크 수준을 결정하는 것은 사적 편익과 비용의 값 자체가 아닌, 사적 한계편익과 한계비용이라는 것이다. 따라서 보조금의 크기가 모든 네트워크 구축수준에 대해 양의 외부성의 크기와 같을 필요는 없으며, 사회적 최적 수준에서 사적 한계편익과 사회적 한계편익 간의 불일치를 해소하는 것으로 충분하다. 이를 구체적으로 설명하기 위해, 사회적 최적 수준을  $x^{so}$ 라 하자. 그러면 일계 조건에 의해 다음이 성립한다.

$$B'(x^{so}) = C'(x^{so})$$

네트워크 1단위당 보조금  $p$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$p := B'(x^{so}) - R'(x^{so})$$

이제 보조금을  $S(x) := px$ 로 정의하면, 사업자의 이윤 극대화 문제는 다음과 같이 주어진다.

$$\max_x R(x) + px - C(x)$$

이 문제의 일계 조건은 다음과 같다.

$$R'(x) + p - C'(x) = 0$$

사회적 최적 수준  $q^{so}$ 가 위 일계 조건을 만족함을 쉽게 확인할 수 있다:

$$\begin{aligned} R'(x^{so}) + p - C'(x^{so}) &= R'(x^{so}) + [B'(x^{so}) - R'(x^{so})] - C'(x^{so}) \\ &= B'(x^{so}) - C'(x^{so}) = 0 \end{aligned}$$

즉 사업자의 최적 선택은  $x^{so}$ 로서 사회적 최적을 달성한다.

상술한 두 번째 간접 규제는 첫 번째 간접 규제에 비해 두 가지 이점을 지닌다. 우선 보조금 도입을 위해 필요한 정보량이 상대적으로 적다. 두 번째 보조금은 사회적 최적 수준에서 양의 외부성의 크기에 대한 정보만으로 구현 가능한 반면, 첫 번째 보조금은 모든 네트워크 수준에 대해 양의 외부성의 크기를 알아야 구현 가능하다. 이에 더해, 두 번째 보조금은 단순한 선형함수인 반면, 첫 번째 보조금은 비선형으로서 일반적으로 상당히 복잡한 형태를 지닌다.

이제까지의 논의를 요약하면 다음과 같다. 네트워크 구축에 따른 사회적 편익, 수입, 비용이 알려져 있을 경우, 사회적 계획가는 네트워크 구축수준을 직접 통제하는 직접 규제 또는 네트워크 구축 수준에 따라 보조금을 지급하는 간접 규제를 통해 사회적 최적을 달성할 수 있다. 이 경우 정책 목표 달성에 있어 직접 규제와 간접 규제의 효력은 동일하다.

단, 상술한 논의에서는 정부가 사업자에게 지급하는 보조금이 순수 이전지급(pure transfer)으로서, 사회적 후생에 영향을 미치지 않는다고 암묵적으로 가정하였다. 그러나 실제 정책 집행 과정에서는 이러한 가정이 성립하지 않을 수 있다. 예컨대 보조금이 일반 재정으로부터 지출되는 경우, 이를 조달하기 위한 과세는 납세자의 최적 선택을 왜곡하여 효율성 손실(deadweight loss)을 초래할 수 있으며, 이로 인해 보조금 정책은 사회적 후생을 감소시키는 효과를 가질 수 있다. 이러한 경우, 동일한 정책 목표를 달성할 수 있다면 재정 부담이 발생하지 않는 직접 규제 방식이 간접 규제보다 상대적으로 바람직할 수 있다.

반면, 보조금이 주파수 할당대가 인하와 같은 방식으로 간접적으로 지급되는 경우, 정부가 별도로 예산을 지출하지 않기 때문에 과세에 의한 왜곡은 발생하지 않는다. 또한 사업자의 할당대가 부담을 완화함으로써, 사업자의 자금 여력을 높여 네트워크 투자 확대를 유도할 수 있다. 그러나 이러한 방식은 조세 왜곡을 피하는

대신, 공적 자산인 주파수의 가치를 낮추거나 수혜 사업자와 비수혜 사업자 간의 형평성 문제를 야기할 우려가 있다. 따라서 실제 정책 수단을 선택함에 있어서는 규제의 장기적 효과 및 제도적 일관성 등을 종합적으로 고려해야 한다.

지금까지 본 장에서는 단일 대리인 모형을 통해 비용에 대한 정보 비대칭이 존재하는 상황에서 직접 규제와 간접 규제의 효율성을 비교 분석하였다. 분석 결과, 양의 외부성을 내재화하는 보조금 기제를 활용한 간접 규제가 직접 규제보다 우월한 정책 성과를 달성함을 확인하였다. 외부성을 교정하여 사회적 최적을 달성한다는 원리 자체는 널리 알려져 있으나, 이러한 원칙을 다수의 사업자가 전략적으로 경쟁하는 주파수 경매라는 특수한 환경에서 구체적으로 어떻게 구현(implement)할 것인지에 대해서는 아직 명확히 정립된 바가 없다. 이어지는 제4장부터 제6장에서는 본 장의 논의를 주파수 경매 모형으로 확장하여, 최적의 네트워크 구축을 유도하는 구체적인 경매 메커니즘을 설계한다.

## 제 2 절 비대칭정보 모형

제1절에서는 네트워크 구축에 따른 사회적 편익, 수입, 비용이 알려진 완전정보 모형을 분석하였다. 완전정보의 경우, 사회적 계획가는 직접 규제 또는 간접 규제를 통해 네트워크가 과소공급되는 시장 실패를 해소하고 사회적으로 최적인 네트워크 구축수준을 달성할 수 있음을 확인하였다.

그러나 실제로 사회적 편익, 수입, 비용 전부가 사전적으로 정확히 알려진 경우는 드물다. 특히 현실에서는 비용에 대한 정보의 비대칭성이 두드러지게 나타난다. 즉, 사업자는 주어진 수준의 네트워크 품질을 달성하기 위해 필요한 비용에 대해 상당히 정확한 추정치를 지닌 반면, 정부는 이러한 비용에 대해 제한된 정보만을 지닌다. 본 절에서는 비용에 대한 정보가 사업자에게만 알려진 비대칭 정보 모형을 분석한다.

모형에 불확실성을 도입하기 위해, 제1절에서와 달리 비용함수가 네트워크 구축수준  $x$ 에 더해 확률변수  $\gamma$ 에도 영향을 받는다고 가정한다. 구체적으로 비용함수를  $C(x, \gamma)$ 로 표기하자. 여기서 사업자는  $\gamma$ 의 값을 정확히 아는 반면, 정부는  $\gamma$ 의 확률분포만을 안다고 가정한다. 이와 같이 하나의 경제 주체에게는 알려지고 다른 경제 주체에게는 알려지지 않은 정보를 사적정보라 한다.

비대칭 정보 상황을 분석하기에 앞서, 비교의 기준점(benchmark)으로서 최선의 결과(first-best outcome)를 정의한다. 이는 정부가 사업자의 사적정보인 비용 파라미터  $\gamma$ 를 관측할 수 있다고 가정하는 이상적인 상황 하에서 사회적 후생을 극대화하는 해를 의미한다. 구체적으로, 최선의 결과  $x^{FB}(\gamma)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$x^{FB}(\gamma) := \arg \max_x [B(x) - C(x, \gamma)]$$

즉 최선의 결과는 하나의 고정된 값이 아니라, 확률변수인 비용 파라미터  $\gamma$ 의 모든 실현값(realization)에 대응하여 사회적 후생을 극대화하는 구축 수준으로

정의된다. 최선의 결과는 규제 메커니즘이 도달할 수 있는 사회적 후생의 상한선 (upper bound)을 규정한다는 점에서 분석의 중요한 준거가 된다.

이제 정부가 사업자의 비용 파라미터  $\gamma$ 를 관측할 수 없는 비대칭 정보 상황을 분석한다. 정부가 사업자의 사적정보를 알 수 없으므로, 정책 설계는 확률변수  $\gamma$ 의 실현값에 의존할 수 없다. 이는 정책 변수가  $\gamma$ 의 함수 형태가 될 수 없음을 의미한다. 즉, 직접 규제 방식에서 정부가 부과하는 네트워크 구축 의무량이나, 간접 규제 방식에서 구축 수준에 연동하여 지급하는 보조금 스케줄은 확률변수  $\gamma$ 에 직접적으로 종속될(contingent) 수 없으며, 정부는 사전적으로 확정된 단일한 정책 규칙을 제시해야 한다.

제1절의 완전정보 분석에서는 직접 규제와 간접 규제가 동등한 정책 성과를 달성할 수 있음을 확인하였다. 그러나 네트워크 구축 비용이 사업자의 사적정보인 비대칭 정보 상황에서는 두 규제 수단의 정책 성과에 차이가 발생한다. 이하에서는 간접 규제가 직접 규제보다 우월한 정책 성과를 달성함을 보인다. 구체적으로, 적절히 설계된 간접 규제 하에서는 비대칭 정보가 존재함에도 불구하고 최선의 결과를 달성할 수 있음을 보인다. 이는 정부가 제시하는 보조금 규칙 자체는 사적 정보  $\gamma$ 에 의존하지 않지만, 사업자가 자신의 사적정보를 활용하여 이윤을 극대화하는 대안을 자발적으로 선택하는 과정에서 정책 결과에 사적정보가 반영되기 때문이다. 반면, 정해진 수준을 일괄적인 의무로서 부과하는 직접 규제로는 최선의 결과를 구현하는 것이 불가능하다.

**간접 규제** 네트워크 구축수준에 따라 사업자에게 제공하는 보조금을  $S(x)$ 라 하자. 사업자는 비용 파라미터  $\gamma$ 를 관측하므로,  $\gamma$ 의 실현값 각각에 대한 사업자의 이윤 극대화 문제는 다음과 같다.

$$\max_x R(x) + S(x) - C(x, \gamma)$$

사회적 편익과 수입이 알려졌기 때문에, 사회적 계획가는 양의 외부성의 크기를 계산할 수 있다. 이제 보조금을  $S(x) := B(x) - R(x)$ 라 하면, 사업자의 이윤 극대

화 문제는 다음과 같다.

$$\max_x B(x) - C(x, \gamma)$$

즉 네트워크로 인한 양의 외부성만큼을 사업자에게 보조금으로 지급할 경우, 사업자의 최적 선택 문제는 확률변수  $\gamma$ 의 모든 실현값에 대해 사회적 후생 극대화 문제와 일치한다. 따라서 위 보조금을 통한 간접 규제는 최선의 정책 수단이다.

**직접 규제** 확률변수  $\gamma$ 가 사업자의 사적정보로서 사회적 계획가에게 알려지지 않았기 때문에, 사회적 계획가는 사회적 후생의 실현값 대신 기대값을 극대화한다. 즉 사회적 계획가의 최적 직접 규제는 다음 극대화 문제의 해와 같다.

$$\max_x E_\gamma[B(x) - C(x, \gamma)]$$

일반적으로 사회적 후생의 기대값을 극대화하는 네트워크 수준은 실현값 각각을 극대화할 수 없다. 따라서 직접 규제는 최선의 정책 수단이 아니다.

이상의 논의를 종합하면, 네트워크 구축 비용이 사업자의 사적정보로 존재하는 비대칭 정보 상황에서 보조금을 활용한 간접 규제가 구축 의무량을 직접 할당하는 직접 규제보다 우월한 정책 성과를 달성함을 알 수 있다. 이러한 결과가 도출되는 이유는 간접 규제가 시장 실패의 원인인 외부성(externality) 문제를 효과적으로 해결하는 기제이기 때문이다. 정부는 비록 비용 함수에 대한 정보는 없으나, 사회적 편익 함수와 사업자의 수입 함수에 대한 정보는 확보하고 있다. 이를 통해 정부는 네트워크 구축이 창출하는 양(+의) 외부성, 즉 사회적 편익과 사적 수입의 차이를 정확히 산정하여 이를 보조금 형태로 지급할 수 있다. 이 경우 사업자가 직면하는 사적 한계 편익은 사회적 한계 편익과 일치하게 되며, 결과적으로 사업자의 이윤 극대화 행위가 사회적 후생 극대화로 귀결된다. 즉, 적절한 보조금 설계를 통해 인센티브의 왜곡을 교정함으로써, 비용 정보의 부재에도 불구하고 최적의 자원 배분을 유도할 수 있는 것이다.

## 제 4 장 점수 경매

제4장부터 제6장까지는 점수 경매(score auction)를 활용한 네트워크 구축 간접 규제 정책의 효과를 이론적으로 분석한다. 이 장에서는 점수 경매 모형을 기술하고, 기초적인 결과를 도출한다. 먼저 제1절에서는 점수 경매의 개념을 설명하고, 주파수 할당의 정책 목표 달성을 위한 수단으로서 점수 경매가 갖는 적합성을 고찰한다. 제2절에서는 모형을 수립하고 주요 점수 경매 메커니즘, 즉 최고점수 경매와 제2점수 경매의 규칙을 정의한다. 이어지는 제3절과 제4절에서는 각각 최고점수 경매와 제2점수 경매의 균형을 유도한다. 제5절에서는 함수 형태 및 확률 분포에 대한 명시적인 가정을 도입한 예시를 분석하여 이론적 결과를 구체화한다. 마지막으로 제6절에서는 두 점수 경매 방식의 네트워크 품질수준과 정부 기대수입을 비교한다.

### 제 1 절 점수 경매의 개념

점수 경매(score auction)란 입찰자가 가격만을 제시하는 보통의 경매와 달리, 가격과 함께 기술적 제안서, 서비스 품질, 납기 계획 등 비가격 요소(non-price factor) 또는 질적 속성(qualitative attribute)을 제시하는 경매 방식이다. 경매 주최자는 사전에 설정한 평가 기준에 따라 다양한 요소를 종합하여 각 입찰자의 점수(score)를 산출하고, 가장 높은 점수를 받은 입찰자에게 계약을 낙찰한다(Che, 1993; Asker & Cantillon, 2008).

점수 경매는 단일 상품을 두고 구매자들이 가격 경쟁을 벌이는 일반적인 판매 경매보다는, 발주자가 요구하는 복합적인 용역이나 서비스를 수행할 사업자를 선정하는 조달 경매(procurement auction)에서 주로 활용된다(Awaya et al., 2025; Branco, 1997; Dastidar & Mukherjee, 2014; Huang, 2019; Nishimura,

2015). 이는 통상적으로 재화의 질적 속성이 판매자보다는 구매자의 효용에 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 조달 경매에서 구매자의 최적 전략은 단순히 최저가를 제시한 공급자를 선택하는 것이 아니라, 가격과 더불어 품질, 납기, 유지보수 등 비가격 요소를 종합적으로 고려하여 의사결정을 내리는 것이다. 점수 경매는 이러한 평가 요소를 종합적으로 반영함으로써 발주자가 낮은 가격과 높은 품질이라는 목표를 균형 있게 달성할 수 있는 메커니즘이다.

주파수 경매는 판매자(정부)의 정책 목표가 구매자(이동통신 사업자)의 자원 활용 성과(네트워크 품질)에 의존한다는 점에서, 경매 운영 주체가 판매자임에도 불구하고 점수 경매를 도입하기에 적합한 특수한 환경을 형성한다. 주파수 할당 과정에서 정부의 역할은 단순히 주파수 사용권을 판매하는 것에 그치지 않으며, 할당받은 사업자가 사회적 편익을 극대화하는 방향으로 네트워크를 구축 및 운용하도록 유도할 책무를 포함한다. 앞서 논의한 바와 같이, 네트워크 투자는 외부성 및 형평성 문제로 인해 정부 개입 없이는 과소 공급, 불균형 공급 등 시장 실패로 귀결되기 쉽다. 따라서 가격 외에 서비스 커버리지, 투자 규모 등 질적 요소를 함께 평가하는 점수 경매를 도입함으로써, 정부는 가격 경쟁의 효율성을 유지하면서도 공공적 목표를 충족하는 최적의 사업자를 선별할 수 있다.

## 제 2 절 점수 경매 모형

본 절에서는 주파수 할당의 맥락에 점수 경매(score auction)를 도입한 모형을 기술한다. 표준적인 경매 모형(Krishna, 2002; 부록 A 참조)과 비교할 때, 본 연구의 모형은 참여자의 선택변수(행동)와 사적정보(타입)가 모두 2차원이라는 차이점을 지닌다. 즉 표준 경매 모형에서 참여자의 선택변수는 입찰가이고 사적정보는 지불의사인 반면(1차원 행동-1차원 타입), 본 연구의 모형에서 참여자의 선택변수는 입찰가와 네트워크 품질로 구성되며, 사적정보는 지불의사와 네트워크 구축 비용 파라미터로 구성된다(2차원 행동-2차원 타입).

### 입찰자의 행동과 사적정보

두 사업자(입찰자) 1과 2가 하나의 주파수 블록을 두고 경쟁한다고 가정한다. 사업자는 2차원 벡터  $(b, q)$ 를 제출한다. 여기서  $b \in R_+$ 는 입찰가를,  $q \in [q, \bar{q}]$ 는 네트워크 품질수준을 가리킨다. 품질수준  $q$ 의 구체적인 정의는 정책의 세부 사항에 따라 달라진다. 가장 단순한 예시로서,  $q$ 는 구축한 무선국의 수를 나타낼 수 있다. 다른 예시로서,  $q$ 는 정해진 속도 기준(예컨대 다운로드 7Mbps/업로드 1Mbps)을 제공하는 인구 또는 면적 비율을 나타내거나, 정해진 인구 비율(예컨대 95%) 또는 정해진 지역(예컨대 모든 도시 및 도로, 또는 전체 면적의 95%)에 제공하는 최소 다운로드 속도를 나타낼 수 있다.

각 사업자는 2차원의 타입  $(\theta, x)$ 를 사적정보로서 지닌다. 여기서  $\theta \in [\theta, \bar{\theta}]$ 는 주파수에 대한 사업자의 지불의사(willingness-to-pay)를 나타낸다. 보다 정확히,  $\theta$ 는 사업자가 주파수를 할당받아 사적 이윤을 극대화하는 방식으로 활용했을 때 얻을 수 있는 이윤과 같다. 한편  $x \in [x, \bar{x}]$ 는 네트워크 구축비용 함수를 결정하는 사업자별 특성을 나타낸다. 구체적으로, 사업자가 네트워크 품질수준  $q$ 를 달성하기 위해 소요되는 비용은 함수  $c(q, x)$ 로 나타난다. 비용함수  $c(q, x)$ 는  $(q, x)$ 에 대해

두 번 연속적으로 미분가능(twice continuously differentiable)하며, 다음 조건을 만족한다:

$$\frac{\partial c}{\partial q}(q, x) > 0, \frac{\partial^2 c}{\partial q^2}(q, x) > 0, \frac{\partial c}{\partial x}(q, x) > 0.$$

즉 비용은 네트워크 품질에 대해 볼록하고 증가하며(convex and increasing), 비용 파라미터에 대해 증가한다.

마지막으로, 각 입찰자의 사적정보를 나타내는 2차원 확률변수  $(\theta, x)$ 의 결합확률분포  $P$ 는 공통 지식(common knowledge)이며, 타입의 집합  $[\underline{\theta}, \bar{\theta}] \times [\underline{x}, \bar{x}]$  위에서 연속인 확률밀도함수(probability density function)  $f(\theta, x)$ 를 갖는다. 두 입찰자의 타입 벡터  $(\theta_1, x_1)$ 과  $(\theta_2, x_2)$ 는 서로 독립(independent)이다.

## 점수 경매

정부는 사업자가 제출한 입찰가와 네트워크 품질로부터 점수(score) 또는 총점수(total score)  $S(b, q)$ 를 산출한다. 여기서  $S(b, q)$ 는  $b$ 와  $q$  각각에 대한 증가함수이다. 정부는 가장 높은 점수를 제시한 사업자에게 주파수를 할당하며, 점수가 같을 경우에는 무작위 추첨으로 낙찰자를 결정한다.

점수함수는 다음과 같이 준선형(quasi-linear)이라고 가정한다.

$$S(b, q) := b + s(q).$$

즉 점수는 입찰가 기여분  $b$ 와 품질 기여분  $s(q)$ 의 합으로 정의된다. 함수  $s(q)$ 는 점수함수  $S(b, q)$ 와 구별하여 **품질점수**라고 부르기로 한다.  $s(q)$ 는 연속인 증가함수이다.

본 연구에서는 다음 두 가지 메커니즘에 초점을 맞추어 분석을 진행한다. **최고 점수 경매**(first-score auction)의 경우, 낙찰자는 정부에게 자신이 제출한 입찰가를 지불하고, 자신이 제출한 네트워크 품질수준을 달성해야 한다. 이는 최고가

격 경매를 점수 경매로 확장한 것으로 해석할 수 있다.

다음으로 **제2점수 경매**(second-score auction)의 경우, 낙찰자는 자신이 제출한 네트워크 품질수준을 달성해야 한다. 그리고 자신이 제출한 품질점수를 기준으로 산출한 점수가 상대 입찰자가 제출한 점수와 같아지는 입찰가를 판매자에게 지불한다. 즉 낙찰자의 행동을  $(b, q)$ , 상대방의 행동을  $(b', q')$ 라 하면, 낙찰자의 지불가격  $p$ 는 다음 식에 의해 결정된다:

$$S(p, q) = p + s(q) = b' + s(q') = S(b', q')$$

즉 지불가격은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} p &= S(b', q') - s(q) \\ &= b' + s(q') - s(q) \end{aligned} \tag{4.1}$$

이어지는 두 절에서는 최고점수 경매와 제2점수 경매의 균형을 도출한다.

## 제 3 절 최고점수 경매 균형

최고점수 경매의 균형은 정리 4.1과 같다.

**정리 4.1.** (최고점수 경매 균형) 함수  $q^*: [q, \bar{q}] \rightarrow R_+$ 를 다음과 같이 정의한다:

$$q^*(x) := \arg \max_q s(q) - c(q, x) \quad (4.2)$$

함수  $\tau: [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \rightarrow R_+$ 를 다음과 같이 정의한다:

$$\tau(\theta, x) := \theta + s(q^*(x)) - c(q^*(x), x)$$

각 타입  $(\theta, x)$ 에 대해,  $\tau(\theta, x)$ 를 **모조 타입**(pseudo-type)이라고 지칭한다. 다음으로 누적분포함수  $F_\tau$ 를 다음과 같이 정의한다:

$$F_\tau(t) := \text{Prob}[\tau(\theta, x) \leq t]$$

여기서 우변은  $(\theta, x)$ 의 결합확률분포(joint probability distribution)  $P$ 에 따라 정의된다. 이제 최고점수 경매의 균형에서 타입  $(\theta, x)$ 가 선택하는 입찰가와 품질은 다음과 같다.

$$b^l(\theta, x) = \tau(\theta, x) - \int_{\underline{\tau}}^{\tau(\theta, x)} \frac{F_\tau(t)}{F_\tau(\tau(\theta, x))} dt - s(q^*(x))$$

$$q^l(\theta, x) = q^*(x)$$

단, 여기서  $\underline{\tau} := \tau(\underline{\theta}, \bar{x})$ , 즉  $\underline{\tau}$ 는 모조 타입의 하한(lower limit)이다.

증명의 핵심은 2차원 선택변수와 2차원 타입을 지닌 최고점수 경매 모형을 1차원 선택변수와 1차원 타입을 지닌 최고가격 경매 모형으로 축소(reduce)하는 것이다. 보다 구체적으로, 최고점수 경매에서 타입  $(\theta, x)$  입찰자가 제출하는 점수는 일반적인 최고가격 경매에서 지불의사가  $\tau = \tau(\theta, x)$ 인 입찰자가 제출하는 입찰가와 같음을 보일 것이다. 이를 위해, 다음 보조정리 4.1을 우선 증명한다.

**보조정리 4.1.** 최고점수 경매에서 타입  $(\theta, \chi)$  사업자의 최적 품질은 다른 사업자의 전략 및 자신의 지불의사 타입  $\theta$ 와 무관히 언제나  $q = q^*(\chi)$ 이다.

**증명.** 다른 입찰자의 전략을 고정하고, 타입  $(\theta, \chi)$ 를 지닌 사업자  $i \in \{1, 2\}$ 를 고려하자. 기대보수 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$\Pi_i(b, q | \theta, \chi) = [\theta - b - c(q, \chi)] \times \text{Prob}[\text{Win} | S(b, q)]$$

이제 임의의 행동  $(b, q)$ 를 고려하자. 행동  $(b^*, q^*)$ 를 다음과 같이 정의한다:

$$\begin{aligned} q^* &= q^*(\chi) \\ b^* &= b + s(q) - s(q^*) \end{aligned}$$

정의에 따라 다음이 성립한다:

$$S(b^*, q^*) = b^* + s(q^*) = b + s(q) = S(b, q)$$

즉  $(b^*, q^*)$ 는  $q^*(\chi)$ 의 품질을 지니면서  $(b, q)$ 와 동일한 점수를 산출하는 행동으로 정의된다. 따라서

$$\begin{aligned} \Pi_i(b^*, q^* | \theta, \chi) &= [\theta - b^* - c(q^*, \chi)] \times \text{Prob}[\text{Win} | S(b^*, q^*)] \\ &= [\theta - b - s(q) + s(q^*) - c(q^*, \chi)] \times \text{Prob}[\text{Win} | S(b, q)] \\ &\geq [\theta - b - s(q) + s(q) - c(q, \chi)] \times \text{Prob}[\text{Win} | S(b, q)] \\ &= [\theta - b - c(q, \chi)] \times \text{Prob}[\text{Win} | S(b, q)] \\ &= \Pi_i(b, q | \theta, \chi) \end{aligned}$$

여기서 두 번째 줄의 등호는  $(b^*, q^*)$ 의 정의에 의해 성립하며, 세 번째 줄의 부등호는  $q^*(\chi)$ 의 최적성에 의해 성립한다(식(4.2)).  $(b^*, q^*)$ 이  $(b, q)$ 보다 높은 기대보수를 생성하므로, 결론이 성립한다. ■

**정리 4.1의 증명.** 보조정리 4.1에 의해, 균형을 유도함에 있어 타입  $(\theta, \chi)$  사업자가 제출하는 품질이  $q = q^*(\chi)$ 를 만족하는 전략만을 고려해도 무방하다. 주어진 품질  $q^*(\chi)$ 에 대해  $S = b + s(q^*(\chi))$ 이므로, 입찰가  $b$ 를 선택하는 문제와 점수  $S$ 를 선택하는 문제는 동등(equivalent)하다. 따라서 입찰자의 승리보수를 입찰가 대

신 점수의 함수로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\pi_i &= \theta - b - c(q^*(x), x) \\ &= \theta - S + s(q^*(x)) - c(q^*(x), x) \\ &=: \tau(\theta, x) - S\end{aligned}$$

이제 모조 타입  $\tau = \tau(\theta, x)$  자체를 누적분포함수  $F_\tau$ 를 따라 분포한 확률변수로 간주하자. 그러면 위 식은 최고점수 경매의 승리보수가 최고가격 경매의 승리보수에서 지불의사를 모조 타입  $\tau$ 로, 입찰가를 점수  $S$ 로 대체한 것과 동일함을 보여준다. 한편 점수 경매의 할당규칙(가장 높은 점수를 제출한 사업자에게 낙찰) 또한 최고가격 경매의 할당규칙(가장 높은 입찰가를 제출한 사업자에게 낙찰)에서 입찰가를 점수  $S$ 로 대체한 것과 같다. 즉 최적 품질을 대입하고 모조 타입  $\tau$ 를 정의하여 축소된 최고점수 경매 모형은 최고가격 경매 모형과 동등(equivalent)하다. 따라서 최고가격 경매 균형전략에 대한 기존 결과에 의해(부록 정리 A.1(i)), 균형에서 모조 타입이  $\tau$ 인 사업자가 제출하는 점수는 다음과 같다.

$$S^I(\tau) = \tau - \int_{\underline{\tau}}^{\tau} \frac{F_\tau(t)}{F_\tau(\tau)} dt$$

정리 4.1의 균형 입찰가는 위 식을  $S^I(\theta, x) = b^I(\theta, x) + s(q^*(x))$ 에 대입함으로써 도출된다. ■

## 제 4 절 제2점수 경매 균형

제2점수 경매의 균형은 다음과 같다.

**정리 4.2.** (제2점수 경매 균형) 함수  $q^*(x)$ ,  $\tau(\theta, x)$ ,  $F_i(t)$ 를 정리 4.1과 같이 정의한다. 그러면 제2점수 경매의 균형에서 타입  $(\theta, x)$ 가 선택하는 입찰가와 품질은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} b^H(\theta, x) &= \tau(\theta, x) - s(q^*(x)) \\ q^H(\theta, x) &= q^*(x) \end{aligned}$$

최고점수 경매에서와 같이, 증명의 핵심은 2차원 행동변수와 2차원 타입을 지닌 최고점수 경매 모형을 1차원 행동변수와 1차원 타입을 지닌 제2가격 경매 모형으로 축소하는 것이다. 이를 위해, 다음 보조정리 4.2를 우선 증명한다.

**보조정리 4.2.** 제2점수 경매에서 타입  $(\theta, x)$  사업자의 최적 품질은 다른 사업자의 전략 및 자신의 지불의사 타입  $\theta$ 와 무관히 언제나  $q = q^*(x)$ 이다.

**증명.** 다른 입찰자의 전략을 고정하고, 타입  $(\theta, x)$ 를 지닌 사업자  $i \in \{1, 2\}$ 를 고려하자. 임의의 행동  $(b, q)$ 에 대해, 행동  $(b^*, q^*)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} q^* &= q^*(x) \\ b^* &= b + s(q) - s(q^*) \end{aligned}$$

그러면 정의에 의해, 다음이 성립한다:

$$S(b^*, q^*) = b^* + s(q^*) = b + s(q) = S(b, q)$$

즉  $(b^*, q^*)$ 는  $q^*(x)$ 의 품질을 지니면서  $(b, q)$ 와 동일한 점수를 산출하는 행동으로 정의된다.

이제 상대 입찰자가 제출하는 행동  $(b', q')$ 에 무관하게, 입찰자  $i$ 가  $(b^*, q^*)$ 를 선

택 시의 사후적 보수  $\pi_i^*$ 는  $(b, q)$ 를 선택 시의 사후적 보수  $\pi_i$  이상임을 보인다.  $S' = S(b', q')$ 이라 하자.

(i)  $S(b, q) = S(b^*, q^*) > S'$ 일 때

이 경우, 입찰자  $i$ 가 주파수를 낙찰받는다. 그러면  $(b, q)$ 를 제출 시 판매자에게 지불하는 금액은 제2점수 경매의 규칙에 따라  $p := S' - s(q)$ 이다. 따라서 사후적 보수는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \pi_i &= \theta - p - c(q, \chi) \\ &= \theta - S' + s(q) - c(q, \chi) \end{aligned}$$

같은 이유로,  $(b', q')$ 를 제출 시 사후적 보수는 다음과 같다.

$$\pi_i^* = \theta - S + s(q^*) - c(q^*, \chi)$$

$q^*(\chi)$ 의 최적성에 의해  $s(q^*) - c(q^*, \chi) \geq s(q) - c(q, \chi)$ 이므로(식(4.2)),  $\pi_i^* \geq \pi_i$ 이다.

(ii)  $S' > S(b, q) = S(b^*, q^*)$ 일 때

이 경우, 입찰자  $i$ 는 주파수를 낙찰받지 못한다. 따라서  $\pi_i^* = \pi_i = 0$ 이다.

(iii)  $S(b, q) = S(b^*, q^*) = S'$ 일 때

이 경우 낙찰자를 무작위 추첨을 통해 결정하므로, 사후적 보수는(i)에서의 식과 (ii)에서의 식의 평균으로 주어진다.(i)과(ii) 모두에서  $\pi_i^* \geq \pi_i$ 이므로, 이 경우에도 동일한 부등식이 성립한다. ■

**정리 4.2의 증명.** 보조정리 4.2에 의해, 균형을 유도함에 있어 타입  $(\theta, \chi)$  입찰자가 제출하는 품질이  $q = q^*(\chi)$ 를 만족하는 전략만을 고려해도 무방하다. 주어진 품질  $q^*(\chi)$ 에 대해,  $S = b + s(q^*(\chi))$ 이므로 입찰가  $b$ 를 선택하는 문제와 점수  $s$ 를 선택하는 문제는 동등하다. 이제 사업자의 승리보수를 입찰가 대신 점수에 대한 함수로서 바꾸어 표현한다. 상대방이 점수  $S'$ 를 선택 시, 입찰자의 지불가격은 제2점수 경매의 규칙에 따라  $p = S' - s(q^*(\chi))$ 이다. 따라서 승리보수는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \pi_i &= \theta - p - c(q^*(\chi), \chi) \\ &= \theta - S' + s(q^*(\chi)) - c(q^*(\chi), \chi) \\ &=: \tau(\theta, \chi) - S' \end{aligned}$$

위 식은 제2점수 경매의 승리보수가 제2가격 경매의 승리보수에서 지불의사를  $\tau$ 로, 입찰가를 점수  $s$ 로 대체한 것과 동일함을 보여준다. 정리 4.1의 증명에서와 같은 논리에 의해, 최적 품질을 대입하고 모조 타입  $\tau$ 를 정의하여 축소된 제2점수 경매 모형은 제2가격 경매 모형과 동등하다. 제2가격 경매의 균형에서 입찰자는 자신의 지불의사를 그대로 입찰함이 알려져 있다(부록 정리 A.1(ii)). 따라서 제2점수 경매의 균형에서 타입  $(\theta, \chi)$  사업자가 제출하는 점수는

$$S^H(\theta, \chi) := \tau(\theta, \chi)$$

이다. 그러므로 균형 입찰가는

$$b^H(\theta, \chi) := S^H(\theta, \chi) - s(q^*(\chi)) = \tau(\theta, \chi) - s(q^*(\chi))$$

이다. ■

## 제 5 절 예 시

이 절에서는 함수 형태와 확률 분포에 대한 명시적 가정 하에서 최고점수 경매와 제2점수 경매의 해를 직접 도출함으로써 제3절과 제4절 결과의 구체적인 예시를 제시한다.

모조 타입  $\tau$ 

표기를 남용하여 품질점수함수를  $s(q) = sq$ ,  $s \in R_+$ 라 가정하자. 그리고 망 구축 비용 함수는  $c(q, \chi) = (1/2)\chi q^2$ 라 한다. 그러면

$$\begin{aligned} q^*(\chi) &:= \arg \max_q s(q) - c(q, \chi) \\ &= \arg \max_q sq - (1/2)\chi q^2 \end{aligned}$$

일계 조건은

$$\frac{d}{dq} [sq - \frac{1}{2}\chi q^2] = s - \chi q = 0$$

이를 풀면  $q^*(\chi) = s/\chi$ 이다. 따라서

$$\begin{aligned} \tau(\theta, \chi) &:= \theta + s(q^*(\chi)) - c(q^*(\chi), \chi) \\ &= \theta + s(s/\chi) - (1/2)(s/\chi)^2 \\ &= \theta + (1/2)s^2/\chi \end{aligned}$$

누적분포함수  $F_\tau$ 는 다음과 같이 주어진다.

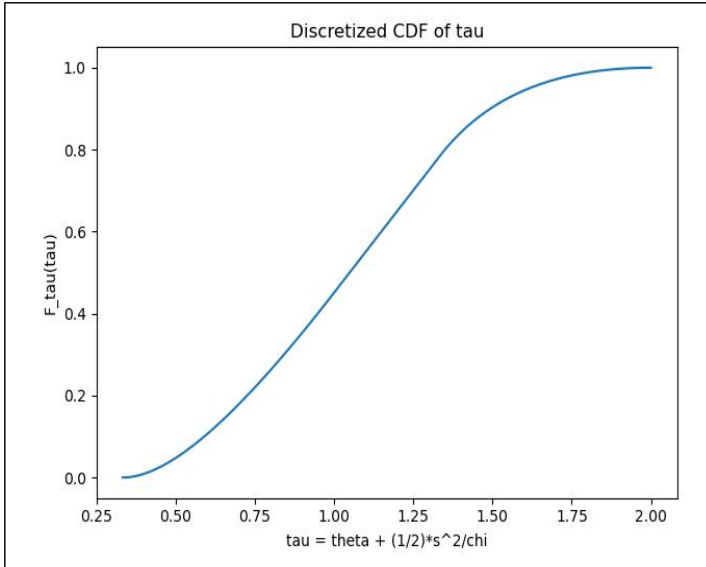
$$\begin{aligned} F_\tau(t) &:= \text{Prob}[\tau(\theta, \chi) \leq t] \\ &= \text{Prob}[\theta + (1/2)s^2/\chi \leq t] \end{aligned}$$

이제  $\theta$ 는 구간  $[0, 1]$  사이의 균등분포(uniform distribution)를 따르고,  $\chi$ 는 구간  $[0.5, 1.5]$  사이의 균등분포를 따른다고 가정하자. 그러면 확률변수  $\tau$ 가 분포하는 범위  $[\underline{\tau}, \bar{\tau}]$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\bar{\tau} &= \theta + (1/2)s^2/\bar{\chi} = 1/3 \\ \bar{\tau} &= \bar{\theta} + (1/2)s^2/\underline{\chi} = 2\end{aligned}$$

이 경우,  $F_{\tau}$ 는 [그림 4-1]과 같이 주어진다.

[그림 4-1] 누적분포함수  $F_{\tau}$



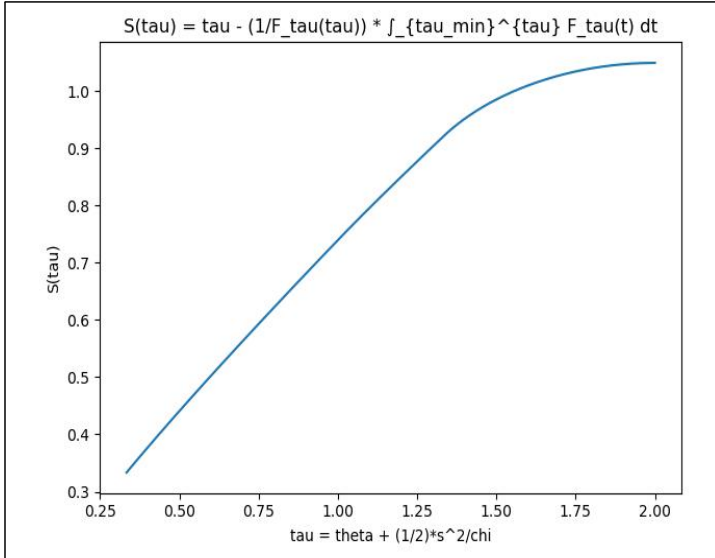
### 최고점수 경매

정리 4.1의 증명에 따르면, 최고점수 경매의 균형에서 타입  $(\theta, \chi)$  입찰자가 선택하는 점수  $S$ 는, 모조 타입  $\tau = \tau(\theta, \chi)$ 의 함수로서 다음과 같이 주어진다.

$$S^I(\tau) = \tau - \int_{\tau}^{\tau} \frac{F_{\tau}(t)}{F_{\tau}(\tau)} dt$$

위에서 기술한 가정 하에서,  $S^I(\tau)$ 의 그래프는 [그림 4-2]와 같다.

[그림 4-2] 모조 타입  $\tau$ 의 균형 점수  $S^I(\tau)$



정리 4.1에 따르면, 최고점수 경매에서 타입  $(\theta, \chi)$  입찰자가 제출하는 균형 입찰가는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 b^I(\theta, \chi) &= S^I(\tau(\theta, \chi)) - s(q^*(\chi)) \\
 &= S^I(\tau(\theta, \chi)) - s^2/\chi
 \end{aligned}$$

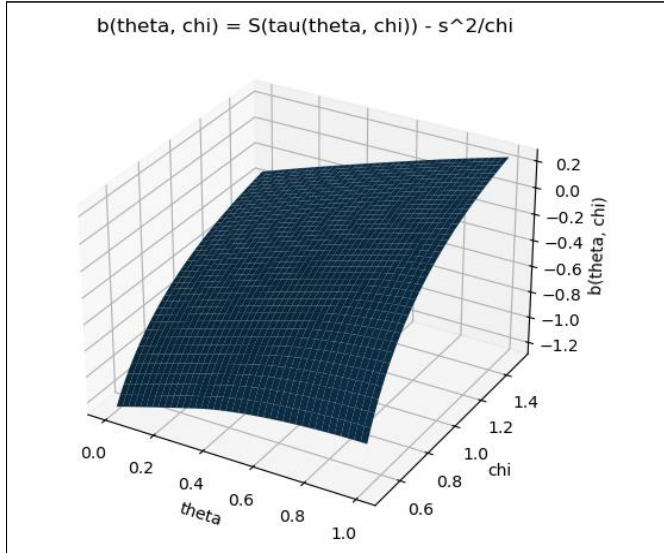
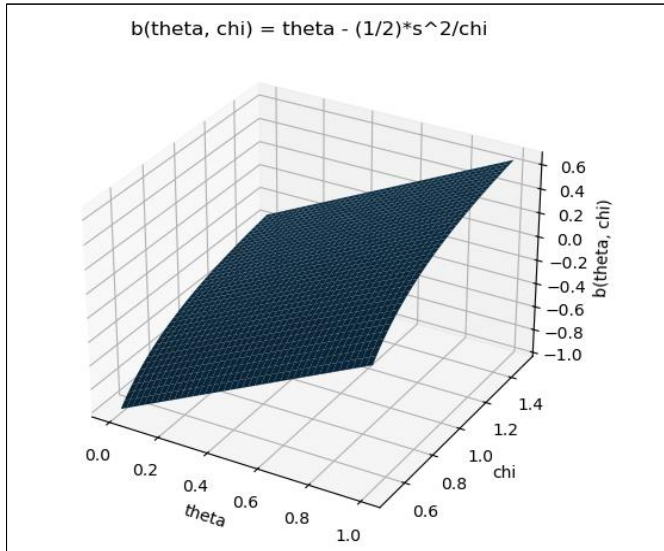
상술한 가정 하에서  $b^I(\theta, \chi)$ 의 그래프는 [그림 4-3]과 같다.

### 제2점수 경매

정리 4.2에 따르면, 제2점수 경매에서 타입  $(\theta, \chi)$  입찰자의 균형 입찰가는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 b^II(\theta, \chi) &= \tau(\theta, \chi) - s(q^s(\chi)) \\
 &= \theta - s^2/2\chi
 \end{aligned}$$

$b^II(\theta, \chi)$ 의 그래프는 [그림 4-4]와 같다.

[그림 4-3] 최고점수 경매의 균형 입찰가  $b^I(\theta, \chi)$ [그림 4-4] 제2점수 경매의 균형 입찰가  $b^II(\theta, \chi)$ 

## 제 6 절 최고점수 및 제2점수 경매의 동등성

실제 주파수 할당 정책에 점수 경매를 도입함에 있어, 구체적으로 어떤 경매 방식을 채택할 것인가는 제도 설계의 핵심적인 문제이다. 본 절에서는 이러한 의사결정의 이론적 기초를 제공하기 위해, 최고점수 경매와 제2점수 경매에서 도출되는 네트워크 품질 및 기대 수입을 비교 분석한다.

기존 경매 이론 문헌으로부터, 표준적 가정 하에서<sup>1)</sup> 최고가격 경매와 제2가격 경매의 기대 수입이 일치한다는 ‘수입 동등성 정리(Revenue Equivalence Theorem)’가 성립함이 잘 알려져 있다(Myerson, 1981; Krishna, 2002; 부록 정리 A.2). 이 절에서는 수입 동등성 정리의 결과로서, 주파수 할당 맥락에서 최고점수 경매와 제2점수 경매 하에서의 네트워크 품질 및 기대 수입이 동등함을 보인다. 결과적으로, 달성되는 네트워크 품질 및 재정 수입의 측면에서는 두 경매 방식의 정책 성과가 동일하다.

다음 정리 4.3은 본 절의 주요 결과를 기술한다.

**정리 4.3.** (동등성) 점수함수  $S(b, q) = b + s(q)$ 가 동일할 때,  
 (i) 실현된 타입 조합  $((\theta_1, x_1), (\theta_2, x_2))$  각각에 대해, 최고점수 경매와 제2점수 경매에서 낙찰자가 선택하는 품질은 동일하다.  
 (ii) 최고점수 경매와 제2점수 경매의 기대수입은 동일하다.

**증명.** (i) 두 경매 모두 모조 타입  $\tau = \tau(\theta, x) := \theta + s(q^*(x)) - c(q^*(x), x)$  가장 높은 사업자에게 주파수를 낙찰하며, 타입  $(\theta, x)$  입찰자가 선택하는 품질은  $q = q^*(x)$ 이다(보조정리 4.1, 4.2). 따라서 실현된 타입 조합 각각에 대해, 최고점수 경매와

1) 지불의사가 사적이고 독립이며(independent private values), 지불의사의 확률분포가 공통 지식(common knowledge)이고, 입찰자는 위험 중립적(risk-neutral)이며, 비교하는 두 메커니즘의 배분규칙(allocation rule)이 동일하다. 본 연구의 모형은 이러한 가정을 모두 만족한다.

제2점수 경매에서 낙찰자가 선택하는 품질은 동일하다.

(ii) 정리 4.1의 증명으로부터, 모조 타입  $\tau$ 를 지불의사와 대응시키고 점수  $s$ 를 입찰가와 대응시킬 때, 최고점수 경매는 최고가격 경매로 축소될 수 있음을 확인하였다. 정리 4.2의 증명으로부터, 동일한 원리에 따라 제2점수 경매는 제2가격 경매로 축소될 수 있음을 확인하였다. 최고가격 경매와 제2가격 경매 간 동등성에 의해(부록 정리 A.2(i)), 임의의 타입  $(\theta, \chi)$ 와 모조 타입  $\tau = \tau(\theta, \chi)$ 에 대해,

$$S^I(\tau)F_\tau(\tau) = \int_{\tau}^{\tau} t dF_\tau(t) \quad (4.3)$$

식(4.3)의 좌변을 변형하면

$$\begin{aligned} S^I(\tau)F_\tau(\tau) &= S^I(\tau(\theta, \chi))F_\tau(\tau(\theta, \chi)) \\ &= [b^I(\theta, \chi) + s(q^*(\chi))] \times \text{Prob}[(\theta', \chi') : \tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)] \end{aligned} \quad (4.4)$$

식(4.3)의 우변을 변형하면

$$\begin{aligned} \int_{\tau}^{\tau} t dF_\tau(t) &= \int_{\tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)} \tau(\theta', \chi') dP(\theta', \chi') \\ &= \int_{\tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)} S^II(\theta', \chi') dP(\theta', \chi') \\ &= \int_{\tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)} [S^II(\theta', \chi') - s(q^*(\theta, \chi))] dP(\theta', \chi') \\ &\quad + s(q^*(\theta, \chi)) \times \text{Prob}[(\theta', \chi') : \tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)] \end{aligned} \quad (4.5)$$

단, 여기서 적분의 정의역은  $\{(\theta', \chi') : \tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)\}$ 이며, 두 번째 등호는 정리 4.2에 의해 성립한다. 이제 식(4.4)와 (4.5)로부터

$$\begin{aligned} &b^I(\theta, \chi) \times \text{Prob}[(\theta', \chi') : \tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)] \\ &= \int_{\tau(\theta', \chi') \leq \tau(\theta, \chi)} [S^II(\theta', \chi') - s(q^*(\theta, \chi))] dP(\theta', \chi') \end{aligned} \quad (4.6)$$

우변의 피적분함수(integrand)는 제2점수 경매의 균형에서 타입  $(\theta, \chi)$  입찰자가 타입  $(\theta', \chi')$  입찰자를 상대할 경우의 지불액과 같다(식(4.2) 참조). 따라서 식(4.6)은 최고점수 경매와 제2점수 경매에서 임의의 타입  $(\theta, \chi)$  입찰자의 기대 지

불액이 동일함을 의미한다. 양변을  $(\theta, x)$ 의 확률분포  $P$ 에 따라 적분하면, 두 경매에서 각 입찰자의 사전적(ex-ante) 기대 지불액이 동일함이 유도된다. 따라서 최고점수 경매와 제2점수 경매에서 판매자의 기대수입은 동일하다. ■

본 절에서는 네트워크 품질수준 및 기대수입의 측면에서 최고점수 경매와 제2점수 경매의 성과가 동등함을 보였다. 증명의 원리를 검토하면, 이러한 동등성이 동시오름 경매(Simultaneous Multi-Round Auction, SMRA) 및 조합 클럭 경매(Combinatorial Clock Auction)을 포함하여 보다 일반적인 경매 메커니즘까지 확장될 것으로 예상된다. 만약 이러한 동등성이 보다 일반적으로 성립한다면, 네트워크 품질이나 재정 수입 측면에서는 점수 경매 방식 간 변별력이 낮다고 볼 수 있다. 따라서 구체적인 경매 메커니즘의 채택에 있어서는 수입 동등성 정리 가정의 위배(입찰자의 위험 기피, 타입 간 상관관계 등), 동적 메커니즘을 통한 가격 발견(price discovery) 촉진, 담합 유인 억제와 같은 측면이 메커니즘 선정의 판단 기준이 되어야 할 것이다.

## 제 5 장 사회적 후생 분석

이 장에서는 네트워크로 인한 양의 외부성이 존재할 때 사회적 후생을 극대화하는 메커니즘 설계 문제를 다룬다. 제1절에서는 사회적 계획가(social planner)의 메커니즘 설계 문제를 기술한다. 제2절에서는 최선의 결과(first-best outcome)를 기술한다. 본 장의 주요 결과를 기술하는 제3절에서는 점수 경매를 통해 최선의 결과를 달성할 수 있음을 보인다. 즉 사회적 계획가는 점수 함수를 통해 양의 외부성을 내부화(internalize)함으로써, 최고점수 및 제2점수 경매를 통해 사회적 최적을 달성할 수 있다. 마지막으로 제4절에서는 직접 규제와 비교하여 이 장에서 제시하는 최적의 간접 규제가 지니는 이점을 기술한다.

### 제 1 절 메커니즘 설계 문제

본 절에서는 메커니즘 설계 문제를 설명한다. 사회적 계획가의 문제는 입찰자의 유인에 대한 제약(incentive constraint) 하에서, 사회적 후생을 극대화하는 메커니즘을 설계하는 것이다. 우선 현시 원리를 간략히 설명한다. 이어서 사회적 계획가의 선택변수인 직접 현시 메커니즘을 정의하고, 다음으로 입찰자의 유인에 대한 제약을 기술하고, 마지막으로 목적함수인 사회적 후생을 정의한다.

#### 현시 원리

일반적으로 메커니즘이란 참여자들의 행동에 따라 결과(재화의 분배, 참여자의 지불액 등)를 결정하는 함수를 의미한다. 특정한 메커니즘이 주어지면 참여자들 간의 전략적 상호작용에 따라 균형이 형성된다. 그러나 일반적인 메커니즘의 집합은 차원이 지나치게 높고, 주어진 메커니즘에서 형성되는 균형에 대한 식을 도출

하기 어렵기 때문에, 일반적인 메커니즘의 집합 위에서 메커니즘 설계 문제를 분석하는 것은 매우 복잡하다.

Myerson(1981)의 현시 원리(revelation principle)에 따르면, 일반성을 잃지 않고 다음 세 가지 조건을 만족하는 단순한 메커니즘으로 분석 대상을 한정할 수 있다: (i) 행동의 집합이 타입의 집합과 같고, 즉 각 참여자가 메커니즘 설계자에게 메시지로서 타입을 제출하고, (ii) 각 입찰자가 자신의 실제 타입을 그대로 제출하는 것이 균형이며(유인양립성), (iii) 각 입찰자가 메커니즘에 참여하는 것을 외부 대안(outside option)보다 선호한다(개별합리성). 조건 (i)을 만족하는 메커니즘을 직접 현시 메커니즘이라 하며, 조건(ii)와 (iii)은 직접 현시 메커니즘에 대한 두 가지의 유인 제약으로 표현된다.

### 직접 현시 메커니즘

본 연구의 맥락에서, 직접 현시 메커니즘은 다음과 같이 정의된다.

**정의 5.1.** 직접현시 메커니즘(direct revelation mechanism)  $(x, p, q)$ 는 세 함수로 구성된 순서쌍이다. 세 함수

$$\begin{aligned} x &= (x_1, x_2) : [\underline{\theta}, \bar{\theta}]^2 \times [\underline{x}, \bar{x}]^2 \rightarrow [0, 1]^2 \\ p &= (p_1, p_2) : [\underline{\theta}, \bar{\theta}]^2 \times [\underline{x}, \bar{x}]^2 \rightarrow R^2 \\ q &= (q_1, q_2) : [\underline{\theta}, \bar{\theta}]^2 \times [\underline{x}, \bar{x}]^2 \rightarrow [q, \bar{q}]^2 \end{aligned}$$

는 각각 배분규칙(allocation rule), 지불규칙(payment rule), 품질규칙(quality rule)이라고 부른다. 여기서 모든  $(\theta_1, \theta_2, x_1, x_2)$ 에 대해, 배분규칙은 다음을 만족한다:

$$\begin{aligned} x_1(\theta_1, \theta_2, x_1, x_2) &\geq 0 \\ x_2(\theta_1, \theta_2, x_1, x_2) &\geq 0 \\ x_1(\theta_1, \theta_2, x_1, x_2) + x_2(\theta_1, \theta_2, x_1, x_2) &= 1 \end{aligned}$$

직접현시 메커니즘은 다음과 같이 해석된다. 각 입찰자는 지불의사 타입과 비용 타입의 순서쌍  $(\theta, x)$ 를 메시지로서 선택하여 판매자에게 제출한다. 입찰자 1이

$(\theta_1, \chi_1)$ 를 제출하고 입찰자 2가  $(\theta_2, \chi_2)$ 를 제출할 때, 입찰자  $i \in \{1, 2\}$ 는  $x_i(\theta_1, \theta_2)$ 의 확률로 주파수를 낙찰받고, 판매자에게  $p_i(\theta_1, \theta_2)$ 를 지불하며, 주파수를 낙찰받을 경우에 한하여  $q_i(\theta_1, \theta_2)$ 의 네트워크 커버리지 품질을 제공한다.

## 유인 제약

위에서 설명하였듯이, 유인 제약은 두 가지로 구성된다. 먼저 유인양립성 (incentive compatibility, IC) 제약에 따르면, 각 입찰자가 자신의 타입을 그대로 제출하는 것이 균형이어야 한다. 즉, 다른 입찰자가 자신의 타입을 그대로 제출한다고 가정할 때, 입찰자의 최적 선택은 자신의 타입을 그대로 제출하는 것이어야 한다.

$$\begin{aligned} & \int \left[ \begin{array}{l} [\theta_i - c(q_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j), \chi_i)] x_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j) \\ - p_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j) \end{array} \right] dP(\theta_j, \chi_j) \\ & \geq \int \left[ \begin{array}{l} [\theta_i - c(q_i(\theta_i', \theta_j, \chi_i', \chi_j), \chi_i)] x_i(\theta_i', \theta_j, \chi_i', \chi_j) \\ - p_i(\theta_i', \theta_j, \chi_i', \chi_j) \end{array} \right] dP(\theta_j, \chi_j) \end{aligned} \quad (5.1)$$

다음으로 개별합리성(individual rationality, IR) 제약에 따르면, 입찰자가 메커니즘에 참여하는 것을 외부 대안보다 선호해야 한다. 이는 메커니즘의 균형에서 입찰자의 기대보수가 외부 대안의 보수인 0보다 높아야 함을 의미한다. 유인양립성 제약에 의해 자신의 타입을 그대로 보고하는 것이 균형이므로, 개별합리성 제약은 다음과 같다.

$$\int \left[ \begin{array}{l} [\theta_i - c(q_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j), \chi_i)] x_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j) \\ - p_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j) \end{array} \right] dP(\theta_j, \chi_j) \geq 0 \quad (5.2)$$

## 목적함수

일반적으로 메커니즘 설계 문제의 목적함수는 설계자의 효용(판매자의 수입) 또는 사회적 후생이다. 기존 경매 문헌은 주로 전자인 판매자 수입의 극대화 문제에 논의의 비중을 두어 왔다. 이는 현실의 경매 운영이 대개 수입을 최대화하려는 운영자의 경제적 동기에 기반하고 있다는 점을 반영한 것으로 볼 수 있다. 이론적 측면에서도, 지불의사만이 사적정보인 표준적인 경매 모형에서 사회적 후생을 극대화하는 문제는 단순히 해당 재화를 가장 높은 가치로 평가하는 입찰자에게 배분하는 배분적 효율성(allocative efficiency) 문제와 동일하다. 유보가격(reserve price)이 충분히 낮게 설정된 환경에서는 이러한 효율적 배분이 경매 메커니즘을 통해 사실상 자동적으로 달성되므로, 문헌의 주요 관심사는 사회적 후생보다는 판매자 수입에 집중되어 온 측면이 있다.

그러나 주파수 경매에 관한 기존 문헌에서는 경매의 정책 목표가 단기적인 재정 수입 극대화가 아닌, 주파수 자원의 효율적 이용을 통한 사회적 후생의 극대화가 되어야 한다고 강조하고 있다(Myers, 2023). 주파수 경매의 경우, 사회적 후생 극대화 문제는 단순히 배분적 효율성 문제로 귀결되지 않는다. 낙찰자가 주파수를 할당받아 구축하는 네트워크가 사회 전체에 미치는 양의 외부성이 존재하기 때문이다. 즉, 주파수 경매에서는 자원을 누구에게 할당하는가 뿐만 아니라, 해당 자원을 활용해 얼마나 고도화된 네트워크를 구축하고 디지털 생태계 전반에 긍정적인 파급효과를 창출할 것인가가 후생을 결정하는 핵심 변수가 된다. 정부는 희소 공공자원인 주파수의 관리 수탁자로서 주파수의 장기적 이용 효율성을 제고하고, 공공의 이익을 보호해야 할 책무를 진다. 만약 정부의 목적함수가 재정 수입 확보에 편향될 경우, 이는 주파수 자원의 과소 공급이나 할당대가의 과도한 상승을 초래할 수 있다. 이는 투자 위축, 서비스 품질 저하, 이용자 요금 인상으로 인한 소비자 후생 감소 등으로 이어져 국가 전체의 산업 경쟁력 저하와 사회적 후생 감소라는 비효율적 결과를 야기할 우려가 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 사회적 후생을 메커니즘 설계자의 목적함수로서 설정

한다. 앞서 기술하였듯이, 이동통신 네트워크의 중요한 특성은 양의 외부성을 지닌다는 점이다. 이를 반영하여, 커버리지 품질  $q$ 의 네트워크가 유발하는 양의 외부성의 시장가치를  $\epsilon(q)$ 라 하자. 여기서  $\epsilon: R_+ \rightarrow R_+$ 이다. 이제 사회적 후생은 낙찰자의 사적 편익, 즉 지불의사와 양의 외부성의 합에서 네트워크 품질 달성에 소요되는 비용을 뺀 값으로 정의된다. 따라서 사회적 후생의 사전적(ex-ante) 기대값은 다음과 같다.

$$\int \sum_i \begin{bmatrix} \theta_i + \epsilon(q_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j)) \\ -c(q_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j), \chi_i) \end{bmatrix} x_i(\theta_i, \theta_j, \chi_i, \chi_j) dP(\theta_1, \chi_1) dP(\theta_2, \chi_2) \quad (5.3)$$

이제 사회적 계획가의 문제는 제약 (5.1)과 (5.2)를 만족하면서, 수식 (5.3)을 최대화하는 직접현시 메커니즘  $(x, p, q)$ 를 찾는 것이다. 다음 제2절에서는 메커니즘 설계 문제의 최선의 결과(first-best outcome)를 도출한다. 이어지는 제3절에서는 최고점수 경매 및 제2점수 경매가 최선의 결과를 달성함을 보인다.

## 제 2 절 최선의 결과

메커니즘 설계 이론에서 **최선의 결과**(first-best outcome)란 설계자가 참여자의 타입을 정확히 안다는 가정 하에서 목적함수를 극대화하는 결과를 뜻한다. 반면 **차선의 결과**(second-best outcome)란 비대칭 정보 가정, 즉 설계자가 참여자의 타입을 정확히 알지 못하고 타입의 확률분포만이 공통 지식(common knowledge)이라는 가정 하에서 목적함수를 극대화하는 결과를 뜻한다. 정의에 의해, 일반적으로 차선의 결과에서 목적함수의 값은 최선의 결과에서의 값 이하이다. 메커니즘 설계 이론의 초점은 설계자가 참여자의 사적정보를 정확히 알지 못하는 경우, 즉 차선의 결과에 맞추어져 있다. 최선의 결과는 통상적으로 사적정보에 대한 설계자의 무지, 즉 정보 비대칭이 설계자의 목적함수 또는 사회적 후생에 미치는 영향을 분석하기 위한 벤치마크로서의 역할을 한다.

본 절에서는 본 연구의 모형에서 최선의 결과를 기술한다. 설계자가 참여자의 타입을 정확히 아는 경우, 설계자는 참여자로부터 타입을 보고받을 필요가 없이 타입 조합 각각에 대해 배분( $x$ ), 지불( $p$ ), 품질( $q$ )을 정할 수 있다. 그러므로 참여자가 자신의 타입을 진실되게 보고하도록 유인을 설계할 필요가 없다. 이는 메커니즘 설계자에게 유인양립성 제약이 적용되지 않음을 의미한다. 따라서 최선의 결과를 도출하기 위해서는, 유인양립성 제약을 무시하고 개별합리성 제약만을 고려하여 목적함수인 사회적 후생을 극대화하면 된다.

### 품질규칙

우선 최선의 품질규칙  $q$ 를 결정한다. 주어진 타입 조합  $(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2)$ 에 대해, 최선의 품질  $q^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2)$ 는 다음 조건에 의해 결정된다.

$$q^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) = \arg \max_{q=(q_1, q_2)} \sum_j [\theta_j + \epsilon(q_j) - c(q_j, \chi_j)] x_j$$

이를 정리하면 다음과 같다.

$$q_i^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) = \operatorname{argmax}_{q_i} \epsilon(q_i) - c(q_i, \chi_i) =: q^\epsilon(\chi_i).$$

## 배분규칙

다음으로 최선의 배분규칙  $x$ 를 결정한다. 위에서 구한 품질규칙을 대입하면, 주어진 타입 조합  $(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2)$ 에 대한 최선의 배분  $x^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2)$ 는 다음 조건에 의해 결정된다.

$$\begin{aligned} x^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) = \operatorname{argmax}_{x=(x_1, x_2)} & \sum_i [\theta_i + \epsilon(q^\epsilon(\chi_i)) - c(q^\epsilon(\chi_i), \chi_i)] x_i \\ \text{s.t. } & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \\ & x_1 + x_2 = 1 \end{aligned}$$

$x_1$ 과  $x_2$ 의 합이 1로 고정되어 있고 목적함수가  $x_1$ 과  $x_2$ 에 대해 선형이므로, 최적은 계수가 더 높은 쪽에 모든 비중을 배분하는 것이다. 계수가 같을 경우, 목적함수가 상수이므로 정의역 전체가 해가 된다. 따라서 최선의 배분규칙은 다음과 같다:

$$(i) \theta_i + \epsilon(q^\epsilon(\chi_i)) - c(q^\epsilon(\chi_i), \chi_i) > \theta_j + \epsilon(q^\epsilon(\chi_j)) - c(q^\epsilon(\chi_j), \chi_j) \text{ 일 경우,}$$

$$x_i^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) = 1$$

$$(ii) \theta_i + \epsilon(q^\epsilon(\chi_i)) - c(q^\epsilon(\chi_i), \chi_i) < \theta_j + \epsilon(q^\epsilon(\chi_j)) - c(q^\epsilon(\chi_j), \chi_j) \text{ 일 경우,}$$

$$x_i^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) = 0$$

$$(iii) \theta_i + \epsilon(q^\epsilon(\chi_i)) - c(q^\epsilon(\chi_i), \chi_i) = \theta_j + \epsilon(q^\epsilon(\chi_j)) - c(q^\epsilon(\chi_j), \chi_j) \text{ 일 경우,}$$

$$x^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) \in \{(x_1, x_2) : x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_1 + x_2 = 1\}$$

단, 현실의 주파수 경매에서는 대칭적인(symmetric) 메커니즘이 널리 사용된다. 이는 규칙이 단순하다는 장점에 더하여, 메커니즘이 특정 입찰자에게 유리하거나 불리하면 형평성 문제를 유발할 수 있기 때문이다. 이를 감안하여 대칭적인 메커니즘만을 고려한다면, (iii)의 배분규칙은  $x_i^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) = 1/2$ 이다.

### 지불규칙

마지막으로 최선의 지불규칙  $p$ 를 고려한다. 앞서 고려한 품질규칙 및 배분규칙과 달리, 지불규칙은 목적함수에 명시적으로 나타나지 않는다. 이는 수입 극대화가 목적인 다른 경매 문헌의 맥락과 달리, 본 연구의 목적함수는 사회적 후생이기 때문이다. 낙찰자가 정부에 지불하는 주파수 할당대가는 순수한 이전지출(pure transfer)에 해당하므로, 입찰자 이윤과 정부 수입을 모두 합산하는 사회적 후생에 직접적인 영향을 미치지 않는다. 따라서 개별합리성 제약을 만족하는 모든 지불규칙이 최선의 지불규칙이 된다.

### 최선의 결과

상술한 논의를 요약하면, 최선의 결과는 다음과 같다.

#### 품질규칙:

$$q_i^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) = q^f(\chi_i) := \operatorname{argmax}_{q_i} \epsilon(q_i) - c(q_i, \chi_i) \quad (5.4)$$

#### 배분규칙:

$$\begin{aligned} x_i^{FB}(\theta_1, \theta_2, \chi_1, \chi_2) & \\ &= 1[\theta_i + \epsilon(q^f(\chi_i)) - c(q^f(\chi_i)) > \theta_j + \epsilon(q^f(\chi_j)) - c(q^f(\chi_j))] \\ &+ \frac{1}{2} \times 1[\theta_i + \epsilon(q^f(\chi_i)) - c(q^f(\chi_i)) = \theta_j + \epsilon(q^f(\chi_j)) - c(q^f(\chi_j))] \end{aligned} \quad (5.5)$$

단, 여기서  $1[\cdot]$ 는 괄호 안의 내용이 참이면 1, 거짓이면 0의 값을 갖는 함수이다.

**지불규칙:** 위의  $q^{FB}$  및  $x^{FB}$ 에 대해, 개별합리성 제약을 만족하는 임의의  $p$

이어지는 제3절에서는 네트워크 외부성을 내부화하도록 설계한 점수 경매가 위 최선의 결과를 달성함을 확인할 것이다.

### 제 3 절 점수 경매의 최적성

제1절에서는 메커니즘 설계 문제를 기술하고, 제2절에서는 최선의 결과(first-best outcome)를 도출하였다. 본 절에서는 품질점수( $s$ ), 즉 점수함수에서 네트워크 품질의 기여분을 해당 품질이 창출하는 양의 외부성( $\epsilon$ )과 일치하도록 설계할 경우, 점수 경매 메커니즘이 메커니즘 설계 문제의 해임을 보인다.

일반적으로 차선(second-best)의 결과, 즉 정보 비대칭 하에서의 사회적 후생은 최선(first-best)의 결과, 즉 완전정보 하에서의 사회적 후생 이하이다. 그리고 정보 지대(information rent)의 존재로 인해, 전자가 후자보다 엄격히(strictly) 낮은 값을 취하는 것이 통상적이다. 그러나 본 연구의 모형에서는 점수 경매 설계를 통해, 정보 비대칭의 제약 하에서도 사회적 후생이 최선의 결과에 도달할 수 있음을 확인할 것이다.

정리 5.1은 본 절의 주요 결과를 기술한다.

**정리 5.1.** 품질점수함수를  $s(q) := \epsilon(q)$ 라 정의하자. 이 때,  
 (i) 최고점수 경매는 최선의 결과를 달성한다.  
 (ii) 제2점수 경매는 최선의 결과를 달성한다.  
 따라서 최고점수 경매와 제2점수 경매는 메커니즘 설계 문제의 해이다.

엄밀하게 말하면, 최고점수 경매와 제2점수 경매는 직접 현시 메커니즘이 아니므로 메커니즘 설계 문제의 해라고 할 수 없다. 여기서 최고점수 경매와 제2점수 경매가 메커니즘 설계 문제의 해라는 것은, 최고점수 경매와 제2점수 경매로부터 도출되는 직접 현시 메커니즘이 메커니즘 설계 문제의 해임을 의미한다. 즉, 최고점수 경매와 제2점수 경매의 균형에서 결정되는 낙찰자, 각 입찰자의 지불가격, 각 입찰자가 제출하는 네트워크 품질을 타입 조합  $(\theta_1, \theta_2, x_1, x_2)$ 의 함수로서 표현하면 배분규칙  $x$ , 지불규칙  $p$ , 품질규칙  $q$ 가 도출된다. 정리 5.1은 이렇게 결정된 직접 현시 메커니즘  $(x, p, q)$ 가 메커니즘 설계 문제의 해임을 의미한다.

**증명.** (i) 정리 4.1에 의해, 최고점수 경매의 균형에서 입찰자  $i$ 가 선택하는 네트워크 품질은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} q^*(\chi_i) &= \operatorname{argmax}_{q_i} s(q_i) - c(q_i, \chi_i) \\ &= \operatorname{argmax}_{q_i} \epsilon(q_i) - c(q_i, \chi_i) =: q^\epsilon(\chi_i) \end{aligned}$$

이는 최선의 결과에서 품질규칙의 값과 같다(제2절, 식 (5.4)).

다음으로, 정리 4.1에 의해 최고점수 경매의 균형에서 타입  $(\theta, \chi)$  입찰자의 점수는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} S(\theta, \chi) &= b^i(\theta, \chi) + q^\epsilon(\chi) \\ &= \tau(\theta, \chi) - \int_{\xi}^{\tau(\theta, \chi)} \frac{F_{\tau}(t)}{F_{\tau}(\tau(\theta, \chi))} dt \end{aligned}$$

우변이  $\tau(\theta, \chi)$ 의 증가함수임을 쉽게 확인할 수 있다:

$$\begin{aligned} &\frac{d}{d\tau} \left[ \tau - \int_{\xi}^{\tau} \frac{F_{\tau}(t)}{F_{\tau}(\tau)} dt \right] \\ &= 1 - \frac{F_{\tau}(\tau)}{F_{\tau}(\tau)} - \int_{\xi}^{\tau} F_{\tau}(t) \frac{d}{d\tau} \left[ \frac{1}{F_{\tau}(\tau)} \right] dt \\ &= \int_{\xi}^{\tau} F_{\tau}(t) dt \times \frac{F'_{\tau}(\tau)}{F_{\tau}^2(\tau)} > 0 \end{aligned}$$

따라서 최고점수 경매의 균형에서 주파수는

$$\begin{aligned} \tau(\theta, \chi) &:= \theta + s(q^\epsilon(\chi)) - c(q^\epsilon(\chi), \chi) \\ &= \theta + \epsilon(q^\epsilon(\chi)) - c(q^\epsilon(\chi), \chi) \end{aligned}$$

가 가장 높은 입찰자에게 낙찰된다. 이는 최선의 결과에서 배분규칙과 일치한다(제2절, 식 (5.5)).

마지막으로, 제2절에서 개별합리성을 만족하는 모든 지불규칙이 최선의 결과에 포함됨을 보였다. 최고가격 경매의 균형에서 입찰자의 기대보수는 0 이상이며, 따라서 개별합리성이 만족된다.

그러므로 최고가격 경매로부터 도출되는 직접 현시 메커니즘은 최선의 결과를

달성한다.

(ii) 최고점수 경매의 경우와 동일한 방법으로 제2점수 경매 또한 최선의 결과를 달성함을 증명할 수 있다. ■

## 제 4 절 직접 규제와의 비교

제3절의 결과는 정부가 네트워크로부터 발생하는 양의 외부성에 대한 합리적인 추정치를 지니고 있을 경우, 이에 기반해 최적의 점수 경매를 설계함으로써 사회적 후생을 극대화할 수 있음을 보여준다. 더 나아가 외부성의 정확한 크기가 불분명하더라도 그 대략적 규모에 관한 사회적 합의가 존재한다면, 정부는 이러한 가치가 주파수 할당 결과에 반영되도록 점수 경매를 설계하여 주파수 이용 및 네트워크 구축의 효율성을 제고할 수 있다.

제2장에서 기술하였듯이, 기존의 주파수 경매 사례에서는 주로 직접 규제 형태로 네트워크 구축 의무를 부과해 왔다. 본 연구의 맥락에서, 이러한 정책은 사업자가 표준적인 최고가격 경매 및 제2가격 경매에서와 같이 입찰가만을 제출하고, 네트워크 품질  $q$ 의 값은 정부가 직접 결정하여 낙찰자에게 일률적으로 부과하는 메커니즘으로 나타난다. 여기서  $q$ 의 값은 각 입찰자의 사적정보에 대한 확률분포만이 주어진 상황에서 사회적 후생의 기대치를 극대화하도록 설정된다.

이와 같은 직접 규제와 비교할 때, 제3절에서 기술한 최적의 점수 경매 메커니즘은 이론적으로 세 가지 이점을 지닌다.

**품질의 내생적 결정** 첫째, 최적의 간접 규제 하에서 각 입찰자는 사회적으로 효율적인 네트워크 품질수준을 선택한다. 사회적으로 효율적인 품질수준은 품질수준의 변화로 인한 사회적 한계편익과 한계비용 간의 상충 관계(trade-off)를 통해 결정되는데, 이는 개별 사업자의 사적정보인 비용 구조에 따라 가변적이다. 따라서 고정된 품질 수준을 일률적으로 부과하는 직접 규제는 사업자별로 상이한 비용 구조를 반영한 최적의 품질을 유도할 수 없다는 구조적 한계를 지닌다. 반면 간접 규제에서는 입찰자가 자신의 비용에 대한 사적정보를 바탕으로 품질 수준을 선택하므로, 직접 규제에 비해 유연한 대응이 가능하다. 특히 정교한 점수함수 설계를 통해 사회적 편익과 사업자의 사적 편익을 일치시킴으로써(align), 개별 사업자의 자발적인 품질 선택이 사회적 최적 수준과 일치하도록 유도할 수 있다.

**할당 효율성 제고** 둘째, 경매의 할당 효율성(allocative efficiency), 즉 낙찰자 결정의 효율성이 개선된다. 직접 규제하에서는 정부가 정한 품질 수준을 전제로 기대 이윤이 가장 높은 사업자에게 주파수가 배분된다. 그런데 사적 이윤을 극대화하는 사업자가 반드시 사회적 관점에서 가장 효율적인 사업자, 즉 해당 자원을 통해 최대의 사회적 후생을 창출하는 사업자와 반드시 일치하는 것은 아니다. 반면 본 연구에서 제안하는 최적 점수 경매는, 균형에서 개별 사업자가 제출하는 점수가 자신이 주파수를 할당받아 창출하는 사회적 후생의 증가함수가 되도록 유도한다. 이를 통해, 결과적으로 사회적 후생 증진에 가장 크게 기여할 수 있는 사업자에게 자원을 할당함으로써 효율적인 할당을 실현한다.

**진입 부담 완화** 셋째, 진입 장벽을 낮추어 경쟁을 활성화하고 주파수 유희를 줄일 수 있다. 점수 경매 기반의 간접 규제는 고정된 품질 의무로 인해 시장 진입이 억제되었던 사업자들이 경쟁에 참여할 수 있는 기회를 제공한다. 구체적으로, 직접 규제 하에서 외생적으로 규정된 품질 수준을 제공할 경우 기대 이윤이 음(-)이 되어 경매 참여 유인을 상실했던 사업자라도, 품질을 유연하게 선택할 수 있는 간접 규제 하에서는 자신의 비용 구조에 최적화된 품질 수준을 선택함으로써 수익성을 확보하고 시장에 진입할 가능성이 확대될 수 있다. 간접 규제는 잠재적 입찰자의 참여 유인을 높임으로써 경쟁의 외연을 확장하고, 결과적으로 경매의 실효성을 제고하며 유찰 위험을 낮추는 데 기여한다. 다만, 본 연구의 수리적 모형은 모든 입찰자가 경매에 참여하는 상황을 전제로 분석을 진행하므로, 이러한 진입 촉진 효과는 앞선 두 가지 효과(품질의 내생적 결정, 할당 효율성 제고)와 달리 모형 내에서 명시적으로 정식화되지는 않았음을 밝혀둔다.

## 제 5 절 기존 문헌과의 차별점

본 연구의 분석은 점수 경매에 대한 주요 기존 문헌(예컨대 Che, 1993; Asker and Cantillon, 2008)과 세 가지 측면에서 차이점이 있다.

첫째, 기존 점수 경매 문헌은 대체로 조달 경매(procurement auction), 즉 경매 운영자가 상품·서비스의 구매자이고 입찰자가 판매자인 상황을 전형적인 분석 대상으로 삼는다. 이는 일반적으로 거래되는 상품의 품질 변화에 더 민감한 쪽이 판매자가 아니라 구매자이며, 점수 경매의 도입 목적이 바로 이 품질 요소를 경쟁 과정에 체계적으로 반영하는 데 있기 때문이다. 그 결과 점수 경매는 “구매자인 운영자-판매자인 입찰자”라는 조달 경매의 구조에서 주로 활용되어 왔다.

본 연구는 이러한 통상적인 설정과 달리, 정부가 주파수의 판매자임에도 불구하고 낙찰 이후 주파수 이용의 질적인 측면, 즉 네트워크 구축 및 커버리지 제공을 정책적으로 관리해야 하는 주파수 경매의 특수한 맥락에 주목한다. 그리고 이 맥락에서, 기존 연구에서는 조달 경매에 주로 적용되어 온 점수 경매의 논리를 주파수 경매 설계에 이식하는 방안을 분석하였다는 점에서 차별성을 가진다.

둘째, 기존 점수 경매 모형에서 입찰자의 타입은 일관되게 비용 측면에만 한정되어 있다. Che(1993)는 각 입찰자가 단일 차원의 비용 관련 사적정보를 가진 경우를, Asker and Cantillon(2008)은 이를 다차원 비용 벡터로 확장한 경우를 분석한다. 다시 말해, 정보 비대칭이 존재하는 영역은 재화·서비스를 생산·제공하는 데에 소요되는 비용에 국한되고, 수요나 지불의사와 관련된 변수는 모형에 포함되지 않는다.

본 연구는 입찰자의 사적정보에 지불의사(willingness to pay)를 추가로 포함한다는 점에서 기존 문헌과 차별화된다. 이는 앞서 논의한 차이점, 즉 기존 문헌이 운영자가 구매자, 입찰자가 판매자인 조달 경매를 상정하는 반면, 본 연구는 운영자가 판매자, 입찰자가 구매자인 주파수 경매를 다루고 있다는 점에서 비롯된다. 조달 경매에서는 입찰자가 주어진 품질 수준을 달성하기 위해 소요되는 비용

만이 사적정보이지만, 주파수 경매에서는 각 통신사가 주파수에 부여하는 가치 및 주어진 네트워크 품질 수준의 달성에 소요되는 비용 모두가 핵심적인 사적정보가 된다. 형식적으로는, Che(1993)가 1차원 타입(비용)-2차원 행동(입찰가, 품질) 모형을 분석한 반면, 본 연구는 2차원 타입(비용, 지불의사)-2차원 행동(입찰가, 품질) 모형을 분석한다.

셋째, 본 연구는 경매 설계의 목적함수 측면에서도 기존 점수 경매 문헌과 구별된다. 조달 경매 맥락을 다룬 선행 연구들은 대체로 경매 운영자의 기대 효용, 즉 낙찰자가 제공하는 상품 및 서비스로부터 얻는 효용에서 지출을 뺀 값을 극대화하는 문제에 초점을 맞추고 있다. 반면 주파수 경매에서 네트워크 구축과 커버리지 확대는 통신서비스 이용자 후생 증대, 연관 산업의 생산성 제고, 디지털 포용 확대 등 광범위한 양의 외부효과를 수반한다. 이에 본 연구는 주파수 할당으로부터 발생하는 이러한 사회적 편익을 명시적으로 고려하여, 양의 외부성을 포함한 사회적 후생을 극대화하는 문제를 분석한다는 점에서 기존의 조달 경매 기반 점수 경매 문헌과 목적함수가 상이하다.

〈표 5-1〉 모형 비교

	1차원 타입 (지불의사/비용)	2차원 타입 (지불의사-비용)
1차원 행동 (입찰가)	표준 경매 모형 (부록 A)	-
2차원 행동 (입찰가-품질)	기존 점수 경매 모형 (Che, 1993)	본 연구

## 제 6 장 제한된 정보 하의 대안: 국지적 내부화

제5장에서는 정부가 네트워크 품질수준에 따른 양의 외부성 함수를 정확히 알 수 있을 경우, 점수 경매를 통해 외부성을 내부화함으로써 사회적 최적을 달성할 수 있음을 보였다. 그러나 현실에서 정부가 네트워크 품질수준 값 각각에 따른 양의 외부성의 크기를 정확히 파악하기는 어렵다. 정부는 부정확한 추정치로 인한 정책 실패의 부담 때문에, 간접 규제의 도입을 주저하고 전통적인 직접 규제에 머무를 가능성이 있다.

이 장에서는 이러한 제약 하에서의 대안으로서, 정부가 외부성 함수 전체에 대한 정보가 없더라도 상대적으로 제한된 정보만으로 간접 규제를 설계하여 직접 규제보다 높은 효율을 달성할 수 있음을 보인다. 보다 구체적으로, 특정한 품질수준을 의무로서 부과하는 임의의 직접 규제가 주어졌다고 하자. 정부가 이 품질수준에서 품질의 한계적 개선이 유발하는 양의 외부성의 크기(한계 외부편익, marginal external benefit)를 알고 있다면, 정부는 해당 품질수준의 근방에서 외부성을 선형으로 근사함으로써 주어진 직접 규제보다 높은 후생을 달성하는 간접 규제를 설계할 수 있다. 즉, 외부성 함수 전체에 기초한 완전한 내부화가 사회적 최적을 보장하는 이상적인 벤치마크라면, 제한된 정보에 기초한 국지적 내부화(local internalization)는 직접 규제 대비 사회적 후생을 개선하는 차선택이 된다. 이는 외부성에 대한 정밀한 추정이 어려운 상황에서 간접 규제를 시험적으로 도입하려는 정책 결정자에게, 정책 실패 위험으로 인한 부담을 낮추면서도 성과 개선을 기대할 수 있는 절충안을 제시한다.

이제 결과를 정식으로 기술한다. 임의의 네트워크 품질수준  $\hat{q} \in [q, \bar{q}]$ 가 주어졌다고 가정하자. 하나의 정책 대안으로서, 표준적인 경매(최고가격 경매, 제2가격 경매 등)를 통해 주파수를 판매하고 낙찰자에게 품질수준  $\hat{q}$ 를 의무로서 부과하는

직접 규제를  $D(\hat{q})$ 라 표기한다. 다른 정책 대안으로서, 품질점수함수  $s(q)$ 를 다음과 같이 정의한다:

$$s(q) := \epsilon(\hat{q}) + \epsilon'(\hat{q}) \times (q - \hat{q}) \quad (6.1)$$

즉 함수  $s(q)$ 는 주어진 품질수준  $\hat{q}$ 의 근방에서 외부성함수  $\epsilon(q)$ 를 선형으로 근사(approximate)한다. 품질점수함수가  $s(q)$ 이고, 입찰자가 선택할 수 있는 품질의 범위가  $[\hat{q} - \delta, \hat{q} + \delta]$ 인 점수 경매(최고점수 또는 제2점수 경매)를  $I(\hat{q}, \delta)$ 라 표기한다.

다음 정리 6.1은 본 장의 주요 결과를 기술한다.

**정리 6.1.** 충분히 작은 모든  $\delta > 0$ 에 대해,<sup>2)</sup> 간접 규제  $I(\hat{q}, \delta)$ 는 직접 규제  $D(\hat{q})$ 보다 높은 사회적 후생을 달성한다.

정리 6.1은 다음과 같이 해석할 수 있다. 정부가 네트워크 품질  $\hat{q}$ 를 의무로 부과하는 직접 규제를 하나의 정책 대안으로서 고려하고 있다고 가정하자. 그리고 품질수준  $\hat{q}$ 에서 품질수준의 한계적 개선으로 인한 한계 외부편익  $\epsilon'(\hat{q})$ 에 대한 추정치가 알려져 있다고 가정한다. 이제 다른 정책 대안으로서, 품질수준  $\hat{q}$ 의 근방  $[\hat{q} - \delta, \hat{q} + \delta]$ 에서 사업자에게 품질수준의 선택권을 제공하고, 한계 외부편익을 비례 상수로 하여 기준 품질과의 차이에 비례하는 품질점수를 부여하는 점수 경매를 고려한다(식(6.1)). 정리 6.1에 따르면, 선택 가능한 품질의 범위가 너무 넓지 않은 한에서, 이러한 간접 규제가 기존의 직접 규제보다 높은 사회적 후생을 달성한다.

직관적으로, 이는 선형의 점수함수  $s(q)$ 가 기준 품질  $\hat{q}$ 의 근방에서 실제 외부성함수  $\epsilon(q)$ 를 근사하기 때문에 성립한다. 앞서 제5장에서 증명한 바와 같이, 점수함수가 외부성의 크기와 일치할 경우 사업자의 사적 유인이 사회적 유인과 일치(align)하게 되어 사회적 최적을 달성할 수 있다. 본 절에서 제시한 선형의 점수함

2) 보다 정확히는, 실수  $\delta^* > 0$ 가 존재하여 모든  $\delta \in (0, \delta^*)$ 에 대해.

수는 외부성을 전역적으로(global) 내부화하지는 못하지만, 기준점  $\hat{q}$  근방에서 외부성을 국지적으로(local) 근사하여 내부화한다. 이러한 내부화는 불완전하지만, 한계적 수준에서 유인 체계를 교정함으로써 사업자가 자신의 사적 정보에 기초하여 보다 효율적인 품질수준 및 입찰가를 선택하도록 유도할 수 있으며, 결과적으로 직접 규제 대비 사회적 후생의 개선으로 이어진다.

정리 6.1의 경제학적 직관은 단순한 데 반해, 증명은 상당히 기술적인 내용을 포함한다. 이에 따라, 정리 6.1의 구체적인 증명은 부록 B에 수록하였다.

마지막으로, 실제 정책 도입 시, 식 (6.1)에서 정의된 품질점수함수  $s(q)$ 는 임의의 상수를 가감하여 조정할 수 있음에 주목하자. 입찰자의 의사 결정(기대보수 극대화 문제)에서 실질적으로 고려되는 것은 점수의 절대적 크기(level)가 아니라, 품질 변화에 따른 점수의 차이이기 때문이다. 따라서 다음과 같은 점수함수들은 식 (6.1)과 전략적으로 동등(equivalent)하다.

$$s(q) := \epsilon'(\hat{q}) \times (q - \hat{q}) \tag{6.3}$$

$$s(q) := \epsilon'(\hat{q}) \times (q - \hat{q} + \delta) \tag{6.4}$$

여기서 식 (6.3)은 기준 품질인  $q = \hat{q}$ 에서 품질점수가 0이 되도록 정규화(normalize)한 형태이며, 식 (6.4)는 선택 가능한 품질 하한인  $q = \hat{q} - \delta$ 에서 품질점수가 0이 되도록 정규화한 형태이다.

## 제7장 결론

통신 네트워크 인프라는 디지털 경제와 사회 전반을 떠받치는 핵심 기반시설로서, 단순한 통신 서비스 제공을 넘어 산업 경쟁력, 지역 격차 해소, 국가 안보와 직결되는 전략적 중요성을 지닌다. 우리나라를 포함한 주요국들은 데이터 집약적 서비스, 초연결 산업 생태계, 공공·사회 인프라의 디지털 전환을 가속화하기 위해 5G 고도화와 6G 진화를 국가적 정책과제로 설정하고 있다. 그럼에도 불구하고 이동통신 시장의 성숙, 수익성 정체, 규제·요금 압력 등 요인이 복합적으로 작용하면서, 이동통신 사업자의 네트워크 투자 인센티브는 과거에 비해 뚜렷이 둔화된 상태이다. 이러한 여건을 감안하면, 네트워크 정책을 여태까지와 같이 정부가 일률적인 네트워크 품질 지표를 설정하고 이를 규제·의무 형태로 부과하는 직접 규제에 한정하기보다는, 투자를 촉진할 수 있는 다양한 정책수단을 모색할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 모색의 일환으로서, 주파수 할당 메커니즘에 간접 규제를 도입하여 자원 배분 및 네트워크 구축의 효율성을 제고할 수 있는 방안을 이론적으로 검토하였다. 구체적으로, 주파수 할당의 맥락에 맞추어 점수 경매 모형을 수립하고 최고점수 및 제2점수 경매의 균형을 도출하였으며, 네트워크로 인한 외부효과를 내부화하도록 점수함수를 설계함으로써 간접 규제를 통해 사회적 최적을 달성할 수 있음을 증명하였다. 이에 더해, 정부가 네트워크 품질수준에 따른 외부성 함수 전체에 대한 정보를 보유하지 않더라도, 특정 품질수준에서의 한계 사회편의 추정치를 활용한 국지적 내부화를 통해 기존 직접 규제보다 높은 수준의 사회적 후생을 창출할 수 있음을 보였다. 이러한 결과는 정부가 사업자의 비용 구조를 알지 못하는 비대칭 정보 환경에서, 인센티브 설계를 통해 주파수 이용의 효율성을 제고할 수 있음을 시사한다.

본 연구는 주파수 할당에 간접 규제를 도입하기 위한 이론적 근거를 제공한다는

점에서 의의를 지닌다. 그러나 본 연구의 분석 결과를 실제 정책으로 구현하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구 과제가 남아 있다.

첫째, 점수 경매를 도입하기 위해서는 네트워크 외부성의 크기에 대한 추정이 선행되어야 한다. 기존 문헌들은 거시적 지표를 통해 통신 인프라의 경제적 파급 효과를 입증해 왔다. Röller & Waverman(2001)은 실증 분석을 통해, OECD 국가들의 연평균 경제성장률 1.96% 중 1/3인 약 0.59%가 통신 인프라 투자에 기인함을 밝혀내었다. 또한 GSMA(2020)는 5G 도입이 2034년까지 전세계적으로 약 2.2조 달러에 달하는 경제적 가치를 창출할 것으로 전망하였다.

단, 이러한 파급효과 추정치를 그대로 점수함수에 대입할 경우, 통신사가 이미 사적으로 회수하고 있는 편익까지 인센티브에 중복 반영되는 이중 계산(double counting)의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 총 가치에서 사적 편익은 제외하고, 사업자가 시장에서 회수하지 못하는 외부성만을 분리할 필요가 있다. 이와 관련하여 Greenstein & McDevitt(2011)은 브로드밴드 시장에서 창출되는 총 경제적 가치(매출액+소비자 잉여) 중 사업자가 회수하지 못하고 소비자에게 귀속되는 가치 비중이 약 31.2-44.4%에 이른다고 추정하였다.

상술한 연구들은 각기 다른 시점과 시장 환경을 전제로 수행되었으므로, 단순히 이러한 추정치를 조합하여 현재 국내 여건에 적용하는 데에는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 실증적 방법론을 국내 요건에 맞추어 일관성 있게 적용함으로써 외부성의 크기를 추정해야 한다. 특히 본 연구 제6장의 분석 결과에 따르면, 외부성 함수 전체를 완벽하게 추정할 필요 없이 정책적으로 고려하는 기준 품질수준에서의 한계적 외부 편익만을 추정하더라도 직접 규제에 비해 사회적 후생을 개선할 수 있다. 따라서 후속 연구는 이러한 이론적 함의를 바탕으로, 전역적 함수 추정의 부담을 덜고 신뢰성 있는 국지적 추정치를 확보하는 데 주력해야 할 것이다.

둘째, 보다 일반적인 형태의 경매에 점수 경매 형식을 도입할 수 있도록 이론적 분석을 발전시켜야 한다. 본 연구는 최고가격 및 제2가격 경매의 확장형이라고 볼 수 있는 최고점수 및 제2점수 경매를 중심으로 분석을 수행하였다. 그러나 실제

주파수 할당에서는 동시오름 경매(Simultaneous Multi-Round Auction, SMRA) 또는 조합 클럭 경매(Combinatorial Clock Auction, CCA) 등의 메커니즘이 활용된다. 이와 같이 복잡한 메커니즘에 점수 경매를 도입하였을 때 발생하는 균형을 분석하고, 최적의 점수 경매를 도출하기 위한 이론적 분석이 추가로 수행되어야 한다.

셋째, 간접 규제 도입이 정부의 재정 수입에 미치는 영향에 대한 이론적 규명이 필요하다. 본 연구는 주파수 할당의 본원적 목적인 사회적 후생 극대화에 중점을 두었으나(Myers, 2023), 현실적으로 주파수 할당 대가는 국가 재정의 주요 재원이자 대중적 민감도가 높은 사안이다. 만약 간접 규제로 인해 경매 수입이 유의미하게 감소한다면, 이는 재정적 손실을 넘어 특정 사업자에 대한 특혜 논란으로 비화될 소지가 있다. 따라서 간접 규제가 정부의 기대 수입에 미치는 영향을 사전에 면밀히 분석하고, 설령 수입 감소가 발생하더라도 이를 상회하는 사회적 편익이 창출됨을 입증해야 한다. 이는 인센티브 기반 정책이 단순한 기업 혜택이 아닌, 국가 차원의 네트워크 고도화와 산업 경쟁력 강화를 위한 전략적 투자임을 사회적으로 설득하고 정책적 정당성을 확보하기 위한 필수적인 선결 과제이다.

향후 후속 연구를 통해 네트워크 외부성에 대한 정교한 실증 추정치를 확보하고, SMRA나 CCA 등 복잡한 메커니즘으로의 확장 방안을 마련하며, 간접 규제가 정부 재정 수입에 미치는 영향까지 면밀히 분석된다면, 본 연구에서 제안한 점수 경매 기반의 간접 규제 체계는 차세대 주파수 정책을 선도하는 실효성 있는 도구로서의 역할을 수행할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

### [국내 문헌]

- 김지환, 여재현, 김상용, 박지현, 조수정(2024), 「디지털 전환시대의 이동통신 망 고도화 촉진을 위한 이동통신 주파수 정책 방안 연구」, 정보통신정책연구원 정책연구 24-08.
- 김희천(2022), 「Spectrum Reassignment Policy in South Korea and Its Implications」, 정보통신정책연구 제29권 제3호, 정보통신정책학회.
- 여재현, 양원석, 정인준, 황혜인(2021), 「통신 네트워크 고도화 전략 연구」, 정보통신정책연구원 기본연구 21-08.

### [해외문헌]

- Asker, J. & Cantillon, E.(2008). Properties of Scoring Auctions. The RAND Journal of Economics, 39(1), 69-85.
- Awaya, Y., Fujiwara, N. & Szabo, M.(2025). Quality and Price in Scoring Auctions. Journal of Mathematical Economics, 116, 103083.
- Branco, F.(1997). The Design of Multidimensional Auctions. The RAND Journal of Economics, 28(1), 63-81.
- Che, Y.-K.(1993). Design Competition Through Multidimensional Auctions. The RAND Journal of Economics, 24(4), 668-680.
- Dastidar, K. G. & Mukherjee, D.(2014). Corruption in Delegated Public Procurement Auctions. European Journal of Political Economy, 35, 122-127.
- Fudenberg, D. & Tirole, J.(1991). Game Theory. MIT Press.

- Huang, Y.(2019). An Empirical Study of Scoring Auctions and Quality Manipulation Corruption. *European Economic Review*, 120, 103322.
- Krishna, V.(2002). *Auction Theory*. Academic Press.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D., & Green, J. R.(1995). *Microeconomic Theory*. Oxford University Press.
- Myers, G.(2023). *Spectrum Auctions: Designing Markets to Benefit the Public, Industry and the Economy*. LSE Press.
- Myerson, R. B.(1981). Optimal Auction Design. *Mathematics of Operations Research*, 6(1), 58-73.
- Nishimura, T.(2015). Optimal Design of Scoring Auctions with Multi-dimensional Quality. *Review of Economic Design*, 19, 117-143.
- Röller, L.-H. & Waverman, L.(2001). Telecommunications Infrastructure and Economic Development: A Simultaneous Approach. *American Economic Review*, 91(4), 909-923.
- Weitzman, M. L.(1974). Prices vs. Quantities. *The Review of Economic Studies*, 41(4), 477-491.

## 부록 A: 표준 경매 모형

본 부록에서는 표준적인 경매 모형을 기술하고, 기초적인 결과를 설명한다 (Fudenberg & Tirole, 1991; Mas-Colell et al., 1995; Krishna, 2002). 구체적으로, 최고가격 경매와 제2가격 경매의 균형을 유도하고, 두 메커니즘 하에서 판매자의 기대 수입이 동일함을 증명한다. 이러한 결과는 본 연구에서 최고점수 경매 및 제2점수 경매의 분석에 활용된다.

두 입찰자 1과 2가 하나의 상품을 두고 경쟁한다고 가정한다. 각 사업자는 사적 정보로서 지불의사  $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 를 지닌다. 지불의사  $\theta$ 는 누적분포함수  $F: [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 를 따라 분포한다. 여기서  $F$ 는 연속적으로 미분가능한 순증가함수이다.

본 부록은 최고가격 경매와 제2가격 경매에 대한 결과만을 수록한다. 각 사업자는 입찰가  $b \in R_+$ 를 제출하며, 상품은 가장 높은 입찰가를 제출한 사업자에게 낙찰된다. 입찰가가 같을 경우, 무작위 추첨으로 낙찰자를 결정한다.

최고가격 경매의 경우, 낙찰자가 지불하는 금액은 자신의 입찰가와 같다. 따라서 입찰자  $i$ 가  $b$ 를 입찰하고 상대방이  $b'$ 을 입찰했을 때, 입찰자  $i$ 의 보수는 다음과 같다.

$$(i) \ b > b' \text{일 때, } \pi_i^I(b, b') = \theta - b$$

$$(ii) \ b = b' \text{일 때, } \pi_i^I(b, b') = (\theta - b)/2$$

$$(iii) \ b < b' \text{일 때, } \pi_i^I(b, b') = 0$$

제2가격 경매의 경우, 낙찰자가 지불하는 금액은 상대방의 입찰가와 같다. 따라서 입찰자  $i$ 가  $b$ 를 입찰하고 상대방이  $b'$ 을 입찰했을 때, 입찰자  $i$ 의 보수는 다음과 같다.

$$(i) \ b > b' \text{일 때, } \pi_i^I(b, b') = \theta - b'$$

$$(ii) \ b = b' \text{일 때, } \pi_i^I(b, b') = (\theta - b')/2$$

$$(iii) \ b < b' \text{일 때, } \pi_i^I(b, b') = 0$$

최고가격 경매와 제2가격 경매의 균형은 다음과 같다(Fudenberg & Tirole, 1991; Mas-Colell et al., 1995; Krishna, 2002).

**정리 A.1.**

(i) 최고가격 경매의 균형에서 타입  $\theta$ 가 선택하는 입찰가는 다음과 같다.

$$b^I(\theta) = \theta - \int_{\theta}^{\theta} \frac{F(t)}{F(\theta)} dt$$

(ii) 제2가격 경매의 균형에서 타입  $\theta$ 가 선택하는 입찰가는 다음과 같다.

$$b^{II}(\theta) = \theta$$

**증명.** (i) 상대방이 전략  $b'$ 에 따라 입찰한다고 가정하고, 타입  $\theta$  입찰자의 최적화 문제를 고려하자. 타입  $\theta$  입찰자가  $b$ 를 입찰하면 승리 시  $\theta - b$ 의 보수를 얻는다. 그리고 상대방이  $b$  미만의 금액을 입찰할 때, 즉 상대방의 타입이  $(b')^{-1}(b)$  미만일 때 승리한다. 따라서 기대보수 극대화 문제는 다음과 같다.

$$\max_b [\theta - b] \times F((b')^{-1}(b))$$

이제  $(b')^{-1}(b) = \hat{\theta}$ 라 치환하면, 기대보수 극대화 문제를 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\max_{\hat{\theta}} [\theta - b^I(\hat{\theta})] \times F(\hat{\theta})$$

일계 조건은 다음과 같다.

$$(b^I)'(\hat{\theta})F'(\hat{\theta}) + (b^I)(\hat{\theta})F'(\hat{\theta}) = \theta F'(\hat{\theta})$$

$b^I$ 가 균형전략이라면  $b = b^I(\theta)$ 를 입찰하는 것이 최적이어야 한다. 이는  $\hat{\theta} = \theta$ 가 위 일계 조건을 만족해야 함을 의미한다. 따라서

$$\begin{aligned} (b^I)'(\theta)F'(\theta) + (b^I)'(\theta)F(\theta) &= \theta F'(\theta) \\ [b^I(\theta)F(\theta)]' &= \theta F'(\theta) \end{aligned}$$

양변을 적분하면 균형전략을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 b^I(\theta)F(\theta) - b^I(\underline{\theta})F(\underline{\theta}) &= \int_{\underline{\theta}}^{\theta} tF'(t)dt \\
 b^I(\theta)F(\theta) &= \theta F(\theta) - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} F(t)dt \\
 b^I(\theta) &= \theta - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \frac{F(t)}{F(\theta)}dt
 \end{aligned}$$

(ii) 상대방이 전략  $b^{II}$ 에 따라 입찰한다고 가정하고, 타입  $\theta$  입찰자의 최적화 문제를 고려하자. 타입  $\theta$  입찰자의 입찰가를  $b$ , 상대방의 타입을  $\theta'$ 라 한다. 그러면 타입  $\theta$  입찰자는  $b > b^{II}(\theta')$ , 즉  $(b^{II})^{-1}(b) > \theta'$ 일 때 승리하며, 이 경우 보수는  $\theta - b^{II}(\theta')$ 이다. 따라서 기대보수 극대화 문제는 다음과 같다.

$$\max_b \int_{\underline{\theta}}^{(b^{II})^{-1}(b)} [\theta - b^{II}(\theta')]dF(t)$$

$(b^{II})^{-1}(b) = \hat{\theta}$ 로 치환하면, 기대보수 극대화 문제는 다음과 같다.

$$\max_b \int_{\underline{\theta}}^{\hat{\theta}} [\theta - b^{II}(\theta')]dF(t)$$

일계 조건은  $\theta - b^{II}(\hat{\theta}) = 0$ 이다. (i)의 증명에서와 같이,  $b^{II}$ 가 균형전략이라면  $\theta = \hat{\theta}$ 여야 하므로  $b^{II}(\theta) = \theta$ 를 얻는다. ■

Myerson(1981)이 증명한 수입 동등성 정리(revenue equivalence theorem)에 의하면, 상술한 독립·사적가치(independent private values) 모형에서, 배분 규칙(allocation rule)이 동일하고 가장 낮은 타입( $\underline{\theta}$ ) 입찰자의 기대효용이 0인 모든 경매 메커니즘의 기대수입은 동일하다. 이에 따라, 최고가격 경매, 제2가격 경매 등 현실에서 널리 사용되는 대부분의 메커니즘은 유보가격(reserve price)이 없다는 전제 하에 동일한 기대수입을 생성한다. 여기서는 특수한 경우로서, 최고가격 경매와 제2가격 경매의 기대수입이 같음을 확인한다.

**정리 A.2.**

(i) 최고가격 경매와 제2가격 경매에서 임의의 타입  $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ 에 대해, 타입  $\theta$  입찰자의 기대 지불액은 같다.

(ii) 최고가격 경매와 제2가격 경매에서 판매자의 기대수입은 같다.

**증명.** (i) 최고가격 경매에서 타입  $\theta$  입찰자는 경쟁자의 타입이 자신보다 낮을 때 자신의 입찰액인  $b'(\theta)$ 를 지불하고, 경쟁자의 타입이 자신보다 높을 때 0을 지불한다. 따라서 최고가격 경매에서 타입  $\theta$  입찰자의 기대 지불액은  $b'(\theta)F(\theta)$ 이다.

한편 제2가격 경매에서 타입  $\theta$  입찰자는 경쟁자의 타입  $\theta'$ 이 자신의 타입보다 낮을 때  $b''(\theta') = \theta'$ 를 지불하고, 경쟁자의 타입이 자신보다 높을 때 0을 지불한다.

따라서 제2가격 경매에서 타입  $\theta$  입찰자의 지불액은  $\int_{\underline{\theta}}^{\theta} t dF(t)$ 이다.

이제 부분적분에 의해

$$\begin{aligned} b'(\theta)F(\theta) &= \left[ \theta - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} \frac{F(t)}{F(\theta)} \right] \times F(\theta) \\ &= \theta F(\theta) - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} F(t) dt \\ &= \theta F(\theta) - [tF(t)]_{\underline{\theta}}^{\theta} + \int_{\underline{\theta}}^{\theta} t dF(t) \\ &= \int_{\underline{\theta}}^{\theta} t dF(t) \end{aligned}$$

따라서 최고가격 경매와 제2가격 경매에서 타입  $\theta$  입찰자의 기대 지불액은 같다.

(ii) 결과 (i)의 양변을 적분하면

$$\int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} b'(\theta)F(\theta) dF(\theta) = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \int_{\underline{\theta}}^{\theta} t dF(t) dF(\theta)$$

즉, 최고가격 경매와 제2가격 경매에서 각 입찰자의 기대 지불액은 같다. 판매자의 기대수입은 각 입찰자의 기대 지불액의 합이므로, 최고가격 경매와 제2가격 경매에서 판매자의 기대수입은 같다. ■

### 부록 B: 정리 6.1의 증명

본 부록에서는 정리 6.1의 증명을 기술한다. 우선 함수  $q^*(\chi;\delta)$ ,  $\tau(\theta,\chi;\delta)$ ,  $w(\theta,\chi;\delta)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} q^*(\chi;\delta) &= \arg \max_q [s(q) - c(q,\chi)] \text{ s.t. } \hat{q} - \delta \leq q \leq \hat{q} + \delta \\ \tau(\theta,\chi;\delta) &= \theta + s(q^*(\chi;\delta)) - c(q^*(\chi;\delta),\chi) \\ w(\theta,\chi;\delta) &= \theta + \epsilon(q^*(\chi;\delta)) - c(q^*(\chi;\delta),\chi) \end{aligned}$$

그러면 사회적 후생의 사전적 기대치(ex-ante expectation)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W(\delta) &:= \int_{\Omega_1(\delta)} w(\theta_1,\chi_1;\delta) f(\theta_1,\chi_1) f(\theta_2,\chi_2) d\theta_1 d\chi_1 d\theta_2 d\chi_2 \\ &\quad + \int_{\Omega_2(\delta)} w(\theta_2,\chi_2;\delta) f(\theta_1,\chi_1) f(\theta_2,\chi_2) d\theta_1 d\chi_1 d\theta_2 d\chi_2 \end{aligned}$$

단, 여기서 적분 영역  $\Omega_1(\delta)$ ,  $\Omega_2(\delta)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \Omega_1(\delta) &:= \{(\theta_1,\chi_1,\theta_2,\chi_2) : \tau(\theta_1,\chi_1;\delta) > \tau(\theta_2,\chi_2;\delta)\} \\ \Omega_2(\delta) &:= \{(\theta_1,\chi_1,\theta_2,\chi_2) : \tau(\theta_1,\chi_1;\delta) < \tau(\theta_2,\chi_2;\delta)\} \end{aligned}$$

$W(\delta)$ 의 변화율을 구하기 위해 Reynolds Transport Theorem을 적용한다. 영역  $\Omega_1(\delta)$ 와  $\Omega_2(\delta)$ 는  $\Gamma(\delta) := \{(\theta_1,\chi_1,\theta_2,\chi_2) : \tau(\theta_1,\chi_1;\delta) = \tau(\theta_2,\chi_2;\delta)\}$ 를 경계면(boundary)으로서 공유하며, 그 방향(orientation)은 반대이다. 따라서 공유된 경계면  $\Gamma(\delta)$  위의 각 점에서  $\Omega_1(\delta)$ 와  $\Omega_2(\delta)$ 의 법선 속도(normal velocity)를 각각  $V(\theta_1,\chi_1,\theta_2,\chi_2)$ 와  $U(\theta_1,\chi_1,\theta_2,\chi_2)$ 라 하면, 다음이 성립한다.

$$U(\theta_1,\chi_1,\theta_2,\chi_2) = -V(\theta_1,\chi_1,\theta_2,\chi_2)$$

이제 Reynolds Transport Theorem에 따라

$$\begin{aligned} \frac{dW}{d\delta} &= \int_{\Omega_1(\delta)} \frac{\partial w}{\partial \delta}(\theta_1,\chi_1;\delta) f(\theta_1,\chi_1) f(\theta_2,\chi_2) d\theta_1 d\chi_1 d\theta_2 d\chi_2 \\ &\quad + \int_{\Omega_2(\delta)} \frac{\partial w}{\partial \delta}(\theta_2,\chi_2;\delta) f(\theta_1,\chi_1) f(\theta_2,\chi_2) d\theta_1 d\chi_1 d\theta_2 d\chi_2 \\ &\quad + \int_{\Gamma(\delta)} [w(\theta_1,\chi_1;\delta) - w(\theta_2,\chi_2;\delta)] Vf(\theta_1,\chi_1) f(\theta_2,\chi_2) d\theta_1 d\chi_1 d\theta_2 d\chi_2 \end{aligned}$$

여기서 첫 두 항은 낙찰자가 품질을 최적화함에 따라 발생하는 후생의 변화를 나타내며(효율성 효과), 마지막 세 번째 항은 입찰자들의 균형전략 변화로 인해 낙찰자가 변경됨에 따라 발생하는 후생의 변화(배분 효과)를 나타낸다. 이제  $\delta=0$ 에서 각 효과를 분석한다.

**효율성 효과**  $s(q)$ 가  $q = \hat{q} = q^*(\chi; \delta=0)$ 에서  $\epsilon(q)$ 에 접하므로

$$\frac{\partial w}{\partial \delta}(\theta, \chi; 0) = \frac{\partial \tau}{\partial \delta}(\theta, \chi; 0)$$

그런데 정의에 의해,

$$\tau(\theta, \chi; \delta) = \theta + \max_q [s(q) - c(q, \chi)] \quad \text{s.t.} \quad \hat{q} - \delta \leq q \leq \hat{q} + \delta$$

따라서  $(\partial \tau / \partial \delta)(\theta, \chi; 0)$ 은 항상 0 이상이며, 일반적인(generic) 타입에 대해 양수이다. 피적분함수가 일반적으로(generically) 양수이므로,  $\delta=0$ 에서 효율성 효과는 양수이다.

**배분 효과**  $\delta=0$ 에서  $w(\theta, \chi; 0) = \tau(\theta, \chi; 0)$ 이다. 그러므로  $\Gamma(0)$  위의 임의의 점  $(\theta_1, \chi_1, \theta_2, \chi_2)$ 에서

$$\tau(\theta_1, \chi_1; 0) = \tau(\theta_2, \chi_2; 0) \Rightarrow w(\theta_1, \chi_1; 0) = w(\theta_2, \chi_2; 0)$$

적분 영역  $\Gamma(0)$  위에서 피적분함수가 0이므로,  $\delta=0$ 에서 배분 효과는 0이다.

따라서  $(dW/d\delta)(\delta=0) > 0$ 이므로 정리가 성립한다. ■

## Abstract

### ■ Title

A Study on the Network Build-Out Requirements in Spectrum Auctions

### ■ Purpose of Research

This study explores the introduction of incentive-based indirect regulation for network build-out requirements in spectrum auctions. Government intervention in network build-out is justified by the presence of positive externalities, which typically lead to under-supply if left solely to market mechanisms. To date, governments have predominantly relied on direct regulation, mandating licensees to meet specific performance standards. However, concerns have been raised that strict coverage obligations may increase the cost burden on operators and potentially induce inefficient investment. Amid a global slowdown in network investment, this study investigates policy instruments to enhance the efficiency of spectrum resource utilization and network build-out through indirect regulation.

## ■ Main Outcomes of Research and Policy Implications

This study theoretically investigates the policy effects of using scoring auctions in spectrum allocation. A scoring auction is a mechanism where the winner is determined by a score that combines the bid price with quality attributes. Typically, scoring auctions are utilized in procurement auctions where the buyer values quality. Spectrum allocation presents a unique context where scoring auctions are applicable despite the auctioneer being the seller. This is because the government acts not merely as a seller but as a steward of public resources, bearing the responsibility to ensure the socially efficient use of spectrum.

Key results demonstrate that properly designed indirect regulation based on scoring auctions can achieve the social optimum, outperforming traditional direct regulation. Specifically, by designing the scoring rule to internalize positive network externalities, the government can maximize social welfare. Furthermore, this study shows that even when information regarding the entire externality function is limited, “local internalization” based on a point estimate of marginal social benefit can still improve social welfare compared to direct regulation.

This study offers a theoretical basis for shifting from direct regulation to indirect regulation. Unlike direct regulation, which risks setting targets that are either inefficiently high or insufficient, incentive-based indirect regulation allows operators to flexibly adjust investment levels based on market conditions while systematically

reflecting the social value of networks. Additionally, this approach lowers entry barriers by enabling operators to select economically feasible quality levels, thereby promoting competition and reducing the risk of unsold spectrum.

## 정보통신정책연구원 기본연구 안내

### ■ 2023 기본연구

- 기본연구 23-01 데이터 경제 활성화를 위한 민관 역할분담과 정책 개입영역 연구  
(윤성욱, 박소연)
- 기본연구 23-02 해외 주요국 신규 사업자 이동통신시장 진입 효과 분석(김민희)
- 기본연구 23-03 유사국 사례를 통해 본 북한 통신시장 발전 방안 연구(임동민, 서소영,  
이중화, 조대근, 서흥수)
- 기본연구 23-04 메타버스 시대 기본권 보호에 관한 연구: 인격권 논의를 중심으로  
(권은정, 한혜지, 계인국, 김법연, 이승민)
- 기본연구 23-05 디지털화폐 생태계 변화에 대응한 중앙은행 디지털화폐(CBDC) 도입  
정책 연구(박동욱)
- 기본연구 23-06 ICT 확산에 따른 노동시장 임금격차(최지은, 이은영, 최세림, 이현옥)
- 기본연구 23-07 데이터 생산·관리 역량 평가를 위한 성숙도 모형 개발 연구(노희용,  
장신재, 박지원)
- 기본연구 23-08 인터넷 생태계 환경 변화에 따른 네트워크 인프라 비용 분담에 관한  
연구(염수현, 강인규, 이상규, 김태오)
- 기본연구 23-09 미디어 이용 조사의 모드 효과 비교(신지형)
- 기본연구 23-10 방송미디어분야 자율규제 제도화 방안 연구(이종원)
- 기본연구 23-11 이동통신 네트워크 인프라 산업 생태계의 전환 방향 연구(여재현,  
박지현, 윤도원, 장희선, 김선우, 정인준, 박의환)

### ■ 2024 기본연구

- 기본연구 24-01 AI 반도체 생태계 조사(윤성욱, 김민식, 민대홍)
- 기본연구 24-02 인공지능 감시에 의한 권력의 확대와 그 규범적 대응방안 연구  
(문광진, 허진주, 전민경)
- 기본연구 24-03 시청각미디어 콘텐츠의 공정한 거래를 위한 정책 방안 연구: 수익  
배분 관련 이슈를 중심으로(강준석)
- 기본연구 24-04 온라인 광고 시장의 경매 경쟁에 대한 연구(백소성)
- 기본연구 24-05 기술진보에 따른 산업별 업무 변화 연구(서영선)
- 기본연구 24-06 5G 요금제 특성이 이용자 편익에 미치는 영향: 단말기와 요금제의  
결속을 중심으로(박진환)

- 기본연구 24-07 방송 프로그램 장르 구분의 타당성 검토: 방송법과 방송사업자 및 수용자의 장르 분류 기준 차이를 중심으로(황현정)
- 기본연구 24-08 생성형 AI가 미디어 분야에 미칠 영향에 대한 탐색적 연구(곽동균, 김남두, 주성희, 황현정, 강하연, 김예빈)
- 기본연구 24-09 디지털 경제 활성화를 위한 실물자산토큰(Real World Asset) 시장의 탈중앙화 금융 알고리즘 적용 가능성 연구(김 찬)
- 기본연구 24-10 AI 반도체 정책의 효과성 제고 방안 연구(정현준, 김민식, 오정숙)

**■ 2025 기본연구**

- 기본연구 25-01 통신시장의 경쟁활성화를 위한 공동지배력 평가 방법론 연구 (라성현)
- 기본연구 25-02 디지털 심화에 따른 몰입형 서비스 생태계 연구 (이재영, 심홍진, 성윤희, 이승환, 구자근)
- 기본연구 25-03 중국 유통플랫폼의 글로벌 확장과 대응방안 (김성욱, 장신재, 손가녕, 전민경)
- 기본연구 25-04 디지털 융합 시대 정보통신법제의 통합과 재편에 관한 연구 (권은정, 김법연, 김지훈, 선지원, 박상미)
- 기본연구 25-05 디지털 환경 변화를 반영한 데이터 트래픽 예측 연구(김민희, 정광재)
- 기본연구 25-06 글로벌 미디어 플랫폼 확산 대응을 위한 국내 미디어 서비스 경쟁력 분석 및 강화 전략 연구(강준석, 권용재)
- 기본연구 25-07 월드뱅크 등 국제기구와의 협력 연구 (황준호, 양종민, 김지원, 문용일, 이효원)
- 기본연구 25-08 생성형 AI의 생산성 분석(민대홍)
- 기본연구 25-09 디지털 전환에 따른 소매패턴 변화와 정책 방향(장신재, 이선희)
- 기본연구 25-10 인공지능·자율시스템 기반 도시의 윤리적 설계 방안 연구 (이현경, 문광진, 전민경)
- 기본연구 25-11 디지털 기술 활용이 기업 성과에 미치는 영향 분석과 정책 시사점 연구(손녕선)
- 기본연구 25-12 생성형 인공지능 서비스 채택 선행요인에 관한 탐색적 연구 (주성희, 임연수, 김예빈)
- 기본연구 25-13 주파수 경매에서 네트워크 구축조건 도입 방식에 대한 연구(백소성)
- 기본연구 25-14 AI 기술주권과 국가경쟁력 제고 방안 연구

(이경선, 김성옥, 이경은, 오장민, 윤혜선)

기본연구 25 - 15 플랫폼 확산의 인플레이션 영향에 대한 연구(김경은, 조수진, 심명규)

기본연구 25 - 16 AI 시대의 포용과 상생을 위한 사회적 의제 연구

(문아람, 문정옥, 조성은, 연소라, 김휘홍, 이으뜸, 전민경, 신진호)

기본연구 25 - 17 ICT 혁신이 사회·경제에 미치는 영향(최지은, 서영선, 노희용)

기본연구 25 - 18 차세대 통신기술이 통신시장 경쟁구조 및 네트워크 투자에 미치는 영향  
분석(김민희, 김경모)





● 저 자 소 개 ●

---

백 소 성

- KAIST 수리과학과 졸업
- KAIST 경영대학 녹색경영정책 석사
- KAIST 경영대학 경영공학부 박사
- 현 정보통신정책연구원 부연구위원

기본연구 25-13  
주파수 경매에서 네트워크 구축조건  
도입 방식에 대한 연구

---

---

2025년 12월 일 인쇄

2025년 12월 일 발행

발행인 이 상 규

발행처 정보통신정책연구원

충청북도 진천군 덕산읍 정통로 18

TEL: 043-531-4114 FAX: 043-535-4695~6

인쇄 인성문화

ISBN 979-11-7000-434-9 93320

---

---

<비매품>