

해외 5G 주파수 경매사례: C-band 대역을 중심으로

Study on 5G Spectrum Auctions in the C-band

조찬우 (C.W. Cho, cchanw@etri.re.kr)

통신정책연구실 선임연구원

이성준 (S.J. Lee, sungjun2@etri.re.kr)

통신정책연구실 책임연구원

유지은 (J.E. Yu, jieun.yu@etri.re.kr)

통신정책연구실 책임연구원

ABSTRACT

This study was aimed to derive implications in terms of competition to establish a reasonable spectrum policy for fifth-generation (5G) spectrum allocation through an in-depth analysis of C-band spectrum auctions. As a result of examining auctions in five countries, namely, Belgium, Sweden, Canada, Brazil, and Hong Kong, we identified various characteristics. First, the minimum bandwidth that is essential for service competition is guaranteed. Second, in Brazil, the network construction cost of mobile network operators is regarded as a part of the spectrum price. Third, a joint allocation of spectrum is permitted in Sweden, and spectrum sharing after allocation for 5G services is allowed in Canada. Finally, the reserved spectrum is provided for new service providers in Belgium and Canada. Our findings may provide insights for establishing policies of 5G spectrum allocation and competition in the telecommunications service market in Korea.

KEYWORDS 5G, 이동통신, 주파수, 주파수 경매, 해외사례

1. 서론

주파수는 이동통신서비스(이하 '이통서비스') 제공의 필수요소로, 데이터 트래픽의 급증, 데이터 품질(전송속도, 커버리지 등)이 이용자 만족도에 미치는 영향력이 점점 증가하면서 주파수 확보의 중요성 또한 더욱 증대되고 있다. 국내 무선 데이터 트래

픽은 2019년 12월 571,968TB(Tera Bytes)에서 2022년 12월 947,276TB로 연평균 18.3% 증가하였다[1]. 또한, 5G 서비스 가입자의 약 79%가 데이터 품질이 이동통신사(이하 '이통사') 선택에 영향을 미치는 중요 요인이라고 응답하였다[2]. 그러나, 공급 가능한 주파수 자원은 한정적이기 때문에, 주파수를 얼마만큼 확보했는가 곧 이통사의 서비스 경쟁력으로

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380510>



이어진다고 볼 수 있다. 따라서, 이를 배분하기 위한 합리적인 정책 수립은 시장경쟁 관점에서는 매우 중요한 사안이다.

국내에서는 2018년 3.42~3.70GHz 대역을 5G 서비스용으로 최초 할당한 이후, 2022년 3.40~3.42GHz 대역 주파수를 5G 서비스용으로 추가 할당하였으며[3], 향후 3.70GHz 대역 또한 5G 서비스용으로 할당 예정이다. 3.70GHz 대역은 3.50GHz 대역 주파수와 인접해 있어, 할당받는 주파수 대역의 위치에 따라 이통사별로 유·불리가 분명하여 시장경쟁에 미치는 영향은 더욱 클 것으로 예상된다[4]. 특히, 3.70~3.72GHz 대역 추가할당 요청, 이통서비스 신규사업자 지원을 위한 3.70GHz 대역 할당 고려 등의 이슈가 맞물려 있어, 향후 할당정책의 수립은 더욱 신중하게 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이에 본고에서는 최근의 해외 5G 주파수 경매사례를 심층분석하여 향후 5G 주파수 추가할당 정책 수립 시 참고할 수 있는 경쟁 측면에서의 고려사항 및 시사점을 도출하고자 한다.

II. 해외 5G 주파수 경매사례 분석

1. 분석 대상 및 분석의 관점

본 연구의 분석 대상은 표 1[5]과 같다. 분석 대상 국가는 총 5개국이며, 5G 서비스용 핵심 주파수 대역인 C-밴드(3.30~4.20GHz 대역)를 대상으로 한 경매사례 중 국내 시장과 유사하게 3~4개 이통사가 존재하고, 할당 조건과 경매결과 등의 측면에서 특징적인 사례를 선정하였다. 스웨덴은 주파수 하한 규정을 통해 최소대역폭 할당을 보장함과 동시에 할당의무를 최소화한 점, 벨기에는 할당에 따른 의무가 타국대비 상세하고 정밀한 점, 캐나다는 신규 사업자를 위한 별도 경매를 진행함과 동시에 공급

표 1 분석 대상 경매사례 개요

국가	공급 주파수 대역	경매 시기
홍콩	3.30~3.60GHz	2019.10
스웨덴	2.30~2.40GHz, 3.40~3.70GHz	2021.1
캐나다	3.45~3.65GHz	2021.7
브라질	3.30~3.70GHz 포함 4개 대역	2021.11
벨기에	3.41~3.80GHz 포함 5개 대역	2022.6

출처 Reproduced from [5].

대역의 기존 면허보유 사업자의 권리를 인정하여 전환 면허를 발급한 점, 브라질은 역대 최대폭의 5G 주파수를 전국망, 지역망 블록으로 구분하여 공급한 점, 홍콩은 실내서비스 용도로 제한된 5G 주파수를 경매한 점 등이 주요 특징이다.

각 사례에 대한 심층분석은 경매방식과 주파수 할당 조건, 경매결과, 시장 경쟁상황 변화의 관점에서 분석하였다. 주파수 할당 조건은 망 구축의무, 주파수 총량제한, 신규사업자에 대한 인센티브 등 시장경쟁 관점에서 의미가 있는 할당 조건들을 중심으로 분석하였다. 경매결과는 최저 경쟁가격 및 최종 낙찰가격, 입찰자별 낙찰 대역폭 및 가격 등에 대해 분석하였으며, 시장 경쟁상황의 변화는 해당국의 이통사별 전체 주파수 및 5G 주파수 보유량, 전체 및 5G 시장점유율 변화 추이 등을 분석하였다.

2. 스웨덴 2.30GHz, 3.50GHz 대역 경매사례

스웨덴 우정통신위원회 PTS는 2021년 1월 2.30GHz 대역 80MHz 폭과 3.50GHz 대역 320MHz 폭 등 총 400MHz 폭의 5G 주파수 공급을 위한 경매를 진행하였다[6]. 이는 스웨덴 최초 5G 주파수 경매로 스웨덴 5개 이통사가 참여하였다.

가. 경매방식 및 주파수 할당 조건

경매방식은 클락 경매방식을 준용, 매 라운드 블록당 가격이 상승하는 오름입찰로 진행하며, 3.50GHz 대역과 2.30GHz 대역을 순차적으로 진행하였다. 단, 3.50GHz 대역의 경매에 4개 이상 입찰자가 참여하고, 4개 이상의 블록에 입찰한 입찰자가 단 하나의 블록도 낙찰받지 못한 경우, 2.30GHz 대역에 대한 경매는 전체를 하나의 블록으로 가정하여 단일 라운드 밀봉입찰로 진행하였다.

주파수 할당 조건은 다음과 같다. 먼저, 모든 사업자가 안정적 서비스 제공에 필요한 최소한의 주파수를 확보할 수 있도록 80MHz 폭의 주파수 하한 규정을 적용하였다. 또한, 별도의 주파수 총량제한 및 망 구축의무를 두지 않았다. 주파수 간섭을 발생시키지 않는 범위 내에서 주파수 공유를 허용하였으며, 주파수 거래 또는 임대는 규제기관의 승인사항으로 지정하였다. 면허 기간은 25년이다.

나. 경매결과

경매는 2021년 1월 19일에 시작하여 당일 4라운드에 종료되었다. 최저 경쟁가격은 2.30GHz 대역이 블록당 20만 크로나, 3.50GHz 대역이 블록당 100만 크로나이며, 공급 주파수 전체의 최저 경쟁가격은 17억 6천만 크로나였다. 최종 낙찰가격은 23억 2천만 크로나(원화 약 3,074억 원; 2021년 1월 19일 환율 기준)로, 최저 경쟁가격 대비 약 31.8% 상승하였다(표 2, 3 참고)[6].

이통사별 낙찰 대역폭 및 낙찰가격은 표 3과 같다. 3.50GHz 대역의 사업자별 낙찰 대역폭은 1위 사업자인 Telia가 120MHz 폭으로 가장 많고, Hi3G와 Net4Mobility가 각각 100MHz 폭을 확보하였다. Net4Mobility는 2, 3위 사업자인 Tele2와 Telenor의 합작법인으로 주파수를 할당받아 망을 구축하는 역할을 하며, 두 사업자는 구축한 망을 공동으로 사용

표 2 스웨덴 경매결과

사업자	낙찰 대역폭 (MHz)		낙찰가격 (백만 크로나)	
	2.30 GHz	3.50 GHz	2.30 GHz	3.50 GHz
Telia	-	120	-	760
Net4Mobility	-	100	-	670
Hi3G	-	100	-	490
Teracom	80	-	400	-
합계	80	320	2,320	

출처 Reproduced from [6].

표 3 스웨덴 경매 주파수 대역별 최저 경쟁가격

대역	대역폭 (MHz)	블록 수 (개)	최저 경쟁가격 (백만 크로나)
2.30GHz (2.30~2.38GHz)	80	8	160
3.50GHz (3.42~3.72GHz)	320	16	1,600
			1,760

출처 Reproduced from [6].

하여 서비스를 제공하고 있다. Teracom은 3.50GHz 대역 주파수 확보는 실패하였으나 2.30GHz 대역 80MHz 폭을 확보하였다. 가장 많은 금액을 지불한 사업자는 Telia이며, 다음은 Net4Mobility, Hi3G, Teracom 순이었다.

다. 시장 경쟁상황의 변화

5G 주파수를 포함한 스웨덴 이통사별 주파수 보유현황은 표 4와 같다. 2021년 5G 주파수 경매 이전까지 주파수 보유비중은 Net4Mobility, Telia, Hi3G, Teracom 순이었다. 2021년 경매 이후 보유비중은 Telia, Net4Mobility, Hi3G, Teracom 순이었다. 5G 주파수는 이통사별로 거의 동등한 수준을 보유한 것으로 볼 수 있다.

2019년 이후 스웨덴 이통서비스 전체 시장점유율 1위는 Telia, 5G 시장점유율은 1위는 Tele2이나, 두

표 4 스웨덴 이동사별 주파수 보유현황

(단위: MHz)

용도		Telia	Net4Mobility	Hi3G	Teracom
경매 이전	전체	170 (32.3%)	182 (34.6%)	154.6 (29.4%)	20 (3.8%)
	5G	-	-	-	80
경매 이후	2.30 GHz	-	-	-	-
	3.50 GHz	120	100	100	-
전체		290 (31.3%)	282 (30.4%)	254.6 (27.5%)	100 (10.8%)

출처 Reproduced from [5].

표 5 스웨덴 이동서비스 시장점유율

(단위: %)

이동사	구분	2019년	2020년	2021년	2022년
Telia	전체	36.8	36.4	35.5	35.0
	5G	31.8	28.5	28.5	27.8
Tele2	전체	28.0	27.6	27.8	27.6
	5G	38.6	36.7	36.8	35.8
Telenor	전체	21.0	20.7	20.6	20.7
	5G	9.1	16.4	16.3	16.7
Hi3G	전체	14.0	15.1	15.9	16.6
	5G	20.5	18.4	18.4	19.6
Teracom	전체	0.3	0.2	0.2	0.2
	5G	-	0.0	0.0	0.0

출처 Reproduced from [5].

사업자의 점유율은 지속 감소하고 있다. 반면, 3위 사업자 Telenor는 5G 시장점유율이 지속 증가하고, 4위 사업자 Hi3G는 5G 시장에서 점유율 3위를 유지함에 따라 전체 점유율이 지속 증가하였다(표 5 참고). 이에 스웨덴 이동서비스 시장은 HHI가 2019년 2,775에서 2022년 2,691로 감소하여 더욱 경쟁적으로 변화하였다. 2022년 말 기준 5G 보급률은 약 17.0%이다.

라. 소결

스웨덴 경매는 주파수 하한 규정을 통한 최소 대역폭 할당 보장, 2, 3위 사업자의 합작법인 설립을 통한 주파수 공동할당이 주요 특징이다. 향후 스웨덴 이동서비스 시장은 1, 2위 사업자의 점유율 감소, 5G 시장을 중심으로 한 3, 4위 사업자의 점유율 확대가 지속되면서 더욱 경쟁적인 시장이 될 것으로 예상된다. 또한, 5G 시장을 중심으로 Teracom의 점유율이 증가할 경우 경쟁은 더욱 치열해질 것으로 보인다. 이는 주파수 경매에서 최소한의 대역폭 확보를 보장함에 따라, 5G 시장에 한하여 모든 사업자의 동등경쟁 환경이 조성된 데 기인하는 것으로 판단된다.

3. 벨기에 다중 대역 경매 사례

벨기에 우정통신협회 BIPT는 2022년 6월 5G 주파수인 700MHz, 3.60GHz 대역을 포함한 5개 대역의 주파수 790MHz 폭의 공급을 위한 경매를 진행하였다[7]. 이는 벨기에 최초의 5G 주파수 경매로, 벨기에 3개 이동사 등 5개 기업이 경매에 참여하였다.

가. 경매방식 및 주파수 할당 조건

경매방식은 무기명 블록에 입찰, 낙찰 대역폭과 주파수 블록의 위치를 차례대로 결정하였다. 낙찰 대역폭의 결정은 SMRA 방식을 준용, 매 라운드 블록의 가격이 상승하는 오름입찰로 진행하였다. 주파수 블록의 위치는 우선적으로 낙찰자 간 협상을 통해 결정하되, 협상이 결렬되거나 BIPT가 협상결과를 수용하지 않는 경우, BIPT가 위치옵션을 제시하고 추가 라운드를 통해 주파수 위치를 확정하도록 하였다.

경매는 Procedure A, B가 순차적으로 진행되었다. Procedure A는 700MHz, 900MHz, 1.80GHz,

표 6 벨기에 경매 공급대역별 주파수 총량제한

대역	총량제한 기준(MHz)
700MHz	2×10
900MHz	2×15
1.80GHz	2×30
2.10GHz	2×25
3.60GHz	100

출처 Reproduced from [7].

표 7 벨기에 경매 공급대역별 최저 경쟁가격

대역 (GHz)	공급 대역폭 (MHz)	최저 경쟁가격 (백만 유로/10MHz)	합계 (백만 유로)
700MHz	60	19.34	729.7
900MHz	70	28.01	
1.80	150	9.00	
2.10	120	9.00	
3.41~3.43	20	4.03	
3.43~3.80	370	4.61	

출처 Reproduced from [7].

2.10GHz 대역의 경매를 사전 배분, 예비 경매, 본 경매, 주파수 위치 확정 순으로 진행하였다. 사전 배분은 공급대역의 기존 보유사업자를 위한 유보 주파수(Reserved Spectrum)를 유보 가격에 공급하는 것으로, 2021년 3월 만료된 900MHz, 1.80GHz, 2.10GHz 대역의 일부가 이에 해당한다. 예비 경매는 서비스에 필요한 최소한의 주파수 대역폭 획득을 보장하기 위해 신규사업자를 대상으로 4개 대역의 주파수 60MHz 폭에 대한 경매를 진행하였다. 본 경매에서는 사전 배분된 주파수 블록과 예비 경매에서 낙찰된 주파수 블록을 제외한 나머지 블록에 대한 경매를 진행하였다. Procedure B는 본 경매와 주파수 위치 확정 순으로 진행하였으며, 세부 프로세스별 진행 방식은 Procedure A와 동일하다.

주파수 할당 조건은 다음과 같다. 먼저, 공급대역별로 주파수 총량제한이 부과되었다(표 6 참고). 또

한, 700MHz, 900MHz 대역에 망 구축의무를 부과하였으며, 700MHz 대역의 경우 낙찰 대역폭에 따라 달성해야 하는 최저 전송속도 규정을 함께 두었다. 이상의 두 규정에 대해 신규사업자는 기존사업자 대비 완화된 기준을 부여하였다. 면허 기간은 3.60GHz 대역은 2040년 5월 6일까지, 나머지 대역은 20년이다.

나. 경매결과

경매는 2022년 6월 1일에 시작하여 2022년 6월 20일 종료되었다(Procedure A는 99라운드, Procedure B는 46라운드 진행). 공급대역별 최저 경쟁가격은 표 7과 같으며, 공급 주파수 전체의 최저 경쟁가격은 7억 2,970만 유로이다.

낙찰가격은 12억 200만 유로(원화 약 1조 6,317억 원; 2022년 6월 20일 환율 기준)로, 최저 경쟁가격 대비 약 64.7% 상승하였다.

이통사별 낙찰 대역폭 Proximus가 240MHz로 가장 많았으며, 다음으로 Orange, Telenet, Citymesh, Network Research 순이었다(표 8 참고). 낙찰가격 또한 Proximus가 4억 9,107만 유로로 가장 많았고, 나머지 순위는 낙찰 대역폭과 같았다(표 9 참고).

표 8 벨기에 경매결과: 이통사별 낙찰 대역폭

이통사	낙찰 대역폭(MHz)					합계
	700 MHz	900 MHz	1.80 GHz	2.10 GHz	3.60 GHz	
Proximus	20	20	50	50	100	240
Telenet	10	20	40	30	100	200
Orange	20	20	30	30	100	200
Citymesh	10	10	30	10	50	110
Network Research	-	-	-	-	20	20
합계	60	70	150	120	370	770

출처 Reproduced from [5].

표 9 벨기에 경매결과: 이동사별 낙찰가격

이동사	낙찰가격(백만 유로)					합계
	700 MHz	900 MHz	1.80 GHz	2.10 GHz	3.60 GHz	
Proximus	122.9	57.4	109.9	144.6	56.3	491.1
Telenet	21.3	57.4	69.4	60.4	55.8	264.3
Orange	122.9	56.7	27.0	60.0	54.9	321.5
Citymesh	19.3	28.0	27.0	9.0	31.0	114.3
Network Research	-	-	-	-	11.0	11.0
합계	286.4	199.5	233.3	274.0	209.0	1,202.2

출처 Reproduced from [5].

표 10 벨기에 이동사별 주파수 보유현황

		(단위: MHz)				
	용도	Proximus	Telenet	Orange	Citymesh	
경매 이전	전체	190.4 (32.3%)	179.2 (30.4%)	189.2 (32.1%)	30 (5.1%)	
경매 이후	5G	700 MHz	20	10	20	10
		3.60 GHz	100	100	100	50
	전체	430.4 (31.9%)	389.2 (28.9%)	389.2 (28.9%)	140 (10.4%)	

출처 Reproduced from [5].

다. 시장 경쟁상황의 변화

5G 주파수를 포함한 벨기에 이동사별 주파수 보유현황은 표 10과 같다. 2022년 5G 주파수 경매 이전까지 할당된 주파수의 이동사별 보유비중은 Proximus, Orange, Telenet, Citymesh 순이었다. 2022년 경매 이후 보유 비중 또한 Proximus가 가장 높고, Telenet과 Orange는 동등한 수준으로 나타났다. Citymesh는 보유 비중이 2배 이상 증가하였다. 5G 주파수 또한 기존 3개 이동사에는 동등한 수준으로 할당되었으며, 신규사업자인 Citymesh는 60MHz 폭을 확보하였다. Network Research는 3.60GHz 대역의 지역망 서비스용 주파수 20MHz 폭을 확보하였다.

표 11 벨기에 이동서비스 시장점유율

(단위: %)

이동사	2019년	2020년	2021년	2022년
Proximus	39.1	39.0	41.0	42.6
Telenet	31.3	31.9	30.5	31.0
Orange	29.6	29.2	28.4	26.4

출처 Reproduced from [7].

2019년 이후 벨기에 이동서비스 전체 시장점유율 1위는 Proximus이며 점유율이 지속적으로 상승하여 2021년 이후 40%를 상회하고 있다(표 11 참고). 3개 이동사 모두 5G 상용화를 마친 2022년 말 기준 5G 시장점유율은 Proximus 57.5%, Telenet 22.5%, Orange 20.0%이다. 이에 벨기에 이동서비스 시장은 HHI가 2019년 3,385에서 2022년 3,473으로 증가하여 경쟁이 악화되었다. 2022년 말 기준 5G 보급률은 약 8.3%이다.

라. 소결

벨기에 경매는 망 구축의무 및 로밍 의무, 최저 전송속도 규정 등 주파수 할당에 따른 의무 규정을 주파수 대역과 신규사업자 여부 등에 따라 타국대비 상세하고 정밀한 점이 특징이다. 벨기에 이동서비스 시장은 최근 점유율 순위의 변동은 없으나, 3개 이동사가 2020년 4월 Proximus를 시작으로 2021년 말 Telenet, 2022년 2월 Orange까지 5G 상용화를 마쳤고, 동등한 수준의 5G 주파수를 확보하고 있어 향후 5G 보급률 증가에 따라 5G 서비스 시장을 중심으로 경쟁이 활성화될 가능성은 충분할 것으로 판단된다. 또한, 2024년 예정되어 있는 신규사업자 Citymesh의 서비스 개시도 경쟁활성화 요인으로 작용할 것으로 보인다.

4. 캐나다 3.5GHz 대역 경매 사례

캐나다 혁신과학경제개발부 ISED는 2021년 6월 3.45~3.65GHz 대역의 5G 주파수 200MHz 폭의 공급을 위한 경매를 진행하였다[8]. 이번 경매는 캐나다 최초의 5G 주파수 공급으로, 172개 지역에서 총 1,504개의 면허를 공급하였으며, 경매에는 캐나다 3개 이통사, 지역이통사 Vidéotron, 지역 인터넷 서비스 제공업체 Xplornet 등 23개 기업이 참여하였다.

가. 경매방식 및 주파수 할당 조건

경매방식은 클릭 경매방식을 준용, 매 라운드 블록당 가격이 상승하는 오름입찰로 진행하며, 172개 지역에 대한 경매를 동시에 진행하였다. 전체 공급 대역 200MHz 중 50MHz 폭에 대한 경매는 신규 또는 시장점유율 10% 미만의 사업자를 대상으로 별도 진행하였다. 이는 신규사업자의 시장진입을 촉진 및 시장점유율이 10% 미만인 지역 사업자의 주파수 마이그레이션 촉진을 통한 경쟁활성화가 그 목적이다.

주파수 할당 조건은 다음과 같다. 먼저, 100MHz 폭의 주파수 총량제한이 부과되었으며, 지역별 인구 규모에 따라 면허 취득 후 5~7년까지 90%의 망 구축의무를 부과하였다. 이외에, 연간 이통서비스 매출액이 10억 캐나다 달러(이하 'CAD') 이상인 사업자는 할당 주파수를 활용한 서비스 수익의 2% 이상을 이통서비스와 관련된 연구개발에 투자해야 하는 의무를 부여하였다. 면허 기간은 20년이다.

나. 경매결과

경매는 2021년 6월 15일에 시작하여 2021년 7월 23일 103라운드에 종료되었다. 최저 경쟁가격은 지역별 인구 규모에 따라 상이하며, 172개 지역의 주파수 10MHz당 최저 경쟁가격의 합은 4,670

표 12 캐나다 경매 최저 경쟁가격

지역	인구 수(만 명)	최저 경쟁가격 (CAD/10MHz)
토론토	703.1	16,311,000
몬트리올	435.2	10,097,000
밴쿠버	273.2	6,337,000
오타와	145.3	1,453,000
퀘벡	90.4	588,000
기타 교외지역	-	3,000~588,800
합계		46,700,000

출처 Reproduced from [8].

표 13 캐나다 경매결과: 낙찰 면허수 및 낙찰가격

사업자	면허수(개)		낙찰가격 (1억 CAD)	커버 인구수 (만 명)
	낙찰	전환		
Rogers	325	509	33.3	3,496
Bell	271	490	20.7	3,427
Telus	142	86	19.5	2,492
Vidéotron	294	5	8.3	2,997
Xplornet	263	698	2.4	1,659
기타 사업자	200	148	4.9	342
합계	1,495	1,936	89.1	-

출처 Reproduced from [8].

만 CAD, 공급 주파수 전체의 최저 경쟁가격은 9억 3,400만 CAD이다(표 12 참고).

최종 낙찰가격은 89억 1,000만 CAD(원화 약 8조 1,639억 원; 2021년 7월 23일 환율 기준)로, 최저 경쟁가격 대비 약 954% 상승하였으며, 1,504개 면허 중 1,495개 면허가 3개 이통사 등 11개 기업에 낙찰되었다(낙찰률 99.4%).

이통사별 낙찰 면허수와 낙찰가격은 표 13과 같다. 먼저, 낙찰 면허수는 Rogers가 325개로 가장 많고, 다음으로 Vidéotron, Bell 순이었다. 기존에 3.45~3.65GHz 대역에서 면허를 보유하고 있던 사업자들은 면허 전환(Transition) 프로세스를 통해 기

존 면허(Fixed License)를 반납하고 새로운 면허(Flexible License)를 발급받을 수 있도록 하였다. 경매를 통해 낙찰된 면허와 면허 전환 프로세스를 통해 발급된 면허를 통해 커버 가능한 인구수는 Rogers, Bell, Vidéotron 순으로 나타났다. 낙찰가격은 Rogers가 가장 많은 33억 3,000만 CAD, 다음으로 Bell, Telus 순으로 나타났다.

다. 시장 경쟁상황의 변화

캐나다는 주파수를 지역면허로 공급하므로 이통사별 전체 주파수 보유현황을 직접 비교하기 쉽지 않고, 5G 주파수에 한하여 일부 비교가 가능하다. 5G 주파수는 3.50GHz 대역 이외에, Rogers는 600MHz, 2.60GHz 대역, Bell과 Telus는 1.70GHz 대역(Bell과 Telus는 서로 주파수 공유)을 서비스에 활용하고 있다. Rogers가 600MHz, 3.50GHz 대역에서 전국망을 구축(모든 지역의 면허 확보)한 반면, Bell과 Telus는 그렇지 못하였다. 이로 미루어볼 때, 5G 주파수에 한해서는 Rogers가 나머지 2개 이통사 대비 상대적으로 우위에 있을 것으로 판단된다.

표 14 캐나다 이통서비스 시장점유율 (단위: %)

이통사	구분	2019년	2020년	2021년	2022년
Rogers	전체	31.7	31.0	30.8	31.1
	5G	-	33.6	36.5	31.9
Bell	전체	29.1	29.0	28.4	28.1
	5G	-	35.8	28.7	33.1
Telus	전체	28.1	28.2	28.4	28.2
	5G	-	30.2	32.5	30.9
Freedom	전체	5.0	5.5	5.9	6.0
	5G	-	-	-	-
Vidéotron	전체	3.9	4.2	4.4	4.5
	5G	-	0.4	2.1	2.9

출처 Reproduced from [5].

2019년 이후 캐나다 이통서비스 전체 시장점유율 1위는 Rogers이며 31% 내외의 점유율을 유지하고 있으나, 나머지 2개 이통사와의 점유율 격차가 크지 않다. 5G 시장점유율은 상용화 첫해인 2020년 이후 3개 이통사가 비슷한 수준의 점유율을 유지해 오고 있으며, 2022년 말 기준 Bell이 33.1%, Rogers 31.9%, Telus 30.9%로 나타났다. 캐나다 이통서비스 시장의 HHI는 2019년 2,682에서 2022년 2,608로 소폭 감소하여 비슷한 수준이다. 2022년 말 기준 5G 보급률은 약 15.3%이다(표 14 참고).

라. 소결

캐나다 경매는 신규사업자를 위한 별도 경매를 진행함과 동시에 공급대역의 기존 면허보유 사업자의 권리를 인정, 면허 전환 프로세스를 통해 공급면허와 동일한 새로운 면허를 발급한 점이 특징이다. 향후 캐나다 이통서비스 시장은 5G 시장에서의 이통사 간 서비스 경쟁과 함께, Vidéotron 등 대형 지역이통사의 영향력 강화 등으로 인해 경쟁이 더욱 활발해질 것으로 예상된다. Vidéotron은 3.50GHz 대역에서 3위 사업자 Telus에 비해 더 많은 인구수를 커버할 수 있는 면허를 확보하였다. 또한, 최근 Freedom Mobile을 인수절차를 마무리함에 따라 350만 명 이상의 이통서비스 가입자를 확보하게 되었다[9]. 이러한 경쟁활성화는 대부분의 캐나다 주파수 경매에서 신규 또는 소규모 지역사업자를 위해 일정 수준의 주파수 확보를 보장한 데 기인하는 것으로 볼 수 있다.

5. 브라질 다중 대역 경매 사례

브라질 국가통신국 ANATEL은 2021년 11월 3.50GHz 대역을 포함한 4개 대역의 주파수

2,110MHz 폭 공급을 위한 경매를 진행하였다[10]. 이번 경매는 브라질 최초의 5G 주파수 공급으로, 브라질 3개 이동사 등 15개 기업이 참여하였다.

가. 경매방식 및 주파수 할당 조건

경매방식은 밀봉입찰 방식을 준용, 각 대역에 대한 경매를 순차적으로 진행하였다. 700MHz, 3.50GHz, 26GHz 대역은 전국망과 지역망 주파수 블록을 구분하여 경매하고, 2.30GHz 대역은 지역망 주파수 블록만 경매하였다. 전국망 블록에 대한 입찰이 없을 경우, 해당 블록은 모두 지역망 블록으로 분할하여 경매하였다.

주파수 할당 조건은 다음과 같다. 먼저, 공급대역별로 주파수 총량제한과 망 구축의무가 적용되었다

표 15 브라질 경매 공급대역별 주파수 총량제한

대역(GHz)	공급 대역폭(MHz)	주파수 총량제한 (MHz)
700MHz	20	-
2.30	90	50
3.30~3.70	400	100(지역망 블록 최대 2개 입찰 가능)
26	1,600	1,000

출처 Reproduced from [10].

표 16 브라질 경매 공급대역별 망 구축의무

대역	내용
700MHz	• 커버리지 타겟 중 인구과밀지역 및 고속도로에 4G 서비스 제공
2.30GHz	• 커버리지 타겟 중 도시 및 교외지역에 4G 서비스 제공
3.50GHz	• 커버리지 타겟 중 도시지역에 광섬유 네트워크 구축 • 커버리지 타겟 중 특정 도시에 5G 단독모드 서비스 제공 • 국가망 구축 지원
26GHz	• 망 구축을 통한 공립 학교의 연결성 향상에 기여

출처 Reproduced from [10].

(표 15, 16 참고). 3.50GHz 대역 낙찰사업자는 ANATEL이 지정한 커버리지 타겟(Coverage Targets)에 따라 망 구축의무를 달성 시 해당 대역에 대한 최종 낙찰가를 일정 부분 감면받는다.

이외에, 주파수를 낙찰받은 사업자는 2026년 1월부터 유희 주파수에 대해 제3자의 접근을 허용(간섭 보호 의무 없음)해야 하며, 3.50GHz 대역 낙찰자는 아마존 강과 도시를 연결하는 광네트워크 구축, 브라질 수도 및 주요 도시에 국가망 구축의무를 추가로 부여하였다.

나. 경매결과

경매는 2021년 11월 4일에 시작하여 2021년 11월 10일 종료되었으며, 공급 주파수 전체의 최저 경쟁가격은 24억 헤알이다. 최종 낙찰가격은 74억 1,000만 헤알(원화 약 1조 7,816억 원; 2021년 11월 10일 환율 기준)로, 최저 경쟁가격 대비 약 308% 상승하였으며, 낙찰률은 85%로 나타났다.

표 17 브라질 경매결과: 이동사별 낙찰 대역폭 및 가격

이동사	대역	할당 대역폭 (MHz)	최종 낙찰가 (억 헤알)	감면후 낙찰가 (억 헤알)
Claro	2.30GHz	50 지역망	12.00	12.00
	3.50GHz	100 전국망	4.18	2.70
	26GHz	400 전국망	1.06	1.06
Vivo	2.30GHz	50 지역망	1.76	1.76
		40 지역망	2.90	2.90
	3.50GHz	100 전국망	5.00	3.04
TIM	26GHz	600 전국망	1.58	1.58
	2.30GHz	40 지역망	5.45	5.45
	3.50GHz	100 전국망	4.31	2.70
	26GHz	200 전국망	0.27	0.27
		200 지역망	0.31	0.31
		200 지역망	0.16	0.16

출처 Reproduced from [5].

브라질 이동사별 낙찰 대역폭과 낙찰가격은 표 17과 같다. 3개 이동사의 낙찰 대역폭은 대체로 비슷하며, 특히 5G용 핵심대역인 3.5GHz 대역에서는 모두 동일한 전국망 주파수 100MHz 폭을 확보하였다. 낙찰가격은 Claro가 17억 2,400만 헤알로 가장 높으며, 다음으로 Vivo, TIM 순이었다. 망 구축의무 달성 시, 3.5GHz 대역의 낙찰가를 일부 감면받을 경우 낙찰가는 Claro가 15억 7,600만 헤알(8.6% 감면), Vivo가 9억 2,800만 헤알(17.5% 감면), TIM이 8억 8,900만 헤알(15.3% 감면)이다.

다. 시장 경쟁상황의 변화

브라질 이동사별 주파수 보유현황은 전국망과 지

표 18 브라질 이동사별 주파수 보유현황

(단위: MHz)

	주파수 대역	이동사		
		Claro	Vivo	TIM
경매 이전	700MHz	20	20	20
	2.60GHz	40	40	20
경매 이후	2.30GHz	-	-	-
	3.50GHz	120	100	100

출처 Reproduced from [5].

표 19 브라질 이동전화 서비스 시장점유율

(단위: %)

이동사	구분	2019년	2020년	2021년	2022년
Vivo	전체	32.0	33.2	32.6	39.2
	5G	-	59.8	38.8	34.0
Claro	전체	23.2	24.6	26.6	32.8
	5G	-	39.8	36.9	42.7
TIM	전체	25.2	23.2	21.9	27.4
	5G	-	-	23.4	23.0
Oi	전체	17.2	16.8	18.3	-
기타	전체	2.4	2.2	0.6	0.6

출처 Reproduced from [5].

역망 블록이 혼재되어 있어, 직접적인 비교는 어렵다. 다만, 3개 이동사가 5G 주파수인 3.50GHz 대역과 LTE 주파수인 700MHz, 2.60GHz 대역에서 동일 대역폭을 보유한 점으로 보아, 3개 이동사의 보유 주파수는 LTE, 5G 등 주요 서비스 용도로 한정하였을 때 동등한 수준으로 볼 수 있다(표 18 참고).

2019년 이후 브라질 이동서비스 전체 시장점유율은 Vivo가 가장 높고, 그다음으로 Claro, TIM 순이다(4위 사업자 Oi가 모바일 사업부문을 나머지 3개 이동사 컨소시엄에 매각함에 따라 Oi 가입자는 나머지 3개 사업자에 분배됨). 5G 시장점유율은 2022년 말 기준 Claro, Vivo, TIM 순으로, 2위 사업자인 Claro가 5G 시장에서는 1위를 기록하고 있다(표 19 참고). 브라질 5G 서비스는 2020년 7월 Claro가 최초로 상용화하였으며, Vivo와 TIM도 2020년 상용화를 마무리하였다. 2022년 말 기준 5G 보급률은 2.7%이다.

라. 소결

브라질 경매는 5G용으로 3.30~3.40GHz 대역을 포함하는 역대 최대폭의 주파수를 5G용으로 공급한 점과 망 구축의무 이행 시 할당대가를 감면하여 이동사의 투자유인책을 마련한 것이 주요 특징이다. 2019년 말 기준 3위 사업자였던 Claro가 2022년 말 기준 2위 사업자가 되었고, 5G 서비스에 한해서는 시장점유율 1위를 기록하고 있어 향후 브라질 이동서비스 시장은 Claro를 중심으로 경쟁이 더욱 활성화될 것으로 판단된다. 현재 브라질의 5G 보급률은 미미한 수준이지만, 5G 보급이 확대되고 Claro가 5G를 중심으로 점유율을 확대할 경우, 1위 사업자인 Vivo와의 경쟁이 더욱 치열해질 것으로 보인다. 이는 LTE, 5G 등 주요 서비스에 한해서는 모든 이동사가 동등한 수준의 주파수를 보유하고 있기 때문에 가능한 것으로 볼 수 있다.

6. 홍콩 대역 경매사례

홍콩 통신사무관리국 OFCA는 2019년 10월 3.30~3.60GHz 대역, 4.83~4.94GHz 대역의 주파수 380MHz 폭 공급을 위한 경매를 진행하였다[11]. 이는 홍콩에서 두 번째로 진행된 5G 주파수 경매로, 3.30~3.40GHz 대역과 4.83~4.94GHz 대역은 기존 서비스(무선탐지, 고정국 등)와 5G 서비스 용도로 병용을 허용하였다. 또한, 3.30~3.40GHz 대역은 실내서비스 용도로 제한하였다. 경매에는 홍콩 4개 이통사가 모두 참여하였다.

가. 경매방식 및 주파수 할당 조건

경매방식은 클릭 경매를 준용, 매 라운드 가격이 상승하는 오름입찰로 진행하며, 대역별로 순차적으로 진행하였다. 1단계에서 낙찰 대역폭을 결정하고, 2단계에서 주파수 블록의 위치를 결정하며, 모든 낙찰자의 연속대역 할당을 보장하였다.

주파수 할당 조건은 표 20과 같다. 먼저, 대역별로 5년 이내 일정 수준 이상의 기지국 설치의무 또는 인구 커버리지 구축의무를 부과하였다. 또한, 각 대역에 40~70MHz 폭의 주파수 총량제한을 부과하였다. 모든 공급대역은 서비스 및 기술중립성을 보장하며, 면허 부여기간은 15년이다.

나. 경매결과

가장 먼저 3.40~3.60GHz 대역에 대한 경매가 2019년 10월 14일에 시작하여 당일 종료되었으며, 3.30~3.40GHz 대역에 대한 경매는 2019년 11월 4일에 시작하여 2019년 11월 6일 종료되었다. 4.83~4.93GHz 대역은 경매 개시 전 Hutchison과 SmarTone이 입찰을 포기함에 따라, 경매를 진행하지 않고 CMHK와 HKT가 각각 40MHz 폭을 최저 경쟁가격에 낙찰받았다.

표 20 홍콩 경매 주파수 할당 조건

대역(GHz)	망 구축의무	주파수 총량 제한(MHz)
3.30~3.40	• 5년 이내 실내용 기지국 400개 이상 설치	40
3.40~3.60	• 5년 이내 인구의 45%	70
4.83~4.94	• 5년 이내 인구의 50%	40

출처 Reproduced from [11].

표 21 홍콩 경매 공급대역별 최저 경쟁가격

대역(GHz)	대역폭 (MHz)	블록수 (개)	최저 경쟁가격 (백만 HKD)	1,240
3.30~3.40	100	10	200	
3.40~3.60	200	20	800	
4.83~4.93	80	2	240	

출처 Reproduced from [11].

공급대역별 최저 경쟁가격은 표 21과 같으며, 공급 주파수 전체의 최저 경쟁가격은 12억 4천만 홍콩달러(이하 'HKD')이다. 최종 낙찰가격은 약 19억 1,100만 달러(원화 약 2,831억 원; 2019년 11월 6일 고시환율 기준)로, 최저 경쟁가격 대비 약 54.1% 상승하였다.

이통사별 낙찰 대역폭 및 낙찰가격은 표 22와 같다. 경매에서 가장 많은 금액을 지불한 이통사는 HKT이며, 확보한 주파수 대역폭 또한 120MHz 폭으로 CMHK와 함께 가장 많았다.

다. 시장 경쟁상황의 변화

26GHz 대역을 제외한 홍콩의 이통사별 주파수 보유현황은 표 23과 같다. 2019년 경매 이전까지 이통사별 주파수 보유비중은 SmarTone, CMHK, HKT, Hutchison 순이었다. 2019년 경매 이후 주파수 보유비중은 CMHK가 28.7%로 가장 많아졌고, 다음으로 HKT, SmarTone, Hutchison 순으로 나타

표 22 홍콩 경매결과

낙찰 대역폭(MHz)				낙찰가격(백만 홍콩달러)			
사업자	대역(GHz)			사업자	대역(GHz)		
	3.30~3.40	3.40~3.60	4.83~4.93		3.30~3.40	3.40~3.60	4.83~4.93
CMHK	20	60	40	CMHK	133	300	120
HKT	30	50	40	HKT	199	252	120
SmarTone	20	50	-	SmarTone	133	252	-
Hutchison	30	40	-	Hutchison	199	202	-
합계	100	200	80	합계	664	1,006	240
	380				1,911		

출처 Reproduced from [5].

표 23 홍콩 이동사별 주파수 보유현황

(단위: MHz)

	주파수 대역	이동사			
		CMHK	HKT	Hutchison	SmarTone
경매 이전	전체	142.8 (26.6%)	123 (22.9%)	119.2 (22.2%)	152.4 (28.4%)
	3.30~3.40	20	30	20	30
	3.40~3.60	60	50	50	40
	4.83~4.93	40	40	-	-
	전체 (26GHz 제외)	262.8 (28.7%)	243 (26.5%)	189.2 (20.6%)	222.4 (24.2%)

출처 Reproduced from [5].

났다. 이동사별 전체 주파수 보유비중은 차이가 존재하나, 5G 핵심 주파수인 3.30~3.60GHz 대역의 이동사별 보유량은 거의 동등한 수준이다.

2019년 이후 홍콩 이동서비스 전체 시장점유율 1위는 HKT이며, 30% 이상의 점유율을 유지하고 있으나, 2위 사업자 CMHK와의 점유율 격차는 갈수록 줄어들고 있다. 전체 시장점유율은 2022년 말 기준 HKT, CMHK, Hutchison, SmarTone 순이나, 5G 시장점유율은 CMHK, Hutchison, HKT, SmarTone 순이다. 2020년 5G 서비스 상용화를 전후하여 1위 사업자인 HKT의 시장점유율이 크게

표 24 홍콩 이동전화 서비스 시장점유율

(단위: %)

사업자	구분	2019년	2020년	2021년	2022년
HKT	전체	35.4	31.0	31.7	32.1
	5G	-	30.0	23.7	23.8
CMHK	전체	23.8	28.0	28.4	28.5
	5G	-	22.8	36.6	30.3
Hutchison	전체	26.5	24.8	25.3	25.3
	5G	-	16.5	23.2	29.1
SmarTone	전체	14.3	16.3	14.6	14.1
	5G	-	30.7	16.4	16.8

출처 Reproduced from [5].

감소하였고, 3위 사업자인 CMHK의 시장점유율이 증가하면서 HKT에 이어 2위 사업자가 되었고, 2위 사업자였던 Hutchison은 3위 사업자가 되었다 (표 24 참고). 홍콩 이동서비스 시장의 HHI는 2019년 2,726에서 2022년 2,682로 감소하여 더욱 경쟁적 시장이 되었다. 2022년 말 기준 5G 보급률은 24.2%이다.

라. 소결

홍콩 경매는 3.30~3.40GHz 대역을 실내서비스 용도로 제한된 5G 주파수로 공급한 점이 주요 특징

이다. 이통사별 주파수 보유현황과 시장점유율 추이 등으로 미루어볼 때, 향후 홍콩 5G 서비스 시장의 경쟁은 최대 주파수를 확보한 CMHK와 1위 사업자인 HKT를 중심으로 전개될 개연성이 크다. 또한, 세 번째로 많은 주파수를 확보한 4위 사업자 SmarTone이 영향력을 확대할 경우 더욱 경쟁적인 시장으로 변화할 것으로 판단된다.

III. 결론

본고는 국내 5G 주파수 추가할당 시 경쟁정책 측면에서 참고할만한 시사점을 도출하는 것을 목적으로 하였으며, 분석결과와 주요한 특징과 이에 따른 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 대부분의 사례에서 서비스 경쟁에 필수적인 최소한의 주파수 대역폭의 확보를 보장하였다. 스웨덴을 제외한 4개 국가 모두 주파수 총량제한을 설정, 특정 사업자로의 주파수 쏠림현상을 사전에 방지하였다. 스웨덴의 경우 주파수 총량제한 규정은 없으나 주파수 하한 규정을 두어 서비스 경쟁에 필수적인 최소한의 주파수 대역폭 확보를 보장하는 측면에서는 더욱 적극적인 정책으로 볼 수 있다. 이러한 정책의 결과로, 5개 국가의 사례 모두에서 특정 사업자로의 주파수 쏠림현상은 발생하지 않았으며, 5G 핵심대역인 C-band 대역에서는 모든 사업자가 동등 수준의 주파수를 확보하였다. 이를 고려할 때, 국내에서도 주파수 경매 시 핵심대역에 한하여 최소한의 대역폭을 확보할 수 있도록 관련 법·제도의 개선 논의가 필요하다[12].

둘째, 이통사의 망 구축비용을 주파수 할당대가의 성격으로 간주한 사례가 존재한다. 브라질은 공급대역별로 망 구축의무 및 국가망 구축, 공공시설에 대한 망 구축의무 등을 부여하였다. 규제기관이

대상 지역을 설정하고, 해당 지역에서 망 구축의무 기준을 달성한 경우 주파수 할당대가를 감면해 주도록 하였다. 이는 이통사가 망 구축의무를 달성하는 데 소요되는 비용 또한 할당대가의 성격으로 간주하여 수립된 정책이다. 이를 고려할 때, 국내에서도 향후 이통사의 망 구축비용 부담을 경감을 위한 정책수립 논의가 필요한 시점이다.

셋째, 주파수 경매 시 합작법인의 허용, 또는 기존 할당대역의 5G 서비스 활용 시 주파수 공유를 허용한 사례가 존재한다. 스웨덴의 경우 2, 3위 사업자인 Telenor와 Telia가 합작법인 Net4Mobility를 설립하여 경매에 참여, 주파수를 획득하고 양사가 주파수를 공유하여 서비스를 제공하고 있다. 또한, 캐나다의 경우 Bell와 Telus가 기존 보유대역을 5G 서비스에 활용하기 위해 주파수를 공유하고자 하였으며, 규제기관이 이를 허가하였다. 국내의 경우, 주파수 공유에 대한 법적 근거는 마련되어 있으나, 이를 활성화하기 위한 정책적 방안에 대한 논의는 미미한 상황이다. 한정된 자원인 주파수의 효율적 활용 및 시장경쟁 활성화를 위해서라도 이에 대한 정책적 논의가 이루어져야 할 시점인 것으로 판단된다[13].

마지막으로, 신규사업자가 서비스 경쟁에 필요한 최소한의 주파수를 확보할 수 있는 규정을 마련한 점이다. 캐나다와 벨기에는 신규사업자를 위한 주파수 경매를 별도로 진행하여, 경쟁에 필요한 최소한의 주파수를 확보할 수 있도록 하였다. 특히, 캐나다는 모든 주파수 경매에서 신규사업자를 위한 경매를 별도로 진행하고 있다. 국내에서도 이통서비스 신규사업자 진입을 지원하기 위한 다양한 정책이 논의되고 있는 만큼 이를 참고할 필요성이 있다.

용어해설

클락 경매 무기명 블록에 입찰하는 경매방식. 1단계에 낙찰 대역 폭, 2단계에 주파수 블록의 위치를 결정함. 공급 주파수량을 초과하는 수요가 없을 때까지 경매를 진행하며, 최종 낙찰가는 1단계와 2단계의 낙찰가의 합으로 결정

SMRA 대역/위치가 정해져 있는 특정 주파수 블록에 입찰하는 경매방식. 초과 수요가 없을 때까지 경매를 진행하며, 최종 라운드 블록별 최고 입찰이 낙찰가로 결정. 무기명 블록에 적용 시 1단계에 낙찰 대역폭, 2단계에 주파수 블록의 위치를 결정

밀봉입찰 대역/위치가 정해져 있는 특정 주파수 블록에 모든 입찰자가 한 차례 입찰가격을 제시하여 최고가를 낙찰가로 결정하는 방식

약어 정리

ANATEL	Agencia Nacional de Telecomunicacoes
BIPT	Belgian Institute for Postal Services
HHI	Hirschman-Hurfindhal Index
ISED	The government's Innovation Science & Economic Development of Canada
OFCA	The Office of the Communications Authority
PTS	The Swedish Post and Telecom Authority
SMRA	Simultaneous Multi-Round Ascending

참고문헌

- [1] 과학기술정보통신부, 무선통신 트랙픽 현황, 2023. 3.
- [2] 유지은, 이성준, "최근 국내 이동통신 서비스 이용행태 분석," 전자통신동향분석, 제37권 제2호, 2022, pp. 74-84.
- [3] 전자신문, "과기정통부 3.4~3.42GHz 대역 LG유플러스 할당 완료," 2022. 7. 15.
- [4] 조찬우, 이성준, 유지은, "해외 5G 주파수 경매사례 분석: 3.7GHz 대역을 중심으로," 전자통신동향분석, 제37권 제5호, 2022, pp. 70-81.
- [5] <https://www.telegeography.com/products/globalcomms/>
- [6] PTS, "Assignment in the 3.5GHz and 2.3GHz bands," 2021.
- [7] BIPT, "Procedure for the granting of rights of use for the 700MHz, 900MHz, 1400MHz, 1800MHz, 2100MHz and 3600MHz frequency bands," 2022.
- [8] ISED, "Policy and Licensing Framework for Spectrum in the 3500MHz Band," 2020.
- [9] <https://corpo.Videotron.com/en/pressroom/>
- [10] Anatel, "Anatel aprova o edital do leilao do 5G," 2022.
- [11] OFCA, "3.5GHz Band Licensing," 2022.
- [12] 이성준, 조찬우, 유지은, "이동통신서비스 주파수 할당의 총량제(동등할당)의 활용방안에 관한 고찰," 한국통신학회 학술대회 논문집, 2022. 6.
- [13] 조찬우, 이성준, 유지은, "5G 서비스 만족도 제고를 위한 주파수 공동사용 활성화 방안 탐색," 한국정보통신설비학회 학술대회, 2022. 8.