

음성 상호접속의 IP화 동향 및 시사점

IP-Based Transition of Voice Interconnection: Trends and Implications

박기영 (K.Y. Park, park710@etri.re.kr)

통신정책연구실 박사후연수연구원

ABSTRACT

The limitations of legacy time-division multiplexing-based voice interconnection have led to a growing movement toward IP-based voice interconnection. This paper examines the characteristics of this transition by analyzing implementation trends and key policy issues, focusing on cases from major countries that have pursued IP-based interconnections. To this end, this study reviewed the relevant literature along with regulatory and policy materials and conducted a comparative analysis of adoption trends and regulatory approaches across countries. The analysis, which considered country-specific technical constraints as well as policy and market conditions, showed that the transition to IP-based voice interconnection is generally a gradual process. Key issues include the coexistence of legacy and IP-based systems; reduction of interconnection points; and technical and operational challenges related to interoperability, quality of service, and security. These findings suggest that policy design for the transition to IP-based voice interconnection in Korea should consider technical constraints and market conditions while ensuring balanced coordination among stakeholders.

KEYWORDS All-IP, interoperability, IP-based voice interconnection, PSTN, 음성 상호접속

I. 서론

통신산업의 지속적인 기술 발전과 데이터 중심의 패러다임 변화가 진행되는 가운데, 다수의 국가에서는 유선 및 이동통신 네트워크가 NGN(Next Generation Network: 차세대 네트워크)을 거쳐 All-IP 네트워크로 전환되면서 인프라 구조 전반의 재편이 이

루어지고 있다. 음성 서비스 분야에서는 PSTN 종료와 함께 IP 기반 체계로의 전환이 정책적·상업적 과제로 다루어지고 있으며, 각국은 규제 체계와 시장 구조에 따라 다른 접근 방식을 취하고 있다. 특히 프랑스와 독일, 스위스, 뉴질랜드는 통신사업자 주도 아래 PSTN 종료 및 All-IP 전환이 추진되었으며, 기존 인프라의 유지보수 비용 증가에 따른 부담 완

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2026.J.410310>



본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2026 한국전자통신연구원

화, 네트워크 단순화에 따른 운영 효율성 제고, 서비스 기능 고도화 등 경제적 요인이 주요 동인으로 작용하였다[1]. 그 밖의 주요국에서도 전환 방식에는 차이가 있으나, 이러한 요인을 중심으로 유사한 문제의식이 제기되는 경향을 보인다.

이러한 환경 변화에 따라 음성 서비스 상호접속 방식도 별도의 변환 과정 없이 기술적 일관성을 유지할 수 있도록 기존 TDM 기반(이하 'TDMvIC'라고 한다)에서 IP 기반(이하 'IPvIC'라고 한다)으로의 전환 논의가 점차 확대되는 추세이다. 국제전기통신연합(ITU: International Telecommunication Union)은 IP 기반 음성 상호접속을 포함하는 다양한 국제 표준을 마련해 왔으며[2], 세계이동통신사업자협회(GSM: Global System for Mobile Communications Association) 역시 전환 필요성을 강조해 왔던바[3], 이에 대한 기술적 지침을 제공하고 있다[4].

세계적인 수준의 통신 기술과 인프라를 보유한 우리나라[5]에서도 음성 상호접속의 IP 기반 전환이 논의되고 있는 가운데 TDM 기반 구조가 병존하고 있다. 이는 단순한 기술적 역량의 문제라기보다는 기존 설비에 대한 투자비 회수, 전환 과정에서 발생할 수 있는 서비스 안정성 확보, 상당한 초기비용 부담 등 다양한 요인과 관련이 있는 것으로 이해할 수 있다. 아울러 국내의 PSTN 기반 통신망을 중심으로 형성된 규제 체계는 IP 기반 상호접속으로의 전환에 제약 요인으로 작용할 수 있다. 사업자 간 상업적 이해관계가 합치되어 자발적인 전환의 실현이 바람직할 것이나, 제도적 개선이 병행되어야 할 사안으로 정부의 정책적 개입이 필요할 수 있다.

이와 같은 변곡점에서 건설적인 논의에 일조하고자, 본고의 II 장에서는 IPvIC 개념을 정리하고, III 장에서는 IPvIC 전환 관련 해외 동향을 논하며, IV 장에서는 국내 IPvIC 전환의 현안을 살펴보고, 마지막 V 장에서 그 시사점을 도출한다.

II. IPvIC 개요

1. IPvIC 개념

IPvIC(IP-based Interconnection for Voice Services)란 서로 다른 IP 기반 네트워크 간 음성 트래픽을 패킷 단위로 교환하는 상호접속 방식으로, 기존의 TDM 기반 상호접속(TDMvIC)과 대별되는 개념이다. 국제적으로 통용되는 표준용어로는 볼 수 없으나, 유럽 전자통신규제기관협의체(BEREC: Body of European Regulators for Electronic Communications)에서는 IP 기반 음성 서비스의 상호접속을 지칭하는 표현으로 'IPvIC'를 사용한 바 있다[6].

PSTN 환경에서 음성 트래픽은 회선교환(Circuit-switched) 방식으로 전달되어왔으나, 인터넷과 모바일네트워크의 발전으로 패킷교환(Packet-switched) 방식이 보편화되고 있다. 이에 PSTN은 점진적으로 폐쇄 및 종료의 단계를 거치고 있으며, 음성 서비스는 IP 기반 네트워크를 통해 전송되는 구조로 전환이 이루어지고 있다. 이 과정에서 개별적으로 운영되던 통신망이 IP를 기반으로 통합되면서 단일 네트워크를 통해 음성 서비스를 제공할 수 있는 환경으로 변화하고 있다[7]. 아울러 음성 서비스의 상호접속 또한 IP 기반으로 재편되는 양상이 확대되고 있는바, IPvIC는 기술이나 경제적 측면에서 TDMvIC 방식에 비해 효율성을 높일 수 있는 방식으로 거론되고 있다.

다만, 패킷 기반 환경에서의 인터넷 상호접속은 기술적으로 peering과 transit으로 유형이 정형화되어 있고, 이는 최선형(Best Effort) 방식으로 운영되는 특성상 실시간 품질(QoS) 보장에 제약이 따를 수 있다[8]. 그러나 공중 음성 서비스의 경우에는 통화 품질 보장과 안정적인 호 연결이 요구되므로, 일반적인 인터넷 상호접속과 구별되는 음성 상호접속 구조가 필요하다. 이러한 맥락에서 유럽 규제 논의에

서는 IP 기반 음성 상호접속을 IPvIC로 지칭하고 있으며, 이하에서는 해당 용어를 사용한다.

2. IPvIC 필요성

세계 각지의 통신사업자와 규제 당국은 PSTN 기반 네트워크에서 All-IP 네트워크로의 전환이라는 과도기에 직면하여, IP 기반 음성 상호접속의 진화와 관련된 기술적·제도적 현안에 대한 대응 방안을 모색하고 있다. 이는 전통적인 TDMvIC 방식의 구조적 한계에서 나타나는 다음과 같은 문제점에 기인한다고 볼 수 있다.

첫째, 음성 트래픽의 변환 과정에서의 비효율성이다. IP 기반 음성 서비스가 확산되면서 패킷 기반 네트워크를 통해 음성 서비스를 제공하는 사업자가 증가하고 있으나, 사업자 간 네트워크 전환 수준의 차이로 인해 여전히 PSTN 연동이 유지되기도 한다. 이는 IP 구간과 TDM 구간 간 변환을 수반하여 서로 다른 신호 처리 및 전송 방식의 조정을 위한 추가적인 설비 투자와 변환 처리 비용이 발생하고, 인코딩 및 디코딩 등 변환 과정에서 지연이 발생하거나 통화 품질이 저하될 우려가 있다.

둘째, 장비의 운영관리 및 유지보수 측면에서의 비경제성이다. TDM 기반 설비는 노후화에 따른 물리적 유지관리 부담이 존재할 뿐만 아니라, 장비 제조사의 기술 지원 축소 또는 중단으로 인해 부품 수급이 용이하지 못한 사정과 관련 전문기술 인력 감소로 인한 운영 부담이 가중되어 비용의 증가로 이어질 수 있다.

셋째, 트래픽 수요 증가에 따른 상호접속 용량 확장에 한계가 있다. 예컨대, TDMvIC에서는 E1 회선당 할당된 용량을 초과하는 통화량이 발생할 경우, 물리적 회선 증설이 필요해 급격한 트래픽 변동에 대응하기 어렵다.

넷째, 현대 통신환경과의 기술적 부적합성이다. 최근 IoT, 클라우드 컴퓨팅, 인공지능 등 데이터 중심 서비스의 확산으로 높은 대역폭과 유연성, 확장성 및 보안성이 요구되는 가운데, 회선교환 방식에 기반한 TDM 구조는 차세대 통신 서비스의 기술적 요구를 충족하지 못한다는 한계가 지적되기도 한다[9].

이러한 배경에서 IPvIC는 음성 서비스를 더욱 효율적으로 제공할 수 있는 방식으로 주목받고 있으며, 다음의 기술적·경제적 이점을 고려할 수 있다. 우선 IP 네트워크 환경에서는 음성 트래픽이 패킷화되어 전체 데이터 트래픽의 일부로 구성되고, 전송 비용이 물리적 거리의 영향을 크게 받지 않는 특성을 갖는다. 이는 상대적으로 소수의 상호접속 지점(POI: Point of Interconnection)을 통해 트래픽을 처리할 수 있게 됨을 의미한다. 상호접속 구조의 단순화는 TDMvIC에 비해 네트워크 이용 측면에서 상호접속 비용 부담의 완화로 작용하여 시장에서의 경쟁 촉진을 기대할 수 있다. 나아가 상호접속 경로의 선택 가능성이 확대됨에 따라 특정 사업자에 대한 의존도가 낮아질 수 있는바, 선발 유선망 사업자의 시장지배력 완화를 유도할 수 있는 환경이 조성될 수 있다[10].

유럽에서는 EU 회원국을 중심으로 PSTN 기반 네트워크에서 IP 기반 네트워크로의 전환 과정에서 음성 상호접속 방식으로 IPvIC 도입의 필요성이 논의되어 왔으며[6], 영국에서도 이에 대한 정책적 검토가 진행되고 있다[10]. 미국 또한 노후화된 TDM 기반 PSTN 인프라의 구조적 한계에 대한 대안이 논의되고 있다[9]. 이러한 기초에서 연방통신위원회(FCC: Federal Communications Commission)는 “Accelerating Network Modernization” 정책 절차를 개시하고(WC Docket No. 25-208), TDM 기반 음성 상호접속 구조를 IP 기반으로 전환하는 정책 방향을 검토

하기 위한 규칙제정 제안 공고를 발표하였으며[11], 이와 관련하여 다양한 이해관계자의 의견을 수렴하고 있다. 일본의 경우 2010년 ‘NTT東西’가 PSTN 마이그레이션에 대한 개괄적 전망을 제시한 것을 계기로 IP 네트워크 전환에 관한 논의가 시작되었으며, 이후 총무성 소관 정보통신심의회의 검토와 정보통신기술위원회(TTC) 표준화 논의를 통해 사업자 간 상호접속 역시 IP 기반으로 이루어지는 방향이 제시되고 있다[12]. 한편, 호주 경우 IP 기반 상호접속을 반영하기 위한 개정 필요성이 제기되고 있으나, 호주경쟁소비자위원회(ACCC: Australian Competition and Consumer Commission)는 기존 상호접속 체계를 일정 기간(5년) 유지하는 접근을 취하고 있다[13].

III. IPvIC 해외 동향 및 주요 쟁점

IPvIC 전환에 관한 논의는 유럽을 비롯해 최근 여러 국가에서 이루어지고 있다. 이러한 해외 사례는 국내 IPvIC 전환 국면에서 정책 논의를 검토하는 데 유용한 기준을 제공한다.

1. 정책·제도적 특성

1.1 TDMvIC의 존속

많은 국가에서 PSTN은 음성 통신 인프라의 핵심으로 기능해 왔으며, 국가별 네트워크 구조 및 가입자 기반의 고착화로 인해 즉각적인 폐지나 전환이 현실적으로 어려운 상황에 놓여 있다[14]. 이러한 맥락에서 PSTN의 점진적 종료와 함께 IP 기반 네트워크로의 전환이 이루어지는 것이 일반적인 모습이며, 음성 서비스의 상호접속 또한 TDMvIC 방식에서 IPvIC 방식으로 전환이 이루어지는 방향으로 논의되고 있다. 이는 서비스의 연속성이 유지되어야

할 필요성과 밀접한 관련이 있다.

일본 정보통신심의회의 공식 보고서에 따르면 일부 지역에서는 대체 네트워크가 충분히 구축되지 않은 관계로 기존 상호접속 방식이 유지될 필요성을 언급하고 있으며[15], 호주는 지방 및 원격 지역에서 대체 통신 인프라의 제약과 기존 PSTN 기반 기능의 유지 필요성으로 인해 기존 TDM 기반 규제 체계를 유지하고 있다[12]. 미국의 규제 개편 논의 과정에서 제출된 일부 통신사업자 의견에서도 경쟁 보장 및 접속의무 유지, 공공안전 및 긴급통신 서비스의 안정성 확보 등을 이유로 기존 상호접속 체계의 급격한 전환에 대한 신중한 접근 필요성이 제기된 바 있다.¹⁾ 또한, 이미 All-IP 네트워크로 전환한 사업자와 여전히 전환을 시작하지 못한 사업자 간 네트워크 수준 차이에서도 기존 방식의 유지가 불가피한 측면이 있다[6].

다만, TDM 기반 PSTN 구조가 장기적으로 지속될 시 연동 과정에서 추가 비용이 발생하거나 네트워크 전환을 지연시키는 요인으로 작용할 수 있으므로, 서비스 연속성 확보를 고려한 정책적 접근이 필요하다.

1.2 IPvIC의 규제 방식

국가별로 IPvIC에 대한 규제 방식은 다른 양상을 보인다. 비교적 일찍이 IPvIC 전환을 추진해 온 유럽 지역 내 다수 국가에서는 규제 당국(NRA: National Regulatory Authority)의 시장 분석에 기초한 규제 결정에 따라 주로 시장지배적 사업자에 해당하는 기존 유선망 사업자(FNI)에게 IPvIC 제공 의무를 부

1) FCC의 Electronic Comment Filing System(ECFS)에 공개된 제출 의견에 대해서는 [https://www.fcc.gov/ecfs/search/search-filings/results?q=\(proceedings.name:\(%2225-208%22\)+AND+proceedings.bureau_name:\(Wireline%20Competition%20Bureau\)\)&page=0](https://www.fcc.gov/ecfs/search/search-filings/results?q=(proceedings.name:(%2225-208%22)+AND+proceedings.bureau_name:(Wireline%20Competition%20Bureau))&page=0)

과하고 있다. 그중 일부 국가에서는 통신 시장의 여건에 따라 후발 유선망 사업자(OFNO)나 이동통신망 사업자(MNO)까지 그 대상이 확대되기도 한다. 예컨대 프랑스 우편 및 전자통신법(CPCE: Code des postes et des communications électroniques)에서는 공중망 사업자의 상호접속과 규제기관(ARCEP) 개입 권한을 규정하는 일반 조항을 두고 있으며(Article L34-8²⁾), 이에 따라 ARCEP은 결정을 통해 시장지배적 사업자(opérateur exerçant une influence significative, 즉 FNI · OFNO · MNO를 불문)로 지정된 사업자에게 상호접속 의무를 부과하고 있는바, 이는 IP 방식 상호접속(interconnexion en mode IP)에도 적용될 수 있는 구조를 갖는다고 이해할 수 있다(Décision n° 2017-1453³⁾). 한편, IPvIC 제공이 원활히 이루어지기 위해서는 이에 대한 기술적 기준의 정립이 필요하며, 유럽 국가들은 다양한 방식에 따르고 있다. 즉, 규제기관 또는 정부 부처에서 결정(불가리아 · 크로아티아)이나 기술규격서(이탈리아 ST 769)를 통해 직접 제정하는 경우가 있는가 하면, 사업자 협의체가 협의안을 마련하고 있기도 하다(독일 AKNN · 프랑스 FFT).

이와 달리 국가가 비개입적 또는 시장 중심의 정책적 접근을 추진한 사례도 확인된다. 핀란드는 규제에 따른 의무 없이 MNO가 자율적으로 IPvIC를 제공하는 대표적인 사례이며, 이는 음성 트래픽의 대부분이 이동통신망에서 발생하는 시장 구조와 밀접한 관련이 있다. 핀란드 교통통신청(Traficom)이 발표한 2021년 상반기 통계에 따르면 전체 음성 통화 중 유선의 비중은 약 2% 수준으로[16], 유

선망 중심의 TDMvIC를 IP 방식으로 전환할 유인이 상대적으로 크지 않았음을 시사한다. 이러한 상황은 MNO 간 자율 협상만으로도 IPvIC 도입이 신속히 진전될 수 있었던 요인으로 볼 수 있다. 또한, 기술적 측면에서도 Traficom은 강제적 성격의 규격을 제정하는 대신, SIP 및 SIP-I 기반 상호연동 기술 사양(202/2025 S, 201/2014 S)과 요금 연동 기술사양(217/2025 S) 등 비구속적인 권고안을 제시하는 방식을 취하고 있다.⁴⁾ 이들 권고안은 사업자 간 합의의 준거로 활용되며, 최소 개입 정책하에서도 필요한 상호운용성을 확보하는 기능을 수행한다. 그런가 하면 미국에서는 기존 TDM 기반 음성 상호접속 규제 체계가 네트워크 현대화 과정에서 IP 기반 전환을 지연시키는 요인으로 지목되고 있으며, 이에 FCC는 관련 현행 규제의 완화 또는 폐지를 검토하는 한편, IP 기반 상호접속의 시장 자율 형성 가능성을 검토하고 있다[11]. 또한, 호주의 ACCC는 TDM 기반 음성 상호접속 서비스에 대한 기존 규제 체계를 유지하면서도 특정 기술 방식에 종속되지 않는 접근을 취하고 있으며, IP 기반 상호접속은 산업계 가이드라인[17]과 사업자 간 협의를 중심으로 점진적으로 반영하되 관련 사항을 향후 검토 과제로 남겨두고 있다[12].

1.3 TDMvIC와 IPvIC의 병행 제공 의무 여부

IPvIC로의 전환은 기술적 진화의 측면에서 불가피하며, 일정 기간 동안 TDMvIC 방식이 유지될 필요성은 전술한 바 있다. 특히 유럽의 다수 국가에서

2) 관계 법령에 대해서는 https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006070987/LEGISCTA000006165903/#LEGISCTA000006165903

3) 관계 결정문에 대해서는 <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=n6aIVSIUPxMsyFLdItJxM5UjP-2j3a7wg3ucH-a9Gdqo=>

4) 관련 권고안의 전문은 핀란드 교통통신청 공식 웹사이트 (<https://www.traficom.fi/en/regulations?group=communicationsnetworks&limit=20&offset=0&query=&sort=created&toggle=Recommendations%20201%2F2014%20S%20and%20202%2F2014%20S%20Finnish%20profile%20for%20SIP%20interworking&typeofstatute=%255B19%255D>)를 참고

는 TDMvIC와 IPvIC를 병행 제공하도록 하는 의무를 부과하고 있으며, 그중 일부 국가에서는 규제 차원에서 병행 제공 기간을 명시적으로 설정한 사례가 보고된 바 있다[6]. 예컨대 프랑스는 최소 18개월, 슬로베니아는 1년, 크로아티아는 2017년까지로 병행 제공 의무 기간이 설정되었다. 이와 같은 방식은 전환 일정에 대한 예측 가능성을 제고하고 전환을 촉진하는 반면, 사업자의 전환 시기에 대한 선택의 폭을 제한하는 측면도 지닌다.

반면, 존속기간을 특정하지 않은 채 사업자 간 전환 시점의 차이에 따라 병행 제공이 이루어지기도 한다. 이 경우 전환에 대한 유연성은 확보될 수 있으나, 전환 지연으로 인해 사업자 간 불이익이 발생할 가능성을 배제하기 어렵다. 이와 관련하여 이탈리아 통신규제위원회(AGCOM: Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni) 결정(Delibera n. 128/11/CIR⁵⁾에 의하면, IP 기반 상호접속을 원칙으로 하면서 사업자 간 협의에 따라 TDM 방식의 유지를 예외적으로 허용하고 있으며, 병행 운용 비용은 원인성 및 상호성 원칙에 따라 정산되도록 함으로써 전환 지연 사업자에게 상대적으로 더 큰 부담이 발생하는 구조를 통해 전환을 유도하고 있다.

요컨대 유럽의 대부분 국가에서 IPvIC가 제도적으로 도입되었으나, 실제 트래픽의 상당 부분은 TDMvIC를 통해 처리되는 이원적 구조가 일정 기간 동안 불가피하게 유지되었다. 이러한 양상은 IPvIC 전환을 일률적으로 강제하기보다는 안정성 및 형평성을 중시한 유럽 각국의 규제 접근으로 이해할 수 있다. 또한, 병행 제공 의무의 존속기간을 정책적으로 설계한 사례는 IP 전환을 촉진하는 데 이바지하는 요소로 평가될 수 있다.

5) 관계 결정문에 대해서는 <https://www.agcom.it/provvedimenti/delibera-128-11-cir>

2. 기술적 특성

IPvIC로의 전환 과정에서는 음성이 패킷화됨에 따라 이를 안정적으로 처리하기 위해 네트워크 구조 전반에 걸쳐 운용 방식의 변화가 요구된다. IPvIC에 대한 기술적 구현은 국가별로 차이가 있으나, 이하에서는 제도적 정비와 기술적 운용 사례가 비교적 체계적으로 정립된 유럽을 중심으로 몇 가지 공통된 특징을 살펴본다.

2.1 접속점 수 축소

기존 TDMvIC 환경에서는 권역별로 다수의 접속점(PoI: Point of Interconnection)이 필요했으나, IPvIC로 전환되면서 대체로 전국 단위 기준 1~2개 수준의 PoI로 단순화되는 경향을 보인다[6]. 영국에서도 IP 기반 네트워크로의 전환에 따라 코어 네트워크 중심의 소수 PoI로 집약되는 방향이 고려되고 있다[10]. 이러한 변화는 다양한 유형의 트래픽이 동일한 전송 자원을 공유하는 IP 환경에서 음성 트래픽의 비중 감소와 맞물려 권역별 처리의 필요성이 약화됨에 따라 효율적인 망 운영을 위해 접속점을 최소화하려는 동인이 형성된 것으로 이해할 수 있다.

2.2 국제 표준 기반의 시그널링 프로토콜

IPvIC의 PoI에서 적용되는 시그널링 프로토콜(Signaling Protocol)은 국제 표준에 기반하고 있다. 시그널링 프로토콜은 통화의 설정 및 종료 등 통화 제어를 수행하는 역할을 하며, TDM 기반에서 사용되던 ISUP(Integrated Services Digital Network User Part)를 대체하여 IP 기반 환경에 적합한 표준 프로토콜로 발전해 왔다. 주요 유형으로는 IETF의 RFC로 정의된 SIP(Session Initiation Protocol)[18], 이를 3GPP의 IMS(IP Multimedia Subsystem) 규격에 맞게 구체화한

SIP[19], 그리고 ITU-T가 기존 ISUP과의 연속성을 고려하여 정의한 SIP-I가 있다[20]. 이러한 시그널링 프로토콜 방식은 규제에 의해 일률적으로 강제되는 것이 아니라, 각 사업자가 자사의 네트워크 구조와 기존 시스템과의 연계 필요성 등을 고려하여 합의에 따라 선택·활용되고 있다.

2.3 번호 대역의 수용

IPvIC에서는 TDMvIC에서 사용된 번호 대역을 대부분 그대로 수용하고 있다[6]. 예컨대 지역번호 기반 일반전화 번호, 이동전화 번호, 국제전화 번호를 포함하여 특수 목적 번호 등이 이에 해당한다. 다만, 규제 의무의 범위나 전환 단계상의 사정 등으로 인해 특정 번호 대역에 한하여 그 적용이 제한되는 사례도 일부 확인된다. 이는 IPvIC의 기술적 한계라기 보다는 각국에서 부과된 상호접속 규제 상황과 밀접한 관련이 있는 것으로 볼 수 있다.

2.4 부가서비스의 선택적 지원

부가서비스는 기본 통화 기능을 보완하는 요소로서, IPvIC 환경에서의 지원 여부와 범위가 검토될 수 있다. 유럽의 IPvIC 전환 과정에서는 비교적 필수적인 부가서비스의 안정적 제공을 우선으로 확보하는 경향을 알 수 있다[6]. 예컨대 발신번호표시, 발신번호표시제한, 착신전환 등 기본적인 부가서비스는 대체로 유지되고 있으나, 상호접속 차원에서 의무적으로 제공할 필요성이 상대적으로 낮다고 판단되는 일부 부가서비스의 경우에는 지원되지 않기도 한다. 즉, TDMvIC에서 제공되던 대부분의 부가서비스는 IPvIC에서도 기술적으로 구현이 가능하나, 기술적·경제적·운영상 부담을 고려하여 일률적으로 강제하기보다는 사업자 간 협의를 거쳐 선택적으로 지원이 이루어지는 구조가 형성된 것으로 이해할 수 있다.

2.5 코덱의 상호운용성 확보

코덱(Codec)은 아날로그 음성 신호를 디지털 형태로 부호화하고, 이를 수신 측에서 다시 음성 신호로 변환하는 기능을 수행하며, 음성 통화의 성립과 품질에 직접적인 영향을 미친다[2]. 기존 TDM 환경에서는 사실상 단일 코덱인 G.711만이 사용되었으나, IP 기반 환경에서는 G.722, G.729 등 다양한 코덱이 기술적으로 구현할 수 있다[2,3]. 아울러 IP 기반 환경에서는 전화 서비스에서 발생하는 사용자 입력 신호에 해당하는 복합 주파수 부호(DTMF: Dual Tone Multi Frequency)를 실시간 전송 프로토콜(RTP: Real-Time Transport Protocol) 패키지로 전달하는 방식이 표준화되어 있으며, 이는 RFC 2833과 그 후속 표준인 RFC 4733에 의해 규정되어 있다[21,22].

유럽의 IPvIC 전환 사례를 보면, 상호운용성을 안정적으로 확보하기 위해 최소 공통 코덱으로서 G.711이 사실상 기준으로 작동하고 있다. 이는 향상된 코덱을 통한 음질 개선이 기술적으로 가능하지만, 전환 과정에서의 상호운용성과 안정성을 우선으로 고려한 취지로 이해할 수 있다. 따라서 G.711 이외의 코덱에 대해서는 사업자 간 협회에 기반하여 선택적으로 지원할 수 있는 방식 또한 열어두고 있다.

2.6 통화 품질 관리 중심의 QoS 운용

IP 기반 환경에서는 음성 트래픽 또한 패킷 기반 전송 방식으로 처리됨에 따라 통화 품질이 사전에 정형화되지 않고, 네트워크 운용을 통해 관리되는 구조가 형성되고 있다[23]. 이와 같은 맥락에서 유럽 또한 통화 품질이 QoS 운용 과정에서 사업자 간 협의를 통해 관리되고 있으며, 이에 다양한 QoS 파라미터가 설정되고 있다. 일부 국가에서는 IPvIC 통화 품질과 관련하여 기존 TDMvIC과 동등한 수준

을 충족할 것을 요구하는 경우도 있으나(크로아티아, 이탈리아), 대체로 구체적인 기준과 적용 방식이 국가 및 사업자별로 다양하게 나타난다.

구체적으로 QoS 파라미터는 관리 목적에 따라 음성 품질 중심의 QoS 파라미터와 통화 설정 과정과 관련된 QoS 파라미터로 구분할 수 있으며, 이는 통화 서비스의 성능 목표를 규정하는 역할을 한다.⁶⁾ 한편, IP 트래픽 전송과 관련된 QoS 파라미터는 음성 및 시그널링 트래픽에 대한 우선 처리 등 전송 경로에서의 운용 방식을 설정함으로써, 통화 서비스의 성능 목표를 간접적으로 뒷받침하는 역할을 수행하기도 한다.⁷⁾ 따라서 IPvIC 환경에서 QoS 파라미터는 통화 품질 관리의 목적을 중심으로, 이를 달성하기 위한 전송 운용 수단이 병행적으로 활용되는 구조를 가지는 것으로 이해할 수 있다.

2.7 상호접속 연결의 전용화 및 이중화

IPvIC 환경에서 사업자 간 음성 트래픽을 교환하기 위해서는 물리적인 상호접속 연결이 필요하며, 아울러 트래픽 분리 및 장애 대응을 고려한 논리적 구성과 이중화 여부는 통화 서비스의 안정성 및 가용성에 중요한 요소이다.

유럽의 대부분 국가에서는 사업자 간 직접적인 물리적 연결을 통해 음성 트래픽을 교환하는 방식을 취하고 있으며, 핀란드와 같이 음성 트래픽 전용의 교환 지점을 활용하는 방식이 적용되는 예외적

6) 음성 품질 중심의 QoS 파라미터로는 one-way delay, MOS(LQO), R-factor, 사용 코덱 등이 있으며, 통화 설정 과정과 관련된 QoS 파라미터에는 call set-up time, NER, ASR 등이 있다.

7) IP 트래픽 전송 특성과 관련된 QoS 파라미터로는 IP packet loss ratio, IP packet transfer delay, IP packet delay variation 등이 있으며, 일부 사례에서는 음성 트래픽과 시그널링 트래픽을 구분하여 각각 Expedited Forwarding 및 Assured Forwarding과 같은 class of service가 적용되고 있다.

인 사례도 확인된다. 이들 모두 음성 트래픽이 일반 인터넷 경로와 분리된 경로를 통해 전달되도록 운용되는 점에서, 기본적인 설계 방향은 동일하다고 볼 수 있다. 한편, 상호접속 경계에서 트래픽을 제어·관리하는 장비(SBC: Session Border Controller)에서도 예비 장비 구성이나 부하 분산 방식 등을 통한 이중화를 구현하는 사례가 다수 확인된다.

이와 같은 상호접속 연결의 전용화 및 이중화 구조는 일반적인 인터넷 접속 환경에 노출되는 것을 최소화함으로써, 보안 측면에서도 일정한 효과를 제공할 수 있다. 전술한 바와 같이 유럽의 사업자들은 인터넷 접속 경로를 통하지 않는 직접 상호접속 방식을 주로 채택하고 있으며, SBC 활용과 IP 주소 비공개 및 BGP 인증과 같은 보안 조치가 적용되고 있는 것으로 나타난다.

IV. IV. 국내 IPvIC 전환의 현안과 과제

1. TDMvIC 존속과 점진적 이행

IP 기반 네트워크로의 전환 국면에서 국내 음성망은 PSTN 기반 설비가 병존하고 있으며[24], 음성 상호접속 역시 TDM 기반 방식이 현행법 제도상 기준으로 적용되고 있다(전기통신설비의 상호접속 기준). 이와 같은 구조는 기존 PSTN 인프라에 대한 투자비 회수 문제, 서비스 연속성 확보의 필요성, 초기 전환비용 부담 등이 복합적으로 작용할 수 있어 IPvIC로의 전환에 영향을 미치는 현실적 요인이 될 수 있다.

특히 기술적·경제적 여건에 따라 사업자별 이해관계가 상충하는 국내 제반 사정을 고려할 때, 일정 기간 TDMvIC와 IPvIC의 병행이 불가피할 것으로 전망된다. 또한, 이 과정에서 추가 비용 부담과 사업자 간 전환 속도 불균형 등의 문제가 발생할 가

능성이 농후하다. 따라서 장기적인 로드맵을 통해 TDMvIC 종료 시점에 대한 예측 가능성을 제고하고, 사업자들의 IPvIC 전환을 점진적으로 유도하는 정책적 고려가 필요하다.

2. 상호운용성 확보와 표준화

IPvIC 구현 방식은 기술적·운영적 측면에서 다양할 수 있다. 특히 신호 프로토콜, 번호대역, 접속방식 등 인터페이스 요소에서의 사업자 간 사전 협의는 IPvIC 전환 과정에서 상호운용성 확보를 위한 가장 이상적인 해결책이 될 수 있다. 상호운용성이란 서로 다른 서비스 제공자가 운영하는 네트워크 간 원활한 연결을 보장하기 위해 공통적인 기술적 표준이나 운영 규칙을 준수하는 능력을 의미하며[25], IPvIC 환경에서 안정적인 음성 서비스 제공을 위해 필수적으로 확보되어야 할 요소이다. 그러나 사업자 간 원만한 협의를 기대할 수 없거나 일부 사업자가 IPvIC 제공을 거부하는 행위가 만연할 경우 서비스 품질 저하 및 불공정 경쟁 상황이 초래될 우려가 있어 이는 All-IP 기조에 역행한다고 할 수 있다.

유럽의 여러 국가에서는 기본적으로 사업자 간 협상을 통해 상호운용성을 유도하고 있으며, 표준 상호접속협정서(RIO: Reference Interconnection Offer)를 통해 상호접속 조건을 사전에 정형화하거나 국가 차원의 기술 표준을 마련하는 방식이 병행되고 있다. 다만 협상이 원활하게 이루어지지 않는 경우 NRA가 개입할 수 있도록 제도적 장치를 마련하고 있으며[26],⁸⁾ 일부 국가에서는 IPvIC 전환 지연에

대응하여 경제적 부담을 수반하는 조치가 이루어지기도 하는 등 국가마다 규제 환경의 차이에 기인하여 다양한 정책을 추진하고 있다.

IPvIC 전환 국면에서 우리나라 또한 상호운용성 확보를 유도하기 위한 정책적 접근 방향에 대한 검토가 요청된다. 최근 정부 주도하에 협의체를 구성하여 IPvIC 관련 기술 표준 정립에 대한 논의가 추진되고(음성 IP화 기술작업반), 이 과정에서 한국정보통신기술협회(TTA)의 표준화 제정 절차에 따라 관련 기술 규격에 대한 정비가 진행되고 있다. 이러한 논의의 연장선에서 상호운용성 확보 및 실행 단계에서의 다양한 상황을 대비한 정책적 대응 수단과 제도적 장치의 마련에 대한 검토가 필요하다.

3. QoS 보장과 서비스 품질 관리

서비스 품질(QoS: Quality of Service)이란 통신 서비스에서 사용자가 이용하게 될 서비스의 품질 척도라고 정의된다[27]. 이는 고객 만족도를 결정하는 서비스 성능의 종합적인 효과로서, 서비스 제공자와 사용자 관점에서 모두 고려되는 광의의 개념으로 사용되고 있다[28]. 이러한 QoS 개념은 음성 서비스에서도 동일하게 적용될 것인바, 이 경우 지연 시간(Latency), 지터(Jitter), 패킷 손실률(Packet Loss) 등이 주요 요소로 고려될 수 있다.

기존 TDM 기반의 기술은 회선 교환 방식을 활용하여 고정된 대역폭으로 안정적인 고품질의 음성 서비스를 제공할 수 있었다[8]. 그러나 IP 기반 최선형 네트워크 환경에서는 콘텐츠와 무관하게 모든 트래픽이 패킷 단위로 다양한 경로를 통해 처리되므로, 서비스 품질이 보장되지 않는 등 예견할 수 없

8) 예컨대 2020년 12월 21일 발효된 유럽 전자통신법(EECC: European Electronic Communications Code) (Directive (EU) 2018/1972)을 반영한 독일의 개정 통신법(Telekommunikationsgesetz, TKG) 제21조에 의하면, 연방네트워크청(BNetzA: Bundesnetzagentur)이 종단 간 상호운용성 확보를 위해 최종이용자에 대한 접근을 통제하는 사

업자에게 접근·상호접속 관련 의무를 부과할 수 있는 권한을 규정하고 있다(https://www.gesetze-im-internet.de/tkg_2021/index.html#BJNR185810021BJNE002700000).

는 기술적 이슈가 발생할 가능성이 제기된다. 이에 국내 IPvIC 전환 논의에서는 QoS를 특정 성능 지표의 일률적인 수치 기준으로 규제하기보다 음성 품질 저하를 관리 가능한 형태로 통제할 수 있는 네트워크 운영자의 기술적 대응 및 QoS 정책을 구체화하는 방안이 고려될 필요가 있다.

실제 음성 IP화 기술작업반 운영 과정에서는 유럽의 IPvIC 논의와 유사하게 서비스 품질을 사업자 간 협의의 대상으로 다루는 방향으로 의견이 모였다. 논의 과정에서 이종망 간 음성 IP 상호접속을 위해 시그널링과 미디어를 분리한 VxSG·VxMG 기반 연동 구조가 설계되었고, 음성 품질과 밀접하게 연관된 미디어 처리 관련 기술 사양이 ITU-T 국제 표준에 따라 규격화되었다. 특히 코덱 불일치나 DTMF 처리와 같이 서비스 동작 및 품질에 영향을 미칠 수 있는 기능을 발신 사업자 측 연동 장비에서 처리하도록 하는 등 기본적인 책임 분담 원칙이 표준에 반영되었으며, 구체적인 적용 방식은 여전히 사업자 간 협의에 따라 결정될 사안으로 남아 있다.

4. 보안 및 네트워크 안정성 확보

IP 환경에서의 보안 및 네트워크 안정성 확보는 서비스 신뢰성과 직결되는 중요한 요소이다. 기존의 TDM 기반 통신망은 전용 회선과 폐쇄적 구조로 인해 외부 공격이나 취약점 노출 위험이 상대적으로 낮았던 반면, IP 기반으로 전환되면서 개방형 인터넷 프로토콜 환경의 특성상 다양한 보안 위협에 직면하게 되었다[29]. 사이버 보안은 디지털 사회가 당면한 주요 과제로서 네트워크의 모든 계층에 걸쳐 요구되는데, 즉 인증·암호화·접근통제와 같은 보안 메커니즘은 다양한 전송 기술 기반의 음성 및 데이터망과 차세대 융합 네트워크 전반에 적

용될 수 있다[30]. 이러한 맥락에서 ITU-T X.1205 권고안은 서비스 거부(DoS)나 분산 서비스 거부(DDoS) 공격, 세션 하이재킹, IP 스푸핑과 같은 다양한 위협에 노출될 수 있음을 지적한 바 있으며[30], SIP(Session Initiation Protocol) 등 신호 프로토콜 기반의 IPvIC 전환 과정에서도 이에 대한 대비가 요구된다. 이에 따라 SBC와 같은 경계 장비의 활용, 인증·암호화·접근통제 강화, 트래픽 분산 및 이중화 등 기술적·운영적 조치가 필요하다.

한편, IP 기반 네트워크 하에서는 과도한 트래픽이 유발되어 특정 상호접속 지점에 집중될 경우, 네트워크 전반에 안정성이 저해될 수 있다. 네트워크 안정성은 본질적으로 서비스의 신뢰성과 밀접한 관련이 있으며, 이는 지연, 지터, 패킷 손실 등으로 구체화되는 QoS 구성 요소를 통해 평가될 수 있다[23,31]. 이와 관련하여 ITU-T Y.1541 권고안은 IP 기반 환경에서도 음성 서비스가 원활히 제공될 수 있도록 서비스 유형별 지연·지터·손실의 허용 한계를 제시한 국제 표준을 마련하고 있다[32]. 이는 네트워크 안정성 확보를 정량적으로 평가하고 정책 수립 시 참조 기준으로 활용될 수 있다. 나아가 IPvIC 환경에서는 이와 같은 성능 목표 달성을 위해 네트워크 자원의 효율적 활용과 트래픽 분산을 위한 기술적·운영적 조치가 병행되어야 한다.

V. 결론

유럽의 사례는 IP 기반 음성 상호접속으로의 이행이 단순한 기술 교체를 넘어 상호접속 구조의 재편, 서비스 품질 관리 방식의 전환, 보안 및 네트워크 안정성 확보 등 다양한 요소가 유기적으로 결합된 종합적 과제임을 보여준다. 특히 국가적 차원에서 RIO나 기술 표준을 통해 기본적인 규율체계를 마련하되, 실제 운용 과정에서는 사업자 간 협의를

통해 세부 사항을 조정해 나가는 접근이 이루어졌다는 점에 특징이 있다. 이러한 경향은 미국, 일본, 호주 등 주요 국가에서도 공통으로 나타나며, IPvIC 전환이 단일한 규제가 아니라 각국의 통신 환경과 시장 구조에 따라 다양한 방식으로 구현되고 있음을 시사한다.

한편 규제 당국의 개입 수준이나 사업자 간 협의 중심의 전환 방식 등 정책적 접근 방식에서는 국가마다 차이를 보인다. IPvIC 전환이 기술적 필연성에 기반하면서도 그 이행 방식은 제도적·경제적 여건에 따라 달라질 수 있음을 의미한다. 특히 기존 PSTN 기반 인프라의 투자비용 회수, 상호운용성 확보, 서비스 품질 및 안정성 유지 등은 공통으로 고려되어야 할 핵심 과제로 확인된다. 이러한 점에서 IPvIC 전환은 단기간에 조처될 사안이 아니며, 상호 접속 구조의 제반 사정을 고려하여 단계적으로 추진될 필요가 있다.

이와 같은 맥락에서, 국내에서도 국가 주도하에

음성 IP화 작업반을 발족하여 IPvIC 전환을 위한 기술·정책적 논의 및 표준화 작업이 착수되었으며, 기존 VoLTE 연동 표준을 기초로 새로운 망 연동 구조와 기본적인 기술 사양에 대한 제도적 기반이 점진적으로 마련되고 있다. 이는 국제 표준을 단순히 수용하는 데 그치지 않고, 국내 상호접속 환경의 특성을 반영한 운용 원칙을 모색해 왔다는 점에서 의의가 있다.

다만, 실제 상호접속 환경에서의 기술 적용과 세부 조율에 대해서는 여전히 사업자 간 지속적인 보완이 필요한 부분이다. 이 과정에서 IPvIC 전환의 속도와 범위는 사업자별 이해관계와 정책 환경에 따라 상이하게 전개될 가능성이 있으며, 과도기적 병행 운영의 장기화에 따라 비용 부담과 서비스 안정성 측면에서 상충할 우려의 여지가 있다. 따라서 향후 IPvIC 전환 정책은 기술적 타당성뿐만 아니라 사업자 간 이해관계 조정과 단계적 이행 전략을 함께 고려하는 방향으로 설계될 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Plum Consulting, "Preparing the UK for an All-IP future: experiences from other countries," Plum Consulting Report, Dec. 2018, pp. 1-68.
- [2] ITU-T, "Packet-based multimedia communications systems," ITU-T Recommendation H.323(V8), 2022. 3. <https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=H.323>
- [3] GSMA, "Packet Voice Interworking for Mobile Service Providers," GSMA White Paper, 2008. 7, pp. 1-19. <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/public-policy/>
- [4] GSMA, "IR.92 IMS Profile for Voice and SMS," Version 21.0, 2025. 1. 27, pp. 1-77. https://www.gsma.com/newsroom/gsma_resources/ir-92-ims-profile-for-voice-and-sms-20-0/
- [5] 뉴시스, "韓 ICT 기술, 세계 1위 미국과 1년 차이…빅데이터·자율주행차 성장," 2024. 3. 10. https://www.newsis.com/view/NISX20240310_0002654952
- [6] BEREC, "Case Studies on IP-based Interconnection for Voice Services in the European Union," Body of European Regulators for Electronic Communications, BoR(15) 196, 2015. 11, pp. 1-74. <https://www.berec.europa.eu/en/document-categories/berec/reports/case-studies-on-ip-based-interconnection-for-voice-services-in-the-european-union>
- [7] 이상우, "IP기반서비스 원가산정 및 정산방안 연구," 방송통신정책연구, 2010, pp. 1-221.
- [8] 정훈, "IP 상호접속과 접속료 제도," 방송통신정책, 제25권 제12호, 2013, pp. 1-20.
- [9] American Council for Technology-Industry Advisory Council (ACT-IAC), "Accelerating Network Modernization: Lessons from TDM to Next-Gen Connectivity," 2025. 4. 17, pp. 1-9. <https://www.actiac.org/documents/accelerating-network-modernization-lessons-tdm-next-gen-connectivity>
- [10] Office of Communications (Ofcom), "Future of interconnection and call termination," 2019. 4. 11, pp. 1-52. <https://www.ofcom.org.uk/phones-and-broadband/phone-numbers/future-of-interconnection-and-call-termination>

- [11] Federal Communications Commission (FCC), "Advancing IP Interconnection; Accelerating Network Modernization; Call Authentication Trust Anchor," FCC 25-73, 2025. pp. 1-48. <https://www.fcc.gov/document/facilitating-successful-transition-all-ip-interconnection-0>
- [12] 岡本康史, "PSTNマイグレーションの最新動向," ITUジャーナル, vol. 49, no. 11, 2019, pp. 13-16. https://www.ttc.or.jp/application/files/2715/7414/9612/2019_11-2_Spot_PSTNmigration.pdf
- [13] Australian Competition and Consumer Commission (ACCC), "Public inquiry into the declaration of the domestic transmission capacity service and fixed line services," 2024. 3, pp. 1-113. <https://www.accc.gov.au/by-industry/regulated-infrastructure/regulatory-projects/public-inquiry-into-the-declaration-of-the-domestic-transmission-capacity-service-fixed-line-services-and-domestic-mobile-terminating-access-service/final-report-dtcs-and-fixed-line-services>
- [14] Ciena, "Why the Time Is Now to Transition TDM to IP," FierceTelecom, 2019, pp. 1-9. https://www.ciena.kr/insights/white-papers/why-the-time-is-now-to-transition-tdm-to-ip_ko_KR.html?utm
- [15] 情報通信審議会, "IP網への移行の段階を踏まえた接続制度の在り方 ~ IP網への移行完了を見据えた接続制度の整備に向けて ~," 最終答申, 2021. 9. 1, pp. 1-102. https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban03_02000736.html
- [16] P.Y. Potelle, "IP interconnection for fixed voice services," Cullen International, 2021. 12. 22. <https://www.cullen-international.com/client/site/documents/CTTEEU20210152>
- [17] Communications Alliance, "G672:2023 Session Initiation Protocol (SIP) Interconnection," 2023. <https://www.austelco.org.au/publication/g672/>
- [18] IETF, "SIP: Session Initiation Protocol," 2002. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3261>
- [19] 3GPP, "IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2," 3GPP Technical Specification (TS) 23.228, Release 19, Version 19.5.0, 2025. <https://www.3gpp.org/Dynareport/23228.htm>
- [20] ITU-T, "Interworking between session initiation protocol (SIP) and bearer independent call control protocol or ISDN user part," ITU-T Recommendation Q.1912.5, 2018. <https://www.itu.int/rec/T-REC-Q.1912.5>
- [21] IETF, "RTP Payload for DTMF Digits, Telephony Tones, and Telephony Signals," IETF Request for Comments (RFC) 2833, 2000. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2833>
- [22] IETF, "RTP Payload for DTMF Digits, Telephony Tones, and Telephony Signals," IETF Request for Comments (RFC) 4733, 2006. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4733>
- [23] P. Ferguson and G. Huston, "Quality of Service on the Internet: Fact, Fiction, or Compromise?," in Proc. INET'98, (Geneva, Switzerland), 1998, pp. 1-31. <https://www.potaroo.net/papers/1998-6-qos/qos.pdf>
- [24] 정선구 외, "PSTN 종료 관련 해외 주요국 동향과 국내 현황," 전자통신동향분석 제35권 제6호, 2020, pp. 68-77.
- [25] GSMA, "IR.34 Guidelines for IPX Provider Networks," Version 19.0, 2024. 6. 11, pp. 1-58. <https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads//IR.34-v.19.pdf>
- [26] European Parliament and Council, "Directive (EU) 2018/1972 establishing the European Electronic Communications Code (EECC)," Official Journal of the European Union, L 321, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/1972/oj>
- [27] 정보통신용어사전. <http://word.tta.or.kr/main.do>
- [28] 정옥조 외, "VoIP 서비스를 위한 음성 품질 평가 기술 동향," 전자통신동향분석 제19권 제3호, 2004, pp. 136-144.
- [29] B. Sweeney and D. Wijesekera, "Comparison of IPsec to TLS and SRTP for Securing VoIP," in Proc. Int. Workshop Security Inf. Syst., (Madeira, Portugal), 2007, pp. 82-92. doi: 10.5220/0002433500820092
- [30] ITU-T, "Overview of cybersecurity," ITU-T Recommendation X.1205, 2008. 4, pp. 1-55. <https://www.itu.int/rec/T-REC-X.1205-200804-l/en>
- [31] P.K. Mishra et al., "QoS Analysis in Data Network: Stability, Reliability, QoS Invoke Rate Perspectives," in Proc. Int. Conf. Adv. Mobile Commun. Network. Comput., (New Delhi, India), 2017, pp. 107-111. <https://home.iitk.ac.in/~yensingh/papers/MCNC2017-114-118.pdf>
- [32] ITU-T, "Network performance objectives for IP-based services," ITU-T Recommendation Y.1541, 2002. 5, pp. 1-26. <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541-200205-5/en>