

5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석

¹ 고아름, ² 지일환, ³ 진호준, ⁴ 전승호, ^{5*}서정택

Comparative Analysis on Network Slicing Techniques in 5G Environment

¹A Reum Ko, ²Ilhwan Ji, ³Hojun Jin and ⁴Seungho Jeon, ^{5*}Jung Taek Seo

요약

네트워크 슬라이싱 (network slicing)은 네트워크 인프라를 여러 개로 분할하는 기술을 의미한다. 네트워크 슬라이싱은 네트워크 분할에 들어가는 물리적 자원을 최소화하면서, 유연한 네트워크 구성을 가능하게 한다. 이러한 이유로 최근 네트워크 슬라이싱 기술은 대규모 네트워크 환경의 효율적인 관리를 위해 5G 환경에 적합한 형태로 개발 및 도입되었다. 하지만, 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구에 대한 체계적인 분석이 이루어지고 있지 않아 해당 기술에 대한 체계적인 분석이 부족한 실정이다. 이에 본 논문에서는, 5G 네트워크 환경에서의 네트워크 슬라이싱 기술에 대한 비교 분석을 수행함으로써 해당 기술에 대한 통찰을 제공한다. 본 연구의 비교 분석에서는 체계적인 절차를 통해 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱에 대한 13개의 문헌을 식별하고 비교 분석하였다. 분석 결과, 5G 네트워크를 대상으로 자주 사용되는 3가지 네트워크 슬라이싱 기술인 RAN(radio access network) 슬라이싱, CN(core network) 슬라이싱, E2E(end-to-end) 슬라이싱은 확인하였으며, 이러한 기술은 주로 네트워크 서비스 품질 향상과 네트워크 격리를 달성하기 위해 연구되고 있음을 확인했다. 본 비교 분석 연구 결과는 앞으로의 네트워크 슬라이싱 연구 방향과 활용방안으로서 6G 기술 연구에도 기여할 수 있을 것이라고 판단한다.

Abstract

Network slicing refers to a technology that divides network infrastructure into multiple parts. Network slicing enables flexible network configuration while minimizing the physical resources required for network division. For this reason, network slicing technology has recently been developed and introduced in a form suitable for the 5G environment for efficient management of large-scale network environments. However, systematic analysis of network slicing research in the 5G environment has not been conducted, resulting in a lack of systematic analysis of the technology. Accordingly, in this paper, we provide insight into network slicing technology in the 5G network environment by conducting a comparative analysis of the technology. In this study's comparative analysis, 13 literatures on network slicing in the 5G environment was identified and compared and analyzed through a systematic procedure. As a result of the analysis, three network slicing technologies frequently used for 5G networks were identified: RAN (radio access network) slicing, CN (core network) slicing, and E2E (end-to-end) sliding. These technologies are mainly used for network services. It was confirmed that research is being conducted to achieve quality improvement and network isolation. It is believed that the results of this comparative analysis study can contribute to 6G technology research as a future direction and utilization plan for network slicing research.

Keywords: 5G, Network slicing, RAN Slicing, Core Network slicing, End-to-End slicing

¹ 가천대학교 컴퓨터공학과 학부과정(ko6103@gachon.ac.kr)

² 가천대학교 정보보호학과 석사과정(ilhwan1013@gachon.ac.kr)

³ 가천대학교 정보보호학과 석사과정(jin41784@naver.com)

⁴ 가천대학교 컴퓨터공학부 스마트보안전공 교수(shjeon90@gachon.ac.kr)

^{5*}가천대학교 컴퓨터공학부 교수, 교신저자(seojt@gachon.ac.kr)

I. 서론

네트워크 슬라이싱 (network slicing)은 네트워크 인프라를 여러 독립적인 네트워크 슬라이스로 분할하는 기술을 의미한다[1]. 분할된 각 슬라이스는 특정한 용도나 서비스를 위해 맞춤화된 네트워크 환경을 제공하며, 자체적인 네트워크 아키텍처, 관리 및 운영 기능을 가질 수 있다. 네트워크 슬라이싱은 네트워크 분할에 들어가는 물리적 자원을 최소화하면서, 유연한 네트워크 구성을 가능하게 한다. 스마트 시티의 경우 대규모 네트워크에 대한 네트워크 슬라이싱을 통하여 차량 네트워크, 산업망, 헬스 케어 등과 같이 여러 독립망을 구성한다[2]. 최근 5G 네트워크의 도입으로 인해, 네트워크 슬라이싱은 다양한 유형의 트래픽 처리 및 다양한 서비스를 지원하도록 개발되고 있다 [3]. 이러한 변화의 핵심은 RAN (radio access network) 및 CN (core network) 구조에 대한 네트워크 슬라이싱 기술의 도입이다.

4G 네트워크 슬라이싱은 공통 인프라 내에서 주로 서비스나 사용자 그룹을 격리하는 방식으로 구현된다. 이러한 격리는 APN(access point name) 라우팅, MOCN(multi-operator core network), DÉCOR(dedicated core network)와 같은 기술을 사용하여 이루어진다[4]. 반면, 5G 네트워크 슬라이싱은 단일 물리적 네트워크 인프라 위에 여러 개의 독립적인 가상 네트워크를 생성하는 방식으로 구현된다. 이러한 기술을 통해 5G 환경의 특징인 eMBB(enhanced mobile broadband), URLLC(ultra-reliable low-latency communications), mMTC(massive machine-type communications)를 만족시킨다.

이와 같이, 네트워크 슬라이싱 기술이 대규모 네트워크 관리에 핵심적인 기술로 채택되고, 활용이 증가하고 있으나, 아직 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 기술 동향에 대한 체계적인 비교 분석이 이루어지고 있지 않다. 이러한 이유로, 네트워크 슬라이싱 기술의 빠른 발전 속도에 비해, 기술의 발전 방향과 기존 연구의 장단점 등을 파악하기 어려운 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 네트워크 슬라이싱 기술에 대해 비교 분석을 수행함으로써, 5G 네트워크 슬라이싱 기술에 대한 통찰을 제공한다. 이를 위하여, 본 비교 분석은 5G 네트워크 환경에서 주로 사용되는 네트워크 슬라이싱 기술의 유형과 사용 목적 등에 대한 분석을 목표로 한다.

본 논문에서는 네트워크 슬라이싱 기술의 비교 분석을 위하여 체계적 문헌 고찰을 통해 관련 연구 문헌을 선정하고 비교 분석하였다. 체계적 문헌 고찰은 지정된 연구 대상 혹은 분야에 대한 연구 질의에 대해 답변을 제공하거나, 깊은 이해를 위한 연구 방법론이다. 이를 위하여, 연구 목적 설정 및 관련 문헌 검색, 문헌 식별, 데이터 수집, 문헌 비교 분석 결과에 대한 해석 절차를 정의한다. 본 비교 분석에서는 5G 네트워크 환경에서 네트워크 슬라이싱 기술에 대한 3 가지 연구 질의를 정의하고, 해당 질의에 답변하기 위해 적합한 문헌 선정 기준을 설정했다. 또한, 문헌 선정 기준에 부합하는 여러 공인된 학술 데이터베이스로부터 관련 문헌을 수집하고, 저자 간 교차 검증 등을 통해 비교 분석에 포함시킬 문헌들을 식별했다. 그 결과, 13 개의 5G 네트워크 슬라이싱 관련 연구를 비교 분석하였으며, 이에 대해 네트워크 서비스 품질 향상과 네트워크 격리 관점에서 비교 분석을 수행했다. 분석의 마지막에는 식별된 문헌에 대한 비교 분석 결과를 바탕으로, 앞서 정의한 3 가지 연구질의에 대한 답변과 함께 기술 분석 결과를 제공한다.

본 논문의 2장에서, 비교 분석할 문헌들에 대한 조사 범위를 설정했다. 이 장에서는 연구 질의 및 문헌 적합도 기준, 문헌 수집 소스, 데이터 추출 양식, 편향 제어 방법이 제시된다. 3 장에서는 조사 결과가 문헌 식별 과정 및 식별된 문헌에 대한 요약, 문헌 통계와 함께 문헌에 대한 분석이 제공된다. 4 장에서는 비교 분석결과에 대한 논의가 이루어지며, 마지막으로 5 장에서 결론과 함께 본 비교 분석을 마무리한다.

II. 조사 분석 범위 정의

체계적 문헌 고찰은 명확하고 반복적인 방법을 사용하여 간단한 연구 질문을 설정하고 문헌을 검색, 식별, 선택 및 평가하는 2 차 연구 유형이다. 본 연구에서는 공학 연구를 비롯한 다양한 연구 분야에서 널리 사용되고 있는 PRISMA(systemic review and meta-analysis) [5] 가이드라인의 항목에 따라 문헌 검토를 진행하였다. PRISMA 체크리스트는 제목, 초록, 서론, 방법, 결과, 논의 그리고 기타까지 총 7 개의 섹션과 27 개의 주제로 구성되어 있다. 이는 문헌

비교 분석의 단계별로 수행해야 할 연구내용과 요구사항을 제시함으로써 전체 논문의 품질을 보장한다.

2.1 연구 질의 정의

문헌을 검토하기 전에 네트워크 슬라이싱 기술에 대한 최근 연구를 일관되게 비교 분석하기 위해 세 가지 연구 질의(research questions, RQ)을 정의했다. 연구 질의를 정의함으로써, 연구의 목표와 방향성을 명확히 하고, 식별된 문헌에 대한 비교 분석 기준 및 비교 분석 결과 해석의 기준이 된다.

- RQ1. 네트워크 슬라이싱 기술이 어떠한 환경에서 많이 사용되는가?
- RQ2. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 적용 목적은 무엇인가?
- RQ3. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 목적을 만족시키기 위한 기술적 메커니즘은 무엇인가?

2.2 문헌 적합도 기준 정의

본 작업은 2.1 에서 언급한 연구 질의와 관련된 최근 문헌을 식별하기 위해 여러 정보 출처에서 자격 기준을 충족하는 연구를 고려한다. 문헌 적합도 기준은 일관적으로 관련 분야의 문헌을 식별할 수 있게 하고, 문헌 비교 분석의 편향을 최소화할 수 있다. 또한, 문헌 적합도 기준을 정의함으로써, 문헌 비교 분석의 범위를 명확하게 설정하고, 재현성을 확보할 수 있다. 본 비교 분석에 포함된 문헌에 대한 적합도 기준은 다음과 같다.

- 영어로 작성된 문헌: 영어는 현대 과학, 공학 연구에서 가장 많이 사용되는 언어이기 때문에 검토할 문헌의 다양성을 보장한다.
- 사분위수 Q1, Q2 인 학술 저널이나 컨퍼런스에서 발표된 문헌: 이는 비교 분석할 문서의 기본 품질을 보장한다.
- 5G 환경에서 발생하는 네트워크 슬라이스 기술에 중점을 둔 연구를 비교 분석 대상으로 한다.
- 실험 등을 통해 검증이 이루어진 네트워크 슬라이스 기술을 제시한 문헌을 비교 분석 대상으로 한다.

2.3 문헌 수집 소스

본 논문은 Clarivate Analytics 가 제공하는 인용 색인 데이터 베이스인 Web of Science 와 네덜란드의 Elsevier 출판사가 2004 년에 만든 글로벌 학술논문 데이터베이스 플랫폼 인 Scopus 에서 2020 년 01 월 01 일부터 2023 년 08 월 31 까지 나온 문헌들만을 참고하였다. 또한 추가 문헌을 얻기 위해 Google Scholar 를 사용하였다. 해당 문헌 데이터베이스들은 네트워크 슬라이싱 기술이 사용되는 다양한 5G 환경과 네트워크 슬라이스가 발생할 때 중점적으로 고려되는 사항을 모두 다루기 위해 선택되었으며 종합적이고 체계적인 리뷰를 수행하기 위해 저자 간 교차 검증을 수행하였다.

2.4 데이터 추출 양식

본 논문은 다양한 5G 환경의 특징에 맞게 연구가 이뤄지고 있는 네트워크 슬라이싱 기술에 대하여 분석하고 각각의 환경에 적용되는 네트워크 슬라이싱 기술들의 특징을 알아보기 위해 수집된 문헌에서 환경과 제안하는 기술의 방법, 제안하는 기술의 목적 및 성능에 대하여 수집한다. 데이터 추출 양식을 정의함으로써, 식별된 문헌을 비교 분석하는 과정에서 정보 누락을 방지하고, 효율적인 비교 분석이 가능하다. 데이터 추출 양식은 식별된 문헌으로부터 일관성 있는 정보 수집과 다른 연구와 비교를 가능하게 하여 문헌 비교 분석의 투명성을 보장한다. 데이터 추출 양식에는 저자, 저자의 국적, 출판일, 저널/컨퍼런스, IF(impact factor),

Journal Quartile, 네트워크 슬라이싱 적용 환경, 네트워크 슬라이싱 기술 유형, 네트워크 슬라이싱 목적 등 다양한 정보가 포함된다.

2.5 편향 제어 기준 정의

본 논문은 저자 간 교차 검증을 통하여 비교 분석 대상 논문에 대한 편향(bias)을 제어한다. 문헌 비교 분석에 편향이 포함되어 있을 경우, 연구 결과에 대한 신뢰성을 떨어뜨리고, 잘못된 결론이 도출될 수 있다. 체계적 문헌 고찰은 연구 질의에 대한 객관적이고 공정한 답변을 제공해야 하기 때문에, 적절한 방법을 통해 편향이 제거되지 않을 경우, 특정 연구가 과대 혹은 과소 평가될 수 있다. 이러한 이유로 저자 간 교차검증이 수행되었으며, 이 과정은 문헌 내 다음의 내용이 포함되는지 확인한다.

- 네트워크 슬라이싱 기술 제안: 네트워크 슬라이싱 기술이 포함된 다른 기술 제안에 대한 연구가 아닌 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 기술을 제시하여야 한다.
- 네트워크 슬라이싱 기술 적용 환경: 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 위하여 네트워크 슬라이싱 적용 대상이 5G 환경임을 명시하여야 한다.
- 제안하는 네트워크 슬라이싱 기술의 목적: 본 기준은 네트워크 슬라이싱 기술이 어떻게 동작하고 어떤 목적을 가지고 수행되는지 이해하는 데 도움을 준다.

III. 조사 결과

3.1 문헌 식별 과정

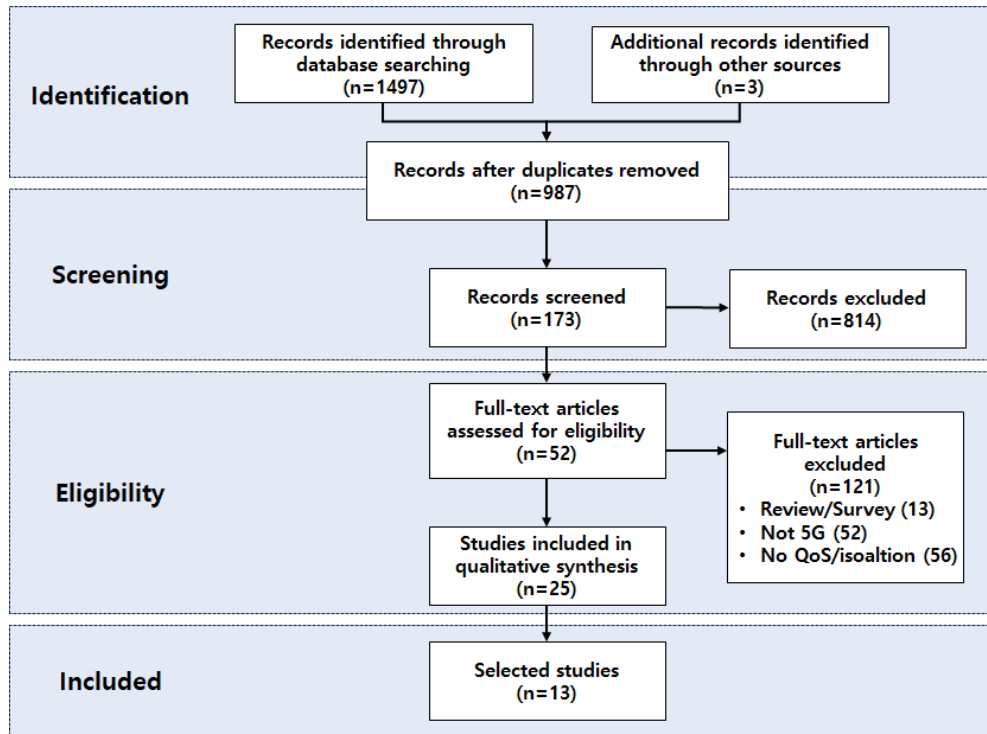


Figure 1. PRISMA flow chart

그림 1. PRISMA 흐름도

5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 기술연구 문헌 식별을 위하여 문헌 데이터베이스(Web of Science, Scopus 및 Google Scholar)에서 문헌 검색을 수행하였다. 2020 년 1 월부터 2023 년

8 월까지 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 기술을 조사한 문헌 1500 개가 확인되었다. 이는 Web of Science 에서 515 개, Scopus 에서 982 개, Google Scholar 에서 3 건을 선택한 결과이다. 선택된 문헌 중 EndNote 20 을 이용하여 513 개의 중복 문헌을 제거하였다. 이후, 제목 및 초록 필터링을 통해 총 814 개의 문헌을 제외하였고, 전반적인 논문 검토를 통해 121 개의 문헌을 추가로 제거하였다. 총 25 개의 문헌을 가지고 품질 평가를 진행하였다. 최종적으로, 2.2 절에 제시된 문헌 적합도 기준을 적용하여 13 개의 논문이 비교 분석 대상에 포함되었다. 그림 1 은 본 연구에서 비교 분석할 문헌 적합도 검사 과정을 나타낸 그림이다.

3.2 식별된 문헌에 대한 요약

표 1 은 조사한 문헌들을 요약한 표이다. ‘Environment’는 각 문헌에서 네트워크 슬라이싱 기술을 적용한 환경을 설명하며, ‘Objective’는 해당 문헌이 어떤 목적으로 네트워크 슬라이싱을 적용하였는지를 나타낸다. ‘Slicing Type’은 조사한 문헌에서 사용된 슬라이싱 기술 유형을 분류하고 있으며, ‘QoS (quality of service)’ 와 ‘Isolation’은 각 문헌에서 어떤 방법을 통해 QoS 와 격리를 달성하였는지를 표현한다.

Table 1. Summary of the identified literatures

표 1. 조사된 문헌 요약

Article	Environment	Objective	Slicing Type	QoS	Isolation
S. Abedin et al. [6]	IIoT	QoS	O-RAN Slicing	Elastic O-RAN Slicing Using Learning-Based Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG)	Not indicated
M. Setayesh et al. [7]	Cloud	QoS, Isolation	C-RAN Slicing	Algorithm of polynomial time complexity that can find suboptimal solutions of resource allocation problems	Radio resource allocation algorithm for eMBB and URLLC traffic
M. Liubogoshchev et al. [8]	Cloud	QoS, Isolation	RAN Slicing	DeSlice, a RAN slicing architecture that selects traffic-based slices for clients	DeSlice, Inter-slice scheduler that partitions resources and intra-slice scheduler that distributes resources.
A. Khan et al. [9]	IoT	QoS	E2E slicing	Mathematically formulated dynamic radio resource slice optimization algorithm	Not indicated
N. Yarkina et al. [10]	Not indicated	Isolation	RAN slicing	Not indicated	Priority-based service provision
F. William et al. [11]	Not indicated	QoS	CN slicing	Efficient entry control and resource allocation mechanism based on RL and DRL	Not indicated
Y. Chiu et al. [12]	Cloud	QoS	E2E slicing	Automated management and orchestration framework using cloud-native technologies and an open-source approach	Not indicated
H. Xiang et al. [13]	Not indicated	QoS	F-RAN Slicing	DRL-based solution to deal with interference in time-varying channels	Not indicated
S. Marinova et al. [14]	Cloud	QoS	E2E slicing	SDN-Enabled traffic shaping feature	Not indicated
A. Jalalian et al. [15]	Not indicated	Isolation	CN slicing	Not indicated	HBA-NS, a heuristic backtracking algorithm
M. Masoudi et al. [16]	Cloud	QoS	E2E slicing	Framework to monitor and manage cloud and radio resources	Not indicated
B.Yin et al.[17]	IIoT	QoS	E2E slicing	Power domain NOMA schema	Not indicated
R.Botez et al.[18]	Not indicated	QoS	E2E slicing	New algorithm based on A* algorithm	Not indicated

3.3 문헌 통계

표 2 는 문서 적합도 검사 과정을 통하여 선정된 문헌들의 출판 연도, 연구 특성 그리고 참고문헌의 유형을 보여준다. 문헌은 2020 년에서 2023 년까지 발간된 문헌에 대하여 고르게 수집하였다. 문헌 수집 결과, RAN 슬라이싱을 활용한 연구가 6 건, E2E 슬라이싱 6 건, CN 슬라이싱 2 건으로 RAN 슬라이싱과 E2E 슬라이싱 연구가 활발히 이루어지고 있는 것을 확인하였으며, 이러한 기술들은 주로 QoS 를 확보하기 위해 사용되었다. 또한, 포함된 문헌들의 유형은 컨퍼런스 프로시딩보다 저널 논문이 더 많은 비중을 차지했다.

Table 2. The number of identified studies, by year of publication, study characteristics, and reference types

표 2. 출판 연도별, 연구 특성 및 참조 유형별 조사된 연구 수

Year of study publication		The number of selected studies
2020		3
2021		3
2022		3
2023		4
Study characteristics		
Slicing technique	RAN slicing	5
	Core slicing	2
	End-to-End slicing	6
Objective	QoS	11
	Isolation	4
	Reference type	
Journal		11
Conference proceedings		2

3.4 네트워크 슬라이싱 유형

식별된 문헌에 대한 비교 분석 결과를 제시하기 전, 해당 문헌에서 사용한 네트워크 슬라이싱 기술의 유형에 대해 설명한다. 문헌 비교 분석 결과, 네트워크 슬라이싱은 해당 기술이 적용되는 네트워크 유형과 위치에 따라, RAN 슬라이싱 및 CN 슬라이싱, E2E(end-to-end) 슬라이싱 기술로 구분되는 것을 확인했다. RAN 은 이동 통신 시스템의 한 부분으로 무선 접속 기술로 구현되며, UE(user equipment)와 CN 간의 연결을 담당한다. CN 은 통신 네트워크의 중심부를 나타낸다[19]. 그림 2 의 전체적인 모습은 E2E 슬라이싱을 나타내며 E2E 슬라이싱은 RAN 슬라이싱과 CN 슬라이싱을 포함한다. 이러한 네트워크 슬라이싱을 통해 5G 네트워크 리소스의 유연한 분할을 실현하고 각각의 네트워크를 신속하게 네트워크 사용자의 요구사항에 만족시킬 수 있다[20]. 3.4.1~3.4.3 에서는 각 슬라이싱 기술에 대해 기술한다.

3.4.1 RAN 슬라이싱

RAN 슬라이싱은 디지털화되지 않았지만 여전히 슬라이싱이 가능하고 필요한 무선 채널 및 기타 요소를 처리하는 것을 의미한다[10]. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 2 건의 문헌이 RAN 슬라이싱 기술을 연구하고 있음을 확인하였다[8][10]. RAN 은 무선 인터페이스를 통해 다양한 유형의 UE 와 연결되며, 각 응용 프로그램의 테넌트 요구 사항에 따라 슬라이스 된다. RAN 슬라이싱의 주요 설계 측면에는 무선 자원 관리, 슬라이스 특정 승인 제어 정책, 제어 평면 및 사용자 평면 기능에 대한 구성 규칙, 그리고 다양한 서비스에 대한 RAN 구성에 대한 UE 인식이 포함된다[21]. RAN 슬라이싱은 무선 채널의 추가 확률성과 가변성, 사용 가능한 대역폭과 다양한 클라이언트의 처리량 간의 복잡한 관계를 가지고 있다[8]. RAN 슬라이싱은 무선 통신 링크에서의 서비스 품질 (QoS)을 관리하고, 무선 스펙트럼을 최적화하며, 각 슬라이스에 대해 지연시간, 처리량 과 같은 특정 서비스 요구사항을 충족시키는 데 중점을 둔다. RAN 슬라이싱은 C-RAN 슬라이싱, O-RAN 슬라이싱, F-RAN 슬라이싱과 같은 기술로 파생된다.

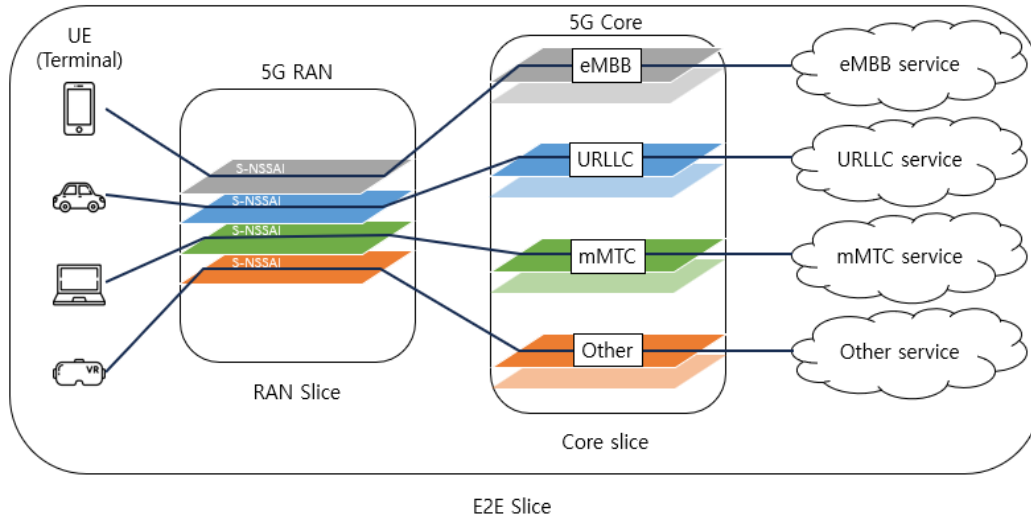


Figure 2. Overall Network Slicing Architecture
그림 2. 네트워크 슬라이싱 아키텍처

C-RAN(cloud-RAN)은 증가하는 최종 사용자의 요구 사항을 지원하면서 사업자가 직면하는 여러 가지 문제를 해결할 수 있는 새로운 모바일 네트워크 아키텍처이며[22], 클라우드 컴퓨팅 개념을 RAN에 통합한다[23]. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 C-RAN 슬라이싱 기술을 연구하는 1건의 문헌을 확인하였다[7]. C-RAN 슬라이싱은 C-RAN 아키텍처에서 C-RAN의 클라우드 자원을 활용해 RAN의 일부를 가상화 하여 특정 서비스나 요구사항에 맞게 독립적인 네트워크 슬라이스로 분리하는 기술을 의미한다. C-RAN 슬라이싱을 사용하여 모바일 네트워크 사업자는 공유 물리적 네트워크에서 네트워크 리소스를 가상화 할 수 있다[7].

O-RAN(Open-RAN)은 RAN 인터페이스와 소프트웨어를 개방형 표준으로 구축해 특정 네트워크 장비 제조사에 대한 종속성을 탈피하는 기술이다[24]. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 O-RAN 슬라이싱 기술을 연구하는 1건의 문헌을 확인하였다[6]. O-RAN 슬라이싱은 O-RAN 구조에서의 네트워크 슬라이싱을 말한다. O-RAN을 구축함으로써 네트워크 사업자는 IoT 환경에서 C-RAN에 비해 운영 비용을 크게 줄일 수 있고, O-RAN 슬라이싱을 통해 정책 기반 자원 관리 및 RIC(RAN intelligent controller) near-RT 기능을 시행하여 IIoT(Industrial Internet of Thing) 환경에 대해 원하는 성능 향상을 달성한다[6].

F-RAN(Fog-RAN)은 포그 컴퓨팅(fog computing) 개념을 RAN에 적용한 아키텍처이며, 5G 네트워크의 다양한 성능 요구사항을 해결하기 위해 광범위하게 연구되어 왔다 [13]. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 F-RAN 슬라이싱 기술을 연구하는 1건의 문헌을 확인하였다[13]. F-RAN 슬라이싱은 F-RAN의 특징을 활용하여 네트워크를 여러 가상의 네트워크로 분할하는 기술을 의미한다. F-RAN 슬라이싱을 통해 F-RAN에 무선 자원을 공동 할당하여 슬라이스 인스턴스의 성능을 향상시킬 수 있다.

3.4.2 CN 슬라이싱

CN 슬라이싱은 통신 네트워크의 중앙 부분에서 이루어지는 네트워크 슬라이싱 기술로, 세션 관리 기능, 사용자 평면기능, 접속 및 이동성 관리 기능과 같은 CN의 주요 기능은 SLA(service level agreements) 요구 사항에 따라 네트워크 슬라이스에 할당된다[15]. 해당 과정을 통해 서비스 제공 업체는 특정 서비스 또는 고객 그룹에 맞춤형 환경을 제공하고, 서비스 품질을 조정하며, 다양한 비즈니스 및 시장 요구에 따라 신속하게 대응할 수 있게 된다. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 2건의 문헌이 CN 슬라이싱 기술을 연구하고 있음을 확인하였다[11][15]. CN 슬라이싱은 특정 응용 프로그램과 관련된 코어 네트워크 기능을

중점적으로 다룬다. 슬라이스를 설계할 때는 제어 평면과 사용자 평면 기능 간의 논리적 분리와 함께 구현된 VNF(virtual network function)간의 논리적 분리를 고려해야 하며, CN 자원은 서버, 가상 머신, 컨테이너 또는 하드웨어 요소를 통해 슬라이스 될 수 있다[21]. CN 슬라이싱은 슬라이스 간의 격리로 보안을 강화하며, 잠재적인 위협이 전체 네트워크로 확산되는 것을 방지한다[25]. CN 슬라이싱의 이러한 구조는 효율적인 자원 할당과 관리를 가능하게 하고, 가상화 기술을 통해 기존의 물리적 인프라 위에서 더욱 유연한 네트워크 구성을 가능하게 하며, 서비스 제공 업체에게 신속한 서비스 개발 및 배포를 가능하게 한다[26]. 그 결과, CN 슬라이싱은 네트워크의 확장성을 향상시키고 5G 와 같은 차세대 통신 기술과의 통합을 지원하며, 사용자 중심의 효율적이고 유연한 네트워크 관리와 운영을 가능하게 하고, 현대 통신 네트워크의 주요 구성 요소로서의 역할을 담당한다[27].

3.4.3 E2E 슬라이싱

E2E 슬라이싱은 UE(user equipment), RAN, CN 를 포함하여 네트워크 전체를 아우르는 슬라이싱 기술을 의미하며, 5G 지원 요소인 SDN(software defined network)과 NFV(network function virtualization)를 기반으로 구축된 개념이다[9][14][18]. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 6 건의 문헌이 E2E 슬라이싱 기술을 연구하고 있음을 확인하였다[9][12][14][16][17][18]. 모바일 운영자는 네트워크 기능을 조율하고 사용자 서비스를 네트워크 리소스와 연결하여 SLA 요구 사항에 따라 E2E 슬라이스를 생성한다[16]. 기존 E2E 슬라이싱 프레임워크는 클라우드를 수용하지 않아 현재 클라우드 네이티브 E2E 슬라이싱 기술이 연구되고 있다[12]. 그림 2 에서 RAN 슬라이스들이 S-NSSAI(single-network slice selection assistance information)로 구분되고 있다. 이는 국제 표준기관인 3GPP(3rd generation partnership project)에 의해 정의된 특정 네트워크 슬라이스를 식별하기 위한 식별자로 E2E 슬라이싱을 달성하는 데 필수적이다. E2E 슬라이싱은 전체 네트워크의 유기적인 구성을 통해 끊임없는 연결성을 제공하며, 서비스 수준의 요구 사항에 따라 전체 특성을 조정할 수 있다[28]. 이는 대역폭, 지연시간, 신뢰성 등의 측면에서 일관된 서비스 품질을 제공함으로써 산업 자동화, 자율 주행 차량, 헬스케어와 같은 혁신적인 응용 분야를 가능하게 하며, 사용자의 요구에 따라 맞춤형 서비스를 가능하게 한다. 또한 서로 다른 네트워크 계층 및 기술 간의 통합 관리를 통해 전체 네트워크의 효율성과 유연성을 극대화하고, 네트워크 자원의 최적화 사용을 가능하게 한다[29]. 이러한 E2E 슬라이싱은 네트워크 제공자에게 기존 인프라 위에서 새로운 서비스를 빠르고 경제적으로 구축하고 배포할 수 있는 유연성을 제공한다. 또한 E2E 슬라이싱은 보안 및 격리 기능을 통해 다양한 서비스와 사용자 그룹 간의 상호 작용을 통제하며, 공동 사용 네트워크 환경에서도 각 슬라이스가 서로 독립적으로 운영되도록 보장한다[30].

3.5 네트워크 슬라이싱 목적

3.5.1 QoS 향상

QoS 란 사용자나 애플리케이션의 요구사항을 만족시키기 위한 네트워크에서 데이터 전송 및 서비스 제공의 품질 수준을 나타낸다[31]. QoS 는 다양한 서비스와 애플리케이션들이 네트워크를 공유할 때 서로의 성능에 영향을 주지 않도록 트래픽을 관리하고 필요에 따라 우선순위를 부여함으로써 특정 서비스에 더 나은 품질을 보장하는 데 중요한 역할을 한다[32]. QoS 를 보장하기 위해서는 QoS 프로비저닝(provisioning)이 요구된다 [33]. QoS 프로비저닝은 요구사항 정의, 자원 할당, 스케줄링 및 우선순위 설정, 모니터링 및 조정, 정책 관리 단계로 이루어진다. QoS 프로비저닝을 통해 QoS 를 제공함으로써, 지연 시간 감소, 대역폭 관리, 패킷 손실 제어, 서비스 우선순위 부여와 같은 이점들을 얻을 수 있다.

조사한 문헌들 중 S. F. Abedin 등 [6]은 Q-학습과 policy gradient 를 결합하여 해당 QoS 제약 조건으로 자원 할당문제를 해결하는 DDPG(deep deterministic policy gradient)를 포함하는 O-RAN 슬라이싱을 설계하였다. DDPG 란 구글 딥마인드(Deep Mind)에서 개발한 모델로 DQN 을 개선한 Model-Free Reinforce Learning 중 하나의 학습 방법이다[34]. M. Setayesh 등 [7]은 QoS 를 보장하기 위해 자원 할당 문제를 혼합 정수 비선형 프로그램으로 공식화하여 C-RAN 에서

eMBB 와 URLLC 네트워크 슬라이스의 자원 할당을 하는 알고리즘을 개발하였다. M. Liubogoshchev 등 [8]은 클라이언트에 대한 트래픽 기반 슬라이스 선택을 하여 QoS 및 QoE (quality of experience) 요구사항을 충족하는데 도움을 주는 RAN 슬라이싱 아키텍처인 DeSlice 를 제안하였다. 클라이언트에 대한 트래픽 기반 슬라이스 선택은 슬라이스 내 RRM(radio resource manager)에서 자원 할당 정보를 얻고, 슬라이스 간 스케줄러에서 가상화된 채널상태 정보를 얻는다. 그 후 선택한 정책에 따라 각 가상 자원 요소에 가장 적합한 클라이언트를 선택한다. A. Khan 등 [9]는 높은 신뢰성과 낮은 대기시간의 QoS 프로비저닝을 제공하기 위해 수학적으로 공식화된 동적 무선 자원 슬라이스 최적화 알고리즘을 사용하는 E2E 네트워크 슬라이싱 프레임워크를 제시하였다. F. William 등 [11]은 5G 사용 사례마다 다른 QoS 요구사항을 충족시키기 위해 5G 코어 네트워크 슬라이싱에 대해 강화학습과 심층강화학습을 기반으로 하는 효율적인 입장제어 및 자원 할당 메커니즘을 제시하였다. Y.-S. Chiu 등 [12]은 네트워크에 QoS 적용을 위하여 E2E 네트워크 슬라이싱 자동화 프레임워크인 MANO (management and orchestration) 를 제시하였다. H. Xiang 등 [13]은 시간에 따라 변하는 채널에서 간섭을 처리하기 위해 심층 강화 학습 기반 솔루션을 활용하여 F-RAN 슬라이싱을 구현하였다. S. Marinova 등 [14]은 동일한 물리적 인프라에서의 다양한 서비스의 공존과 서비스의 수명 주기를 동적으로 관리하기 위해 SDN 을 통해 속도를 제한하는 방식으로 트래픽 조절을 하는 E2E 슬라이싱 프레임워크를 설계 및 구현하였다. M. Masoudi 등 [16]는 클라우드 및 무선 자원을 모니터링하고 관리하는 방식으로 슬라이스에 예약된 RAN 자원에 대한 정보를 획득하고 이를 슬라이스 사용자에게 할당하여 사용자의 QoS 를 유지하는 E2E 슬라이스 기반 지연 및 에너지 모델을 도출하였다. B.Yin 등 [17]은 업링크와 다운링크에 대해 NOMA(non-orthogonal multiple access) 스키마를 활용하여 서로 다른 서비스를 위한 MTCs(machine type communications devices)에 다양한 서비스를 제공하는 AS-BEP(alternating selection best-effort pairing) 알고리즘을 통한 QoS 를 보장하는 방식을 제안하였다. R. Botez 등 [18]은 A*알고리즘을 기반으로 하는 새로운 알고리즘을 개발하여 QoS 를 향상시키고 지연시간 요구사항이 낮은 서비스를 대상으로 하는 E2E 슬라이싱에 대한 새로운 접근 방식을 제시하였다.

3.5.2 네트워크 격리

네트워크 격리란 슬라이스의 서비스가 다른 슬라이스의 활동으로부터 직접적이거나 간접적인 영향을 받지 않고 작동할 수 있는 속성을 의미한다[35]. 이는 인프라 공급자의 무단 영향을 받지 않는 것도 의미한다. 네트워크 슬라이스 사이에 적용 가능한 많은 격리 기술 중 대표적인 기술로는 트래픽 격리(traffic isolation), 대역폭 격리(bandwidth isolation), 성능 격리(performance isolation)가 있다 [36]. 트래픽 격리는 하나의 슬라이스는 데이터 흐름이 같은 물리적 네트워크 상에 있는 다른 슬라이스로 이동하지 않도록 해야 하는 것을 의미한다[7]. 대역폭 격리는 각각의 슬라이스에 특정 대역폭들이 할당되고 다른 슬라이스에 할당된 대역폭을 활용하지 않아야 하는 것을 의미한다 [8]. 마지막으로, 성능 격리는 각 슬라이스가 서로의 활동이나 워크로드에 영향을 받지 않고, 항상 자신의 서비스별 성능 요구사항을 충족시키는 상태를 의미한다 [10][15].

M. Setayesh 등 [7]은 eMBB 및 URLLC 슬라이스에서 사용자 트래픽 로드와 도착률과 패킷 크기의 불확실성을 기회 제약 조건으로 두고, 기회 제약 조건의 조정 가능 매개 변수를 사용하여 네트워크 슬라이스 간의 격리를 보장하는 eMBB 및 URLLC 트래픽에 대한 무선 자원 할당 알고리즘을 제안하였다. M. Liubogoshchev 등 [8]은 자원 할당자가 장기적으로 각 슬라이스에 채널 자원을 할당하고 슬라이스 간 스케줄러는 단기로 슬라이스 간에 자원을 할당하며 슬라이스 간에 격리를 제공하는 DeSlice 아키텍처를 제시하였다. N. Yarkina 등 [10]은 우선순위 기반으로 슬라이스의 성능 격리를 하는 SLA 기반 RAN 슬라이싱 정책을 제안했다. A. Jalalian 등 [15]은 리소스 부족 상황을 만들기 위해 각 네트워크 슬라이스에 필요한 리소스의 80%만 할당하여 격리 능력을 향상시켰다.

IV. 연구 비교 분석 결과

본 논문은 5G에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 위하여 2.1장에서 네트워크 슬라이싱의 적용 환경, 주요 중점, 그리고 이를 가능하게 하는 기술적 메커니즘에 대한 질문을 정의하였다. 본 장에서는 이에 대한 답변을 통하여 본 연구 비교 분석결과에 대해 제시한다.

4.1 RQ1. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 기술은 어떠한 환경을 대상으로 연구되고 있는가?

5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 대부분의 연구가 클라우드 환경을 대상으로 수행되고 있으며[7][8][9][12][14][16], IIoT 환경[6][17]에서도 네트워크 슬라이싱 기술이 사용되고 있음을 확인하였다. 클라우드 환경은 뛰어난 유연성과 확장성이 특징이다[37]. 이러한 특성을 가진 클라우드 환경에서 네트워크 슬라이싱 기술을 적용하면 물리적인 자원의 한계 없이 가상화 된 자원을 효율적으로 할당하고 관리할 수 있다. 이처럼 네트워크 슬라이싱 기술은 클라우드 환경에서 최적화되어 효과적으로 사용될 수 있다. 또한, 클라우드의 동적인 특성은 네트워크 슬라이싱과 상호 보완적이며 이를 통해 효율적인 자원 할당과 관리가 가능하다. IIoT 환경은 스마트 교통, 스마트 에너지, 스마트 공장 등 다양한 산업 서비스를 제공하는 것이 특징이다[38]. 이러한 IIoT 환경에 대하여 네트워크 슬라이싱 기술을 적용하면 애플리케이션 요구에 따라 슬라이스를 동적으로 생성하거나 분할할 수 있으며, 자원사용의 최적화를 통하여 물리적 IIoT 인프라에서의 자원 이용 효율성과 재사용성을 극대화할 수 있다.

4.2 RQ2. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 적용 목적은 무엇인가?

5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 네트워크 슬라이싱은 주로 QoS 보장 및 네트워크 간 격리를 목적으로 수행되고 있음을 확인하였다[6][7][8][9][11][12][13][14][16]. QoS는 네트워크 슬라이싱에서 중요한 목표 중 하나로, 서비스 품질을 보장하고 사용자 경험을 향상시키는데 중요한 역할을 수행한다. 네트워크 슬라이싱을 통하여 QoS를 보장하고 각 슬라이스는 자원과 서비스를 독립적으로 할당 받아 다양한 요구사항을 충족시킬 수 있다. 대부분 연구들이 QoS를 목적으로 네트워크 슬라이싱을 수행하는 이유는 네트워크 자원을 효율적으로 할당하고, 트래픽을 관리하며, 지연 시간을 최소화하기 위해서이다. 일부 문헌에서는 네트워크 간 격리를 목적으로 연구가 이루어지고 있는데[7][8][10][15][18], 이는 각 슬라이스가 독립적으로 작동하고, 다른 슬라이스의 작동에 영향을 주지 않도록 하기 위함이다. 이러한 접근 방식은 보안과 프라이버시를 강화하며, 서로 다른 서비스 간의 침해 및 간섭을 방지한다.

4.3 RQ3. 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱의 목적을 만족시키기 위한 기술적 메커니즘은 무엇인가?

5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 연구 비교 분석을 통하여 네트워크 슬라이싱의 목적인 QoS 보장과 네트워크 격리를 가능하게 하는 기술적 메커니즘을 확인하였다. QoS 보장을 위한 기술적 메커니즘으로는 강화 학습 기반의 DDPG(deep deterministic policy gradient)[6], 동적 무선 자원 슬라이스 최적화 알고리즘[9], 트래픽 기반 슬라이스 선택[8], SDN 기반 트래픽 조절 알고리즘[14] 등의 다양한 기술적 메커니즘이 사용 및 활용되었으며, 일부 문헌에서는 강화학습과 심층강화학습을 기반으로 하는 효율적인 자원 승인 제어 및 자원 할당 메커니즘을 사용하여 QoS 보장하였다[11][13]. 네트워크 격리를 위한 기술적 메커니즘으로는 eMBB 및 URLLC 트래픽에 대한 무선 자원 할당 알고리즘[7], 휴리스틱 역추적 알고리즘[15], 우선 순위 기반 알고리즘[10]이 사용 및 활용되어 네트워크 슬라이스 간 침해 및 간섭에 대응하였다.

V. 결론

본 논문은 체계적인 문헌 검토를 통하여 5G 환경에서의 네트워크 슬라이싱 기술에 대하여 비교 분석하였다. RAN 슬라이싱, CN 슬라이싱, E2E 슬라이싱 등 다양한 슬라이싱 기술에 대한

특성을 비교 분석하였으며, 이러한 기술들이 어떻게 5G 환경의 다양한 요구사항을 충족시키는지 비교 분석하였다. 비교 분석 결과, 네트워크 슬라이싱 기술은 다양한 환경에서 QoS 와 격리를 중점으로 사용되고 있으며, 특히 RAN 슬라이싱과 E2E 슬라이싱이 주로 연구되고 있다는 것을 확인하였다. 앞으로의 전망은 네트워크 슬라이싱 기술이 5G 의 핵심 기술인 만큼 지속적으로 발전하고 있으며, 5G 를 넘어서 6G 까지 이어질 것으로 보인다. 또한 지금까지 RAN 슬라이싱 연구가 활발히 이루어졌던 것과 대조적으로, 앞으로는 E2E 슬라이싱 연구가 더욱 활발히 이루어질 것으로 예상된다. 이는 5G 네트워크의 통합성과 유연성을 더욱 강화하며, 다양한 사업 분야에서의 활용 가능성을 더욱 넓혀 나갈 것으로 기대된다.

VI. 감사의 글

이 논문은 2023 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2021-0-01806, 스마트 공장 보안 내재화 및 보안관리 기술 개발).

VII. 참고문헌

- [1] S. Zhang, "An Overview of Network Slicing for 5G," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 3, pp. 111-117, June 2019
- [2] A. Nassar and Y. Yilmaz, "Deep Reinforcement Learning for Adaptive Network Slicing in 5G for Intelligent Vehicular Systems and Smart Cities," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 222-235, 1 January, 2022
- [3] J. Ordóñez-Lucena et al., "Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 80-87, May 2017
- [4] Samsung, "Technical White Paper Network Slicing", April 2020
- [5] Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J.A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J.J., Devereaux, P.J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., Götzsche, P.C., Grimshaw, J., Guyatt, G., Higgins, J., Ioannidis, J.P., Kleijnen, J., Lang, T., Magrini, N., McNamee, D., Moja, L., Mulrow, C., Napoli, M., Oxman, A., Pham, B., Rennie, D., Sampson, M., Schulz, K.F., Shekelle, P.G., Tovey, D., Tugwell, P., "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement." *Annals of internal medicine*, vol.151, no. 4, pp 264-269, August. 2009
- [6] S. F. Abedin et al, "Elastic O-RAN Slicing for Industrial Monitoring and Control: A Distributed Matching Game and Deep Reinforcement Learning Approach," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 71, no. 10, pp. 10808-10822, October. 2022
- [7] M. Setayesh et al, "Joint PRB and Power Allocation for Slicing eMBB and URLLC Services in 5G C-RAN," *GLOBECOM 2020 - 2020 IEEE Global Communications Conference*, Taipei, Taiwan, 2020, pp. 1-6
- [8] Liubogoshchev et al "DeSlice: An Architecture for QoE-Aware and Isolated RAN Slicing", *Sensors*, vol.23, no. 9, pp. 4351, September 2023
- [9] A. A. Khan et al "An End-to-End (E2E) Network Slicing Framework for 5G Vehicular Ad-Hoc Networks," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 70, no. 7, pp. 7103-7112, July 2021
- [10] Yarkina, N et al., "Multi-tenant resource sharing with equitable-priority-based performance isolation of slices for 5G cellular systems", *Computer Communications* vol. 188, pp. 39-51, April 2022
- [11] W. F. Villota-Jacome et al., "Admission Control for 5G Core Network Slicing Based on Deep Reinforcement Learning," in *IEEE Systems Journal*, vol. 16, no. 3, pp. 4686-4697, Sept. 2022
- [12] Y. -S. Chiu et al., "A Cloud Native Management and Orchestration Framework for 5G End-to-End Network Slicing," *2022 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE)*, Newark, CA, USA, 2022, pp. 69-76
- [13] H. Xiang, S. Yan and M. Peng, "A Realization of Fog-RAN Slicing via Deep Reinforcement Learning," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 19, no. 4, pp. 2515-2527, April 2020
- [14] Marinova, S et al., "End-to-end network slicing for future wireless in multi-region cloud platforms", *Computer Networks*, vol.177 pp.107298, August 2020
- [15] ZHARABAD et al., "Network slicing in virtualized 5G Core with VNF sharing". *Journal of*

- Network and Computer Applications, vol. 215, pp. 103631., June 2023
- [16] M. Masoudi et al., "Energy-Optimal End-to-End Network Slicing in Cloud-Based Architecture," in *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 3, pp. 574-592, 2022
- [17] B. Yin et al., "Connectivity Maximization in Non-Orthogonal Network Slicing Enabled Industrial Internet-of-Things With Multiple Services," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 22, no. 8, pp. 5642-5656, Aug. 2023
- [18] Botez, R et al., & Dobrota, V. "Efficient Network Slicing with SDN and Heuristic Algorithm for Low Latency Services in 5G/B5G Networks". *Sensors*, vol. 23, no. 13, pp. 6053, June 2023
- [19] Telecommunications Technology Association, Dictionary of information and communication terms, available: http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=039873-8
- [20] Y. He et al., "Cross-Chain Trusted Service Quality Computing Scheme for Multichain-Model-Based 5G Network Slicing SLA," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 14, pp. 12126-12139, 15 July15, 2023
- [21] S. Wijethilaka and M. Liyanage, "Survey on Network Slicing for Internet of Things Realization in 5G Networks," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 2, pp. 957-994, 2021
- [22] A. Checko et al., "Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 405-426, Firstquarter 2015
- [23] Chiang et al., "Network Slicing-Enabled Green C-RAN." *Encyclopedia of Wireless Networks*. Cham: Springer International Publishing, pp. 997-1002, January 2020.
- [24] Telecommunications Technology Association, Dictionary of information and communication terms, available :http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=191769-1
- [25] D. Sattar and A. Matrawy, "Towards Secure Slicing: Using Slice Isolation to Mitigate DDoS Attacks on 5G Core Network Slices," 2019 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS), Washington, DC, USA, 2019, pp. 82-90
- [26] Jia, Q et al., "Efficient caching resource allocation for network slicing in 5G core network". *IET Communications*, vol.11, no.18 pp. 2792-2799., November,2017
- [27] Botez, R et al., "SDN-based network slicing mechanism for a scalable 4G/5G core network: A kubernetes approach". *Sensors*, vol. 21 no. 11, pp. 3773, May 2021
- [28] An, X., Zhou et al., "On end to end network slicing for 5G communication systems. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*", vol.28, no.4 , April, 2017
- [29] W. Guan et al., "A Service-Oriented Deployment Policy of End-to-End Network Slicing Based on Complex Network Theory," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 19691-19701, April, 2018
- [30] Kotulski, Z et al., "Towards constructive approach to end-to-end slice isolation in 5G networks". *EURASIP Journal on Information Security*, vol. 2018, no. 2, pp. 1-23., March 2018
- [31] QSAN Technology, QoS (Quality of Service) White Paper. QSAN Documents. July 2022
- [32] A. O. Adedayo and B. Twala, "QoS functionality in software defined network," 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju, Korea (South), 2017, pp. 693-699,
- [33] X. Xue et al., "SDN-Controlled and Orchestrated OPSquare DCN Enabling Automatic Network Slicing With Differentiated QoS Provisioning," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 38, no. 6, pp. 1103-1112, March, 2020
- [34] Lillicrap et al. "Continuous control with deep reinforcement learning." arXiv preprint arXiv:1509.02971 2015.
- [35] A. J. Gonzalez et al., "The Isolation Concept in the 5G Network Slicing," 2020 European Conference on Networks and Communications (EuCNC), Dubrovnik, Croatia, 2020, pp. 12-16
- [36] V. A. Cunha et al., "5 Growth: Secure and Reliable Network Slicing for Verticals," 2021 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit), Porto, Portugal, 2021, pp. 347-352
- [37] S. D. A. Shah et al., "Cloud-Native Network Slicing Using Software Defined Networking Based Multi-Access Edge Computing: A Survey," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 10903-10924, 2021
- [38] Y. Wu et al., "A Survey of Intelligent Network Slicing Management for Industrial IoT: Integrated Approaches for Smart Transportation, Smart Energy, and Smart Factory," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 2, pp. 1175-1211, Secondquarter, 2022

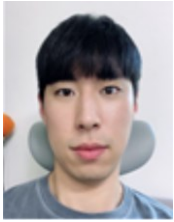
저자소개



고아름(A Reum Ko)

2021년 3월~현재 가천대학교 컴퓨터공학과 학부 과정

관심분야: CPS 보안



지일환(Il Hwan Ji)

2022년 가천대학교 컴퓨터 공학과 학사 졸업
2022년~현재 가천대학교 정보보호학과 석사 재학

관심분야: ICS 보안, AI 보안



진호준(Hojun Jin)

2022년 순천향대학교 정보보호학과 학사 졸업
2022년~현재 가천대학교 정보보호학과 석사 재학

관심분야: Forensic, CPS 보안, IoT/hardware hacking



전승호(Seungho Jeon)

2018년 고려대학교 정보보호학과 석사 졸업
2022년 고려대학교 정보보호학과 박사 졸업
2023년~현재 가천대학교 스마트보안 전공 교수

관심 분야: 딥 러닝, 시스템 보안



서정택(Jung Take Seo)

2006년 고려대학교 정보보호공학 박사 졸업
2016년~2021년 순천향대학교 정보보호 공학과 교수
2021년~현재 가천대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야: CPS 보안, ICS 보안
