https://doi.org/10.7840/kics.2016.41.12.1914

분산 모바일 코어기반 5G 네트워크에서의 Service Function Chaining 적용구조

선 경 재•, 김 영 한°

Service Function Chaining Architecture for Distributed 5G Mobile Core Networks

Kyoungjae Sun•, Younghan Kim°

요 약

본 논문은 5G 모바일 네트워크에서 가상화 기반의 이동통신 코어망인 Virtualized Evolved Packet Core(vEPC) 환경을 고려하여, 가입자의 종류 및 트래픽 식별에 따라 동적으로 End-to-end 서비스를 제공하기 위한 기술인 Service Function Chaining(SFC)을 적용하기 위한 구조 및 메시지 절차를 제안한다. SFC 기술은 네트워크 기능들을 물리적인 연결에 상관없이 선택적으로 제공하기 위한 기술로써, 가상화 기반 네트워크 기술인 Network Function Virtualization(NFV)기반의 네트워크 환경에서 서비스 제공을 위한 주요 기술로 예상된다. 특히, 5G 모바일 코어 네트워크는 분산 코어 형태로 구축될 것으로 예상되기 때문에 본 논문에서는 이를 고려하여 계층적 SFC(hSFC: Hierarchical SFC) 구조를 적용하였다. 본 논문에서는 제안하는 구조 및 구조 내에서의 SFC를 이용한 경로 설정 메시지 절차를 정의하고 오픈소스 기반의 테스트베드 설계를 통해 이를 구현하고자 하였다.

Key Words : Mobile Core Network, SDN(Software-defined Networking), NFV(Network Function Virtualization), SFC(Service Function Chaining), vEPC(Virtualized EPC)

ABSTRACT

In this paper, considering virtualized Evolved Packet Core(vEPC) network for 5G mobile network, we propose architecture for supporting Service Function Chaining(SFC) in 5G mobile network. Using SFC in 5G network, dynamic path configuration and providing network services based on subscriber and traffic information. SFC technology provides logical ordered set of network functions and delivers packet through providing logical path over the physical network. Based on the perspective of 5G core network in distributed manner, we design hierarchical SFC architecture to manage SFC for global path including vEPC and SGi-LAN network, and internal path between virtualized network functions in each cloud. In this paper, we define architecture and call flow for establishing data path using SFC. Finally, we design testbed architecture for real implementation based on open source software

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 방송통신산업 기술개발사업의 일환으로 수행하였음 [B0101-16-1351, Distributed & OpenFlow Based Virtual Mobile Core Network]
• First Author : Soongsil University Department of Information Communication, Materials, and Chemistry Convergence Technology, gomjae@ssu.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Soongsil University Department of electronic engineering, younghak@ssu.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2016-08-221, Received August 31, 2016; Revised October 31, 2016; Accepted December 19, 2016

Ⅰ. 서 론

이동통신망 네트워크는 지속적으로 늘어나는 이동통신망 트래픽과 IoT 및 차량 통신(V2X: Vehicle to Everything)의 이동통신망 수용을 통한 단말의 다양화 및 이에 따른 다양한 요구사항의 트래픽이 혼재하는 환경으로의 변화에 직면하고 있다. 이러한 변화에 따라 현재의 4세대 All-IP 기반의 이동통신망의 한계점을 해결하기 위해서, 5세대 이동통신망 기술이 최근 활발하게 논의되고 있다. 현재까지 국내외 표준화 기관 및 관련 기업들을 통해 논의되고 있는 5세대 이동통신망의 특징은 밀리미터파 기반의 무선 통신 기술을 통한 무선 접속 네트워크의 진화와 함께, 이동통신 코어망의 구조가 기존의 정적인 구조에서 보다 유연한 구조로써 동적인 자원 관리 및 다양한 트래픽에 따른 차등적 서비스 제공을 제공하고자 한다는 것이다. 특히, 클라우드 컴퓨팅 기술과 함께 SDN(Software Defined Networking) 및 NFV(Network Function Virtualization) 기반의 네트워크 통합 제어 및 가상화 네트워크 기능 구조는 기존에 하드웨어 기반의 이동통신망 코어 기능을 범용 하드웨어 기반의 가상화된 소프트웨어 기능으로 구현하여 사업자의 정책 및 트래픽에 따라 동적인 자원 관리와 함께 통신망 내 패킷 전달 기능과 제어 기능을 분리함으로써 유연한 경로 설정을 가능하게 하는 핵심 기술이다. SDN/NFV 기반의 이동통신망 네트워크는 접속 단말의 종류에 따라 서로 다른 가상화 코어 네트워크 기능을 동적으로 구성하고 사용하도록 할 수 있어 서로 다른 특성을 가진 트래픽에 대해 더 세밀한 정책을 적용할 수 있다. 이러한 SDN/NFV 기반의 가상화 네트워크 구조는 이동통신망 표준화 단체인 3GPP 뿐만 아니라 ETSI, IETF, ONF와 같은 다양한 표준화 단체를 통해 논의되고 있다.

기존의 이동통신망 사업자들은 모바일 단말의 어플리케이션 트래픽 최적화 및 네트워크 내 보안성 강화 등을 목적으로 모바일 코어 네트워크와 외부 인터넷 사이에 다양한 방화벽, IDS, TCP Optimizer등과 같은 다양한 네트워크 기능들을 제공하는 SGi-LAN을 구축 및 운영하고 있다. 각각의 네트워크 기능들은 물리적인 장비로 구성이 되어 있으며, 각각의 물리적인 장비들 간의 유선 연결 구조에 의해 해당 SGi-LAN으로 들어오는 모든 트래픽은 유선상으로 연결된 모든 기능들을 거쳐가야 한다. 이러한 정적인 연결은 트래픽의 종류와 무관하게 동일한 서비스를 제공하게 됨으로써 점점 더 다양해지는 모바일 네트워크 내 트래픽의 요구사항을 충족시켜주지 못할 뿐만 아니라, 네트워크 내 트래픽 증가에 따른 부하가 집중화되는 문제가 있다. 이를 위해서 IETF에서는 물리적인 연결과 무관하게 선택적으로 서비스 기능들을 연결하는 경로를 생성하여 이를 통해 패킷을 전달하도록 하는 SFC(Service Function Chaining) 기술을 표준화하고 있으며, ETSI NFV 기반의 가상화 환경에서는 가상화 기반 네트워크 기능들인 VNF(Virtualized Network Function)간에 논리적인 연결을 제공하기 위한 VNFFG(Virtualized Network Function Forwarding Graph)라는 기술로도 표준화 작업을 수행하고 있다. SFC 기반의 가상화 환경을 이동통신망에 적용하려는 연구들도 활발하게 진행중에 있으나, 현재까지는 기존 이동통신 코어 네트워크의 복잡한 연결 구조 및 트래픽에 대한 세밀한 식별이 어려운 이유로 우선적으로 SGi-LAN에 이를 적용하고자 하는 것에 집중 되어있다.

본 논문에서는 계층적 SFC 구조를 가상화 기반 분산 모바일 코어 구조에 적용하여, 단말의 트래픽에 따라 vEPC 및 SGi-LAN 클라우드를 연결하는 상위 SFC 경로를 정의하고 각각의 분산 클라우드 내에서는 필요에 따라 독립적인 SFC 경로를 설정할 수 있도록 하는 구조를 제안한다. 제안하는 구조에서는 지역 및 IoT와 같은 특정 트래픽을 처리하기 위해 각각 개별적으로 구성된 분산된 vEPC 및 SGi-LAN에 접속하는 단말의 종류 및 위치 등을 식별하여 상위 도메인에서는 적절한 코어망을 우선적으로 할당하고, 이후 단말의 트래픽에 따라 적합한 가상화 SGi-LAN을 연결하며, SGi-LAN으로 유입되는 트래픽은 각 망에서 독립적으로 SFC 기반의 연결을 제공할 수 있도록 하였다. 이를 위해서, IETF에서 논의되고 있는 hSFC(Hierarchical SFC)구조를 적용하였다. 제안하는 구조를 통해, 단말의 식별 및 트래픽 종류에 따른 차등적인 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, SFC 기반의 동적 연결을 통한 네트워크 내 트래픽을 효율적으로 분산 및 전달할 수 있다. 2장에서는 가상화 EPC 및 SFC 기술 및 본 논문에서 적용하고자 하는 계층적 SFC 기술과 관련된 연구를 소개하고, 3장에서 제안하는 구조 및 세부 절차를 제안한다. 4장에서 관련 기술에 대한 오픈소스 기반으로 구현한 환경의 세부 사항을 제안한 후, 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련연구

2.1 가상화 이동통신망 구조 연구

현재 사용되고 있는 4세대 이동통신 코어 네트워크

는 LTE 및 WiFi 등의 다양한 엑세스 네트워크를 수용할 수 있는 All-IP 네트워크로써, 접속 단말의 트래픽을 전달하는 SGW(Serving Gateway) 및 IP 주소 할당과 앵커 역할을 담당하는 PGW(PDN Gateway)와 같은 패킷 전달 기능과 단말의 이동성을 관리하는 MME(Mobility Management Entity), 망 가입자 정보를 저장하는 HSS(Home Subscriber Server), 과금 정책을 관리하는 PCRF(Policy and Charging Rules Function)등으로 구성되어 있다. 3GPP에서 표준화한 구조 및 각 기능간의 인터페이스에 기반하여[1], 단말의 데이터 패킷은 GTP(GPRS Tunneling Protocol)프로토콜을 사용하여 SGW와 PGW간의 터널을 통해 전달된다. 단말이 이동통신망에 접속하면, PGW에서는 단말에게 IP주소를 할당하고 단말의 트래픽을 위한 기본 베어러를 생성함으로써 단말 트래픽에 대한 전달 경로를 설정하며 높은 QoS 지원을 위한 추가적인 베어러를 설정할 수도 있다. 이러한 단말의 트래픽에 대한 베어러 설정 방식은 현재 네트워크 환경에서는 문제가 없으나, 더 다양한 단말 및 트래픽 종류를 수용해야 하는 미래 네트워크 요구사항에는 적합하지 않다. 또한, PGW와 외부 인터넷 사이에는 사업자의 망 최적화 및 망 사용자들의 트래픽 최적화를 위한 방화벽, TCP Optimizer, Proxy등과 같은 다양한 기능들이 존재하는 SGi-LAN이 존재한다. 현재의 SGi-LAN 구조는 각각의 기능들이 직렬로 연결되어 있는 구조로써, PGW에 할당된 APN(Access Point Name)에 따라 동일한 APN으로 오는 트래픽은 그 종류와 크기에 상관없이 동일한 SGi-LAN 내 모든 네트워크 기능들을 거쳐가도록 되어있다. 미래 이동통신 네트워크를 위해서는 단말의 트래픽을 더 세밀하게 식별하고, 이에 따라 네트워크 내에서 다양한 정책들을 유연하게 적용할 수 있는 망 구조가 필요하며, 이러한 요구사항들을 바탕으로 3GPP에서도 5세대 이동통신 코어망을 위한 새로운 아키텍처에 대한 표준화 논의를 진행하고 있다.

5세대 모바일 네트워크 코어 아키텍처를 위한 핵심 기술은 SDN과 NFV 기술로써, SDN 기술은 코어 내 SGW 및 PGW의 제어 기능과 패킷 전달 기능을 분리함으로써 게이트웨이 간 트래픽 경로 최적화 및 동적인 경로 설정을 통한 트래픽 분산이 가능하게 한다. SDN 기반의 코어 아키텍처 구현에 있어서, 코어 네트워크 기능들과 패킷 전달 네트워크를 구분하여 패킷 전달 네트워크를 위한 SDN 컨트롤러를 통해 모바일 코어 내 기능들 간 터널링 등을 이용한 패킷 경로 설정 방식을 연구[2]및 SDN 컨트롤러를 통해 미들박스들을 관리하는 프레임워크들이 제안되었다[3]. 코어 네트워크 망 내 전달 최적화 관점에서, 기존 코어 망 내 게이트웨이간 단말 트래픽을 전달하기 위한 GTP 프로토콜을 위한 SDN기반 스위칭 구현 기술[4-5] 또는 GTP 프로토콜을 사용하지 않고 SDN기반의 경로 설정을 통한 패킷 전달 방안들도 제안되었다[7-9]. 네트워크 가상화 기능인 NFV 기술은 모바일 코어 네트워크 기능들을 소프트웨어로 구현하여 가상화 환경을 통해 제공함으로써 기존의 하드웨어 종속성에서 벗어날 수 있는 동시에 가상화 플랫폼 관리 기능을 통한 스케일링 및 고가용성을 제공할 수 있다. 특히, 가상화 소프트웨어 형태로 구현되는 vEPC (Virtualized EPC) 구조는 기존의 4세대 모바일 코어 네트워크 구조뿐만 아니라 IoT 및 기업망을 위한 다양한 형태의 네트워크를 구성하기 용이하며 하드웨어의 제약 없이 범용 서버 등에 쉽게 구축이 가능하기 때문에 엑세스 네트워크 및 사용자와 가까운 곳에 분산 구축이 용이하여 기존에 SIPTO(Selected IP Traffic Offload) 및 LIPA(Local IP access)와 같은 트래픽 오프로딩 기술을 사용하지 않고도 엑세스 근처에서 바로 외부 인터넷에 연결할 수 있다. 가상화 기반 코어 기능 구현 관점에서 EPC 기능들의 구현 모델을 분석한 연구들이 진행되었다[10].

SDN 및 NFV기술은 독립적인 기술로도 구현할 수 있으나, 두 기술을 통합적으로 지원하는 구조가 가능하다. SDN/NFV 통합 구조에 관한 연구는 ETSI에서 정의한 NFV 프레임워크 구조를 기반으로 하는 NFV 플랫폼과 여러 NFV 기반 플랫폼 및 내부의 가상화 기능들 간의 네트워킹을 SDN기반으로 설정할 수 있도록 한다. 특히, SDN/NFV기술은 오픈소스 기반의 커뮤니티를 통해 확산되고 있으며, OpenStack, vIMS[11]와 같은 가상화 제어 및 관리 플랫폼위에 OpenDaylight, ONOS와 같은 SDN 컨트롤러를 통합한 통합 플랫폼에 관한 연구 및 NFV 환경을 관리하는 MANO(Management and Orchestration) 기능 개발 및 이를 통한 vEPC 기능 제공 방안도 활발하게 연구되고 있다[12].

2.2 SFC 기술 연구

SFC 기술은 가상화 환경만을 고려한 것은 아니며, 네트워크 내 패킷 전달 외에 다양한 서비스를 제공하기 위한 서비스 기능들을 물리적인 연결에 관계없이 제공하기 위해 제안되었다. SFC 기술은 도메인 내 유입되는 트래픽의 종류를 식별하고, 식별된 트래픽의 특성에 따라 제공하고자 하는 네트워크 기능들을 특

정한 순서로 배열하여 논리적인 경로를 생성한 뒤, 이를 전달하기 위한 패킷 캡슐화 과정을 통해 물리적인 네트워크 위에 논리적인 네트워크 경로를 따라 패킷이 정해진 순서대로 전달 될 수 있도록 한다. 이를 위해서 SFC 네트워크 내 패킷 전달을 위한 추가적인 헤더를 정의하였다. 그림 1은 IETF에서 표준화 한 SFC 아키텍처를 나타낸 것이다[13]. Service Classifier는 도메인으로 유입되는 트래픽에 대한 식별 과정을 수행하고, 결과에 따라 패킷의 경로를 결정하여 도메인 내 패킷 전달을 위한 헤더를 캡슐화한다. SFF는 SFC 도메인 내 패킷 전달을 위한 NSH(Network Service Header) 헤더[14] 내 정보를 기반으로 연결되어 있는 SF(Service Function)를 찾아 패킷을 전달한다. 경로에 정의된 모든 SF를 지나가게 되면, 마지막 SFF에서는 NSH 헤더를 제거하고 외부로 패킷을 보낸다. NSH 헤더를 인식할 수 없는 SF를 위해서, 추가적으로 SFC Proxy 기능을 정의하였다.

SFC 도메인 내 기능들은 SFC Control Plane을 통해 동작 제어 및 전체적인 관리가 가능하도록 정의하고 있다. 사업자 입장에서, 여러 도메인에 걸쳐 클라우드 센터를 운영하는 입장에서 SFC기반 패킷 전달 환경을 구축하기에는 확장성 이슈가 발생한다. 이를 보완하기 위해, IETF SFC WG에서는 계층적인 SFC 구조를 통해 여러 분산된 도메인들을 상위 계층에서는 각각의 SF로 인식하여 상위 도메인에서의 SFP(Service Function Path)를 설정하고, 각각의 도메인 내부에서는 독립적으로 SFC를 관리 운영하는 방안을 제안하였다[15]. 그림 2는 제안하는 계층적 SFC의 아키텍처로, 상위 SFC 도메인은 여러 하위 도메인을 포함하고 있으며 상위 도메인의 관점에서 각각의 하위 도메인은 하나의 SF처럼 관리한다. 상위 도메인 내 SFP 경로의 일부로써 하위 도메인에 패킷이 들어오면, 패킷은 하위 도메인의 식별자를 통해 패킷을 재식별하여 독립적인 SFP를 생성한다. 하위 도메인의 SFP의 종료 지점에서 패킷은 다시 상위 도메인의 SFP 정보를 복구하여 상위 도메인에서의 경로를 계속

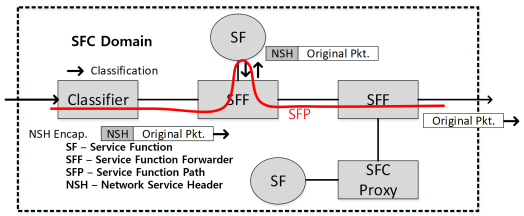

그림 1. SFC 아키텍처 및 기능들
Fig. 1. SFC Architecture and Components

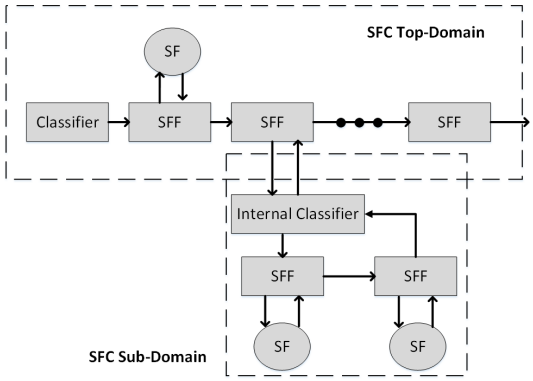

그림 2. 계층적 SFC 아키텍처
Fig. 2. Hierarchical SFC Architecture

따라가도록 한다.

계층적 SFC 기술은 여러 분산 클라우드 내 다양한 네트워크 기능을 운영하고 있는 모바일 네트워크 사업자에게 다양한 형태의 클라우드 구성을 통해 End-to-end 관점에서의 전체적인 가입자 트래픽을 추상화하여 제공할 수 있는 동시에, SFC 제어 수준을 하위 계층으로 분산함으로써 전체적인 경로 관리에 따른 부하를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 각각의 하위 도메인은 보안 기능 또는 최적화 기능과 같은 기능 카테고리에 따라 구축되거나, IoT와 같은 특정 단말들을 위한 기능 또는 기업망과 같은 논리적인 분리가 필요한 목적에 따라 다르게 구축될 수 있다. SFC를 적용한 모바일 네트워크에 대한 연구들은 IETF와 같은 곳에서도 논의가 되고 있으나[16], 가상화 SGi-LAN을 고려한 논의들이 대부분이다. 그러나 기존과 달리 다양한 형태의 분산 미래 모바일 코어 네트워크 환경을 고려하였을 때, 같은 지역 내에라도 다양한 단말의 종류와 트래픽들이 서로 다른 가상화 모바일 코어 네트워크를 이용할 수 있는 상황이 발생하며 이 경우 각 트래픽에 대한 전체적인 경로 관점에서 모바일 코어 네트워크 기능들과 SGI-LAN을 연결할 수 있는 기술이 필요하다.

Ⅲ. 계층적 SFC 적용 가상화 이동통신망 구조

본 장에서는 제안하는 계층적 SFC를 적용한 분산 모바일 네트워크 구조를 설명하고, 구조 내에서 SFC 경로 설정을 위한 메시지 절차를 제안한다.

3.1 계층적 SFC 적용 모바일 네트워크 구조

그림 3은 제안하는 모바일 네트워크 아키텍처로써, 전체 모바일 네트워크는 단말이 접속하는 엑세스 네

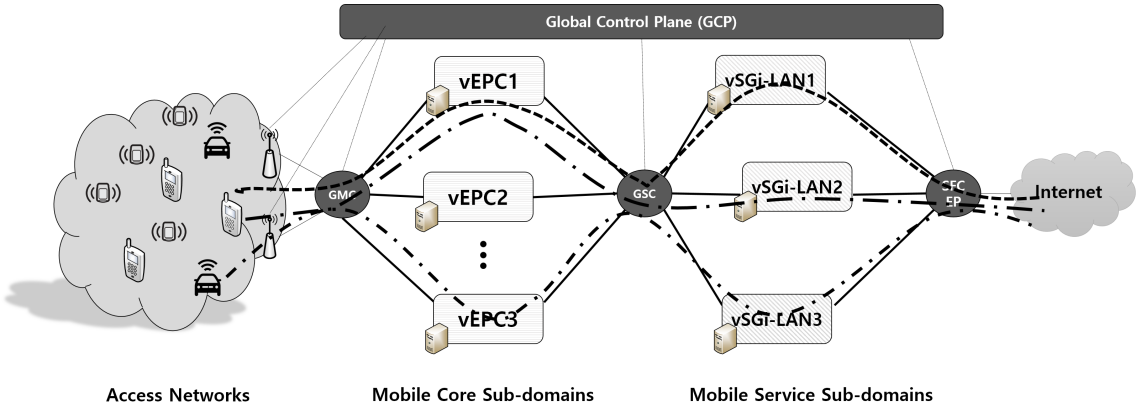

그림 3. 제안하는 계층적 적용 모바일 네트워크 아키텍처
Fig. 3. Proposed Mobile Network SFC Architecture using Hierarchical SFC

트워크 및 여러 분산 모바일 코어 클라우드를 포함하는 코어 네트워크 및 다양한 형태의 SGi-LAN들이 존재하는 모바일 서비스 네트워크로 구분된다. 엑세스 네트워크에는 스마트폰 뿐만 아니라 센서 등의 IoT 단말 및 차량 등이 접속할 수 있다. 모바일 코어 네트워크는 SGW, PGW 및 코어 네트워크 내 다양한 기능들이 가상화 형태로 구현될 수 있다. 기존의 4세대 코어 네트워크 구조 뿐만 아니라 IoT를 위한 코어 네트워크 구조 또는 목적에 따라 새롭게 구성된 네트워크 구조를 가질 수 있으며, 해당 구조들은 가상화 환경에서 유연하게 연결될 수 있다. 모바일 서비스 네트워크는 기존 SGi-LAN을 통해서 제공되던 다양한 기능들이 분산된 클라우드에 가상화 형태로 제공될 수 있으며, 서비스 기능들의 특성과 정책에 따라 다양한 형태로 구성될 수 있다. 본 논문에서는 각 네트워크의 구체적인 구현 형태 및 다양한 구현 방안들에 대해서는 다루지 않는다.

그림 4는 본 아키텍처 상에서 상위 GCP(Global Control Plane)을 통해 하나의 End-to-end 서비스 체인으로 연동되는 SFC 관점에서의 연동 구조를 나타낸 것이다. 본 논문에서 서비스 체이닝을 위해 새롭게 제안하는 컴포넌트는 상위 SFC 도메인에서 하위 vEOC 도메인 내 vEPC 컴포넌트로 연결되는 GMC(Global Mobile Classifier)와 상위 SFC 도메인에서 하위 vSGi-LAN 도메인 내 특정 vSGi-LAN 컴포넌트들로 연동되는 GSC(Global Service Classifier)이다.

GCP는 vEPC 및 vSGi-LAN을 포함하는 전체 End-to-end 서비스 체이닝에 대한 경로를 관리 및 제어하는 기능으로, 단말의 접속 또는 외부에서 단말로의 패킷 전송 시, 트래픽 또는 단말의 종류 및 정책 등을 기반으로 식별 규칙을 생성하고, 이를 통해 vEPC와 vSGi-LAN 컴포넌트를 포함하는 상위 계층의 SFC 경로 규칙을 생성하여 GMC 및 GSC에 전달하는 역할을 담당한다. 예를 들어, 단말의 타입에 따른 vEPC 네트워크 및 가상화 SGi-LAN 네트워크를 설정할 수 있도록 규칙을 생성하여 다른 타입의 단말이 접속했을 때 서로 다른 네트워크를 이용할 수 있도록 적용하거나, 가입자의 정보에 따라 더 비싼 요금제를 이용하는 가입자의 단말은 더 좋은 서비스를 제공할 수 있는 경로를 우선적으로 제공하도록 할 수 있다. GCP에서는 이를 위해 단말 및 가입자를 식별할 수 있는 가입자 데이터베이스와 정책 관리 및 적용 기능 및 SFC 제어 관리 기능들이 포함된다. 기존의 단일 EPC 환경에서는 가입자 식별 데이터베이스 역할을 담당하는 HSS 및 트래픽 정책을 관리하는 PCRF 기능이 단일 컴포넌트로 존재하였으나, 다수의 분산 vEPC 환경의 제안 구조에서는 GCP를 통해 vEPC를 선별하여 단말의 시그널링 메시지가 특정 vEPC에 전달되기 전에 단말의 식별을 제공해야 하기 때문에 GCP에 가입자

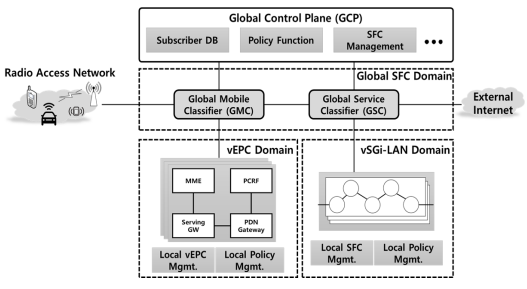

그림 4. 제안 구조에서의 계층적 SFC 적용 컴포넌트
Fig. 4. Hierarchical SFC components in proposed architecture

데이터베이스 및 정책 관리 기능을 통한 사전 트래픽 식별 작업이 필요하다.

GMC 및 GSC는 트래픽 식별자로써, 기존에 제안된 계층적 SFC와 달리 본 논문에서는 두 개의 서로 다른 식별자를 정의하였다. 엑세스 네트워크와 모바일 코어 네트워크 사이에 있는 GMC는 분산된 가상화 코어 네트워크를 선택하기 위한 식별자로, 단말이 접속 시 eNodeB에서 오는 Attach Request 메시지에는 단말의 IMSI값 및 단말 타입 등이 포함되어 있기 때문에, 해당 정보를 GMC에서는 GCP에 전달하여 단말에서부터 오는 시그널링 및 데이터 패킷을 보낼 vEPC에 대한 정보 및 경로 규칙을 받아오게 된다. 단말 및 가입자 식별자를 통해 vEPC를 포함하는 경로가 생성되면 GMC에서는 해당 vEPC로 단말의 Attach Request 메시지를 전달하여 해당 vEPC와 접속 절차를 진행하도록 하며, 이 과정에서 vEPC 내 GW간의 베어러 설정 및 기타 vEPC 내에서 발생하는 추가적인 내부 절차들은 상위 도메인에서 관여하지 않는다. 모바일 코어 네트워크와 서비스 네트워크 사이에 위치한 GSC는 기존의 경로를 유지할 수 있도록 SFC 패킷을 전달하는 SFF의 역할을 수행하는 것과 함께, 실제 데이터 패킷의 재식별을 통해 상위 계층의 SFP를 수정할 수 있는 기능을 포함한다. 무선 엑세스 네트워크에서 코어 네트워크 간에는 GTP기반의 캡슐화된 패킷 기반으로 전송되기 때문에 패킷에 대한 자세한 식별이 어려우나, vEPC 내 PGW에서 GTP/PMIP 패킷 헤더가 제거된 상태로 GSC에 패킷이 유입되기 때문에 GSC에서는 패킷의 MAC주소, IP주소 및 서비스 타입까지 포괄적으로 식별하여 이에 따라 필요한 서비스만을 선별하여 SFC 경로를 구성할 수 있다. 동일 단말에서 오는 패킷이라 하더라도 트래픽 식별에 따라 차별적인 SFC 경로를 제공할 수 있으며, 이 경우 동일한 vEPC를 포함하나 다른 SGI-LAN을 이용할 수 있도록 서로 다른 SFC 경로를 설정할 수 있다.

계층적 SFC 구조를 적용한 구조에서, 하위 계층 도메인의 SFC는 독립적으로 구성된다. 예를 들어, 상위 계층의 SFP 경로에 의해 패킷이 특정 SGi-LAN 도메인에 유입되면, SGi-LAN 내부의 SFC 정책에 의해 상위계층에 종속되지 않는 SFP를 독립적으로 생성하여 도메인 내 패킷을 전달할 수 있다. 또는 하위 계층 도메인은 SFC를 적용하지 않는 기존과 같은 물리적 연결 기반으로 이루어져 있다 하더라도, 상위 SFC 경로로 인해 유입된 패킷을 자체적으로 처리하고, 도메인에서 다시 상위 도메인으로 패킷을 전달할 때 상위 SFC 정보에 적합한 NSH 헤더를 붙여 상위 네트워크로 전달하면 상위 계층의 SFP를 유지할 수 있다. 예를 들어, 모바일 코어 네트워크의 경우에 각각의 기능들이 동적으로 연결되지 않고 기존 코어 네트워크와 같이 정적으로 연결되어 있는 경우에 PGW 이후에 다시 상위 도메인으로 패킷을 보내기 전에 상위 계층의 NSH헤더를 붙여 패킷을 전달할 수 있다. 이를 위해서는 추가적으로 상위 도메인의 NSH 헤더 정보를 저장해놓았다가 패킷이 나가는 지점에서 이를 복구해줄 수 있는 기능이 추가적으로 필요하다.

3.2 제안된 구조에서의 메시지 절차 및 분석

본 장에서는 제안한 구조에서의 단말 접속 시 단말의 종류 식별에 따라 분산된 vEPC 중 하나를 선택하고 이를 통해 접속을 수행하는 과정 및 단말의 트래픽에 따라 vSGi-LAN 네트워크를 선택하는 과정을 설명한다. 단일 중앙 코어 네트워크를 기반으로 하는 기존 3GPP 네트워크와 달리, 단말 접속 시 이를 식별하고 동적으로 vEPC 네트워크를 선택할 수 있도록 하기 위한 방안이 추가적으로 필요하다. 3GPP에서도 가상화 기반 5G 이동통신 코어망 시나리오 중 하나로 테넌트 또는 단말의 종류에 따라 서로 다른 vEPC 컴포넌트를 설정하는 방안에 대해 연구 중에 있다[17].

그림 5는 제안한 구조에서의 단말 접속 시, 단말의 접속 요청 메시지인 Attach Request 메시지 내 단말 정보에 따라 단말을 식별하고, 이를 통해 vEPC 네트워크를 선택하도록 하는 과정을 나타낸 것이다. 단말이 엑세스 네트워크를 통해 이동통신망에 접속 시 접속 요청 메시지인 Attach Request 메시지 내에는 단말의 가입자 정보인 IMSI 값을 포함하고 있다. 해당 메시지를 엑세스 네트워크로부터 수신한 GMC는 GCP 내 가입자 관리 데이터베이스로 해당 메시지를 전송하고, GCP 내 가입자 관리 데이터베이스는 해당 식별자를 통해 단말이 어떤 종류인지, 가입자의 상태가 어떠한지 등을 식별 및 이를 통한 인증 절차를 진행한다. 단말의 식별을 통해 어느 vEPC 네트워크를 이용하도록 할지를 GCP 내 정책 관리 기능과의 연동을 통해 결정한 후, 단말의 정보 및 해당 단말이 접속할 vEPC의 정보를 SFC 관리 기능으로 전달하여 단말과 vEPC와의 SFC 경로를 생성하도록 한다. 이 때, 단말이 외부와의 세션을 아직 생성하지 않았기에, vSGi-LAN은 가입자 및 단말 정책에 의한 기본 설정으로 선택된다. 단말에 할당된 vEPC 정보를 수신한 GMC는 해당 vEPC로 단말의 접속 요청 메시지를 전달하고, 이후 vEPC에서 연결 설정 절차를 통해 Attach Response 메시지 내 단말에게 할당된 IP주소

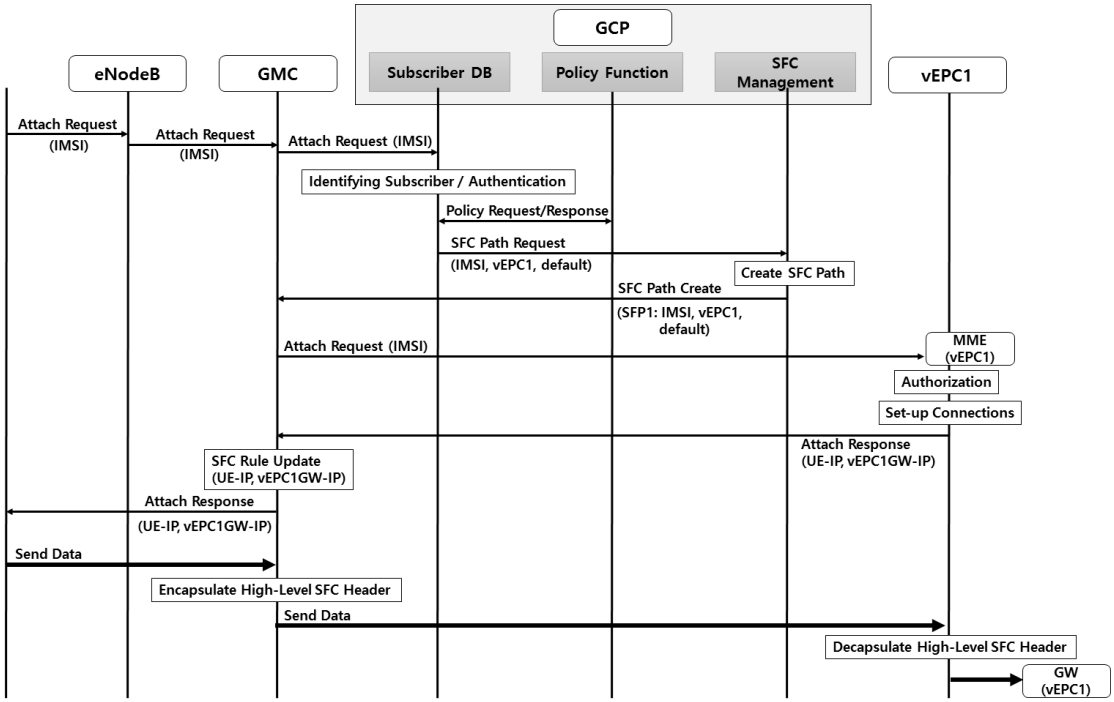

그림 5. 제안 구조에서의 단말 초기 접속 절차
Fig. 5. Initial Attachment Call Flows in Proposed Architecture

및 vEPC 내 GW IP 주소 등을 포함하여 전송하면 GMC에서는 이를 기반으로 SFC Path Rule을 생성한다. 이를 통해 연결 설정이 완료된 단말에서 데이터 패킷을 보내게 되면, 단말에서 엑세스 네트워크를 거쳐 GMC에 도착한 패킷은 설정된 규칙에 따라 할당된 vEPC로의 경로 정보가 담긴 SFC 헤더를 캡슐화 하여 해당 vEPC에게 보내 vEPC에서 단말의 데이터 패킷을 처리 및 전달할 수 있도록 한다.

초기 접속 절차를 통해 단말의 IMSI값을 기반으로 vEPC를 할당하고 이에 대한 연결을 설정했다면, 단말에서 실제 생성되는 세션에 따라서 세부적으로 vSGi-LAN으로의 SFC 체인을 생성 및 서비스 타입에 따라 SFC 경로를 변경하는 과정을 그림 6과 같이 정의하였다. 초기 접속절차를 통해 기본으로 생성된 SFC 경로 정책에 의해, vEPC를 거쳐 GSC에 도착한 단말의 패킷은 GCP에서 생성한 규칙에 따라 기본 할당된 vSGi-LAN으로 전달되고 해당 vSGi-LAN에서는 하위 레벨의 독립적인 SFC 경로 생성 및 전달을 통해 내부 네트워크 기능을 거쳐 외부의 인터넷으로 패킷을 내보내게 된다. GSC에서는 기존 규칙대로 SFC 캡슐화된 패킷을 전달하는 한편 단말에서 전송된 패킷에 대한 재식별을 수행하며, 이는 단말에서 보낸 데이터 패킷의 목적지 IP주소와 TCP/UDP 포트정보 및 어플리케이션 계층에 이르기까지 전 계층적인 식별을 통해 해당 패킷의 서비스 종류를 정의한다. GSC에서는 식별한 패킷의 정보를 GCP의 정책 관리 기능으로 전송하고, GCP에서는 해당 정보를 기반으로 SFC 경로를 업데이트할 것인지를 결정한다. 새로운 vSGi-LAN으로 경로를 변경하고자 하는 경우, GCP 내 SFC 관리기능은 해당 패킷에 대한 SFC 경로를 업데이트하여 GSC에 내려주며 동시에 GMC에도 내려주어 상위 계층의 SFC 경로가 업데이트 되도록 한다. SFC 경로 업데이트가 GMC 및 GSC에서 완료되면, 단말의 해당 서비스 타입을 포함하는 데이터 패킷은 vEPC를 거쳐 새롭게 할당된 vSGi-LAN으로 전달된다. 이 때 GMC와 vEPC 사이 구간, vEPC와 GSC사이 구간 및 GSC와 vSGi-LAN사이의 구간은 상위 레벨의 SFC경로 정보가 담긴 헤더로 캡슐화 되어 데이터를 전달한다.

본 논문에서 제안한 방식은 모바일 코어 네트워크를 분산형으로 구현할 때, 엑세스 네트워크로부터 접속하는 단말의 접속 및 트래픽 전달을 차등적인 서비스에 따라 최적화된 서비스로 효율적으로 분산할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어, IoT를 수용하기 위해

서는 기존 코어 네트워크보다 더 경량화되고 적은 용량의 데이터를 최소한의 시그널링 메시지로 처리해야 하는 요구사항이 있다. 이 경우 네트워크 사업자는 IoT를 위한 코어 네트워크 구조를 설계하고 이를 하나의 가상화 EPC 도메인으로 구축할 수 있다. 제안 구조에서는 동일한 엑세스 네트워크를 통해 유입되는 트래픽에 대해서 단말의 타입 또는 해당 트래픽의 IP 주소 등을 통해 적절한 가상화 네트워크 도메인으로 트래픽을 분산할 수 있기 때문에 단일 네트워크 도메인으로 다양한 타입의 단말 및 트래픽을 수용하는 구조보다 더 트래픽 분산 측면에서 효율적이다.

본 논문에서 제안한 구조에서, 기존 네트워크에 비해 단말의 초기 접속 시 GMC에서 메시지 내 단말 정보 식별에 의한 vEPC 및 vSGi-LAN을 포함하는 SFC 경로를 설정하는 과정에서 초기 접속 절차의 지연시간이 발생할 수 있다. 제안한 구조에서의 메시지 절차의 정량적 분석을 위해, 단말의 접속 시 초기 접속 절차에 의해 GMC에서 분산 vEPC 인스턴스 중 하나를 포함한 SFP를 생성하여 해당 vEPC 인스턴스로 초기 접속 요청을 보내는 시나리오를 고려하여 기존의 단일 EPC 네트워크에서의 초기 접속 절차 대비 어느 정도의 지연시간이 발생하는지를 분석하였다. 분석에 사용된 시나리오는 SDN기반의 패킷 전달을 통한 초기 접속 절차 지연 감소를 제안한 연구에서의 분석 시나리오 및 방법을 참고하였다[18]. 분석 방법에 있어, 초기 접속 절차 지연시간은 단말이 네트워크에 접속하는 시간에서부터 단말이 Attach Response 메시지를 통해 망 내에서 사용할 수 있는 UE-ID를 할당받는 시간까지로 정의되었으며 이는 메시지의 수, 각 시그널링 메시지를 통한 프로세싱 비용 및 각 기능간의 홉 및 링크 전달 비용 등으로 계산하였다. 논문에서 제안하는 구조와 분석 시나리오를 제안한 기법 및 본 논문에서 제안한 구조 내에서의 메시지 지연시간을 분석한 결과는 표 1과 같다. 분석 결과, Attach Request 메시지에 대해 GMC에서 식별 및 NSH 헤더 캡슐화를 위한 프로세싱 시간 및 이로 인한 메시지 수 증가로 기존의 LTE 네트워크 대비 지연시간이 소폭 증가한 것으로 나타났다. 그러나 초기 접속 절차 지연뿐만 아니라 분산 네트워크를 고려한 네트워크 내 트래픽 분산으로 인한 효율성을 고려하여 제안한 기법의 성능을 증명해야 하며, 이는 추가적인 구현 및 분석 알고리즘의 개발을 통해 진행할 것이다.

표 1. 단말 초기접속 절차 지연시간에 대한 정량적 분석
Table 1. Numerical Analysis for Lateny at the Initial Attachment Procedure

	Tradtional LTE-EPC	SDMA[17]	hSFC-EPC
Number of Messages	14	12	15
Initial Attachment Latencies (msec)	56.1	51.1	61.99

Ⅳ. 제안 구조의 세부 구현 설계

본 논문에서 제안한 계층적 SFC 기술을 적용한 가상화 분산 모바일 네트워크 구조에 대한 실제 동작을 검증하기 위한 테스트베드 설계를 진행하였다. 구축한 테스트베드의 구조는 그림 6과 같다. 테스트베드는 인텔 기반의 범용 서버 2대를 사용하였으며, 가상화 플랫폼은 KVM 하이퍼바이저 기반에 오픈소스 가상화 플랫폼인 OpenStack을 사용하였다[19]. 그림에서, vEPC 네트워크를 구성하는 물리 서버에는 3GPP Rel. 11 기반의 EPC 소프트웨어를 통해 SGW, PGW, MME등의 EPC네트워크 기능들이 하나의 가상 머신으로 구성된 vEPC 인스턴스를 여러 개 구성하였다. 각 가상 머신을 하나의 vEPC 하위 도메인으로 간주하여 GMC에서 Femto로의 단말 접속 요청 메시지를 수신 시, 식별에 의해 선정된 vEPC 가상 머신 내 MME 주소로 전달할 수 있도록 설정하였다. vSGi-LAN 네트워크를 구성하는 또 하나의 물리 서버에는 여러 개의 SGi-LAN에서 제공하는 네트워크 기능들을 가상화 형태로 구현하였다. 다만 NSH헤더 및 SFC 동작 관련 처리를 위해서, 각 기능들은 실제 동작하는 기능이 아닌 NSH 헤더 처리를 위한 Psuedo Function으로 구현하였다. 즉, NSH 캡슐화 된 패킷을

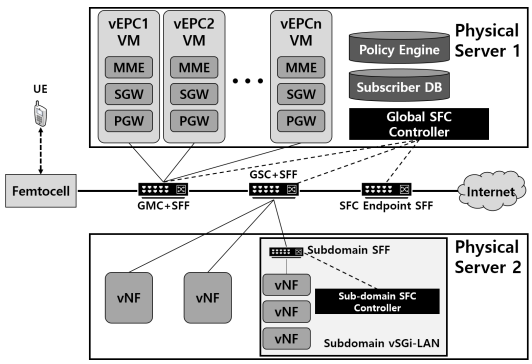

그림 6. 제안 구조에 대한 테스트베드 구현 설계
Fig. 6. Implementation Design for Proposed Architecture

수신하였을 때 SF를 거쳐서 가는 것과 동일한 과정으로 헤더 내 정보를 수정하여 네트워크로 전달하는 기능만을 수행한다. 서버 간의 네트워킹 및 서버 내 가상화 스위치인 OpenvSwitch[20]를 제어하기 위한 SDN 컨트롤러는 OpenDaylight[21]을 사용하여 제어하였으며, 계층적 SFC를 구현하기 위한 다양한 vSGi-LAN 도메인 구성을 위해, 인스턴스들의 논리적인 네트워크를 나누어 하위 네트워크 도메인은 독립적인 OpenDaylight 컨트롤러가 제어하도록 구성하였다. SFC 기술의 적용을 위해서, OpenvSwitch에서 NSH헤더를 처리하기 위한 패치를 적용하였으며, OpenDaylight SDN 컨트롤러에서 각 OVS에 플로우를 식별할 수 있는 룰을 설정하고, 이에 따라 NSH 헤더를 생성하여 VxLAN 기반의 오버레이 형태로 전달할 수 있도록 제어하는 SFC 플로그인을 설치하였다. 계층적 SFC는 하위 도메인의 OVS로 전달되는 패킷에 대해 하위 도메인의 SDN 컨트롤러에서 동적으로 SFC 규칙을 생성하고 NSH 헤더를 생성하도록 하였다. 하위 SFC 네트워크에서 고려되어야 할 주요 이슈 중 하나는 하위 계층의 SFC를 위한 NSH 헤더를 사용하더라도, 다시 상위 계층으로 패킷이 전달 될 때 기존에 상위 계층에서 정의한 NSH 헤더 정보를 복구해야 한다는 것이다. 이를 위해서, 상위 계층의 NSH 헤더와 매핑되는 정보들을 하위 SFC의 NSH 헤더 내 메타데이터 필드에 저장하였다가 다시 상위 계층으로 패킷이 전달될 때 매핑된 정보를 통해 이를 복구하는 방식을 사용하였다.

제안하는 테스트베드 설계를 실제로 구동하기 위해서, 단말이 접속 시 전송하는 Attach Request 메시지를 OVS-GMC에서 수신하면, 해당 패킷의 프로토콜 스택을 이해하고 이를 통해 단말의 IMSI 값을 인식할 수 있어야 한다. 이를 위해서, 단말의 Attach Request 헤더 내 IMSI값이 들어있는 데이터를 추출하여 이를 전달할 수 있는 추가적인 개발이 필요하다. 또한, 엑세스 노드와 vEPC간에 S1-MME 및 S1-AP 인터페이스 지원을 위한 GTP 터널링 기반의 터널링 지원에 대한 기능을 추가적으로 개발해야 할 필요성이 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 분산 클라우드 형태로 구현되는 5G 가상화 분산 이동통신망을 고려하여, 다양한 단말 종류 및 트래픽에 따라 분산된 vEPC 및 vSGi-LAN 클라우드를 SFC 기반의 경로 설정을 통해 연결하고, 각각의 클라우드 내 필요에 따라 개별적인 SFC를 구축하여 내부 경로 제어를 독립적으로 제어할 수 있는 구조를 제안하였다. 또한, 오픈소스 기반의 테스트베드를 구축하고 제안한 기술을 테스트하기 위한 방안을 설계하였다. 추후 3GPP 표준 기반 시그널링의 식별을 통한 경로 규칙 설정 기능을 개발하여 테스트베드 내에서 실제로 패킷이 분산 처리되는 과정을 보이고, SFC 경로 설정에 대한 성능을 분석하여 실 적용에 따르는 요구사항의 추가적인 도출이 필요하다. 초기 접속 절차에 대한 정량적 분석 결과 기존 이동통신망에서의 접속 절차에 비해 지연시간이 소폭 증가하였으나, 분산 환경을 고려하여 트래픽 분산에 대한 효율성을 증명할 수 있는 추가적인 실험 및 분석이 필요할 것으로 보인다. 실제 구현 관점에서는 SDN 컨트롤러에서 SFC 경로를 생성 시 효율적으로 트래픽을 분산시킬 수 있는 SFC 분배 알고리즘[22] 등을 고려하여 최적화 시킬 수 있는 방안이 필요하다.

References

[1] 3GPP TS 29.274, *Evolved General Packet Core Radio Service(GPRS) Tunneling Protocol for Control plane (GTPv2-C)*, Sep. 2011.

[2] P. Kostas, Y. Wang, and W. Hu, "Mobileflow: toward software-defined mobile networks," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 51, no. 7, pp. 44- 53, Jul. 2013.

[3] G. Lee, I. Jang, W. Kim, S. Joo, M. Kim, S. Pack, and C. Kang, "SDN-based middlebox management framework in integrated wired and wireless networks," *J. KICS*, vol. 39, no. 6, pp. 379-386, Jun. 2014.

[4] A. Basta, W. Kellerer, M. Hoffman, H. J. Morper, and K. Hoffman, "Applying NFV and SDC to LTE mobile core gateways: The finctions placement problem," *ACM AllThingsCellular*, Chicago, USA, pp. 33-38, Aug. 2014.

[5] A. Basta, A. Blenk, W. Kellerer, M. Hoffman, H, J, Morper and K. Hoffman, "SDN and NFV dynamic operation of LTE EPC gateways for time-varing traffic patterns," *MONAMI*, Springer Int. Publishing, pp. 63-76, 2015.

[6] J. Heinonen, T. Partti, M. Kallio, M.

Lappanlainen, H. Flink, and J. Hillo, “Dynamic tunnel switching for SDN-based cellular core networks,” *ACM AllThingsCellular*, Chicago, USA, pp. 27-32, Aug. 2014.

[7] R. Guerzoni, R. Trivisonno, and D. Soldani, “SDN-based architecture and procedures for 5G networks,” *1st IEEE Int. Conf. 5G for Ubiquitous Connectivity(5GU)*, Levi, Finland, pp. 209-214, Feb. 2014.

[8] R. Trivisonno, R. Guerzoni, I. Vaishnavi, and D. Soldani, “SDN-based 5G networks: architecture, functions, procedures and backward compatibility,” *Trans. Emerging Telecommun. Technol.*, vol. 26, no. 1, pp. 82-92, Dec. 2014.

[9] S. Shanmugalingnam and P. Bertin, “Programmable mobile core network,” *ISCC*, Madeira, Portugal, pp. 1-7, Jun. 2014.

[10] T. Taleb, M. Corici, C. Parada, A. Jamakovic, S. Ruffino, G. Karagiannis, and T. Magedanz, “EASE: EPC as a service to ease mobile core network deployment over cloud,” *IEEE Network*, vol. 29, no. 2, pp. 78-88, Mar. 2015.

[11] I. Cho and S. Kang, “VIMS: Design and implementation of virtual network integrated control and management framework over national research network,” *J. KICS*, vol. 37, no. 10, pp. 877-888, Oct. 2012.

[12] V. G. Nguyen, T. X. Do, and Y. Kim, “SDN and virtualization-based LTE mobile network architectures: A comprehensive survey,” *Wireless Pers. Commun.*, vol. 86, no. 3, pp. 1401-1438, Aug. 2015.

[13] J. Halpem and C. Pignataro, *Service Function Chaining (SFC) Architecture*, RFC 7665, IETF, Oct. 2015.

[14] P. Quinn and U. Elzur, *Network Service Header*, IETF Internet-Draft, draft-ietf-sfc-nsh-07, Aug. 2016.

[15] D. Dolson, S. Homma, D. Lopez, M. Boucadair, D. Liu, T. Ao, and V. Vu, *Hierarchical service function chaining (hSFC)*, IETF Internet- Draft, draft-ietf-sfc-hierarchical-00, Jul. 2016.

[16] W. Haeffner, J. Napper, M. Stiemerling, D. Lopez, and J. Uttaro, *Service function chaining use cases in mobile networks*, IETF Internet-Draft, draft-ietf-sfc- use-case-mobility-06, Apr. 2016.

[17] 3GPP TR 23.799, *Study on Architecture for Next Generation System*, v. 1.0.2, Sept. 2016.

[18] P. Gurusanthosh, A. Rostami, and R. Manivasakan, “SDMA: A semi-distributed mobility anchoring in LTE networks,” *2013 Int. Conf. MoWNeT*, Montreal, Canada, pp. 133-139, Aug. 2013.

[19] O. Sefraoui, M. Aissaoui, and M. Eleuldj, “OpenStack: toward an open-source solution for cloud computing,” *Int. J. Computer Appl.*, vol. 55, no. 3, 2012.

[20] *Open vswitch*, from http://www.openvswitch.org

[21] J. Medved, R. Varga, A. Tkacik, and K. Gray, “Opendaylight: Towards a model-driven sdn controller architecture,” in *Proc. IEEE Int. Symp. World of Wireless, Mob. and Multimedia Netw.*, Sydney, Austrailia, June 2014.

[22] M. Kim, G. Lee, S. Choo, S. Pack, and Y. Kim, “Optimal flow distribution algorithm for efficient service function chaining,” *J. KICS*, vol. 40, no. 6, pp. 1032-1039, Jun. 2016.

선 경 재 (Kyoungjae Sun)

2013년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2013년 3월~현재 : 숭실대학교 정보통신신소재융합학과 석박통합과정
<관심분야> 모바일 네트워크, 이동성 관리 기술, SDN/NFV

김 영 한 (Younghan Kim)

1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 석사
1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 박사
1994년~현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
<관심분야> 모바일 네트워크, 이동성 관리 기술, SDN/NFV, 센서 네트워크