

개방형 가상인프라 실현을 위한 캐리어급 SDN 핵심기술

김영화, 이병준, 최태상, 윤빈영, 양선희
한국전자통신연구원

요약

본고에서는 클라우드 네트워킹을 위한 SDN 기술에 이어 최근 관심이 커지고 있는 캐리어급 SDN 기술 동향과 국내 기술개발 현황을 소개한다. 캐리어급 SDN의 구조 및 요구사항을 분석하고, 핵심기술로서 분산 계층형 SDN 컨트롤러, 네트워크 가상화 통합적 제어관리, Transport SDN 제어관리 기술 등을 소개한다. 아울러 표준화 동향과 Use-case들을 간단히 살펴본다.

I. 서론

최근 들어 모바일 멀티미디어 데이터의 폭증과 일간 트래픽의 동적 변이 심화, 클라우드 컴퓨팅의 확산과 IT 기반 다양한 서비스의 신속한 지원 중요성 등 ICT 환경의 급속한 변화로 인해 인프라의 혁신 필요성이 커지고 있다. 이에 따라 새로운 비즈니스 수요를 빠르게 지원할 수 있고, 트래픽의 동적 변화에 따라 인프라 자원의 최적 활용이 가능한 사용자 응용 지향의 유연하고 효율적인 스마트 인프라로의 패러다임 전환이 요구된다.

SDN은 인프라에 요구되는 이러한 구조적 유연성과 개방성을 제공할 수 있도록 중앙집중적인 제어 계층과 개방형 API에 기반한 인프라의 프로그래머빌리티를 지원함으로써 차세대 네트워킹 기술로서 각광을 받고 있다. 인프라 사업자들은 SDN 구조를 적용함으로써 네트워크 인프라를 컴퓨터 인프라와 유사한 수준으로 소프트웨어적으로 프로그래머블하고 제어관리 가능하도록 진화시켜 나가고자 하고 있다.

2012년 ONF 설립과 함께 산업화 관점에서 SDN 기술개발이 발빠르게 진행되고 있다. 그 동안 주로 클라우드 데이터 센터나 엔터프라이즈 네트워크 규모에 적용하기 위한 OpenFlow 위주 기술이 개발·도입 되어 오고 있다. 지난해부터는 캐리어 인프라와 NFV 기술과 연계한 스마트 유무선 네트워킹 인프라 서비스 관점에서 국내외 사업자 및 주요 벤더들이 다양한 시나리오와 솔루션을 발표하고 있다.

유무선 사업자의 경우 SDN 기술 도입을 통해, 인프라의 단순화와 효율화를 통한 비용절감, 새로운 수익모델의 창출, 기존 장비 벤더에 대한 종속성 문제 해결 등을 기대하고 있다. 사업자들이 관심을 갖는 Use-case로는 SDN 가상인프라를 기반으로 하는 초고품질 콘텐츠 서비스, UC(Unified Communications)를 비롯한 스마트워크 서비스, IoT 와 같은 혁신적 사용자 응용과 연계한 새로운 수익 모델의 창출이 있다. 또한 모바일 데이터 오프로딩과 같은 유무선 네트워킹 자원 사용 효율의 극대화, 트래픽 관리와 같은 자원 사용 효율화 관련 응용들이 논의되고 있다. 메트로 이더넷 및 광 전송망을 비롯한 장거리 전달망에서 다계층, 다종 벤더 전달 인프라의 수직적 수평적 통합제어를 통한 인프라 단순화와 운용 효율화도 사업자들이 관심을 많이 갖고 있는 응용이다. 최근에는 L2~L4 네트워킹 하드웨어 장비(Evolved Packet Core, Intrusion Detection System, Intrusion Protection System, Firewall, Load Balancer 등) 들을 소프트웨어 응용화 하고 필요에 따라 동적으로 가상서버화하여 망 내에 설치하는 서비스 체이닝 응용에 대해 CAPEX/OPEX 절감이 가능한 솔루션으로서 관심이 커지고 있다.

이처럼 다양한 Use-case들이 논의되고 있으나, SDN 기술이 유무선 사업자 망에 성공적으로 진입하기 위해서는 해결되어야 할 기술적 이슈들이 아직 많이 남아 있다.

전통적으로 유무선 사업자망은 패킷과 회선 교환 방식, IP와 광의 혼재 등 다양한 기술과 장비들이 섞여 있는 대규모 망으로 구성되어 있다. 또한 표준에 기반한 상호 운용성의 중요성, 99.999 % 이상의 신뢰성의 보장, 점진적 진화 가능성을 중시한다. 이러한 캐리어 인프라의 특성은 SDN 개념의 핵심인 중앙집중적인 제어관리 및 API 기반의 소프트웨어에 의한 프로그래머빌리티와 배치되는 특성이라고 할 수도 있다. 즉, 캐리어급 SDN의 성공적 실현을 위해서는 SDN의 구조적 확장성 한계, 보안이나 가용성의 한계, API 확장성, 다계층 이종 기술들의 통합적 제어관리 지원 등 현재 기술의 한계를 극복해야 한다는 것을 의미한다.

본 고에서는 SDN 기술을 유무선 사업자망으로 성공적으로

확산하여 캐리어급 가상인프라를 지원할 수 있도록 핵심기술과 표준화 동향을 살펴보고자 한다.

II. 캐리어급 SDN 구조 및 요구사항

사업자망은 패킷 기반 IP망과 회선방식의 광 전송의 다계층 구조의 코어망과 액세스망, 클라우드 네트워크 구간 등으로 구성된다. 또한 각 도메인에는 여러 벤더들의 장비가 도입되어 있어서 제어관리 측면에서는 기술·관리영역·벤더들에 따라 여러 분할된 도메인으로 구분되는 복잡한 망 구성을 보여준다.

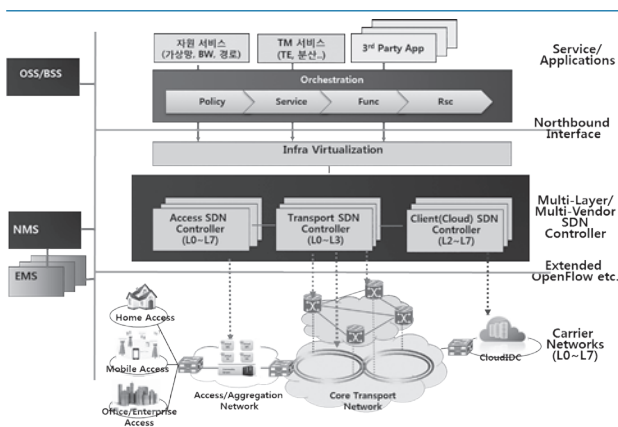


그림 1. 종단간 SDN 기반 사업자망 구성

망사업자는 이러한 다계층, 이종 장비로 구성되어 있는 인프라에 대해 <그림 1>과 같이 SDN 기술을 적용하여 수직적·수평적으로 통합 제어 관리 가능한 단순화된 망으로 모델링하고자 한다. 아울러, 이처럼 단순화된 뷰를 제공하는 인프라 상에 응용 지향의 가상 네트워크를 지원하여 새로운 수익모델들을 창출하고자 한다. 그런데, 이처럼 대규모 이종망으로 구성되는 사업자망에 종단간 SDN 개념을 적용하기 위해서는 다음과 같은 기술적 요구사항들이 해결되어야 한다.

○ 컨트롤러의 확장성·고가용성·상호연동성

대규모 인프라를 안정적으로 제어할 수 있도록 캐리어급 SDN 컨트롤러는 규모, 성능, 기능 측면에서의 확장성과 고가용성 및 고 보안성 보장할 수 있어야 한다. 구조적으로 인프라 규모, 트래픽 증감에 따라 적응적으로 규모를 늘려갈 수 있는 플랫폼 구조를 지원해야 하며, 전 인프라에 대한 글로벌 뷰를 유지할 수 있어야 한다. 아울러 네트워크 상태 변화 시에는 적정 수준 이하의 지연(Latency)을 유지할 수 있어야 한다.

한편, 대규모 사업자망에 SDN이 적용되기 위해서는 확장성,

관리 편의성, 응용이나 사용자별 가상인프라 지원, 점진적 SDN 확산 등의 이유로 SDN 도메인의 분할이 불가피해 진다. 따라서 사업자망에 종단간 SDN 구조를 적용하기 위해서는 서로 다른 SDN 도메인간 또는 동일 도메인내의 서로 다른 SDN 컨트롤러 간의 연동을 지원해야 한다. SDN 컨트롤러 간에는 토폴로지와 네트워크 상태 정보, 라우팅 정보, 응용 특성 등의 정보가 교환되어야 한다.

○ 네트워크 인프라의 수직적·수평적 통합 제어

종단간 Resource On Demand 서비스(가상망, 대역폭, 경로 서비스 등) 들이 실시간으로 지원될 수 있도록 광전송에서 패킷 계층까지의 다계층에 대한 수직적 통합제어, 액세스망·코어망·클라이언트망에 대한 수평적 통합제어가 seamless하게 지원될 수 있어야 한다.

예를 들어 다지점에 분산된 가상 클라우드간에 대역폭 보장 경로서비스가 필요한 경우, 이 경로는 클라우드 센터내 가상네트워크 구성에 이어 액세스망 및 코어망을 거쳐 대역폭 보장형 경로를 프로비저닝할 수 있도록 SDN 컨트롤러간에 유연하게 연계 제어될 수 있어야 한다.

○ 서비스 및 자원에 대한 오케스트레이션

종단간에 SDN 응용을 프로비저닝하기 위해서 서비스 특성과 다계층의 이종 자원들을 통합적으로 관리하면서 최적으로 자원을 할당, 지속적으로 조율하는 오케스트레이션 기능이 지원되어야 한다. 오케스트레이션은 Policy, Service, Networking Function, ICT 자원들을 통합적으로 조율하여 최적의 가상 네트워킹 환경을 지속적으로 지원할 수 있도록 프로비저닝, 모니터링, 최적화 등을 지원해야 한다.

○ 대규모의 동적 가상인프라 지원

유무선 사업자망에서는 VNO(Virtual Network Operator) 및 최종사용자들을 대상으로 하는 가상 인프라가 대규모로 지원될 수 있어야 한다. 즉, 수십개 이상의 가상인프라의 구성과 생성, 관리, 가상인프라간의 격리, 가상인프라의 서비스 품질 등을 지원할 수 있어야 한다. 물론, 각 가상인프라 별로는 사용자 정의 정책(Policy), 서비스(Service), 네트워킹 기능(Function), 자원(Resource) 등이 seamless하게 연계되어 정의되고, 적용 될 수 있어야 한다.

○ OAPI 확장성과 표준화

유무선 사업자 망의 구체적 환경이나 추구하는 비즈니스 모

델에 따라 다양한 SDN 요구사항과 특화된 시나리오들이 가능하다. 그럼에도 사업자망으로서 그들간에 상호연동을 지원하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 이러한 다양한 환경과 Use-case 들을 지원할 수 있도록 OpenFlow를 비롯한 SDN API들은 확장성을 지원할 수 있어야 하며, 표준화를 통해 상호 운용성을 확보하는 것이 매우 중요하다.

Ⅲ. 캐리어급 SDN 핵심기술

1. SDN 컨트롤러 기술

○ 기술개요 및 동향

SDN은 네트워크 제어 평면을 전송 평면과 분리하여, 소프트웨어를 통한 중앙 집중형 네트워크 제어가 가능하도록 한다. 이때 별도로 분리된 네트워크 제어 평면 제어 엔티티를 통상 SDN 컨트롤러(controller)라고 한다.

이 컨트롤러는 통상적으로 (1) 전송 평면과의 통신을 위한 하향 인터페이스(south-bound interface) 계층과 (2) 네트워크 응용과의 통신을 위한 상향 인터페이스(north-bound interface) 계층, 그리고 (3) 하향 인터페이스를 통해 접속된 전송 평면의 물리적 정보를 논리적 정보로 가공하여 보관하고 네트워크 응용에 제공하는 추상화(abstraction) 계층의 세 부분으로 구성된다.

SDN 기술이 처음 소개된 이래로 하향 인터페이스 계층을 구현하는 데 필요한 프로토콜로는 OpenFlow가 주로 사용되고 있으며, 실질적인 산업 표준으로 간주된다. 한편, 상향 인터페이스 계층을 구현하는 데는 보통 HTTP 기반의 REST(Representational State Transfer) 프로토콜이 이용되어 왔다. 논쟁의 여지가 있긴 하지만, 현재로서는 REST 프로토콜이 실질적인 표준이다.

이런 프로토콜에 기반하여 다양한 컨트롤러들이 오픈소스 형태로 공개되거나 상업적 형태로 개발되고 있다. 오픈소스 컨트롤러 가운데 대표적인 것으로는 Floodlight, NOX, POX, OpenDaylight, OpenIRIS, ONOS 등이 있다. 상업적 컨트롤러는 SDN 장비를 생산하는 업체는 기본적으로 생산하고 있으며, 대표적인 것으로는 Big Switch의 Big Network Controller, NEC의 Programmable Flow Controller, HP의 Virtual Application Networks SDN Controller, Juniper의 Contrail 등이 있다.

이처럼 다양한 형태의 컨트롤러 기술이 공개되고 있음에도 불

구하고, 시장에 공개된 컨트롤러 기술 가운데 컨트롤러의 규모 확장성이나 가용성 문제를 깊이 있게 다루는 것은 아직 없는 상태다. 컨트롤러의 규모 확장성과 가용성 문제는 컨트롤러가 추상화하는 제어 평면이 네트워크의 중앙집중형 제어를 가능하게 한다는 특성에 기인한 것이다. 어떤 이유로 컨트롤러가 네트워크에 대한 제어권을 상실하거나 다량의 SDN 전송 장비의 요청을 제대로 처리할 수 없도록 성능이 저하될 경우, SDN 전송 평면은 제대로 동작할 수 없다. 따라서 컨트롤러로 추상화되는 SDN 제어 평면은 납득할만한 수준의 규모 확장성과 가용성을 통해 안정적인 동작 및 성능을 보장해야 한다. 그러나 이에 관련된 연구는 폭넓게 이루어지지 못하고 있는데, 현재 SDN 기술이 반응적(reactive) 제어 대신 선행적(proactive) 제어를 요구하는 클라우드 네트워크에 주로 적용되고 있기 때문인 것으로 보인다. 그러나 향후 SDN 기술이 클라우드 뿐 아니라 캐리어급 네트워크에도 확산될 것으로 전망됨을 감안하면, 반응적 제어를 요구하는 대규모 네트워크에 적용할 수 있도록 규모 확장성과 가용성을 반드시 지원해야 할 것이다. 현재 이에 대한 연구 개발은 참고문헌 [1], [2], [3] 등과 같이 제한적으로만 이루어지고 있다.

○ IRIS 컨트롤러 구조

본 고에서 소개할 SDN 컨트롤러 IRIS는 HiSA(Highly Scalable and Available Controller Architecture)와 RAON(Recursive Abstraction of OpenFlow Network)의 두 가지 기술을 사용해 SDN 제어 평면의 성능 문제를 근본적으로 해결하고자 한다. 본질적으로 규모 확장성이나 가용성 문제는 분산된 물리적 장비를 네트워크로 연결하여 풀 수 있는 문제이며, 그런 문제를 공략하는 데는 SDN 기술이 이상적이다.

IRIS의 HiSA와 RAON을 설계하는 데 사용한 몇 가지 원칙은 다음과 같다. (1) 네트워크는 더 작은 단위 네트워크로 분할 가능하다고 가정한다. (2) 각 네트워크는 하나의 SDN 컨트롤러 클러스터로 제어할 수 있도록 한다. 그리고 (3) 단대단 통신은 단위 네트워크의 SDN 컨트롤러 클러스터 간의 연동 구조를 통해 실현한다. 이 가운데 두 번째 원칙을 실현하는 것이 HiSA이며, 세 번째 원칙을 실현하는 것이 RAON이다.

HiSA 구조의 핵심은 컨트롤러 클러스터를 구성하는 각각의 컨트롤러 인스턴스를 연결하는 OpenFlow 스위치이다. 이 스위치는 클러스터의 백플레인으로, 별도의 컨트롤러(SA 컨트롤러)에 의해 통제된다. 이 백플레인이 하는 일은 컨트롤러 인스턴스들을 하나로 묶어, 두 개의 IP 주소를 제공하는 하나의 논리적 컨트롤러로 추상화하는 것이다. 단위 네트워크에 존재하는 SDN 스위치들은 이 IP 주소를 사용하여 컨트롤러에 접속하는

데, 백플레인인 해당 접속을 컨트롤러 인스턴스 가운데 하나로 자동으로 부하분산시킨다. 따라서 컨트롤러 인스턴스를 추가하여 클러스터의 크기를 키우면 하나의 논리적 컨트롤러가 처리할 수 있는 용량은 특별한 제약 없이 증가하게 된다. 아울러 이 백플레인인 컨트롤러 인스턴스 가운데 하나에서 장애가 발생한 경우, 장애가 발생한 인스턴스에 연결되어 있던 스위치들을 다른 인스턴스로 우회시킨다. 그러므로 HiSA 컨트롤러에서 발생하는 장애는 스위치 측에는 영향을 미치지 않는다. 각각의 컨트롤러 인스턴트는 Hazelcast [4]라는 데이터 그리드를 사용하여 단위 네트워크에 관한 정보를 공유하므로, 다른 인스턴스와 독립적으로 OpenFlow 패킷을 처리할 수 있다.

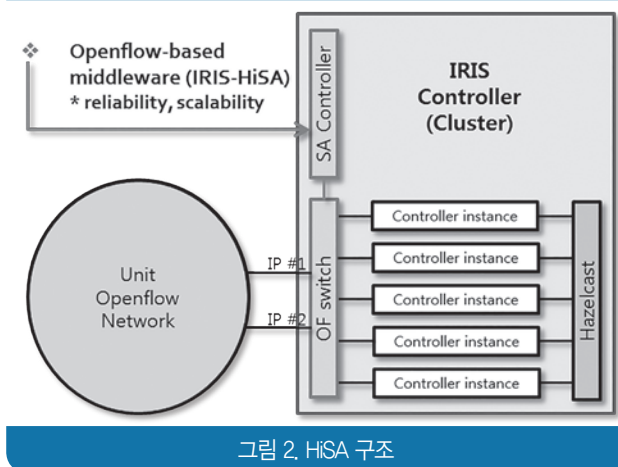


그림 2. HiSA 구조

〈그림 3〉은 RAON이 실현하고자 하는 네트워크 연동 구조다. 이 연동 구조에서 하나의 단위 네트워크는 하나의 논리적 SDN 스위치로 추상화되며, 각각의 컨트롤러는 계층 관계로 연결되어 있다. 상위 컨트롤러 입장에서 하위 컨트롤러는 하나의 SDN 스위치로 보이므로, 상위 컨트롤러는 하위 컨트롤러가 관장하는 네트워크의 복잡성에 관계 없이 단대단 통신을 지원하게 된다. 즉, 단대단 통신을 처리할 최상위 컨트롤러는 하나의 단위 네트워크 내부에서의 통신을 처리하는 것과 같은 방식으로 단대단 통신을 처리할 수 있게 된다. 이처럼 단순한 연동구조를 가능하게 하는 핵심적 기술이 RAON 에이전트 기술이다. 이 기술은 하나의 단위 네트워크를 SDN 스위치로 추상화하는 오픈소스 기반의 에이전트 기술이다.

RAON 에이전트는 Indigo라는 오픈소스 에이전트 소프트웨어에 IRIS 어댑터를 결합하여, IRIS가 관리하는 물리적 또는 논리적 네트워크를 하나의 논리적 SDN 전송 장비로 추상화하는 기술이다. RAON 에이전트를 통한 상위-하위 컨트롤러 간 연동에는 기존의 OpenFlow 프로토콜이 그대로 이용된다. 따라서 컨트롤러 간 연동을 위해 추가적인 프로토콜을 별도로 구현할 필요가 없다.

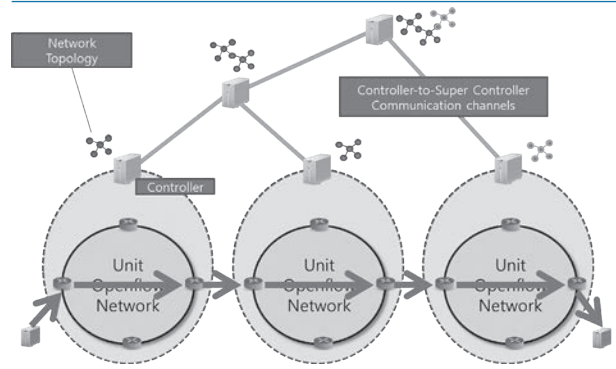


그림 3. RAON 네트워크 구조

○네트워크 가상화 개념

네트워크 가상화는 단일 물리망 자원들을 분리하여 다중의 논리망을 구성해 주는 개념이다. 기존의 VLAN을 비롯한 다양한 L2·L3 계층의 가상화 지원 기술들을 이용하여 지원될 수 있으나 이러한 기술들은 가상 네트워크 설정의 동적 유연성 부족 및 지원 가능한 가상 네트워크 개수의 제한 등 기술적 한계를 갖고 있다.

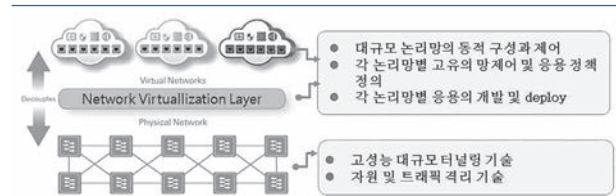


그림 4. SDN 기반 네트워크 가상화 개념

SDN 기반 네트워크 가상화는 〈그림 4〉에서 보듯이 네트워크 가상화에 요구되는 주요 기능요소인 논리망의 동적 구성과 제어, 각 논리망별 고유의 망제어 및 응용 정책 적용, 각 논리망별 응용의 개발 및 적용, 각 논리망간의 자원 및 트래픽 격리, 전송 계층 상에서의 대규모 터널링 설정 등을 SDN 개념하에 지원하는 기술이다.

○네트워크 가상화 기술 동향

네트워크 가상화의 초기 솔루션으로 오픈플로우 연구망 가상화를 위해 플로우 스페이스 슬라이싱에 기반한 Flowvisor 기술이 사용되고 있으나 단순히 논리적 격리만을 지원하는 기능을 수행하기 때문에 기능 및 성능 면에서 한계를 갖고 있는 기술이다.

그 이후 Nicira사에서 발표한 NVP (Network Virtualization Platform)은 클라우드 서비스를 위한 네트워크 가상화 기술을 구현한 플랫폼으로서 기존 네트워크의 에지에서 가상 네트워크 환경을 구성하는 기술이다. NVP는 서버 내의 하이퍼바이저가 물리적인 하드웨어 서버 자원을 가상화하여 사용자에게 가상

머신을 제공하는 것처럼 물리적인 네트워크를 가상화하여 정형화된 네트워크 용량을 사용자에게 제공하고 그에 대한 제어를 중앙집중식으로 가능하게 한다.

2013년 후반 부터는 다양한 업체들(Big Switch, Cisco, Contexstream, Dell, HP, IBM, Juniper Contrail, Midokura, NEC, Nuage, PLUMgrid등)이 차별화된 네트워크 가상화 솔루션을 소개하고 있다. 연구망 적용 단계를 지나 대형 클라우드 데이터 센터 및 금융망과 같은 mission-critical한 엔터프라이즈에 적용이 시작되는 단계까지 발전되고 있다. 특히, Alcatel Lucent에서 분사된 벤처회사인 Nuage Networks 사의 VSP(Virtualized Services Platform)은 다양한 이기종 기술(서버 하드웨어, 하이퍼바이저, 클라우드 오케스트레이션 플랫폼, 네트워킹 솔루션)들을 서비스 상황(경제성, 보안성, 품질 등)을 고려하여 다양하게 조합하여 자동적으로 구성해 네트워크 가상화 솔루션을 제공하여 미국, 유럽 등의 시장을 확장해 가고 있다[5].

캐리어망을 대상으로한 네트워크 가상화 기술은 패킷 광 통합 다계층 네트워크 가상화에 대한 연구들이 최근 시작되고 있다. 또한 NFV(Network Function Virtualization) 이니셔티브를 중심으로 L4 ~ L7 네트워킹 기능 가상화 기술 및 표준 개발이 활발히 진행 중에 있다[6].

○가상인프라 관리 기술

네트워크 가상화의 실현을 위해서 가상인프라의 지능적 관리 기술이 반드시 필요하다. 지능적 관리 기술은 물리 인프라 정보의 종합적 발견(Discovery), 실시간 상태 수집, 수집 정보의 분석, 물리자원과 가상자원간의 맵핑, 지속적인 최적화 등을 지원할 수 있어야 한다. 즉, SDN 인프라 자원에 대해 토폴로지를 비롯하여 자원 상태, 성능, 품질, 장애 등의 정보를 상시 수집하고 이를 분석하여 컨트롤러가 가상인프라 별로 최적의 전달 경로를 계산하여 적용할 수 있게 정보를 제공하여야 한다. 또한, 이렇게 수집 분석된 정보들을 기반으로 물리자원과 가상자원간의 최적 맵핑을 지원해야 한다.

가상인프라 관리 중에서 앞으로 많은 연구개발이 필요한 분야가 VNE(Virtual Network Embedding) 기술이다. VNE는 클라우드 데이터 센터를 포함한 단일 네트워크 내부 혹은 네트워크간 자원 할당 시 한정된 물리자원을 고객(응용) 요구를 고려하여 최적으로 가상인프라에 맵핑하고자 하는 것이다.

아울러 가상인프라 관리에 있어서 또 하나의 중요한 현안은 자원의 구성 및 관리의 자동화 이슈이다. 클라우드 분야에서는 많은 기술개발이 이루어져 있으며, Chef, Puppet, CFEngine 등과 같은 다양한 툴들이 가용한 상태이다. 그러나 액세스 및

패킷, 광, 이동망 코어 등으로 복잡하게 구성된 유무선 통신사업자 네트워크에서의 가상화 자원의 구성 및 자원 관리의 자동화는 앞으로 많은 연구개발이 필요하다.

〈그림 5〉는 가상인프라에 대한 지능적 관리를 위한 모니터링 기능구조이다. SuVMF(Software-defined Unified Virtual Monitoring Function)을 통해서 제어 및 데이터 트래픽을 실시간으로 모니터링하되, 필요에 따라 이들 트래픽의 필터링이나 병합, 변경 등을 통해서 모니터링 오버헤드를 적응적으로 제어할 수 있는 구조이다. 수집된 정보들은 가상인프라 관리 모듈(Virtual Network Management System)에 의해서 가상인프라 단위의 구성, 성능, 장애, 및 보안 관리 기능을 지원하게 된다.

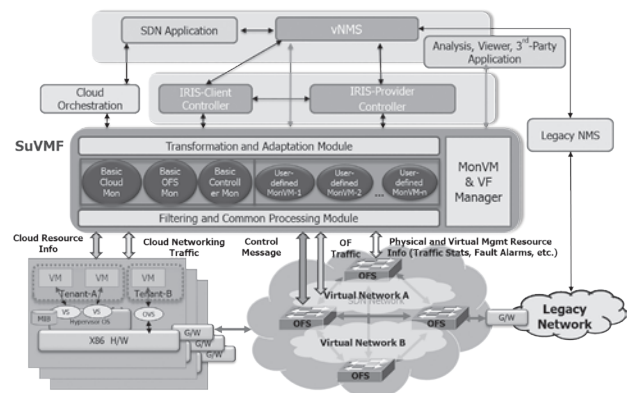


그림 5. 가상인프라 관리 구조도

3. Transport SDN 제어관리 기술

OT-SDN 기술 동향

Transport SDN 제어 관리 기술은 광, 회선, 패킷(MPLS-TP)과 같은 다계층 통합 전달망의 중앙집중적 제어 관리를 위해 SDN 구조를 적용함으로써 망운용 관리의 단순화와 효율화를 지향하는 응용이다.

Transport SDN 기술의 대표적인 응용 사례로는 미국의 ESnet(Energy Sciences Networks)에서 추진한 회선 기반 플로우 연결 설정의 자동화 사례가 있다. ESnet사는 자체 개발한 OSCARS(On-Demand Secure Circuits and Advanced Reservation System) 컨트롤러와 Brocade사의 라우터, Infinera사의 OTN (Optical Transport Network) 장비를 결합하여 회선 기반 플로우 연결 설정을 자동화함으로써 3개월 이상의 작업 시간을 5분으로 단축하는 효과를 확인했다[7][8]. EU에서는 2010년부터 2013년까지 약 6.3M 유로가 투자되는 OPELIA(OpenFlow in Europe: Linking Infrastructure and Applications) 프로젝트를 추진하여 다양한 형태의 T-SDN

기술들을 연구하였다[9]. 국내의 경우, KT에서 OPEX 절감 및 서비스 개선을 위한 과제로서 end-to-end On-Demand Leased Line Service Provisioning을 2017년을 목표로 추진 중에 있다.

OT-SDN 개념구조 및 핵심기술

앞에서 소개한 캐리어급 컨트롤러 및 네트워크 가상화 기술 등 국내에서 추진 중인 캐리어급 SDN 핵심기술 개발에 이어 2014년부터 T-SDN 기술개발이 시작되었다.

ETRI에서 개발하고 있는 T-SDN 기술은 <그림 6>에서 보듯이 데이터 평면의 L0 ROADM 장비, L1 OTN 장비, L2 MPLS-TP 장비로 구성되는 다계층 통합 전달망 장비와 T-SDN Controller간 OpenFlow와 같은 개방형 인터페이스 기술과 서비스 및 제어를 위한 자동화 및 가상화 기술들을 전달망에 적용하여 특정 벤더에 종속되지 않는 고속 및 안정된 전달망을 제공하는 것을 목표로 한다. 또한, 하나의 물리적인 전달망에 가상화 기술을 적용하여 전달망 고유의 서비스뿐만 아니라, 가상인프라 기반의 초고품질 VDI(Virtual Desktop Infra), 데이터센터간 연동, 초고품질 UHD TV 등의 다양한 응용을 지원할 수 있다.

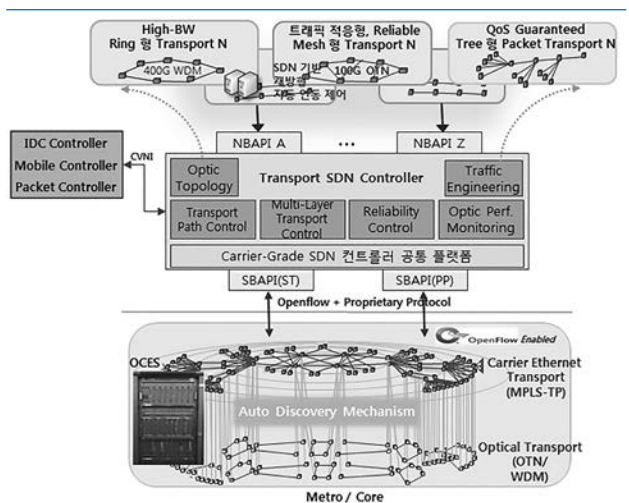


그림 6. T-SDN 참조 모델

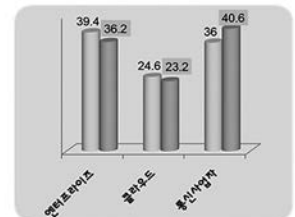
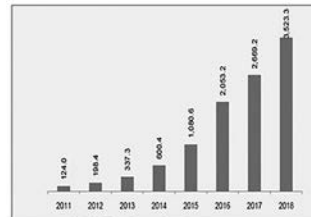
T-SDN 기술개발에서는 특히 회선(Circuit) 네트워크에 대한 Network Auto-discovery 메커니즘, 다계층 전달망을 상호 연결하기 위한 adaption 기능, 다계층 자원 할당 알고리즘에 대한 연구 및 QoS 기반의 다계층 통합 최적 가상 네트워크 제어 관리 기능이 요구된다. 또한, 전달망의 고신뢰 서비스 요구사항을 만족하기 위하여 실시간 장애 감지 및 복구 기능이 필수적이다. 아울러, 패킷, 무선, IDC 등 다양한 응용 서비스망과의 개방화 자동화된 연동 인터페이스 기능이 필요하다.

전달망에 대한 SDN 제어 인프라는 궁극적으로 L0 WDM부터 L7 서비스 계층까지의 SDN 기반 End-to-End 네트워크 서비스 통합 제어 기반을 마련함으로써 네트워킹 서비스의 효율화 및 신뢰성을 향상할 것이라고 기대된다.

V. 캐리어급 SDN Use-case

SDN 기술의 시장 전망 분석 자료에 의하면 SDN 세계 시장은 '12년 약 2억 달러에서 '18년에는 35억2천만 달러로 연평균 61.5%로 급속히 성장하고 있다[18]. 이처럼 급속히 성장 중인 SDN 시장을 사용자 별로 구분해 보면 <그림 7>에서 보듯이 엔터프라이즈, 클라우드 및 통신사업자 시장으로 구분할 수 있다. 이중 앞으로 통신사업자 시장이 가장 많이 성장할 것으로 기대되는데, '18년에는 전체 시장의 약 41%를 차지할 것으로 전망하고 있다.

구분	시장전망
• 세계시장	• '12년 198.4 백만불에서 '18년 3,523.3 백만불로 성장(CAGR 61.5%)
• 주사용자	• '12년 엔터프라이즈군에서 '18년 통신사업자군으로 시장 확산
• 제품군	• 클라우드제어, 스위칭장비, 컨트롤러 등의 순으로 제품군 형성
• 지역별	• 북미, 유럽, 아태지역 순, 특히 아태지역 성장이 빠름



(세계시장 전망: '12~'18)

(사용자별 전망)

그림 7. SDN 시장 전망. 자료출처[18]

본 고에서 소개하고 있는 캐리어급 SDN 핵심기술은 다양한 규모의 엔터프라이즈와 클라우드 및 통신사업자에 적용할 수 있으나 기술 특성을 고려하여 본 절에서는 주로 통신사업자 시장 위주로 Use-case를 소개한다.

앞에서 소개했듯이 SDN 기술의 가치는 중앙집중적 제어 구조에 기반한 인프라 운영 및 관리 효율화, 가상화에 기반한 IaaS 제공 능력, 그리고 인프라 여러 계층에서의 프로그래머빌리티를 활용한 응용/사용자 지향 스마트 네트워킹 능력에서 생겨난다. 물론, 이러한 SDN 기술의 장점들은 독자적으로 여러 Use-case들을 만들어 낼 수도 있으나, 상호 연계되어 매우 다양한 응용들을 만들어 낼 수 있다. 즉, SDN제어계층은 인프라

에 망운영자 및 서비스 사업자, 최종 사용자들을 대상으로 다양한 응용을 신속히 지원할 수 있는 미들웨어 개념이라고 볼 수 있다.

○인프라 운영 및 관리 효율화 응용

SDN의 구조가 네트워크 토폴로지 및 상태에 대한 글로벌 뷰를 기반으로 중앙집중적으로 제어관리되는 특성을 기반으로 트래픽 및 인프라 자원을 최적으로 맵핑 활용할 수 있다.

예를 들면 트래픽 관리 응용으로서 L4~L7 트래픽 특성을 분석하여 응용 특성을 고려한 최적 경로로 트래픽 경로를 제어해주는 트래픽 스티어링 응용이 있다. 또 다른 예로는 시간대별 트래픽 특성 변화를 분석하여 특정 지점간의 주간, 일간 및 시간대별 대역폭을 프로액티브하게 사전 계획에 의해 예약 설정하는 트래픽 캘린더링 응용으로서 장거리 전송망이나 데이터센터간 인터워킹 등에 연계하여 자원 관리를 효율화할 수 있는 좋은 사례이다. 이외에 트래픽 모니터링 및 정책과 연계한 과중트래픽 제어, 비상상황 시 음성 트래픽 위주로 트래픽 대역폭 제어를 함으로써 안정적으로 재난통신을 지원하는 use-case들을 고려할 수 있다. 또 다른 예로는 홈 네트워크를 SDN 기반으로 원격 제어관리 및 모니터링하는 응용으로서 이 역시 SDN 구조를 홈 네트워크 환경까지 확장하고, 이를 기반으로 다양한 QoS 나 보안 정책을 효율적으로 설정할 수 있도록 하고, 원격의 모니터링과 관리를 지원함으로써 가입자에게는 부가 가치를 제공하고, 통신사업자에게는 새로운 수익원을 창출해 줄 수 있는 Use-case이다.

○IaaS 응용

가상화에 기반한 IaaS 유형의 자원 서비스 및 할당된 가상 인프라 기반의 다양한 신개념 응용 들을 지원함으로써 유무선 통신사업자들에게 새로운 수익모델을 제공할 수 있다.

사용자 응용과 서비스 맞춤형 IaaS 자원을 지원하되, 가상인프라간 기능이나 성능이 상호 영향을 미치지 않도록 하는 격리, 유연한 규모 확장, 다양한 응용 가속 기능 및 보안 서비스와 통합적 모니터링 등을 지원함으로써 프리미엄급 Virtual Network on Demand(VNoD)를 지원하여, 다양한 신개념 응용들을 신속히 지원할 수 있게 될 것이다. 구체적인 use-case로는 VNoD 기반으로 클라우드 센터간이나 엔터프라이즈망간 동적 수요에 따른 가변 대역폭 기반 최적 인터워킹을 지원할 수 있다. 또한, 서비스 사업자들은 VNoD 기반의 CDN이나 VDI, IoT 와 같은 서비스 인프라로 활용할 수도 있고, 최종 사용자의 경우 텔레-프레즌스나 초고품질 미디어 스트리밍 응용, 멀티캐스팅 응용 등과 같은 일반 사용자 서비스 인프라로 활용할 수 있다.

○프로그래머빌리티에 기반한 스마트 네트워킹 응용

스마트 네트워킹은 응용이나 사용자 요구에 따라 인프라에서 품질, 보안, 자원 사용 효율 등을 최적으로 조율해 가는 개념이다. 스마트 네트워킹은 크게 2단계로 실현될 수 있다.

첫번째 단계는 액세스망 및 코어망의 기능이 고정된 상태에서 보안이나 품질, 자원사용 효율 등을 고려해서 트래픽의 흐름을 최적으로 배치함으로써 사용자에게는 최선의 QoE를 제공하고, 사업자에게는 최적으로 인프라 자원을 활용할 수 있도록 하는 지능형 네트워킹 응용이다. 구체적으로는 DPI 기반의 보안/품질 차별화 경로 서비스 지원, 네트워크-와이드 부하분산, 에너지 저감형 경로 서비스 등과 같은 Use-case들로서 인프라 운영 및 관리 효율화와 유사한 Use-case들이다. 셀룰러, WiFi, 유선 액세스 환경이 혼재하는 환경에서 이들 액세스 자원 상태를 고려한 모바일 데이터 오프로딩 응용이라든지, 사용자의 단말이나 위치 정보 등을 고려한 storage-aware 라우팅 같은 응용 들을 고려할 수 있다.

이러한 지능형 네트워킹에서 더 나아가 NFV 기반의 서비스-체인링은 인프라 기능 까지 프로그래머빌리티를 확장한 응용이다. Firewall, IDS, IPS 같은 보안 모듈, 미디어 재처리 엔진, 트래픽 분석, Evolving Packet Core(EPC) 등의 고가 하드웨어 장비를 소프트웨어 응용 모듈화하되, 가상머신 형태로 필요에 따라 적재 적소에 동적으로 로딩하여 스마트 네트워킹 환경을 지원함으로써 망 구축 비용을 획기적으로 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 캐리어급 SDN 표준화 동향

본절에서는 ONF, ETSI, IETF, 그리고 ITU-T에서 진행중인 SDN 관련 표준화 동향을 살펴본다.

[ONF]

ONF는 구글, 페이스북, 도이치텔레콤, NTT, Verizon과 같은 인터넷 서비스 및 통신 사업자들이 주축이 되어 개방형 네트워킹을 위한 OpenFlow 중심의 SDN 기술 표준화를 추진 중이다. 지난 2년간 Architecture, Extensibility, Configuration & Management, Market Education WG 을 중심으로 주로 클라우드 네트워크를 위한 OpenFlow 1.0 ~ 1.3.1 및 OFConfig 1.0 ~ 1.1.1 표준을 완료하였다.

2013년 초부터 본격적으로 발생하기 시작한 유무선 통신사업자 및 최종 사용자의 SDN 요구에 부응하기 위하여

Forwarding & Abstraction, Optical Transport, Wireless & Mobile, North-bound API WG을 추가로 신설하여 범위를 넓히고 있다. 모바일 트랜스포트 SDN 및 Application-driven SDN 표준을 NFV ISG, OSIF, ITU-T SG15 등 관련 표준 기구와 협력 하에 추진 중에 있다.

특히, ONF는 T-SDN 기술 표준을 위해서 2013년 OTWG(Optical Transport Working Group)를 구성하고 OpenFlow 규격 확장을 시작하였다[10]. OTWG는 Optical transport에 대한 Use-case 문서 작성을 완료하고 T-SDN을 위한 OpenFlow 프로토콜을 논의하고 있다. 현재, T-SDN과 관련하여 OpenFlow 1.4에는 광포트 설정, 광포트에 대한 상태 정보 및 규격에 대한 API가 정의되어 있다. 추가로 정의될 T-SDN 프로토콜들은 OpenFlow 1.5에 포함될 예정이다.

[ETSI NFV ISG]

인터넷 사업자 주도의 OpenFlow 위주의 개방형 API를 연구하는 ONF와 달리 ETSI NFV ISG는 주로 유무선 통신 사업자 위주로 현재의 기술로 실현 가능한 NFV 기술을 통해 CAPEX/OPEX를 줄이기 위한 목표로 출범되었다. NFV 표준을 주도하고 있는 ETSI NFV ISG는 2013년 1월 첫 회의를 개최한 이후 매 분기별로 총회 및 기술 분과 회의를 진행하는 등 발빠르게 움직이고 있다. 28개의 통신사업자 및 케이블 사업자를 포함한 150여개 회원사가 지난 10개월 간 작업을 통해, NFV Requirements, NFV Architectural Framework, NFV Terminology, NFV Use-case 및 NFV ISG Proof of Concept Framework 5개의 주요 문서를 발표하였다. NFV ISG는 ETSI가 지원하는 일종의 Interest Group으로 개발된 기술 문서로 향후 관련 국제 표준화 단체를 통해서 최종 표준화 작업이 필요하다.

[IETF]

IETF는 그동안 SDN 표준화에 대해 비교적 소극적이었으나, 최근 SDN의 중요성을 인식하고 여러 형태의 표준화 노력을 진행 중에 있다.

IRTF(Internet Research Task Force)에서 SDN RG(SDN Research Group)를 구성하여 SDN 관련 기술 및 표준화 이슈에 대한 브레인스토밍 형식의 표준화 사전 연구가 진행 중에 있으며 2013년 상반기부터 최초의 SDN 관련 WG으로 I2RS(Interface to the Routing System) WG을 신설하였다. I2RS WG의 주요 목표는 시스코와 주니퍼 등의 기존 인터넷 장비 제조업체를 중심으로 장비의 라우팅 시스템 요소들에 대한

인터페이스를 개방하여 외부에서 접근이 가능하도록 지원함으로써 SDN 개념을 현실적으로 수용하고자 하고 있다.

최근에는 NFV ISG에서 진행된 1단계 기술 문서를 기반으로 IETF에 관련 WG을 신설하는 시도가 있었으며 그 결과로 SFC(Service Function Chaning) WG이 2013. 12. 20부로 승인되었다. 이 WG에서 SFC Problem Statement, Architecture, Generic SFC Encapsulation, Control Plane Mechanism, 및 Manageability에 관련된 문서를 작업하는 것을 목표로 2015년 하반기까지 활동을 계획하고 있다.

그리고 VNF (Virtual Network Function)의 Reliability 및 Availability 관련 표준 개발을 위한 WG 신설을 위해 VNFPool이라는 Discussion Group을 통해서 관련 전문가들간에 활발한 논의가 진행 중이다. 또한 ALTO WG과 같이 네트워크 자원을 추상화 하여 인터넷 응용이 활용하는 표준화 작업이 진행되어왔으며 이를 확대하여 IP 네트워크뿐만 아니라 광 네트워크와 같이 통신사업자 코어 네트워크의 자원 추상화 및 제어 관리에도 적용할 수 있도록 하는 시도가 이루어지고 있다. 현재는 Bar-BoF 수준에서 관심이 있는 기관이 WG 신설을 위한 기본적인 작업을 진행 중에 있다. 이 그룹의 코드명은 ACTN (Abstraction and Control for Transport Networks)[24]로 현재 2회 정도의 회의 및 메일링 리스트 상에서 논의를 통해 Problem Statement, Use Case, Requirement 문서 등을 개발 중이다.

한편, IETF는 전달망의 경우 OpenFlow 기술 등장 이전에 이미 제어평면과 데이터 평면이 분리되었다고 주장한다. 그래서 중앙집중 방식으로 라우팅 경로를 계산하는 PCE(Path Computation Element) 기술을 사용하여 OpenFlow에 종속되지 않는 SDN 기술 구현이 가능하다고 보고 있으며, 이에 따라 기존의 표준 기술들을 보완하여 SDN 기술 표준을 추진하고 있다. 현재까지 대부분의 T-SDN 기술 개발 및 연구는 기존 IETF 표준 기술과 OpenFlow 기술을 결합하여 구현되고 있다[11][12][13].

[ITU-T]

ITU-T SG15에서는 2013년 7월부터 전달망에 SDN 적용을 위한 Q12(Transport Network Architectures)와 Q14(Management and control of transport systems and equipment)간의 SDN Joint 회의를 시작하였다. 앞으로 모델링과 같은 개념 및 전체적인 구조에 관한 표준으로 T-SDN 제어평면 구조(G.asdtn: Architecture for SDN control of Transport Networks) 권고안을 새롭게 작성하고,

ASON(G.8080) 등과 같은 제어와 관련된 기존의 표준문서들을 보완할 예정이다.

Ⅵ. 결론

본고에서는 캐리어급 SDN 핵심 기술 및 표준화 동향과 use-case에 대해 살펴 보고, ETRI를 중심으로 추진 중인 컨트롤러 및 가상인프라 관리, Transport SDN 등의 개발 내용과 방향을 간략하게 소개하였다

SDN에 대해서는 기존 인프라 산업생태계 상의 복잡한 이해관계에 따라 기술산업적으로 다양한 전망과 전략들이 발표되고 있다. 궁극적으로 SDN 기술은 다양한 응용의 신속한 지원과 폭증하는 트래픽을 가장 효율적으로 제어관리할 수 있는 핵심적인 네트워킹 미들웨어 소프트웨어로 발전해 갈 것으로 전망된다. 아울러 SDN 시장은 클라우드와 엔터프라이즈 시장을 지나 유무선 사업자망으로 확산해 갈 것으로 전망되고 있다.

본 고에서 살펴보았듯이 SDN 기술이 캐리어급 인프라에 성공적으로 진입하기 위해서는 확장성과 신뢰성 개선, 다계층 인프라 및 컴퓨팅 자원 가상화의 통합적 제어관리, SDN 도메인간 연동, 보안문제, 망관리 체계와의 조율 등 다양한 이슈들에 대한 연구개발이 필요하다. 한편, 사업자망을 중심으로 하는 2세대 SDN 기술은 OpenFlow 위주의 1세대 클라우드 네트워킹 기술과 달리 다양한 인프라 환경을 가진 사업자들의 현실적인 요구를 단계별로 수용하되, 장기적으로는 NFV 및 SDN 개념을 충실히 반영한 구조로 진화해 갈 수 있도록 단계별 접근이 필요하다.

따라서 전세계적으로 급속히 진행 중인 SDN 분야 기술개발 및 시장진입에서 우리나라가 경쟁력을 갖기 위해서는 핵심기술 확보, 조기 실증망 구축 및 시범서비스 제공, 공공분야 시장 우선 창출 및 민간분야 확대 등 산학연 및 정부의 체계적인 협력이 매우 중요하다.

참고 문헌

[1] Sushant Jain et al, "B4: Experience with a Globally-Deployed Software Defined WAN", SIGCOMM'13, August 16, 2013, Hong Kong, China.
 [2] A. Dixit et al, "Towards an Elastic Distributed SDN Controller", HotSDN'13, August 16, 2013, Hong

Kong, China.
 [3] <http://onlab.us/tools.html#os>, ONOS by OnLab.
 [4] Hazelcast, <http://www.hazelcast.com/>
 [5] <http://www.nuagenetworks.net/solutions/>
 [6] NFV ISG, "White Paper Ver. 2," 2013. 10.
 [7] Esnet, "<http://www.es.net/news-and-publications/esnet-news/2013/esnet-s-on-demand-bandwidth-reservation-service-wins-r-and-d-100-award/>.
 [8] Infinera, "Transport SDN," <http://www.infinera.com/go/sdn/index.php>.
 [9] OFELIA, "<http://www.fp7-ofelia.eu>, 2014.
 [10] ONF, "<https://www.opennetworking.org/index.php?lang=en>, 2014.
 [11] D. Simeonidou et al, "Software Defined Optical Networks Technology and Infrastructure: Enabling Software-Defined Optical Network Operations," OFC 2013, FC 2014, Th1H.3, 2013.
 [12] R. Casellas et al, "SDN based Provisioning Orchestration of OpenFlow/GMPLS Flexi-grid Networks with a Stateful Hierarchical PCE," OFC 2014, Th3I.2, Mar. 2014.
 [13] Azodolmolky S et al, "Integrated OpenFlow-GMPLS control plane: an overlay model for software defined packet over optical networks," Opt Express, 19(26):B421-8, Dec. 2011.
 [14] 강세훈 외, "SDN 핵심기술 및 진화 전망 분석," 한국통신학회지(정보와 통신), 2013년 3월
 [15] Sushant Jain et al, "B4: Experience with a Globally-Deployed Software Defined WAN", SIGCOMM'13, August 12-16, 2013
 [16] http://www.ntt.com/enterprise_cloud_e/
 [17] 양선희 등, "SDN 기술 동향과 발전 전망", 방송과 기술, May 2014
 [18] Transparency market Research, "SDN Market: Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2012-2018", 2014.2.

약 력



김영화

1987년 전남대학교 이학사
1997년 충남대학교 이학석사
2005년 충남대학교 이학박사
1988년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야: 통신 네트워크 및 시스템, 미래인터넷,
소프트웨어 정의 네트워크



이병준

1996년 서울대학교 공학사
1998년 서울대학교 공학석사
2011년 충남대학교 공학박사
2001년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야: 소프트웨어 정의 네트워크,
정보 중심 네트워크



최태상

1988년 계명대학교 공학사
1990년 미주리-캔사스주립대학교 공학석사
1996년 미주리-캔사스주립대학교 공학박사
1996년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야: 망/서비스 관리, QoS 관리,
트래픽엔지니어링, 트래픽 모니터링,
소프트웨어 정의 네트워크



윤빈영

1986년 중앙대학교 전자공학과 공학사
1991년 중앙대학교 전자공학과 공학석사
2004년 충남대학교 전자공학과 공학박사
1991년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야: Transport SDN, 광가입자망(PON) 기술,
네트워크 인터페이스 기술 등



양선희

1984년 경북대학교 전자공학과 공학사
1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과
공학석사
2004년~2005년 미국 UC Davis 방문연구원
1988년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
방송통신융합미래기술연구부장,
SDN기술연구실장
관심분야: 프로그래머블 네트워크, 인프라 가상화,
네트워킹 프로토콜 기술