

# SDN 핵심 기술 및 진화 전망 분석

강세훈, 김영화, 양선희  
한국전자통신연구원

## 요약

본고에서는 최근 많은 관심을 받고 있는 SDN (Software Defined Networking) 기술의 개념 구조에 대해 설명하고 관련 핵심 요소 기술 및 진화 전망에 대해 분석한다. 또한 적용 분야별로 SDN 기술의 도입 필요성 및 적용 시나리오 대해 분석한 내용을 포함한다.

## I. 서론

이동 단말의 고성능화에 따른 멀티미디어 데이터의 폭증 및 일간 트래픽의 동적 변이 심화, 클라우드 컴퓨팅의 확산, 폭증하는 콘텐츠 수용을 위한 대규모 데이터 센터의 등장, IT 기반 다양한 비즈니스 요구의 증가 등 ICT 인프라 환경에 많은 변화가 급속히 진행되고 있다. 이에 따라, ICT 인프라 측면에서는 대규모 정보의 고품질 전달을 넘어서서 다양한 비즈니스 수요의 신속한 도입이 가능한 개방적이고 유연한 구조로의 진화가 강하게 요구되고 있다.

이러한 요구에 대한 해결 방안으로 SDN(Software Defined Networking) 기술이 많은 관심을 받고 있다. SDN은 스탠포드 대학에서 미래인터넷 인프라 기술 연구의 편리한 틀로 개발한 오픈플로우에서 출발하였으나[1] 약 2년전부터 ONF (Open Networking Foundation)를 중심으로 SDN 개념으로 확장하여 표준 규격과 기술들을 공개한 이후 연구망 위주의 논의에서 벗어나 많은 산업체 및 표준화 기구에서 관련 제품과 표준화 로드맵을 적극적으로 발표하면서 산업화로 급속히 전환되고 있다 [12].

SDN은 전달 기능과 제어 기능이 밀결합 되어있던 기존의 전송 장치에서 제어 기능을 분리하여 중앙집중화시키고, OpenFlow와 같은 개방형 API를 통해 네트워크의 트래픽 전달 동작을 소프트웨어 기반 컨트롤러에서 제어·관리하는 개념이다. 이처럼 스위칭 하드웨어와 제어 소프트웨어를 분리하고 개방함으로써 네트워크 운영자 및 사용자는 네트워크의 세부 구

성 정보에 매이지 않고 자신의 요구 사항에 따라 통신망을 소프트웨어 기반으로 손쉽게 제어·관리할 수 있게 되며, 비즈니스 요구에 따라 인프라 정책, 토폴로지, 트래픽 전달 경로 등을 차별화하는 서비스를 손쉽게 개발하여 적용할 수 있게 됨으로써 서비스 혁신을 가속화 할 수 있게 된다.

이러한 SDN 개념의 가능성에 주목해 볼 때 SDN 기술은 연구망에 이어, 클라우드 센터, 유무선 액세스망, 유무선 사업자망, 엔터프라이즈망 등으로 단계별로 확산되며, 인프라 산업의 에코 시스템 및 관련 이해 당사자들의 기능과 역할들을 혁신해갈 것으로 전망된다 [9].

## II. SDN 개념 구조

SDN의 개념 구조는 <그림 1>과 같이 전송 계층 (Data Plane or Infrastructure Layer), 제어 계층 (Control Plane), 응용 계층 (Application Layer)으로 구성되는 삼계층 구조로 표현된다 [2]. 인프라 계층에는 L2/L3 스위칭 박스로 구성되는 데이터 전달 장치가 놓이고, 제어 및 응용 계층에는 전체 망 상태에 대한 글로벌 뷰를 갖고 망 동작을 제어하는 네트워크 컨트롤러와 그 상위에서 동작하는 응용이 각각 위치하게 된다. 계층간 연동을 위해서 사우스바운드 인터페이스 (Southbound Interfaces, e.g., OpenFlow)와 노스바운드 인터페이스 (Northbound Interfaces)가 존재한다.

SDN 개념 구조에는 다음과 같은 다섯 개의 핵심 개념 요소들이 포함되어 있다.

- 제어와 포워딩의 분리
- 데이터 전달 계층은 패킷 포워딩 중심의 단순화된 하드웨어 박스화
- 인프라 구성 및 상태에 대한 글로벌 뷰와 통합 제어권을 갖는 네트워크 운영체제
- 오픈 인터페이스 기반의 포워딩 제어 (Southbound Interfaces)

- 오픈 인터페이스 기반의 비즈니스 민첩성 (Northbound Interfaces)

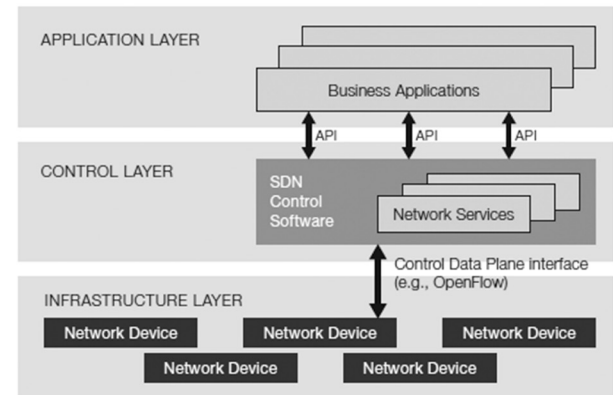


그림 1. SDN 개념 구조도

전송 장치에 대한 제어와 포워딩이 분리됨으로써 전송 장치는 단순 포워딩 기능만을 수행하는 단순화된 하드웨어 박스화할 수 있으며, 기존의 제어 기능은 글로벌 뷰를 갖는 컨트롤러로 통합되어 네트워크 자원에 대한 중앙 집중적 제어를 담당하는 네트워크 운영체제 역할을 담당한다. 전송 장치에 대한 컨트롤러의 제어는 개방형 사우스바운드 API (Southbound API)에 의해 이루어 지고, 또한 서비스에 필요한 다양한 응용의 개발을 지원하기 위한 노스바운드 API (Northbound API)가 오픈된다.

### III. SDN 핵심 요소 기술

#### 1. 컨트롤러

SDN 컨트롤러는 망 상태에 대한 글로벌 뷰를 기반으로 포워딩 제어, 토폴로지 및 자원의 상태 관리, 라우팅 제어 등 중앙 집중적인 망 제어를 위한 기본 기능을 수행하며, 상위의 응용이나 정책 요구에 따라 차별화된 포워딩 및 패킷 처리 룰 들을 결정하여 하위의 SDN 스위치 박스들에 포워딩 룰 (Forwarding Rules)을 내려줌으로써 망을 소프트웨어적으로 매우 유연하게 제어 운용한다.

SDN 기술에 있어서 컨트롤러는 비즈니스 민첩성 (Business Agility)를 지원하기 위한 유연하고 효율적인 개방형 인프라를 지향하는 데 있어서 핵심 기반이 되며, SDN 컨트롤러의 기능 범위는 인프라 제어 기본 기능뿐만 아니라 지원하는 기반 응용의 포함 여부에 따라 다르나 일반적으로 SDN 컨트롤러는 스위치와의 통신 및 이벤트 처리를 담당하는 컨트롤러 코어, 디바이스 관리, 링크 및 토폴로지 관리 등 응용에서 공통으로 필요한 기능을 제공하는 공통 컴포넌트 모듈, 응용 지원을 위한 라이브

러리 및 API 등으로 구성된다.

현재까지 공개되거나 출시된 컨트롤러는 약 15종에 달하며 대부분 오픈플로우 기반의 공개소스이다. 상용으로는 NEC의 PF6800 [3], IBM의 PNC [4], CPlane의 OpenTransit [5], Big Switch의 Big Network Controller [6] 등이 있으나, 아직까지는 연구망 혹은 DC/클라우드 내 통신용, 소규모 엔터프라이즈 적용을 1차 목표 시장으로 하고 있어 플로우 처리 확장성, 안정성 및 응용 확장성에 있어 한계가 있다.

유무선 사업자망, 대규모 엔터프라이즈 등으로의 2단계 확산을 위해서는 대규모 네트워크를 지원하기 위한 구조적 확장성 및 다중 컨트롤러 간 연동, 플로우 처리 성능 향상, 신뢰성 및 고가용성 지원, 컴퓨팅/스토리지/네트워크의 통합 제어, 다양한 응용의 용이한 확장을 지원할 수 있는 모듈러 구조 다양한 톨 지원 등 구조 및 기술 고도화가 요구 되고 있다.

#### 2. SDN 디바이스

SDN 디바이스는 SDN 개념 정의에 따라 컨트롤러의 지시에 의해 패킷 전송을 수행하는 네트워크 장치를 통칭하며, 제어 계층으로부터 주어지는 가변 단위의 플로우 별 패킷에 대한 포워딩 룰을 기반으로 패킷 전송을 수행한다.

SDN 디바이스의 핵심 기술로는 고속의 플로우 테이블 매칭, 네트워크 가상화를 위한 디바이스 자원 가상화, 기존 장비의 SDN화 지원을 위한 플러그인 에이전트, QoS 및 DPI 등이 있다.

현재까지의 SDN 장비는 대부분 싱글 플로우 테이블 기반의 OpenFlow Spec. 1.0을 지원하는 수준이며 아직 그 이상을 지원하는 상용 장비는 극소수에 불과하다. 그러나 응용이 다양화 되고 QoS 보장이나 보안 기능 등 전송 계층에서 효과적인 처리가 요구되는 기능들에 대한 요구가 증가함에 따라 SDN 디바이스의 기능 구조는 초기의 단순 포워딩 기능만을 갖는 “덤 스위치 (dumb switch)” 구조에서 “스마트 스위치 (smart switch)”로의 진화가 예상되며, 이는 SDN 표준의 진화뿐만 아니라 각 벤더별 차별성을 부각하기 위한 벤더 확장 (Vendor Extension) 기능의 활용을 통해 구현될 것으로 예측된다.

#### 3. SDN 가상 스위치

가상 스위치는 하이퍼바이저 상에 생성되는 가상 머신들 간의 통신을 지원하거나 또는 물리 NIC에 연결되어 가상 머신과 물리 네트워크 간의 통신을 지원하는 소프트웨어 스위치로서 트래픽에 대한 가시성, 테넌트 간 트래픽 분리, 트래픽에 대한 세밀한 제어 등의 기능 제공하는 소프트웨어 기반 스위치를 말한다.

SDN에서 가상스위치 기술이 중요한 이유는 데이터센터나 클

라우드센터와 같이 서버 가상화 기술에 기반하여 다수의 가상 머신들이 생성되고 이들 간의 통신이 가상 스위치를 통해 빈번히 일어나는 환경에서 가상 스위치에 SDN 개념의 적용 없이 물리 네트워크에 대한 SDN 적용 만으로는 가상 머신 간의 트래픽을 효과적으로 제어할 수 없기 때문이다.

가상 스위치 모듈은 일반적으로 가상화 계층을 지원하는 하이퍼바이저에 통합되어 있거나 서버의 하드웨어에 펌웨어 형태로 제공될 수 있으며 각 물리 서버에 분산되어 있는 가상 스위치들은 SDN 컨트롤러에 의해 중앙집중식으로 통합 제어됨으로써 하이퍼바이저 상의 모든 가상 머신들이 물리적 위치에 상관 없이 논리적으로 하나의 가상 스위치에 연결되는 하부 물리 구조에 대한 투명성을 제공한다 (<그림2> 참조).

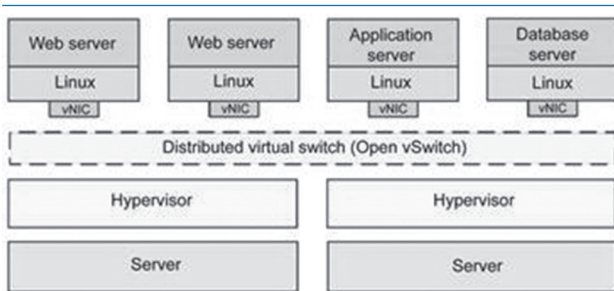


그림 2. 분산형 가상 스위치 개념도 [7]

일반적으로 SDN 가상스위치는 다음과 같은 요구 사항을 갖고 있다.

- **Mobility:** 가상 머신의 마이그레이션에 따른 보안 및 네트워크 속성의 이동
- **Scalability:** 분산형 가상 스위치 간의 협력을 통한 수 만개 이상의 가상 머신 간 통신 지원
- **Isolation:** Multi-tenant 관점에서 다수의 논리적으로 분리된 가상 네트워크 지원
- **Visibility:** 가상 스위치의 상태 및 통계 정보에 대한 제공
- **Fine-grained Control:** 오픈 인터페이스를 통한 다계층 (L2~L4) 스위칭 지원

현재 Open vSwitch를 비롯하여 많은 종류의 가상 스위치가 공개되어 있으나 [13] 성능 측면에서 하드웨어 스위치에 비해 많이 떨어지는 것이 사실이다. 이를 개선하기 위해서는 가상 스위치기 패킷 처리에 특화된 물리 NIC의 하드웨어 기능과 연계되어 실행되는 가속 기능 개발이 필요할 것으로 보인다. 또한 동일한 하이퍼바이저 상에서 실행되는 가상 스위치와 가상 머신은 같은 호스트 자원에 대해 경쟁 관계에 놓이게 되어 상호 성능에 영향을 미칠 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 하이퍼바이저에서 가상 머신과 가상 스위치에 할당되는 자원에 대한 격리를 지원하거나 사

용하는 물리 자원을 구분하도록 개선하는 것이 필요하다.

## 4. 개방형 인터페이스 기술

SDN에서는 SDN을 구성하는 전송 계층, 제어 계층, 응용 계층 간을 연계하는 표준 인터페이스를 제어 계층을 중심으로 (<그림 3>와 같이 세 종류의 인터페이스를 정의한다.

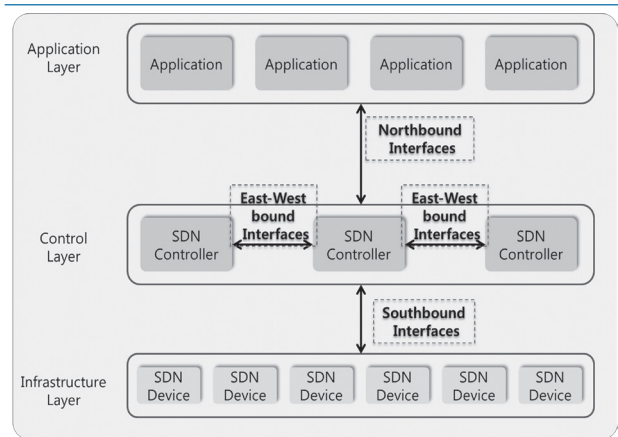


그림 3. SDN 개방형 인터페이스 분류

### 가) 사우스바운드 인터페이스

전송 계층에 대한 포워딩 제어 및 정보 수집을 하기 위한 인터페이스로서 ONF에서 정의하고 있는 OpenFlow Protocol과 OF-Config 가 대표적이다 [12]. 각 장비 벤더 입장에서는 자신들의 장비가 추가적으로 지원하는 벤더 확장 기능에 대한 추가적인 인터페이스를 공개하거나 기존 장비에 오픈플로우를 비롯한 자체 솔루션을 동시에 지원하는 하이브리드 접근 방법을 통해 다른 장비와의 차별성을 추구할 것으로 예상된다.

### 나) 노스바운드 인터페이스

응용 계층에 제공되는 인터페이스로서 제어 계층에 대한 직접적인 제어와 전송 계층에 대한 간접 제어를 수행할 수 있다. 아직 표준은 정의되어 있지 않으나 자체 API를 중심으로 새로운 생태계를 구축하려는 여러 벤더들의 치열한 경쟁을 통해 de-facto 표준이 만들어질 가능성이 크다. 특히 노스바운드 인터페이스는 SDN을 통한 비즈니스 창출 기회가 있는 부분으로 많은 업체들이 자체 응용에 맞는 인터페이스 개발에 집중하는 양상을 보이고 있다.

### 다) 이스트-웨스트바운드 인터페이스

제어 계층 간의 인터페이스로서 서로 다른 SDN 도메인 간 포

는 동일 도메인 내의 서로 다른 SDN 컨트롤러 간의 인터페이스를 말한다. SDN 도메인을 나누고 서로 다른 도메인 간의 메시지 교환 필요성에 대한 논의는 활발하지 않으나 대규모 엔터프라이즈 네트워크나 캐리어 네트워크에 적용하기 위해서는 필수적인 인터페이스라 할 것이다.

한편, 최근 SDN에 대한 ONF의 오픈플로우 중심의 접근 방식에 대응하여 시스코와 주니퍼 등의 장비 제조업체를 중심으로 기존 장비의 라우팅 시스템 요소들에 대해 접근할 수 있는 인터페이스를 개방하여 외부에서 접근이 가능하도록 지원하는 I2RS (Interface to the Routing System)에 대한 새로운 논의가 시작되었다 [8].

I2RS의 기본 개념은 라우터와 같은 장비의 내부에 외부 응용에서 내부 모듈에 접근할 수 있는 인터페이스를 제공하는 에이전트를 구현하여 제공함으로써, 정책, 플로우, 응용, 시간, 외부 환경 변화 등을 고려하여 포워딩 및 라우팅을 제어할 수 있게 하는 것을 말한다.

I2RS의 경우 기존 라우터 업체들이 채택할 수 있는 가장 현실적인 솔루션이긴 하나 네트워크 가상화 같은 다양한 기능의 지원은 현재로서는 제약이 있을 것으로 예상되며, 다양한 데이터 모델 (e.g, IRS-Multicast, IRS-Security 등)의 지원 여부도 상용화 승패의 관건이 될 것으로 예상된다.

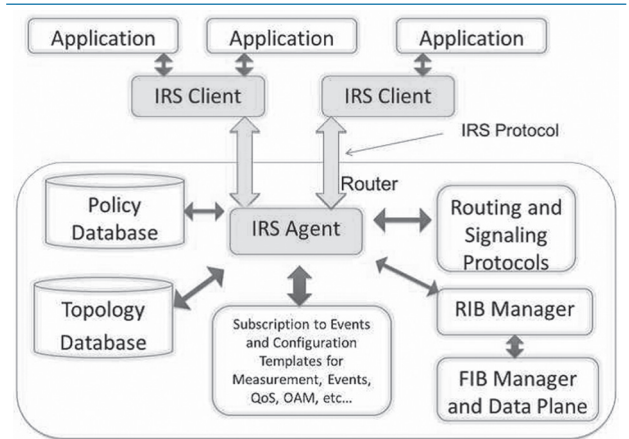


그림 4. I2RS 기반 SDN 기술 개념도

### 5. SDN 기반 네트워크 가상화

네트워크 가상화는 단일 물리망 자원들을 분리하여 다중의 논리망을 구성해 주는 개념으로서 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.

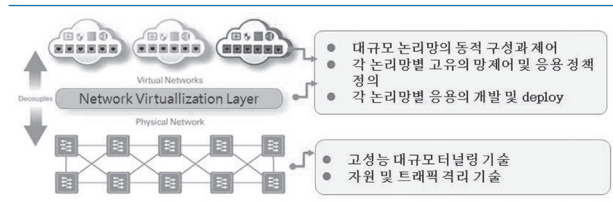


그림 5. SDN 기반 네트워크 가상화 개념

SDN 기반 네트워크 가상화는 <그림 5>에서와 같이 네트워크 가상화에 요구되는 주요 기능요소인 논리망의 동적 구성과 제어, 각 논리망에 고유의 망제어 및 응용 정책 적용, 각 논리망별 응용의 개발 및 적용, 각 논리망 간의 자원 및 트래픽 격리, 전송 계층 상에서의 대규모 터널링 설정 등을 SDN 개념하에 지원하는 기술이다.

오픈플로우 연구망에서는 네트워크 가상화를 위해 플로우 스페이스 슬라이싱에 기반한 플로우바이저(Flowvisor) 기술이 사용되고 있으나 단순히 논리적 격리만을 지원하는 기능을 수행하기 때문에 기능 및 성능 면에서 한계를 갖고 있는 기술이다.

최근 Nicira사에서 발표한 NVP (Network Virtualization Platform)은 클라우드 서비스를 위한 네트워크 가상화 기술을 구현한 플랫폼으로서 기존 네트워크의 에지(edge)에서 가상 네트워크 환경을 구성하는 기술이다 [11]. NVP는 하이퍼바이저가 물리적인 하드웨어 서버를 가상화하여 사용자에게 가상 머신을 제공하는 것처럼 물리적인 네트워크를 가상화하여 정형화된 네트워크 용량을 사용자에게 제공하고 그에 대한 제어를 중앙집중식으로 가능하게 한다.

### 6. SDN 전용 언어 및 검증 기술

현재까지 SDN 컨트롤러 상위에서 실행되는 응용은 특정 컨트롤러에서 지원하는 인터페이스와 언어로 작성되어 컨트롤러의 확장 모듈 형태로 동작하는 것이 대부분이다. 그러나 SDN 응용의 복잡도가 증가할수록 사용자 편의성을 지원할 수 있는 프로그래밍 환경과 네트워크 동작의 신뢰성을 향상 시키기 위한 SDN 전용 언어의 필요성이 높아질 것이다 [10].

SDN에 최적화된 언어를 통해 개발된 네트워크 응용에 대한 신뢰성 및 효율성을 향상시키고, SDN을 구성하는 주요 모듈과 동적 네트워크를 구축하는 과정에서 발생할 수 있는 소프트웨어 오류로 인한 네트워크 장애를 방지할 수 있다. 또한 검증 도구를 통해 가상 네트워크 간에 상호 간섭 없이 동작하는지에 대해 미리 검증함으로써 실행 단계에서의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

이를 위해 SDN에 적합한 정형 의미론 (Formal Semantics)이 정의되어야 하며 언어 컴파일 및 언어 중립성 지원을 위한

프레임워크, 실행 단계의 신뢰성 보장을 위한 실시간 검증 기술 등이 필요하다. <그림 6>은 각 계층에서의 SDN 전용 언어 컴파일, 실행환경, 외부 및 런타임 검증 도구 간 상관 관계를 나타내고 있다 [9].

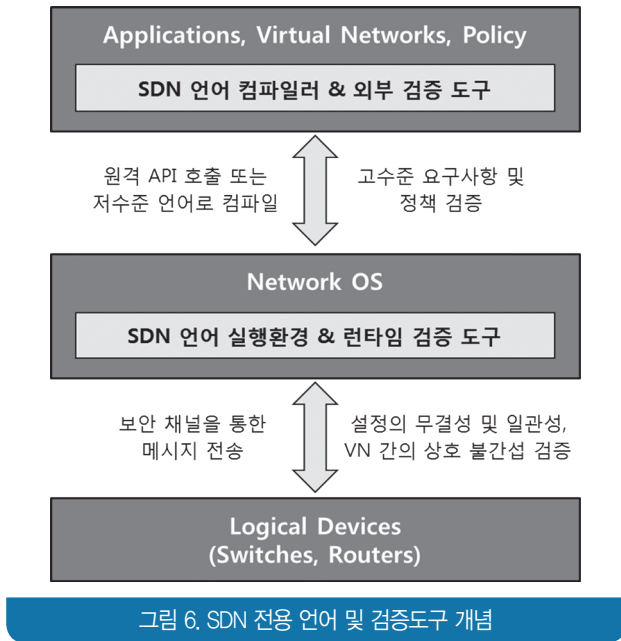


그림 6. SDN 전용 언어 및 검증도구 개념

#### IV. SDN 적용 시나리오

SDN은 다양한 분야에 적용될 수 있을 것이나 대체적으로 다음과 같은 단계를 거칠 것으로 예상된다 [9]. 먼저 오픈플로우의 탄생 배경이 된 네트워크 연구를 위한 테스트베드에 최우선적으로 적용될 수 있을 것으로 보이며, 상용 적용 단계에서는 처음에는 데이터/클라우드 센터 내부 네트워크 제어, 원격 데이터 센터 연동 등에 먼저 적용되고, 이어서 유무선 액세스 망 및 사업자 망, 엔터프라이즈까지 확산될 것으로 전망된다.

연구망 적용에 있어 SDN은 인프라 및 인터넷 서비스 연구를 위한 전달 인프라를 제공하기 위한 도구로서 활용되어 다양한 응용과 프로토콜들을 실험할 수 있는 테스트환경 구축이 주된 목표가 되어 왔다.

데이터 및 클라우드 센터 분야에서는 기존 L2/L3 네트워크의 유연성 제한으로 인한 자원 사용 비효율성의 문제 개선 및 서버 및 스토리지 자원의 가상화와 네트워크 자원의 가상화 기능의 이원화로 인한 운용의 어려움 등을 해결하기 위한 방안으로 SDN 기술을 주목하고 있다. 특히 가상 머신의 마이그레이션에 따른 라우팅 패스 변경이나 가상 머신이 새롭게 연결된 네트워크 링크에 대한 ACL 설정 작업 등과 같이 서버 가상화 제

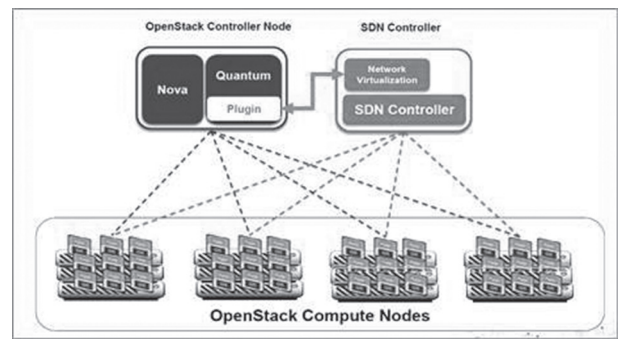


그림 7. SDN기반 데이터/클라우드 센터

어 정보와 네트워크 제어 정보가 상호 연계되어 통합적으로 관리되어야 하는 일이 많은 데이터 및 클라우드 센터의 특성을 고려할 때 이 분야에 대한 SDN 관련 시장은 빠르게 확산될 것으로 예측된다. <그림 7>은 데이터 및 클라우드 센터에서 오픈스택 (OpenStack)과 같은 서버 가상화 제어 관리 소프트웨어와 SDN 컨트롤러가 별도의 인터페이스를 통해 상호 연계되어 동작하는 모습을 나타낸다.

유무선 사업자의 경우 모바일 데이터의 오프로딩, 인프라 전체의 자원과 트래픽 상황을 종합적으로 고려한 스마트 콘텐츠 전달, 메트로 인터넷 및 광 전송망을 비롯한 장거리 전달망 자체의 가상화 제어와 실시간 관리를 소프트웨어에 의해 유기적으로 통합하여 제어하는 개념으로 SDN을 발전시켜 나갈 것으로 예상된다.

SDN 기술의 마지막 확산 단계는 엔터프라이즈 네트워크가 될 것으로 예상된다. 엔터프라이즈 네트워크는 도메인에 따라 사용자, 단말, 네트워크 구성, 품질 정책, 비즈니스 용구 등에서의 다양한 요구 사항을 만족시켜야 하기 때문에 SDN의 기본 기능들이 안정화 되고 상업적 솔루션들의 확산 정도에 따라 서서히 엔터프라이즈 시장에 도입될 것으로 예측된다. 실시간 대응이 필요한 시큐리티 응용, 다지점 간 분산 하이브리드 클라우드 응용, 고신뢰/고효율 엔터프라이즈 WAN 기술 등을 수용하며 엔터프라이즈 환경을 지원할 것으로 기대된다.

#### V. 결론

지금까지 SDN의 개념 구조 및 핵심 기술과 분야별 SDN 적용 시나리오에 대해 기술하였다. 현재 ICT 인프라의 사회적 환경 변화와 기술 트렌드 변화에 따른 SDN으로의 인프라 사업 재편이 빠르게 확산되고 있다. 네트워크의 제어 기능이 네트워크 장비에서 분리되어 중앙집중식 컨트롤러에 통합됨에 따라 네트워크 시장은 지금까지의 하드웨어 간 호환성 및 연결성 중

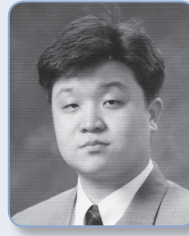
심의 폐쇄형 장비 시장에서 비즈니스 다양성 및 민첩성 제공을 위한 API 및 솔루션 기반의 개방형 소프트웨어 중심으로 변화하고 있다.

현재 우리나라는 세계 최강의 ICT 인프라를 갖추고 있음에도 불구하고 네트워크 장비 및 시스템에 있어서의 시장 점유율이나 기술 경쟁력에 있어서는 매우 뒤쳐져 있는 상황이다. 그러나 SDN 기술이 가져온 ICT 인프라 산업 전반의 예코 시스템 변화와 이해 당사자들 간의 기능과 역할의 재정립 기회를 놓치지 않고 변화의 흐름에 빠르게 대응하며 주도해 나간다면 머지않아 우리나라의 네트워크 산업도 세계 시장에서 강자로 군림할 것이라 확신한다.

## 참고 문헌

- [1] Nick McKeown et al, "OpenFlow: enabling innovation in campus networks," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 38, pages 69-74, April 2008
- [2] ONF White Paper, "Software-Defined Networking: The New Norm for Networks," April, 2012
- [3] <http://www.necam.com/SDN/doc.cfm?t=PFlowController>
- [4] <http://www-03.ibm.com/systems/networking/software/pnc/index.html>
- [5] [http://www.cplane.net/sdn\\_platform.php](http://www.cplane.net/sdn_platform.php)
- [6] <http://www.bigswitch.com/products/SDN-Controller>
- [7] <http://www.ibm.com/developerworks/library/l-virtual-networking/>
- [8] <http://datatracker.ietf.org/doc/draft-ward-irs-framework/>
- [9] ETRI 기획보고서, "SDN 산업 및 기술 전망 분석보고서," 2013년 1월
- [10] 신명기, 남기혁, 최윤철, 김형준, "SDN 표준 참조구조 기반의 개방형 인터페이스, 추상화 기술 및 컨트롤러 언어 분석," 한국통신학회지(정보와 통신) 제30권 제2호, pages 36-42, 2013년 1월
- [11] <http://nicira.com/en/network-virtualization-platform/>
- [12] Open Networking Foundation (ONF) <https://www.opennetworking.org/>
- [13] <http://openvswitch.org/>

## 약 력



강 세 훈

2007년 한국정보통신대학교 공학박사  
 2007년~2008년 미국 CMU, Cleveland State University Post-Doc.  
 2008년~2009년 KAIST 연구교수  
 2009년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원  
 관심분야: 미래인터넷, 소프트웨어 정의 네트워크, 네트워크 가상화



김 영 화

2005년 충남대학교 공학박사  
 1998년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원  
 2012년 지식경제부 산업기술로드맵 (BCN/미래인터넷) 위원  
 관심분야: 미래인터넷, 소프트웨어 정의 네트워크, 네트워크 가상화



양 선 희

1984년 경북대학교 전자공학과 공학사  
 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
 1986년~1988년 한국과학기술원 근무  
 2004년~2005년 미국 UC Davis 방문연구원  
 1988년~현재 한국전자통신연구원 SDN기술연구실장  
 관심분야: 미래인터넷, 소프트웨어 정의 네트워크, 네트워크 가상화