

미래 네트워킹 기술 SDN

Future Networking Technology of SDN

윤빈영 (B.Y. Yoon) 개방형스위치연구팀 책임연구원
이범철 (B.C. LEE) 개방형스위치연구팀 팀장
Dan Pitt* ONF Executive Director

차세대통신기술 특집

- I. SDN 기술 배경
- II. SDN 기술 개요
- III. SDN 표준화
- IV. 기술 및 시장 전망

* Chapter 3 written in cooperation with Dan Pitt.

OpenFlow 기술은 기존의 폐쇄적인 네트워킹 기술을 개방형 네트워킹 기술로 변화시켜서 새로운 네트워킹 기술 발전을 위한 기반을 제공하였다. OpenFlow 기술의 상용화 및 표준화를 촉진시키기 위해서 설립된 ONF(Open Networking Foundation)는 네트워킹 기술을 컴퓨팅 기술로 재해석하고 OpenFlow 기술을 기반으로 SDN(Software-Defined Networking) 기술을 정의하였다. SDN 기술은 네트워크 비용 및 복잡성을 근본적으로 해결하는 기술로, 기존 네트워킹 기술의 하드웨어 및 소프트웨어 기술을 근본적으로 변화시키는 미래 인터넷 기술로 떠오르고 있다.

I. SDN 기술 배경

네트워크 기술은 비즈니스, 가정, 그리고 학교에 대한 매우 중요한 인프라의 일부가 되었다. 그러나 개발자 혹은 연구자의 입장에서 보면, 이러한 성공이 네트워크 기술의 혁신을 가로 막는 장애 요소가 되었다. 즉 장비 업체마다 장비를 운영하는 방식이나 사용자 인터페이스가 다르기 때문에 네트워크 사용자 혹은 연구자가 새로운 네트워크 프로토콜을 개발하여 적용하는 것이 매우 어려웠다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 개방형 인터페이스를 갖는 스위치나 라우터 기술이 연구되었다. 그러나 이러한 개방형 인터페이스를 제공하는 네트워크 기술들은 성능 대비 가격이 비싸기 때문에 상용화에 어려움이 있었다. 따라서 OpenFlow 기술은 고비용 문제를 극복하면서 사용자 혹은 개발자에게 개방형 표준 인터페이스를 제공하기 위해서 출현하였다[1].

OpenFlow 기술은 네트워크 스위치(혹은 라우터)의 패킷 포워딩 기능과 제어 기능을 분리하고 이들 두 기능 간의 통신을 위한 프로토콜을 제공한다. 이는 외부 제어장치(서버)에 의하여 구동되는 소프트웨어가 장비 벤더에 무관하게 스위치 내의 패킷 경로 결정을 가능하게 하였다. 이러한 패킷 포워딩과 제어 영역의 분리는 기존의 네트워크 장치에서 사용되는 ACL이나 라우팅 프로토콜 보다 더 정밀한 트래픽 관리를 가능하게 한다. 따라서 OpenFlow 기술은 기존의 폐쇄적인 네트워크 기술을 개방형 네트워크 기술로 변화시켜서 새로운 네트워크 기술을 발전시킬 수 있는 미래인터넷 기술로 등장하였다.

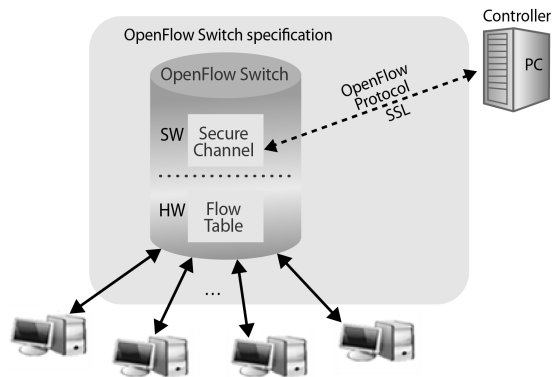
1. OpenFlow 시스템 구조

대부분의 인터넷 스위치와 라우터는 플로우 테이블을 갖고 있다. 이는 통계 정보를 수집하거나 방화벽, NAT, QoS를 라인 속도로 구현하기 위해서 필요하다. 플로우 테이블은 장비마다 다르나, 공통적인 특성을 갖고 있다.

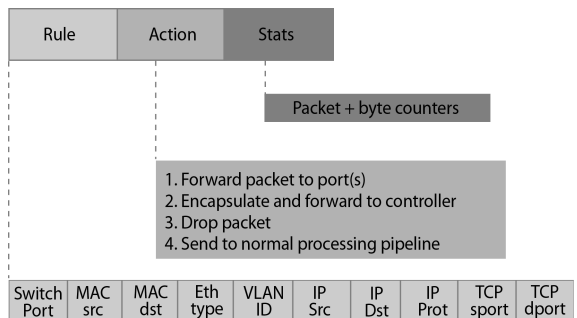
OpenFlow는 이러한 특성을 이용한다. OpenFlow는 장비 업체나 종류에 관계없이 이종의 스위치와 라우터의 플로우 테이블을 개방형 프로토콜에 따라서 손쉽게 프로그래밍한다. 네트워크 관리자는 OpenFlow를 이용하여 상업용과 연구용 트래픽으로 손쉽게 구분할 수 있다. 따라서 네트워크 기술자들은 기존의 인터넷 트래픽에 영향을 주지 않으면서 다양한 네트워크 기술을 시험할 수 있다. 이는 새로운 라우팅 프로토콜, 보안 모델, 어드레싱 방법, 그리고 IP를 대체할 수 있는 새로운 인터넷 기술개발 환경을 제공한다.

OpenFlow 시스템은 (그림 1)처럼 OpenFlow 스위치 (switch)와 제어장치(controller)로 구분되며, OpenFlow 프로토콜에 의하여 상호 연결된다. OpenFlow 스위치는 플로우 테이블, 보안채널(SSL), OpenFlow 프로토콜로 구성된다.

플로우 테이블은 (그림 2)와 같이 스위치에 수신된

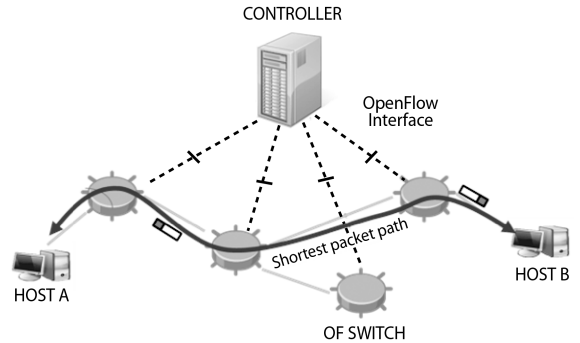


(그림 1) OpenFlow 시스템 구성



(그림 2) OpenFlow 플로우 테이블[2]

패킷을 처리하기 위해서 다음과 같은 세 가지 주요 정보를 포함한다. 여기에는 플로우를 정의하는 패킷 헤더 정보(rule), 패킷을 어떻게 처리할 지 여부를 표시하는 동작(action), 그리고 각 플로우별 통계(statistics)를 포함한다. OpenFlow 프로토콜은 제어장치(controller)와 스위치(포워딩 장치) 간에 통신을 위한 개방형 표준 프로토콜이다. 제어장치는 OpenFlow 프로토콜에 의하여 스위치 내부의 플로우 테이블을 작성하며, 여기에는 새로운 플로우를 등록하거나 삭제하는 기능을 포함한다. 보안채널은 스위치와 원거리에 위치한 제어장치 간의 통신 채널로써 스위치를 제어하는 중요한 정보가 교환되므로 암호화되어 전달된다.



(그림 3) OpenFlow 패킷 경로 제어의 예

공격을 차단하거나, 호스트로부터 폭주하는 discovery 트래픽을 완화시키기 위해서 수신 패킷을 폐기한다.

2. OpenFlow 스위치

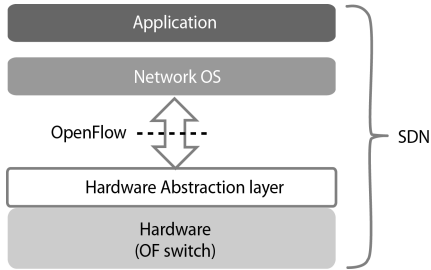
OpenFlow 스위치는 기존의 L2 계층과 L3 계층을 지원하지 않고 오직 OpenFlow만을 지원하는 OpenFlow 전용 스위치와 기존의 스위치에 OpenFlow 기능을 추가한 OpenFlow 범용 스위치로 구분된다. OpenFlow 스위치는 수신된 패킷을 플로우로 구분하고 플로우 테이블에 정의된 규칙에 따라서 패킷을 처리한 뒤, 목적지 포트로 전달한다. 이 때 플로우는 TCP 연결, 특정한 MAC 혹은 IP 어드레스, 그리고 동일한 VLAN 값을 갖는 패킷으로 정의될 수 있다. 수신된 패킷은 플로우로 구분되어 다음과 같은 3가지 기본적인 동작 중 하나로 처리된다.

- 수신 패킷 플로우 테이블에 정의된 약속된 포트로 전달된다. 이것은 네트워크를 통해서 패킷이 목적지로 전달되는 기능을 수행한다.
- 수신 패킷이 보안채널을 통해서 외부에 위치한 제어장치로 전달된다. 예로써, 플로우 테이블에 등록되어 있지 않는 새로운 플로우에 대한 첫번째 패킷이 수신되는 경우, 제어장치로 전달되어 플로우 테이블 등록 여부를 결정한다.
- 수신된 패킷이 폐기된다. 예로써, 외부로부터 DoS

현재는 라우팅 프로토콜에 의하여 패킷 경로가 결정되므로 사용자가 원하는 경로로 패킷을 전달하기 어렵다. 반면에 OpenFlow에서는 복수 개의 OpenFlow 스위치를 한 개의 제어장치에 의해서 중앙 집중 방식으로 패킷 경로 제어가 가능하다. 따라서 네트워크 상태 및 QoS 정책에 의하여 사용자는 패킷 경로를 손쉽게 제어할 수 있다. (그림 3)은 특정 패킷 플로우에 대해서 가장 짧은 패킷 경로가 선택되는 네트워크 구성을 보여준다.

II. SDN 기술 개요

OpenFlow 기술은 이종의 스위치와 라우터를 손쉽게 제어할 수 있는 개방성을 제공하였다. 그러나 ONF는 이러한 개방성에 만족하지 않고 OpenFlow를 기반으로 네트워크를 좀 더 손쉽게 프로그램 할 수 있는 SDN 기술을 정의하였다. SDN은 OpenFlow를 기반으로 하드웨어보다는 좀 더 소프트웨어 중심으로 네트워킹 기술을 개발하기 위한 목표를 추구하고 있다. ONF는 네트워킹 시스템이 (그림 4)처럼 하드웨어, OS, 그리고 응용 프로그램으로 구성되는 컴퓨터 시스템과 같은 유사



(그림 4) OpenFlow vs. SDN

한 기능 모델을 만들었다. 즉 네트워크를 컴퓨터 시스템에 비유하고, OpenFlow는 하드웨어(스위치)와 Network OS 사이를 연결하는 인터페이스로 정의한다. ONF는 이러한 모델을 만들기 위해서 추상화(abstraction) 개념을 도입하고 네트워킹 기술의 중심이 하드웨어에서 소프트웨어로 이동토록 노력하고 있다. 그래서 SDN은 네트워크 사용자가 하드웨어 형상에 얽매이지 않고 다양한 응용 프로그램을 손쉽게 개발할 수 있는 개발 환경을 제공할 것이다. 이는 미래인터넷 기술을 포함한 새로운 네트워킹 기술이 탄생할 수 있는 토대를 제공할 것이다.

III. SDN 표준화[3]

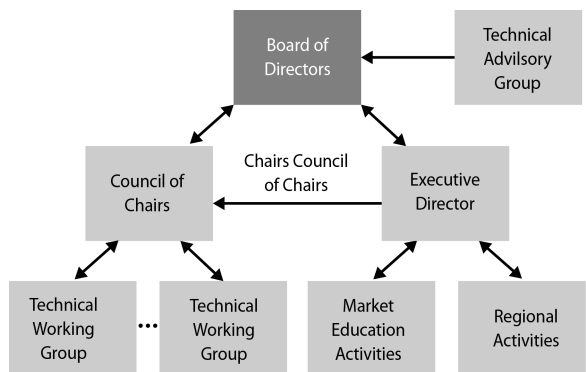
스탠포드 대학의 주도로 시작된 OpenFlow 기술의 상용화를 촉진시키기 위해서 2011년 3월 표준화 단체인 ONF가 만들어 졌다. ONF는 Deutsche Telekom, Facebook, Google, Microsoft, Verizon, Yahoo!에 의하여 설립되었으며, OpenFlow 기술을 SDN 기술로 확장하여 표준화를 추진하고 있다. ONF는 비영리표준화 단체로서 네트워킹 기술을 컴퓨팅 기술로 재해석하고 마켓이 요구하는 표준화 및 솔루션을 빠르게 제공하는 것을 목표로 한다. 이러한 접근은 네트워킹 기술에 대한 새로운 아키텍처, 표준화, 소프트웨어, 그리고 응용 기술개발을 촉진시킬 것이다. 이러한 과정은 궁극적으로 비용을 줄이면서 네트워킹 기술에 대한 혁신을 이끌고

글로벌 규모의 네트워크 가용성, 안정성, 그리고 보안 기능을 향상시킬 것으로 기대하고 있다.

1. ONF 조직 구성

ONF는 서비스 사업자(Deutsche Telecom, Facebook, Google, Microsoft, NTT, Verizon, Yahoo!)로 구성된 이사회 회원과 장비, 부품, 그리고 소프트웨어 등을 개발하는 산업체로 구성된 일반회원으로 구성되며, 현재 56개 회사가 참여하고 있다. 한국에서는 ETRI, 삼성, 그리고 KT가 2011년 회원으로 가입하였다. ONF는 가입 회원 간에는 RAND-Z 방식에 의하여 상호 로열티를 면제하는 IPR 정책을 채택하고 있다.

ONF는 (그림 5)와 같은 조직 구성을 갖는다. 이사회(board of director)는 주요 통신 서비스 사업자로 구성되며, 워킹 그룹(working group) 구성 및 의장 선출, 그리고 표준 권고안 승인과 같은 주요 정책을 결정한다. Executive director와 technical advisory group은 이사회에 ONF 활동 내역을 보고한다. Executive director는 ONF 운영을 총괄하며, SDN과 관련된 마켓, 교육, 지역 활동 지원, 그리고 워킹 그룹 의장단 회의를 주재한다.



(그림 5) ONF 조직도

2. 표준화 활동 현황

ONF의 technical working groups에는 이사회의 공

〈표 1〉 Chartered Working Groups

WG	주요 활동	권고안
Extensibility	기존 OF 권고안의 핵심을 유지하면서, 모듈성, 확장성, 상호 연동성, 그리고 일치성을 갖도록 보완	<ul style="list-style-type: none"> • OF 1.0: MAC, IPv4, single table(03/2010) • OF 1.1: MPLS tags/tunnels, multiple tables, counters (02/2011) • OF 1.2: IPv6, extensible expression, basic configuration (12/2011) • OF 1.3: Topology discovery, test processes, test suites (04/2012) • OF 1.4: Capability discovery, test labs(08/2012)
Configuration & Management	OF 디바이스들의 형상 관리(configuration) 매커니즘 정의(OF 제어장치의 환경설정 및 셋업)	• OF-Config 1.0(Q1 2012)
Testing & Interoperability	인증(certification), 연동시험(Interoperability), Benchmarking	• OF-Test 1.0(Q1/2 2012)
Hybrid	Hybrid 스위치와 네트워크를 위한 요구사항 및 use cases	

식 승인에 의하여 만들어진 chartered working groups (〈표 1〉 참조)과 토의 그룹인 mailing-list discussion groups(〈표 2〉 참조)으로 구분된다. 이외에 두 그룹에 속하지 않는 미분류된 Extensibility-jira을 포함하여 총 10개의 그룹들이 활동하고 있다.

대부분의 표준화 협의는 정기적인 모임 대신에 인터넷을 통한 on-line 방식으로 진행된다. Extensibility WG은 SDN 핵심 표준 권고안인 OpenFlow 표준안(OF 1.x) 작성을 주도하며, 현재 OF 1.2 버전을 완료하고 OF 1.3 버전을 작성 중에 있다.

OF 1.2는 2011년 12월 작성 되어 이사회를 통과 한 뒤, 회원들의 승인 절차(IPR 확인)가 진행 중이다. OF

1.2는 다음과 같은 3가지 사항이 보완되었다.

- IPv6 필드 매칭: source address, destination address, protocol number, traffic class, ICMPv6 type, ICMPv6 code, IPv6 neighbor discovery header fields, IPv6 flow labels
- 기존 OF 1.1보다, 확장된 매칭(extensible matches), 더 많은 수의 파라미터 개수 및 유연성 (flexibility) 제공
- 기능 시험을 위한 코드 포인트와 전용 필드 추가

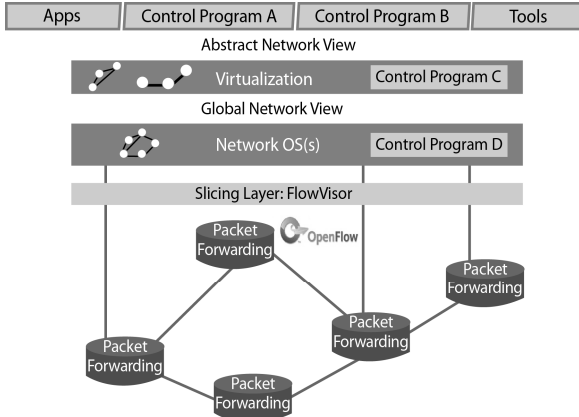
OF 1.x는 스탠포드 대학이 주도한 OF 1.0을 기반으로 작성되는 반면에 이와는 별도로 OpenFlow-future 그룹에 의하여 미래인터넷을 위한 새로운 OF 표준화 방안이 논의되고 있다.

ONF는 SDN을 (그림 6)과 같은 기준 모델을 사용하여 세부 기능을 정의하고 표준 기술개발을 지원할 예정이다. 기준 모델을 살펴보면, 가장 하위 계층에 패킷 포워딩 기능인 하드웨어가 위치하고 상위에는 제어장치에 위치한 소프트웨어 계층으로 구성된다. 패킷 포워딩 기능을 제공하는 스위치와 제어장치 사이에는 OpenFlow 인터페이스로 연결된다.

(그림 6)은 상징적인 모델로, 제어 프로그램(control

〈표 2〉 Active Mailing-list Discussion Groups

그룹명	주요 활동
Match-action-table	OF 스위치에서 IPv4, IPv6, MPLS 등의 프로토콜 처리 방법
Market-education	회원사들의 마켓-교육 지원
Northbound API	네트워크 제어 프로그램들과 제어장치 사이의 인터페이스 방법
OpenFlow-future	SDN 미래 토픽 연구(Forwarding plane, description language 등)
Usecases	Use cases



(그림 6) SDN 프로토콜 모델

programs)이 OpenFlow 프로토콜을 통하여 스위치(packet forwarding)로 연결되어 있음을 보여준다. 그러므로 서비스 사업자(혹은 사용자)는 이러한 패킷 경로와 제어 소프트웨어들을 사용하여 그들이 원하는 다양한 기능들(과금, 보안, 트래픽 엔지니어링, 성능, 전력소모 등)을 제어 혹은 구현할 수 있음을 보여준다.

IV. 기술 및 시장 전망

SDN 기술만을 위한 첫번째 워크숍인 Open Networking Summit가 2011년 10월에 개최되었다. ONS는 약 400명이 등록하여 개최 한 달 전에 사전 등록이 마감될 정도로 SDN 기술에 대한 기대와 관심이 높음을 보여주었다. 특히 그 동안 OpenFlow 기술개발에 소극적이었던 Cisco에서 약 50명이 참가하여 SDN 기술개발을 주도하고자 하는 노력을 보여 주었다. SDN 시스템은 크게 OpenFlow 스위치와 제어장치로 구분된다. 제어 장치는 네트워크 OS 등을 포함한 소프트웨어 기술과 하드웨어 장치로 구분된다. 현재 제어장치의 하드웨어는 범용 프로세서로 구현되고 있으며, 제어장치와 관련된 대부분의 기술개발 분야는 소프트웨어에 집중되고 있다.

1. 상용 OpenFlow 스위치

대부분 OpenFlow 스위치는 기존의 상용 스위치 혹은 라우터 플랫폼에 OpenFlow 인터페이스를 추가 지원한다. OpenFlow 스위치 및 라우터를 개발한 회사에는 HP, NEC, Juniper, 그리고 Netgear, 등을 포함하여 약 15개 장비 업체가 있다(그림 7) 참조). HP는 약 60개 지역의 testbed에 자사의 제품을 판매하고 이들 시험 결과들을 반영하여 장비 기능과 성능을 개선하고 있다. 그리고 발생된 문제점을 보완할 수 있는 새로운 규격들을 ONF에 제안하여 SDN 기술개발을 선도하고 있다. 또한 라우터와 스위치 분야의 선도 업체인 시스코의 경우 SDN 기술의 등장으로 자사의 시장 잠식을 우려하여 다소 유보적인 태도를 보이다, 2011년 말부터 데이터 센터 장비인 Nexus 시리즈에 SDN을 지원하기 위한 개발을 착수하였다.



(그림 7) 상용 OpenFlow 스위치[4]

2. SDN 소프트웨어

SDN은 OpenFlow 규격을 지원하는 스위치 혹은 라우터 이외에도 이를 제어하고 운용하기 위한 소프트웨어 개발 환경 및 응용 프로그램 개발이 매우 중요한 요소이다. <표 3>은 SDN을 지원하기 위해서 개발된 소프트웨어 제품들을 보여준다. 여기에는 사용자별로 플로우를 구분시킬 수 있는 FlowVisor, 네트워크 OS와 같

〈표 3〉 SDN 소프트웨어

기능 구분	제품명
디버깅 툴	oftrace, oflops, openseer
응용 프로그램	ENVI, LAVI, n-Casting, Expedient
컨트롤러 프로그램	NOX, Beacon, Trema, Maestro ONIX
Slicing 프로그램	FlowVisor

은 컨트롤러(controller) 프로그램, 네트워크 OS 위에 동작하는 응용프로그램, 그리고 디버깅 툴들을 포함한다.

컨트롤러 프로그램은 제어장치에서 동작하며, 네트워크 전체 구성을 보여주고 OpenFlow 스위치 트래픽을 제어할 수 있는 기능을 제공하는 프로그램으로서 〈표 4〉는 오픈 소스로 공개된 컨트롤러 프로그램의 종류 및 특징을 보여준다[5]. 이러한 SDN 관련 소프트웨어들을 개발하기 위해서 약 10개의 벤처 기업들이 참여하고 있다. 그 중 대표적인 회사로는 Big Switch Networks사와 Nicira Networks사가 있다. Big Switch사는 스탠포드 대학에서 OpenFlow 1.0을 개발한 팀들이 주축으로 2010년 설립하였으며, 2011년 4월 약 13.75백만 달러를 투자 받아서 OpenFlow 기술을 기반으로 기업 망의 가상화 솔루션을 개발하고 있다. Nicira Networks는 OpenFlow를 창시한 스탠포드 대학의 Nick McKeown과 버클리 대학의 Scott Shenker가 공동창업

〈표 4〉 SDN 컨트롤러 프로그램

제품명	언어	OS	라이선스	개발자
OpenFlow Reference	C	Linux	OpenFlow License	스탠포드/Nicira
NOX	Python, C++	Linux	GPL	Nicira
Beacon	Java	Win, Mac, Linux, Android	GPL(core)	David Erickson (스탠포드)
Maestro	Java	Win, Mac, Linux	LGPL	Zheng Cal (Rice)
Trema	Ruby, C	Linux	GPL	NEC
RouteFlow	-	Linux	Apache	CPqD (Brazil)

자로 설립된 회사이며, SDN 기반의 네트워크 가상화를 위한 소프트웨어 솔루션을 개발하고 있다.

3. 기술 전망

스탠포드 대학의 Clean Slate Program은 NEC 등의 산업체와 협력하여 OpenFlow 기술을 본격적으로 시험할 수 있는 발판을 마련하였다[6]. 현재 Internet 2, Indiana 대학, 그리고 Clean Slate Program은 NDDI라는 단체를 만들어 글로벌 규모의 네트워크를 구축하고 SDN 기술의 필드 시험을 추진 중 이다[7]. 또한 OpenFlow 기술은 GENI 망을 통해서 필드 시험이 진행되고 있다. 또한 Facebook은 OCP라는 단체를 만들어 데이터 센터의 서버, 스토리지, 네트워킹 장비 등의 하드웨어 표준화(개방화)를 추진하고 있다. OCP는 개방형 하드웨어 인터페이스를 제공하는 SDN을 데이터 센터의 네트워킹 장비의 오픈 플랫폼으로 고려하고 있다[8].

독립된 제어장치에 의하여 중앙 집중 방식으로 패킷 플로우를 제어할 수 있는 OpenFlow 기술은 다음과 같은 다양한 분야에 적용되어 기능이 검증되었다. 여기에는 무선 이동성, 네트워크 가상화, 트래픽 부하 분산, 전력 소모 관리, 그리고 VM 이동성을 포함한다[9]. SDN 기술이 가장 먼저 적용될 분야는 외부와의 호환성 문제가 자유로운 데이터 센터며, 이후 충분한 기능 검증과 상용화 과정을 거쳐서 유무선 공중망 등에 확대 적용될 것으로 예상된다.

SDN 기술의 하드웨어 기술인 OpenFlow 스위치는 기존의 이더넷 스위치 혹은 라우터를 활용하여 구현되며 OF 1.0 버전만을 지원한다. OpenFlow 1.0 스위치는 대학이나 일부 testbed에서 OpenFlow 기술을 시험하기 위한 목적으로 대부분 사용될 것으로 예상된다. SDN 기술이 선도적으로 적용될 데이터 센터에 적용되기 위해서는 고집적 입출력 포트와 테라급 수준의 성능을 갖는 저가의 OpenFlow 스위치 칩 개발이 요구된다.

SDN 소프트웨어 기술은 많은 오픈 소스가 개발되어

보급되고 있다. 이와 함께 네트워킹 기술을 보다 손쉬운 프로그램 기술로 만들기 위한 다양한 연구가 시도되고 있다. 이 중에는 Princeton 대학에서 개발하고 있는 SDN을 위한 고급 프로그래밍 언어인 Frenetic이 포함된다[10].

4. 시장 전망

미래 네트워킹 기술로 부상하고 있는 SDN(OpenFlow)은 상용화 초기 단계로서 아직 구체적인 시장 전망 자료가 발표되지 않았다. 그러나, 2011년 8월 Gartner에서 발표한 Networking & Communications Hype Cycle에 OpenFlow 기술이 처음으로 포함되었다. 여기에서 OpenFlow 기술의 시장 성숙 단계를 5년 이후로 예상하였다[11].

용어해설

OpenFlow 네트워크 장비의 패킷 포워딩 기능과 컨트롤러 기능을 표준 인터페이스로 분리하여 네트워크 개방성을 제공하는 기술로, SDN 기술의 기반이 됨.

SDN OpenFlow 기술을 기반으로 네트워킹 기술을 컴퓨팅 기술로 모델링하여 프로그램(소프트웨어)에 의하여 네트워크 제어 및 관리를 용이하게 함.

약어 정리

ACL	Access control lists
DoS	Denial of Service
GENI	Global Environment for Network Innovations
GPL	General Public License
IPR	Intellectual Property Rights

LGPL	Lesser General Public License
NDDI	Network Development and Deployment Initiative
OCP	Open Compute Project
OF	OpenFlow
ONF	Open Networking Foundation
RAND-Z	Reasonable and Non-discriminatory licensing with Zero Royalty
SDN	Software-Defined Networking
SSL	Secure Sockets Layer

참고문헌

- [1] N. McKeown, "OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks," 2008. <http://www.openflow.org/documents/openflow-wp-latest.pdf>
- [2] N. McKeown, "OpenFlow (Why Can't I innovate in my Wiring Closet?)," www.openflow.org/documents/OpenFlow.ppt
- [3] <https://www.opennetworking.org>
- [4] B. Heller, "OpenFlow Hands-on Tutorial," *Open Netw. Summit*, Oct, 2011. http://opennetsummit.org/past_conferences.html
- [5] P. Krey, "Curb Your Innovation," *Open Netw. Summit*, Oct, 2011. http://opennetsummit.org/past_conferences.html
- [6] <http://cleanslate.stanford.edu>
- [7] <http://www.internet2.edu/network/ose>
- [8] <http://www.openflow.org/videos>
- [9] J. Heiliger, "Promise of OpenFlow/SDN," *Open Netw. Summit*, Oct, 2011. <http://opennetsummit.org/talks/heiliger-wed.pdf>
- [10] N. Foster, "Frenetic: A Network Programming Language," *Proc. ACM Int. Conf. Funct. Programming*, Sept. 2011.
- [11] Gartner, "Hype Cycle of Networking & Communications," Aug. 2011.