

OF@TEIN SDN Tools Guide 매뉴얼

OF@TEIN Document No.	6
Version	1.0
Date	2012-12-31
Author(s)	GIST OF@TEIN 팀

■ 문서의 연혁

버전	날짜	작성자	비고
초안	2012.11.05	이현	
	2012.11.10	김종원	監修
v0.1	2012.12.21	이현	
	2012.12.24	이성원	監修
v0.2	2012.12.28	김종원	監修
v1.0	2012.12.31	이현, 김종원	

본 문서는 한국정보화진흥원(NIA)의 미래네트워크연구시험망(KOREN)사업  
지원과제의 연구결과로 수행되었음 (11-951-00-001).

## Contents

1. OF@TEIN SDN Tools: Overview .....	1
1.1 OF@TEIN Project Goals .....	1
1.2 Introduction of OF@TEIN SDN Tools .....	2
1.3 Software for OF@TEIN SDN Tools .....	2
1.3.1 Overview .....	2
1.3.2 OF@TEIN Portal Interface .....	3
1.3.3 OF@TEIN FlowSpace UI .....	4
1.3.4 SDN Experiment UI .....	5
1.3.5 SDN Experiment Scripting .....	5
1.3.6 SmartX Rack VM Monitoring Tool .....	5
1.3.7 OF@TEIN SDN Tools Interconnection .....	6
2. Experimenter's Manual for OF@TEIN SDN .....	7
2.1 Obtaining Resources via OF@TEIN Portal Interface .....	7
2.1.1 Obtaining and Managing Slice .....	7
2.1.2 Managing VM Computing Resources .....	9
2.1.3 Managing OpenFlow Networking Resources .....	11
2.2 FlowRange Registration via OF@TEIN Portal & FlowSpace UI .....	13
2.2.1 Registering FlowRange via Opt-in Manager .....	13
2.2.2 Give up FlowRange via Opt-in Manager .....	15
2.3 Running Experiment .....	16
2.3.1 Start Experiment .....	16
2.3.2 Run Experiment .....	16
2.3.3 Stop Experiment .....	16
2.4 SDN Experiment Scripting .....	17
2.4.1 How to Prepare and Execute Experiment Scripts .....	17
2.5 SDN Experiment UI .....	20
2.5.1 Preparing SDN Experiment UI for User Experiment .....	20
2.5.2 Utilizing SDN Experiment UI for User Experiment .....	21
2.6 SmartX Rack VM Monitoring Tool .....	22
2.6.1 SmartX Rack VM Monitoring Interface .....	22
2.6.2 SmartX Rack Node Status .....	23
2.6.3 Inter-VM OpenFlow Networking Link Status .....	23
3. Administrator's Manual for OF@TEIN SDN .....	25
3.1 OF@TEIN Portal Interface .....	25
3.1.1 User & Projects Management .....	25
3.1.2 Resource Aggregator Management .....	26
3.1.4 OpenFlow Resource Aggregation Manager .....	30

3.2 FlowSpace UI .....	33
3.2.1 Setup & Configuration .....	33
3.2.2 Execution & Trouble Shooting .....	34

## 그림 목차

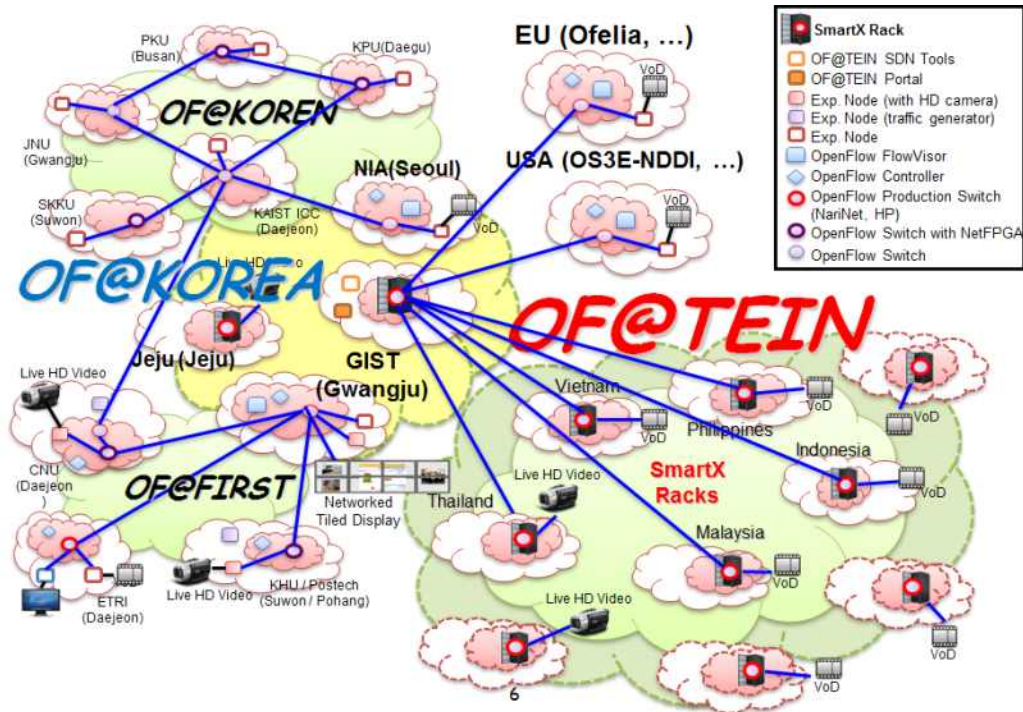
[그림 1] OF@TEIN Infrastructure (2012~2013).	1
[그림 2] OF@TEIN SDN Tools Overview.	3
[그림 3] OF@TEIN SDN 도구간의 소프트웨어적 연결도.	5
[그림 4] 프로젝트 선택 화면.	7
[그림 5] 슬라이스 생성 및 선택 화면.	8
[그림 6] 슬라이스 매니지먼트 화면.	8
[그림 7] VT Aggregate 섹션.	10
[그림 8] 생성된 VM의 매니지먼트 IP 및 접속 계정 정보.	10
[그림 9] OpenFlow Aggregate 섹션.	11
[그림 10] OpenFlow 스위치의 각 포트 선택화면.	12
[그림 11] FlowSpace 설정 화면.	12
[그림 12] 사용자에게 의해 구성된 FlowSpace 요청 상태 화면.	13
[그림 13] FlowSpace 관리 개념도 (우측 하단의 FlowRange들 표시).	13
[그림 14] Opt-in Manager 대쉬보드.	14
[그림 15] 사용자 FlowSpace 정보를 FlowVisor에 등록하는 화면.	15
[그림 16] 사용자에게 할당된 FlowSpace 정보.	15
[그림 17] SDN Experiment UI 화면: 6개 사이트에 위치한 OpenFlow 스위치 자원과 VM 자원들 간에 플로우가 흐르는 모습.	20
[그림 18] SmartX Rack VM Monitoring의 전체 화면.	21
[그림 19] SmartX Rack VM의 상태를 표시하는 화면.	21
[그림 20] VM간 OpenFlow 네트워킹 링크 상태 정보.	22
[그림 21] VM간 OpenFlow 네트워킹 링크에 대한 상세 정보 그래프.	22
[그림 22] 네트워크 링크의 대역폭 정보 그래프.	22
[그림 23] 네트워크 링크의 단방향 딜레이 정보 그래프.	22
[그림 24] 네트워크 링크의 Pinger 정보 그래프.	23
[그림 25] OF@TEIN Portal 사용자 등록화면.	24
[그림 26] 프로젝트에 참여할 사용자를 등록하는 화면.	25
[그림 27] Resource name management 화면.	25
[그림 28] OF@TEIN Virtualization Aggregate 화면.	26
[그림 29] VT_Server의 세부 설정화면.	27
[그림 30] Virtualization Manager의 네트워킹 대쉬보드.	28
[그림 31] OpenFlow Aggregate 등록 또는 업데이트 페이지.	29
[그림 32] Opt-in Manager에 FlowVisor 정보 입력 화면.	30
[그림 33] FlowSpace UI에 모니터링할 슬라이스 정보를 입력하는 부분.	31
[그림 34] FlowSpace UI 실행 화면.	32

# 1. OF@TEIN SDN Tools: Overview

## 1.1 OF@TEIN Project Goals

KOREN/TEIN 망과 연결하여 OpenFlow 기반 SDN 네트워킹 기술을 적용하는 가상네트워크 지원 인프라(infrastructure)를 [그림 1]과 같이 TEIN 회원국 대상 6개국 (한국포함) 내외에 구축하고 이를 활용하는 연구 협업을 진행한다.

- 국산 OF 스위치를 포함하는 SmartX Rack 설계 및 검증
- OF@TEIN 네트워크 설치 및 운용
- OF@TEIN 활용을 위한 SDN 도구 설계 및 개발



[그림 1] OF@TEIN Infrastructure (2012~2013).

## 1.2 Introduction of OF@TEIN SDN Tools

OF@TEIN 인프라의 효과적인 활용을 위해 관리자들의 자원 관리와 사용자들의 실험 지원을 위한 통합된 SDN 도구들을 제공해야 한다. 구체적으로는 첫째로 관리자가 OF@TEIN 인프라의 컴퓨팅/네트워킹 자원 집합들을 통합관리하면서 사용자들의 요구에 따라 SDN 실험에 필요한 자원을 할당/제공하는 도구를 제공한다. 둘째로 OF@TEIN 인프라 자원 제공(관리)자와 사용자 사이의 창구 역할을 하는 GUI 기반의 사용자 웹 포털(일명 OF@TEIN portal)을 제공한다. 마지막으로 사용자들이 SDN에 기반한 서비스 실증 실험을 할 때 각종 컴퓨팅/네트워킹 자원(즉 장비 및 네트워크 회선 등)들의 상태를 모니터링하고 선택된 자원들과 인터랙션하기 위해 이용하는 사용자 위주의 실험 도구를 제공한다. 이와 같이 아래의 세 가지 요소에 대응하는 도구들을 제공함으로써 사용자가 원하는 새로운 서비스 창출을 위한 시험적인 실험들을 용이하고 반복적으로 수행하도록 지원한다.

- SDN 제공자를 위한 SmartX Rack 집합 관리 기능
- 웹기반의 SDN 사용자 인터페이스 제공 (OF@TEIN portal)
- SDN 사용자 (= 응용 서비스 제공자) 지원 기능

## 1.3 Software for OF@TEIN SDN Tools

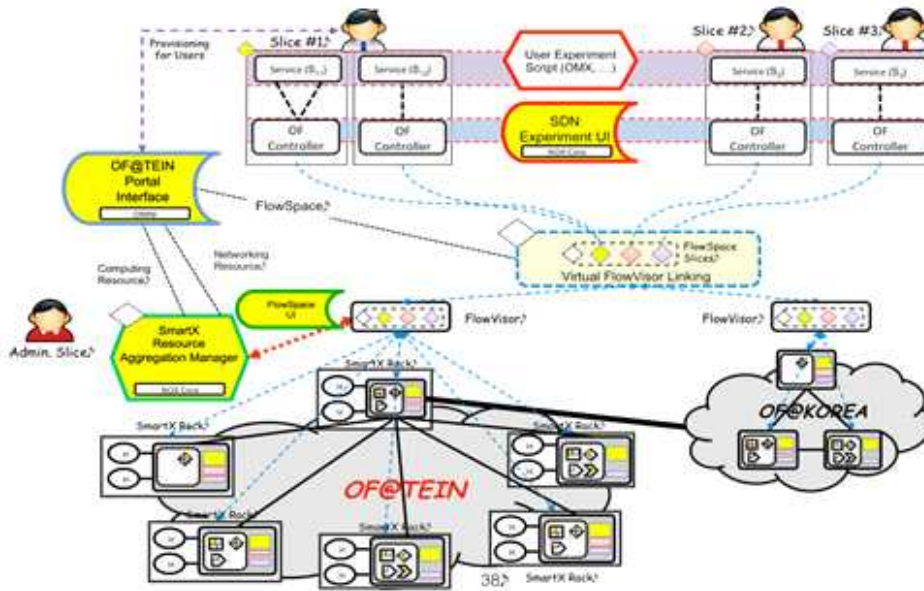
### 1.3.1 Overview

상기한 OF@TEIN 활용을 위한 SDN 도구는 다음의 기능들을 OF@TEIN 인프라 관리자와 사용자에게 제공하기 위해 [그림 2]와 같은 개념으로 준비된다.

- SDN 관리자를 위한 SmartX Rack 집합 관리기능: OF@TEIN 네트워크에 연결된 SmartX Rack 자원 집합들에 대한 통합적인 관리 기능을 제공하는 SmartX RA(Resource Aggregation) Manager 와 FlowSpace UI 를 제공한다.
- 웹 기반의 사용자 인터페이스 (OF@TEIN portal) 제공: 사용자의 요구에 따른 SmartX Rack 요소장치별 자원할당 기능, 사용자를 위한 슬라이스 기반의 프로파일 관리(슬라이스 생성 포함) 기능, 그리고 웹 포털 기반의 제한적인 모니터링 기능을 제공한다.
- SDN 사용자 (=응용 서비스 제공자) 지원 기능: 사용자를 위한 플로우 모니터링

및 인터랙션(interaction) 인터페이스인 SDN Experiment UI를 제공한다. 사용자의 서비스 실증 실험을 위한 오픈된 환경의 사용자 실험제어(experiment control)를 웹 스크립팅(e.g., Bash Shell, OMF, OMX) 등으로 구동하는 환경을 제공한다.

## OF@TEIN SDN Tools



[그림 2] OF@TEIN SDN Tools Overview.

### 1.3.2 OF@TEIN Portal Interface

OF@TEIN 포탈 인터페이스는 다수의 사용자가 자신만의 슬라이스를 생성하고, OF@TEIN 인프라를 구성하는 네트워크 및 가상화된 컴퓨팅 자원들을 확보하여 실험을 진행할 준비를 하는 GUI 기반의 인터페이스를 제공한다. 이를 통해 사용자는 할당 받은 가상머신 컴퓨팅 자원, OpenFlow 기반의 SDN을 지원하는 스위치를 통한 네트워크 자원 등을 자신의 목적에 맞도록 준비하고 설정을 변경한다. 또한 동시에 다수의 독립된 슬라이스들을 지원하고, 각 슬라이스별 정보를 실시간으로 확인할 수 있도록 네트워크 토폴로지 등에 대한 시각화된 정보를 제한적으로 제공한다.

[참조: 사용한 OF@TEIN Portal Interface 는 OFELIA (OpenFlow in Europe - Linking Infrastructure and Applications)에서 개발되고 있는 OCF (OFELIA Control Framework) 소프트웨어를 기반으로 OF@TEIN 자원의 특이성에 맞춘 부분적인 변형을 추가하여 제공된다. 핵심적인 역할을 하는 OCF (현재 적용버전 v0.21.1이며,



최신버전은 v0.3임)는 테스트베드 관리(실험의 생성, 관리, 삭제, 설정 등)를 위한 소프트웨어 도구들의 집합으로 생각하면 편리하다. 세부적으로 OCF는 다음과 같은 세가지 핵심 요소도구들로 구성된다. 또한 OCF에 대한 보다 자세한 정보는 아래 OCF 웹사이트 <http://fp7-ofelia.github.com/ocf/>를 통해서 확보할 수 있으며, 이 중 중요한 링크들은 아래와 같다.

- OCF Components

- Expedient: Web Portal Interface  
<https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/frontend-configuration>
- OF AM: OpenFlow Resource Aggregation (RA) Manager (as Opt-in)  
<https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/ofam-configuration>
- VM AM: Virtual Machine Resource Aggregation (RA) Manager  
<https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/vmam-configuration>

- OCF Manuals

- Installation: [https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/Installation manual](https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/Installation%20manual)
- Upgrade: [https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/Upgrade manual](https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/Upgrade%20manual)
- Configuration:  
<https://github.com/fp7-ofelia/ocf/wiki/frontend-configuration> ]

### 1.3.3 OF@TEIN FlowSpace UI

OF@TEIN SDN의 관리자는 이를 구성하는 전체 네트워킹 및 가상화된 컴퓨팅 자원들에 대한 상황을 실시간으로 관리할 필요가 있다. 각 소프트웨어가 제공하는 로그(log) 기반의 모니터링은 전체적인 상황을 일목요연하게 파악하기 어렵다. 따라서 FlowSpace UI를 제공하여 OF@TEIN SDN을 구성하는 전체 자원 중에서 관리자 슬라이스와 각 사용자 슬라이스별로 할당된 자원과 사용자별 플로우들을 실시간으로 확인한다. 이 도구를 통해 관리자는 전체 자원의 최신 상황을 바탕으로 사용자별 슬라이스의 상황을 이해하고 문제의 원인을 용이하게 파악할 수 있다.

[참조: 본 문서에서 사용된 OF@TEIN FlowSpace UI는 OCF와는 독립적으로 개발된 OF@TEIN SDN 도구이므로 OCF의 버전업과는 별 도로 추가적인 기능 업그레이드를 SVN을 통해 제공할 예정이다.]

### 1.3.4 SDN Experiment UI

사용자는 자신이 할당받은 슬라이스 내의 네트워킹 상황을 실시간으로 인지하면서 의도한 실험이 진행되는지 확인하고 자신의 실험을 조작/변경한다. 이를 효과적으로 지원하기 위해서 준비된 SDN Experiment UI는 개별 실험에 맞춰서 따로 준비되어, 각 실험마다 사용자 슬라이스를 구성하는 네트워킹/컴퓨팅 노드(즉 자원)와 이들 사이에 흐르는 각종 플로우들을 시각화 하는 GUI 를 제공한다.

[참조: 본 문서에서 사용된 OF@TEIN SDN Experiment UI는 OCF와는 독립적으로 개발된 OF@TEIN SDN 도구이므로 OCF 의 버전업과는 별도로 추가적인 기능 업그레이드를 SVN을 통해 제공할 예정이다.]

### 1.3.5 SDN Experiment Scripting

사용자는 자신의 슬라이스에 할당받은 자원을 이용하여 실험 스크립트를 실행시킴에 의해 실험한다. 각 실험 스크립트는 할당받은 자원에 어떤 역할을 배치하고 어떻게 동작시킬 것인지가 기술된다. 실험 스크립트는 특정 형태에 종속되지 않으며, 사용자가 임의로 선택한 다음과 같은 다양한 스크립팅 도구를 이용한다.

- Bash-shell: <http://www.gnu.org/software/bash/manual/bashref.html>
- OMF: <http://mytestbed.net/projects/omf>

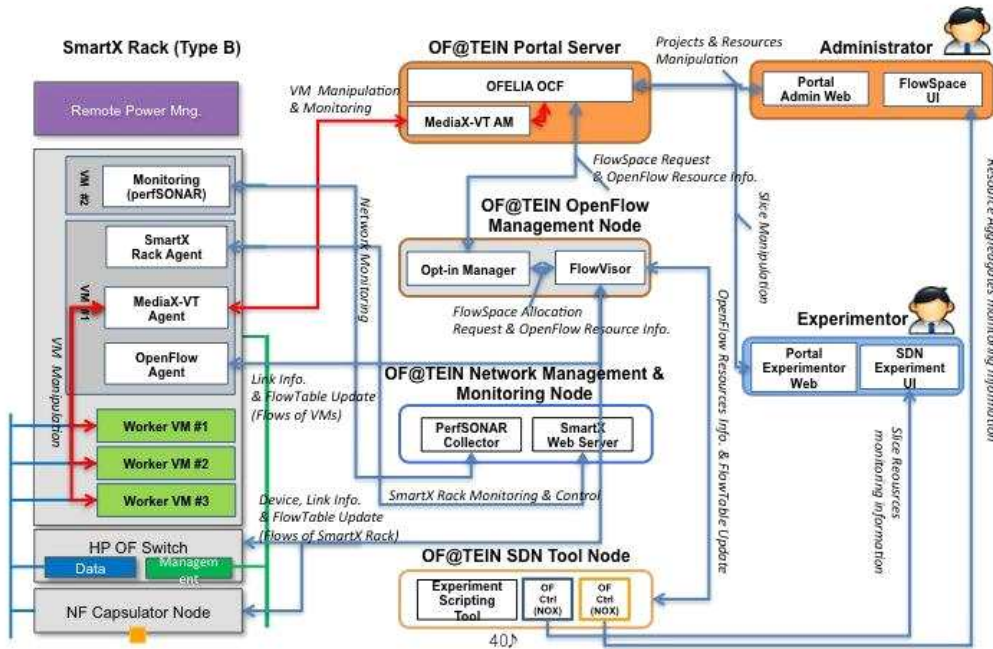
### 1.3.6 SmartX Rack VM Monitoring Tool

사용자는 자신이 할당받은 SmartX Rack 상의 컴퓨팅 자원인 VM(virtual machine)들간의 OpenFlow 연동 네트워킹 성능을 종종 모니터링할 필요가 있다. 이를 위해 준비된 SmartX Rack VM Monitoring Tool 은 네트워킹 성능에 대한 전문화된 도구세트(toolkit)인 perfSONAR를 VM에 적용하고, 이를 지속적으로 동작시켜 수집된 데이터베이스를 가지고 가시화된 결과를 웹으로 보여준다.

### 1.3.7 OF@TEIN SDN Tools Interconnection

[그림 3]은 OF@TEIN SDN 도구들간의 소프트웨어적인 상호연결과 각 도구들이 위치한 장비를 나타낸다. FlowSpace UI와 SDN Experiment UI를 제외한 나머지 도

# OF@TEIN SDN Tools: Racks & Servers



[그림 3] OF@TEIN SDN 도구간의 소프트웨어적 연결도.

구들은 그림 중앙의 위치한 4개의 서버 노드에서 제공되며 모두 네트워크를 통한 원격접근을 통해 설정하고 관리된다. 또한 [그림 3]의 연결선들은 도구들 간에 교환되는 정보가 무엇인지 표시하고 있다. 전체적으로 이해해 보면 [그림 3]의 오른쪽에 위치한 사용자와 관리자는 각각 중간에 위치한 포털 인터페이스 및 기타 SDN 도구들을 이용해 왼쪽에 위치한 SmartX Rack 들이 제공하는 컴퓨팅/네트워킹 자원을 이용하는 것이다.

## 2. Experimenter's Manual for OF@TEIN SDN

### 2.1 Obtaining Resources via OF@TEIN Portal Interface

사용자는 자신의 실험을 위하여 OF@TEIN 포탈이 제공하는 GUI를 이용하여 네트워크/컴퓨팅 자원을 요청하고, 할당받은 자원을 이용해 실험을 진행한다. OF@TEIN 포탈을 통해 실험하기 위해서는 먼저 사용자 계정을 생성하기 위하여 관리자에게 아래 내용을 포함하는 등록 요청 e-mail을 다음의 주소로 발송한다.

[tein\\_admin@nm.gist.ac.kr](mailto:tein_admin@nm.gist.ac.kr)

- Username: 사용자 ID
- Password: 비밀번호
- First name: 사용자 이름
- Last name: 사용자 성
- E-mail address: 이메일 주소
- Affiliation: 이용기관

관리자로부터 정상적으로 등록이 되었다는 e-mail 을 받으면 등록이 완료된다. 이후 생성된 계정을 이용해 OF@TEIN 포탈에 로그인하면 자신이 참여할 수 있는 프로젝트 목록이 [그림 4]와 같이 나오고, 참여할 프로젝트를 선택한다.



[그림 4] 프로젝트 선택 화면.

#### 2.1.1 Obtaining and Managing Slice

사용자는 먼저 자신의 실험을 위한 슬라이스를 생성해야 한다. 사용자들은 자신이 참여한 프로젝트 내에서 다수의 슬라이스를 생성할 수 있고, 동시에 다수의 슬라이스

별 실험들이 서로 영향을 주도록 하는 실험도 진행할 수 있다 (참고: 일반적으로는 하나의 슬라이스만을 사용하여 실험을 진행함). 새로운 슬라이스를 생성할 때 슬라이스에 대한 이름과 설명을 입력한다. 사용자는 소속된 프로젝트 내에 관리자에 의해 미리 Resource Aggregates에 추가된 자원만 사용할 수 있다. 슬라이스를 생성하려면 프로젝트 매니지먼트 페이지인 [그림 5]에서 “Create Slice” 버튼을 클릭하고, 이름과 설명을 기입한 후 “Save” 버튼을 누르면 슬라이스가 생성된다. 슬라이스 목록에서 생성의 성공 여부를 확인할 수 있고 Actions 의 delete 버튼을 이용하면 해당 슬라이스를 삭제할 수 있다

**Slices**

Name	Description	Size	Owner	Reserved?	Actions
1st run	good luck	18	jrkim		<a href="#">details</a> , <a href="#">delete</a>
test	by admin	0	root		<a href="#">details</a> , <a href="#">delete</a>
video transport	z	0	jrkim		<a href="#">details</a> , <a href="#">delete</a>

[그림 5] 슬라이스 생성 및 선택 화면.

Home > Project internaldemo0919 > Slice 1st run

### Slice 1st run in Project internaldemo0919

Slice status	Description	Management
	good luck	Edit slice basic information. Delete slice. <input type="button" value="Update Slice"/> <input type="button" value="Stop Slice"/>

**Topology**  
Tip: Move cursor over the icons to get extra information...

The topology diagram shows a central NARINET node connected to several SmartX nodes. SmartX-A+ is connected to NARINET. SmartX-A and SmartX-B+ are also connected to NARINET. NARINET is connected to HP-CIST. SmartX-B nodes (Jeju, TH, MY, ID, PH) are connected to NARINET and to their respective NF nodes (NF-JEJU, NF-TH, NF-MY, NF-ID, NF-PH). SmartX-B-VE is connected to NARINET and to its respective NF-VE node. HP-VE is connected to NF-VE. SmartX-B-VE is connected to HP-VE.

[그림 6] 슬라이스 매니지먼트 화면.

슬라이스 목록에 생성된 이름을 클릭하면 슬라이스 매니지먼트 페이지([그림 6] 참조)가 나타난다. 먼저 슬라이스에서 사용할 Resource Aggregates를 선택한다. “Add an Aggregate Manager to the current slice” 버튼을 누르면 프로젝트 내에서 사용가능한 aggregates 목록이 나오고 선택하면 슬라이스 매니지먼트 페이지 상단에 OF@TEIN에서 제공하는 컴퓨팅 자원 및 OpenFlow 네트워킹 자원들이 토폴로지에 나타난다.

### 2.1.2 Managing VM Computing Resources

슬라이스 내에서 실험을 위해 필요한 가상화된 컴퓨팅 자원을 얻기 위해서 사용자는 OF@TEIN 포털을 통하여 SmartX Rack 내부에 위치한 가상화된 컴퓨팅 서버(즉 VT\_Server로 명명된) 노드에 자신이 이용할 VM들을 생성한다. 이를 위하여 슬라이스 매니지먼트 페이지의 Computational resource 항목에는 [그림 7]과 같이 가상화된 컴퓨팅 자원을 제공하는 VT Aggregate 항목이 있다. VM을 생성할 사이트(site)에 위치한 VT\_Server를 선택한 뒤 “Create VM” 버튼을 눌러, 아래와 같은 VM 생성에 필요한 정보를 입력한다.

- Name - 생성할 VM 이름
- Memory - VM에 할당할 메모리 용량
- Disc Image - 사용할 VM 이미지
- HD Setup Type - VM 이미지 타입 (현재는 File Image 만 지원)
- Virtualization Setup Type - VM 가상화 타입 (현재는 반가상화 (para-virtualization)만 지원)

상기 정보를 입력한 후 "Done" 버튼을 누르면 즉시 VM이 생성되게 되며 약 5분 정도가 소요된다. 생성된 또는 생성중인 VM에 대한 정보를 VM 목록을 통해 확인할 수 있는데 목록의 각 항목은 아래와 같은 정보를 의미한다.

- VM name - VM의 이름
- State - VM의 현재 상태 (생성 중, 동작 중, 중지, 시작 중, 등)
- Operating System - VM이 사용 중인 O/S
- Memory - VM의 메모리
- Mgmt IP - VM 접속에 사용하는 매니지먼트(콘트롤 평면) IP
- Actions - VM 조작을 위한 Action 버튼

각 VM 은 생성과 동시에 매니지먼트용 IP와 계정을 할당받게 된다. 이 정보는 [그림8]과 같이 생성된 VM name 항목의 ‘?’ 버튼을 클릭하면 알 수 있다.

VM name	State	Operating System	Memory	Mgmt IP	Actions
THTH	stopped	GNU/Linux Ubuntu (10.04)	2048	103.22.221.181	Start   Delete   forceDelete
ID1	stopped	GNU/Linux Ubuntu (10.04)	2048	103.22.221.183	Start   Delete   forceDelete
MultiData	stopped	GNU/Linux Ubuntu (10.04)	2048	103.22.221.82	Start   Delete   forceDelete

[그림 7] VT Aggregate 섹션.

Access info	Operating System	CPU	Memory	Disc
61.252.60.77	GNU/Linux Ubuntu (6.0)	None	None	None
61.252.60.77	GNU/Linux Ubuntu (10.04)	2048	61.252.60.77	Stop   Reboot   forceDelete

[그림 8] 생성된 VM의 매니지먼트 IP 및 접속 계정 정보.

사용자는 매니지먼트 IP와 계정을 사용하여 SSH(Secure Shell)를 통해 생성된 VM 에 접속한다. 접속하여 사용자가 원하는 대로 실험을 위한 작업들(e.g., 실험을 위한 소프트웨어 설치, 데이터 평면 네트워크 설정 등)을 설정하게 된다. 생성된 VM 들은 Actions 항목의 각 버튼을 이용해 조작할 수 있으며 다음과 같은 기능을 담당한다.

- Start - 해당 VM을 시작(부팅)한다.
- Stop - 해당 VM을 종료한다. (VM 이미지 파일은 남아있다.)
- Reboot - 해당 VM을 재부팅한다.
- Delete - 해당 VM을 삭제한다. (VM 이미지 파일도 삭제된다.)
- forceDelete - VM에 대한 정보를 강제로 삭제한다.

(Delete 로 VM이 삭제되지 않는 경우에 사용한다.)

### 2.1.3 Managing OpenFlow Networking Resources

사용자가 OpenFlow 자원을 실험 슬라이스에서 이용하기 위해서는 먼저 자신이 사용할 OpenFlow 제어기를 등록해야 한다. 슬라이스 매니지먼트 페이지의 OpenFlow Aggregate 부분을 표현한 [그림 9]의 “Set controller” 버튼을 클릭한 후에, OpenFlow 제어기의 URL 과 비밀번호를 입력하고 “Save” 버튼을 눌러 저장한다. URL 입력은 tcp:hostname:port or ssl:hostname:port 과 같은 형식으로 입력한다.



[그림 9] OpenFlow Aggregate 섹션.

OpenFlow 제어기를 설정한 후 사용자는 슬라이스 내의 실험에서 이용할 FlowSpace를 구성하게 된다. 참고로 이 단계에서는 사용자가 임의로 자신이 원하는 FlowSpace를 개념적으로 정의하는 차원에서 구성하는 일이 이루어지며, 실제로 FlowVisor에 접속하여 사용자에게 OpenFlow 네트워킹 자원 및 FlowSpace를 할당하는 것은 이후 단계에서 이루어진다. 슬라이스 매니지먼트 페이지의 OpenFlow Aggregate 부분의 “Book OpenFlow resource” 버튼을 누르면, 슬라이스에서 사용 가능한 OpenFlow 네트워킹 자원들이 표시된 토폴로지와 함께 각 OpenFlow 스위치들의 DPID(각 OpenFlow 스위치들이 갖는 고유한 Datapath ID) 와 스위치의 Port 번호들을 [그림 10]와 같이 볼 수 있다. 각 포트 옆에는 해당 포트가 다른 OpenFlow 스위치의 어느 포트에 연결되었는지 표시되어 있다. 실험을 위해 필요한 스위치들의 Port 번호를 선택하고 “Next” 버튼을 클릭하면, [그림 11]에 제시한 FlowSpace를 설정하는 페이지로 넘어간다.

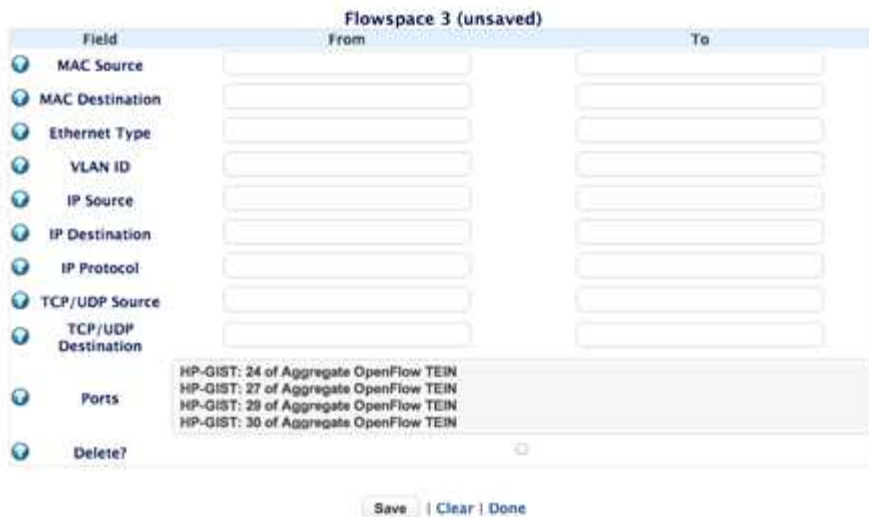




[그림 10] OpenFlow 스위치의 각 포트 선택화면.

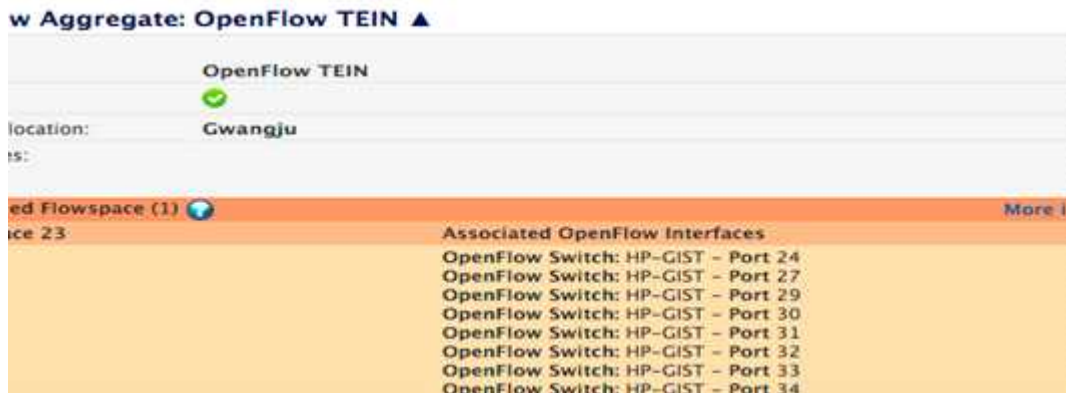
[그림 11]의 FlowSpace 설정 페이지에는 각 항목들을 설정하여 OpenFlow 제어기가 해당 FlowSpace가 어떤 플로우들을 하나로 포함할 지 지정하게 된다. 비어있는 항목들은 모든 값(\*)을 의미한다. 포함하고자 하는 플로우들을 지정하기 위해서 필요한 규칙을 입력하고 “Save” 버튼을 눌러 저장한다.

[참고: 일례로 80번 port 를 통하는 모든 플로우를 받고 싶다면 “TCP/UDP Destination” 필드와 TCP/UDP Source 필드에 80을 적어주면 된다.]



[그림 11] FlowSpace 설정 화면.

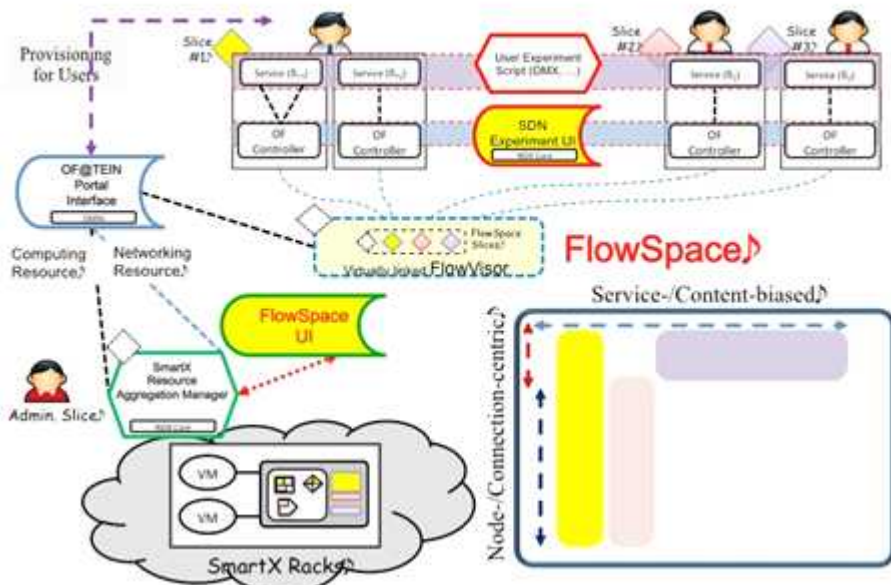
FlowSpace를 요청하고 슬라이스 매니지먼트 페이지로 돌아오면 FlowSpace가 요청된 상태를 [그림 12]와 같이 확인할 수 있다.



[그림 12] 사용자에게 의해 구성된 FlowSpace 요청 상태 화면.

## 2.2 FlowSpace Registration via Portal & FlowSpace UI

### FlowSpace Management for OF-enabled SDN



[그림 13] FlowSpace 관리 개념도 (우측 하단의 FlowRange들 표시).

이번 단계를 통하여 사용자는 앞서 구성한 슬라이스의 FlowSpace를 FlowVisor에 등록하여 실제 OpenFlow 자원을 할당받고 슬라이스에 연결된 OpenFlow 제어기가 플로우들에 대해 구분 및 제어를 할 수 있도록 한다. 이 때 각 슬라이스에서 구성된 FlowSpace들은 OF@TEIN OpenFlow 네트워킹 자원들이 구성하는 전체 FlowSpace의 일부분으로서 자신들이 사용할 플로우의 범위인 FlowRange를 갖는다. 즉 각 실험 슬라이스들은 전체 FlowSpace 내에서 자신들이 이용할 FlowRange를 중복이 없도록 가짐으로서 다수의 실험이 동시에 진행될 수 있는 것이다. 따라서 [그림 13]에 제시한

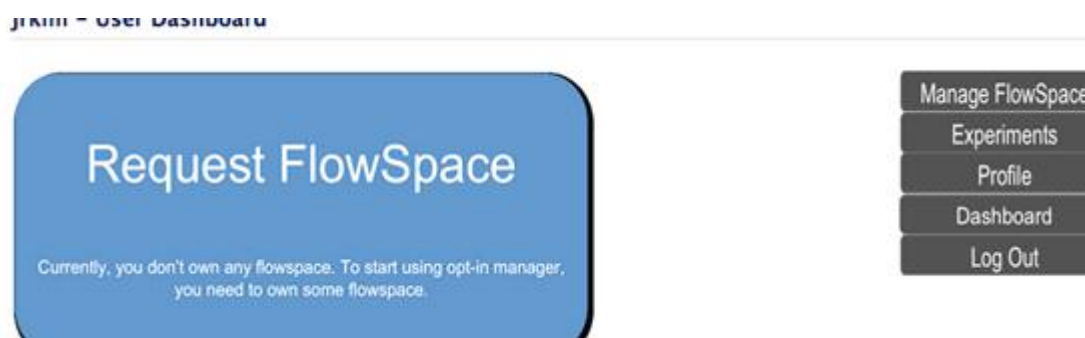
FlowSpace 관리 개념도와 같이 특정 플로우들(e.g., streaming, FTP, specific IP, etc)을 구별하기 위해 [그림 13]과 같이 설정한 각 슬라이스의 FlowRange에 대한 SDN 제어권을 사용자에게 부여하고, 이를 통해서 사용자들이 원하는 실험을 자유롭게 하도록 지원한다.

### 2.2.1 Registering FlowSpace via Opt-in Manager

실험을 준비하기 위해 슬라이스 매니지먼트 페이지의 "Start Slice" 버튼을 누르면 OF@TEIN 포털을 통해 사용자가 구성한 슬라이스의 FlowSpace 정보를 가지고 와서 이를 Opt-in Manager에게 전달한다. Opt-in Manager는 전달된 사용자의 FlowSpace 정보를 OF@TEIN의 전체에서 바라보는 FlowSpace의 일부본인, 사용자의 실험에 할당되는, FlowRange로 생각하면서 OF@TEIN 차원의 FlowVisor에 등록한다. 그 결과로 사용자의 FlowSpace 구성에 따라 매칭되는 (즉 FlowRange에 속한) 플로우들의 모든 패킷들이 사용자의 OpenFlow 제어기에 의해 제어되도록 한다. 이를 위하여 상기한 등록 과정을 다음과 같은 순서로 수행한다.

- Opt-in Manager (주소 - <http://103.22.221.52:8443>) 에 사용자 계정을 통해 로그인하면 [그림 14]와 같은 대쉬보드가 나온다. 대쉬보드의 "Request FlowSpace" 버튼을 클릭하면 MAC 주소와 IPv4 주소 기반으로 사용할 데이터 평면 주소 또는 대역을 입력할 수 있다.

[참고: 일례로 사설망 주소가 192.168.0.x 대역이라면 IP Address 테이블에 192.168.0.0(0 은 \* 을 의미)을 입력하면 192.168.0.x 대역에 포함된 src/dst 주소를 가진 모든 패킷이 실험자 OpenFlow 제어기의 제어를 받는다.]



[그림 14] Opt-in Manager 대쉬보드.

- 위와 같이 FlowSpace에 대한 규칙을 설정해서 준비한 후에 다시 대쉬보드로 돌아온다. 그러면 준비한 FlowSpace를 실제로 OF@TEIN FlowVisor 에 등록하기 위해 "Opt In" 버튼을 클릭할 수 있다. 즉 [그림 15]와 같이 실험자 계정으로 실

행중인 실험 슬라이스의 목록이 나오는데 원하는 실험 슬라이스를 선택한 후 “Opt In” 버튼을 클릭하면 실험을 위한 OpenFlow 네트워킹 자원과 FlowSpace 구성이 할당되게 된다.

#### Opt Traffic In, for User jrkim



[그림 15] 사용자 FlowSpace 정보를 FlowVisor에 등록하는 화면.

Opt-in Manager를 통해 FlowSpace를 등록하고 사용자의 슬라이스 매니지먼트 페이지로 돌아오면 이전에 슬라이스 내에서 구성하였던 FlowSpace가 할당된 것을 [그림 16]과 같이 볼 수 있다.



[그림 16] 사용자에게 할당된 FlowSpace 정보.

### 2.2.2 Give up FlowRange via Opt-in Manager

사용자는 실험 설정을 변경하거나 실험을 마칠 때 자신이 할당 받았던 FlowSpace를 해제해야 한다. 사용자는 Opt-in Manager의 대쉬보드에서 “Opt-out” 버튼을 이용해 해당 슬라이스의 FlowSpace의 등록을 모두 해제할 수 있다. 또는 대쉬보드의 “Manage FlowSpace - Give Up FlowSpace” 를 통해 해제하는 것도 가능하다.

## 2.3 Running Experiment

### 2.3.1 Start Experiment

앞의 설정 과정들을 거쳐 컴퓨팅/네트워킹 자원과 FlowSpace 자원이 모두 확보된 슬라이스가 준비되면, 사용자는 이제 실험을 시작할 수 있다. 즉 슬라이스 매니지

먼트 페이지의 “Start Slice” 를 클릭하여 슬라이스를 시작하면, FlowSpace는 Opt-in Manager를 통해 확보되고 동작(running) 상태의 VM은 유지되고 정지(stop) 상태의 VM 은 시작되어 모든 VM 이 동작하게 된다. 따라서 사용자는 동작 중인 VM 들에 자유롭게 접속하여 실험을 준비하고 수행하게 된다.

### 2.3.2 Run Experiment

사용자는 실험을 위하여 생성된 VM들을 가상적인 실험 노드로 사용하고 실험 슬라이스의 FlowSpace가 할당된 OpenFlow 네트워크를 데이터 평면으로 사용한다. 실제적으로 사용자는 각각의 VM에 로그인 하여 필요로 하는 소프트웨어를 설치하고 실험을 시작하게 된다. 커맨드라인(Command Line Interface: CLI) 방식으로 개별적으로 명령어를 입력하거나 실험 스크립팅 도구를 활용하여 실험의 전부나 일부를 자동화하는 방식으로 사용자의 실험은 진행된다. 그리고 원하는 실험이 종료되면 수행된 실험 결과를 정리하고 필요한 결과들은 영구적인 저장공간에 저장한다.

### 2.3.3 Stop Experiment

실험을 모두 마친 뒤에 슬라이스 매니지먼트 페이지의 “Stop Slice” 버튼을 클릭하여 실험 슬라이스를 중지시킨다. 이는 모든 Running 상태의 VM의 동작을 중지시킨다.

[참고: 생성된 VM은 Action 항목의 “Delete” 버튼을 이용해 삭제해야 이미지 파일까지 완벽하게 삭제된다. 이미지가 삭제되면 실험 내용을 보존할 수 없으니 중요한 실험결과에 대한 백업에 유의해야 한다.]

## 2.4 SDN Experiment Scripting

### 2.4.1 How to Prepare and Execute Experiment Scripts

사용자는 할당받은 자원을 기반으로 보다 체계적인 실험을 진행하기 위하여 사용자 실험 스크립팅 도구를 이용할 수 있다. 스크립트 작성에 이용되는 도구는 특정하게 제한되지 않으며, 사용자는 자신의 취향에 따라 Bash Shell, OMX (open media experiment for service composition), OMF (Orbit Management Framework) 의 EC (experiment control) 관련 도구 등과 같은 사용자의 임의의 도구를 사용할 수 있다. 하나의 사례로 본 매뉴얼은 사용자가 실험을 진행하는 전체적인 과정을 다음의 단계로 설명한다.

1. 실험 준비 (experiment provisioning) 단계
  - 각 노드가 어떤 역할을 할 것인지 결정
  - 각 노드가 로드해야할 소프트웨어가 무엇인지 결정
  - 각 노드에 어떤 설정(네트워크 및 각 소프트웨어 파라미터 등)을 적용할 것인지 결정
2. 실험 진행 (experiment execution) 단계
  - 한번의 실험 또는 위 설정을 주기적으로 변화시킨 반복적인 실험 진행
3. 실험 종료 (experiment teardown) 단계
  - 실험 결과값 분류 및 가시화
  - 각 노드의 초기화 (실험 과정에서 설치한 소프트웨어 및 모듈 언로드)

#### 2.4.2 An Example of Making SDN Experiment Scripts

Bash Shell Scripting Tool 에 기반한 "iperf test" 실험 스크립트를 작성하는 예제를 보인다. 먼저 Bash Shell 스크립트는 ".sh" 의 확장자를 지닌 실행파일이며 각종 변수 및 함수 정의를 갖는 다른 Bash Shell 스크립트를 로드하여 반복적으로 (recursive) 사용할 수 있다. 그럼 상기한 실험의 진행 단계에 맞추어 스크립트 작성의 예제를 살펴보자.

[작성에 앞서 사용자는 실험 절차에 따라 슬라이스에 다음과 같은 자원을 할당받았다고 가정한다.]

- VM1 (Experiment control) – Experiment 스크립트를 실행하는 역할  
Management IP address: 10.0.0.1  
Account: test/test
- VM2 (iperf client)  
Management IP address: 10.0.0.2  
Account: test/test
- VM3 (iperf server)  
Management IP address: 10.0.0.3  
Account: test/test
- 사용자가 등록한 FlowSpace  
모든 OpenFlow 스위치의 모든 포트  
192.168.1.0 ~ 192.168.1.255

---

run-expr-iperf.sh

```
#!/bin/bash

# Experiment provisioning stage
## node configuration
CMGMT="10.0.0.1"
SMGMT="10.0.0.2"
CDATA="192.168.1.1"
SDATA="192.168.1.2"
## parameter configuration
BW="0M 5M 10M 15M"
TIME="10"
## software installation
ssh test@$CMGMT "apt-get install iperf"
ssh test@$SMGMT "apt-get install iperf"
## loading network interface
ssh test@$CMGMT "ifconfig eth1 $CDATA up"
ssh test@$SMGMT "ifconfig eth1 $SDATA up"

# Experiment execution stage
## repeating experiment by incrementing iperf BW by 5M
ssh test@$SMGMT "iperf -s -u -i 1 && ./log.iperf.server &"
for i in $BW; do
    ssh test@$CMGMT "iperf -c $SDATA -u -b $i -t $TIME -i 1 >
        ./log.iperf.$i.client &"
done

# Experiment teardown stage
## collect testing results to Control VM
scp test@$CLIENT:~/log.iperf* $LOG_PATH
scp test@$SERVER:~/log.iperf* $LOG_PATH

# Experiment shutdown
```

## 2.5 SDN Experiment UI

OF@TEIN은 SDN 기반 실험을 지원하기 위해서 OF@TEIN Portal에 추가적으로 사용자를 위한 플로우 모니터링 및 인터랙션(interaction) 인터페이스로 SDN Experiment UI를 제공한다. 이 도구는 사용자 슬라이스의 OpenFlow 네트워크 및 가상화된 VM 컴퓨팅 자원의 현황 그리고 이들 간에 흐르는 플로우들의 흐름을 실시간으로 반영하여 보여준다.

### 2.5.1 Preparing SDN Experiment UI for User Experiment

SDN Experiment UI는 JAVA 코드로 작성된 도구이다. 따라서 JAVA 소스코드의 컴파일 및 실행이 가능한 대부분의 사용자 노드에서 실행이 가능하다. 도구 설치를 위하여 사용자는 Eclipse의 SVN을 통해 소스코드를 다운받아야 한다. SVN 주소는 아래와 같다.

```
'Svn://trac.nm.gist.ac.kr/first/branches/ExperimentUI-GFIW2011:
ExperimentUI-GFIW2011'
```

먼저 사용자의 OpenFlow 제어기(controller) 정보와 트랜슬레이터(translator) 포트 정보를 입력해야한다. 트랜슬레이터는 NOX 제어기로 구현된 OpenFlow 제어기와 SDN Experiment UI 사이에 위치하여 플로우들에 대한 정보를 번역하여 전달하는 역할을 한다.

“FlowVisor ↔ NOX ↔ Translator ↔ Experiment UI”

[참조: 현재 SDN Experiment UI 는 OpenFlow 제어기로 NOX 제어기만 지원.]

이어서 OpenFlow 제어기와 트랜슬레이터에 대한 정보는 아래경로에 위치한 소스코드의 String server와 port에 각각 입력한다.

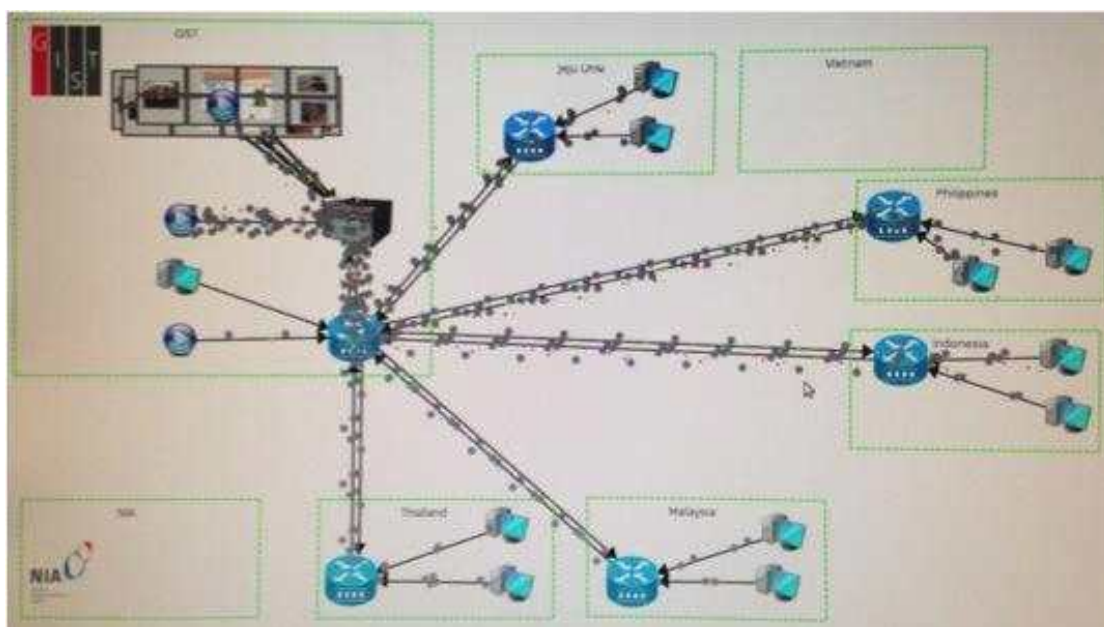
```
~/openflow_gui/src/org/openflow/gui/ex/Example.java -> public static void main'
```

- String server - 사용자의 NOX 와 연결된 트랜슬레이터 IP 주소
- Port - 트랜슬레이터 Port 주소

### 2.5.2 Utilizing SDN Experiment UI for User Experiment



SDN Experiment UI를 실행하면 OpenFlow 네트워킹 자원 및 컴퓨팅 노드, 그리고 노드간 발생하는 플로우들이 [그림 17]과 같이 보여진다. 보다 나은 가시성을 위하여 사용자는 자신이 원하는 레이아웃으로 각 자원들을 드래그 앤 드롭으로 위치시킬 수 있다. 위치시킨 자원들을 고정하기 위해서는 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하면 나오는 “Save Yaml Position” 버튼을 클릭하면 자신의 Eclipse의 Workspace 폴더에 “SAVED.yaml” 파일로 저장되며, 자신이 사용하는 yaml 파일과 바꿔 넣으면 다음 실행시 각 자원들의 위치를 그대로 복원하게 된다.



[그림 17] SDN Experiment UI 화면: 6개 사이트에 위치한 OpenFlow 스위치 자원과 VM 자원들 간에 플로우가 흐르는 모습.

## 2.6 SmartX Rack VM Monitoring Tool

사용자는 자신이 이용하고 있는 OpenFlow 연동된 SmartX Rack의 가상화 설정 상태와 VM간 네트워킹 성능을 확인할 필요가 있다. 이를 위해 SmartX Rack VM Monitoring Tool 은 각 SmartX Rack 상의 VM 간 네트워킹에 대한 모니터링 데이터베이스를 보기 쉽게 시각화시켜 사용자가 선택한 링크상의 트래픽을 확인할 수 있는 웹 기반 인터페이스를 제공한다.

[참조: SmartX Rack VM Monitoring Tool 은 OF@TEIN 프로젝트에서 개발된 사용자 도구이다. perfSONAR Toolkit 과 Cacti를 기반으로 한 웹인터페이스 기반의 모니터링을 제공하며, 프로젝트 진행과 함께 추후 기능적인 업데이트가 이루어질 수

있다.]

### 2.6.1 SmartX Rack VM Monitoring Interface

[그림 18]은 SmartX Rack VM Monitoring Interface를 제공하는 OF@TEIN Network Monitoring WeatherMap에 대한 전체적인 모습을 보여주는 화면이다. 해당 화면에서는 각각에 대한 서비스 아이콘의 위치, 링크, 노드(SmartX Rack)을 확인할 수 있으며, 해당 링크의 사용량을 확인할 수 있다.



[그림 18] SmartX Rack VM Monitoring의 전체 화면.



[그림 19] SmartX Rack VM의 상태를 표시하는 화면.

### 2.6.2 SmartX Rack VM Status

[그림 19]와 같이 해당 SmartX Rack 노드에 위치한 VM 에 대한 전체적인 상태를 확인할 수 있다. VM 의 연결 상태가 정상이면 녹색으로 표시되며, VM 의 연결 상태가 비정상이면, 해당 VM 의 상태가 붉은색으로 표시된다.

### 2.6.3 Inter-VM OpenFlow Networking Link Status

[그림 20]과 같이 각 SmartX Rack 상의 VM 간의 OpenFlow 네트워킹 상태를 확인할 수 있다. 만약에 링크의 연결이 올바르면 녹색으로 표시되며, 연결 상태가 올바르지 않으면 회색으로 표시된다. 또한, 네트워크 사용량에 따라서 녹색 ~ 붉은색으로 사용량을 표시하며 해당 사용량에 대한 수치화는 오른쪽 하단에 표현된다. 각 SmartX Rack의 VM을 클릭하게 되면 해당 SmartX Rack에서 VM이 사용하는 네트워크 인터페이스에 대한 정보와 In/Out Data를 사용자가 확인할 수 있다.



[그림 20] VM간 OpenFlow 네트워킹 링크 상태 정보.



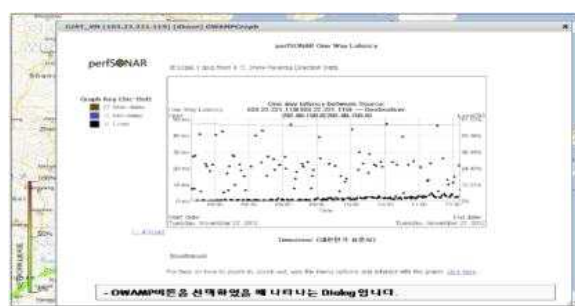
[그림 21] VM간 OpenFlow 네트워킹 링크에 대한 상세 정보 그래프.

[그림 21]의 해당 그래프 목록에서는 노드를 클릭시 perfSONAR와 연동된 서비스 그래프를 가져온다. OF@TEIN 인프라의 모든 SmartX Rack에는 perfSONAR가 설치 및 구성되어 있다. OpenFlow 연동이 설정된 SmartX Rack 마다 모니터링 서비스를 지속적으로 실행하여 perfSONAR가 지원하는 서비스 노드를 클릭시 사용자가 확인하게 한다.

- **BWCTL:** [그림 22]는 해당 화면에서 보이는 그래프는 perfSONAR가 제공하는 BWCTL 그래프이며 호스트간의 대역폭을 테스트해 준다. 해당 그래프는 노드를 클릭하고 BWCTL 항목을 클릭하면 사용자가 쉽게 확인할 수 있다.
- **OWAMP:** [그림 23]의 화면에서 보이는 그래프는 perfSONAR가 제공하는 OWAMP 그래프이며, SmartX Rack 상의 VM 간을 연결하는 OpenFlow 링크의 편도 (단방향) 지연 시간을 그래프화 시켜서 노드를 클릭 시 사용자가 쉽게 확인할 수 있다.
- **PingER:** [그림 24]는 perfSONAR가 제공하는 PingER 그래프이며, 사용자들이 일반적으로 알고 있는 Ping을 가시화하여 표현한다. 일반적인 Ping이 아닌, 누적된 Data를 가시화 표현하여, 사용자가 쉽게 시간에 따른 Ping 값에 대한 정보를 읽을 수 있다.



[그림 22] 네트워크 링크의 대역폭 정보 그래프.



[그림 23] 네트워크 링크의 단방향 딜레이 정보 그래프.



[그림 24] 네트워크 링크의 Pinger 정보  
그래프.

## 3. Administrator's Manual for OF@TEIN SDN

### 3.1 OF@TEIN Portal Interface

#### 3.1.1 User & Projects Management

- Users Management: 사용자가 프로젝트에 내에서 실험을 진행하려면 먼저 관리자는 사용자를 프로젝트의 멤버로 추가해야 한다. 사용자 등록은 [그림 25]와 같이 사용자 등록 요청 e-mail에 포함된 정보를 Dashboard의 Account 섹션에서 관리자가 추가한다.

**Create a new user:**

Username:	<input type="text"/>	Required. 30 characters or fewer. Letters, digits and @/./+/-/_ only.
Password:	<input type="password"/>	
Password confirmation:	<input type="password"/>	Enter the same password as above, for verification.
First name:	<input type="text"/>	
Last name:	<input type="text"/>	
E-mail address:	<input type="text"/>	
Affiliation:	<input type="text"/>	

[그림 25] OF@TEIN Portal 사용자 등록화면.

- Project Management: 관리자는 OF@TEIN 자원을 이용하는 새로운 프로젝트를 생성하거나 기존 프로젝트의 제거할 수 있다. 대쉬보드의 프로젝트 섹션에서 “Create” 버튼을 클릭하여 프로젝트의 이름과 설명을 적고 “Save” 버튼을 누르면 프로젝트 목록에 추가된 것을 확인할 수 있다. 프로젝트를 생성한 후 관리자는 각 프로젝트에 참여하여 실험을 진행할 수 있는 사용자 계정을 추가해야 한다. “Add Member” 버튼을 클릭하면 [그림 26]의 User에서 추가할 실험자를 선택하고 Roles에서 어떤 역할을 부여할 지 체크한다. 일반적으로 researcher를 선택하고 “Add” 버튼을 클릭한다.



[그림 26] 프로젝트에 참여할 사용자를 등록하는 화면.

### 3.1.2 Resource Aggregator Management

- Aggregate Management: 실험을 위한 자원 할당을 위해 관리자는 각 자원의 AM(Aggregate Manager)을 프로젝트에 추가한다. 프로젝트 매니지먼트 페이지의 Aggregates section 의 “Add Aggregates” 버튼([그림 26] 참조)을 클릭 하면 사용가능한 AM 목록이 나타난다. 프로젝트에 할당할 AM의 “Select” 버튼을 누르면 AM 할당 상태가 오른쪽에 나타나고 “Done” 버튼을 누르면 추가가 완료된다.

VTServers			
Name	UUID	Actions	
SmartX-B-PH	08a5af8a-119e-417c-9326-14a7c1d74f45	edit	
SmartX-B-jeju	d5a7bb9f-ac9e-42fa-bef0-ca8fb720fcc	edit	
SmartX-B-TH	770c2e1f-79b1-45cd-9751-45afe485875f	edit	
SmartX-B-ID	876ddd47-fr9b-4205-9cc1-52c881b0ee61	edit	
SmartX-B-MY	db30b26f-83e2-4973-a5b2-ec85e641e7dc	edit	
SmartX-A+	c3195689-6b77-4751-a6d0-96b8870b1c74	edit	
SmartX-A	2954debb-3160-46f5-8d5c-d3c2fe3590be	edit	
SmartX-B+	b07dd943-1008-4f6e-a295-6b10b25146cf	edit	
SmartX-B-VE	d8402e9b-a264-4b5d-9673-c9aa442ab253	edit	

OpenFlow Connections			
Source	Destination	Type	Actions
HP-ID:22	NF-ID:4	Direct Cable	edit
NARINET:16	NF-ID:1	L2 GRE	edit
NF-MY:4	HP-MY:22	Direct Cable	edit
NF-PH:4	HP-PH:22	Direct Cable	edit
NARINET:13	NF-PH:1	L2 GRE	edit
HP-GIST:28	NARINET:4	Direct Cable	edit
NF-ID:1	NARINET:16	L2 GRE	edit
NF-PH:1	NARINET:13	L2 GRE	edit

[그림 27] Resource name management 화면.

- Resource Name Management: OF@TEIN 포탈의 슬라이스 매니지먼트 페이지에 나타나는 토폴로지의 가시성을 개선하기 위해 관리자가 OpenFlow 스위치와 VT\_Server들에 대해서 이름을 확인하고, 이를 수정할 수 있다 ([그림 27] 참조). 먼저 각 OpenFlow 스위치들에 대해서 Name, DPID(OpenFlow 스위치의 고유한 ID)를 보여주고, 관리자가 토폴로지 상에 표시되는 이름을 직접 수정할 수 있다. 또한 각 VT\_Server(SmartX Rack 내부에 위치한)들에 대해서 Name과 UUID(VT\_Server의 고유한 ID)를 출력하고 마찬가지로 테이블을 통

해 표시되는 이름 수정이 가능하다. 또한 Name 뿐만 아니라 X, Y 좌표를 입력할 수 있는데, 이 좌표는 해당 개체가 토폴로지 상에 표시되는 위치이다. 또한 각 네트워킹 링크의 연결이 어떻게 되어있는지를 보여주려고 맨 아래에는 OpenFlow 링크들의 목록을 보여주고, 이들의 연결타입(connection type)을 선택하여 표시할 수 있다. 각 링크의 타입을 일단 Direct Cable, VLAN, L2-GRE, L3-GRE, Others 등으로 구분하였고, 수정 페이지에서 해당 링크의 타입을 결정할 수 있다.

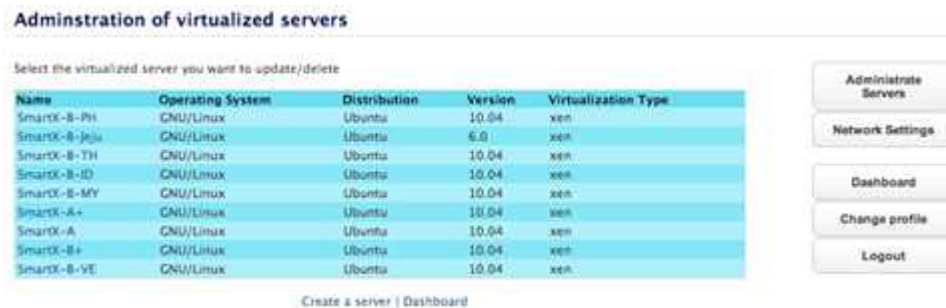
[참조: Resource Name Management 기능은 OF@TEIN 프로젝트에서 추가된 기능으로서 새로운 버전의 OCF로 업그레이드시에 Resource Name Management 기능이 포함되지 않을 수 있으며, 웹 인터페이스 소스코드의 수정이 필요할 수 있다.]

### 3.1.3 VM Resource Aggregate Manager

가상화된 컴퓨팅 자원을 사용하기 위해서는 먼저 Administrate Server 관리 도구를 활용하여, 이를 제공하는 VT\_Server(SmartX Rack)를 Virtualization Aggregate에 등록해야 한다. OF@TEIN의 Virtualization Aggregate의 주소는 다음과 같다.

<https://103.22.221.51:8445>

[그림 28] 과 같이 “Administrate Servers” 버튼을 누르면 현재 등록된 서버 목록이 나온다. 하단의 “Create a server” 버튼을 누르면 새로운 서버에 대한 정보를 입력하는 페이지인 [그림 29]로 넘어간다. 등록할 VT\_Server의 이름과 서버에서 실행되는 VT\_Agent 정보를 입력하고, OS 및 가상화 솔루션에 대한 정보를 선택한다. 다음으로 서버가 사용할 네트워크 브릿지(bridge) 정보를 설정하는데, Management 와 Data 평면에 대한 정보를 각각 아래와 같은 항목으로 설정한다.



[그림 28] OF@TEIN Virtualization Aggregate 화면.

**Add/Update virtualized server:**

**General parameters**

Parameters

UUID: b3036750-27ab-49b6-8f69-abc4e75dcd58

Enabled:

Name:  The name of MediaX VT Server

OS Type:

OS Distribution:

OS Version:

Virtualization Technology:  The ip should be changed to the one of new-machine's management interface

URL of the Server Agent:  패스워드

Agent Password:

**Networking parameters**

**Management Bridge parameters**

Name:  new-machine 에서 VM management interface용으로 쓰일 ethX 와 연결되는 브릿지 이름

MAC Address:  Any mac address

**Data Bridges parameters**

Name:  new-machine 에서 VM datapath interface용으로 쓰일 ethX 와 연결되는 브릿지 이름

Switch ID:  new-machine 이 연결될 OF switch 의 datapath ID

Switch Port:  new-machine 이 연결될 OF switch의 port

Delete:

Add Bridge

**Suscribed Ethernet Ranges**

Range Name:  Subscribe new-machine에 생성될 VM들에 할당될 MAC address

**Suscribed IPv4 Ranges**

Range/s Name/s:  Subscribe new-machine에 생성될 VM들의 management 노드에 할당될 IP Address

새로운 subscription range를 만드는 곳

Save | Delete | Dashboard

Administrare Servers  
Network Settings  
Dashboard  
Change profile  
Logout

[그림 29] VT\_Server의 세부 설정화면.

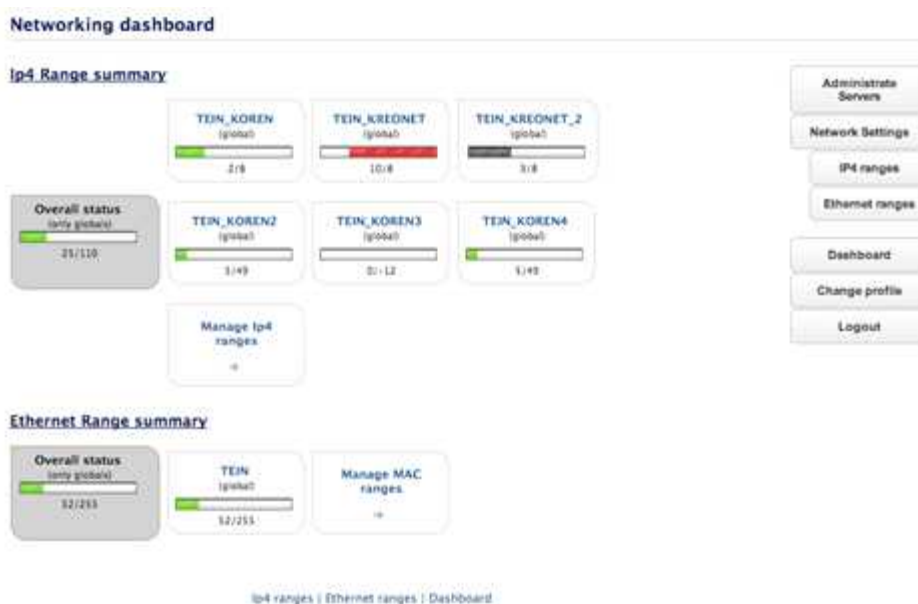
- Management
  - Name: Management에 사용할 브릿지 이름
  - MAC Addr: 브릿지 MAC 주소
- Data
  - Name: Data 평면에 사용할 브릿지 이름
  - Switch ID: 스위치의 DPID (datapath ID)
  - Switch Port: 브릿지와 연결된 스위치의 포트넘버

Data 의 경우 “Add Bridge” 버튼을 이용하여 다수의 네트워크 인터페이스를 갖



도록 설정할 수 있다. “Save” 버튼을 누르고 다시 서버목록을 보면 새로운 VT\_Server가 추가된 것을 볼 수 있다.

다음으로는 등록된 VT\_Server 상에서 새로운 VM들이 생성될 때 할당 받을 IPv4 주소 대역과 MAC 주소 대역을 설정해야한다. “Network Settings” 버튼을 누르면 현재 할당되어있는 전체 상황에 대한 정보를 얻을 수 있으며 각 대역의 이름을 누르면 대역에 대한 상세 정보를 볼 수 있다 ([그림 30] 참조). “Create range” 버튼을 통하여 새로운 주소 대역을 아래와 같은 정보를 입력하여 추가할 수 있다. 또한 “Save” 버튼을 누르고 Networking Dashboard를 보면 새롭게 추가된 것을 볼 수 있다.



[그림 30] Virtualization Manager의 네트워킹 대쉬보드.

- IPv4
  - Range name: 주소대역 이름 (ex: KOREN,..)
  - Range start IP: 주소대역의 시작 주소 (ex: 192.168.0.1,..)
  - Range end IP: 주소대역의 마지막 주소 (ex: 192.168.0.100,..)
  - Network mask: 서브넷 주소
  - Gw: 게이트웨이 주소
  - Dns: 네임서버 주소
  
- Ethernet Mac
  - Range name: 주소대역 이름

- Start Mac Addr: 대역의 시작 주소 (ex: 00:CA:FE:BA:BE:00,..)
- End Mac Addr: 대역의 마지막 주소 (ex: 00:CA:FE:BA:BE:FF, )

### 3.1.4 OpenFlow Resource Aggreagation Manager

Home > Update OpenFlow Aggregate

Name:   
Use a unique name for this aggregate.

Description:

Geographic Location:   
This should be a location that can be found using Google Maps

Available:   
Do you want to make this aggregate available for others to use?

Usage agreement:

Username:   
Username to use to access the remote server.

Password:   
Pass \_\_\_\_\_ ccess the remote server.

Max Password age (days):   
If this is set to non-zero, the password will automatically be changed once the password ages past the maximum. The new password is then randomly generated.

Server URL:   
URL used to access the remote server's xmlrpc interface, should be https://DOMAIN\_OR\_IP:PORT/ROUTE\_TO\_XMLRPC\_INTERFACE

Verify Certificates?   
Disabling this check will still verify that the certificate itself is well-formed. In particular, the server's hostname must match the certificate's Common Name.

Current status:

[그림 31] OpenFlow Aggregate 등록 또는 업데이트 페이지.

- OpenFlow Resource Registration: 관리자는 먼저 OF@TEIN에서 사용할 OpenFlow 자원들을 등록해야 한다. [그림 31]은 새로운 OpenFlow

Aggregate를 등록하는 페이지를 보여준다. 각 Aggregate는 하나의 Opt-in Manager를 통해 FlowVisor와 연결된다. [그림 31]의 "Server URL"에는 해당 Aggregate를 담당하는 Opt-in Manager의 XMLRPC 서버의 주소를 기입한다. 추가가 완료되면 Current Status를 통해 상태를 확인할 수 있다. 또한 Aggregate에 새로운 OpenFlow 자원(새로운 스위치의 추가)이 추가된 경우를 이에 대한 정보를 업데이트해야 한다. 하단의 "Update" 버튼을 통해 OF@TEIN 포탈에 등록된 정보를 업데이트할 수 있다.

- Opt-in Manager for FlowSpace Management: 관리자 및 사용자들이 OF@TEIN 포탈 인터페이스를 통하여 OpenFlow 자원에 접근하기 위하여 사용자의 FlowSpace 및 FlowRange 등록을 담당하는 Opt-in Manager에 FlowVisor 정보를 입력해 주어야 한다. 먼저 OF@TEIN Opt-in Manager의 주소는 <https://103.22.221.51:8443> 를 사용하면 된다. [그림 32]와 같이 Dashboard에서 "Manage Website" -> "Set FlowVisor" 순으로 버튼을 누르면 나오는 페이지에 FlowVisor에 대한 정보를 입력한다.

[그림 32] Opt-in Manager에 FlowVisor 정보 입력 화면.

### 3.2 FlowSpace UI

OF@TEIN의 전체 FlowSpace에 대한 관리를 효과적으로 지원하기 위해서 FlowSpace UI 도구를 제공한다. 이 기능은 OCF와 별도의 프로그램으로 설치되어야 한다.

### 3.2.1 Setup & Configuration

FlowSpace UI는 JAVA 코드로 작성된 프로그램으로서 JAVA 소스코드의 컴파일 및 실행이 가능한 노드에서 실행이 가능하다. FlowSpace UI는 Eclipse를 이용하여 실행하게 된다. SVN을 통해 아래의 주소에서 다운 받는다.

“svn://trac.nm.gist.ac.kr/first/branches/NetOpenUI\_OMNI/flowvisor2”

관리자는 OF@TEIN 인프라의 전체 FlowSpace 자원에 대한 모니터링을 위하여 관리자용으로 준비된 특별한 슬라이스와 OpenFlow 제어를 가져야 한다. 따라서 관리자용 OpenFlow 제어기의 주소에 맞추어 트랜스레이터의 포트를 입력해야한다. 트랜스레이터는 OpenFlow 제어기와 UI 도구 사이에 위치하여 정보를 번역하여 전달하는 역할을 한다 (“FlowVisor ↔ NOX ↔ Translator ↔ FlowSpace UI”). 또한 관리자는 각 실험 슬라이스에 대한 정보를 모니터링하기 위하여 각 실험 슬라이스에 연결된 OpenFlow 제어기 정보와 트랜스레이터 포트 정보를 입력한다.

[참조: 현재 FlowSpace UI는 OpenFlow 제어기로 NOX 제어기만 지원하고 있다.]

```

if (localConnection) // do localhost
{
    System.err.println("Connecting via localhost; hope you set up the tunnel");
} else {
    System.err.println("Connecting directly... hope you're in Gates");

    servers.add(new Triple("103.22.221.53", 2505, "RAUI"));
    // servers.add(new Triple("103.22.221.53", 2505, "NetOpenRA All"));
    // servers.add(new Triple("103.22.221.53", 2509, "NetOpenRA Alpha"));
    // servers.add(new Triple("103.22.221.53", 2503, "NetOpen+MediaX")); /* To display flow */
    // servers.add(new Triple("103.22.221.53", 2503, "QoS control"));
    // servers.add(new Triple("103.22.221.53", 2505, "NetOpen Switching"));
}

```

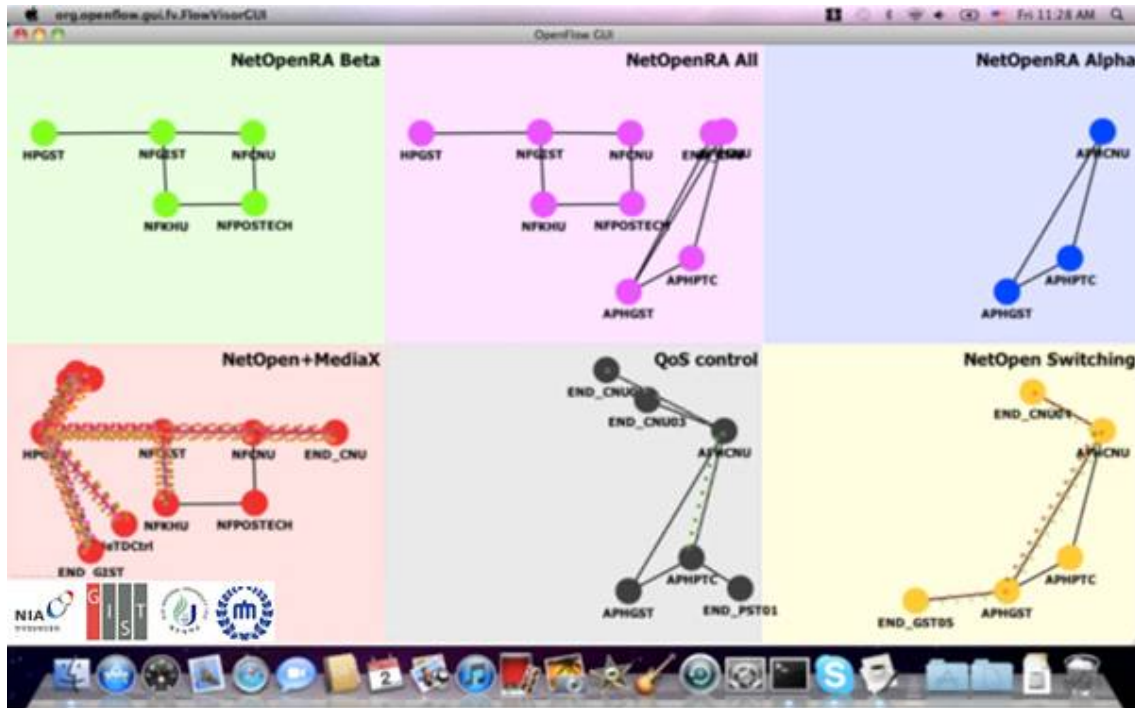
[그림 33] FlowSpace UI에 모니터링할 슬라이스 정보를 입력하는 부분.

관리자는 모니터링 대상의 슬라이스를 등록하기 위하여 “openflow\_gui/src/org/openflow/gui/fv/FlowVisorGUI.java”에 위치한 소스코드의 servers.add 부분에 자신의 제어기 정보를 입력해 줘야한다. 제어기 주소, 트랜스레이터 포트, 표시될 슬라이스 이름 정보를 아래의 표기와 같이 입력한다([그림 33] 참조).

“servers.add(new Triple("103.22.221.53", 2505, "Admin"));

마찬가지로 사용자 슬라이스의 제어기 주소와 트랜스레이터 포트, 표시될 슬라이스 이름 정보를 추가적으로 입력해야한다.

### 3.2.2 Execution & Trouble Shooting



[그림 34] FlowSpace UI 실행 화면.

FlowSpace UI를 실행하면 [그림 34]와 같은 화면이 나타나게 되며, 분할된 각 화면은 각각 입력된 슬라이스의 할당된 자원과 플로우의 흐름을 슬라이스의 이름과 함께 나타낸다.

#### ■ Trouble Shooting

- 등록된 Slice 의 이름과 함께 “Not Connected” 가 나온다면 실제 OpenFlow 제어기와 트랜스레이터가 정상적으로 동작하는지, 포트 번호를 올바르게 입력했는지 확인한다.
- 등록된 Slice 의 이름만 나오고 토폴로지와 플로우가 표현되지 않는다면, FlowVisor에 슬라이스의 FlowSpace가 등록되었는지 확인한다.

## *OF@TEIN SDN Tools Guide 매뉴얼*

- 광주과학기술원의 확인과 허가 없이 이 문서를 무단 수정 및 배포하는 것을 금지합니다.
- 이 문서의 기술적인 내용은 OF@TEIN 프로젝트의 진행과 함께 별도의 예고 없이 변경될 수 있습니다.
- 최신의 정보로 갱신된 매뉴얼에 대한 정보와 매뉴얼에 대한 문의 사항은 아래의 정보를 참조하시길 바랍니다.
  - Homepage: [trac.nm.gist.ac.kr/tein\\_public](http://trac.nm.gist.ac.kr/tein_public)
  - E-mail: [tein\\_admin@nm.gist.ac.kr](mailto:tein_admin@nm.gist.ac.kr)

작성기관: 광주과학기술원

작성년월: 2012/12