

IPv6 이관, IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크: 모델링, 시뮬레이션

김 정 수[†]

요 약

이 논문의 목적은 시뮬레이션 소프트웨어인 OPNET Modeler의 IPv6 Planning and Operations를 이용하여 IPv6 이관, IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험, OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험을 가상망으로 모델링 후 종단간 라우팅 순환 경로 관찰과 Ping 실험을 시뮬레이션하여 그 특성을 분석한 연구이다. 거대한 유무선 통합망을 토대로 한 IPv6 배치는 연구 과제 중 하나이며 이전문헌의 연구자들이 향후 연구로 남겨 놓은 OSPFv3와 EIGRP에 대한 성능 매트릭 분석을 IPv4/IPv6 환경 내에서 수행 계획과 어떻게 하면 종단간 IPv6 성능을 향상할 수 있는지를 탐색할 계획을 들 수 있다. 또한 IPv4 네트워크 상에 연구를 수행했으나 종단간 IPv6 기반의 OSPFv3 가상망 연구 수행은 없었던 점을 들 수 있다. 따라서 우리는 이전문헌의 연구를 이어서 IPv6 이관, IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크에 대한 모델링, 시뮬레이션을 수행하였다. 머지않은 미래에 본격적인 IPv6 활용 이전, IPv6 기반의 가상망을 IPv6 Planning and Operations 이용한 IPv6 이관 여부, 종단간 IPv6 기반의 OSPFv3에 대한 라우팅 순환 경로 탐색, OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험으로 엔드유저 관점에 대한 IPv6 망 설계와 배치시 도움을 받을 것이다. 시뮬레이션 결과, 모델링된 종단간 가상망에 대한 최적 경로를 관찰할 수 있었고 인터넷 서비스 품질을 보장하는 VC 서버가 HTTP 서버보다 더 빠른 Ping 응답 시간을 보인 점을 알 수 있었다.

키워드 : IPv6, OSPFv3, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크, IPv6 네트워크, 모델링, 시뮬레이션

IPv6 Migration, OSPFv3 Routing based on IPv6, and IPv4/IPv6 Dual-Stack Networks and IPv6 Network: Modeling, and Simulation

Jeong-Su Kim[†]

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze and characterize to simulate routing observations on end-to-end routing circuits and a ping experiment of a virtual network after modeling, such as IPv6 migration, an OSPFv3 routing experiment based on an IPv6 environment, and a ping experiment for IPv4/IPv6 dual-stack networks and IPv6 network for OSPFv3 routing using IPv6 planning and operations in an OPNET Modeler. IPv6 deployment based largely on the integrated wired and wireless network was one of the research tasks at hand. The previous studies' researchers recommended that future research work be done on the explicit features of both OSPFv3 and EIGRP protocols in the IPv4/IPv6 environment, and more research should be done to explore how to improve the end-to-end IPv6 performance. Also, most related work was performed with an IPv4 environment but lacked studies related to the OSPFv3 virtual network based on an end-to-end IPv6 environment. Hence, this research continues work in previous studies in analyzing IPv6 migration, an OSPFv3 routing experiment based on IPv6, and a ping experiment for IPv4/IPv6 dual-stack networks and IPv6 network for OSPFv3 routing. In the not too distant future, before enabling the default IPv6, it would help to understand network design and deployment based on an IPv6 environment through IPv6 planning and operations for the end-user perspective such as success or failure of connection on IPv6 migration, exploration of an OSPFv3 routing circuit based on an end-to-end IPv6 environment, and a ping experiment for IPv4/IPv6 dual-stack networks and IPv6 network for OSPFv3 routing. We were able to observe an optimal route for modeling of an end-to-end virtual network through simulation results as well as find what appeared to be a fast ping response time VC server to ensure Internet quality of service better than an HTTP server.

Keywords : IPv6, OSPFv3, IPv4/IPv6 Dual-Stack Networks, IPv6 Network, Modeling, Simulation

※ 본 논문에 실험 툴을 사용할 수 있도록 지원해 준 OPNET Technologies, Inc.와 국내 OPNET 시뮬레이터 딜러(사)인 MA Co., Ltd사의 홍승현 이사님께 감사함을 전달합니다. 그리고 연구 수행 중 다시 한번 제 한계를 맞볼 수 있도록 아낌없이 질책(叱責)해 주신 심사위원님께 고마움을 전달합니다.

† 정 회 원 : 광운대학교 경영정보학과 경영정보학 박사
논문접수 : 2011년 5월 31일
수정일 : 1차 2011년 8월 1일
심사완료 : 2011년 8월 10일

1. 서 론

최근 유무선 통합서비스 제공, 스마트 폰과 태블릿 PC (예: iPad) 보급 확산 등에 따른 무선 인터넷서비스 활성화로 인해 인터넷 주소 수요가 급증되어 기존 인터넷 주소인 IPv4(Internet Protocol version 4) 할당 종료 시점이 빠르게 진행 중이다. 이를 예견(豫見)하듯 IETF(Internet Engineering Task Force)는 오래전부터 현재 사용하고 있는 IPv4 프로토콜을 대신하기 위한 새로운 주소 체계인 IPv6(Internet Protocol version 6) 개발을 연구해 왔다. IPv6는 128비트 주소 체계로 지구 표면에 유일한 주소로 모든 분자(요소)를 라벨(label)하기에 충분하다. 뿐만 아니라 IPv6 헤더는 IPv4 헤더에 비해 단순하므로 라우터가 라우팅을 빨리 처리할 수 있고 헤더 체크섬(header checksum)이 없어 그만큼 오버헤드를 줄임으로 라우터 성능 향상을 기대할 수 있으며 보안 제공, 이동성 제공 등에 대한 장점 또한 가지고 있다.

거대한 유무선 통합망을 토대로 한 IPv6 배치는 연구 과제 중 하나로 “기존 IPv4 기반 인프라스트럭처를 어떻게 하면 안전하게 IPv6로 이관할 수 있을까?”이다. “어떻게 IPv6로 이관해야만 거대한 유무선 통합망 내의 소스(source)에서 목적지(destination)까지 원활한 메시지 전달이 가능할까?” 이러한 의문으로 본 연구를 시작할 수 있는 동기부여(動機附與)가 되었다. 2.2절에서 언급했지만 많은 연구자들이 IPv4 네트워크 성능 실험, IPv4 vs. IPv6 환경에서의 라우터 플랫폼 성능 실험 및 VoIP(Voice over Internet Protocol) 성능 실험, IPv4/IPv6 듀얼 스택(dual-stack)과 터널링(tunneling) 방식 등에 대한 활발한 연구를 수행했으나 IPv6 이관, IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크: 모델링, 시뮬레이션에 대한 연구는 쉽게 찾을 수가 없었다. 이전문헌 연구자인 Mohammad Nazrul Islam et. al (2010)과 Mohd. Khairil Sailan et. al (2009)는 향후 연구로 남겨 놓은 내용 중 OSPFv3와 EIGRP에 대한 성능 매트릭 분석을 IPv4/IPv6 환경 내에서 수행 계획과 후자 역시 어떻게 하면 중단간 IPv6 성능을 향상할 수 있는지를 탐색할 예정이다 밝혔다. 따라서 우리는 본 연구의 주제와 같이 IPv6 이관, IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크에 대한 모델링, 시뮬레이션을 실험 도구인 OPNET Modeler의 IPv6 Planning and Operations으로 그 특성을 분석하였다. 본 연구의 기여점은 IPv6에 기본적인 상호운용성 성능 지표인 Ping과 중단간 OSPFv3 라우팅에 대한 경로 관찰로 호스트와 라우터로 구성된 중단간 가상망에 대한 가장 빠른 경로를 관찰할 수 있었다. 아울러 모델링된 VC 서버와 HTTP 서버간 Ping 실험 결과 인터넷 서비스 품질을 보장하는 VC 서버가 HTTP 서버보다 더 빠른 Ping 응답 시간을 보인 점을 알 수 있었다. 끝으로 엔드유저(end user) 관점에 대한 네트워크 성능 기반의 IPv6 네트워크 배치와 설계에 도움을 줄 것으로 판단된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 관련연구는 두가지로

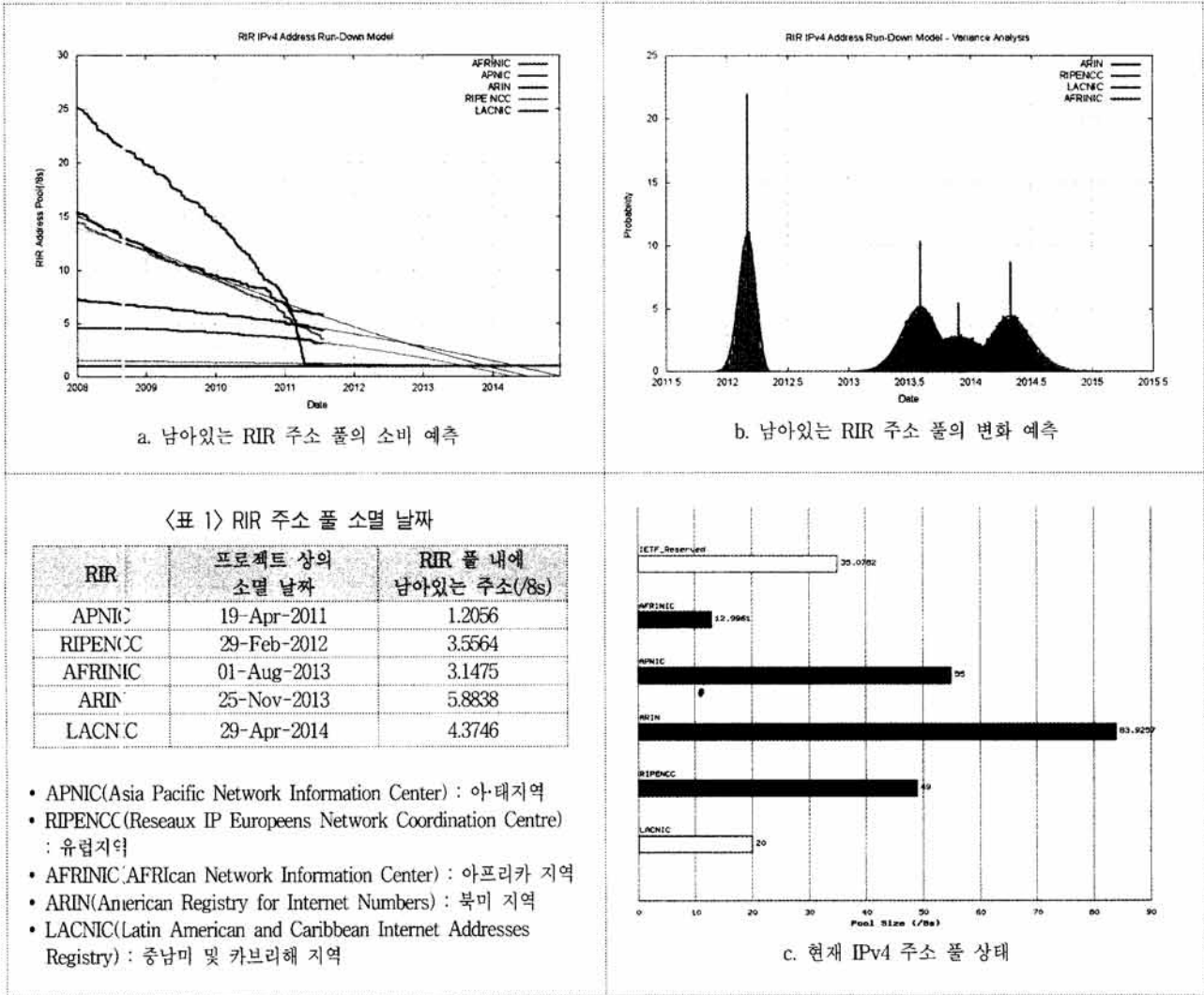
분류하여 정리하였다. 첫째, IPv4 주소 현황, IPv6 주소 체계 및 IPv6 전환기술을 기술하고 둘째, IPv6, OSPFv3, 그리고 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크에 대한 이론적인 고찰을 토론했다. 3장은 가상 네트워크 모형으로 실험 도구 조사, IPv6 Planning and Operations, Flow Analysis, 실험 도구를 이용한 IPv6 이관 방법(안), IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험, OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험, 실험 토론 순서로 기술하였다. 마지막 4장에서 결론으로 본 연구를 진행하며 확인한 한계점을 기술하고 향후 연구로 본 연구를 종결(終結)한다.

2. 관련 연구

2.1 IPv4 주소 현황, IPv6 주소 체계 및 IPv6 전환기술

이 절은 IPv4와 IPv6에 대한 기본지식으로 IPv4 주소 현황, IPv6 주소 체계 및 IPv6 전환기술을 살펴본다. IPv6 주소 체계를 보다 세밀히 조사하기 위하여 IPv4와 IPv6 주소 특성을 서로 비교하여 기술하였다. 우리는 다음과 같은 질문을 나열해 보았다. “과연 현재 남아있는 IPv4 주소 공간과 향후 언제쯤 IPv4가 소멸될 예정일까?” 이와 더불어 “IPv6 주소 체계가 확립되었음에도 불구하고 현재 왜 IPv6 주소 체계 도입이 저조(低調)할까?”, “IPv4와 IPv6의 주소 체계 차이점은 무엇일까?”, 끝으로 “IPv6 전환기술은 무엇이 있을까?”라는 의문을 제기할 지도 모른다. 이러한 각각의 질문에 대한 해답을 조사해 보기로 한다. 첫 번째 질문인 전세계 IP주소·AS번호 관리를 하는 기관과 관리 체계를 살펴보면 현재 남아있는 IPv4 주소 공간과 향후 언제쯤 IPv4가 소멸될 예정인지를 예측해 놓았다. 이에 대한 설명은 아래와 같다[1].

- ICANN(Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)
 - 전세계 인터넷주소자원 총괄 관리 기관
 - 인터넷 관련 비즈니스, 기술계, 학계 및 이용자 단체 등으로 구성된 비영리 기구
- IANA(Internet Assigned Numbers Authority)
 - ICANN이 미 상무부와의 계약에 의해 수행하는 전세계 IP주소 관리 업무
 - 각각의 대륙별 인터넷 주소 관리기관인 RIR에 주소를 분배
- RIR(Regional Internet Registry)
 - 대륙별 인터넷주소 관리기관(전세계 : 총 5 개)
 - 각 RIR이 관할하는 대륙의 국가 인터넷주소자원 관리 기관인 NIR 또는 인터넷접속서비스 제공자인 ISP (Internet Service Provider)에 주소를 분배
- NIR(National Internet Registry)
 - 국가별 인터넷주소 관리기관(아·태지역 : 총 6개)
 - KRNIC(한국), JPNIC(일본), CNNIC(중국), VNNIC(베트남), TWNIC(대만), APJII(인도네시아)
 - ※ KISA(KRNIC) : 국내 관리대행자 또는 독립사용자에게 IP주소·AS번호 할당



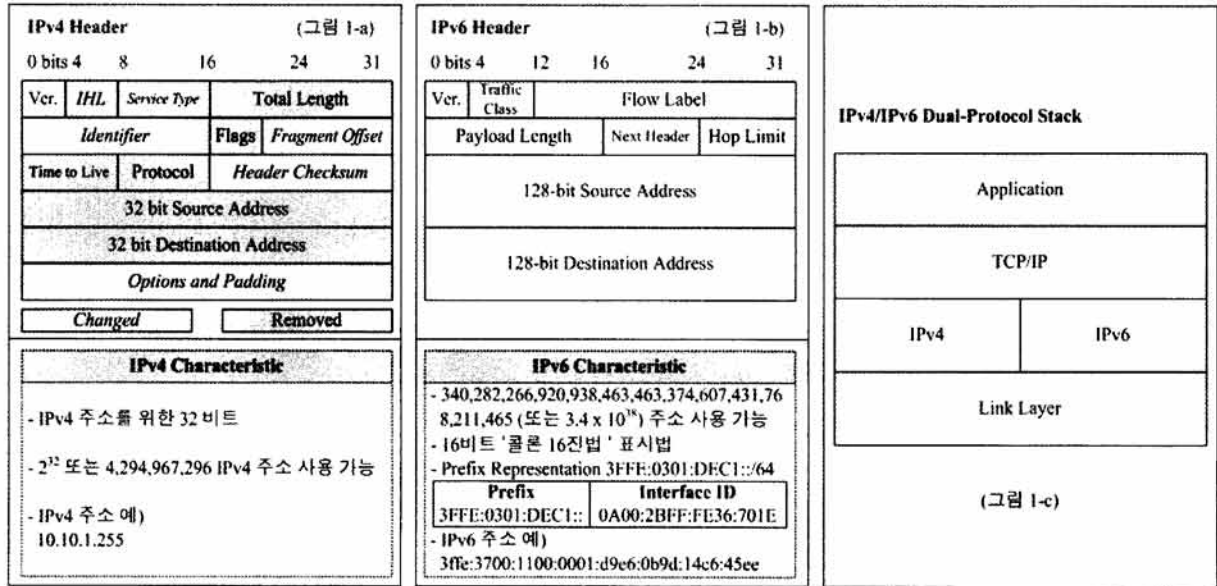
□ LIR(Local Internet Registry)

- 지역별 인터넷주소 관리기관, 일반적으로 ISP를 의미

<표 1>은 RIR 주소 풀 소멸 날짜를 대륙별 인터넷 주소 관리별로 표현한 것으로 이와 관련된 도표(차트)는 a와 b이다. c는 현재 IPv4 주소 풀 상태를 도표로 도식화한 것이다. 다른 지역과 달리 APNIC(아태지역)은 IPv4 주소 풀 소멸 날짜(2011년 4월 19일)가 더 빠르다는 것을 알 수 있다. 과거 기술로 IPv4 주소 체계를 대신해 줄 솔루션으로 NAT(Network Address Translator), CIDR(Classless Inter-Domain Routing), DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) 등을 들 수 있으나 이들은 일시적인 솔루션으로 보다 새롭고 영구(永久)적인 인터넷 주소 체계를 수용할 수 있는 IPv6가 등장하게 된 것이다. 두 번째 질문인 IPv6 주소 체계가 확립되었음에도 불구하고 현재 왜 IPv6 주소 체계 도입이 저조한 이유는 1) 국내 IPv6 전환 인식제고 및 취약계층의 원인 과 2) 네트워크 관리자 또는 서비스 제공자 변경 때문에 고정된 IP를 삭제하거나 추가하는 작업(IPv6 renumbering)은 대부분 네트워크 운영자의 실제 이슈로 들 수 있다. 3) IPv4에서 IPv6로부터 서비스 이관에 대한 많은 비용과 4) 새로운 거대한 블록(IPv6)을 얻는데 구조적인 어

려움 때문에 본격적인 IPv6 변화가 아직까지 전개되지 않은 것으로 판단된다[2][3][4]. 방송통신위원회의 선도적 인터넷 서비스 기반구축을 위한 차세대인터넷주소(IPv6) 전환 추진 계획 보고서에 따르면 국내 IPv6 전환 인식제고 및 취약계층 지원 방안으로 1) 국내 IPv4 신규할당 중지 시점을 '11년 06월로 선포하여 IPv6 전환 서비스 분야별 대응 시나리오 마련, 2) IPv6 전환 취약계층(중소ISP, 콘텐츠사업자 등) 대상 기술컨설팅, 테스트 지원 등 종합지원체계 강화, 3) IPv6 도입을 위한 수요자의 수준별(기초실무, 네트워크관리, IPv6 적용 등) 기술교육 실시 등으로 열거했다. 추가적으로 국내 IPv6 전환 계획은 IPv4 → IPv4·IPv6 → IPv6로 단계적인 추진을 가지고 있으며 주목할 점은 ISP의 백분망 IPv6 적용 장비교체율은 높은 편(70.7%)인 반면 가입자망 적용은 낮은 편(27.7%)이라고 보고서에 제시되었다[5].

세 번째 질문인 IPv4와 IPv6 주소 특성은 (그림 1-a, b)에 도식화 된 바와 같이 첫째, IPv4 헤더에 비해 IPv6 헤더가 단순해 졌으므로 이에 따라 라우터가 라우팅을 빨리 처리할 수 있는 장점을 가졌다. 즉, 기존 IPv4에는 라우터가 CIDR 기법을 이용해 패킷전송을 수행했다. 최대한 빠르고 정확한 장소로 패킷을 전송시키기 위해서 라우터가 유지해



(그림 1) IPv4와 IPv6 헤더 비교/특성 및 IPv4/IPv6 듀얼 프로토콜 스택 구조

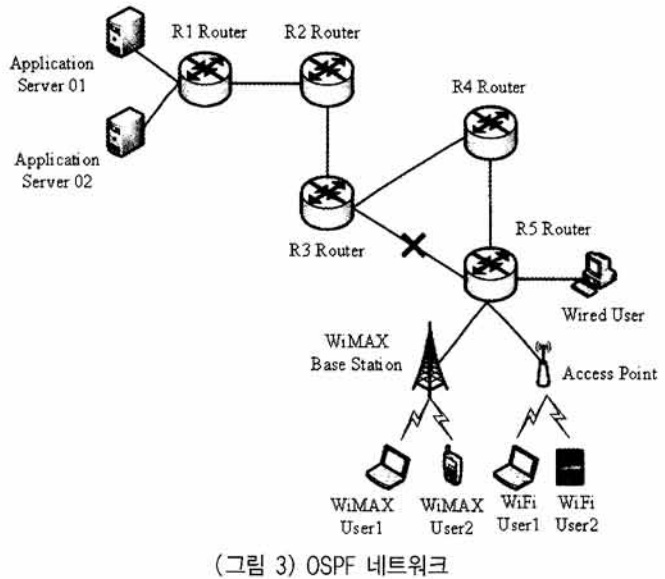
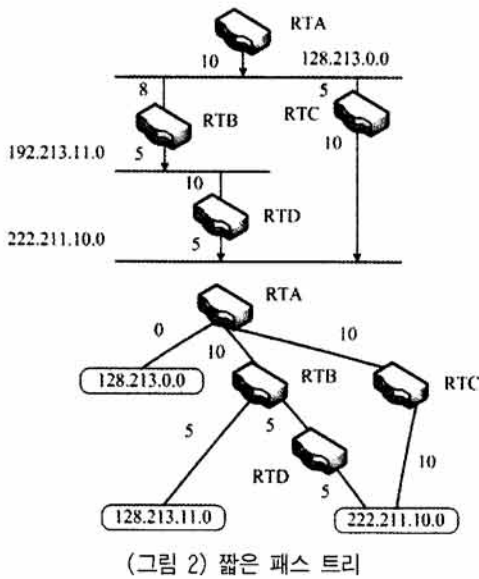
야 할 정보들이 적을수록 좋으므로 (그림 1-b)의 IPv6 헤더 구조처럼 간소화로 인해 그만큼 패킷전송이 빠른 처리로 가능했다. 둘째, IPv6는 헤더 체크섬이 없어졌다. 헤더 체크섬이란 목적지에 도착한 IP패킷의 헤더 정보가 올바르게 도착했는지를 검사하는 것으로 데이터 링크 계층에서 검사하므로 애써 IP계층에서 검사할 필요가 없다. 따라서 이러한 오버헤드를 줄임으로써 라우터 성능 향상을 기대할 수 있다. 주소 표기법은 IPv4 주소체계의 경우 32비트로 각 8비트씩 4자리, (dot)으로 구분하였다. 이와 달리 IPv6 주소체계의 경우 128비트로 각 16비트씩 8자리, (콜론)으로 구분한다. 뿐만 아니라 IPv4와 혼용한 주소 표기(예: 0:0:0:0:101.45.75.219)도 가능하다는 점을 들 수 있다. 이와 같이 IPv4에 비해 IPv6가 향상된 점을 요약해보면 주소 용량 확장, 자동-구성 메커니즘, 간단해진 헤더와 융통성 있는 확장, 보안 제공, 서비스 품질 보장, 이동성 제공 등을 들 수 있다. 마지막 절문인 IPv6 전환 기술로 IPv4/IPv6 듀얼 스택은 IPv6 노드가 IPv4 전용 노드와 호환성을 유지할 수 있는 가장 쉬운 방법이다. IPv4/IPv6 듀얼 스택 노드는 IPv4와 IPv6 패킷을 모두 주고 받을 수 있는 능력이 있다. IPv4 패킷을 사용하여 IPv4 노드와 직접 호환되며 또한 IPv6 패킷을 사용하여 IPv6 노드와도 호환된다. 이처럼 IPv4/IPv6 듀얼 스택 노드는 IPv4와 IPv6 프로토콜 모두를 지원하므로 IPv4와 IPv6 주소 모두 설정이 가능하다. IPv4/IPv6 듀얼 프로토콜 스택 구조는 (그림 1-c)와 같다.

2.2 이론적인 고찰

이번 절에서는 우리가 수행한 연구와 관련된 이론적인 고찰로 IPv6와 OSPFv3(Open Shortest Path First), IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크에 대한 대표적인 관련연구를 그룹화하여 보기 쉽게 분류하였다.

□ Group I : IPv6 관련연구

Ioan Raicu et. al (2003)은 만약 인터넷 성장률이 계속 지속된다면 IPv4 주소 공간은 밀리니엄(millennium) 전환점으로 이 주소가 고갈 될 것이다. 따라서 이를 대체하기 위한 새로운 인터넷 프로토콜인 IPv6가 등장하게 되었다. 이 연구는 로컬 영역 네트워크 테스트베드(testbed)로 router-to-router tunneling (IPv4 터널링 내의 IPv6)과 host-to-host encapsulation (6-over-4) 이들 두 개의 전형적인 메커니즘과 IPv6에 대한 중요 성능 평가를 수행하였다. 본 연구에 대한 기여도는 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, host-to-host encapsulation 변형 메커니즘은 IPv6 또는 router-to-router tunneling 둘 중 하나와 비교할 때 엔드 호스트 CPU 이용률이 66% 이상 증가되었다. 둘째, router-to-router tunneling은 IPv6 프로토콜 스택과 비교하여 매우 적은 오버헤드를 가졌으며 끝으로 host-to-host encapsulation 변형 메커니즘은 router-to-router tunneling 또는 자연적인 IPv6 프로토콜 스택보다 더 좋게 수행되었다 [6]. Damien Leroy et. al (2009)는 IPv6 리넘버링 네트워크의 어려운 점은 - 즉, 네트워크 관리자 또는 서비스 제공자 변경 때문에 고정된 IP를 삭제하거나 추가하는 작업을 의미 - 대부분 네트워크 운영자를 위한 실제 이슈라는 연구 동기로 시작하게 되었다. IPv6 프리픽스 추가 또는 삭제에 대한 자동적인 업데이트를 위하여 텍스트-기반 구성 파일을 허용할 수 있는 매크로에 의존하는 접근을 제안하여 배치된 서비스 또는 구성 내의 거대한 변화 없이 네트워크 상에 좀더 빨리 적용할 수 있었다. Yao-Chung Chang et. al (2003)은 현재 IPv4 주소 체계는 주소 이슈의 한계, 낮은 이동성 제공, 낮은 QoS(Quality of Service) 제공, 거대한 라우팅 테이블은 미래 네트워크 환경 내에 문제 소지(素地)가 될 것이다. 따라서 IPv6 네트워크 개발과 수행 이슈를 동기로 본



연구를 접근하게 되었다. OPNET IPv6 model suite를 이용한 IPv6 이슈에 대한 연구로 다양한 IPv6 기반의 시뮬레이션 실험과 토론을 이 연구에서 언급했다. IPv6 정적 경로와 RIPng¹⁾, 주소 구성, 듀얼 스택, NDHU(National Dong Hwa University) 캠퍼스 등에 대한 OPNET IPv6 모델 전반에 대한 시뮬레이션을 수행하였다[7].

□ Group II : OSPFv3 관련연구

IPv6 기반의 거대한 네트워크 통신을 위한 라우팅 프로토콜 구성 중 OSPFv3에 전반적인 특성을 살펴보면 다음과 같다. OSPF는 IP 네트워크를 위한 IETF의 IGP(Interior Gateway Protocol)에 의해 개발되었고 단일 자율 시스템 내에 정보를 분산시키기 위하여 사용된 링크 상태 라우팅 프로토콜이다. 1989년 OSPF 초기 버전인 OSPFv1로 정의하였고 RFC 1131에 릴리즈 되었다. OSPFv2의 두 번째 버전은 1998년에 소개되었으며 RFC 2328에 정의되었다. 1999년 IPv6을 위한 OSPFv3의 세 번째 버전은 RFC 2740으로 릴리즈 되었다. OSPF 패스 비용은 속도와 같은 표준 값으로 표시되며 이를 매트릭(metric)이라 한다. 인터페이스 비용은 대역폭을 기본으로 계산되며 대역폭에 반비례한다. 즉, 높은 대역폭은 적은 비용으로 도달된다. 이와 관련된 수식은 아래와 같다.

$$Cost = \frac{10^8}{Bandwidth \text{ in bps}}$$

OSPF는 모든 목적지에 대한 가장 짧은 비용 패스를 계산하기 위해 사용되며 shortest path first algorithm으로 사용된다. Dijkstra algorithm은 짧은 패스를 계산하기 위해 사용된다. 모든 라우터는 목적지에 도달하기 위한 기본비용 상에 짧은 패스를 찾기 위한 방안으로 트리의 루트에서 이

알고리즘을 사용한다. (그림 2)은 네트워크 다이어그램으로 가장 짧은 패스를 찾기 위해 인터페이스 비용으로 표시하였다. OSPF 수행은 (그림 3)와 같다. (그림 3)은 R3 라우터와 R5 라우터 간 링크 실패를 가정하자. R3 라우터가 링크 실패를 감지하고 R2 라우터와 R4 라우터에 LSA²⁾를 보낸다. 네트워크 내의 변화 트래픽 포워딩 중지를 감지한 후 이들 토폴로지 데이터베이스는 R2 라우터와 R4 라우터를 업데이트하고 이들 이웃에게 플로드(flood)하여 LSA를 복사한다. 그러면 네트워크 내의 모든 장치 플로드 LSA는 위상(topological)을 인식하여 새로운 라우팅 테이블인 Dijkstra algorithm 실행으로 모든 라우터에게 생성되어 트래픽이 R4 라우터로 향하게 된다.

OSPF의 장점은 1) OSPF 경로 최소와 구성 영역에 대한 라우팅 테이블 크기를 줄여주며 2) 거대한 네트워크에 대하여 안정적이며 다중 경로를 제공한다. 3) 다른 라우팅 프로토콜(예: IGRP³⁾, EIGRP⁴⁾ 등)에 비해 네트워크 토폴로지가 보다 로버스트(robust)한다. 반면 OSPF의 단점은 1) 구성이 어려우며 2) 링크 상태 크기 조정 문제가 있다. Mohammad Nazrul Islam et. al (2010)은 다음과 같은 연구 동기로 시작하게 되었다. 1) 라우팅 프로토콜은 현대 통신 네트워크 내에 중요한 역할을 하며 2) EIGRP와 OSPF는 정적, 다이나믹 라우팅 프로토콜 사용에 대한 다양한 수를 가지나 이들

1) RIPng(Routing Information Protocol next generation) : 거리 벡터의 IPv6 수행, 로컬 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜임. RIP 프로토콜 기반으로 하며 상속에 대한 한계가 있음
 2) LSA(Link State Advertisement) : 인접 장치들과 경로 비용에 관한 정보를 담고 있는 링크 상태 프로토콜에 의해 사용되는 브로드캐스트 패킷, 수신 라우터들이 라우팅 테이블을 관리하는데 사용함
 3) IGRP(Interior Gateway Routing Protocol) : 미국 Cisco Systems사가 개발한 자율 시스템 내의 경로 지정 통신 규약
 4) EIGRP(Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) : 안정된 상태 내의 라우팅 프로토콜 오버헤드를 줄이기 위하여 Cisco Systems에 의해 개발된 DUAL(Diffusing Update ALgorithm)을 기반으로 한 거리-벡터 라우팅 프로토콜임. 토폴로지 변화의 경우 빠른 컨버전시(convergency)를 제공함

사이에 올바른 프로토콜 선택은 라우팅 성능에 매우 중요한 작업이다. 이에 실시간 애플리케이션(예: OPNET을 이용한 비디오 스트리밍, 음성 컨퍼런스)을 위한 EIGRP와 OSPF 사이에 비교 성능 분석을 기반으로 시뮬레이션 하였다. 라우팅 프로토콜 성능 매트릭스(예: 시뮬레이터 된 네트워크 모델을 통한 컨버전시 존속(存續), 패킷 지연 변화, 종단간 지연, 패킷 손실과 처리율)를 기반으로 분석하였다. 시뮬레이션 결과, EIGRP 라우팅 프로토콜은 실시간 애플리케이션을 위한 OSPF 라우팅 프로토콜보다 좋은 성능을 제공한다는 평가 결과를 보여주었다[8]. Sadiq M. Sait et. al (2009)는 혼잡과 같은 링크 상에 OSPF 가중치 세팅 문제를 해결하기 위하여 많은 반복적 휴리스틱(heuristic)들을 적용했다. 복잡한 최적화 문제의 크기가 증가함에 따라 연속적인 알고리즘을 이용한 최적화 솔루션을 찾기가 보다 어렵다라는 점을 연구 동기로 OSPFWS 문제를 두가지 유형의 PTS (Parallel Tabu Search) 휴리스틱으로 적용했고 Tabu Search 병렬화를 조사하였다. 실험 결과, 모든 PTS 접근은 연속적인 휴리스틱과 비교하여 보다 좋은 품질로 생산되었다. 이러한 접근은 병렬 상호동작 탐색 알고리즘에 대한 새로운 설계 제안으로 이것은 전형적인 병렬 휴리스틱 보다 좋은 수행 결과를 보였다[9]. OSPFv3 관련연구는 아니지만 멀티캐스팅 라우팅 프로토콜 연구로 Krishna Kumaran Vienjipuram et. al (2010)은 자원 요구 네트워크와 활성화된 IP 멀티캐스트 성장과 관련된 높은 대역폭 이용률, 네트워크 충돌, 활동적인 트래픽 행동에 대한 이슈를 토론했다. 제한된 자원 제어와 네트워크 성장의 미래 평가를 보다 쉽게 하기 위한 시뮬레이터를 이용한 연구 수행으로 OPNET Modeler(버전 14.5)로 서로 다른 IP 멀티캐스팅 설계 모델과 수행 방법(안)을 표현했다. 그룹 관리 프로토콜인 IGMP(Internet Group Management Protocol: IP 멀티캐스트를 실현하기 위한 통신 규약), 멀티캐스팅 라우팅 프로토콜인 PIM-SM(Protocol Independent Multicast Sparse Mode), 전송 프로토콜인 UDP(User Datagram Protocol)를 이용한 LAN/WAN 기반의 IP 멀티캐스트 통신에 대한 새로운 설계 모델로 수행하였다. 본 연구의 기여도는 OPNET 매트릭(예: Traffic Sent/Received, Point-to-Point Queuing Delay 등)으로 기술하였고 관련된 프로토콜 확장성, 지원성, 성능 최적화, 효율성 등에 대한 Modeler로 빌드(build)된 보고서를 제공하였다[10].

□ Group III : IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크 관련연구

Yi Wang et. al (2005)은 과거 대다수 연구 유형을 살펴보면 IPv6 변형 메커니즘, 연결성과 라우팅 메커니즘, 프로토콜 설계 작업으로 연구하였다. 따라서 IPv6 네트워크 장비를 추가하여 성능 평가 방법과 플랫폼을 제안했다. CERNET(China Education and Research NETwork)으로부터 그 당시 IPv6 성능 연구를 수행했으며 IPv4/IPv6 듀얼 스택 패킷 웹 서버로부터 파일 전송을 추적하여 분석하였다. IPv4와 IPv6 포괄적인 성능 비교로 연결성, 패킷 손실

률, 라운드-트립 타임 등을 표현하였다. 본 연구의 기여도로 1) 실제 IPv6 인터넷 내에 거대한 스케일 IP 트래픽 측정용 기반으로 한 첫 번째 성능 연구이며 2) 엔드유저 관점에 대한 네트워크 성능은 IPv6 네트워크 배치와 설계에 도움을 줄 것이라는 점이다[11]. WANG Zhen-Xing et. al (2004)는 “코어 라우터에 요구된 엔트리 내에 사용된 단일-단계 TCAM(Ternary Content Addressable Memory)을 이용한 IP 라우팅 룩업 스키마는 TCAM 주소와 관련된 내림차순 방법의 프리픽스 길이로 정렬된다. 주소와 연관된 정렬 동작은 지속적인 룩업과 엔트리 갱신 속도에 좋지 않은 영향력을 가진다.” 라는 동기로 연구를 시작했다. BSPL (Bi-Search on Prefix Length)를 기반으로 노벨 IPv4/IPv6 듀얼 스택 라우팅 룩업 방법을 제공한 것이 이 연구에 목적이다. 연구 기여도로 1) 전형적인 TCAM 특성의 장점을 가진 병렬 구조 구성, 엔트리 정렬과 정렬 선행처리를 근본적으로 회피할 수 있는 메서드 때문에 엔트리 갱신 시 파이프라인 내에 보다 빨리 작성될 수 있고 룩업 지속성을 향상시킬 수 있었다. 2) IPv4/IPv6 듀얼 스택 코어 라우터 OC-768 (40Gbps) 인터페이스인 와이어-스피드 (48B-packet) 포워딩을 만족할 수 있었다[12].

IPv6 변형 메커니즘, 연결성과 라우팅 메커니즘, 프로토콜 설계 작업과 같은 대다수 작업이 이미 마무리 되었고 현재 글로벌 운영 네트워크 IPv6로 변형 중인 단계임에도 불구하고 IPv6 이관, IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크: 모델링, 시뮬레이션 관련연구는 아쉽게도 찾을 수가 없었다. 따라서 우리는 이를 위한 실험 내용을 다음 장부터 기술하기로 한다.

3. 가상 네트워크 모형

3.1 실험 도구

세계적으로 많은 네트워크 연구자들이 유무선 네트워크 기반의 IPv6 연구 목적으로 사용 가능한 대표적인 시뮬레이션 도구(툴)로 NS2, OPNET, OMNeT++ 등이 존재한다. 이들 도구는 네트워크 연구 커뮤니티(community) 사이에 대중화가 되었으며 각각에 대한 특징 및 장단점은 <표 2>와 같다.

본 연구에서는 OPNET을 사용하였다. OPNET을 사용한 목적은 첫째, 값비싼 네트워크 장비를 필요로 하는 실험실을 구축하지 않아도 관련 네트워크 장비를 구성할 수 있고 모든 네트워크 이벤트를 전체적으로 볼 수 있는 장점을 가지고 있다. 둘째, 종단간 가상 네트워크 환경 구성과 성능 분석, 네트워크 모델링을 보다 편리하게 구성할 수 있는 장점과 구성 노드는 각 통신제조사사의 표준 스펙을 준수하여 개발한 모듈이기 때문이다. 끝으로, 가상 네트워크 환경 구성을 최대한 실제 망과 유사하게 구성할 수 있고 엔드 유저 애플리케이션, 프로토콜, 트래픽 새로운 서비스 런칭, 다양한 라우팅 프로토콜 제공, 이전 네트워크와 QoS 구성을 평가할 수 있어 OPNET상의 Modeler(버전 14.5)로 선정하였다.

〈표 2〉 시뮬레이션 도구(들)에 대한 특징 및 장단점

도구명(名)	특징 및 장단점
NS2	<ul style="list-style-type: none"> • TCL의 확장된 스크립트 언어로 쓰여진 NS2 모듈을 이용하여 시뮬레이션을 수행 • TCP 기반에서 FTP나 Telnet 트래픽을 생성하며 UDP의 CBR에서 지수나 패레토 트래픽을 생성 • 장점 : - Open Source - TCP 시뮬레이션을 위한 라우팅, 멀티캐스트 프로토콜, 유무선 네트워킹 등 많은 기능을 제공 • 단점 - 사용자 인터페이스가 결핍(제한된 사용자-친화적 가이드 때문에 처음 사용한 사용자가 이를 학습하기란 어려움) - 계층적인 모델을 허용하지 않음 - 다양한 네트워크 장비 컴포넌트 제공의 한계가 있음 - 트래픽에 대한 다양한 분포적 특성 반영이 어렵고 제한된 분포의 트래픽만 생성할 수 있음 - 링크, 노드, 보안, 트래픽 등 다양한 유형의 네트워크 장애에 대한 진단 식별이 어려움
OPNET	<ul style="list-style-type: none"> • 지능적인 네트워크 관리 소프트웨어(예: 네트워크 장비, 네트워크 프로토콜, 애플리케이션, 서버 운용에 대한 전문적인 지식 수집) • 중단간 애플리케이션 성능 문제 및 네트워크 문제를 진단하고 해결책 제시(네트워크 오류 사전 파악) • 네트워크와 응용프로그램에 가장 적합한 서버를 시뮬레이션을 통하여 제공 • 장애처리, 운영상의 분석, 엔지니어링, 설계&계획 등이 가능 • 다양한 모듈 제공 : ACE, ACE Decode Module, Flow Analysis, NetDoctor, IPv6, Wireless, 3D Network Visualizer GUI 등 • 장점 - 계층적인 모델과 GUI(Graphical User Interface) 구성이 쉬움 - 다양한 모듈, 표준네트워크 장비컴포넌트 제공, 다양한 프로토콜 내의 이질적인 네트워크를 시뮬레이션 할 수 있는 매우 강력한 소프트웨어 • 단점 : 고가의 소프트웨어
OMNeT++	<ul style="list-style-type: none"> • 1992년에 BudaPest 공과대학에서 개발한 객체 지향 이벤트 기반 시뮬레이션 엔진의 통신 프로토콜, 컴퓨터 네트워크, 멀티프로세서, 분산시스템 등 다양한 형태의 시뮬레이션을 위해 사용할 수 있음 • 네트워크 정의 언어 NED를 가짐(이 기능은 C++ 클래스를 이용하여 코드되어짐) • 장점 - 계층적인 구조를 가지고 단일 모델과 혼합된 모델로서 정의된 모델로 구축됨 - 프로토콜 및 큐잉 네트워크 모델링을 제공함 - 비영리 목적의 사용과 아카데미용은 무료로 제공함 • 단점 - 라우팅 프로토콜이 매우 소수의 특성만 가지고 있고 이를 시각화 제공에 대한 한계점과 셋업이 복잡함

Modeler는 네트워크 설계자 또는 QoS 전문가들이 애용(愛用)하는 상용 제품으로 연구 목적인 대학교 및 연구소에서 사용되며 대한민국 국방부의 차세대 정보통신망 최적화 설계 분야와 한국정보보호진흥원의 정보보호 예보 알고리즘 및 모델 개발에서도 이를 이용하였다[13][14]. 아울러 기업을 위한 네트워크 컨설팅(network consulting) 업체에서도 이를 주로 사용하고 있다. Modeler는 여러 개의 모듈로 구성되어 있고 각 모듈마다 기능이 다르므로 연구자는 필요한 모듈만 가지고 사용하면 된다. 본 연구에서 사용된 모듈(들)은 IPv6 Planning and Operations, Flow Analysis, eXpress Data Import, Planning and Design로 이에 대한 특성은 다음과 같다. 첫째, IPv6 Planning and Operations은 IPv6 이관 설계, IPv6을 위한 Flow Analysis, IPv6 네트워크를 위한 비주요한 요소 등에 대한 특성을 제공한다. 둘째, Flow Analysis는 네트워크상의 중단간 경로들, 링크 이용률(link utilization)/처리율(throughput)을 최적화, 구성/생존성 분석 실행(run survivability analysis)⁵⁾, 구성/용량 설계 실행(run capacity planning)⁶⁾ 등을 제공한다. 셋째, eXpress Data Import는 디바이스(device) 구성 파일을 Modeler 내의 네트워크 모델로 импорт(import) 할 수 있는 특성을 제공한다.

끝으로, Planning and Design은 IPv6 이관을 위한 설계와 분석, 용량 설계 등과 같은 특성을 제공한다.

이들 모듈에 대한 시뮬레이션 유형은 이벤트의 순차적인 발생 표현이 가능하고 각 이벤트는 시스템 내의 상태 변화 표시와 해당 시간에 즉각적인 발생이 가능한 방식인 DES(Discrete Event Simulation), 라우팅 프로토콜 설정에 따른 트래픽 플로우(traffic flow)를 시각적인 표현과 분석이 가능한 방식인 Flow Analysis로 대표적인 특성은 아래와 같다.

□ DES

- 세부적인 시뮬레이션 환경 제공과 다이내믹 네트워크 행동에 대한 실험으로 빈번히 사용
- 프로토콜 메시지와 패킷들을 시뮬레이션 할 수 있도록 전개
- 서로 다른 네트워크 조건으로 프로토콜 행동을 세부적으로 학습할 수 있도록 제공

5) 구성/생존성 분석 실행 : 구성된 네트워크 환경에 대한 생존성 분석

6) 구성/용량 설계 실행 : 구성된 네트워크 환경에 대한 향후 트래픽을 예측

□ Flow Analysis

- 분석적 기술사용과 네트워크모델에 대한 알고리즘 제공, 안정된 상태의 네트워크를 학습하기 위한 특성을 제공
- 명시적 트래픽(explicit traffic)과 백그라운드 트래픽(background traffic)에 의존
- 안전한 라우팅(routing) 프로토콜의 변화를 평가 (라우팅 정책 설계와 평가에 적용)
- 결합에 안전한 네트워크 설계 및 네트워크상의 실패 영향 분석

보다 세부적인 IPv6 Planning and Operations과 Flow Analysis 정의 및 기능을 다음절에서 기술하기로 하고 eXpress Data Import과 Planning and Design은 IPv6 계획과 설계를 위해 부가적으로 필요한 모듈이므로 위에 기술한 특성만 언급하기로 한다.

3.2 IPv6 Planning and Operations

IPv6 Planning and Operations은 IPv6로 변형하기 위한 수많은 작업들을 지원해 주는 모듈이다. IPv6 Planning and Operations의 기능은 네트워크 내의 장치가 IPv6 구성 요소와 IPv6 제공 여부를 평가하고 IPv6상에 네트워크 이관 분석과 계획/설계/배치를 하는데 도움을 준다. 트래픽 이관 전략과 네트워크 구성을 선택하기 위한 필요한 단계 가이드 또한 제공한다. 이러한 트래픽 플로우(IPv4 트래픽 플로우에서 IPv6 트래픽 플로우로 전환) 이관과 네트워크 재구성(예: 터널 배치 등)하기 위한 것이다. IPv6 이관 설계와 네트워크 기반의 성능표현도 가능하며 IPv6 구성 또한 기술할 수 있다. 아울러 IPv6 이관 보고서⁷⁾ 및 Flow Analysis 수행도 가능하다. 네트워크 모델 내의 아래와 같은 구성 변경을 만들기 위한 설계로 사용할 수 있다.

- IPv6 터널 배치
- IPv6 라우팅 프로토콜 구성
- IPv6 주소 구성과 계층적 주소를 세팅
- IPv4 트래픽 플로우를 IPv6 네트워크로 이동

IPv6 터널링 메커니즘은 IPv4 백본 상에 다른 장치와 통신하기 위하여 IPv6 사이트가 활성화되어야 하며 이와 같은 IPv6 터널의 종류는 수작업 터널, 자동화 터널, 자동 6to4 터널, MPLS(Multi Protocol Label Switching) 상에 터널을 제공한다. 제시한 구성 중 IPv6 라우팅 프로토콜 구성에서 제공되는 프로토콜은 OSPFv3, RIPng, IS-IS⁸⁾가 제공되며 IPv4/IPv6 듀얼 스택 구성 또한 가능하다. 반면 EIGRP 라우팅 프로토콜 구성은 오직 IPv4에서만 제공하고 IPv6 라우팅 프로토콜 구성에서는 지원하지 않았다[15]. 이와 같이 다양한 IPv6 라우팅 프로토콜 중 본 연구에서 수행한 IPv6 라우팅 프로토콜은 OSPFv3로만 구성했으며 설계한 가상망 Ping 실험을 위하여 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크로 실험을 진행하였다. 이 실험에 대한 세부적인 구성 및 설명은 3.4절에서 언급하기로 한다.

3.3 Flow Analysis

Flow Analysis는 IP, ATM, Frame Relay, Circuit-Switch 네트워크를 분석할 수 있다. 네트워크 분석시, Flow Analysis는 네트워크 주소와 라우팅 프로토콜 실행에 보다 세부적인 모델뿐만 아니라 네트워크 내의 트래픽 플로우를 고려할 수 있다. 이들 모델은 벤더를 실행하는데 있어 표준을 기반으로 한다. 네트워크 설계자, 트래픽 엔지니어(traffic engineer), 망 운영자 등은 현재 네트워크 문제를 진단하는데 도움을 주고 향후 트래픽을 예측하는데 도움을 줄 수 있는 모듈이다. Flow Analysis 기능 중 생존성 분석은 다양한 실패 시나리오(failure scenario) 상의 성능 실패 없이 네트워크 성능을 비교할 수 있으므로 성능 실패 사례 연구에 사용할 수 있다. 실패 시나리오를 만들 때 네트워크 설계자는 한쌍 또는 네트워크 일대일 실패에 대한 네트워크 오브젝트(network object) 집합을 선택 또는 실패 시킬 수도 있다. 이처럼 반복적인 기술을 사용함에 있어 Flow Analysis 기능은 네트워크 실패 문제에 대한 빠른 답변이 가능토록 도움을 줄 수 있다. 네트워크 설계자가 분석 완료 후 보다 빠른 이해를 제공하기 위하여 보고서⁹⁾를 학습함으로써 실패 네트워크 오브젝트 또는 보다 많은 네트워크 사용 효과로 접근할 수 있다. 즉, 개별적인 네트워크 오브젝트와 수집된 네트워크에 대한 정보를 포함할 수 있다.

Flow Analysis와 함께 네트워크 설계자는 네트워크 동작에 있어 장치 구성, 장비 실패, 트래픽 종류, 트래픽량 등의 파급 효과를 분석할 수 있다.

- Flow Analysis 실행은 링크 상의 트래픽 로드 결과와 각 가상 서킷 또는 트래픽 플로우로 주어진 경로를 보여줄 수 있으므로 라우팅과 연관된 연구 수행이 가능함
- 실행시 실패에 대한 파급 효과 분석으로 네트워크 설계자는 라우터 테이블에 포함되지 않은 트래픽, 불충분성, 올바르게 않은 자원들과 같은 위험을 식별하기 위한 다중 실패 시나리오를 수행할 수 있음
- 실패된 네트워크 객체 선택, 즉, Flow Analysis 수작업 또는 생존 분석 관련 프로그램 등으로 네트워크 설계의 QoS 특성과 결합 허용(fault tolerance)을 시험할 수 있음
- 용량 설계 분석 시 네트워크 설계자는 제안된 서비스 레벨 또는 개선했던 네트워크 내에서 서비스를 전달할 수 있음
- VoIP 용이성 평가로 네트워크 설계자는 존재한 트래픽 로드상의 보이스 트래픽(voice traffic)을 추가할 때 제안된 서비스 레벨 또는 구축된 서비스를 전달할 수 있는 네트워크를 결정할 수 있음

7) IPv6 Migration Report : IPv6 이관 설계자는 시뮬레이션 수행 후 IPv6에 대한 네트워크 구성(예: IPv6 장치)과 성능 하이-레벨 요약을 제공할 수 있음. 또한 IPv6 이관 이전과 이후 성능 정보인 트래픽 상태, 서비스 상태, 클라이언트 그룹 상태, 링크 이용률로 성능에 대한 중요 평가 내용이 포함되어 있음

8) IS-IS(Intermediate System to Intermediate System) : OSI 링크 상태 라우팅 프로토콜로 ISO CLNP(ConnectionLess Network Protocol) 내 패킷 경로를 위해 설계된 라우팅 프로토콜. TE(Traffic Engineering) 확장과 메쉬(mesh) 그룹을 제공함

9) Flow Analysis Report : 각 네트워크 오브젝트에 대한 이용률과 성능 통계 제공, 컴포넌트의 세부적인 고장을 제공, 각 플로우 또는 VC(Virtual Circuit)에 대한 종단간 라우팅 제공, 각 라우터 상의 각각 구성된 IP 라우팅 프로토콜에 대한 라우팅 테이블(routing table) 제공, 세부적인 프로토콜 구성과 네트워크 목록 보고서 등을 제공함

<표 3> IPv6 주요 성능 지표

No.	저자	성능 지표
1	Roman Yasinovskyy et. al [2009]	최대/평균 델타(delta: 음성 패킷의 도착 시간), 최대/평균 지터(jitter), 패킷 손실, MOS(Mean Opinion Score), 처리율
2	Mohd. Khairil Sailan et. al [2009]	네트워크 대역폭, 패킷 손실
3	Yuk-Nam Law et. al [2008]	지연, 처리율, RTT, hop count, 네트워크 연결
4	Cisco [2007] ¹⁰⁾	처리율, 지연율
5	Kenjiro Cho et. al [2004]	ping, traceroute

Flow Analysis와 생존성 분석 워크플로우 처리 절차는 Modeler 상에서 Flow Analysis 구성 또는 실패 효과(failure impact) 분석 실행 후 결과에 대한 분석 보고서를 통해 결과값을 분석한다. 결과값 분석이 끝나면 시뮬레이션을 종료하고 그렇지 않으면 네트워크 설계자가 가상 망환경을 재구성한 후 다시 시뮬레이션을 실행한다. 분석 보고서 결과값이 이상이 없으면 시뮬레이션을 종료하고 마친다[16][17].

3.4 IPv6 실험

본 절에서는 IPv6 Planning and Operations과 Flow Analysis를 이용한 유무선 가상망을 모델링 후 시뮬레이션한다. 이전 논문 내에 향후 연구로 남긴 OSPFv3와 EIGRP에 대한 성능 매트릭 분석을 IPv4/IPv6 환경 내에서 수행 계획과 어떻게 하면 중단간 IPv6 성능을 향상할 수 있는지를 탐색하기 위하여 우리는 세가지 실험으로 집중하였다. 1) 기존 IPv4 기반 인프라스트럭처를 어떻게 IPv6로 이관할 수 있는지에 대한 IPv6 이관 방법(안), 2) IPv6로 이관된 가상망에 대한 라우팅 경로 실험, 3) IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크에 대한 중단간 Ping 실험으로 진행하였다. 이러한 실험을 통해 IPv6 네트워크 실제 구성 전에 IPv6 기본적인 성능 시험에 대한 방법을 제시할 수 있었다.

IPv6에 대한 이전 문헌에 기록된 성능 지표는 위 <표 3>과 같이 정리할 수 있었다[3][18][19][20][21].

IPv6 성능 지표는 대상 애플리케이션(예: 비디오 컨퍼런싱, HTTP, FTP)에 대하여 달라질 수 있으나 패킷 손실, 네트워크 대역폭, 처리율, 지연 등은 공통 성능 지표임을 알 수 있다. IPv4와 IPv6에 대한 성능 실험 결과 <표 3>의 문헌 중 1, 2, 4는 성능에 대한 큰 차이가 없었다. Roman Yasinovskyy et. al (2009)는 현존하는 다양한 레벨의 백그라운드 UDP 트래픽 내에서 IPv4와 IPv6 상의 VoIP 성능 실험을 최대/평균 델타, 최대/평균 지터(jitter), 패킷 손실, MOS, 처리율 등으로 비교했으나 전체적으로 IPv4와 IPv6에 대한 VoIP 성능 차이는 없었다. Mohd. Khairil Sailan et. al (2009)는 MRTG, Jperf(네트워크 성능 측정 그래픽 툴), FTP를 위한 Filezilla와 웹 서버를 위한 Wamp와 같은 오픈 소스 도구를 사용하여 네트워크 대역폭과 패킷 손실이 IPv4와 IPv6간 성능이 크게 다르지 않았다. Yuk-Nam Law et. al (2008)은 중단간 사용자 관점으

로부터 IPv6 네트워크 성능에 대한 폭넓은 경험적인 측정치를 표현한 문헌이다. 듀얼 스택 IPv6/IPv4 테스트로부터 프로브(probe) 트래픽을 보내어 주소 구성 지연, 운영시스템(예: 윈도우 XP, 유닉스)에 의존한 처리율, RTT, hop count, 네트워크 연결과 같은 다양한 네트워크 지표 내에 IPv6 vs. IPv4를 이용한 서로 다른 성능으로 정량화하였다. 실험 결과는 다음과 같다. 1) IPv6 백본은 다양한 IPv6 사이트에 95% 네트워크 연결 이상을 제공할 수 있도록 향상되었다. 2) IPv4 경로(패스)를 비교할 때 IPv6 패스는 높은 RTT (멀리 있는 전파 거리 때문에)와 적은 hop count를 가졌다. 3) 풍족한 IPv6 백본 대역폭과 상대적으로 적은 트래픽 로드 때문에 IPv6 처리율이 IPv4보다 높았다. 4) 다운로드 처리율을 볼 때 윈도우 XP 클라이언트는 유닉스-기반 클라이언트에 비해 좋지 않은 성능을 보였다. 5) 터널-IPv6 네트워크 성능은 순수 IPv6 서비스와 함께 동등했다. Kenjiro Cho et. al (2004)는 IPv6:IPv4 응답 시간율을 기반으로 사이트 당 몇 개의 시스템을 선택하여 할당된 각 주소의 지연 측정과 경로 분석을 비교한 비주어적인 결과값과 선택된 시스템에 패스(Path) MTU 탐험으로 트레이스라우트(traceroute)를 수행했다. 실험 결과, 듀얼 스택 ping과 듀얼 스택 노드 발견에 대한 잘못된 셋팅에 한정된 수를 고정시키고 식별함으로써 IPv6 네트워크 품질을 향상하였다. 우리 연구는 <표 3>의 문헌 중 3, 5의 비교 접근을 따랐다. 즉, IPv6 성능 지표 중 경로와 ping을 선택했다. 이는 IPv6의 기본적인 상호운영성에 대한 성능 지표 중 하나이다.

3.4.1 IPv6 이관 방법(안)

Yuk-Nam Law et. al (2008)에 따르면 “세계에 있는 이동 서비스 제공자는 확립된 IPv4 표준에서 새로운 IPv6로 이관하기 위한 압박이 증가되고 있다”고 하였다. 많은 조직 내에 있는 구성원의 일별 작업에 대한 인터넷 상에 의존도

10) IPv4/IPv6 듀얼 스택 환경 내에서 Cisco 라우터 플랫폼 데이터 제공을 위한 실험으로 수행함. 실험 목적은 실제 네트워크 환경 내의 IPv6 성능 실험으로 IPv4와 관련된 Cisco 고객들과 Cisco 영업팀에게 정보를 제공하기 위한 것임. 실험 결과, IPv4와 IPv6 인터페이스 레벨 처리와 지연 결과는 유사한 결과를 보였으며 세부적으로 256 바이트 또는 보다 작은 패킷 크기인 IPv6는 IPv4와 비교해 볼 때 적은 처리율을 보임. Cisco 7606과 같은 거대한 하드웨어 스위칭 플랫폼에서의 작은 패킷 크기조차도 처리율 변화가 없게 나타남

〈표 4〉 서울 코어 라우터 cfg 파일

1: !	10: ip unnumbered Serial1/0
2: version 12.1	11: ip route-cache flow
3: service timestamps debug uptime	12: !
4: service timestamps log uptime 중간 생략
5: no service password-encryption	13: line vty 0 4
6: !	14: password 0.cisco
7: hostname Seoul-Core	15: login
..... 중간 생략	16: !
8: interface Serial0/12	17: end
9: bandwidth 64	

가 점점 더 많아지기 때문에 이들 조직은 IP 프로토콜을 대체하기 위한 정지시간을 묵인(默認)할 수 없을 것이다. 이처럼 IPv6 이관 시에 고려해야 하는 이슈들을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, IPv6와 IPv4 호스트는 상호호환 되어야만 한다. 둘째, IPv6 호스트들과 라우터들의 사용은 보다 적은 상호의존성을 가질 수 있도록 점진적인 방법과 단순성으로 인터넷 상에 분산되어야만 한다. 마지막으로 네트워크 관리자와 엔드 유저가 IPv6 이관 시 수행과 이해하기 쉽도록 제공해야만 한다[22]. 이와 같은 이슈들에 대한 해결책으로 듀얼스택 방식, 터널링 방식, 주소변환 방식 등이 존재하나 우리는 Modeler을 이용한 중단계 가상망에 대한 IPv6 이관 방법(안)부터 IPv6 네트워크 실험까지 언급하기로 한다.

IPv6 이관 작업을 위하여 우리는 가상 네트워크를 유선(그림 4-Case 1)과 무선(그림 4-Case 2)으로 구성하여 수행하였다. 6개 라우터를 서울, 강릉, 청주, 대전, 광주, 부산으로 배치한 후 서울 코어 라우터에 HTTP 서버와 VC(Video Conferencing) 서버를 연결하였고 부산 코어 라우터에 부산 유선사용자(P_Client_1) 1명이 연결되어 구성되도록 시나리오에 반영하였다. 모델링 된 HTTP 서버와 VC 서버는 애플리케이션 프로파일 내에 웹 브라우징 (Heavy HTTP1.1), 비디오 컨퍼런싱 (Heavy)와 보이스 컨퍼런싱 (PCM Quality)로 설정하였다. 애플리케이션 구성은 정의된 애플리케이션 프로파일인 웹 브라우징 (Heavy HTTP1.1), 비디오 컨퍼런싱 (Heavy)와 보이스 컨퍼런싱 (PCM Quality)을 제공하는 애플리케이션이다. 아울러 무선 네트워크인 WiMAX 기지국, WiFi 무선사용자(FTP_Client2), 무선라우터 0/1 (Wireless Router 0/1), 무선 FTP 서버(Wireless FTP Server)도 함께 구성하여 IPv6 이관 작업에 포함시켰다.

IPv6 이관 작업을 구성하기 위해서는 다음과 같은 순서로 구성해야 한다. 첫째, 네트워크 규모(Network Scale)를 대한민국(South_Korea)으로 선택한다. 둘째, 선택한 지역이 생성되면 6개 라우터를 지도에 있는 각 지역에 배치한다. 이들 라우터 배치를 위하여 각 지역 라우터마다 cfg 확장 파일을 수작업 코딩으로 생성한다. 대표 cfg 확장 파일인 서울 코어 라우터는 <표 4>와 같다. 셋째, 각 cfg 확장 파일이 구성되면 from Device Configuration으로 cfg 확장 파일을 불러온다(eXpress Data Import 기능임). 넷째, cfg 확장 파일 로딩이 끝나면 코어/에지 라우터 간의 링크가 자동 설

정된다. 만약 링크가 연결되지 않을 경우 Import Assistant로 연결할 수 있다. 다섯째, 링크 설정 완료 후 서울 코어 라우터와 부산 코어 라우터에 HTTP 서버, VC 서버, WiMAX 기지국, 부산 유선사용자를 연결한다. 무선라우터는 별도의 cfg 파일이 필요하지 않으며 Object Palette Tree를 이용하여 무선라우터 0/1을 부산 코어 라우터에 연결하고 WiFi 무선사용자, 무선 FTP 서버를 배치한다. 이와 같은 순서로 진행하면 가상망이 완료되고 이제 마지막으로 존재하는 네트워크를 IPv6로 이관(Migrates an existing network to IPv6)을 선택한다. 선택한 후 다음과 같은 6단계로 IPv6 이관 작업을 수행한다.

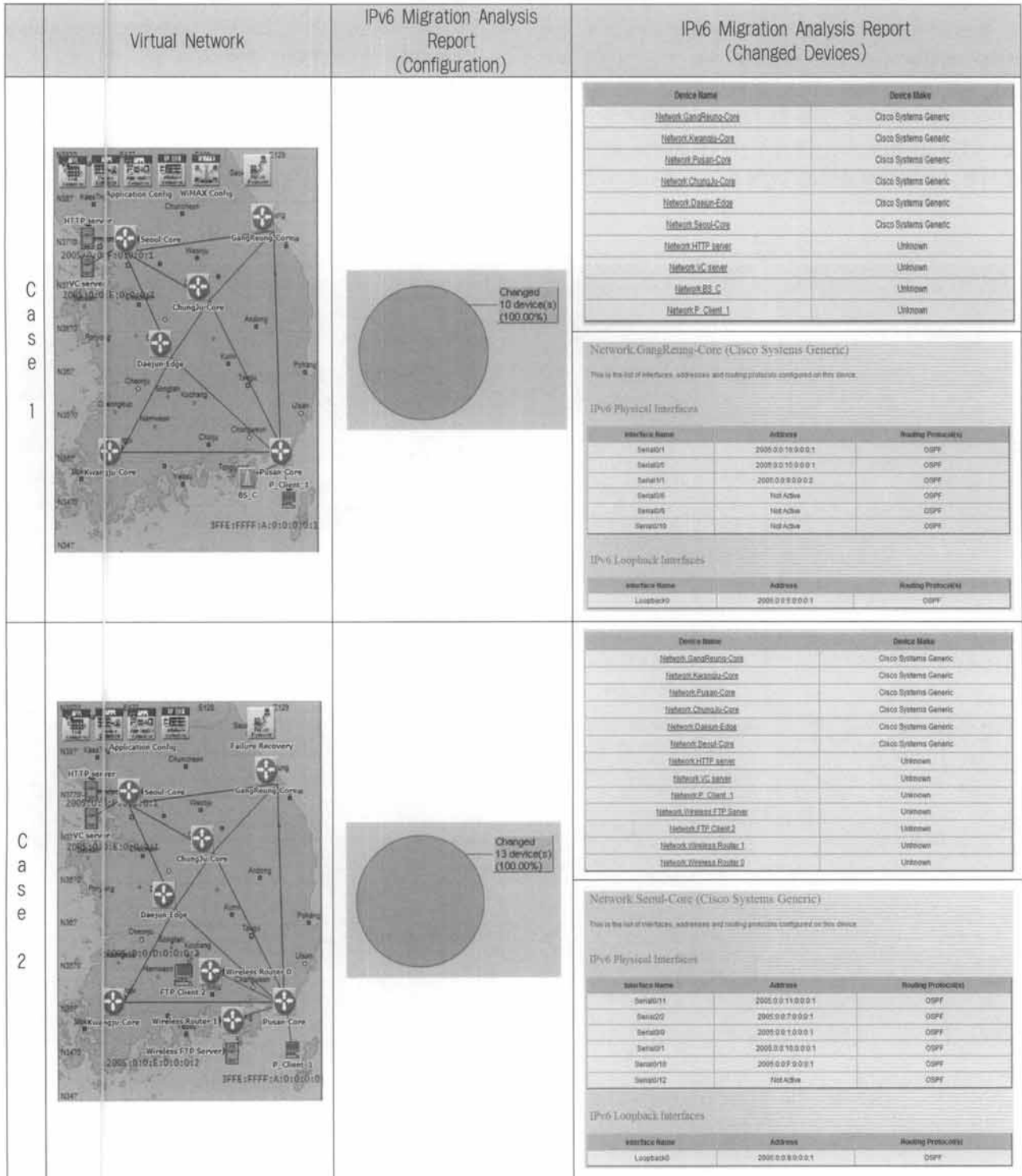
- Step 1 : 시나리오 생성(Scenario Creation)
- Step 2 : 선행배치 분석(Predeployment Analysis)
- Step 3 : 장치 선택(Device Selection)
 - 모두 활성화된 IP 노드를 선택(All IP-enabled nodes)
- Step 4 : 주소 세팅(Address Settings)
- Step 5 : 라우팅 세팅(Routing Settings)
 - 다음 라우팅 프로토콜(들)(The following routing protocol(s) 중 OSPFv3을 선택
- Step 6 : 보고서 옵션(Reporting Options)
 - 최종 네트워크 구성 분석(Analysis of final network configuration) 후 종료

위와 같이 6단계가 끝나면 IPv6 이관 작업이 완료되면서 IPv6 이관 분석 보고서가 생성된다. 생성된 보고서에 구성 모두가 변경되었다면 IPv6 이관 작업을 제대로 완료되었다는 의미이고 만약 하나라도 IPv6 이관 작업이 안되었다면 어떤 장치가 IPv6 이관 작업이 안되었는지를 보고서를 통해 분석할 수 있다. 분석이 됐으면 다시 가상망으로 되돌아가 장치를 올바르게 설정한 후 위에 제시한 IPv6 이관 작업 6 단계를 다시 수행한다. 이러한 수행 작업은 IPv6 이관 보고서를 통해 모든 장치가 IPv6 이관 작업이 완료됐다는 메시지가 나올 때까지 반복(反復)한다. 지금까지 언급했던 두가지 가상망과 IPv6 이관 분석 보고서 결과는 (그림 4)와 같다. IPv6 이관 분석 보고서에 따르면 두가지 가상망을 기반으로 한 모든 장치들의 구성은 IPv6 환경 체제로 100% 모두 변경되었으며 바뀐 장치들에 대한 세부 목록과 장치들

중 강릉/서울 코어 라우터(들)에 대한 IPv6 물리적 인터페이스(IPv6 Physical Interfaces)/IPv6 루백 인터페이스(IPv6 Loopback Interfaces)에 대한 인터페이스 이름(Interface Name), 주소(Address), 라우팅 프로토콜(Routing Protocols) 결과를 제시하였다.

실험 진행 중 흥미(興味)있었던 점은 WiMAX의 무선사용자는 IPv6 이관 작업을 할 수 없었으나 WiFi 무선사용자

는 IPv6 이관 작업이 가능하였다. 즉, WiMAX 기지국까지 IPv6 이관 작업이 가능하고 WiMAX의 무선사용자는 IPv6 이관 작업이 불가능하였다. 이는 WiMAX의 무선사용자에 대한 IPv6 이관 실패는 기술적 한계가 아닌 실험 도구 버전의 한계로 OPNET Modeler(버전 16.0) 내의 WiMAX 모델에서는 IPv4와 IPv6 모두 완벽히 호환된다고 WiMAX (802.16e) 매뉴얼에 기술되었다[23].



(그림 4) 가상망과 IPv6 이관 분석 보고서 결과 스냅샷(snapshot)

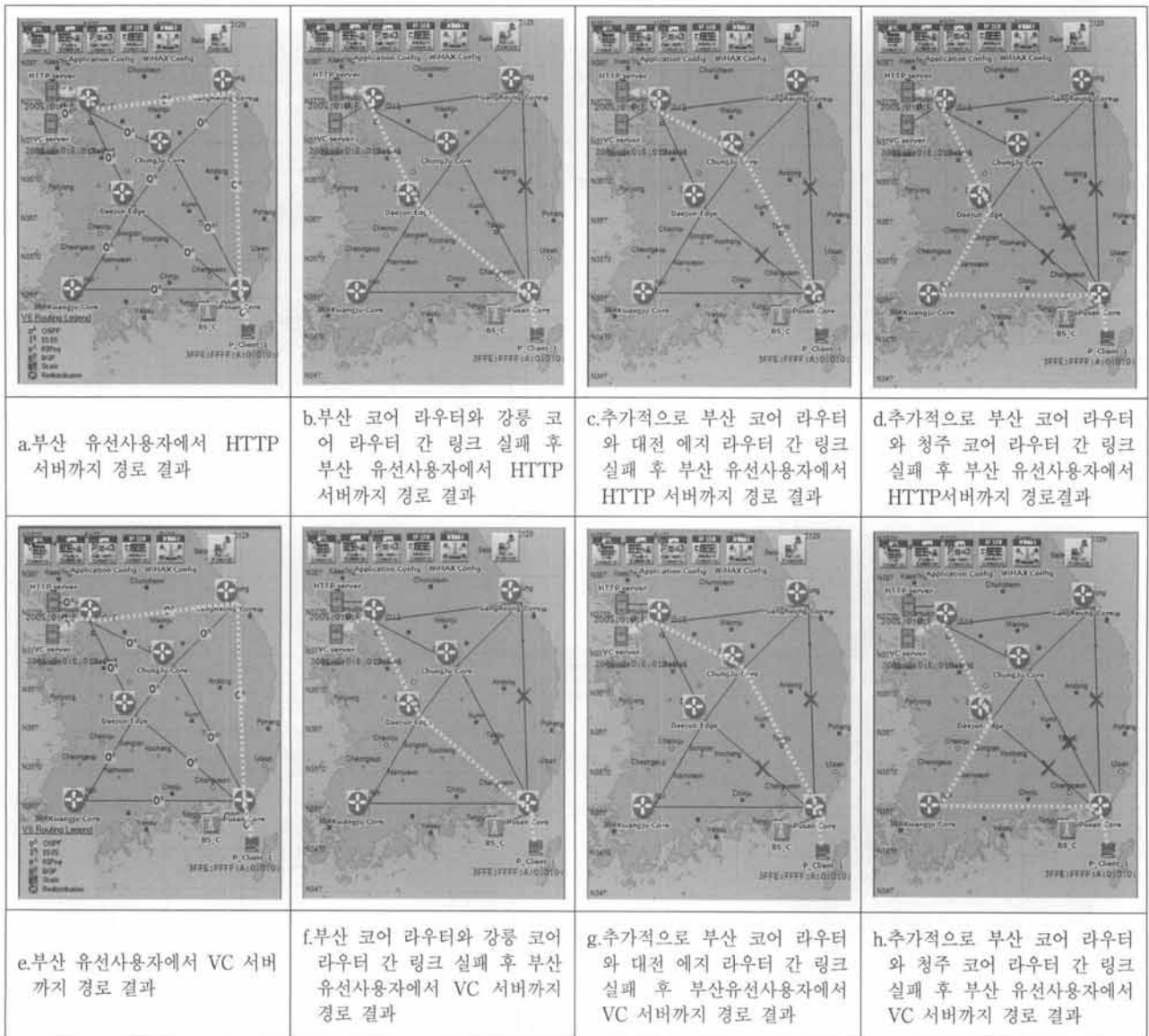
3.4.2 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험

두 번째 실험 과정으로 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험을 본 절에서 다루기로 한다. 이러한 실험은 이전 절의 IPv6 이관 작업이 끝난 가상망으로 OSPFv3 라우팅 실험을 통해 소스에서 목적지까지 종단간 경로 관찰(觀察)이 가능한 Flow Analysis로 분석하였다. OSPFv3 라우팅 매트릭(routing metric)으로 링크 가중치를 사용한다. 이 링크 가중치에 따라 소스에서 목적지까지 가장 효율적인 경로를 계산하여 제공한다. 가상망 내의 OSPFv3 설정에 대한 링크 특정 가중치(비용 함수)는 시뮬레이션을 통해 자동 계산할 수 있도록 설정하였다. 이러한 링크 특정 가중치에 대한 자동 계산에 따라 링크 혼잡 회피가 어떤 경로로 순환(循環)되는지를 관찰하기 위하여 라우터간 링크 실패 시나리오를 반영하였다. 이러한 시나리오에는 1) 부산 유선사용자가 HTTP 서버와 VC 서버까지 어떤 경로를 통해서 도달하는지와 2) 라우터간 링크 실패

를 가정하여 어떤 경로로 순환되는지를 조사하였다. 이와 같은 실험은 다음과 같은 단계로 수행하면 된다.

- Step 1 : 가상 망 내의 서울/강릉/청주/광주/부산 코어 라우터(들), 대전 에지 라우터에 대한 IP 라우팅 파라미터 (IP Routing Parameters)의 인터페이스 정보(Interface Information) 주소 할당
- Step 2 : 주소 할당 후 IPv6 라우팅 프로토콜 구성(IPv6 Routing Protocol Configuration)에서 Protocols > IPv6 > 제공하는 IPv6 라우팅 프로토콜(Supported IPv6 routing protocols) 중 OSPFv3을 선택

※ 링크를 실패 시 이 단계는 설정할 필요가 없음. 왜냐하면 OSPFv3 설정으로 인하여 링크 실패 기호(그림 5-b의 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 X표시)를 볼 수 없기 때문임



(그림 5) IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험 결과 스냅샷

- Step 3 : 가상망 링크에 OSPF 확인 후 Flow Analysis 실행(Run Flow Analysis)
- Step 4 : 부산 유선사용자와 HTTP 서버/VC 서버를 선택한 후 선택된 노드들 간의 경로 제시(Show Routes Between Selected Nodes)를 실행(IPv6 경로 선택)
- Step 5 : 종단간 라우팅 분석
- Step 6 : 라우팅 분석 완료 후 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패로 순차적인 링크 실패 수행
- Step 7 : 각각에 대한 링크 실패마다 Flow Analysis 실행
- Step 8 : 각각에 대한 링크 실패마다 부산 유선사용자와 HTTP 서버/VC 서버를 선택한 후 Show Routes Between Selected Nodes를 실행(IPv6 경로 선택)
- Step 9 : 각각에 대한 링크 실패마다 종단간 라우팅 분석

위와 같은 단계를 실행한 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험 결과는 (그림 5)와 같다. 실험 결과, 이들 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험 모두는 링크의 혼잡을 줄이기 위한 경로로 산출된 결과값임을 우리는 알 수 있었다. 예를 들면 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 이외의 나머지 라우터 간 링크에 대한 트래픽이 일정하다는 가정 하에 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크가 트래픽이 폭주되어 다른 경로로 순환되어야 할 수 밖에 없는 경우라면 (그림 5-5)와 같은 종단간 트래픽 경로가 될 것이므로 링크 혼잡이 반영된 것임을 실험 결과로 판단할 수 있었다. 각 실험에 대한 결과를 설명하면 다음과 같다. 1) 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 강릉 코어 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. 2) 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 대전 에지 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. 3) 추가적으로 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크를 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 청주 코어 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. 4) 마지막 추가 작업인 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크를 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 광주 코어 라우터 → 대전 에지 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. 실험 진행 중 흥미 있었던 점은 WiFi/WiMAX 무선사용자를 설정한 후 OSPFv3 라우팅 실험 결과 WiFi/WiMAX 무선사용자는 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로에 도달할 수 없었다. 그 이유는 WiFi/WiMAX 무선사용자가 HTTP 서버/VC 서버까지의 종단간 통신 경로를 알 수 없었기 때문에 경로 분석이 불가능함을 실험으로 알 수 있었다.

3.4.3 OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험

마지막 실험 과정으로 지금까지 구성한 가상망을 토대로 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 통신 가능 여부와 최적 경로에 대한 가장 빠른 Ping 응답 시간에 대한 분석을 수행한다. Ping 실험을 위하여 우리는 3.4.2절의 IPv6 가상망을 IPv4/IPv6 듀얼 스택 가상망으로 변경해야만 한다. 왜냐하면 실험했던 도구는 IPv6 네트워크 Ping 실험을 할 수 없었기 때문이다. 따라서 우리는 IPv6 네트워크 Ping 실험을 위하여 최근 버전인 OPNET Modeler(버전 16.1)으로 실험한 결과 이 최근 버전에서는 IPv6 네트워크 Ping 실험이 가능했다. 다만 기존 실험 도구 버전에서의 모델링한 것을 OPNET Modeler(버전 16.1)로 포팅(porting)이 어려우므로 처음부터 다시 모델링을 해야만 했다. 만약 기존 실험 도구 버전에서 모델링한 수많은 환경 변수 설정과 실험 도구 버전간 환경 차이를 관통(貫通)하고 있었다면 모든 실험이 가능했겠지만 맨 마지막 실험(그림 6의 d와 h)은 수행하지 못하였다. Ping 실험은 Ping Parameters의 Record Route (IPv6)에 Record Route를 활성화한 후 Ping Attribute의 Ping Pattern을 Record Route (IPv6)로 설정하면 IPv6 네트워크에 대한 Ping 결과값을 알 수 있다. IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크 Ping 실험은 Record Route (IPv4와 IPv6)에 Record Route를 모두 활성화한 후 Ping Attribute의 Ping Pattern을 Record Route (IPv4와 IPv6)로 설정하면 된다. IPv4/IPv6 듀얼 스택 가상망 설정이 끝나면 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패로 순차적인 링크 실패 후 각각에 대한 Ping 실험을 수행하면 된다. IPv6 네트워크 실험도 위와 같은 설정 후 실험을 수행하면 된다. 이 실험은 DES와 Flow Analysis를 모두 사용해야 하므로 절차가 복잡하다. 전자의 DES 경우는 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 Ping 실험을 하기 위해서 사용되며 후자의 Flow Analysis 경우는 앞 절의 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험으로 종단간 경로를 분석하기 위해서 사용된다. 이와 같은 실험은 다음과 같은 단계로 수행하면 된다.

□ Part I : DES

- Step 1 : 부산 유선사용자가 HTTP 서버/VC 서버까지 Object Palette Tree의 IP_Ping_Traffic을 설정
- Step 2 : IP_Ping_Traffic 설정 확인 후 Ping 실험을 위하여 IPv4 주소를 Protocols > IP > Addressing > Auto-Assign IP Address 할당(IPv6 네트워크는 이 단계를 생략함)

□ Part II : Flow Analysis

- Step 3 : IPv6 라우팅 프로토콜 구성(IPv6 Routing Protocol Configuration)에서 Protocols > IPv6 > 제곱

하는 IPv6 라우팅 프로토콜(Supported IPv6 routing protocols) 중 OSPFv3을 선택

※ 링크를 실패 시 이 단계는 설정할 필요가 없음. 왜냐하면 OSPFv3 설정으로 인하여 링크 실패 기호(그림 6-b의 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 X표시)를 볼 수 없기 때문임

- Step 4 : 가상망 링크에 OSPF 확인 후 Flow Analysis 실행(Run Flow Analysis)
- Step 5 : 부산 유선사용자와 HTTP 서버/VC 서버를 선택한 후 선택된 노드들 간의 경로를 제시(Show Routes Between Selected Nodes)한 후 실행(IPv6 경로 선택)
- Step 6 : 종단간 라우팅 분석

□ Part I : DES

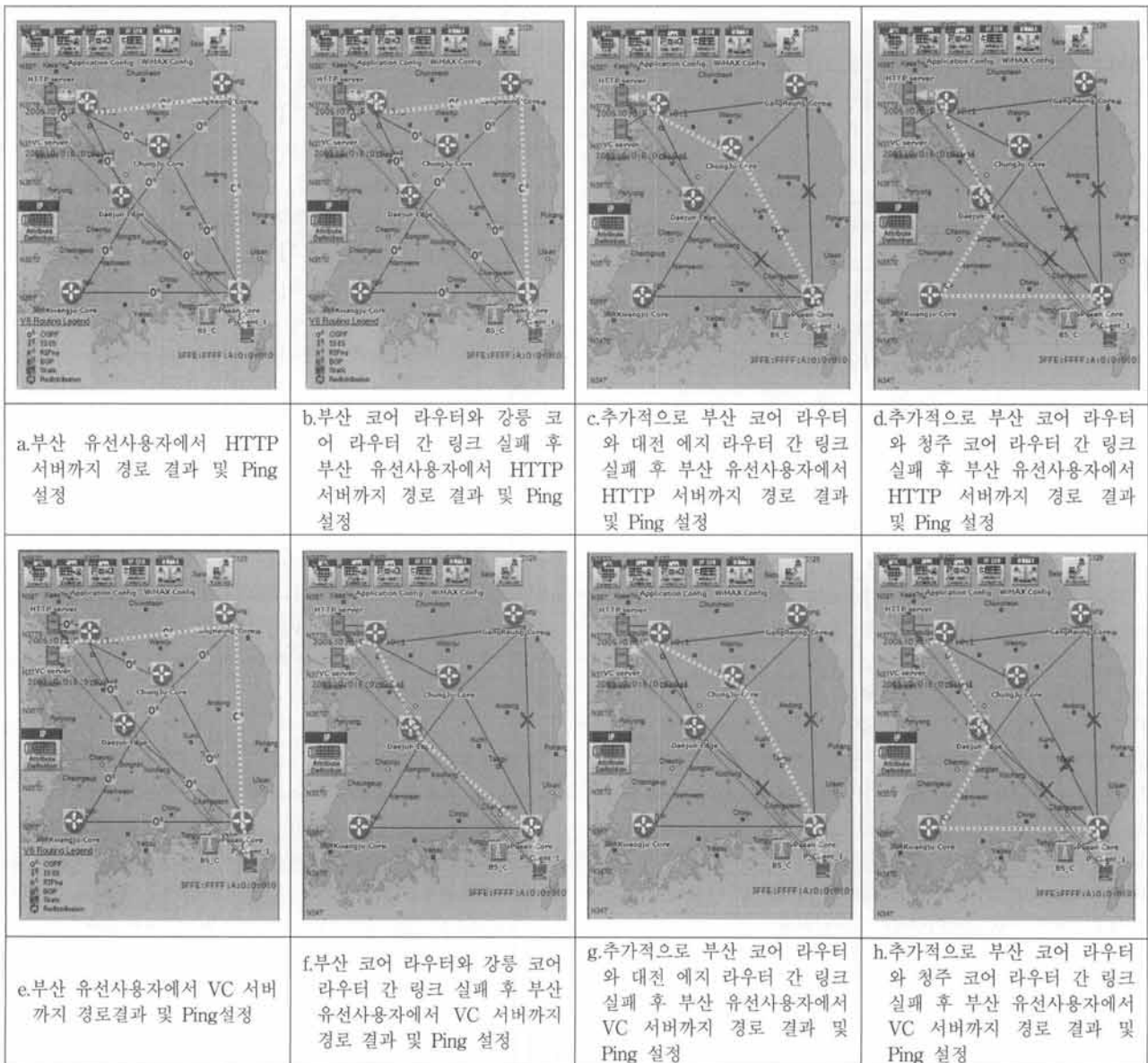
- Step 7 : Configure/Run Discrete Event Simulation을 3

분으로 설정한 후 수행

- Step 8 : Result Browser를 통해 부산 유선사용자의 Ping 실험 결과 분석

□ Part II : Flow Analysis

- Step 9 : 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패로 순차적인 링크 실패 수행
- Step 10 : 각각에 대한 링크 실패마다 Flow Analysis 실행
- Step 11 : 각각에 대한 링크 실패마다 부산 유선사용자와 HTTP 서버/VC 서버를 선택한 후 Show Routes Between Selected Nodes로 실행(IPv6 경로 선택)
- Step 12 : 각각에 대한 링크 실패마다 종단간 라우팅 분석

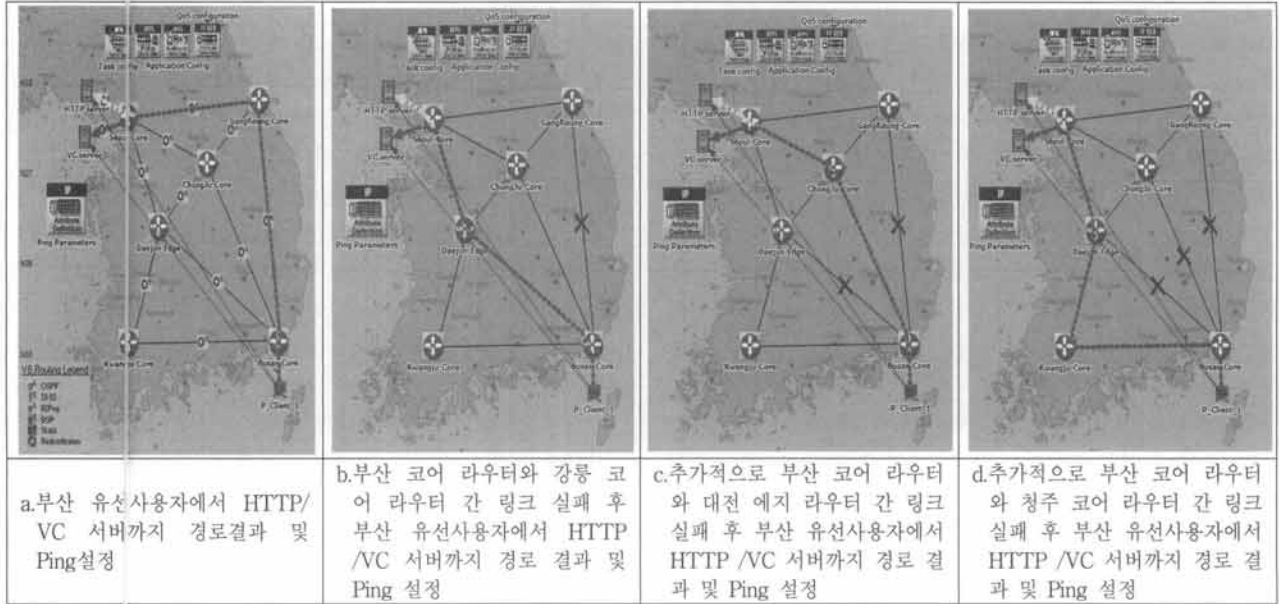


(그림 6) OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크 경로 결과 및 Ping 설정 스냅샷

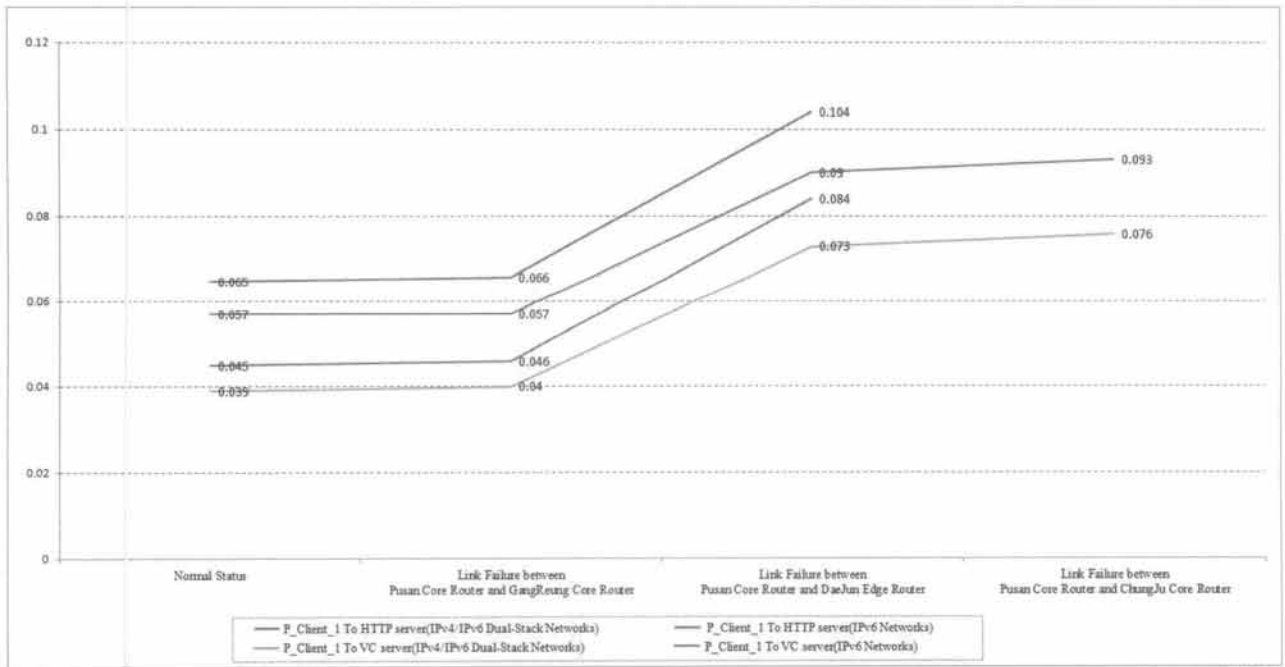
□ Part I : DES

- Step 13 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패에 대한 Configure/Run Discrete Event Simulation을 3분으로 설정한 후 수행
- Step 14 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패에 대한 Result Browser를 통해 부산 유선사용자의 Ping 실험 결과 분석

위와 같은 단계를 실행한 OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 경로 결과,



(그림 7) OSPFv3 라우팅에 대한 IPv6 네트워크 경로 결과 및 Ping 설정 스냅샷



Classification	Normal Status	Link Failure between Pusan Core Router and Gangneung Core Router	Link Failure between Pusan Core Router and Daegu Edge Router	Link Failure between Pusan Core Router and Chungju Core Router
IPv4/IPv6 Dual-Stack Networks				
P_Client_1 To HTTP server	0.057	0.066	0.099	0.093
IPv6 Networks				
P_Client_1 To HTTP server	0.045	0.057	0.084	None
IPv4/IPv6 Dual-Stack Networks				
P_Client_1 To VC server	0.039	0.04	0.073	0.076
IPv6 Networks				
P_Client_1 To VC server	0.045	0.046	0.084	None

(그림 8) OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험 결과

IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험 결과는 (그림 6), (그림 7), (그림 8)과 같다. 실험 결과, 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로와 라우터 간 링크 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 모두 3.4.2절의 (그림 5)와 동일한 경로였다. 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크에 대한 Ping 실험은 가능했다. Ping 분석 결과, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 모두 부산 유선사용자에서 VC 서버까지가 가장 빠른 Ping 응답 시간을 보였다. 아울러 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터간 링크 실패로 순차적인 링크 실패 후 Ping 실험 결과, 부산 유선사용자에서 VC 서버까지 가장 빠른 Ping 응답 시간을 보였다. 아울러 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패로 순차적인 링크 실패 후 Ping 실험 결과, IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 모두 부산 유선사용자에서 VC 서버까지 링크 실패가 없는 (Normal Status) Ping 응답 시간이 가장 빨랐다. 다음으로 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패 순서로 Ping 응답 시간이 빨랐다. 즉, 인터넷 서비스 품질을 보장하는 VC 서버와 부산 유선사용자까지 링크 실패가 없는 경우 최적 경로로 가장 빠른 Ping 응답 시간 결과인 반면 라우터간 링크 실패가 증가될수록 종단간 Ping 응답 시간이 더 소요된다는 점을 실험으로 알 수 있었다. IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 응답 시간 비교 결과 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크 Ping 응답 시간이 IPv6 네트워크 보다 빨랐다. 다만 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크는 부산 유선사용자에서 HTTP 서버까지 링크 실패가 없는 경우와 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패의 경우 Ping 실험 응답 결과는 같았다.

3.5 실험 토론

우리는 IPv6 이관, IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험, OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험으로 수행했다. 이와 같은 실험은 과거 연구자들에 대한 향후 연구를 시험한 것으로 다음과 같은 기여도를 들 수 있다. 어떻게 하면 종단간 IPv6 성능을 향상할 수 있는지를 우리는 IPv6에 기본적인 상호운영성 성능 지표인 Ping과 종단간 OSPFv3 라우팅에 대한 경로 관찰로 호스트와 라우터로 구성된 종단간 가상망에 대한 가장 빠른 경로를 알 수 있었다. 아울러 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 내에 모델링된 VC 서버와 HTTP 서버간 Ping 실험 결과 인터넷 서비스 품질을 보장

하는 VC 서버가 HTTP 서버보다 더 빠른 Ping 응답 시간을 보인 점을 들 수 있다. 끝으로 실제 IPv6 네트워크 구성 시 망 배치와 설계 비용 절감, QoS 향상, 시행착오를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

IPv6 Planning and Operations에 대한 첫 번째 실험인 IPv6 이관 방법(안)에서 설계한 6개 라우터(서울, 강릉, 청주, 대전, 광주, 부산), HTTP 서버/VC 서버/무선 FTP 서버, WiMAX 기지국, WiFi 무선사용자, 무선라우터 0/1, 부산 유선사용자로 구성하여 IPv6 이관 실험 결과 설계한 가상망의 모든 장치들 구성이 IPv6 환경 체제로 100% 변경되었다. 설계한 가상망의 구성에 포함되지 않았으나 WiMAX의 무선사용자는 IPv6 이관 작업을 할 수 없었지만 WiFi 무선사용자는 IPv6 이관 작업이 가능하였다. 즉, WiMAX 기지국까지 IPv6 이관 작업이 가능하고 WiMAX의 무선사용자에 대한 IPv6 이관 실패는 기술적 한계가 아닌 실험 도구 버전의 한계인 점을 알 수 있었다. 두 번째 실험인 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험은 라우터 간 링크 실패 없이 구성된 가상망 내의 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지의 경로를 관찰한 결과, 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 강릉 코어 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 대전 에지 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. 추가적으로 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크를 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 청주 코어 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. 마지막 추가 작업인 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크를 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로는 부산 유선사용자 → 부산 코어 라우터 → 광주 코어 라우터 → 대전 에지 라우터 → 서울 코어 라우터 → HTTP 서버/VC 서버 경로로 주어졌다. WiFi/WiMAX 무선사용자를 설정한 후 OSPFv3 라우팅 실험 결과 WiFi/WiMAX 무선사용자는 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로에 도달할 수 없었다. 왜냐하면 WiFi/WiMAX 무선사용자가 HTTP 서버/VC 서버까지의 종단간 통신 경로를 알 수 없었기 때문에 경로 분석이 불가능함을 실험으로 알 수 있었다. 마지막으로 OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험은 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 모두 부산 유선사용자에서 VC 서버까지 링크 실패가 없는 Ping 응답 시간이 가장 빨랐다. 즉, 인터넷 서비스 품질을 보장하는 VC 서버가 HTTP 서버보다 Ping 응답 시간에 대한 우선순위가 높다는 것을 시뮬레이션 결과로 증명되었다. 다음으로 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패, 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패 순

서로 Ping 응답 시간이 빨랐다. 요약하면 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 모두 인터넷 서비스 품질을 보장하는 VC 서버와 부산 유선사용자까지 링크 실패가 없는 경우 최적 경로로 가장 빠른 Ping 응답 시간 결과를 알 수 있었다. 이들 네트워크 Ping 응답 시간 결과는 (그림 8) 처럼 같은 유형의 패턴 결과를 보였으며 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크 Ping 응답 시간이 IPv6 네트워크 Ping 응답 시간보다 빨랐다.

4. 결 론

IPv6는 지구 표면상에 유일한 주소로 모든 분자(요소)를 라벨하기에 충분한 128비트 주소 스키마로 설계되었다. 더욱이 20년 전에 인터넷에 존재하는 트래픽 종류는 이메일, 파일 전달과 같은 탄력 있는 트래픽 모두를 효율적으로 제공할 수 있도록 설계되었다. 즉, IPv6 목표는 IPv4 주소 공간 고갈에 따른 새로운 주소 공간을 증가하기 위한 새로운 버전으로 확장성, 보안, 멀티미디어 전달을 제공하기 위한 것이다. 우리의 연구 목적은 연구 과제 중 하나인 IPv6 이관 이슈를 토대로 실험 도구를 통해 기존 IPv4 기반 인프라 스트럭처를 IPv6로 이관하는 실험과 이전 문헌 내에 향후 연구로 남긴 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험, 어떻게 하면 종단간 IPv6 성능을 향상할 수 있는지를 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 상에 Ping 실험으로 모델링/시뮬레이션 하였다.

본 연구에서 수행한 다양한 가상망에 대한 모델링과 시뮬레이션은 실제망과 흡사한 결과값으로 아래와 같이 요약할 수 있다.

- IPv6 이관 방법(안) 내에 설계된 가상망을 통한 IPv6 이관 실험 결과, 설계한 가상망의 모든 장치들 구성이 IPv6 환경 체제로 100% 변경되었으나 설계한 가상망 내에 구성되지 않은 WiMAX의 무선사용자는 IPv6 이관 작업을 할 수 없었다. 즉, WiMAX 기지국까지 IPv6 이관 작업이 가능한 반면 WiMAX의 무선사용자에 대한 IPv6 이관 실패는 기술적 한계가 아닌 실험 도구 버전의 한계인 점을 알 수 있었다.
- IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험은 1) 링크 실패 없이 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지의 경로 관찰, 2) 부산 코어 라우터와 강릉 코어 라우터 간 링크 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지의 경로 관찰, 3) 추가적으로 부산 코어 라우터와 대전 에지 라우터 간 링크 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지의 경로 관찰, 4) 마지막 추가 작업인 부산 코어 라우터와 청주 코어 라우터 간 링크 실패 후 부산 유선사용자에서 HTTP 서버/VC 서버까지의 경로 관찰로 이들 모두는 IPv6 기반의 OSPFv3 라우팅 실험에 대한 링크 혼잡을 줄이기 위한 경로로 산출된 결과값임을 알 수 있었다. 이 실험 진행 중 흥미있는 점은 WiFi/WiMAX 무선사용자를 설정한 후 OSPFv3 라우팅

실험 결과 WiFi/WiMAX 무선사용자는 HTTP 서버/VC 서버까지 종단간 경로에 도달할 수 없었다. 왜냐하면 WiFi/WiMAX 무선사용자가 HTTP 서버/VC 서버까지의 종단간 통신 경로를 알 수 없었기 때문에 경로 분석이 불가능함을 실험으로 알 수 있었다.

- OSPFv3 라우팅에 대한 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 실험을 위하여 서로 다른 버전인 Modeler 14.5와 최근 버전인 Modeler 16.1로 수행했다. Modeler 14.5는 IPv6 네트워크 Ping 실험이 제공되지 않았으나 Modeler 16.1 버전은 IPv6 네트워크 Ping 실험이 가능했다. 우리는 Modeler 14.5에서 작업한 모델을 Modeler 16.1로 포팅이 어려워 Modeler 16.1에서 처음부터 다시 모델링 하였다. 만약 기존 Modeler 14.5에서 모델링 한 수많은 환경 변수 설정과 Modeler 두 버전간 환경 차이를 다 파악하고 있었다면 모든 실험이 가능했을 것이다. 그러나 우리가 지금까지 실험한 결과로도 IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 Ping 응답 시간이 같은 유형의 패턴 결과임을 알 수 있었고 부산 유선사용자에서 VC 서버까지 링크 실패가 없는 경우 인터넷 서비스 품질을 보장하는 VC 서버가 HTTP 서버보다 Ping 응답 시간 우선순위가 높다는 증명된 실험 결과로 가장 적절한 경로임을 알 수 있었다. IPv4/IPv6 듀얼 스택 네트워크와 IPv6 네트워크 상에 링크 실패가 증가될수록 OSPFv3 라우팅에 대한 종단간 Ping 응답 시간이 더 소요된다는 점 또한 실험으로 알 수 있었다.

본 연구 진행 중 한계는 다음과 같이 요약할 수 있었다. 다양한 실험 중 WiMAX의 무선사용자에 대한 IPv6 이관 실패는 기술적 한계가 아닌 실험 도구 버전의 한계로 실험이 불가능하였다. 만약 무선사용자(WiFi/WiMAX)에 대한 IPv6 이관부터 OSPFv3 라우팅에 대한 Ping 응답 시간까지 실험이 가능했다면 유무선 통합망에 따른 IPv6 망 설계 및 운영에 보다 많은 도움이 됐을 것으로 생각된다.

향후 연구는 다음과 같다. Modeler (버전 16.1)로 무선사용자에 대한 IPv6 이관부터 OSPFv3 라우팅에 대한 Ping 응답 시간까지 실험 가능 여부를 조사할 계획이다. 아울러 IPv6는 IPsec을 기본적으로 지원하여 보안성이 강화될 것으로 예상하나 IPv6 환경으로의 전환, IPv6 프로토콜 스택 변경 등의 요인으로 보안에 대한 연구가 중요할 것이다. 특히나 새로 구축할 차세대이동통신망인 LTE(Long Term Evolution)는 초기부터 IPv6 체계로 구축할 계획으로 유무선 통합망에 대한 보안 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] IPv4 Address Report, <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html>.
- [2] Damien Leroy and Olivier Bonaventure, "Preparing network configurations for IPv6 renumbering," International Journal of Network Management, Int. J. Network Mgmt., 2009.

- [3] Yuk-Nam Law, Man-Chiu Lai, Wee Lum Tan, Wing Cheong Lau, "Empirical Performance of IPv6 vs. IPv4 under a Dual-Stack Environment," Communications, 2008.
- [4] Mohd. Khairil Sailan, Rosilah Hassan, Ahmed Patel, "A Comparative Review of IPv4 and IPv6 for Research Test Bed," Electrical Engineering and Informatics, pp.427-433, 2009.
- [5] 방송통신위원회, "선도적 인터넷서비스 기반구축을 위한 차세대 인터넷주소(IPv6) 전환 추진계획," 2010.
- [6] Ioan Raicu, Sherali Zeadally, "Evaluating IPv4 to IPv6 Transition Mechanisms," In IEEE International Conference on Telecommunications, 2003.
- [7] Yao-Chung Chang, Han-Chieh Chao, Jiann-Liang Chen, Rong-Wei Jhang, "Evaluation of IPv6 Simulation Using OPNET IPv6 Model Suite," Universities Using OPNET, 2003.
- [8] Mohammad Nazrul Islam et. al, "Simulation-Based Comparative Study of EIGRP and OSPF for Real-Time Applications," Master Thesis, Blekinge Institute of Technology, 2010.
- [9] Sadiq M. Sait, Mohammed H. Sqalli, Syed Asadullah, "Optimizing OSPF Routing Using Accelerated Iterative Heuristic," Proceedings of the 8th WSEAS international conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Databases, 2009.
- [10] Krishna Kumaran Vienjipuram, Asmeer Babu Abdul, "Improving the Quality of Multicast Networks by Using the OPNET Modeler," Master Thesis, Blekinge Institute of Technology, 2010.
- [11] Yi Wang, Shozhi Ye, Xing Li, "Understanding Current IPv6 Performance: A Case Study from CERNET," Proceedings of IEEE ISCC, 2005.
- [12] WANG Zhen-Xing, WANG He-Ming, SUN Ya-Min, "High-performance IPv4/IPv6 Dual-stack Routing Lookup," Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Vol.2, 2004.
- [13] 한국전자통신연구원, "차세대 국방정보통신망 최적화 설계 연구," 국방부 프로젝트, 2004.
- [14] 서울여자대학교, "정보보호 예보 알고리즘 및 모델 개발," 한국정보보호진흥원, 2009.
- [15] OPNET, "IPv6," Modeler Product Documentation Release 14.5.
- [16] OPNET, "Flow Analysis," Modeler Product Documentation Release 14.5.
- [17] OPNET, "Flow Analysis-OSPF," Modeler Product Documentation Release 14.5.
- [18] Roman Yasinovskyy, Alexander L. Wijesinha, Ramesh K. Karne, Gholam Khakasri, "A Comparison of VoIP Performance on IPv6 and IPv4 Networks," 2009 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, 2009.
- [19] Mohd. Khairil Sailan, Rosilah Hassan, "Design of Accurate End-to-End IPv4 and IPv6 Performance Test," 5th National Conference in Programming Science 2009.
- [20] Cisco, "Performance-Comparison Testing of IPv4 and IPv6 Throughput and Latency on Key Cisco Router Platforms," White Paper, 2007.
- [21] Kenjiro Cho, Matthew Luckie, Bradley Huffaker, "Identifying IPv6 Network Problems in the Dual-Stack World," SIGCOMM'04 Network Troubleshooting Workshop, Portland, USA, 2004.
- [22] Silvano Gai, Internetworking IPv6 with Cisco Routers, McGraw-Hill, 1998.
- [23] OPNET, "WiMAX (802.16e)," Modeler Product Documentation Release 16.0.



김정수

e-mail : kim_jeongsu@yahoo.com

1996년 군산대학교 컴퓨터학과(학사)

1998년 군산대학교 컴퓨터학과
(이학석사)

2005년 광운대학교 경영정보학과
(경영정보학박사)

1997년~2000년 (주)필컴 시스템사업부 사원(병역특례)

2000년~2001년 (주)KTI 초고속사업팀 대리

2002년~2004년 TTA 유선망시험팀 전임연구원

2005년~2006년 아라리온(주) New Project Team 과장

2006년~2008년 (주)웨어플러스 무선네트워크팀 차장

관심분야: QoS, 시뮬레이션 분석, NMS 등