

IPv4/IPv6의 연동을 위한 DSTM TEP의 기능

(The DSTM TEP for IPv4 and IPv6 Interoperability)

진재경[†] 최영지^{**} 민상원^{***}
 (Jae-Kyoung Jin) (Young-Jee Choi) (Sang-Won Min)

요약 DSTM (Dual Stack Transition Mechanism)은 현재 주목 받고 있는 IPv4/IPv6 연동기술로서 터널링 방식을 적용한 기술중의 하나이다. DSTM은 4over6 (IPv4-over-IPv6) 터널링과 임시 글로벌 IPv4 주소의 할당방식을 적용하여 IPv4와 IPv6간의 연결성을 지원한다. TEP (Tunnel End Point)는 DSTM 도메인과 인터넷망의 경계 라우터로서 4over6 터널링 패킷의 캡슐화와 복원기능을 적용하여 양방향 통신을 제공한다.

본 논문에서는 기본적인 IPv6 프로토콜 표준안의 내용을 기술하였으며 DSTM에서의 요구사항을 만족하는 TEP 데몬 프로그램을 설계하고 구현하였다. TEP 데몬은 DSTM 노드로부터 전송되는 4over6 패킷을 분석하여 동적으로 4over6 터널링 인터페이스를 구성하여 DSTM 노드와 IPv4-only 노드간에 통신을 가능하게 한다. 최종적으로 구현된 TEP를 적용한 시험망을 구성하고 성능을 측정하여 결과를 제시하였다. 이러한 결과를 통하여 구현된 TEP 데몬이 DSTM 서비스에 적합한 성능을 제공할 수 있음을 확인하였다.

키워드 : 터널링, 전환기술, IPv6, DSTM

Abstract The DSTM (Dual Stack Transition Mechanism), one of tunneling mechanism, is considered as the best solution in IPv4/IPv6 transition recently. The DSTM provides a method to assure IPv4/v6 connectivity based on 4over6 (IPv4-over-IPv6) tunneling and temporal allocation of a global IPv4 address to a host requiring such communication. A TEP (Tunnel End Point) operates as a border router between IPv6 domain and IPv4 Internet, which performs encapsulation and decapsulation of 4over6 tunneling packets to assure bi-directional forwarding between both networks.

In this paper, we analyze basic standards of the IPv6 protocol. And, we design and implement a DSTM TEP daemon block. The TEP daemon analyzes a 4over6 tunneling packet that is forwarded by the DSTM node, establishes the TEP's 4over6 interface, and supplies communication between a DSTM and a IPv4-only node. Finally, we construct a DSTM testbed and measure performance of the DSTM TEP. Our observation results show that performance of TEP supports the DSTM service.

Key words : IPv6, Transition mechanism, DSTM, Tunnel

1. 서론

현재 범세계적으로 가장 광범위하게 사용되고 있는 데이터 통신망인 인터넷 망은 IPv4를 기반으로 구성되어 있다. 이러한 인터넷망은 90년대 이후 팽목할만한 성장을 거듭하여 왔지만, 최근에 이르러서는 사용자의 증

가로 인한 IPv4 주소의 부족 문제에 직면하게 되었다. 그리고 주소부족 문제는 IP망이 다양한 이종 망들과의 통합되어 all IP 망으로 진화하는데 커다란 걸림돌로 작용하게 되었다. IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 이러한 IPv4의 주소부족 문제의 해결과 새로운 서비스에 대한 요구사항 등을 충족 시키기 위하여 차세대 인터넷 프로토콜인 IPv6(Internet Protocol version 6)를 제안하게 되었다.

IPv6는 IPv4의 32 비트에 비하여 확장된 128 비트의 주소공간으로서 향후에 적용될 모든 서비스들을 수용할 수 있을 정도의 풍부한 주소 제공이 가능하도록 설계되었다. 그리고 IPv4 헤더에서 사용되던 12개의 필드는 8개로 단순화되어 중간노드에서의 프로세싱 시간을 줄여

· 이 논문은 2002년도 광운대학교 교내학술 연구비 지원에 의해 수행되었음

† 비 회 원 : 모다정보통신연구원
 jkjin@modacom.co.kr

** 학생회원 : 광운대학교 전자공학부
 want2sky@explore.kw.ac.kr

*** 종신회원 : 광운대학교 전자공학부 교수
 min@daisy.gwu.ac.kr

논문접수 : 2003년 2월 20일

심사완료 : 2003년 5월 20일

서, 보다 효율적인 패킷 전송이 가능하도록 하고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 IPv6가 일시에 IPv4를 대체하는 것은 불가능하다. 그러므로 상당한 기간동안의 점진적인 변환 시나리오를 적용해야 한다. IPv6의 변환 시나리오를 적용하기 위해서는 반드시 기존에 사용되고 있는 IPv4와의 연동을 위한 방안이 요구된다. 현재 IPv4와 IPv6간의 연동을 위한 방안들은 IETF의 ngtrans 작업그룹을 중심으로 연구되고 있으며, 다양한 방법들이 제시되고 있다[1-3].

DSTM은 임시 글로벌 IPv4주소의 할당과 동적인 4over6 터널의 구성을 통하여 IPv4 트래픽을 전송하는 방식으로서 현재 주목 받고 있는 IPv4/IPv6의 연동방안 중의 하나이다. DSTM은 적용 초기단계의 IPv6가 IPv4망과 자연스럽게 연동할 수 있도록 임시로 IPv4 주소를 할당 받아 사용하는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징은 순수한 IPv6망을 구축하고 외부 인터넷망과의 통신이 필요한 경우에만 임시 IPv4 주소를 할당 받아서 사용하므로 IPv6 도입을 촉진시키는 장점을 가지고 있다. 그러나 완전한 DSTM망을 구성하기 위해서는 DHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6)와 DNSv6(DNS support IPv6) 등의 구성요소가 필요하지만 현재 이러한 구성 요소들은 개발이 완전히 진행되지 않은 상태이다. IETF에서는 이러한 문제로 인해서 DSTM 전체의 개발이 늦어지지 않도록 DHCPv6, DNSv6등의 구성요소를 개발자가 최소한의 기능으로 대체하여 사용할 수 있도록 하고 있다. 그러므로 본 논문에서는 DSTM 서버와 클라이언트는 최소한의 기능을 제공하도록 구현하여 사용하였다[4,5].

DSTM의 구성 요소인 TEP는 DSTM 노드로부터 터널링되는 패킷의 터널 종단으로서 DSTM 노드로부터 터널링되는 IPv4 패킷의 복원 및 캡슐화를 통하여 DSTM 노드와 IPv4-only 노드간의 통신을 지원한다. 그리고 외부 인터넷 망과의 경계에 위치한 경계 라우터의 기능도 함께 수행한다. 본 논문에서는 이러한 TEP의 기능을 구현하였다. TEP는 4over6 터널링 패킷을 캡쳐하고 IPv6 헤더 및 캡슐화된 IPv4 헤더의 정보를 이용하여 4over6 터널을 동적으로 설정하고 관리하는 기능을 수행한다. 구현된 TEP를 적용하여 실험망을 구성하여 DSTM 노드와 IPv4-only 노드간의 통신을 확인하였으며 TEP의 성능 테스트를 위하여 DSTM 노드의 증가에 따른 IPv4-only 노드 사이에서 화상 채팅프로그램, FTP, Web 서비스 등을 확인하였고, RTT (Round Trip Time)의 평균 변화량을 측정하여 DSTM 서비스의 제공을 위해 필요한 성능을 확인하였다[4].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 IPv6를 적용하기 위해서 표준화 되고 있는 IPv4/IPv6간의

연동방안 및 구현현황을 기술하였다. 3장에서는 구현한 DSTM TEP의 구성에 대한 사항들을 기술하였다. 4장에서는 구현한 TEP를 적용하여 구성한 시험환경과 TEP의 성능분석 결과를 기술하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺었다.

2. IPv4/IPv6의 연동기술

2.1 개요

현재 인터넷 망에 IPv6를 도입하기 위해서 선행되어야 할 가장 중요한 사항은 기존에 구성되어 있는 IPv4와 IPv6를 자연스럽게 연동시켜야 한다는 것이다. IPv6는 IPv4와는 전혀 다른 구조를 가지고 있으므로 자체로 통신할 수는 없으며, 상호간의 연동을 위한 추가적인 지원이 필요하다. IPv4/IPv6의 연동방안에 대한 연구개발 및 표준화는 IETF의 ngtrans 작업그룹을 중심으로 진행되고 있다. 현재 개발되고 있는 연동 기술들은 표 1과 같이 변환방식과 터널링을 사용한 방식으로 분류될 수 있다[6].

변환 방식은 IP 패킷을 통과하려는 망의 IP 버전에 맞게 변환시켜서 전송하는 방식이다. 변환방식은 기존의 패킷을 다른 버전의 IP 헤더로 변형시키게 되므로 망의 호스트는 별다른 설정이 필요 없이 그대로 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 IP 패킷의 변형으로 인해서 IP망의 전체적인 투명성을 제공하지 못하는 단점을 가지고 있다. 변환방식을 적용한 연동기술로는 NAT-PT(Network Address Translation-Protocol Translation), SIIT(Stateless IP/ICMP Translation Algorithm), BIS(Bump-in-the-Stack), 그리고 BIA(Bump-in-the-API) 등이 제시되고 있다[7].

터널링방식은 전송하려는 IP 패킷과 통과하는 망에서 사용하는 IP의 버전이 서로 다른 경우에 전송되는 IP 패킷을 통과하는 망의 IP헤더로 캡슐화하여 전달하는 방식이다. 터널링 방식은 IP 헤더를 추가하므로 오버헤드가 생기지만 기존의 패킷을 변형시키지 않으므로 어플리케이션에 대해서 투명한 통신이 가능하다. 터널링

표 1 IPv4/IPv6 변환방식

분류	트랜지션 메커니즘
Tunneling	Configured/Automatic Tunneling
	6to4
	DSTM
	Tunnel Broker
	ISATAP
Translation	NAT-PT/SIIT
	BIS, BIA
	A SOCKS-based IPv6/IPv4 Gateway Mechanism
	IPv6/IPv4 Transport Relay Translator

방식을 적용한 연동방안으로는 DSTM, ISATAP(Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol), 그리고 6to4 등이 있다[8].

2.2 IPv4/IPv6 연동기술

변환방식을 적용한 대표적인 연동방식으로는 NAT-PT가 있다. NAT-PT는 NAT 및 SIIT 프로토콜 변환과 DNS-ALG(Domain Name System-Application Level Gateway) 등을 이용하여 IPv4와 IPv6간에 주소를 변환하는 방식이다. NAT-PT는 IPv4망과 IPv6망의 경계에 위치하며, 그림 1과 같이 DNS-ALG의 기능을 포함한 구조를 가지고 있다. DNS-ALG는 IPv4와 IPv6 노드에서 보내는 DNS 이름 및 주소 질의를 변환하게 된다. 그리고 inbound 트래픽에 대해서 IPv6 노드에 IPv4 주소가 할당되어 있지 않은 경우에 NAT-PT가 주소를 할당하고 매핑 정보를 유지한다. NAT-PT는 이와 같이 DNS-ALG를 적용하여 세션의 시작을 감지하므로 단말에서는 다른 변환이 필요 없이 동작할 수 있게 된다.

DSTM 도메인상에서 전송된 IPv6 패킷은 IPv6 connection tracking을 거쳐서 SIIT를 이용한 패킷변환 모듈과 DNS-ALG, FTP-ALG 등을 거쳐서 IPv4 connection tracking 모듈에 전달되고, IPv4 스택을 거쳐서 IPv4 망으로 전송된다. 그리고 패킷 변환 모듈은 IPv6/IPv4 매핑 테이블과 연결되어 있으며, 이 매핑 테이블 목록은 NATPT ip6table을 통해서 ip6tables user interface와 연동하는 구조로 구현되었다[4].

DSTM은 터널링 방식을 적용한 IPv4/IPv6 연동방안 중 하나로써 DSTM은 기존에 구성되어 있는 IPv4 망과 새롭게 구성되는 IPv6 망과의 상호연동을 목적으로 하고 있다. 글로벌 IPv4 주소공간의 부족이 갈수록 심각해지는 상황에서 사용자들은 IPv6를 적용하여 순수한 IPv6 망을 구축함으로써 IPv6 망 내부에서 IPv4 주소에 대한 의존율을 낮추고 망 구성의 확장성을 제고할 수 있게 된다. 그러나 순수한 IPv6 노드들도 현재 대부분의 인터넷이 IPv4 기반으로 구성되어 있는 환경 하에서는 필연적으로 IPv4 노드와의 통신이 필요하게 된다[6].

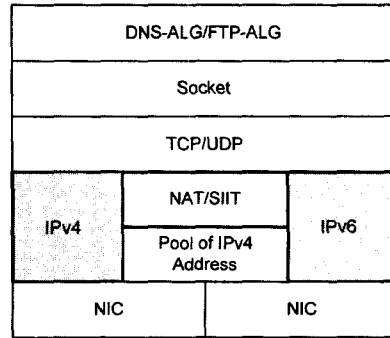


그림 1 NAT-PT 변환기의 구조

DSTM은 IPv4/IPv6 듀얼스택 노드가 IPv4 노드와 통신하기 위해서 임시의 글로벌 IPv4 주소를 주소 서버로부터 할당 받고, 할당 받은 주소를 IPv4-only 노드와 통신하기 위해 사용하는 구조를 가지고 있다. DSTM은 할당 받은 주소를 사용하여 생성된 IPv4 패킷을 DSTM 도메인을 거쳐서 외부의 IPv4망으로 전송하기 위해서 IPv6 터널링 방식을 사용하며 이러한 방식을 4over6 터널링이라 한다. 이와 같이 IPv4 패킷은 IPv6 헤더로 캡슐화되어 전송되므로 기존에 IPv4만을 지원하는 어플리케이션들도 아무런 변형 없이 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다.

DSTM의 구성요소는 그림 2와 같이 글로벌 IPv4 주소 서버인 DSTM 서버, DSTM 노드, 그리고 게이트웨이의 기능을 수행하는 TEP로 구성된다. DSTM 도메인에 위치하고 있는 DSTM 노드들은 자신의 IPv4 스택을 동적으로 관리하며 필요에 따라 DSTM 서버에게 IPv4 주소를 할당 받고 4over6 터널을 구성하여 TEP로 4over6 패킷을 전송한다. DSTM 서버는 글로벌 IPv4 주소 풀을 유지하며 DSTM 클라이언트의 요청에 의해 임시 IPv4 주소를 할당하는 기능을 수행한다. TEP는 DSTM 도메인과 IPv4 인터넷망 사이에서 경계 라우터의 기능과 함께 4over6 터널의 종단 기능을 수행하는 노드이다. 이 노드는 패킷에 대한 캡슐화와 복원 기능을 통하여 DSTM 도메인과 인터넷 망 사이의 통신

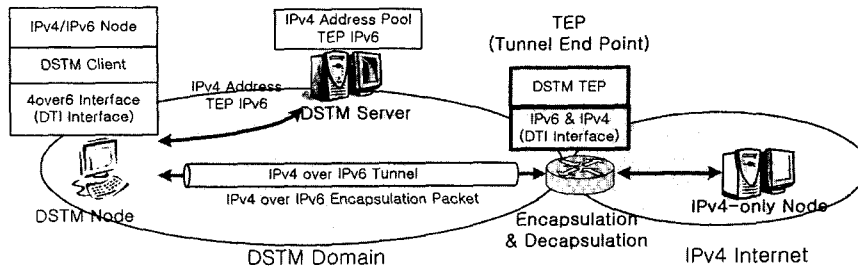


그림 2 DSTM 구성요소

을 지원한다.

DSTM의 가장 큰 특징은 어플리케이션 및 망에 대해서 완전히 투명하게 동작한다는 것이다. 어플리케이션의 관점에서 볼 때 DSTM 노드는 계속해서 IPv4 주소로 동작하고 있는 것으로 간주된다. 그리고 DSTM 도메인 내에서는 IPv4 패킷은 드러나지 않고 4over6 터널링을 통한 IPv6 패킷만이 전달되므로 망에 대해서도 투명하게 동작한다. 이러한 특징은 통신을 위해서 중간에 주소의 변환 과정이 필요 없고 IPv4 패킷은 IPv6 패킷의 payload로 처리되므로 IPsec(IP Security)과 같은 네트워크 계층 및 상위 어플리케이션을 사용하는 프로토콜들의 지속적인 사용을 보장해줄 수 있게 된다[4,5].

현재 DSTM 관련 기술의 개발은 국내 및 프랑스를 중심으로 수행되고 있다. 프랑스 ENSTB(Ecole Nationale Supérieure Des Telecommunication De Bretagne)에서는 FreeBSD 및 Linux 기반으로 RPC(Remote Procedure Call)를 사용한 DSTM 클라이언트와 서버, TEP 등을 구현하고 있으며, 6wind의 6WINDGATE 6211 시리즈에서 NAT-PT, ISATAP 등의 기능과 함께 DSTM TEP의 기능을 제공하고 있다. 현재 대부분의 IPv4/IPv6 연동을 위해 개발되고 있는 장비들이 향후 DSTM 관련 기능을 제공하려는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 현재 DSTM 표준화 및 기술이 아직 확정되지 않은 상황이므로 지속적인 개발 노력이 필요할 것으로 전망된다.

3. DSTM TEP의 설계 및 구현

TEP는 순수 IPv6로 구성된 DSTM 도메인과 IPv4 기반의 인터넷망과의 경계에 위치하여 4over6 터널링 패킷의 캡슐화와 복원기능을 수행하며, DSTM 노드와 IPv4-only 노드와의 통신을 제공하는 DSTM의 구성요소 중 하나이다. TEP는 순수 IPv6망인 DSTM 도메인과 IPv4 인터넷의 경계에서 IPv4 및 IPv6를 모두 지원하기 위하여 IPv4/IPv6 듀얼 스택구조로 구성된다. DSTM 노드에서 생성된 IPv4 패킷은 DSTM 서버로부터 전달된 TEP의 주소를 목적지로 하는 4over6 터널링 패킷으로 캡슐화되어 전송된다. 이러한 4over6 패킷을 수신한 TEP는 패킷의 터널 헤더인 IPv6 헤더를 제거하고 원래의 IPv4 패킷으로 복원한다. TEP에 전달되는 4over6 터널링 패킷의 형태는 그림 3과 같이 원래 IPv4 패킷에 IPv6 터널 헤더인 IPv6 기본헤더와 확장헤더가 추가되는 구조를 갖는다. 터널 헤더의 확장헤더는 엄격하게 left-to-right 프로세싱 규칙에 따라 처리되며 프로세싱이 완료되면 이후의 제어는 마지막 헤더의 Next Header 필드 값이 가리키는 프로토콜 엔진에 넘겨진다.

TEP에서는 수신한 4over6 터널링 패킷의 IPv4 헤더

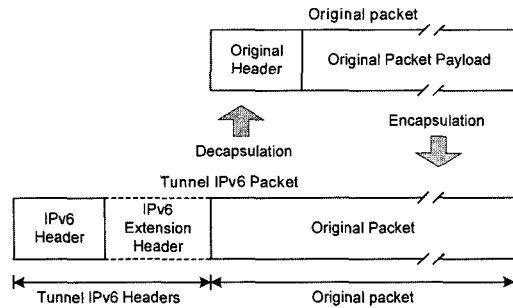


그림 3 TEP의 캡슐화 및 복원

의 소스 주소와 IPv6 헤더의 소스 주소를 이용하여 TEP에서 DSTM 노드까지 4over6 터널을 구성한다. 결국 TEP와 DSTM 노드사이에 양 방향의 4over6 터널이 구성된다. 이렇게 구성된 4over6 터널은 IPv4-only 노드로부터 전송된 IPv4 패킷을 IPv6 패킷으로 캡슐화하여 DSTM 노드까지 전송하며 이들간에는 양방향 통신이 가능하게 된다. TEP에서 구성된 4over6 터널에 대한 정보는 일정 기간동안 유지되어야 하며 이러한 기간은 DSTM 노드로부터 수신되는 4over6 터널링 패킷의 유무에 따라서 결정된다. DSTM 도메인 내의 통신은 DSTM 노드의 IPv4 어플리케이션이 통신을 필요로 하는 경우로 한정되고 더 이상 IPv4 통신이 필요하지 않은 경우에는 4over6 터널링 인터페이스에 대한 설정도 해제된다. 본 논문에서는 이와 같은 요구사항을 적용하여 4over6 터널링 패킷의 캡슐화 및 복원을 수행하며 DSTM 노드와 IPv4-only 노드와 통신을 지원하는 TEP의 기능을 구현하였다.

3.1 4over6 터널링 패킷 캡처 기능

TEP에서는 새로운 4over6 터널을 설정하고 관리하기 위해서 자신에게 전달되는 IPv6 패킷중에 DSTM 노드가 전송한 4over6 터널링 패킷을 확인하는 기능이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 기능을 위해서 패킷 캡처 라이브러리(libpcap: portable packet capturing library)를 사용하였다. 패킷 캡처 라이브러리는 네트워크로 전달되는 패킷 중에 자신에게 전달되는 패킷을 복사하여 사용자 인터페이스로 전달하여 어플리케이션이 패킷의 정보를 활용할 수 있게 해주는 라이브러리아다. 패킷 캡처 라이브러리는 pcap_lookup 함수를 이용하여 캡처에 사용할 디바이스를 지정한다. 예를 들어 Linux에서 eth0과 같은 특정한 네트워크 디바이스를 선택할 수 있고 snaplen 변수를 사용하여 사용자 인터페이스로 전달되는 패킷의 크기를 지정할 수 있다. 패킷 캡처 라이브러리는 사용자에게 전달되는 패킷의 종류를 임의로 제한할 수 있는 필터링 기능을 제공한다. 이러한 과정을 거쳐서 최종적으로 TEP 데몬에 패킷이 전달되면

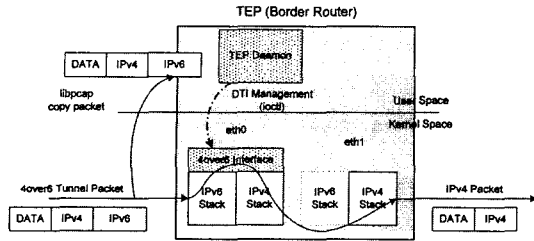


그림 4 TEP의 구조

captured_ipv6_pkt_handling 함수가 호출되어 캡처된 패킷의 헤더를 분석하고 적절한 작업을 수행한다 [10,11,12].

그림 4는 구현된 TEP의 프로그램 구조를 간략히 도식한 것이다. TEP 프로그램은 그림과 같이 직접 패킷에 대한 4over6 캡슐화와 복원기능을 수행하는 4over6 인터페이스 부분과 이에 대한 제어를 수행하는 TEP 데몬으로 구성된다. 여기서 패킷 캡처 라이브러리를 이용한 TEP 데몬은 구동 시에 사용자로부터 입력된 인수를 통하여 캡처를 수행할 인터페이스와 필터링 규칙 등을 지정할 수 있다. TEP에서 지정된 인터페이스를 통해서 전달되는 패킷들 중에서 해당 인터페이스의 IPv6 주소를 목적으로 전달되는 패킷은 패킷 캡처 라이브러리를 통해서 사용자 공간의 TEP 데몬 프로그램으로 복사된다.

3.2 4over6 터널링 설정기능

DSTM 노드로부터 캡슐화되어 전송되는 4over6 터널링 패킷은 IPv6 기본헤더 및 IPv6 확장헤더에 IPv4 패킷이 포함된 구조를 가진다. 패킷 캡처 라이브러리에 의해서 패킷을 전달받은 TEP 데몬은 먼저 해당 패킷의 IPv6 헤더의 목적지주소를 확인하여 TEP로 전달된 패킷인지에 대한 검사를 수행한다. 이후에 IPv6 헤더의 Next Header 필드를 검사하여 어떠한 종류의 IPv6 확장헤더가 포함되었는지를 검사한다. 수신한 패킷의 IPv6 헤더의 Next Header 필드는 IPv6 기본헤더 다음에 나올 헤더의 형식을 지정한다.

4over6 터널링 패킷의 경우에는 데이터 필드 이전에 IPv4 헤더가 위치하게 되므로 TEP는 이러한 Next Header의 값을 계속 확인하여 해당 패킷이 4over6 터널링 패킷인지를 확인한다. Next Header 필드의 값을 통해서 수신한 패킷이 4over6 터널링 패킷임이 확인되면, 해당 주소를 사용하는 DSTM 노드로부터 전송된 4over6 터널링 패킷인 것으로 간주하고 4over6 터널링 패킷의 소스 IPv6 및 IPv4 주소를 추출한다. 그러나 수신한 IPv6 패킷이 4over6 터널링 패킷이 아닌 것으로 확인되면 해당하는 패킷을 삭제하고 다음 패킷에 대한 처리를 기다린다.

TEP에서의 4over6 패킷에 대한 캡슐화와 복원은

4over6 터널링 인터페이스를 통해서 수행된다. 4over6 인터페이스는 네트워크 디바이스 드라이버로서 커널 모듈형태로 구현되어 있다. 본 논문에서는 기존에 개발되어 있는 4over6 인터페이스를 수정하여 사용하였다. TEP에서 사용할 수 있는 4over6 인터페이스의 수는 4over6 인터페이스의 컴파일 전에 헤더파일의 변수를 통해서 사용자가 임의로 지정하여 사용할 수 있다. 4over6 인터페이스는 DTI(Dynamic Tunneling Interface)라고 명명하였으며 이후에 구현된 소스코드와 관련된 설명에서는 dti라는 용어를 사용하였다.

TEP 데몬은 4over6 터널링 패킷으로부터 DSTM 노드의 IPv4 주소와 IPv6 주소를 획득한 이후에는 이러한 정보를 사용하여 자신의 4over6 터널링 인터페이스를 설정한다. TEP 데몬은 사용자공간의 어플리케이션으로서 ioctl을 사용하여 dti 인터페이스의 설정 및 해제등의 관리를 수행한다. 그러나 4over6 터널링 인터페이스를 설정하기 전에 먼저 해당 주소를 사용하는 DSTM 노드에 대해서 기존에 4over6 터널링 인터페이스가 설정되어 있는지를 검사하게 된다. 이와 같은 검사과정을 거쳐서 새로운 DSTM 노드에 대한 4over6 터널링 패킷임이 확인되면 다른 노드에 대한 터널 설정되어 있지 않은 4over6 인터페이스를 확인하여 새로운 DSTM 노드와의 4over6 터널을 설정한다.

3.3 구현한 시스템 구성

본 논문에서 구현한 TEP의 기본 구성은 그림 5와 같은 블록도로 나타낼 수 있다. 구현된 시스템은 패킷 캡처 기능블록과 캡처된 패킷의 검사를 통하여 4over6 터널을 동적으로 관리하는 기능블록으로 구분된다. 패킷 캡처 기능블록은 DSTM 도메인과 연결된 인터페이스를 통해서 전달된 IPv6 패킷을 패킷 캡처 라이브러리를 사용하여 캡처하는 부분으로서 이때에 캡처하는 패킷은 DSTM 도메인에 연결된 TEP를 목적으로 전송되는

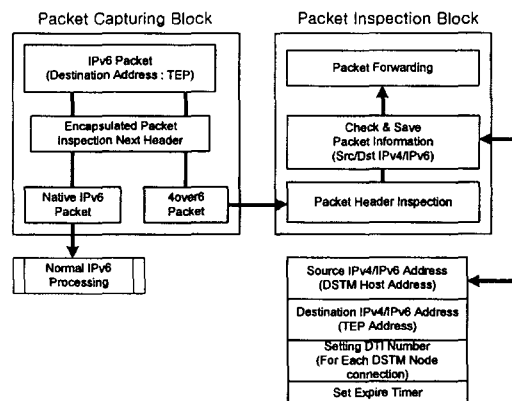


그림 5 TEP의 구성도

IPv6 패킷으로 한정된다.

패킷이 캡처된 이후에는 IPv6 기본헤더 및 확장헤더의 Next Header 필드를 검사하여 순수한 IPv6 패킷과 4over6 터널링 패킷을 구분한다. 순수한 IPv6 패킷일 경우에는 IPv6 스택을 통해서 일반적인 처리를 수행하고, 4over6 터널링 패킷일 경우에는 패킷 검사 기능블록을 통하여 동적인 터널 설정 작업을 수행한다. 패킷의 검사 기능블록은 그림의 우측에 나타내었으며, 이것은 수신한 패킷이 4over6 터널링 패킷일 경우에는 IPv6 헤더 및 확장 헤더를 검사하고 자신이 관리하고 있는 매핑 테이블을 검사하여 패킷을 전송한 DSTM 노드가 새로운 연결설정이 필요한 노드인지에 대한 판단을 하게 된다. 4over6 터널링 매핑 테이블의 구조체는 그림 6과 같은 구조체의 멤버를 가지도록 구성하였다.

TEP에서 관리하는 매핑 테이블에는 DSTM 노드의 IPv4 주소와 IPv6 주소, TEP의 해당 인터페이스의

```

/** DSTM Node Mapping List Table */
struct set_dti_list {
    char *host4;
    char *host6;
    char *tep4;
    char *tep6;
    char *dti_num;
    unsigned int expire_timer;
    struct set_dti_list *next;
};
    
```

그림 6 4over6 터널링 매핑 테이블 구조체

IPv4 주소와 IPv6 주소, DSTM 노드의 패킷 캡슐화와 복원기능을 제공하기 위해서 할당된 dti 인터페이스, 그리고 해당 연결의 해제를 위해서 타이머의 값이 사용된다. TEP에서 관리하는 4over6 터널링 매핑 테이블은 4over6 터널링 패킷이 수신되어 연결설정이 필요한 경우와 타이머의 값이 감소할 경우에 검색된다. 4over6 터널의 해제는 항상 4over6 터널링 매핑 테이블의 타이

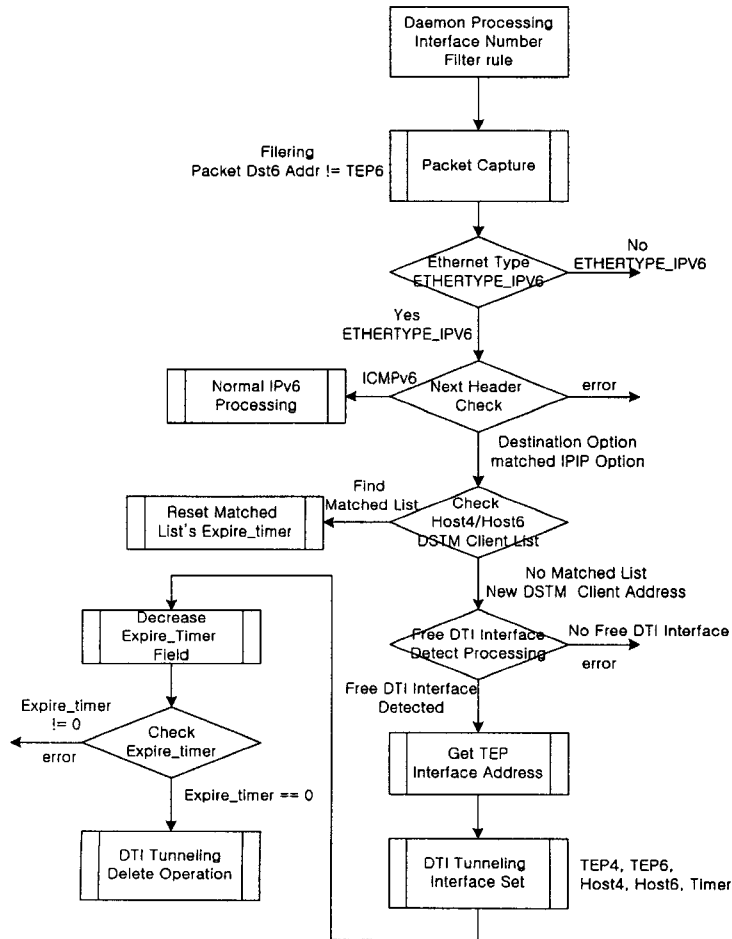


그림 7 TEP 데몬의 순서도

머값의 종료되었을 때 수행된다. 4over6 터널링 매핑 리스트의 구조체는 링크드 리스트의 구성을 가지고 있으며 타이머의 값은 전체 리스트에 적용되고 헤더파일에 포함된 expire_timer 변수의 값을 수정하여 변경할 수 있다. 또한 리스트에서 사용되고 있는 dti_num 멤버는 4over6 터널링 인터페이스를 나타내는 포인트로서 DSTM 노드에 할당된 dti 인터페이스를 구분하기 위해서 사용된다.

본 논문에서 구현한 TEP 데몬 프로그램은 지금까지 기술한 설계를 바탕으로 구현하였으며 프로그램 전체의 동작은 그림 7의 순서도로 나타내었다. dti 인터페이스를 설정하고 4over6 터널링 매핑 테이블을 작성하기까지의 일련의 과정은 하나의 패킷이 캡처 될 때마다 반복적으로 동작한다.

3.4 DSTM 클라이언트 및 서버구현

본 논문은 DSTM TEP의 구현을 목표로 진행되었으며, DSTM 클라이언트와 서버의 기능은 Linux 2.4.18을 기반으로 시험환경 구성을 위해서 필요한 기능만을 구현하여 테스트환경을 구성하였다. DSTM 클라이언트와 서버간에는 socket을 사용하여 통신하도록 구성하였으며 DSTM 서버와 클라이언트간에는 사용되는 메시지 형식으로는 DSTM 클라이언트가 DSTM 서버로부터 임시 IPv4 주소를 할당 받는 DISCOVER, 주소 기간의 연장에 사용되는 REQUEST, 할당 받은 임시 IPv4 주소를 해제하는데 사용되는 RELEASE등의 메시지를 정의하였다. DSTM 클라이언트가 DSTM 서버에 접속하여 임시 IPv4 주소를 할당 받아 DSTM TEP까지 DTI를 통해서 4over6 터널링을 구성하는 과정은 dcc라는 응용 프로그램을 구현하여 처리하였다. 사용자가 dcc를 실행하게 되면 프로그램은 DSTM 서버에 접속하여 사용 가능한 임시 IPv4 주소와 TEP의 주소정보 등을 서버로부터 획득하고, 이 정보를 기반으로 DTI 인터페이스를 자동으로 구성하여 DSTM TEP와 4over6 터널링

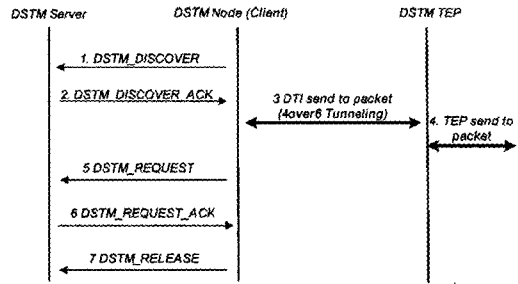


그림 8 DSTM 서버와 클라이언트간의 메시지 플로우

연결을 설정하고 트래픽을 전송할 수 있게 된다. 이러한 연결을 일정 기간동안 유지되며, 사용자의 요구에 의해서 기간연장과 해제가 가능하도록 구성하였다.

DSTM 서버는 DSTM 클라이언트가 사용할 수 있는 글로벌 IPv4 주소풀과 TEP의 정보를 유지하고 있으며, DSTM 클라이언트의 요청에 의해서 주소를 할당과 더불어 TEP의 주소를 제공하는 기능을 하도록 구현하였다. DISCOVER 동작은 클라이언트의 최초 IPv4 주소 요구에 대한 매핑 테이블을 생성하며 적당한 IPv4 주소를 클라이언트에 할당한다. REQUEST 동작은 DISCOVER 동작 이후에 할당 받은 IPv4 주소를 연장시켜 준다. RELEASE 동작은 클라이언트가 IPv4 주소를 더 이상 사용하기를 원하지 않거나 서버의 타이머가 만료되었을 경우 할당되었던 IPv4 주소를 회수하는 동작을 한다. 그림 8에서 DSTM 서버와 클라이언트간의 통신에 사용되는 메시지 플로우를 도식하였다.

4. 실험 및 결과

구현된 TEP 데몬을 시험하고 성능을 분석하기 위해서 그림 9와 같은 시험망을 구성하였다. 본 시험망의 구성을 위해서 필요한 IPv6 주소는 실제 사용 가능한 공식 IPv6 주소인 2001:230:203:1::/64를 사용하여 망을 구

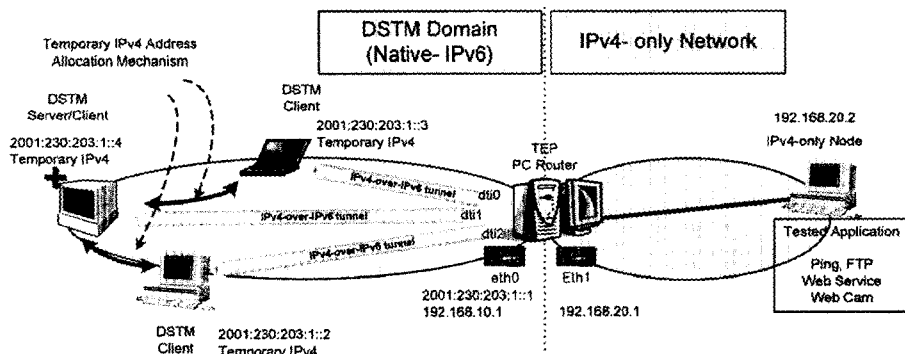


그림 9 실험 및 구현환경

성하였다. 그리고 인터넷 망과의 연동을 위해서는 글로벌 IPv4 주소를 사용하여야 하지만, 본 논문에서는 망 구성을 단순화하기 위해서 사실 IPv4 주소를 사용하여 192.168.10.0와 192.168.20.0 망을 구성하였다. DSTM 도메인은 순수한 IPv6 망을 구성하기 위하여 TEP의 eth0 인터페이스에는 2001:230:203:1::1/64 주소를 할당 하였으며 DSTM 클라이언트에 할당되는 IPv4 주소 풀은 192.168.10.1~192.168.10.20의 범위를 사용하였다.

TEP는 경계라우터의 기능을 제공하기 위하여 Linux kernel 2.4.18 기반의 PC 라우터를 세팅하여 사용하였으며, eth0와 eth1의 두개의 인터페이스를 설치하였다. 본 실험에서 사용된 DSTM 클라이언트와 서버는 3장 4절에서 기술한 방식으로 구현하여 사용하였다. IPv4-only 노드는 Windows 2000환경으로 IPv4 스택을 사용하여 구성하였으며, DSTM 클라이언트와의 연결성 시험을 위하여 화상채팅 프로그램과 Web 서버, 그리고 ftp 서버 등을 설치하였다. DSTM 클라이언트에서는 IPv4 기반의 화상채팅프로그램과 ping, 그리고 인터넷 브라우저를 사용하여 IPv4-only와의 통신시험을 하였다. 그림 10은 DSTM 노드에서 TEP를 거쳐서 IPv4-only 노드까지의 ping을 사용하여 RTT를 측정하는 동안에 TEP에서 Ethereal을 사용하여 패킷의 전송상황을 모니터하는 화면이다.

캡처된 패킷 헤더를 통해서 DSTM 노드는 192.168.10.13의 IPv4 패킷을 2001:230:203:1::2의 IPv6 패킷 헤더로 캡슐화한 4over6 터널링 패킷임을 확인할 수 있다.

TEP 데몬에서는 해당 패킷의 IPv4/IPv6 주소를 이용하여 dti0를 설정하였으며 설정된 매핑 테이블의 상태는 좌측 하단의 터미널 창으로 확인할 수 있다. 우측의 편집기 창은 4over6 터널링 매핑 테이블 파일을 나타낸 것으로써 dti0에서 dti2까지 3개의 DSTM 노드가 TEP를 통하여 터널링 설정되었음을 보여주고 있다. 이러한

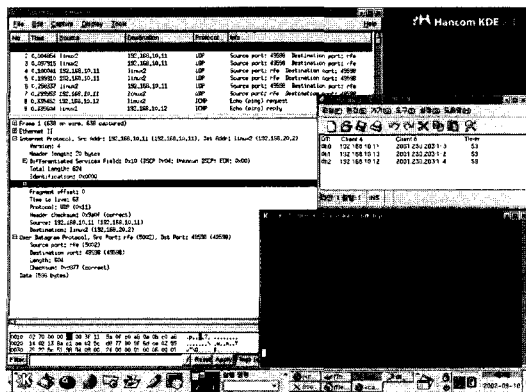


그림 10 TEP에서의 4over6 터널 설정

매핑 테이블은 TEP 데몬에 의하여 파일로 생성되며 사용자가 현재 dti 터널링 설정을 확인할 수 있도록 계속해서 업데이트 된다.

DSTM은 IPv6 망에서 IPv4 패킷을 IPv6 헤더로 캡슐화하고 TEP에서 복원하여 전달하는 구성을 가지고 있다. 구현한 TEP의 동작에 영향을 미치는 요소로서 TEP를 통해서 4over6 터널링 설정된 DSTM 노드의 수를 생각할 수 있다. TEP에서는 다수의 DSTM 노드와의 4over6 터널링 서비스를 지원해야 하기 때문에 DSTM 노드의 수가 증가함에 따라서 TEP의 성능에 어떻게 영향을 미치는지를 확인할 필요가 있다. 그림 4.3은 DSTM 노드에서 TEP를 거쳐서 IPv4-only 노드와 통신을 하는 경우에 TEP와 4over6 터널링 연결한 DSTM 노드의 수가 증가함에 따라서 DSTM 노드에서 RTT를 측정하는 것이다.

TEP를 통해서 4over6 터널링 연결된 DSTM 노드의 수가 증가함에 따라서 연결에 할당된 TEP의 dti 인터페이스의 수가 증가한다. 그러므로 TEP에서 4over6 터널링 패킷의 처리시간이 증가하게 되고 이와 같은 전송 지연이 발생하게 된다. 그림 11의 실험의 결과에서는 TEP에 설정된 4over6 터널링 연결 설정된 DSTM 노드의 수를 100개까지 증가시키고 DSTM 노드와 IPv4-only 노드까지의 100ms의 간격으로 연속해서 20개의 ping 테스트를 수행하고 이를 통해서 얻어진 값의 평균 RTT를 구하였다. 이때 평균 RTT의 변화량은 0.716 ms~0.756 ms까지 0.04 ms가 증가하였다.

이와 같은 패킷의 전송지연 현상은 TEP 데몬이 최초 dti 터널링 연결을 설정하는 경우에 해당 패킷의 IPv6 주소를 이용하여 생성한 터널링 id 값을 검색하는데 소모되는 시간지연과 미 사용중인 dti 인터페이스의 검색하는데 소요되는 지연이 주된 원인이다. 이러한 시간지연현상은 4over6 터널연결과 함께 증가할 것이다. 구현한 DSTM TEP는 커널모듈 형태로써 4over6 연결에 사용할 dti 인터페이스의 수를 컴파일시에 옵션으로 지정하고, 이를 DSTM 노드와의 연결에 사용하는 방식으

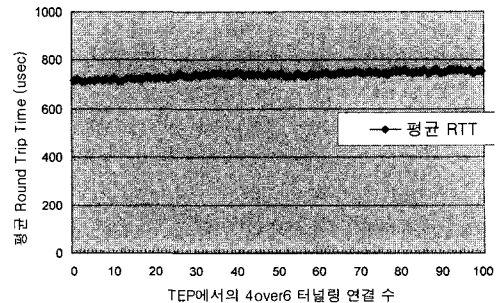


그림 11 RTT 변화량 측정

로 구성되었으므로 커널 컴파일 및 모듈의 삽입이후에는 dti 인터페이스의 수를 조정할 수 없다. 그리고 최초 설정된 dti 인터페이스의 수보다 많은 4over6 터널 설정이 필요할 경우에는 연결을 제공할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점의 극복하고 향후에 DSTM TEP의 기능을 상용화하기 위해서는 추가적인 연구노력이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문은 IPv6를 보다 효율적으로 적용하기 위해서 IETF에서 제안된 IPv4/IPv6 변환 매커니즘중 하나인 DSTM의 TEP기능을 설계하고 구현하였으며 테스트를 수행하였다. DSTM은 IPv6의 적용초기에 IPv4 망과 연동되는 순수한 IPv6 망을 구축을 통하여 IPv6의 적용을 보다 촉진 시킬 수 있는 장점이 있다. DSTM은 새로운 프로토콜을 개발하는 것이 아니고, 기존에 사용되던 프로토콜들을 재사용하는 구조를 가지고 있다. 그러므로 DSTM 표준에서는 구성요소의 구현을 위해서 특정한 기능을 정의하지 않고 개발자에 독립적으로 사용할 수 있게 하고 있다. 이러한 방식은 일부기술의 개발지연으로 인해서 전체 DSTM 표준화가 늦어지는 것을 방지할 수 있다.

이러한 방식을 따라 본 논문에서 DSTM 서버와 클라이언트는 기능을 구현하였고, 일부 기능을 수동 설정에 의하여 동작하게 하였다. TEP는 DSTM 도메인과 인터넷망과의 경계에 위치하여 DSTM의 구성을 위해서는 필수적인 요소이다. 구현된 DSTM TEP는 DSTM 노드로부터 전송된 4over6 터널링 패킷을 분석하여 IPv4 패킷의 캡슐화와 복원기능을 수행하는 기능을 가지고 있다. 4over6 터널링 인터페이스는 4over6 터널링된 패킷으로부터 원래 IPv4 패킷으로 복원하고, 복원된 IPv4 패킷을 IPv4-only 노드로 전송한다. 또한 inbound 트래픽에 대해서는 DSTM 노드와의 양방향 터널링을 이용하여 4over6 터널링 패킷으로 캡슐화하여 전송하는 기능을 수행한다. 개발환경은 Linux kernel 2.4.18을 기반으로 하였으며, 순수한 IPv6 망으로 구성된 DSTM 도메인과 IPv4-only 망과의 연동시험을 위하여 시험망을 구성하고, DSTM 노드상에서 IPv4 어플리케이션의 동작시험을 통하여 TEP의 기능을 확인하였다. 그리고 구현한 프로그램의 성능 분석을 위하여 TEP에서 다수 DSTM 노드와의 4over6 터널링이 설정된 상태에서 새로운 DSTM 노드에서 IPv4-only 노드까지의 평균 RTT의 변화량을 측정하였다. 이러한 실험을 통하여 구현한 TEP를 소규모의 시험환경에 적용시키는데는 무리가 없음을 확인하였다.

DSTM 관련 기술은 IETF에 의해서 표준화가 진행

중이며, Internet draft 버전 08까지 제안된 상태이다. 현재 제시되어 있는 표준안은 outbound 트래픽에 관한 사항만을 정의하고 있으며, inbound 트래픽을 포함한 완전한 구조는 현재 논의가 진행중인 상태이다. 본 논문에서 구현한 DSTM TEP에서 사용하는 dti 모듈은 컴파일시에 사용할 DTI 인터페이스를 지정하는 형식으로 100개의 DSTM 호스트의 connection에 대한 시험만을 실시하였으며, 이러한 환경은 수만 이상의 connection이 존재할 수 있는 상용망에 적용할 경우에는 한계를 가지게 될 것이다. 그러나 DSTM은 port range 옵션 및 inbound 트래픽 처리를 위한 DSTM Extension과 같은 추가적인 사항이 적용되기 전까지는 IPv6의 적용 초기 소규모의 IPv6 환경을 효과적으로 구성하는데 중요한 역할을 할 것이다. 본 논문의 결과물은 상용장비에 대한 적용보다는 현재 논의되고 있는 최신 기술에 대한 개발 경험 축적과 시험환경의 구성을 목적으로 하였기 때문에, 향후 성능 개선 및 상용화를 위한 연구노력이 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Deering, et al., "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) specification," IETF RFC 2460. December. 1998.
- [2] R. Hinden, "IP version 6 Addressing Architecture," IETF RFC 2373, July 1998.
- [3] A. Miller, Implementing IPv6, M&T Books, 2000.
- [4] J. Bound, et al., "Dual Stack Transition Mechanism (DSTM)," IETF draft-ietf-ngtrans-dstm-08, June 2002.
- [5] 이승민, 진재경, 민상원, "IPv4/IPv6 프로토콜 및 주소 변환 기능의 요소기술 분석 및 설계", 정보과학회논문지: 정보통신, 제30권 제1호, pp.117~125, 2003.
- [6] R. Gilligan and E. Nordmark, "Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers," IETF RFC 2893, August 2000.
- [7] G. Tsirtsis and P. Srisuresh, "Network Address Translation Protocol Translation (NAT-PT)," IETF RFC 2766, February 2000.
- [8] B. Carpenter and K. Moore, "Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds," IETF RFC 3056, February 2001.
- [9] D. Lee, et al, "The Next Generation of the Internet: Aspects of the Internet Protocol Version 6," IEEE Network Magazine, vol. 12, no. 1, February 1998.
- [10] A. Conta, et al., "Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification," IETF RFC 2473, December 1998.
- [11] 이승민, 민상원, 이숙영, 신명기, 김용진, "IPv6망에서 DSTM을 이용한 IPv4 서비스 제공방안", 한국정보과학회 하계종합학술대회, 제28권 2호, pp. 535-537, 2001.

- [12] J. Bound et al., "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)," IETF draft-ietf-dhc-dhcpv6-18, April 2001.
- [13] W. Stevens, TCP/IP Illustrated, The Protocols, Addison-Wesley, 1994.
- [14] W. Stevens, Advanced Programming in the UNIX Environment, Addison-Wesley, 1992.
- [15] W. Stevens, Unix Network Programming, Prentice-Hall, 1999.



진재경

2001년 2월 광운대학교 전자공학부 학사
 2003년 2월 광운대학교 전자통신공학과 석사. 2003년 1월~현재 모다정보통신
 관심분야는 IPv6 Mobile IP, 이동통신망,
 Linux



최영지

1994년 3월~2002년 2월 광운대학교 전
 자공학부 학사. 2002년 2월~현재 광운
 대학교 전자통신공학과 석사과정 재학
 중. 관심분야는 IPv6, Mobile IP, 이동통
 신망, 4G



민상원

1988년 2월 광운대학교 전자통신공학과
 학사. 1990년 2월 한국과학기술원 전기
 및 전자공학과 석사. 1996년 2월 한국과
 학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1990
 년~1999년 3월 LG 정보통신 연구원
 1999년 3월~현재 광운대학교 전자공학
 부 조교수. 관심분야는 유무선 통신망, IPv6, NGN 등