ATM 망 기반의 이동 IP 망에서 NHRP를 이용한 종단간 전달 지연시간 감소방안에 關한 硏究

慶州大學校 大學院

컴퓨터전자工學科

李 暻 勳

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

指導敎授 卞 兌 榮

2003年 7月

李 暻 勳의 碩士學位論文을 認准함

審査委員 인

審査委員 인

審査委員 인

慶州大學校大學院

2003年 7月

<목 차>

<표 차례>

<그림 차례>

1. 서론

무선 인터넷이나, 이동 컴퓨팅 장비에서의 인터넷 접속 서비스는 더 이상 낯설거나 어색한 단어가 아니듯, 현재 정보통신 기술의 가장 큰 변화는 유선 환경에서 무선 환경으로의 변화이다.

이동 컴퓨팅 장비의 소형화, 경량화, 이동성의 편리로 인해 단말의 보급과 사용자 층이 폭발적으로 증가하고 있다. 이에 발 맞추어 이제는 단순한 무선 인터넷 접속만이 아닌 고정 사용자에게 제공되었던 폭 넓은 사용환경까지도 이동 컴퓨팅 장비에 요구된다.

즉, 고정식 사용자에게 제공되었던 양질의 서비스와 품질, 폭 넓은 사용환경을 이동식 사용자들도 동일하게 서비스 받기를 원하고 있는 것이다.

일찍이 IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 이동하는 단말에 IP의 이동성을 지원하기 위해 이동 IP(Mobile IP)를 제안하였다.

LAN 기반 망에서 동작하는 IP의 패킷 전달 서비스는 최선노력(best-effort)으로 서비스된다.[1] 이러한 최선노력 서비스로는 최근의 다양하고 폭 넓은 서비스를 요구하는 이동 컴퓨팅 장비에 충분한 서비스 만족을 시켜줄 수 없다. LAN 기반 망에서 데이터의 전달이 종단간에 이루어질 때 이 둘 간에 존재하는 라우터가 사용하는 데이터 전달 기법이 저장 후 전달(store and forward)이라는 방식을 사용하기 때문이다[1]. 이러한 패킷 전달 시 발생하는 낮은 데이터 전송률과 높은 에러율을 보완하기 위해 고속성과 광대역을 사용하는 ATM(Asynchronous Transfer Mode), SDH(Synchronous Digital Hierarchy), WDM(Wavelength Division Multiplexing) 등의 기술들이 생겨났다[2][3][4]. 하지만 이렇게 개발된 망과 기존의 LAN 기반 인터넷 망과의 연동(internetworking)에 있어 각 망들의 기술적인 특성이 서로 많이 다르다. 이로 인해 개발된 망들이 가지는 우수한 특성을 제대로 살리지 못하고, 자연스런 연동에도 많은 문제점들이 지적되었다. IPOA(IP over ATM), IPOS(IP over SDM), LAN-Emulation,

MPOA(Multiprotocol over ATM), NHRP(Next Hop Resolution Protocol) 및 최근에 기술되고 있는 MPLS(Multiprotocol Label Switching)등의 기술들은 앞서 지적된 문제점들을 해결하기 위한 방안들이다[5][6][7][8][9].

본 논문에서는 이질적인 망간의 연동기술 중 하나인 NHRP[7]를 사용하여 종단간 패킷 전송 구간 중 ATM 기반 인터넷 망에서의 일부구간에 단거리 터널링(short-cut tunneling)경로 설정을 제안한다. 그리고 이 설정된 경로로 패킷을 전달할 경우의 패킷 전달 지연시간을 일반적인 IP 라우팅으로 전달할 경우와의 수학적 분석 및 모의실험을 통해서 비교 분석하고자 한다. 아울러 이동 IPv4에서 발생하는 삼각 라우팅 문제를 자체적으로 해결한 IPv6를 사용하여 최적경로 IP 라우팅 경로를 통하여 패킷을 전달할 경우도 포함시켰다[10][11].

본 논문의 구성을 살펴보면 다음의 2장에서는 기존 연구로서 이동 IP, NHRP의 구성과 동작구조에 대한 설명을 기술하였다. 3장에서는 기존 IP 라우팅 경로와 제안된 경로로 패킷을 전달할 경우의 지연시간 비교를 위한 수학적 분석을 기술하였다. 4장에서는 제안된 방안에 대한 모의실험 모델과 환경 및 결과를 나타내었고, 마지막으로 5장에서는 결론을 기술하였다.

2. 기존 연구

2.1 이동 IP(Mobile IP)

인터넷에서의 IP주소는 구조적으로 네트워크를 나타내는 부분과 호스트를 지정하는 부분으로 나뉘어진다. 전자의 네트워크를 나타내는 부분을 'subnet prefix' 라고 한다. 라우팅은 수신호스트의 IP 주소로부터 subnet prefix를 확인하여 해당 네트워크로 보내진 후, 목적지의 수신 호스트에 전달되는 과정으로 이루어진다. 이 IP 주소는 네트워크상에 고정된 지점에 부여된다.

이때 패킷을 받을 목적지가 이동 노드라면, 이동 노드가 최초 등록되어있던 서브넷을 벗어나 외부의 서브넷으로 이동함에 따라 기존의 연결을 유지하고 전달되는 패킷을 손실 없이 받기 위하여 새로운 IP를 매번 부여 받아야 한다. 이런 노드의 이동성을 체계적으로 지원하기 위하여 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 이동 IP라는 프로토콜을 1996년에 제안하였다.

이동 IP는 전송 계층의 연결 유지와 IP 계층의 올바른 라우팅 문제를 해결하기 위해 2개의 IP 주소를 가진다. 한 주소는 HA로부터 부여 받은 고유의 고정된 IP 주소이다. 다른 한 주소는 COA(Care of Address)로서 새로운 연결 지점마다 획득하여 실제적인 위치를 반영하는 주소로 사용된다. 자신의 이동 위치 및 등록 정보를 포함하는 이 COA 주소를 외부 에이전트나 홈 에이전트에게 통보함으로서 연결을 유지할 수 있다.

이동 IP의 구성요소는 이동노드(Mobile Node), 대응노드(Correspondent Node)가 있다. 그리고 홈 에이전트(Home Agent), 외부 에이전트(Foreign Agent)로 분류된다.

2.1.1 이동 IP의 구성요소

앞서 소개한 것처럼 이동 IP는 MN, CN, HA, FA로 구성된다.

- MN(Mobile Node): MN은 이동 노드라 하여 이동하는 단말들을 총칭하며, 자신의 고유 IP 주소는 유지한 채, 접속 서브넷의 위치에 따라 IP 주소를 새로 획득한다.
- HA(Home Agent): HA는 MN이 소속한 서브넷의 라우팅을 담당하는 라우터 또는 호스트이다.

  HA는 MN이 자신의 서브넷을 벗어나 외부 서브넷에 접속하였을 경우 MN이 획득한 COA(Care of Address)주소와 MN의 고유주소 모두를 가지고 있다. HA는 MN의 COA주소를 관리함으로써, MN으로 향하는 패킷을 'redirection'하여 패킷을 전달한다. redirection은 MN에게 전달되기 위해 최초 HA로 전송되어온 패킷을 새로운 목적지인 MN의 COA 주소로 바꾸는 작업을 말한다 [12].

  HA는 redirection을 위해서 이동 노드를 목적지로 하는 원래의 IP 패킷을 이동 노드의 COA로 전송하기 위해, 원래의 패킷을 감싸는 새로운 IP 패킷 헤더를 생성한다(캡슐화). 캡슐화 된 패킷은 COA까지 라우팅 되는 동안 이 패킷을 처리하는 라우터들에게는 아무런 영향을 주지 못하게 된다. 이와 같이 원래의 패킷을 새로운 패킷속에 감싸져서, 캡슐화 된 패킷이 유효한 동안의 전송을 터널링(tunneling)이라 한다.

  이러한 과정을 계속 거침으로서 HA는 MN의 현재 위치를 계속적으로 파악하여 패킷을 전달한다.
- FA(Foreign Agent): FA는 HA와는 상반된다. MN이 이동한 외부 서브넷의 라우팅을 담당하는 라우터 또는 호스트이다.

  FA는 HA로부터 터널링 되어온 패킷을 디 터널링(De-tunneling, 또는 역 캡슐화)하여 MN에게 내보내는 역할을 한다. FA는 MN의 등록을 유도하기 위해 주기적인 광고(Advertisement)메시지를 발송한다. MN이 등록하고 취득한 COA 주소를 HA에게 전송한다.

2.1.2 이동 IP의 동작구조

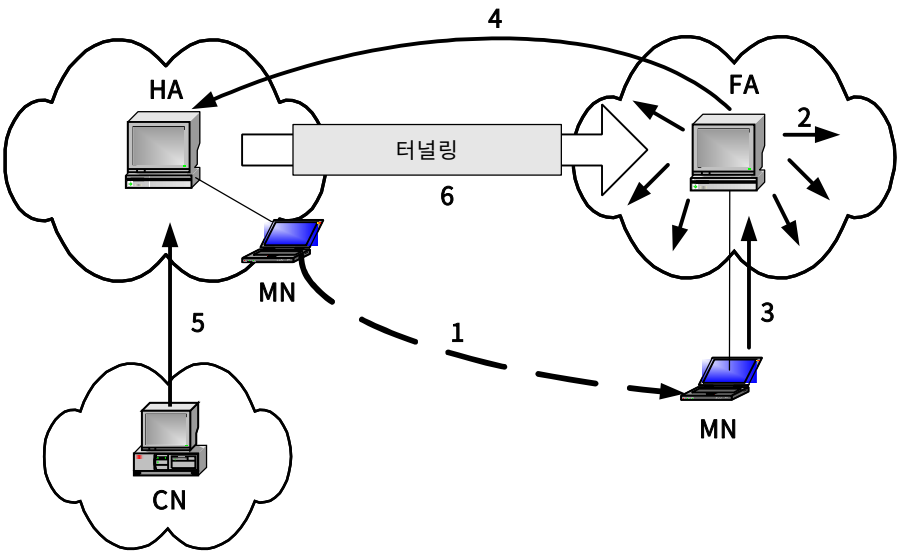


그림 1. 이동 IP의 동작구조

그림 1은 이동 IP의 동작구조를 나타내고 있다.

이동 IP의 동작구조는 크게 세가지 분리된 절차로 구분하여 나타낼 수 있다.

- COA 발견절차
- COA 등록절차
- COA로 터널링 하는 절차

(1) COA 발견절차

그림 1에서 1~2의 동작구조로 설명된다. HA에 속해있던 MN이 FA로 이동을 하였다(동작 1). 이때 FA는 자신의 네트워크에 광고 메시지를 주기적으로 보내어 자신의 존재를 알린다(동작 2). 외부 네트워크로 이동한 MN은 이 광고 메시지를 접함으로써 자신이 HA를 벗어나 FA로 이동하였음을 인지한다. 그리고 그 네트워크의 COA를 얻는다.

(2) COA 등록절차

MN은 FA가 발송하는 광고 메시지를 접함으로써 자신이 HA를 벗어나 외부 네트워크로 이동하였음을 인지하고 FA에 등록을 하게 된다(동작 3). 그리고 FA로부터 COA주소를 획득하게 되는데, 여기에는 FA COA와 co-located COA의 두 가지 주소가 존재한다. 전자는 FA를 통해 획득한 COA 주소로, FA가 HA에게 MN의 COA 주소를 직접 전송한다(동작 4). Co-located 주소는 FA를 통하지 않고 MN이 스스로 획득하여 HA에게 직접 보낸다. MN가 이동한 후 획득한 COA 주소를 HA에게 전송함으로써 HA는 MN의 이동사실을 확인하고 자신의 바인딩 리스트에 MN의 COA 주소를 갱신한다. 이로서 등록절차는 끝이 난다.

(3) COA로 터널링 하는 절차

MN의 이동 사실을 알지 못하는 상대노드 CN은 패킷을 최초 HA에게 전송한다(동작 5). 이 패킷을 받은 HA는 자신의 바인딩 리스트를 조회하여 MN의 이동 사실을 확인한다. 그리고 패킷을 캡슐화하고 FA까지 터널링으로 전송한다(동작 6).

2.1.3 이동 IP의 삼각라우팅(triangle routing)문제

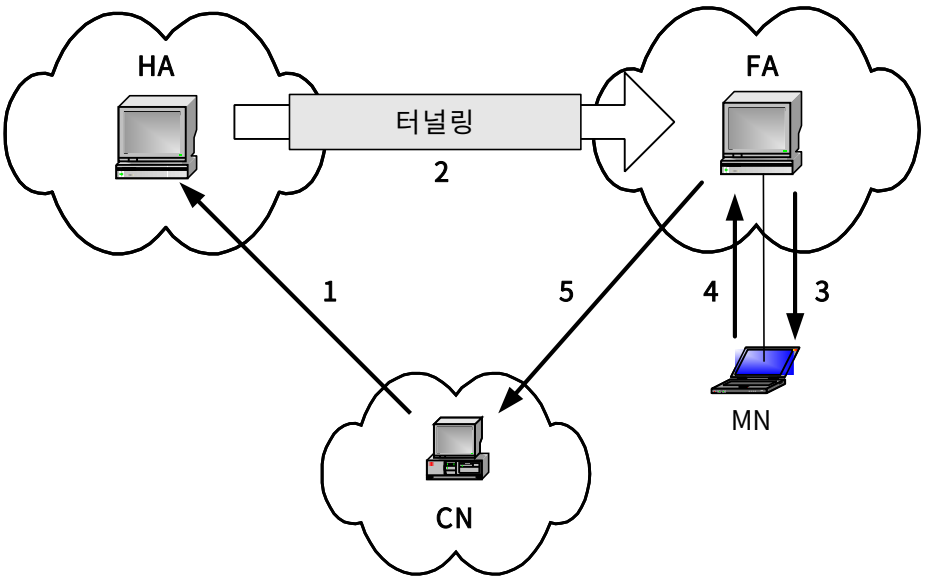


그림 2. 삼각라우팅 문제

CN에서 MN으로 패킷을 전송할 때 항상 HA를 거쳐 전달되어야 하는 문제가 발생한다(동작 1~3). 이 문제를 삼각라우팅 문제라 한다. 이는 CN이 MN의 이동 정보를 알지 못하므로 항상 HA에게 패킷을 보내어 HA가 패킷에 캡슐화를 하고 터널링 구간으로 MN에게 전달하기 때문이다. 역으로 MN이 CN에게 패킷을 전달할 때는 CN이 최초 보낸 패킷 속에 CN 자신의 주소 정보가 포함되어 있으므로 MN은 CN의 주소를 확인하고 HA를 거치치 않고 직접 전달하게 된다(동작 4~5).

이러한 삼각라우팅 문제 해결 대안으로는 바인딩 캐쉬(binding cache), smooth handoff, 등이 제안되어 있다[13]. 하지만 아직 draft 수준에 머물러있다.

2.1.4 경로 최적화(Route Optimization)

지금까지 설명한 삼각라우팅 문제는 이동 IPv4에서 나타나는 문제이다. 32Bit로 이루어진 IPv4에서의 주소 고갈문제를 해결하기 위해 제안된 IPv6에서는 자체적으로 삼각라우팅 문제의 해결 방안을 포함하고 있다.

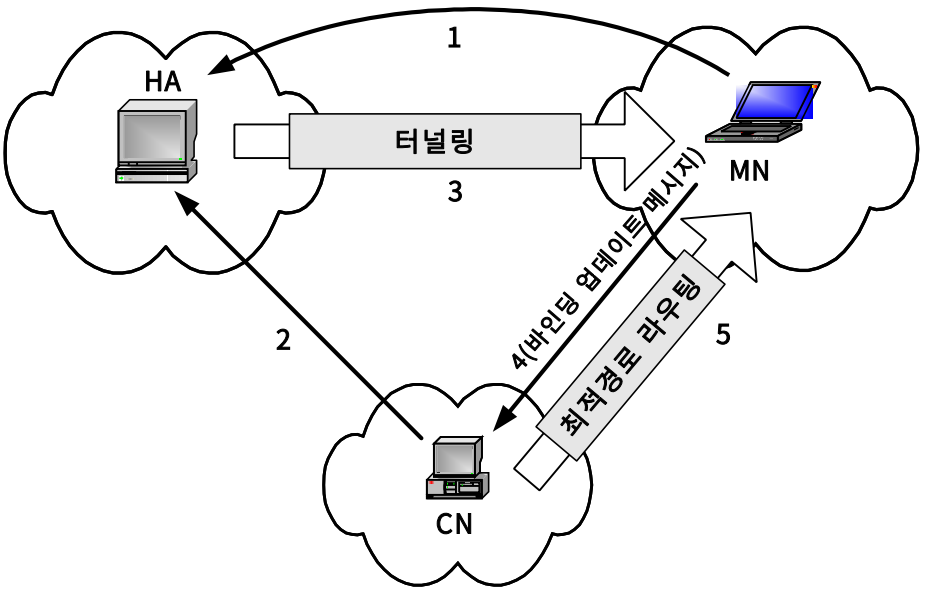


그림 3. 최적경로 IP 라우팅

그림 3은 이동 IPv6에서 삼각라우팅 문제를 “바인딩 업데이트”라는 메시지를 사용하여 해결한 그림을 나타내고 있다.

MN이 HA를 벗어나 외부 망으로 이동하였다. 이동한 후 MN은 획득한 COA주소를 IPv6 프로토콜의 기본 동작에 의해 획득하고, COA 주소를 HA에게 직접 알려준다(동작 1).

CN이 MN에게 전달할 패킷을 HA에게 전송한다(동작 2). 이때 IPv6에서 IPv4와 마찬가지의 동작으로 HA는 CN으로부터 패킷을 전

달 받자마자 자신의 바인딩 리스트를 검색한다. 그리고 IPv6에서는 FA가 존재하지 않으므로 MN의 COA주소에 따라 패킷을 캡슐화하여 터널링 구간으로 직접 패킷을 전송한다(동작 3). MN은 CN으로부터 발송된 패킷을 수신한 후, 바인딩 업데이트 메시지에 자신의 COA 주소를 실어 CN에게 직접 전달한다(동작 4). 이후 패킷부터는 HA를 거치지 않고 CN과 MN이 직접 패킷을 주고 받음으로써 삼각 라우팅 문제를 해결하였다.

2.2 NHRP

LAN 망에서의 IP는 비연결 패킷을 사용하는 반면 ATM 망에서는 연결 지향 셀을 사용한다. 따라서 LAN 기반 하에서의 IP는 방송(broadcast)을 하지만, ATM 은 점 대 점(Point-to-point) 연결방식을 사용하므로 LAN망과 ATM망에서의 패킷 전달은 근본적으로 차이가 있다. 그러므로 ATM을 통해 종단간에 패킷을 전달하기 위해서는 IP와 ATM 주소를 매핑하는 과정이 필요하다.

IEEE가 표준화한 IPOA(Classical IP over ATM)에서는 ATMARP서버라 불리는 주소해석 서버를 사용하여 목적지의 IP 주소를 ATM 주소로 변환시켜주었다. 그러나 이 IPOA에서는 동일한 LIS 내에서만 VC(Virtual Connection)연결을 설정하여 IP패킷 전송이 지원가능하고 LIS밖에 있는 목적지로 패킷을 보낼 때는 VC 연결을 중단하고 반드시 IP 라우터를 거쳐 새로운 VC연결을 통해서만 전송이 가능하였다. 이러한 단점을 극복하기 위해 NHRP(Next Hop Routing protocol)를 표준화 하였다.

2.2.1 NHRP의 구성요소

- LIS (Logical IP Subnet): ATM망은 여러 개의 LIS로 구성되어 있는데, 이는 논리적으로 하나의 ATM망을 서브넷화 한 것 중의 하나이다.
- NHS(Next Hop Server): ATM망 내의 각 LIS내에 존재한다. ATM VC를 설정하기 위해 NHRP 메시지를 통하여 목적지 노드의 ATM 주소를 요청하고 또한, 요청 받은 IP주소를 ATM주소로 변환시키는 역할을 담당한다. 일반적으로 경계라우터(ATM Edge Router)가 그 기능을 수행하지만 별도의 서버를 두어 운용할 수도 있다.
- NHC(Next Hop Client): NHS에게 주소해석 서비스를 요청하며 NHRP 클라이언트라고도 한다. IP 호스트가 일반적으로 수행하지

만 라우터가 대신할 수도 있다.

- NHRP Request Message: NHC가 NHS에게 주소해석 요청 서비스를 요구할 때 보내는 메시지이다.
- NHRP Reply Message: NHC로부터 받은 주소해석 요청 서비스에 대한 응답 메시지로써, 변환된 ATM 주소를 포함하고 있다.

2.2.2 NHRP의 동작구조

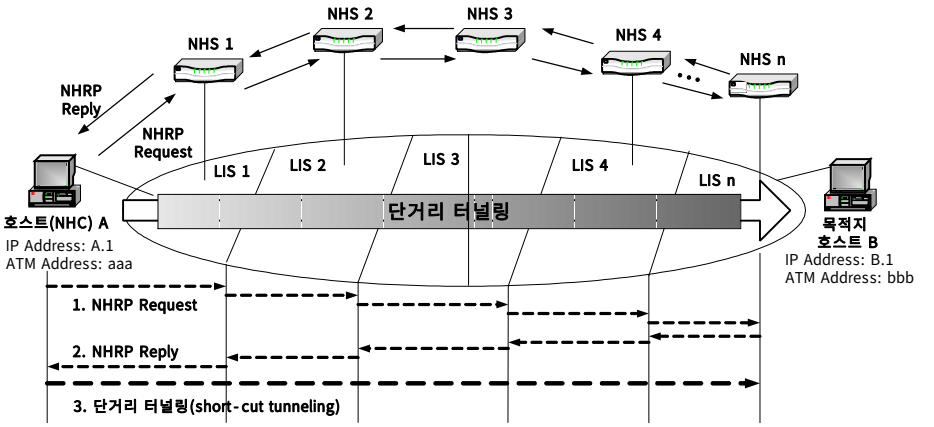


그림 4. NHRP 동작구조

최초 연결을 설정하고자 하는 호스트(HNC, A)의 IP 주소는 A.1이고 ATM 주소는 aaa이다. 목적지 호스트(B)의 IP 주소는 B.1이고 ATM 주소는 bbb이다. ATM 망 내에서 ATM VC 연결을 위해서는 연결하고자 하는 목적지 호스트의 ATM 주소를 알고 있어야 한다.

호스트 A는 목적지 B의 IP 주소는 알고 있지만, ATM 주소는 알지 못한다. A는 B의 ATM 주소를 획득하기 위해 자신의 LIS 1에 존재하는 NHS 1에게 ATM 주소 요청 메시지를 NHRP Request 메시지에 실어 보낸다. 이 메시지를 받은 NHS 1은 자신의 캐쉬 테이블을 확인한다. B가 LIS 1에 속해 있다면 NHS 1은 B의 ATM 주소를 NHRP Reply 메시지에 실어 호스트 A에게 보낼 것이다. 하지만 B가 LIS 1에 속해 있지 않으므로 NHS 1은 B의 ATM 주소를 알지 못한다. 그래서 NHS 1은 이웃한 NHS 2에게 NHRP Request 메시지를 보낸다.

이렇게 전달된 NHRP Request 메시지는 B의 ATM 주소를 가지고 있는 NHS n에게 까지 전달된다. 이 메시지를 받은 NHS n은 자신의 영역에 B가 있음을 확인하고 적절한 주소변환 작업을 거친 뒤 NHRP Reply 메시지에 실어 역으로 보낸다.

역으로 전달 되어온 NHRP Reply 메시지에 실린 B의 ATM 주소를 확인한 A는 B로 ATM VC 연결을 설정한다. 이후 패킷은 ATM 연결 설정이 이루어진 ATM VC를 통하여 전달된다. 이렇게 설정된 전달 경로를 단거리 터널링(short-cut tunneling)경로라 한다.

3. 수학적 분석

이동 IP의 구성 요소들(CN, HA, FA, MN)은 LAN 기반 망과 ATM 기반 망 사이에서 다양하게 존재할 수 있다. 그러나 최적경로 IP 라우팅 설정과 NHRP를 구동하여 설정된 단거리 터널링 경로를 통한 패킷 전달을 효과적으로 수행하기 위해서는 이동 IP의 구성 요소들이 CN, HA, FA, MN의 나열한 순서대로 존재한다는 가정을 전제로 수학적 분석을 하였다.

표 1. 제안된 방안의 적용 가능한 경우

구성요소 / 시나리오	CN위치	HA 위치	FA 위치	MN 위치
1	LAN	LAN	ATM	ATM
2	LAN	ATM	ATM	ATM
3	ATM	LAN	ATM	ATM
4	ATM	ATM	ATM	ATM

표 1은 이동 IP의 구성 요소들이 LAN 기반 망과 ATM 기반 망에서 존재할 때 최적경로 IP 라우팅과 단거리 터널링 설정이 가능한 경우를 시나리오 별로 나누어 정리한 것이다. FA와 MN은 항상 ATM 망 내에 존재를 하고, CN과 HA가 LAN 기반 인터넷 망과 ATM 기반 인터넷 망 사이에서 존재를 한다.

이후, 소개하는 모든 시나리오 별 그림들은 MN이 HA를 벗어나 FA의 네트워크로 이동하였고, FA로부터 획득한 COA주소를 HA가 자신의 캐쉬 테이블에 갱신한 이후의 상태임을 염두에 두고 전개하였다. 그리고 IPv6의 바인딩 업데이트 메시지에 의해 CN은 MN의 COA주소를 획득하여 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달하는 과정도 수학적으로 나타내었다.

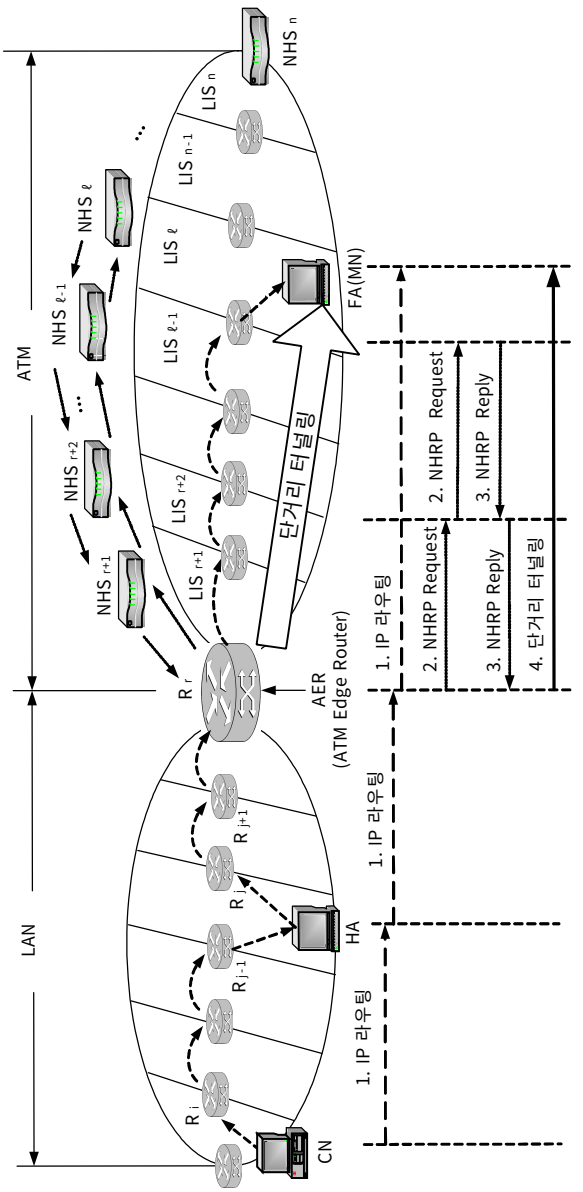
표 2. 수식에 사용된 기호의 정의

기 호	의 미
$L_{R_i,R_j}^{LAN(ATM)}$	LAN(ATM)망에서의 라우터(노드)i에서 j까지의 링크 전달 지연시간
$R_{R_i}^{LAN(ATM)}$	LAN(ATM)망에서의 라우터 R_i 의패킷 처리시간
$S_{a,b}^{setup}$	노드 a에서 노드 b로의 ATM SVC 연결설정시간
$ND_{i,j}^{SVC,request}$	ATM망에서 NHS_i에서 NHS_j로의 NHRP-Request 메시지 전달 지연시간
$ND_{i,j}^{SVC,reply}$	ATM망에서 NHS_i에서 NHS_j로의 NHRP-Reply 메시지 전달 지연시간
$ND_{i,j}^{SVC,total}$	ATM망에서 NHS_i에서 NHS_j사이에 주소해석을 위한 총 지연시간
$N_{NHS_s}^{request}$	ATM망에서 NHS_s의 NHRP-Request 메시지 처리시간
$N_{NHS_s}^{reply}$	ATM망에서 NHS_s의 NHRP-Reply 메시지의 처리시간
LIS_s	ATM망에서 LIS_s 내부의 패킷 전달 지연시간
$a_{i,j}$	i번째 LIS내부의 j번째 스위치 링크의 전달지연시간
$S_{i,j}$	i번째 LIS내부의 j번째 스위칭 하는데 걸리는 시간
$D_{a,b}^{시나리오\#}$	시나리오# 환경에서 노드 a에서 노드 b로의 데이터 전달 지연시간
$R_{HA}^{LAN(ATM)}$	HA의 패킷 처리 지연시간

본 논문에서 수학적으로 표현하는데 있어 사용된 기호들의 정의를 표 2에 나타내었다. 종단간 패킷을 전달하는데 표현된 시간들은 LAN 망 내에서는 링크간 전달 지연시간과 라우터들의 처리시간으로 나타낼 수 있다. ATM 망 내에서는 NHRP Request 메시지와 Reply 메시지 전달 지연시간과 NHS에서의 메시지 처리시간, 그리고 ATM SVC연결설정 시간으로 나타내어 진다. 그리고 ATM 망 내의 서브네트워크인 LIS내에서의 각 스위치간 링크 전달 지연시간과 스위칭하는데 걸리는 시간도 포함된다.

3.1 시나리오 1

3.1.1 동작



시나리오 1은 CN과 HA는 LAN 망 내에 FA와 MN은 ATM 망 내에 존재하는 경우이다. 패킷이 전달되는 순서를 살펴보면 일반적인 IP 라우팅 기법에서는 CN에서 HA로 그리고, 이질적인 두 망 사이에 존재하는 AER(ATM Edge Router)까지 패킷을 전달한다. AER은 LAN 기반 인터넷 망과 ATM 기반 인터넷 망의 자연스런 연동을 위해 두 망의 인터페이스 모두를 가지며 ATM 망의 진입점에 존재한다. AER 이후 ATM 기반 인터넷 망에서는 MN의 ATM 주소 정보를 알지 못한다. 따라서 AER이 NHC가 되어 NHRP를 구동하고, 획득한 목적지 MN의 ATM 주소로 단거리 터널링 경로를 설정한다. 패킷 전달은 일반적인 IP 라우팅 기법으로 FA를 거쳐 MN에 전달된다.

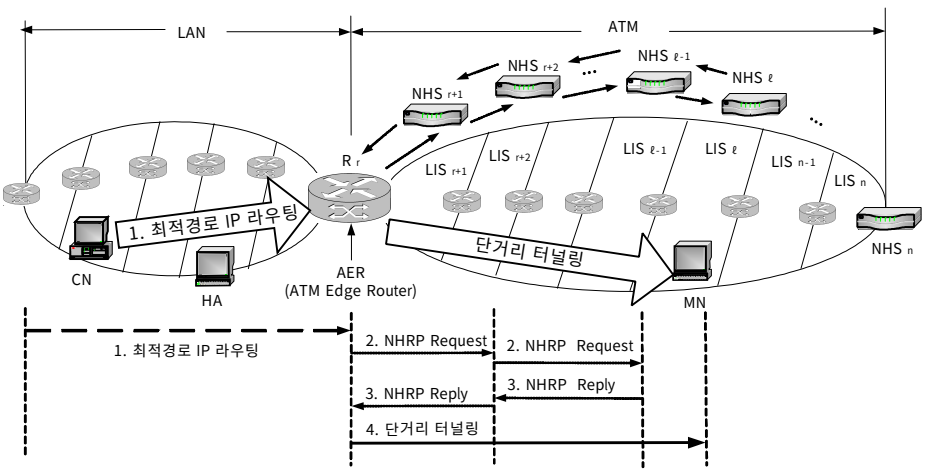


그림 6. 시나리오 1에서의 최적경로 IP 라우팅

그림 6은 LAN 기반 인터넷 망에서는 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달한 후 ATM 기반 인터넷 망에서는 NHRP를 구동하여 설정된 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달하는 경우를 나타내고 있다.

최적경로 IP 라우팅은 IPv6의 동작에 의해 CN이 MN의 COA 주소를 획득하여 HA를 거치지 않고 직접 패킷을 전달한다. 그러므로 LAN 망에서 HA를 거치지 않고 ATM 망의 진입점에 존재하는

AER(R_r)까지 패킷을 전달한다(동작 1). AER에 도착한 패킷은 MN의 목적지 주소로 패킷을 전달하고자 하지만 MN의 ATM 주소를 알지 못하므로 NHRP를 이용한다. AER이 NHC가 되어 이웃한 NHS_{r+1} 에게 NHRP Request 메시지를 보낸다(동작 2). MN의 ATM 주소 정보를 가진 NHS_ℓ 에 NHRP Request 메시지가 도착하면 NHS_ℓ 은 MN의 IP 주소를 ATM 주소로 변환하여 NHRP Reply 메시지에 실어 역으로 보낸다(동작 3). MN의 ATM 주소 정보가 담긴 NHRP Reply 메시지를 받은 AER은 MN까지 SVC 연결 설정으로 단거리 터널링 경로를 설정하고 이후 패킷부터는 설정된 단거리 터널링 경로로 전달한다(동작 4). 그림에서 사용된 변수 i, j, r, ℓ 은 다음의 조건 $1 \le i \le j \le r \le \ell \le n$ 을 만족하며 반복된다.

그림 7. ATM 망에서의 LIS_s 내부 구성도, $m_s = 5$

그림 7은 ATM 망 내의 서브네트워크인 LIS_s 의 내부를 나타내고 있다. LIS 내에 여러 개의 스위치가 존재하는데 그 수는 다양하다.

m_s는 LIS_s 내에 놓여져 있는 ATM 스위치 들의 개수이다. 여기에서 단거리 터널링 경로에 사용되는 스위치는 굵은 선으로 표현하였다. 수학적 분석을 행함에 있어 LIS_s 내의 스위치 링크간 전달 지연시간과 연결 설정시간, 그리고 스위치의 패킷 처리시간으로 표현을 하였다.

3.1.2 수학적 분석

수식 전개는 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달할 경우의 지연시간을 먼저 나타내었다. → 는 패킷 전달이 왼쪽에서 오른쪽으로 이동함을 의미한다. 그리고 목적지 MN의 ATM 주소 획득을 위한 NRRP 구동 시간은 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달할 경우와 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달하는 두 가지 경우 모두 동일하게 적용된다.

① 일반적인 IP 라우팅 경로를 이용한 패킷 전달 지연시간

ß CN → HA로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{CN,HA}^{\text{시나리오1}} = L_{CN,R_i}^{LAN} + R_{R_i}^{LAN} + \sum_{k=i}^{j-2}\{L_{k,k+1}^{LAN} + R_{k+1}^{LAN}\} + L_{R_{j-1},HA}^{LAN} + R_{HA}^{LAN} \quad (1)$$

ß HA → AER로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{HA,AER}^{\text{시나리요}} = L_{HA,R_j}^{LAN} + R_{R_j}^{LAN} + \sum_{k=j}^{r-1}\{L_{k,k+1}^{LAN} + R_{k+1}^{LAN}\} \quad (2)$$

ß AER → MN으로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{AER,FA}^{\text{시나리오1}} = \sum_{k=r}^{a-2}\{L_{k,k+1}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + L_{R_{a-1},FA}^{ATM} + L_{FA,MN}^{ATM} \quad (3)$$

② 최적경로 IP 라우팅 경로를 이용한 패킷 전달 지연시간

ß CN → AER로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{CN,AER}^{\text{시나리오1}} = L_{CN,R_i}^{LAN} + R_{R_i}^{LAN} + \sum_{k=i}^{r-1}\{L_{k,k+1}^{LAN} + R_{k+1}^{LAN}\} \quad (4)$$

다음의 수식은 ATM 망 내에서 NHRP 구동 시간과 설정된 단거리 터널링 경로를 이용하여 패킷을 전달할 경우의 지연시간을 나타내고있다.

③ NHRP를 이용한 주소해석 지연시간

$$ND_{r,a}^{SVC,request} = S_{R_r,NHS_{r+1}}^{setup} + \sum_{s=r+1}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + \sum_{s=r+1}^{a}\{\sum_{k=1}^{n_s}(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=r+1}^{a} N_{NHS_s}^{request} \quad (5)$$

$$ND_{r,a}^{SVC,reply} = \sum_{s=r+1}^{a-1} S_{NHS_{s+1},NHS_s}^{setup} + \sum_{s=r+1}^{a}\{\sum_{k=1}^{n_s}(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=r+1}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + S_{NHS_{r+1},R_r}^{setup} \quad (6)$$

$$ND_{r,a}^{SVC,total} = ND_{r,a}^{SVC,request} + ND_{r,a}^{SVC,reply} =$$

$$2\sum_{s=r+1}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + 2\sum_{s=r+1}^{a}\{\sum_{k=1}^{n_s}(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=r+1}^{a} N_{NHS_s}^{request} + \sum_{s=r+1}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + 2S_{R_r,NHS_{r+1}}^{setup} \quad (7)$$

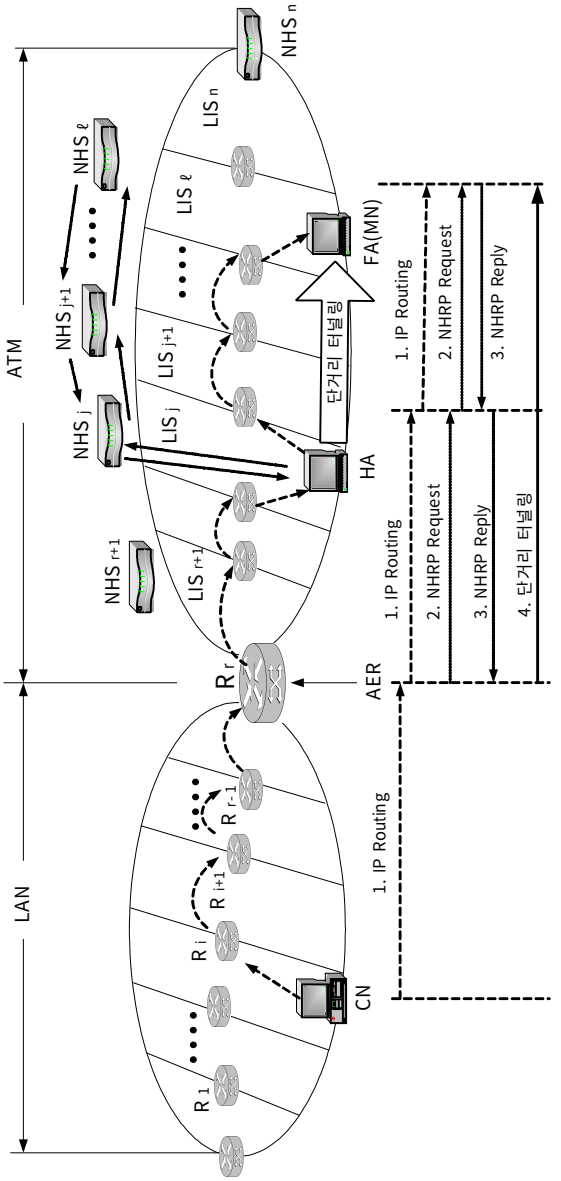
④ 단거리 터널링 경로를 통한 패킷 전달 지연시간

$$\overline{D}_{AER,FA} = S_{AER,FA}^{setup} + \sum_{s=r+1}^{a} LIS_s + L_{FA,MN}^{ATM} \quad (8)$$

$$LIS_s = \sum_{k=1}^{m_s}(a_{s,k} + s_{s,k}) \quad (9)$$

3.2 시나리오 2

3.2.1 동작



시나리오 2는 CN만 LAN 망 내에 존재하고 HA, FA, MN은 ATM 망 내에 존재하는 경우이다. CN에서 ATM 망의 진입점에 존재하는 AER을 거쳐 HA까지 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달한다. 그리고 HA는 MN의 IP주소만을 가지고 있으므로 ATM 주소 획득을 위하여 NHRP를 구동한다. 이후 획득한 MN의 ATM 주소로서 단거리 터널링 경로를 설정하고 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달한다.

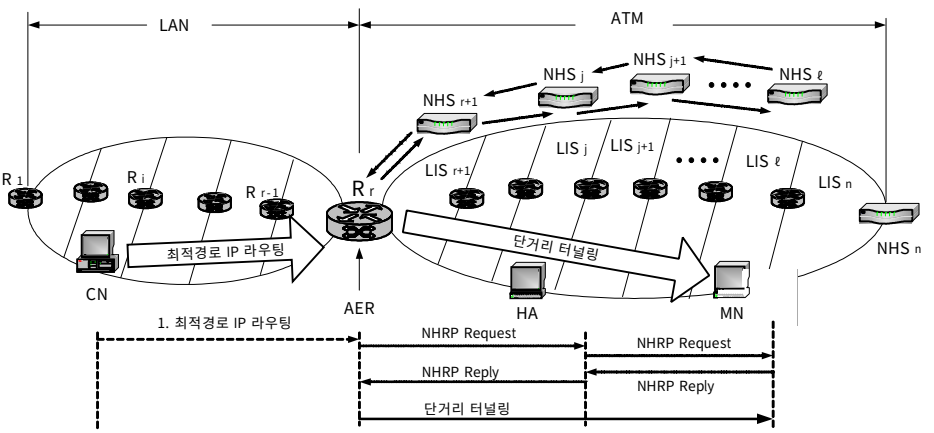


그림 9. 시나리오 2에서의 최적경로 IP 라우팅

최적경로 IP 라우팅 경로로 패킷을 전달할 때 먼저, CN은 AER까지 터널링 구간으로 패킷을 전달한다. 그리고 HA가 ATM 망 내에 존재하므로 일반적인 IP 라우팅은 HA를 거쳐 MN에게 전달된다. 하지만 최적경로 IP 라우팅은 AER에서 NHRP를 구동하여 설정된 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달함으로써 HA를 거치지 않고 MN에게 전달된다. ATM 망 내에서의 동작 과정은 시나리오 1과 동일하게 AER이 NHC가 되어 NHRP Request, NHRP Reply 메시지로서 단거리 터널링 경로를 설정하고 패킷을 전달한다. 다음의 NHRP 주소해석 지연시간은 HA가 NHC가 되어 NHRP를 구동하였을 경우의 전달 지연 시간을 나타낸다.

3.2.2 수학적 분석

① 일반적인 IP 라우팅 경로를 이용한 패킷 전달 지연시간

ß CN → AER로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{CN,AER}^{\text{시나리오2}} = L_{CN,R_i}^{LAN} + R_{R_i}^{LAN} + \sum_{k=i}^{r-1}\{L_{k,k+1}^{LAN} + R_{k+1}^{LAN}\} \quad (10)$$

ß AER → HA로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{AER,HA}^{\text{시나리오2}} = \sum_{k=r}^{j-2}\{L_{k,k+1}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + L_{R_{j-1},HA}^{ATM} + R_{HA}^{ATM} \quad (11)$$

ß HA → MN의로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{HA,FA}^{\text{시나리오2}} = L_{HA,R_j}^{ATM} + R_{R_i}^{ATM} + \sum_{k=j+1}^{a-2}\{L_{k,k+1}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + L_{R_{a-1},FA}^{ATM} + L_{FA,MN}^{ATM} \quad (12)$$

② 최적경로 IP 라우팅 경로를 이용한 패킷 전달지연시간

$$D_{CN,AER}^{\text{시나리오2}} = L_{CN,R_i}^{LAN} + R_{R_i}^{LAN} + \sum_{k=i}^{r-1}\{L_{k,k+1}^{LAN} + R_{k+1}^{LAN}\} \quad (13)$$

다음의 식(14) ~ (16)은 일반적인 IP 라우팅 경로로 패킷을 전달할 경우 NHRP의 구동시간을 나타낸다. 최적경로 IP 라우팅을 적용할 경우의 NHRP 구동시간은 식(5) ~ (7)과 동일하다.

③ NHRP를 이용한 주소해석 지연시간

$$ND_{j,a}^{SVC,request} = S_{HA,NHS_j}^{setup} + \sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + \sum_{s=j}^{a}\sum_{k=1}^{n_s}\{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a} N_{NHS_s}^{request} \quad (14)$$

$$ND_{j,a}^{SVC,reply} = \sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_{s+1},NHS_s}^{setup} + \sum_{s=j}^{a}\sum_{k=1}^{n_s}\{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + S_{NHS_j,HA}^{setup} \quad (15)$$

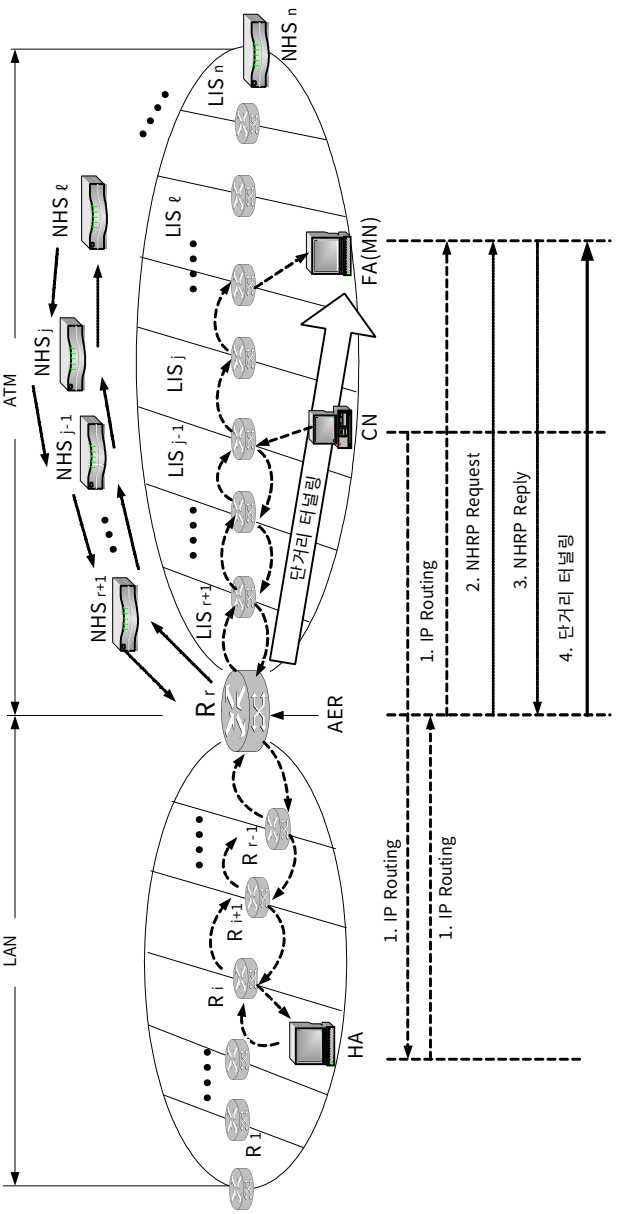
$$ND_{j,a}^{SVC,total} = 2\sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + 2\sum_{s=j}^{a}\sum_{k=1}^{n_s}\{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a} N_{NHS_s}^{request} + \sum_{s=j}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + 2S_{R_r,NHS_{r+1}}^{setup} \quad (16)$$

④ 단거리 터널링 경로를 통한 패킷 전달 지연시간.

$$\overline{D}_{HA,FA}^{\text{시나리오2}} = S_{HA,FA}^{setup} + \sum_{s=j}^{a} LIS_s + L_{FA,MN}^{ATM},\ LIS_s = \sum_{k=1}^{m_s} a_{s,k} + s_{s,k} \quad (17)$$

3.3 시나리오 3

3.3.1 동작



시나리오 3은 시나리오 2와는 반대로 HA는 LAN 망 내에 존재하고 나머지 구성 요소들은 ATM 망 내에 존재하는 경우이다. 일반적인 IP 라우팅 경로로 패킷을 전달할 경우 CN과 MN이 ATM 망 내에서 가까운 곳에 존재하더라도 HA를 거쳐 패킷을 전달하게 된다.

CN은 이질적인 두 망의 경계지점에 존재하는 AER에게 IP 라우팅으로 패킷을 전달한다. HA에게 전달된 패킷은 다시 AER에게로 일반적인 IP 라우팅으로 전송되어 온다. 이후 ATM 기반 인터넷 망에서 NHRP를 구동한 후, 일반적인 IP 라우팅으로 MN에게 패킷을 전송한다.

시나리오 3에서 최적경로 IP 라우팅 경로는 존재하지 않는다. CN이 ATM 망 내에 존재하므로 MN에게 직접 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달하기 때문이다.

3.3.2 수학적 분석

① 일반적인 IP 라우팅 경로를 이용한 패킷 전달지연시간

ß CN → HA로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{CN,HA}^{\text{시나리오3}} = L_{CN,R_{j-1}}^{ATM} + R_{R_{j-1}}^{ATM} + \sum_{k=r+1}^{j-1}\{L_{k+1,k}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + \sum_{k=i}^{r-1}\{L_{k+1,k}^{LAN} + R_{k+1}^{LAN}\} + L_{R_i,HA}^{LAN} + R_{HA}^{LAN} \quad (18)$$

ß HA → AER로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{HA,AER}^{\text{시나리오}} = L_{HA,R_i}^{LAN} + R_{R_i}^{LAN} + \sum_{k=i}^{r-1}\{L_{k,k+1}^{LAN} + R_{k+1}^{LAN}\} \quad (19)$$

ß AER → MN로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{AER,FA}^{\text{시나리오}} = \sum_{k=r}^{a-2}\{L_{k,k+1}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + L_{R_{a-1},FA}^{ATM} + L_{FA,MN}^{ATM} \quad (20)$$

② NHRP를 이용한 주소 해석 지연시간

$$ND_{r,a}^{SVC,request} = S_{CN,NHS_j}^{setup} + \sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + \sum_{s=j}^{a} \sum_{k=1}^{n_s} \{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a} N_{NHS_s}^{request} \quad (22)$$

$$ND_{j,a}^{SVC,reply} = \sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_{s+1},NHS_s}^{setup} + \sum_{s=j}^{a} \sum_{k=1}^{n_s} \{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + S_{NHS_j,CN}^{setup} \quad (23)$$

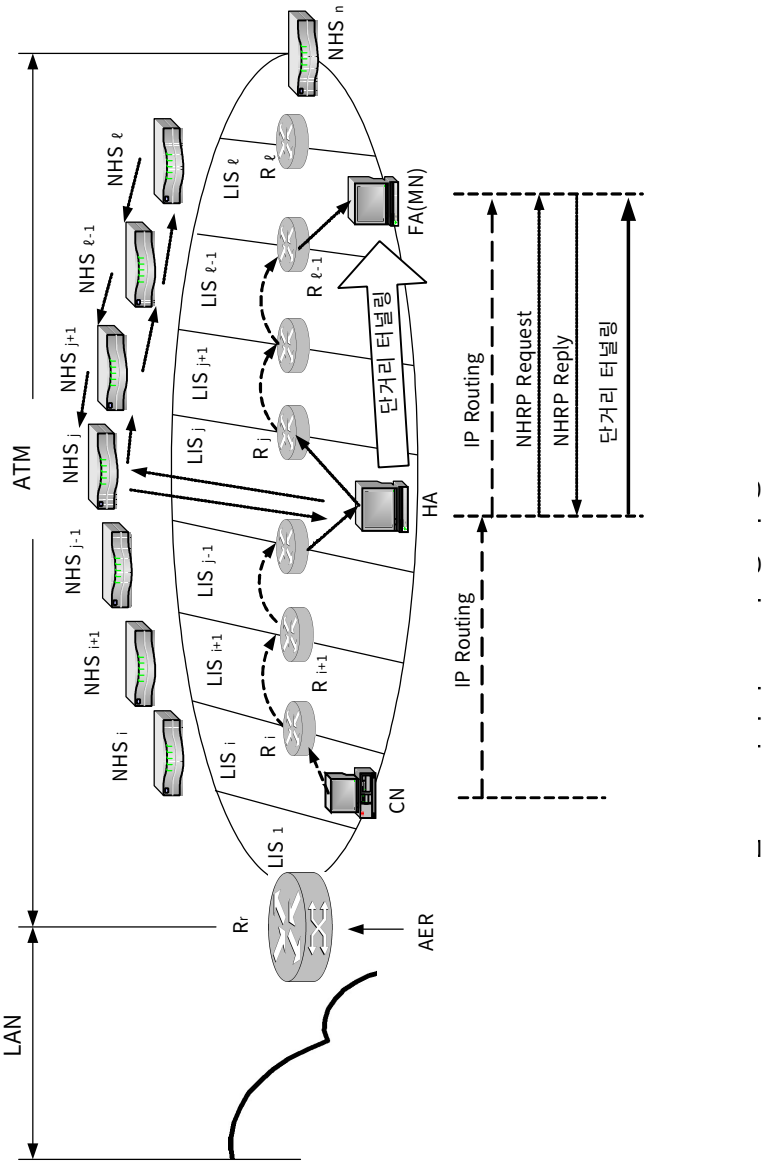
$$ND_{j,a}^{SVC,total} =$$
$$2\sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + 2\sum_{s=j}^{a} \sum_{k=1}^{n_s} \{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a} N_{NHS_s}^{request} + \sum_{s=j}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + 2S_{CN,NHS_j}^{setup} \quad (24)$$

③ 단거리 터널링 경로를 통한 패킷 전달 지연시간

$$\overline{D}_{CN,FA}^{\text{시나리오3}} = S_{CN,FA}^{setup} + \sum_{s=j}^{a} LIS_s + L_{FA,MN}^{ATM} \quad (25)$$

3.4 시나리오 4

3.4.1 동작



시나리오 4는 이동 IP의 구성요소 4가지 모두가 ATM 망 내에 존재하는 경우이다. 배열 순서는 앞서 가정을 하였듯이 CN, HA, FA, MN의 순으로 위치하고 있다. 기본적인 동작은 시나리오 1과 비슷하다. 다만 구성요소 모두가 ATM 망 내에 존재하므로 AER을 거치지 않고 ATM 망 내에서만 패킷이 전달된다.

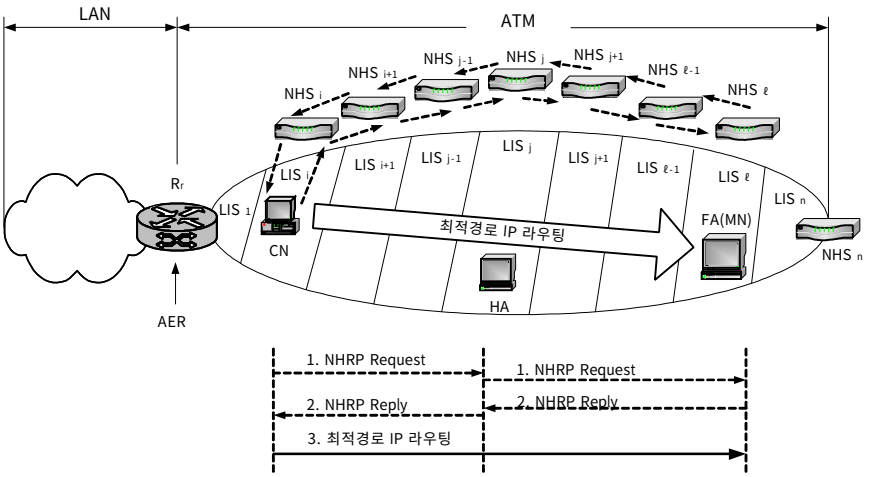


그림 12. 시나리오 4에서의 최적경로 IP 라우팅

이동 IPv6가 적용된 그림 12에서 최적경로 IP 라우팅은 CN이 NHC가 되어 NHRP를 구동하고 MN과의 직접 경로를 설정한다. 최적경로 IP 라우팅 경로는 NHRP를 구동하여 ATM SVC로 설정된 경로로 패킷을 전달하지만 실제적인 전달 경로는 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달하는 경로와는 다르다. 즉, 최적경로 IP 라우팅 경로로 패킷을 전달하는 경우는 일반적인 IP 라우팅으로 설정된 경로를 따라 패킷을 전달하지만, 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달하는 경우는 일반적인 IP 라우팅 방식이 아닌 cut-through 방식으로 패킷을 전달한다.

3.4.2 수학적 분석

① 일반적인 IP 라우팅 경로를 이용한 패킷 전달지연시간

ß CN → HA로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{CN,HA}^{\text{시나리오4}} = L_{CN,R_i}^{ATM} + R_{R_i}^{ATM} + \sum_{k=i+1}^{j-2}\{L_{k,k+1}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + L_{R_j,HA}^{ATM} + R_{R_j,HA}^{ATM} \quad (26)$$

ß HA → MN로의 패킷 전달 지연시간

$$D_{HA,FA}^{\text{시나리오4}} = L_{HA,R_j}^{ATM} + R_{R_i}^{ATM} + \sum_{k=j+1}^{a-2}\{L_{k,k+1}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + L_{R_{a-1},FA}^{ATM} + L_{FA,MN}^{ATM} \quad (27)$$

② 최적경로 IP 라우팅 경로를 이용한 패킷 전달지연시간

$$D_{CN,FA}^{\text{시나리오4}} = L_{CN,R_i}^{ATM} + R_{R_i}^{ATM} + \sum_{k=1}^{a-2}\{L_{k,k+!}^{ATM} + R_{k+1}^{ATM}\} + L_{R_i,FA}^{ATM} \quad (28)$$

다음 식은 그림 11에서 나타난 일반적인 IP 라우팅 경로에서 NHRP를 구동한 시간을 나타내었다.

③ NHRP를 이용한 주소해석 지연시간

$$ND_{j,a}^{SVC,request} = S_{HA,NHS_j}^{setup} + \sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + \sum_{s=j}^{a}\sum_{k=1}^{n_s}\{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a} N_{NHS_s}^{request} \quad (29)$$

$$ND_{j,a}^{SVC,reply} = \sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_{s+1},NHS_s}^{setup} + \sum_{s=j}^{a}\sum_{k=1}^{n_s}\{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + S_{NHS_j,HA}^{setup} \quad (30)$$

$$ND_{j,a}^{SVC,total} =$$

$$2\sum_{s=j}^{a-1} S_{NHS_s,NHS_{s+1}}^{setup} + 2\sum_{s=j}^{a}\sum_{k=1}^{n_s}\{(a_{s,k} + s_{s,k})\} + \sum_{s=j}^{a} N_{NHS_s}^{request} + \sum_{s=j}^{a-1} N_{NHS_s}^{reply} + 2S_{R_r,NHS_{r+1}}^{setup} \quad (31)$$

④ 단거리 터널링 경로를 이용한 패킷 전달 지연시간

$$\overline{D}_{CN,FA}^{\text{시나리오 4}} = S_{CN,FA}^{setup} + \sum_{s=r}^{a} LIS_s + L_{FA,MN}^{ATM} \quad (32)$$

4. 모의 실험 및 결과

모의 실험은 네트워크 모의 실험 도구인 COMNET III를 사용하였다. 주요 성능 평가 요소는 CN과 MN 사이의 종단간 패킷 전달 지연시간만을 고려하여 행하였다. 모델은 LAN 기반 인터넷 망과 ATM 기반 인터넷 망을 상호 연동하고 임의로 구성하여 설정하였다.

4.1 모의실험 파라메터

표 3. 모의 실험 파라메터

구성요소	파라메터		
LAN	LAN 수		8
	대역폭		100 Mbps
ATM	LIS 개수		3
	단일 LIS내 스위치 개수		19
	대역폭		155 Mbps
NHRP 제어 메시지	메시지 길이		1 Kbyte
	메시지 발생 빈도		HA에서 초기 패킷을 수신하여 주소해석이 필요할 때마다
트래픽 생성노드	Tr	패킷 길이	10 Mbyte
		발생 빈도	1초당 한 번씩

표 3은 본 논문에서 실험한 모의 실험의 파라메터를 나타내고 있다. 모의 실험에 사용된 망 모델은 2개의 이질적인 망으로 구성되어 있다. LAN 기반 인터넷 망에서 서브 네트워크는 8개로 구성하였고,

내부 대역폭은 100 Mbps로 설정하였다. ATM 기반 인터넷 망은 세 개의 LIS로 구성되어 있으며, 각 LIS에는 19개의 스위치를 두었다. 트래픽 생성노드(Tr)는 LAN 기반 인터넷 망과 ATM 기반 인터넷 망에 각각 하나씩을 두어 초당 5M byte, 10M byte의 트래픽을 발생 하게끔 설정하였다. 이는 실제 운용되고 있는 망과 같이 유사한 환경으로 만들고자 하였다. 설정한 네트워크상에 트래픽의 부하를 주어 좀더 정확한 결과를 얻기 위함이다. 총 모의 실험 시간은 120초이고, 초기 워밍업 시간으로 20초를 두었다.

모의 실험은 CN과 HA는 LAN 기반 인터넷 망 내에, FA와 MN은 ATM 기반 인터넷 망 내에 존재하는 시나리오 1과 이동 IP의 구성 요소 모두 ATM 기반 인터넷 망에 존재하는 시나리오 4에 한하여 실험하였다.

4.2 모의 실험 모델

그림 13. 모의 실험에 사용된 망 구성도(시나리오 1)

CN과 HA는 LAN 기반 인터넷 망 내에 존재하고 FA와 MN은 ATM 기반 인터넷 망 내에 존재하는 시나리오 1의 망 구성도이다. 앞선 파라메터에서 먼저 설명하였듯이 이질적인 두 망에 각각 하나의 트랙픽 생성노드를 두어 트랙픽을 일정 유입하고 망 내에 트래픽이 일정하도록 유지하였다. ATM망은 세 개의 LIS로 구성되며 각 LIS에는 19개의 스위치를 두었다. 굵은 선으로 표시되는 것은 단거리 터널링 경로상에 위치하는 스위치들과 그 링크들을 의미한다.

그림 14. 모의 실험에 사용된 망 구성도(시나리오 4)

그림 14는 CN, HA, FA, MN 모두 ATM 기반 인터넷 망 내에 존재하는 시나리오 4의 망 구성도이다.

4.3 모의 실험 결과

4.3.1 트래픽 생성노드에서 Tr=5Mbyte/s 인 경우

4.3.1.1 시나리오 1에서의 모의 실험 결과

모의실험은 COMNETIII 버전 1.04a에서 수행하였으며, 결과값은 50회의 모의 실험을 거쳐 나온 값들의 평균치이다. 종단간 패킷 전달을 일반적인 IP 라우팅만으로 전달하였을 경우의 전달 지연 시간은 847.2(ms)이다. 패킷 전달 경로는 CN → HA → MN으로 적용하였을 경우이다.

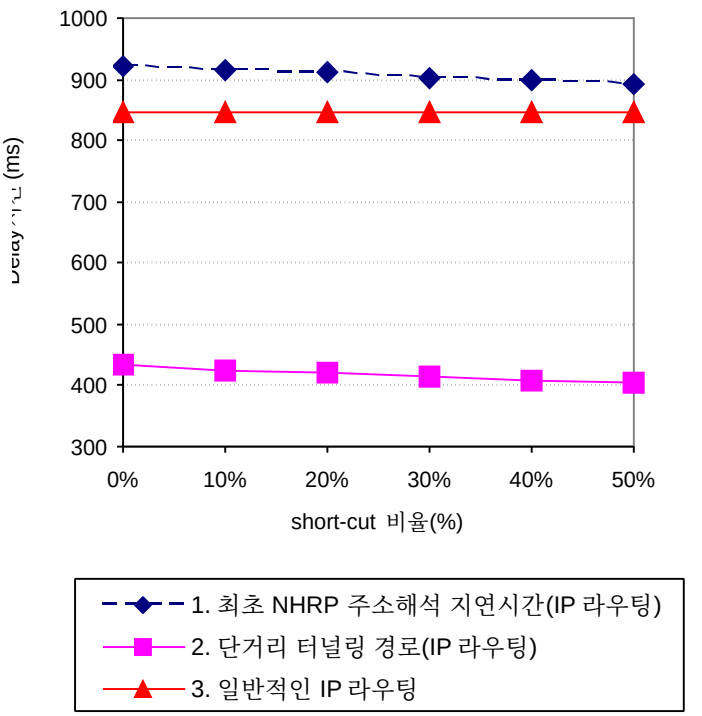


그림 15. 시나리오 1에서의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=5Mbyte/s)

그림 15에서 점선으로 나타낸 그래프 값 1.최초 NHRP 주소해석 지연시간(IP 라우팅)은 LAN 기반 인터넷 망 내에서는 ATM 망의 진입점에 존재하는 AER까지 일반적인 IP 라우팅 경로로 패킷을 전달한다. 이후 ATM 기반 인터넷 망 내에서는 AER이 NHC가 되어 NHRP를 구동하고 목적지의 ATM 주소해석 요청을 하여 획득하기까지의 걸린 지연시간이다. 지연시간은 922.206(ms)이다. 2.단거리 터널링 경로(IP 라우팅)는 LAN 기반 인터넷 망에서는 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달한다. 그리고 ATM 기반 인터넷 망 내에서는 앞선 패킷이 NHRP를 구동하여 획득한 목적지 주소를 이용하여 설정된 단거리 터널링 경로를 통해 패킷을 전달하는 경우의 패킷 전달 지연시간이다. 지연시간은 432.673(ms)이다. 따라서 그래프 1.과 2.의 차이가 바로 NHRP를 구동하여 걸린 총 주소해석 지연시간이 된다.

일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달할 경우보다 NHRP를 구동하여 설정된 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달하는 경우에 있어 최초 패킷이 NHRP를 구동하는 주소해석 지연시간이 포함되어 다소 높은 지연시간을 가진다. 그러나 이후 패킷부터는 설정된 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달함으로써 비교하고자 하는 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달하는 경우보다 빠르게 패킷이 전달됨을 확인할 수 있다.

그림 15에서 X축에 표기된 short-cut 비율(%)이란, 단거리 터널링 구간 중 패킷이 거치게 되는 ATM망의 LIS내에 존재하는 스위치들의 상대적인 비를 말한다. 따라서 short-cut 비율이 크다는 것은 최초 지나는 터널링 구간보다 짧다는 것은 의미한다. 즉, 단거리 터널링 경로상에 존재하는 스위치의 수가 감소됨을 말한다.

4.3.1.2 시나리오 4에서의 모의 실험 결과

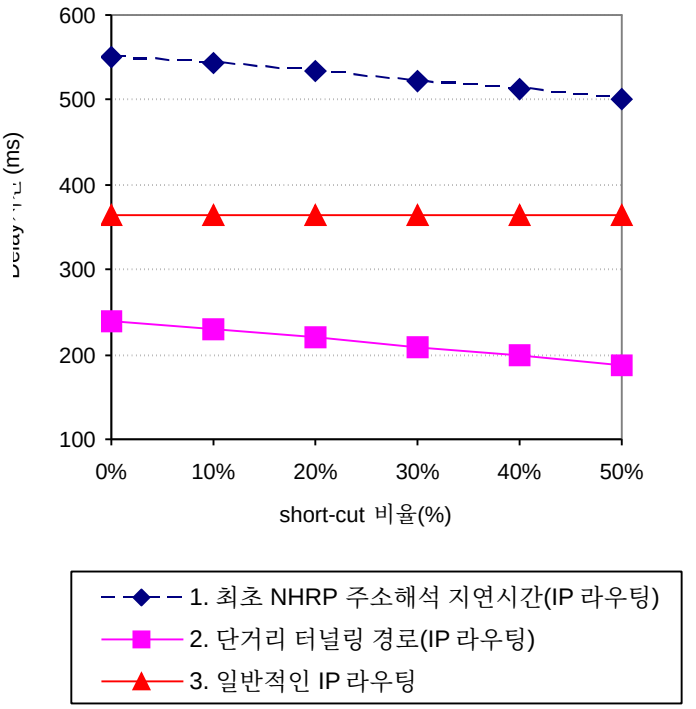


그림 16. 시나리오 4에서의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=5Mbyte/s)

그림 16은 이동 IP의 구성 요소 모두가 ATM 기반 인터넷 망에 존재하는 시나리오 4에서의 모의 실험 결과이다. 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달 하였을 경우의 지연시간은 363.998ms 이다.

결과 그래프에서 1.최초 NHRP 주소해석 지연시간(IP 라우팅)은 ATM 기반 인터넷 망 내에서 CN에서 HA까지는 IP라우팅으로 패킷을 전달한다. 이후 HA는 NHC가 되어 NHRP를 구동하고 획득한 목적지의 ATM 주소로 단거리 터널링 경로를 설정하기까지의 지연시간이다. 지연시간은 551.4514(ms)이다. 2.단거리 터널링(IP 라우팅)은

CN에서 HA까지는 IP 라우팅 경로로 패킷을 전달한 후, 설정된 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달할 경우의 지연시간이다. 지연시간은 238.676(ms)이다. 결과는 앞선 시나리오 1에서의 Tr=5Mbyte/s와 동일하다.

4.3.1.3 이동 IPv6에서 시나리오 1의 모의실험 결과

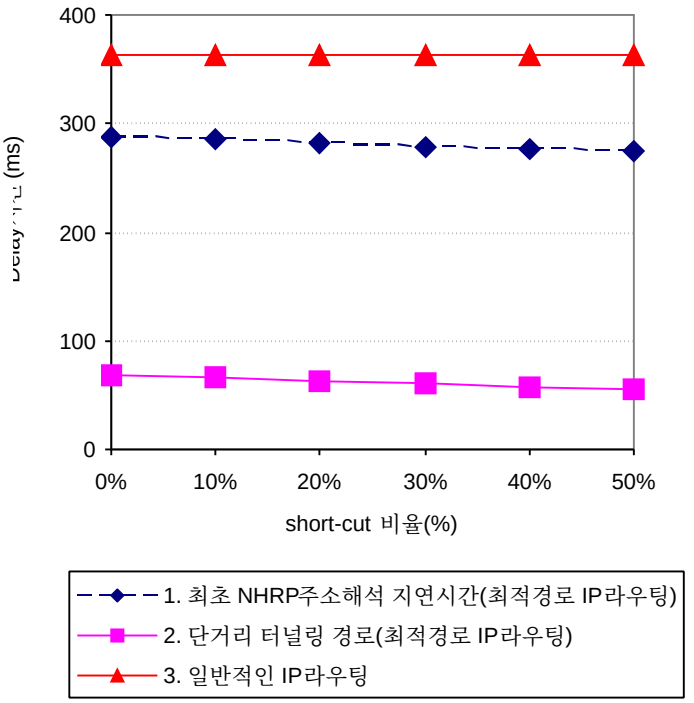


그림 17. 이동 IPv6에서 시나리오 1의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=5Mbyte/s)

그림 17은 이동 IPv4에서 발생하는 삼각 라우팅 문제를 해결한 IPv6에서의 최적경로 IP 라우팅을 적용하여 일반적인 IP 라우팅과의 종단간 전달 지연시간을 비교한 그림이다. 1.최초 NHRP 주소해석 지연시간(최적경로 IP 라우팅)은 LAN 기반 인터넷 망에서는 HA를 거

치지 않고 AER까지 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달한다. 그리고 ATM 망 기반 인터넷 망 내에서는 AER이 NHRP를 구동하여 목적지의 ATM 주소를 획득한 후 단거리 터널링 경로를 설정하기까지 소요되는 시간이다. 전달 지연시간은 695.832(ms)로서 일반적인 IP 라우팅 보다도 지연시간이 짧다. 2. 단거리 터널링(최적경로 IP 라우팅)은 LAN 기반 인터넷 망 내에서는 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달한 후 ATM 망 기반 인터넷 망 내에서는 설정된 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달하였을 때 걸린 시간이다. 종단간 지연시간은 317.145(ms)이다.

4.3.1.4 이동 IPv6에서 시나리오 4의 모의실험 결과

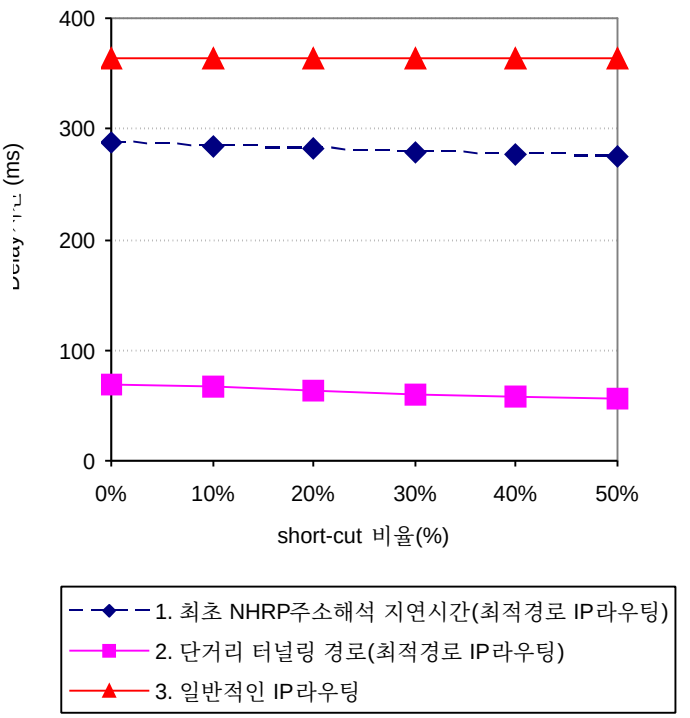


그림 18. 이동 IPv6에서 시나리오 4의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=5Mbyte/s)

그림 18은 이동 IP 구성 요소 모두가 ATM 망 내에 존재하는 시나리오 4에서 망 내 트래픽 유입율이 초당 5Mbyte 인 경우에 이동 IPv6를 적용하였을 때의 전달 지연시간을 나타내고 있다. 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달하였을 때의 지연시간은 363.998(ms)이다. 1.최초 NHRP 주소해석 지연시간(최적경로 IP 라우팅)의 지연시간은 287.734(ms)이다. 2.단거리 터널링(최적경로 IP 라우팅)의 지연시간은 68.922(ms)이다.

4.3.2 트래픽 생성노드에서 Tr=10Mbyte/s 인 경우

4.3.2.1 시나리오 1에서의 모의 실험 결과

Tr 값을 10Mbyte/s로 설정하고 모의 실험을 행하였다. 망 내의 트래픽이 높아졌으므로 전체적인 지연시간이 커지기는 하였으나 전체적인 결과 값은 Tr=5Mbyte/s로 설정하였을 때와 동일하다.

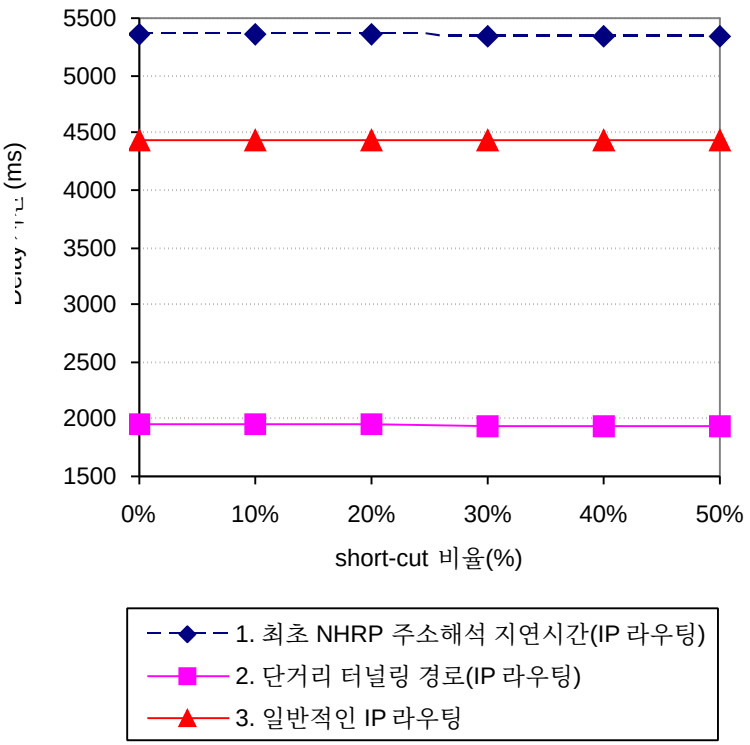


그림 19. 시나리오 1에서의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=10Mbyte/s)

비교하고자 하는 종단간에 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달할 경우의 지연시간은 4426.3(ms)이다. 1.최초 NHRP 주소해석 지연시간(IP 라우팅)의 패킷 전달 지연시간은 5359.175(ms)이다. 2.단거리 터널

링 경로(IP 라우팅)의 전달 지연시간은 1957.6(ms)의 지연시간을 가진다.

4.3.2.2 시나리오 4에서의 모의 실험 결과

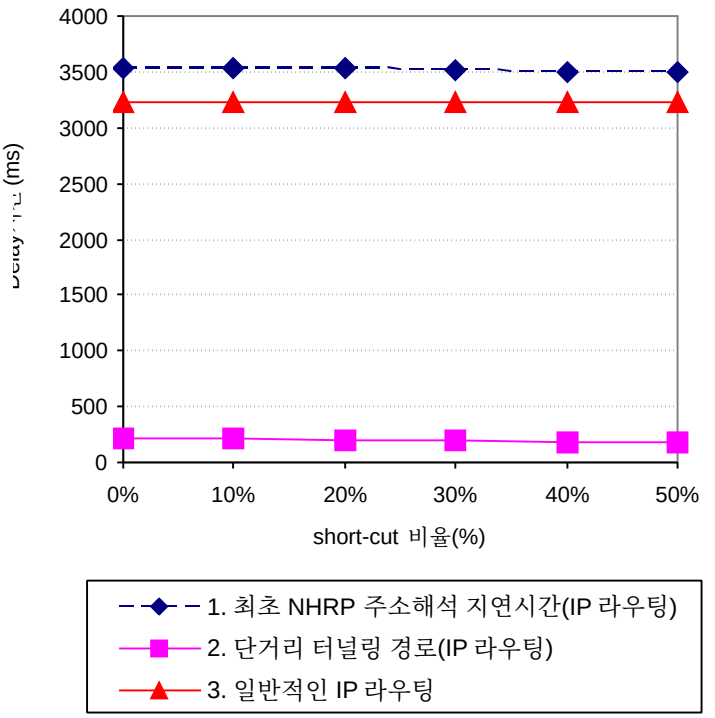


그림 20. 시나리오 4에서의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=10Mbyte/s)

이동 IP의 구성 요소 모두가 ATM 기반 인터넷 망에 존재하는 시나리오 4에서 Tr=10Mbyte/s로 설정했을 경우의 모의 실험 결과이다. 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달하였을 경우의 전달 지연시간은 3232.4(ms)이다. 1.최초 NHRP 주소해석 지연시간(IP 라우팅)은 3540.318(ms)이다. 2. 단거리 터널링 경로(IP 라우팅)의 패킷전달 지연시간은 211.008(ms)이다.

4.3.2.3 이동 IPv6에서 시나리오 1의 모의실험 결과

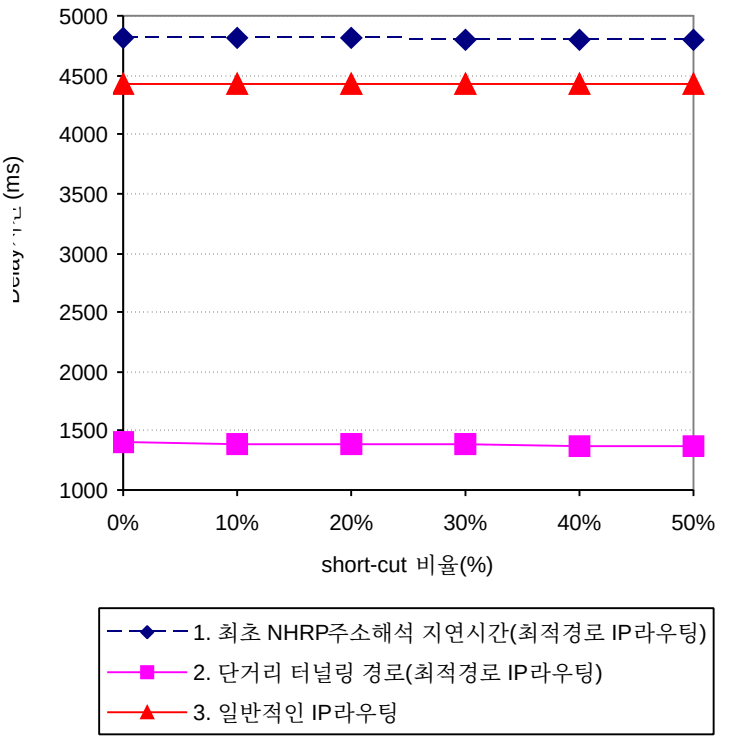


그림 21. 이동 IPv6에서 시나리오 1의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=10Mbyte/s)

Tr=5Mbyte/s 일 때와 동일하게 Tr=10Mbyte/s 인 경우에도 이동 IPv6에서의 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달하는 경우의 전달 지연시간을 모의실험을 통하여 그 값을 구하였다. 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달하였을 때의 전달 지연시간은 4426.3(ms)이다. 1. 최초 NHRP 주소해석 지연시간(최적경로 IP 라우팅)은 4817.194(ms)이고, 2.단거리 터널링 경로(최적경로 IP 라우팅)로 패킷을 전달하였을 경우의 전달 지연시간은 1401.29(ms)이다.

4.3.2.4 이동 IPv6에서 시나리오 4의 모의실험 결과

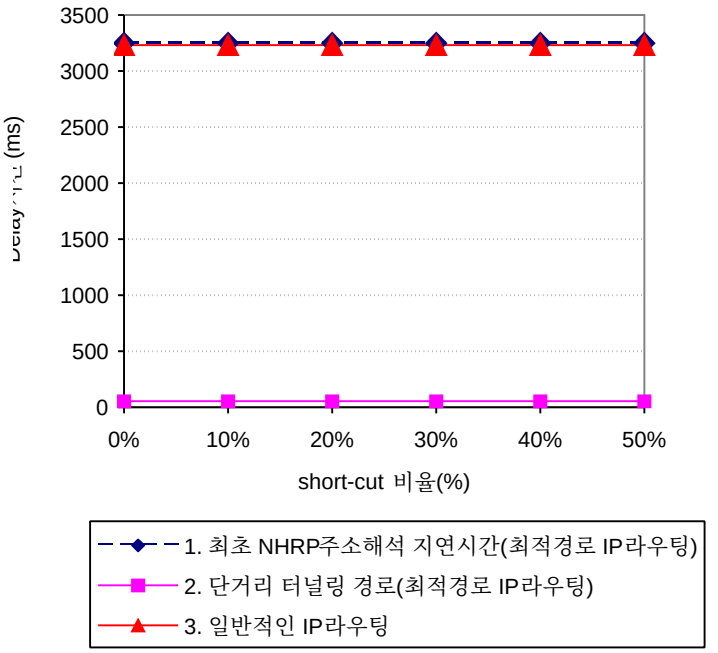


그림 22. 이동 IPv6에서 시나리오 4의 종단간 패킷 전달 지연시간 (Tr=10Mbyte/s)

그림 22는 시나리오 4에서 Tr=10Mbyte/s 인 경우, 이동 IPv6 동작에 의한 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달하였을 경우의 결과값이다. 일반적인 IP 라우팅으로 패킷을 전달하였을 경우의 전달 지연시간은 3232.4(ms)이다. 1.최초 NHRP 주소해석 지연시간(최적경로 IP 라우팅)은 3253.343(ms)이다. NHRP를 구동하여 설정된 2.단거리 터널링 경로(최적 경로 IP 라우팅)로 패킷을 전달하였을 경우의 지연시간은 62.012(ms)이다.

5. 결론

본 논문에서는 이질적인 두 망에서 이동 IP의 동작구조에 기반하여 종단간 패킷을 전달할 경우 ATM 기반 인터넷 망에서 일부 구간에 NHRP를 구동하여 단거리 터널링 경로를 설정 기법을 제안하였다.

이 제안한 방안과 LAN 기반 인터넷 망 내에서 이동 IPv6의 최적경로 IP 라우팅으로 패킷을 전달하는 경우를 일반적인 IP 라우팅만으로 종단간에 패킷을 전달하는 경우와 비교 분석하고자 수학적인 분석과 모의 실험을 행하였다.

일반적인 IP 라우팅은 '저장 후 전달' 이라는 기법으로 패킷을 전달함으로써 높은 에러율과 데이터 지연이 발생한다. 본 논문에서 제안한 방안으로 패킷을 전달할 경우 최초 패킷에는 높은 지연이 발생하였는데, 이는 NHRP의 주소해석 지연시간이 포함되었기 때문이다. 그러나 이후 설정된 단거리 터널링 경로로 패킷을 전달할 경우에는 '저장 후 전달' 방식이 아닌 'cut-through' 방식으로 데이터를 전달함으로써 전달 지연시간이 대폭 단축되고 그 특성이 우수함을 모의실험 결과를 통하여 확인할 수 있었다.

<참고 문헌>

[1] W. Richard Stevens, "TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols", Addison-Wesley, 1994

[2] 한국전자 통신연구원, "ATM상의 인터넷 서비스 기술개론", 진한도서, 1999

[3] Steven Shepard, "SONET/SDH Demystified", Mcgraw-Hill, 2001

[4] M. Laubach, j. Halpern, "Classical IP and AER over ATM", RFC 2225, Apr 1998

[5] Norman Finn, Tony Mason, "ATM LAN Emulation", IEEE Communications Magazine, pp.96-100, June 1996

[6] ATM Forum, "Multi-Protocol over ATM Specification, Version 1.1", af-MPoA-0114.000, May 1999

[7] J, Luciani, D. Katz, A. Piscitello, B. Cole, N, Doraswawy, "NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)", RFC 2332, Apr 1998

[8] B. Davie et al, "MPSL using ATM VC Switching", Internet Draft <draft-ietf-mpls-atm-01.txt>, Nov 1998

[9] C, Perkins, "Mobile IP", IEEE Communication Magazine, Vol. 35, No.5, 1997

[10] S. Deering, "IPv6 Specification", RFC 2460, Dec 1998

[11] C, Perkins, "IP Mobility Support", RFC 2002, Oct 1996

[12] C. Perkins, "Route Optimization in Mobile IP", draft-ietf-mobileip-optim-10.txt, Nov 2000

[13] C. Huitema, "Routing in the Internet (Second Edition)", Prentice Hall, 2000

[14] James D. Solomon, "Mobile IP -The Internet Unplugged", Prentice Hall, 1998

[15] D. Johnson, C. Perkins, “Mobility Support in IPv6”, draft-ietf-mobileip-ipv6-02.txt, Nov 1996
[16] D. Johnson, C. Perkins, “Route Optimization in Mobile IP”, draft-ietf-mobileip-optim-05.txt, Nov 1996
[17] G. Montenegro, “Reverse Tunneling for Mobile IP”, draft-ietf-mobile ip-tunnel-reverse-02.txt, Nov 1996
[18] J. Luciani, “Classical IP to NHRP Transition”, RFC 2336, July 1998
[19] 이성탄, 조성기, 변태영, “ATM 망에서 NHRP를 이용한 개선된 Mobile IP 터널링 설정 기법”, 한국 정보처리학회 춘계 학술발표 논문집, 2001

Study on the Scheme Using NHRP for Reducing End-to-end Path Delay over Mobile IP Network based on ATM Networks

Lee, Kyong Hoon

Department of Computer and Electronic Engineering
The Graduate School, Gyeongju University

(Supervised by Professor Byun, Tae Young)

(Abstract)

In this thesis, we propose a scheme to integrate the Mobile IP and NHRP over NBMA networks including the ATM network. Our scheme also defines the signaling and control mechanisms required to integrate the NHRP and Mobile IP. The integration decreases the end-to-end path delay between a MN and CN by using the features of the ATM, which are fast switching and high scalability. We mathematically analyze the end-to-end path delay between end hosts in the integrated Mobile IP networks, also showing the improvement of delay by simulation.