

碩士學位論文

HMIPv6에서 경로배정 최적화 기법의  
성능평가 모델에 관한 연구



濟州大學校 大學院

電算統計學科

宣 慶 喜

2008 年 8 月

# HMIPv6에서 경로배정 최적화 기법의 성능평가 모델에 관한 연구

指導教授 朴 景 麟

宣 慶 喜

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2008 年 8 月

宣慶喜의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 이 정 훈 (印)

委 員 박 경 린 (印)

委 員 이 봉 규 (印)

濟州大學校 大學院

2008 年 8 月

# A Study of Analysis Model for Route Optimization on HMIPv6

Kyung-Hee Sun

(Supervised by Professor Gyung-Leen Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement  
for the degree of Master of Science.

2008. 8

This Thesis has been examined and approved.

Jung Hoon Lee

---

Gyung-Leen Park

---

Bong Kyu Lee

---

August 2008

Department of Computer Science and Statistics  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

List of Tables	i
List of Figures	ii
Abstract	iii
I 서론	1
II 배경 및 관련연구	3
1. Mobile IPv6 개요	3
1) Mobile IPv6의 구성 요소 및 용어 정리	3
2) Mobile IPv6에서 새롭게 정의된 옵션 및 메시지	5
3) Mobile IPv6의 기본 동작	6
2. Hierarchical Mobile IPv6 개요	10
1) Hierarchical Mobile IPv6의 구성 요소 및 용어 정리	10
2) Hierarchical Mobile IPv6에서 새롭게 정의된 옵션 및 메시지	12
3) Hierarchical Mobile IPv6의 기본 동작	12
III 제안기법	16
IV 성능평가	29
1. 전송하는 데이터 크기에 따른 성능 평가	29
2. BU의 성공확률에 따른 성능 평가	31

3. 무선망과 유선망의 대역폭에 따른 성능 평가 -----	32
4. 이동 노드와 MAP간 hop 수에 따른 성능 평가 -----	34
5. 이동 노드의 MAP간 이동과 AR간 이동에 따른 성능 평가 -----	35
V 결론 -----	37
VI 참고문헌 -----	39



## List of Tables

Table 1. The notations	-----	18
------------------------	-------	----



## List of Figures

Figure 1. MIPv6의 구조 -----	5
Figure 2. 홈 에이전트와 이동노드 사이의 data forwarding(tunneling) -----	7
Figure 3. Route Optimization을 이용한 패킷 송수신 방법-----	9
Figure 4. MIPv6의 동작 과정 -----	10
Figure 5. Hierarchical Mobile IPv6의 구조 -----	11
Figure 6. HA, MAP, 이동 노드 사이의 data forwarding(tunneling) -----	14
Figure 7. Hierarchical Mobile IPv6의 동작 과정 -----	14
Figure 8. Three Methods of Packet Delivery -----	15
Figure 9. 패킷 전송 방법과 정의된 표기법 -----	18
Figure 10. 전송하는 데이터 크기에 따른 지연시간 비교 -----	30
Figure 11. BU 성공확률에 따른 지연시간 비교 -----	32
Figure 12. 무선망과 유선망의 대역폭에 따른 지연시간 비교 -----	33
Figure 13. 이동 노드와 MAP간 hop수에 따른 지연시간 비교 -----	35
Figure 14. 이동 노드의 MAP간 이동과 AR간 이동에 따른 지연시간 비교 --	36

## Abstract

무선기기의 발달과 무선 인터넷 사용자의 급증에 따라 기존의 IPv4 주소체계로는 늘어나는 IP 주소 요구량을 충족시킬 수 없게 되자 차세대 인터넷 프로토콜로서 IPv6가 주목받게 되었으며, IPv6를 이용하여 이동성을 제공하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Mobile IPv6(MIPv6)는 IPv6의 기능들을 그대로 이용하면서 이동성을 제공하기 때문에 효과적인 이동성 지원과 탁월한 규모 확장성을 지니고 있으며, Hierarchical Mobile IPv6(HMIPv6)는 앵커의 역할을 수행하는 MAP(Mobile Anchor Point)를 두어 지역적인 홈 에이전트처럼 동작하게 함으로써 이동 노드의 이동을 지역적으로 관리하는 개념으로써 Mobile IPv6에 대한 변경은 최소로 하면서도 성능향상을 가져온다. HMIPv6에는 이동 노드와 상대 노드 간에 통신하는 방법이 3가지가 있다. 홈 에이전트와 MAP를 거쳐 패킷을 이중 터널링(tunneling)하여 전송하는 방법과 MAP만을 거쳐 한번만 터널링하여 전송하는 방법, 홈 에이전트나 MAP를 거치지 않고 직접 통신하는 방법이다. 본 논문에서는 위 3가지 방법에 대하여 패킷 전송 지연시간 비교를 위한 분석 모델을 제시하고, 다양한 네트워크 환경을 분석 모델에 적용하여 각각의 데이터 통신 방법에 대한 성능을 평가한다.(보안은 고려하지 않는다.) 성능평가 결과를 통해 다양한 조건에서 각각의 통신 방법 중 더 효과적인 방법이 어떤 것인지를 보여줄 것이며, 주어진 네트워크 환경 하에서 가장 효율적인 데이터 통신방법을 선택하는 가이드라인을 제공할 것이다.



## I 서론

다양한 무선 기기의 발달과 무선 인터넷 사용자가 급증함에 따라 무선 이동 통신은 모바일 사용자 수나 서비스 면에서 급속히 성장해왔다. 또한 유선 통신망의 다양한 서비스에 익숙해진 사용자들은 무선 이동 통신에서도 유선 통신 이상의 좋은 서비스를 제공받기를 요구하고 있다. 이러한 무선 통신망에서 효율적인 이동성 지원은 중요한 요소이며 이를 위한 IP 기술에 기반한 이동성 지원 기술은 필수적이다.

무선 인터넷 사용자의 급증에 따라 기존의 IPv4 주소체계로는 늘어나는 IP 주소 요구량을 충족시킬 수 없게 되자 차세대 인터넷 프로토콜로서 IPv6[[15]가 주목받게 되었으며, IPv6를 이용하여 이동성을 제공하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Mobile IPv6[1]-[5]는 IPv6의 기능들을 그대로 이용하면서 이동성을 제공하기 때문에 효과적인 이동성 지원과 탁월한 규모 확장성을 지니고 있다.

Mobile IPv6는 이동 노드(Mobile Node)가 홈 망(Home Network)에서 사용하는 홈 주소(Home Address) 외에 이동 노드의 현재 위치를 알려주는 CoA(Care of Address)를 가진다. 이동 노드가 위치를 변경할 때마다 홈 에이전트(Home Agent)나 상대 노드(Correspondent Node)에게 CoA를 등록(Binding Update)함으로써 홈 에이전트나 상대 노드에 대한 연결을 유지한다. Mobile IPv6는 경로 최적화(route optimization)를 위한 프로토콜도 제공하는데, CoA의 등록이 완료되면 홈 에이전트를 거치지 않고 이동 노드와 상대 노드가 직접 패킷을 송수신 하도록 함으로써 지연시간을 줄이고 네트워크 대역폭 사용을 감소시킬 수 있도록 한다. 그러나 MIPv6는 이동 노드가 위치를 변경할 때마다 홈 에이전트나 상대 노드에 등록을 수행해야하기 때문에 이동하기 전 네트워크에서 새로 이동해 온 네트워크로의 등록(핸드오버)이 완료되기 전까지는 홈 에이전트나 상대 노드와의 연결성을 잃게 되고 이로 인하여 패킷 손실과 지연이 발생할 수 있다. 이런 패킷 손실과 지연은 빠른 속도로 이동하는 노드에 대한 실시간 서비스나 패킷(packet) 손실에 민감한 응용에서는 문제가 될 수 있다.

이런 문제를 해결하고 핸드오버 시 이동 노드에 대하여 심리스(seamless)한 이동성을 제공하기 위하여 Mobile IPv6의 성능을 개선하기 위한 작업이 IETF의 mobileip WG를 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 차세대 통신망에서 기본 프로토콜로 채택하고 있는 IPv6에서의 지역 이동성 제공을 위하여 계층적 구조를 이용하는 HMIPv6(Hierarchical Mobile IPv6[6])도 이 중 하나이다. HMIPv6는 앵커의 역할을 수행하는 MAP(Mobile Anchor Point)를 두어 지역적인 홈 에이전트처럼 동작하게 함으로써 이동 노드의 이동을 지역적으로 관리하는 개념으로써 MIPv6에 대한 변경은 최소로 하면서도 성능향상을 가져온다.

HMIPv6에서 이동 노드와 상대 노드 사이에 패킷을 송수신하는 방법은 홈 에이전트와 MAP를 거쳐 패킷을 이중 터널링하여 전송하는 방법과 MAP만을 거쳐 한번만 터널링하여 전송하는 방법, 홈 에이전트나 MAP를 거치지 않고 직접 통신하는 방법이 있다.

본 논문에서는 지역이동성을 제공하는 HMIPv6에서 이동 노드와 상대 노드 사이에 패킷을 송수신 3가지 방법에 대하여, 송수신하는 데이터 크기, binding update의 성공확률, 네트워크의 대역폭, packet이 전송되는 경로 상에서의 hop 수, 이동 노드가 MAP나 AP간 이동하는 횟수 등을 고려한 패킷 전송 지연시간 비교를 통해 성능을 평가한다. 각각의 패킷 송수신 방법에 대한 성능을 평가하는 분석 모델을 제시하고(보안은 고려하지 않았다.), 제시한 분석 모델을 이용한 성능 평가의 결과를 살펴본다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MIPv6와 HMIPv6의 기본 개념과 동작 원리에 대하여 기술하였다. 그리고 본 논문의 중심이 되는 HMIPv6에서의 경로 최적화에 대하여 설명하였다. 3장에서는 HMIPv6에서의 경로 최적화 성능평가를 위한 비용을 측정하는 분석모델을 제시하였다. 4장에서는 이동 노드가 송수신하는 데이터의 크기, 유무선 망에서의 대역폭, 경로상의 hop 수 등 다양한 조건에 따른 분석모델을 통한 성능을 평가해 보았다. 마지막으로 5장에서는 결론으로 본 논문의 연구 내용 전반에 대하여 요약하고, 제안을 제시하였다.

## II 배경 및 관련연구

이 장에서는 MIPv6와 HMIPv6의 기본 개념과 동작원리에 대하여 기술하였다. 그리고 본 논문의 중심이 되는 HMIPv6에서 이동 노드와 상대 노드 간 패킷 송수신에 있어서의 경로 최적화에 대하여 설명하였다.

### 1. Mobile IPv6 개요

Mobile IPv6(MIPv6)는 IPv6 인터넷에서 이동 노드가 홈 링크(Home link)를 벗어나 새로운 링크로 이동해도 상대 노드와 연결을 유지하며 계속하여 통신할 수 있도록 이동성을 제공하는 프로토콜이다. 여기서의 통신은 이동 노드와 상대 노드 각각의 시스템에서 실행되는 어플리케이션 사이의 통신(TCP/IP)을 말한다.

Mobile IPv6는 이동 노드가 영구적인 IPv6 주소인 Home Address와 홈 링크를 벗어나 외부 링크로 이동했을 때 외부 링크에서 사용할 임시 IPv6 주소인 Care of Address(CoA)를 가지도록 한다. 이동 노드의 이동에 따라 바뀌는 CoA로 3계층 연결을 유지하고, Home Address로 상위 계층의 연결을 유지하는 개념이다. 이동 노드가 네트워크를 이동하면서 변경되는 CoA와 영구적인 주소인 Home Address를 자신의 홈 링크에 존재하는 홈 에이전트(Home Agent, HA)에 등록하고, 홈 에이전트가 이 주소들을 유지하고 갱신함으로써 이동 노드의 이동에 상관없이 통신이 이루어지도록 한다.

Mobile IPv6의 구성 요소 및 용어와 동작 과정은 다음과 같다.

#### 1) Mobile IPv6의 구성 요소 및 용어 정리[1]

MIPv6의 주요 객체는 이동노드, 상대노드, 홈 에이전트 3가지로 구분할 수 있으며, 객체를 포함한 주요 용어는 다음과 같다.

○ 이동 노드(Mobile Node, MN)

MIPv6 프로토콜을 지원하는 호스트나 라우터로써 물리적인 이동이나 위상의 변화에 의해 위치가 변할 수 있는 노드이다.

○ 상대 노드(Correspondent Node, CN)

이동 노드와 통신하는 노드로써 이동 노드 또는 정적인 호스트나 라우터이다.

○ 홈 에이전트(Home Agent, HA)

홈 망에 위치하고 있는 라우터로써 이동 노드의 정보를 유지하고 있으며, 이동 노드가 홈 망을 벗어나 외부로 이동했을 때 이동 노드의 홈 어드레스로 송신된 패킷들을 수신하여 터널링을 통해 실제 이동 노드로 전달해 준다.

○ 홈 어드레스(Home Address)

이동 노드에 영구적으로 할당되는 IPv6 주소로써 상대 노드가 이동노드에 패킷을 전송하기 위해 사용하는 주소이다.

○ CoA(Care of Address)

이동 노드가 외부 망으로 이동했을 경우 할당되는 IPv6 주소로써, 이동 노드가 현재 위치한 망의 프리픽스(prefix) 정보를 가지고 있다.

○ 바인딩(Binding)

이동 노드의 홈 어드레스와 CoA를 결합시켜 놓은 것으로 일정 lifetime 내에 갱신되지 않으면 무효화 되며, 이동 노드가 새로운 망으로 이동하면 새로운 CoA 정보로 갱신된다.

○ 바인딩 캐시(Binding Cache)

이동 노드들의 바인딩 정보를 저장하는 캐시로서 각각의 이동 노드에 대한 홈 어드레스, CoA, 바인딩 lifetime 등의 정보를 가지고 있으며, 홈 에이전트와 상대 노드에 의해 유지된다.

○ 바인딩 업데이트 리스트(Binding Update List, BUL)

이동 노드에 의해 유지되는 리스트로서, 이동 노드가 바인딩이 무효화되기 전에 갱신해야 할 시기를 체크하고 CoA를 선택하는데 이용한다.

<Figure 1>은 MIPv6의 통신망 구조를 나타내고 있다.

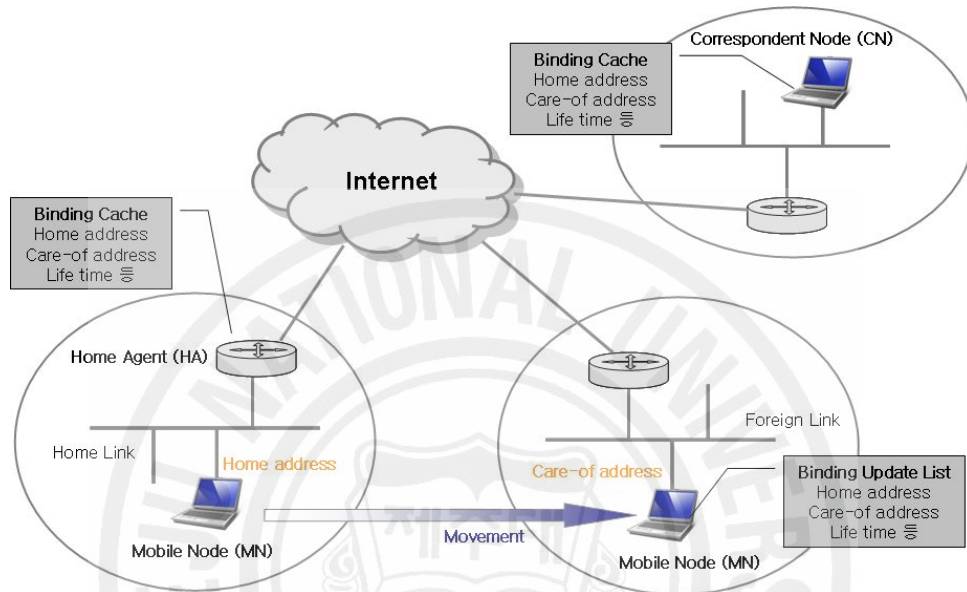


Figure 1. MIPv6의 구조

2) Mobile IPv6에서 새롭게 정의된 옵션 및 메시지[1]

이동 노드의 바인딩 정보를 알아내고 저장하기 위해서 MIPv6에서 사용하는 새로운 메시지들은 다음과 같다.

○ Binding Update(BU) message

이동 노드가 홈 에이전트와 상대 노드에게 바인딩 정보(CoA 포함)를 알리기 위해 이용한다.

○ Binding Acknowledgement(BA) message

Binding Update 메시지에 대한 응답으로 전송한다.

○ Binding Request(BR) message

홈 에이전트나 상대 노드는 이동노드의 바인딩정보 lifetime이 만료되기 전에 새로운 Binding Update 메시지를 받아야 하는데, lifetime이 거의 만료될 때까지 이동 노드로부터 Binding Update 메시지를 받지 못한 경우에 이동 노드에게 Binding Request를 보내어 Binding Update를 요구한다.f

홈 에이전트를 거치지 않고(터널링을 이용하지 않고) 통신하는 경우에 상위계층 연결을 유지하기 위해 다음의 destination option을 이용한다.

○ Home Address option

이동 노드와 상대 노드가 홈 에이전트를 거치지 않고 직접 통신할 때 사용하는 옵션이다. 이동 노드가 상대 노드로 패킷을 전송할 때 IPv6 기본 헤더의 source address 필드에 자신의 CoA를 사용하고 Home Address option에 자신의 홈 어드레스를 넣어 전송한다. 이 패킷을 수신한 상대 노드는 source address 필드의 주소와 Home Address option의 주소를 교체하여 상위계층으로 데이터를 전달함으로써 이동 노드의 이동성에 상관없이 상위계층 연결을 유지하고 방화벽과 같은 ingress filtering도 문제없이 통과할 수 있다.[19]

3) Mobile IPv6의 기본 동작

이동 노드가 처음 홈 망에 접속하면 IPv6와 동일하게 IP 주소(홈 어드레스)를 구성하게 되고 일반적인 routing 방법을 이용하여 통신하게 된다.

그러나, MIPv6에서 이동 노드가 홈 망에서 외부 망으로 이동하게 되면 이동 노드는 자신이 외부 망으로 이동했음을 탐지하게 된다. 기존 액세스 라우터와의 연결이 끊겼음을 탐지하거나 새로운 액세스 라우터로부터 Router Advertisement[12] 메시지를 수신하게 되면 자신이 이동했음을 감지하게 된다.

이동 노드가 자신이 외부 망으로 이동했음을 탐지하면, 이동 노드는 이동한 외부 망의 액세스 라우터로부터 받은 정보(프리픽스, prefix)를 기반으로 새로운 CoA[1]를 구성한다. CoA를 구성하는 방법에는 Stateful Address Autoconfiguration 방법

과 Stateless Address Autoconfiguration 방법이 있으며, 이 과정을 주소 설정(IP Address Configuration)이라 한다.[20]

CoA를 구성한 이동 노드는 홈 에이전트에게 자신의 새로운 CoA를 알려줘야 한다. 이를 위해 이동 노드는 홈 에이전트에게 Binding Update 메시지에 자신의 홈 어드레스와 CoA, lifetime 등의 정보를 실어 보낸다.

Binding Update 메시지를 수신한 홈 에이전트는 Binding Cache에 해당 이동 노드에 대한 정보(entry)가 존재하는지 확인하여 정보가 존재하면 새로운 정보로 update하고, 정보가 존재하지 않으며 새로운 entry를 생성하여 정보를 저장한다. 홈 에이전트가 성공적으로 Binding Update 메시지를 수신하고 Binding Cache를 갱신하면, 이동 노드에게 Binding Acknowledgement 메시지를 전송하여 이 사실을 알린다. 이 후 이동 노드의 홈 어드레스로 수신되는 모든 패킷들은 홈 에이전트가 가로채어 이동 노드의 CoA로 터널링(Tunneling)하여 전달한다.

<Figure 2>는 홈 에이전트에 이동 노드의 위치 등록이 이루어진 이후에 홈 에이전트와 이동노드 사이의 data forwarding(tunneling) 과정을 나타내고 있다.

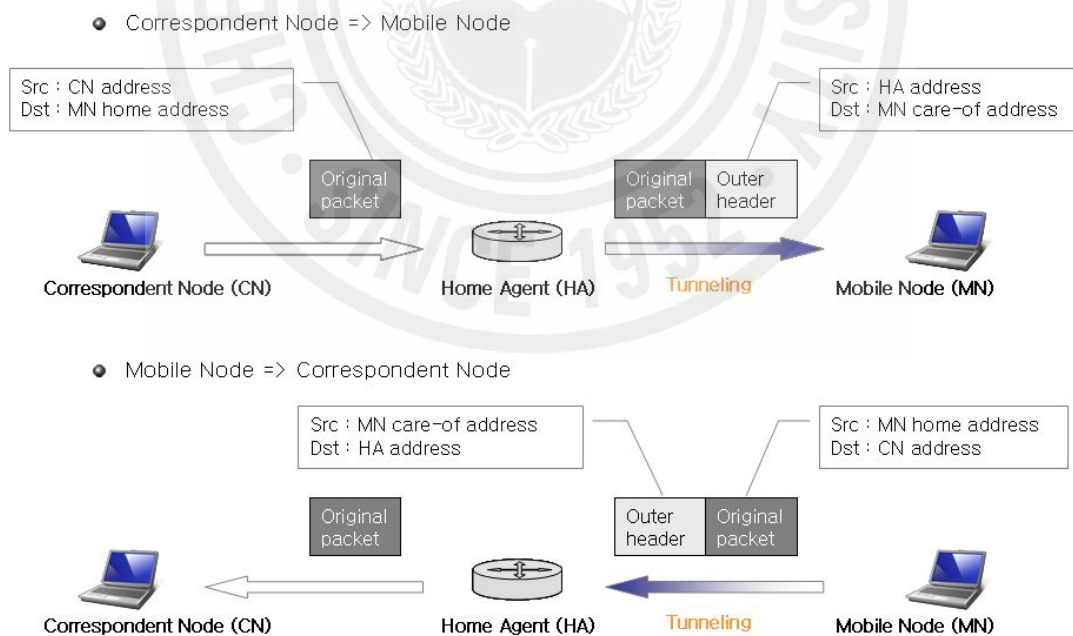


Figure 2. 홈 에이전트와 이동노드 사이의 data forwarding(tunneling)

이동 노드는 홈 에이전트에 위치 등록을 완료한 후에 상대 노드들에게도 위치 등록을 할 수 있다. 상대 노드들에게 위치 등록을 한 후 이동 노드와 상대 노드는 홈 에이전트를 거치지 않고 직접 통신할 수 있게 되는데 이것을 Route Optimization이라고 한다.

Route Optimization에서 상대 노드와 이동 노드간의 경로는 홈 에이전트와 이동 노드간의 경로와는 달리 안전하지 않기 때문에 상대 노드와 이동 노드 간에 Return Routability Procedure라는 인증절차를 수행해야 한다. Return Routability Procedure 수행 이후 이동 노드와 상대 노드는 메시지를 인증할 수 있는 키를 공유하게 되며, 이동 노드는 인증키를 이용한 Binding Update 메시지를 상대 노드에게 전송한다. 홈 에이전트에서와 마찬가지로 Binding Update 메시지를 수신한 상대 노드는 Binding Cache를 갱신한 후 Binding Acknowledgement 메시지를 이동 노드에게 전송한다. 이 후 이동 노드와 상대 노드 간에 교환되는 패킷들은 홈 에이전트를 거치지 않고 직접 전달된다.

Route Optimization에서 이동 노드가 상대 노드에게 패킷을 전송할 때는 IPv6 헤더의 Destination Option 필드에 Home Address Option을 이용하여 상위계층에 이동 노드의 이동성을 드러내지 않는다. 이동 노드가 상대 노드로 패킷을 전송할 때 IPv6 기본 헤더의 source address 필드에 자신의 CoA를 사용하고 Home Address option에 자신의 홈 어드레스를 넣어 전송한다. 이 패킷을 수신한 상대 노드는 source address 필드의 주소와 Home Address option의 주소를 교체하여 상위계층으로 데이터를 전달함으로써 이동 노드의 이동성에 상관없이 상위계층 연결을 유지하고 방화벽과 같은 ingress filtering도 문제없이 통신할 수 있다. 반대로 상대 노드에서 이동 노드로 직접 패킷을 전송하는 경우에는 IPv6 헤더에 Type 2 Routing Header를 포함한다. 상대 노드는 IPv6 헤더의 destination address 필드에 이동 노드의 CoA를 이용하고 Type 2 Routing Header에 이동 노드의 홈 어드레스를 넣어 전송한다. 이 패킷을 수신한 이동 노드는 Type 2 Routing Header를 처리하게 되고 이 과정에서 destination address 필드의 주소와 Type 2 Routing Header의 주소를 교체함으로써 상위계층에 홈 에이전트를 거쳐서 통신하는 것과 동일한 형태로 데이터를 넘겨주게 된다.



<Figure 3>은 Route Optimization을 이용한 패킷 송수신 방법을 보여준다.[20]

- Mobile Node에서 Correspondent Node로 전송할 때

- Mobile Node

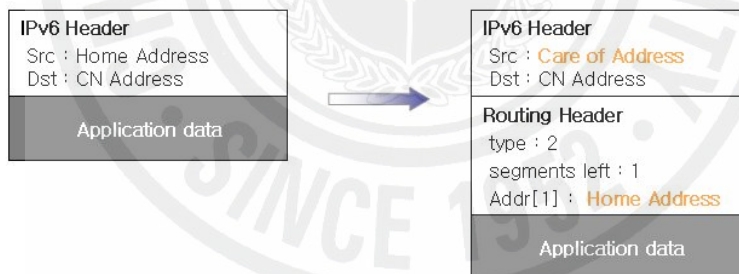


- Correspondent Node



- Correspondent Node에서 Mobile Node로 전송할 때

- Mobile Node



- Correspondent Node

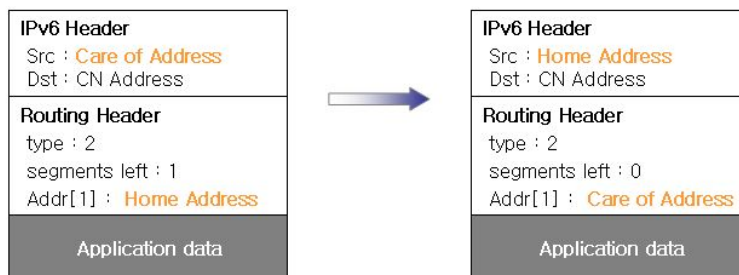


Figure 3. Route Optimization을 이용한 패킷 송수신 방법

<Figure 4>는 지금까지 설명한 MIPv6의 기본 동작과정을 보여주고 있다.

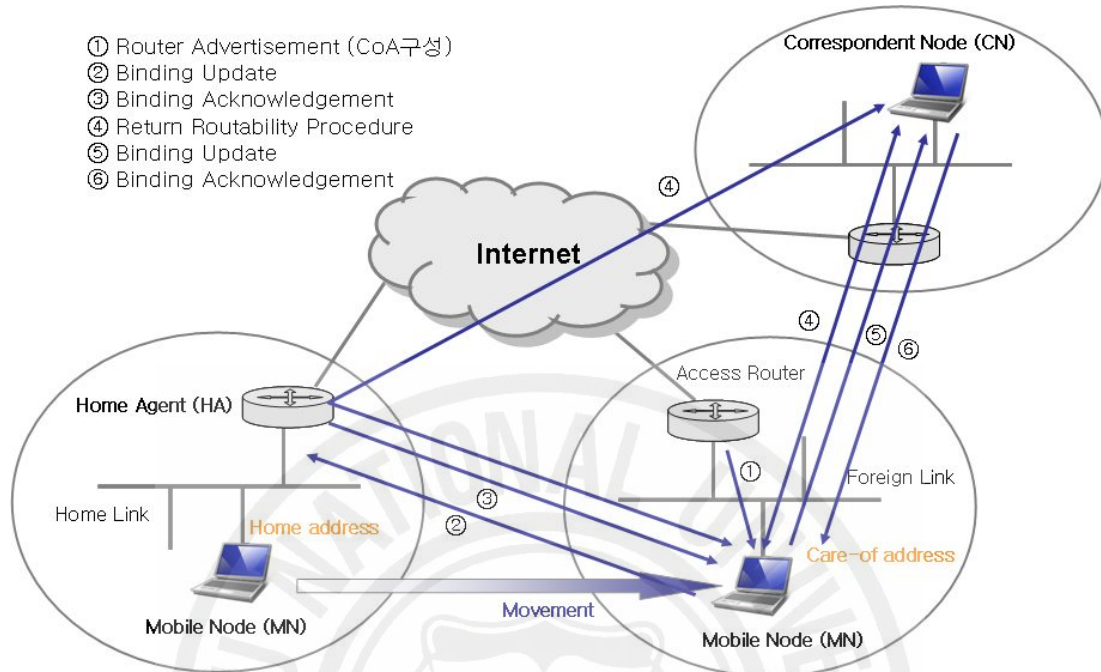


Figure 4. MIPv6의 동작 과정

## 2. Hierarchical Mobile IPv6 개요

Mobile IPv6에서 이동 노드가 이동하면서 발생하는 핸드오버 지연을 줄이기 위한 방법의 하나로 IETF에서 제안된 프로토콜인 HMIPv6는 이동 노드의 이동을 지역적으로 관리함으로써 이동 노드의 핸드오버로 인한 시그널링을 줄여준다.

HMIPv6는 Mobility Anchor Point(MAP)라는 새로운 구성요소를 두어 이동 노드의 지역적인 홈 에이전트처럼 동작하게 함으로써 홈 에이전트와 상대 노드에 게 이동 노드의 이동성을 드러내지 않으면서 통신을 유지할 수 있도록 한다.

Hierarchical Mobile IPv6의 구성 요소 및 용어와 동작 과정은 다음과 같다.

### 1) Hierarchical Mobile IPv6의 구성 요소 및 용어 정리[6]

○ 액세스 라우터(Access Router, AR)

이동 노드가 이동한 망의 디폴트 라우터이다.

○ Mobility Anchor Point(MAP)

이동 노드가 방문한 망에 위치하는 라우터로서 이동 노드의 지역적인 홈 에이전트처럼 동작한다. 한 네트워크에는 하나 이상의 MAP가 존재할 수 있다.

○ Regional Care of Address(RCoA)

MAP 도메인의 prefix를 기반으로 생성한 이동 노드의 CoA이다.

○ On-Link Care of Address(LCoA)

액세스 라우터의 prefix를 기반으로 생성한 이동 노드의 CoA이다.

<Figure 5>은 HMIPv6의 통신망 구조를 나타낸다.

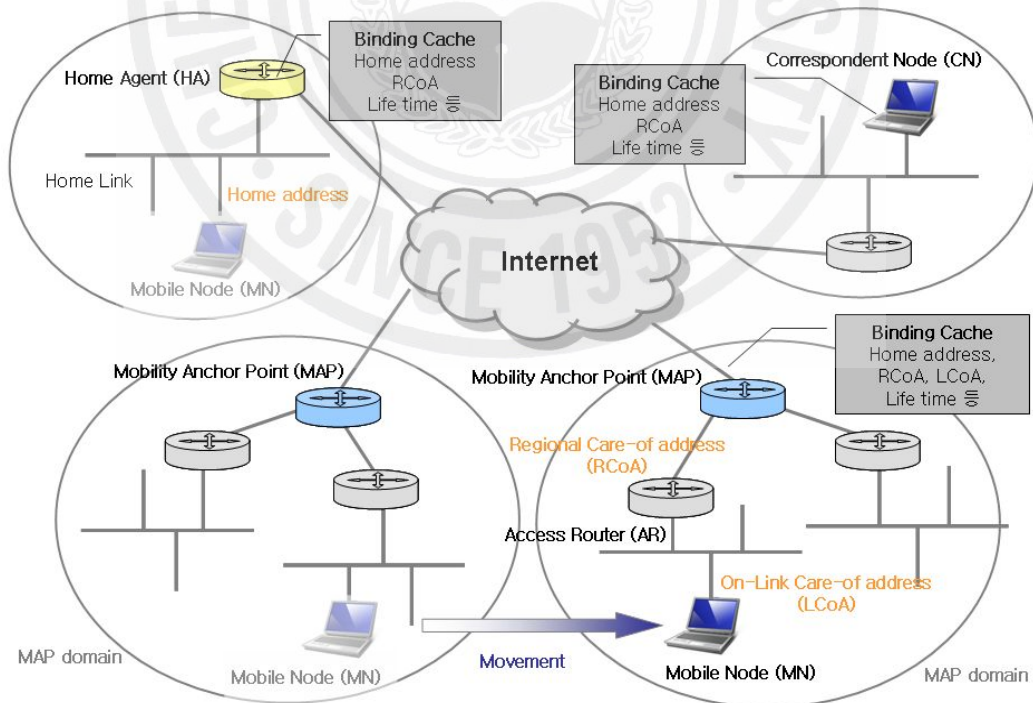


Figure 5. Hierarchical Mobile IPv6의 구조

## 2) Hierarchical Mobile IPv6에서 새롭게 정의된 옵션 및 메시지[6]

### ○ MAP option

Router Advertisement 메시지에 추가된 option으로 MAP의 global IP 주소를 포함하여 이동 노드에 MAP의 prefix 정보를 제공한다. 이동 노드는 이 정보를 이용하여 RCoA를 구성한다.

### ○ Local Binding Update(LBU)

이동 노드가 MAP에게 RCoA와 LCoA의 바인딩을 수립하기 위해 보내는 binding update 메시지로서, MIPv6에서의 Binding Update 메시지에 MAP registration 여부를 나타내는 플래그가 추가되었다. 이동노드가 LBU 메시지에 RCoA를 destination option 헤더의 home address option에 포함시키고, LCoA를 IPv6 기본 헤더의 source address 필드에 넣어서 보냄으로써 이를 수신한 MAP가 이동 노드의 RCoA와 LCoA 정보를 얻게 된다.

## 3) Hierarchical Mobile IPv6의 기본 동작

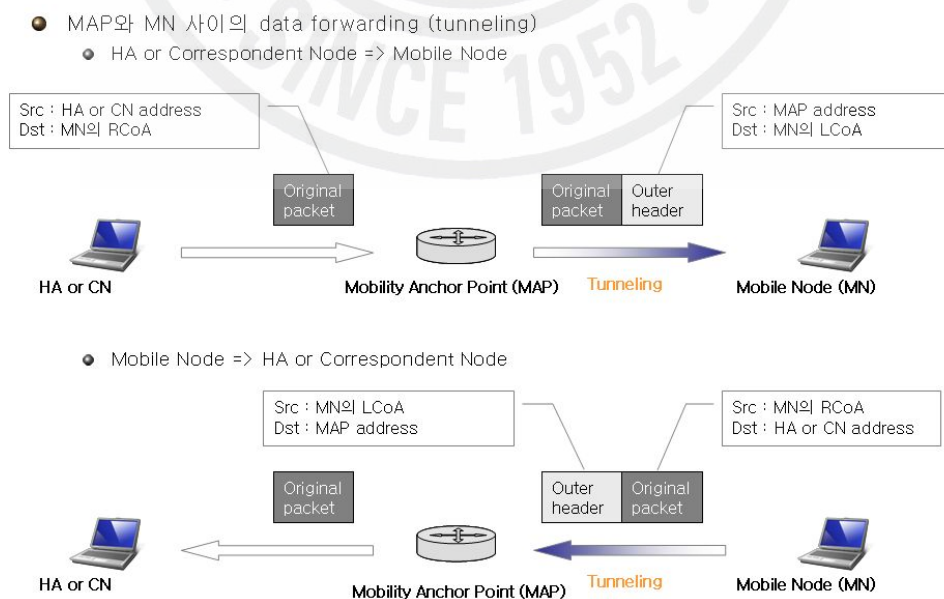
HMIPv6에서는 이동 노드의 이동을 두 가지로 나눈다. 한 MAP 도메인 내에서 액세스 라우터 간 이동을 했을 때이며 이것을 Micro Mobility 핸드오버라고 말하고, 이동 노드가 하나의 MAP 도메인에서 다른 MAP 도메인으로 이동했을 때를 말하여 이것을 Macro Mobility 핸드오버라고 한다. HMIPv6는 이동 노드가 동일한 MAP 도메인 내의 액세스 라우터 간 이동인 Micro Mobility 핸드오버를 수행하는 경우에 중점을 두고 있다.

이동 노드가 MAP 도메인에 처음 진입하면 새로운 액세스 라우터로부터 Router Advertisement(RA)를 수신한다. 이동노드는 액세스 라우터의 prefix를 기반으로 LCoA를 생성하고, RA에 포함된 MAP option으로부터 얻은 MAP의 prefix 정보를 기반으로 RCoA를 구성한다. LCoA는 이동 노드가 액세스 라우터를 이동할 때마다 새롭게 생성되며, RCoA는 이동 노드가 다른 MAP 도메인으로 이동하기 전까지 변경되지 않는다.

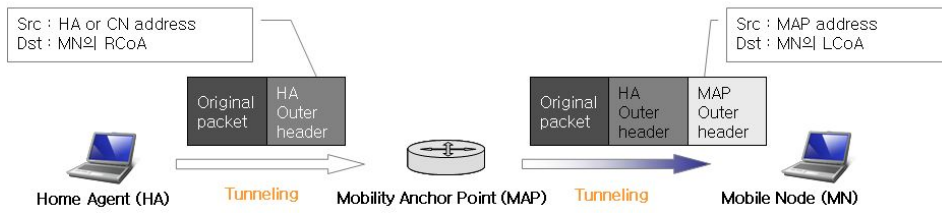
이동 노드는 RCoA와 LCoA를 생성한 후 두 주소를 포함하는 Local Binding Update(LBU) 메시지를 MAP에게 보낸다. LBU를 수신한 MAP는 이동 노드의 RCoA에 대한 DAD 검사를 수행하고 RCoA의 고유성을 확인하면 자신의 Binding Cache에 이동 노드의 RCoA와 LCoA 정보를 저장한다. 이 후 MAP는 이동 노드의 RCoA로 도달하는 패킷들을 이동 노드의 LCoA로 터널링하여 전달한다.

MAP가 이동노드의 RCoA와 LCoA를 Binding Cache에 저장한 후 이동노드는 자신의 홈 에이전트에 위치 등록을 하기 위해 Binding Update 메시지를 전송한다. Binding Update 메시지는 이동 노드의 홈 어드레스와 RCoA를 포함한다. 홈 에이전트는 이동 노드의 홈 어드레스와 RCoA를 Binding Cache에 저장한 후 Binding Acknowledgement 메시지를 이동 노드에게 보낸다. 이 때 Binding Acknowledgement 메시지의 destination address는 이동 노드의 RCoA가 된다. MAP는 Binding Acknowledgement 주소를 터널링하여 이동 노드의 LCoA로 보낸다. 이 후 이동 노드의 홈 어드레스로 수신되는 모든 패킷들은 홈 에이전트가 가로채어 이동 노드의 RCoA로 터널링(Tunneling)하여 전달하게 되고, 이것을 MAP가 가로채어 다시 터널링하여 이동 노드의 LCoA로 전달하게 된다.

<Figure 6>는 HA, MAP, 이동 노드 사이의 data forwarding(tunneling, 이중 tunneling) 과정을 나타내고 있다.



- HA, MAP와 MN 사이의 data forwarding (이중 tunneling)
  - Home Agent => Mobile Node



- Mobile Node => Home Agent

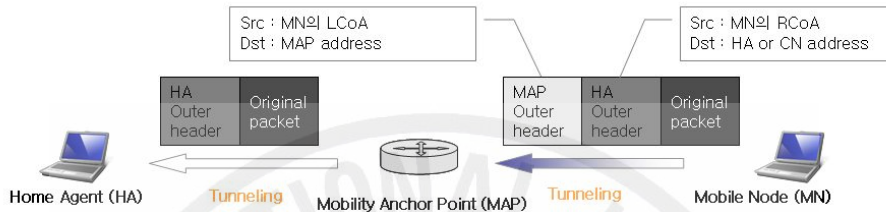


Figure 6. HA, MAP, 이동 노드 사이의 data forwarding(tunneling)

홈 에이전트에 위치 등록이 완료되면 이동 노드는 상대 노드들에게 위치 등록을 할 수 있게 된다. MIPv6와 마찬가지로 상대 노드들에게 위치 등록을 한 후 이동 노드와 상대 노드는 홈 에이전트를 거치지 않고 직접 통신할 수 있게 된다.

<Figure 7>는 지금까지 설명한 Hierarchical Mobile IPv6의 기본 동작과정을 보여주고 있다.

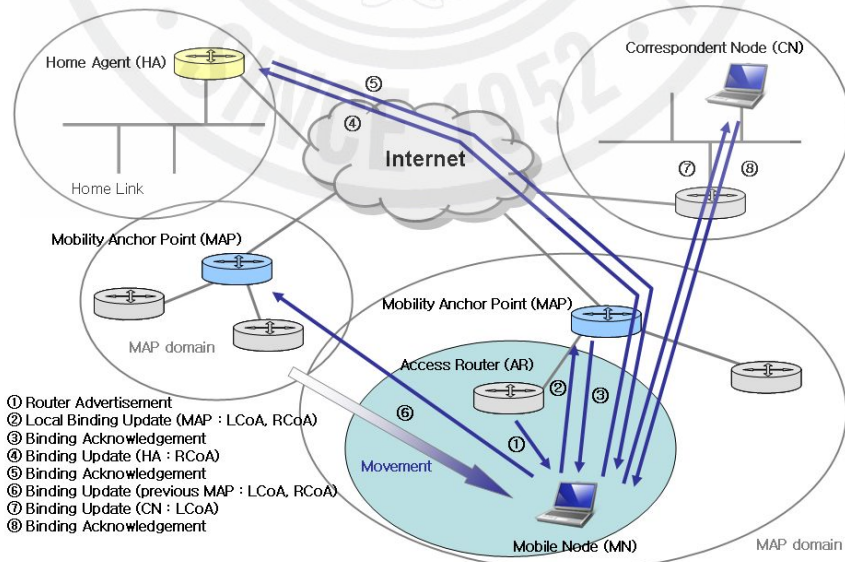


Figure 7. Hierarchical Mobile IPv6의 동작 과정

HMIPv6에서 이동 노드와 상대 노드가 패킷을 송수신하는 방법은 3가지의 경우가 있다. 첫째는 이동 노드의 RCoA를 이용한 통신으로서 홈 에이전트와 MAP를 거쳐 통신하는 방법이고(Bidirectional tunneling), 둘째는 MIPv6의 Route Optimization과 유사한 방법으로 이동 노드의 RCoA를 이용하여 MAP만을 거쳐 통신하는 방법(Route Optimization with RCoA), 셋째는 이동 노드의 LCoA를 이용하여 이동 노드와 상대 노드가 직접 통신하는 방법(Route Optimization with LCoA)이다.

<Figure 8>은 위에서 나열한 이동 노드와 상대 노드간의 3가지 패킷 송수신 방법을 보여준다.

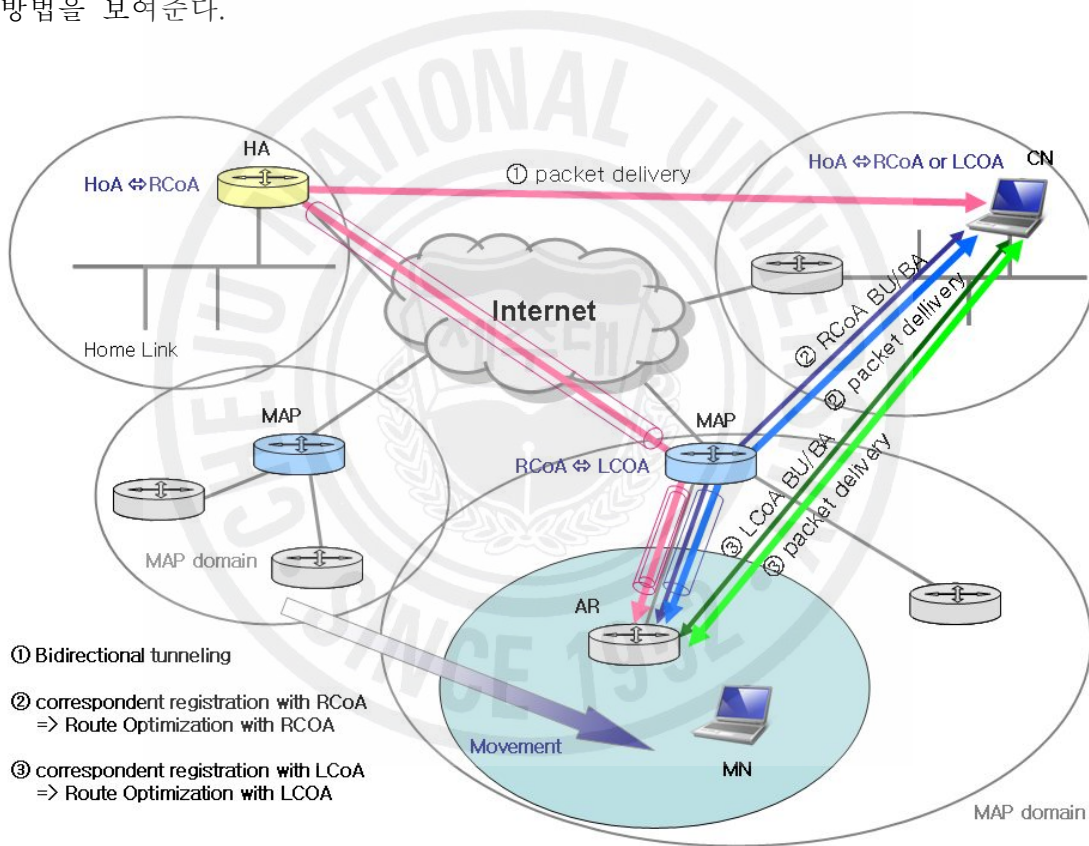


Figure 8. Three Methods of Packet Delivery

### III 제안기법

이 장에서는 HMIPv6에서의 경로 최적화 성능평가를 위한 비용을 측정하는 분석모델을 제시하였다. 본 논문에서는 보안은 고려하지 않는다.

성능 비교를 위한 비용은 이동노드와 상대 노드가 데이터를 송수신하는 3가지 방법에 있어서 공통적으로 소요되는 지연시간(예를 들면 홈 에이전트에 위치 등록을 하는데 소요되는 지연시간)을 제외하고 서로 다르거나 추가되는 지연시간을 이용하며, 고려해야 할 사항으로는 송수신하는 데이터 크기, Binding Update의 성공확률, 네트워크의 대역폭, packet이 전송되는 경로 상에서의 hop 수, 이동 노드가 MAP나 AP간 이동하는 횟수 등이 있다.

성능 비교를 위해 정의한 표기법은 <table 1>, <Figure 9>와 같다.

이동 노드(MN)와 상대 노드(CN)사이의 가능한 최단경로상의 hop 수(L)는 홈 에이전트(HA)와 MAP를 거치는 경우(H+K+M)나 MAP만을 거쳐서 통신하는 경우(R+M)보다 작거나 같을 것이다.

무선망의 대역폭은 1 Mbps(낮은 경우), 10 Mbps(중간 경우), 100 Mbps(높은 경우)로 설정하고, 유선망의 대역폭은 무선망 대역폭의 10배로 설정한다. 이 설정 값은 요즘의 통신망 추세를 고려할 때 타당하다. 예를 들면 2006년에 개최되었던 삼성 4G 포럼에서 삼성전자는 이동하는 경우에는 100 Mbps의 데이터 전송률을, 이동하지 않는 경우에는 1 Gbps (최대 3.5 Gbps)의 데이터 전송율을 보여줬었다.

무선망에서의 BER(Bit Error Rate)은 전형적으로  $10^{-3}$ 이므로[19], Binding Update 메시지의 전송 실패 확률을  $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 으로 설정한다.

편의상 이동 노드가 상대 노드로부터 수신하는 데이터의 평균적인 크기(Rpkt)는 상대 노드에게 송신하는 데이터의 평균적인 크기(Spkt)의 2배라고 가정한다.(Rpkt = Spkt × 2)

PMTU(Path Maximum Transmission Unit)의 크기는 1500 byte로 설정한다.[14],[15]



패킷의 전체 크기는 실제 데이터뿐만 아니라 IPv6의 기본 헤더와 IPv6 확장헤더인 Authentication Header, Fragmentation Header, Destination Option Header, Routing Header를 포함한다. MIPv6의 확장헤더, HMIPv6의 확장헤더까지 모두 포함한다. IPv6의 다른 확장 헤더들은 크기가 가변적이고 선택적으로 추가되기 때문에 생략한다.

기 호	설 명	값
$H$	HA와 CN 사이의 경로상의 홉 수	
$K$	HA와 MAP 사이의 경로상의 홉 수	
$M$	MAP와 MN 사이의 경로상의 홉 수	
$R$	MAP와 CN 사이의 가능한 최단경로상의 홉 수	
$L$	MN와 CN 사이의 가능한 최단경로상의 홉 수	
$N$	MN와 이전 MAP 사이의 경로상의 홉 수	
$M_{MAP}$	MN의 MAP간 평균 총 이동 수(Macro Mobility)	
$M_{AR}$	MN의 AR간의 평균 총 이동 수(Micro Mobility)	
$BW_{wd}$	유선망에서의 평균 대역폭 (Mbps)	10, 100, 1000
$BW_{wl}$	무선망에서의 평균 대역폭 (Mbps)	1, 10, 100
$p$	BU 메시지의 성공 확률	0.99, 0.999
$Rpkt$	MN가 전송받는 데이터 평균적인 크기 (byte)	
$Spkt$	MN가 전송하는 데이터 평균적인 크기 (byte)	
$PMTU$	Path Maximum Transmission Unit의 크기 (byte)	1500
$IPH$	IPv6 기본 헤더의 크기 (byte) [15]	40
$AuthH$	Authentication 헤더의 크기 (byte) [17]	20
$FragH$	Fragment Header의 크기 (byte) (패킷 크기가 $PMTU$ 보다 작으면 0)	8
$DestOpH$	Destination Option 헤더의 크기 (byte) (Home Address Option를 포함하기 위해 필요 [1])	20
$RoutH$	Routing Header의 크기 (byte) [15] (Type 2 Routing Header [1])	24
$IPTun$	터널링을 위해 필요한 크기 (byte) (IP 기본 헤더가 추가됨)	40
$MobH$	Mobility 헤더의 크기 (byte) [1] (BU and BA를 포함하기 위해서 필요)	

기 호	설 명	값
$M_{BU}$	Binding Update 메시지의 크기 (byte) = $40(IPH) + 12(MobH \text{ with MH Type}=5) + 20(DestOpH)$	72
$M_{TBU}$	터널링된 Binding Update 메시지의 크기 (byte) = $40(IPTun) + 40(IPH) + 12(MobH \text{ with MH Type}=5) + 20(DestOpH)$	112
$M_{BA}$	Binding Acknowledgement 메시지의 크기 (byte) = $40(IPH) + 12(MobH \text{ with MH Type}=6)$	52
$M_{TBA}$	터널링된 Binding Acknowledgement 메시지의 크기 (byte) = $40(IPTun) + 40(IPH) + 12(MobH \text{ with MH Type}=6)$	92
$T_{BURCoA}$	MN이 CN에게 RCoA를 사용하여 BU 메시지를 전송하는 데 걸리는 총 지연시간 (s)	
$T_{BULCoA}$	MN이 CN에게 LCoA를 사용하여 BU 메시지를 전송하는 데 걸리는 총 지연시간 (s)	
$T_{BAIRCoA}$	CN이 MN에게 RCoA를 사용하여 BA 메시지를 전송하는 데 걸리는 총 지연시간 (s)	
$T_{BALCoA}$	CN이 MN에게 LCoA를 사용하여 BA 메시지를 전송하는 데 걸리는 총 지연시간 (s)	
$T_{RO}$	Route Optimization 과정의 총 지연시간 (s)	
$T_{PRO}$	Route Optimization을 이용한 패킷 전송 시 총 지연시간 (s)	
$T_{PBT}$	Bidirectional Tunneling을 이용한 패킷 전송 시 총 지연시간 (s)	

Table 1. The notations

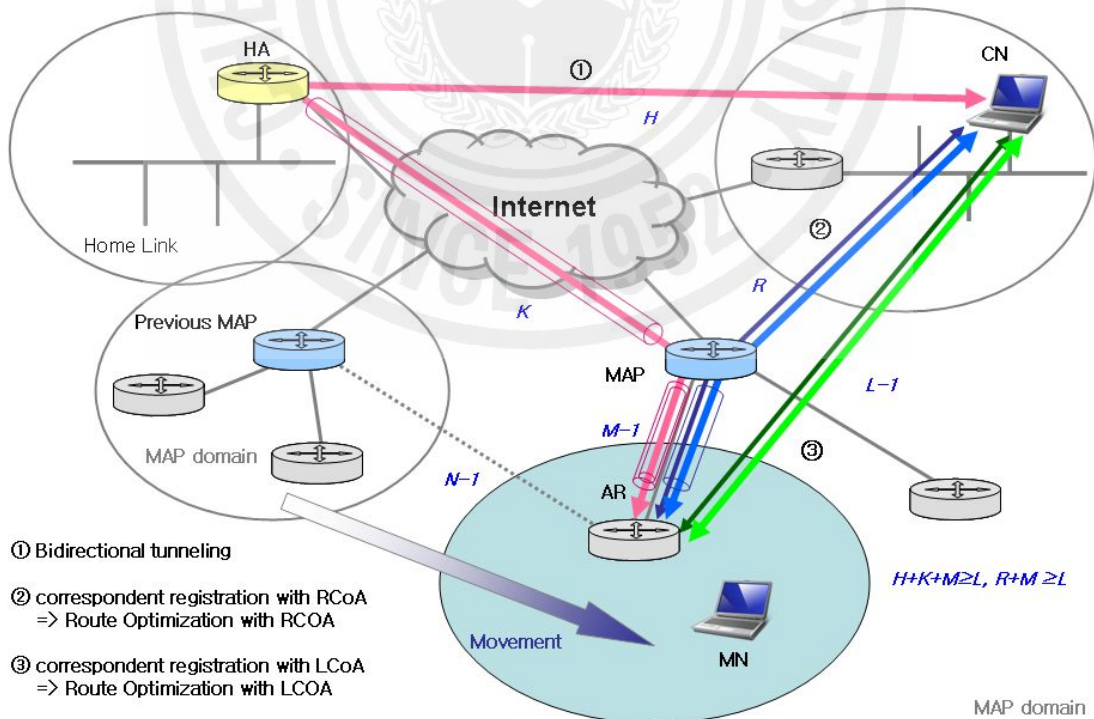


Figure 9. 패킷 전송 방법과 정의된 표기법

메시지를 전송하는데 걸리는 비용은 직관적으로  $\frac{\text{전송메시지크기}}{\text{네트워크대역폭}}$  으로 표현할 수 있으며, 식(1)과 식(2)는 이동 노드와 이동노드가 이동하기 이전 MAP 사이에 BU/BA 메시지를 전송하는데 걸리는 비용을 나타낸다.

이동노드가 이전 MAP에 BU를 송신하고 BA를 수신하는데 걸리는 총 비용이 식(3)으로 표현 되는 것은 자명하다.

$$T_{LBU} = \frac{M_{BU}(\text{Byte})}{BW_{wl}(\text{Mbps})} + (N-1) \times \frac{M_{BU}(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} \quad (1)$$

$$= \left\{ \frac{M_{BU}}{BW_{wl}} + \frac{(N-1) \times M_{BU}}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}$$

$$T_{LBA} = \frac{M_{BA}(\text{Byte})}{BW_{wl}(\text{Mbps})} + (N-1) \times \frac{M_{BA}(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} \quad (2)$$

$$= \left\{ \frac{M_{BA}}{BW_{wl}} + \frac{(N-1) \times M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}$$

$$T_{LBM} = T_{LBU} + T_{LBA} \quad (3)$$

$$= \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wl}} + (N-1) \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}$$

여기서 고려해야 할 점은 이동 노드가 BU 메시지를 전송했으나 이를 수신하는 측에서 수신하지 못하는 경우이다. 이 경우에 이동 노드는 BU 메시지를 송신한 후 BA 메시지를 수신하지 못하면 BU 메시지를 재전송한다. BU 메시지의 재전송 간격은 이전 간격의 2배(Exponential back-off algorithm을 따른다)이며 최대 timeout 값은 256초이다.[19] RCoA 또는 LCoA를 이용하여 패킷을 전송하는 Route Optimization 과정은 BU 메시지를 송신하고 BA 메시지를 수신하는 과정을 포함하며, 이 메시지가 처음으로 성공적으로 이루어질 때까지 메시지를 재송신하는 시도 횟수는 기하분포  $X \sim G(p)$ 를 따른다고 가정한다. 이때,  $p$ 는 BU/BA가 성공적으로 이루어질 확률이고, 이 기하분포의 평균은  $E(X) = 1/p$ 이다.

식(4), 식(5)는 각각 이동 노드가 RCoA를 이용하여 MAP를 거쳐 상대 노드에게 BU 메시지를 전송(Route Optimization with RCoA)하는 비용, BA 메시지를 수신하는데 드는 비용을 직관적으로 계산한 식이며, 식(6)은 BU 메시지를 송신

하고 BA 메시지를 수신하는데 드는 총 비용을 나타낸다. 식(7)은 식(6)에 BU 메시지의 송신 실패율을 고려한 식이다.

$$T_{BU|RCoA} = \frac{M_{TBU}(Byte)}{BW_{wl}(Mbps)} + (M-1) \times \frac{M_{TBU}(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} + R \times \frac{M_{BU}(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} \quad (4)$$

$$= \left\{ \frac{M_{TBU}}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times M_{TBU} + R \times M_{BU}}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}$$

$$T_{BA|RCoA} = \frac{M_{TBA}(Byte)}{BW_{wl}(Mbps)} + (M-1) \times \frac{M_{TBA}(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} + R \times \frac{M_{BA}(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} \quad (5)$$

$$= \left\{ \frac{M_{TBA}}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times M_{TBA} + R \times M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}$$

$$T_{BMRCoA} = T_{BU|RCoA} + T_{BA|RCoA} \quad (6)$$

$$= \left\{ \frac{M_{TBU} + M_{TBA}}{BW_{wl}} + \frac{(M-1)(M_{TBU} + M_{TBA}) + R(M_{BU} + M_{BA})}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}$$

$$T_{ROPr|RCoA} = p \times T_{BMRCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMRCoA} + T_w) \quad (7)$$

$$(1 \leq T_w = 2^{(i-1)} \leq 256)$$

위와 마찬가지로 이동 노드가 LCoA를 이용하여 상대 노드에게 BU 메시지를 전송(Route Optimization with LCoA)하는 비용, BA 메시지를 수신하는데 드는 비용을 직관적으로 계산한 것이 각각 식(8)과 식(9)이다. 식(10)은 BU 메시지를 송신하고 BA 메시지를 수신하는 데 드는 총 비용이며, 식(11)은 BU 메시지의 송신 실패율을 고려한 식이다.

$$T_{BU|LCoA} = \frac{M_{BU}(Byte)}{BW_{wl}(Mbps)} + (L-1) \times \frac{M_{BU}(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} \quad (8)$$

$$= \left\{ \frac{M_{BU}}{BW_{wl}} + \frac{(L-1) \times M_{BU}}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}$$

$$\begin{aligned}
T_{BA|LCoA} &= \frac{M_{BA}(Byte)}{BW_{wl}(Mbps)} + (L-1) \times \frac{M_{BA}(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} \\
&= \left\{ \frac{M_{BA}}{BW_{wl}} + \frac{(L-1) \times M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
T_{BMLCoA} &= T_{BU|LCoA} + T_{BA|LCoA} \\
&= \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wl}} + (L-1) \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
T_{ROProLCoA} &= p \times T_{BMLCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMLCoA} + T_w) \\
&\quad (1 \leq T_w = 2^{(i-1)} \leq 256)
\end{aligned} \tag{11}$$

식(12) ~ 식(15)는 최종 수식을 간단히 하기 위한 임시 변수들이다.

$w\#$ 은 다양한 경우에 있어서 실제 데이터에 추가되어 전송되는 각각의 헤더 크기를 나타내며,  $q\#$ 은 PMTU에서  $w\#$ 를 차감한 값으로 한번에 전송될 수 있는 실제 데이터의 최대 크기를 의미한다.

$s\#$ 과  $r\#$ 은 각각 전송되는 실제 데이터에 헤더가 추가되고 PMTU보다 실제 데이터가 큰 경우 분할되어 전송되는 것을 고려했을 때 이동노드가 실제 송신하는 메시지의 크기와 이동노드가 실제 수신하는 메시지의 크기를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
w1 &= IPH + AuthH + FragH \\
w2 &= IPTun + IPH + AuthH + FragH \\
w3 &= IPTun + IPTun + IPH + AuthH + FragH \\
w4 &= IPH + AuthH + DestOpH + FragH \\
w5 &= IPTun + IPH + AuthH + DestOpH + FragH \\
w6 &= IPH + AuthH + RoutH + FragH \\
w7 &= IPTun + IPH + AuthH + RoutH + FragH
\end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
q1 &= PMTU - (IPH + AuthH + FragH) = PMTU - w1 \\
q2 &= PMTU - (IPTun + IPH + AuthH + FragH) = PMTU - w2 \\
q3 &= PMTU - (IPTun + IPTun + IPH + AuthH + FragH) = PMTU - w3 \\
q4 &= PMTU - (IPH + AuthH + DestOpH + FragH) = PMTU - w4 \\
q5 &= PMTU - (IPTun + IPH + AuthH + DestOpH + FragH) = PMTU - w5 \\
q6 &= PMTU - (IPH + AuthH + RoutH + FragH) = PMTU - w6 \\
q7 &= PMTU - (IPTun + IPH + AuthH + RoutH + FragH) = PMTU - w7
\end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
s1 &= \lfloor \frac{Spkt}{q1} \rfloor \times PMTU + Spkt - \lfloor \frac{Spkt}{q1} \rfloor \times q1 + w1 \\
s2 &= \lfloor \frac{Spkt}{q2} \rfloor \times PMTU + Spkt - \lfloor \frac{Spkt}{q2} \rfloor \times q2 + w2 \\
s3 &= \lfloor \frac{Spkt}{q3} \rfloor \times PMTU + Spkt - \lfloor \frac{Spkt}{q3} \rfloor \times q3 + w3 \\
s4 &= \lfloor \frac{Spkt}{q4} \rfloor \times PMTU + Spkt - \lfloor \frac{Spkt}{q4} \rfloor \times q4 + w4 \\
s5 &= \lfloor \frac{Spkt}{q5} \rfloor \times PMTU + Spkt - \lfloor \frac{Spkt}{q5} \rfloor \times q5 + w5
\end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
r1 &= \lfloor \frac{Rpkt}{q1} \rfloor \times PMTU + Rpkt - \lfloor \frac{Rpkt}{q1} \rfloor \times q1 + w1 \\
r2 &= \lfloor \frac{Rpkt}{q2} \rfloor \times PMTU + Rpkt - \lfloor \frac{Rpkt}{q2} \rfloor \times q2 + w2 \\
r3 &= \lfloor \frac{Rpkt}{q3} \rfloor \times PMTU + Rpkt - \lfloor \frac{Rpkt}{q3} \rfloor \times q3 + w3 \\
r6 &= \lfloor \frac{Rpkt}{q6} \rfloor \times PMTU + Rpkt - \lfloor \frac{Rpkt}{q6} \rfloor \times q6 + w6 \\
r7 &= \lfloor \frac{Rpkt}{q7} \rfloor \times PMTU + Rpkt - \lfloor \frac{Rpkt}{q7} \rfloor \times q7 + w7
\end{aligned} \tag{15}$$

※  $\lfloor \frac{A}{B} \rfloor$  : A를 B로 나누었을 때 몫을 구하는 식

식(12) ~ 식(15)의 변수들을 이용하면 이동 노드가 직접 상대 노드에게 LCoA를 이용하여 데이터 패킷을 전송(Route Optimization with LCoA)하는 비용은 식(16)이 되며, 반대로 식(17)은 상대 노드가 이동 노드에게 패킷을 전송하는 비용을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
T_{MN:CN} &= \frac{s4(\text{Byte})}{BW_{wl}(\text{Mbps})} + \frac{(L-1) \times s4(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} \\
&= \left\{ \frac{s4}{BW_{wl}} + \frac{(L-1) \times s4}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
T_{CN:MN} &= \frac{r6(\text{Byte})}{BW_{wl}(\text{Mbps})} + \frac{(L-1) \times r6(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} \\
&= \left\{ \frac{r6}{BW_{wl}} + \frac{(L-1) \times r6}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}
\end{aligned} \tag{17}$$

식(18)은 이동 노드가 RCoA를 이용하여 MAP으로 데이터 패킷을 전송하는 비용이며 식(19)는 MAP에서 상대 노드로 패킷을 전송하는데 드는 비용이다. 이동 노드가 RCoA를 이용하여 MAP를 거쳐 상대 노드로 패킷을 전송(Route Optimization with RCoA)하는 총 비용은 식(20)로 표현된다. 식(21) ~ 식(23)은 상대 노드에서 이동 노드로의 패킷 전송 비용을 나타내며 식(23)이 총 비용이다.

$$\begin{aligned}
T_{MN:MAP} &= \frac{s5(\text{Byte})}{BW_{wl}(\text{Mbps})} + \frac{(M-1) \times s5(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} \\
&= \left\{ \frac{s5}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s5}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}
\end{aligned} \tag{18}$$

$$T_{MAP:CN} = \frac{R \times s4(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} = \frac{R \times s4}{BW_{wd}} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
T_{MN:MAP:CN} &= T_{MN:MAP} + T_{MAP:CN} \\
&= \left\{ \frac{s5}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s5}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})} + \frac{R \times s4}{BW_{wd}} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})} \\
&= \left\{ \frac{s5}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s5 + R \times s4}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}
\end{aligned} \tag{20}$$

$$T_{CN:MAP} = \frac{R \times r6(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} = \frac{R \times r6}{BW_{wd}} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
T_{MAP:MN} &= \frac{r7(\text{Byte})}{BW_{wl}(\text{Mbps})} + \frac{(M-1) \times r7(\text{Byte})}{BW_{wd}(\text{Mbps})} \\
&= \left\{ \frac{r7}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r7}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(\text{bit})}{1024^2(\text{bps})}
\end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
T_{CN:MAP:MN} &= T_{CN:MAP} + T_{MAP:MN} \\
&= \frac{R \times r6}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} + \left\{ \frac{r7}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r7}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&= \left\{ \frac{r7}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r7 + R \times r6}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{23}$$

이동 노드가 MAP와 HA를 거쳐 상대 노드에게 데이터 패킷을 전송 (Bidirectional tunneling)하는데 드는 비용은 식(24) ~ 식(27)으로 표현된다. 식(24)는 이동 노드에서 MAP까지의 전송비용, 식(25)는 MAP에서 HA까지의 비용, 식(26)은 HA에서 상대노드까지의 비용이며 식(27)은 총 비용을 나타낸다. 식(28) ~ 식(31)은 상대 노드에서 이동 노드로 패킷을 전송하는 비용을 표현한다.

$$\begin{aligned}
T_{MN:MAP} &= \frac{s3(Byte)}{BW_{wl}(Mbps)} + \frac{(M-1) \times s3(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} \\
&= \left\{ \frac{s3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s3}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{24}$$

$$T_{MAP:HA} = \frac{K \times s2(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} = \frac{K \times s2}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \tag{25}$$

$$T_{HA:CN} = \frac{H \times s1(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} = \frac{H \times s1}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}
T_{MN:MAP:HA:CN} &= T_{MN:MAP} + T_{MAP:HA} + T_{HA:CN} \\
&= \left\{ \frac{s3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s3}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&\quad + \frac{K \times s2}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} + \frac{H \times s1}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&= \left\{ \frac{s3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s3 + K \times s2 + H \times s1}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{27}$$

$$T_{CN:HA} = \frac{H \times r1(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} = \frac{H \times r1}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \tag{28}$$

$$T_{HA:MAP} = \frac{K \times r2(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} = \frac{K \times r2}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \tag{29}$$



$$\begin{aligned}
T_{MAP:MN} &= \frac{r3(Byte)}{BW_{wl}(Mbps)} + \frac{(M-1) \times r3(Byte)}{BW_{wd}(Mbps)} \\
&= \left\{ \frac{r3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r3}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{30}$$

$$\begin{aligned}
T_{CN:HA:MAP:MN} &= T_{CN:HA} + T_{HA:MAP} + T_{MAP:MN} \\
&= \frac{H \times r1}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} + \frac{K \times r2}{BW_{wd}} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&\quad + \left\{ \frac{r3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r3}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&= \left\{ \frac{r3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r3 + K \times r2 + H \times r1}{BW_{wd}} \right\} \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{31}$$

이동 노드가 다른 MAP로 이동한 경우에 이동 노드와 상대 노드의 패킷을 송수신하는 3가지 방법에 있어서의 비용은 각각 식(32), 식(33), 식(34)이다.. 각각의 방법별로 필요한 BU/BA 메시지를 전송하는 과정과 BU 메시지 전송 실패율을 모두 고려한 수식이다. LCoA를 이용하여 이동 노드와 상대 노드가 직접 통신(Route Optimization with LCoA)하는 경우는 식(32)로 표현되며, RCoA를 이용하여 MAP를 통해 통신(Route Optimization with RCoA)하는 경우는 식 (33)으로 나타난다. 식(34)는 MAP와 HA를 모두 거쳐 터널링 되는 경우(Bidirectional tunneling)를 표현한다.

$$\begin{aligned}
TM_{RO/LCoA} &= T_{ROPro/LCoA} + T_{MN:CN} + T_{CN:MN} \\
&= p \times T_{BMLCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMLCoA} + T_w) \\
&\quad + \left\{ \frac{s4}{BW_{wl}} + \frac{(L-1) \times s4}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&\quad + \left\{ \frac{r6}{BW_{wl}} + \frac{(L-1) \times r6}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&= p \times T_{BMLCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMLCoA} + T_w) \\
&\quad + \left\{ \frac{s4 + r6}{BW_{wl}} + \frac{(L-1)(s4 + r6)}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{32}$$

$$\begin{aligned}
TM_{RO|RCoA} &= T_{ROPr|RCoA} + T_{LBM} + T_{MN:MAP:CN} + T_{CN:MAP:MN} \\
&= p \times T_{BMRCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMRCoA} + T_w) \\
&\quad + \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wl}} + (N-1) \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&\quad + \left\{ \frac{s5}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s5 + R \times s4}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&\quad + \left\{ \frac{r7}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r7 + R \times r6}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&= p \times T_{BMRCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMRCoA} + T_w) \\
&\quad + \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA} + s5 + r7}{BW_{wl}} \right. \\
&\quad \quad \left. + \frac{(N-1)(M_{BU} + M_{BA}) + (M-1)(s5 + r7) + R(s4 + r6)}{BW_{wd}} \right\} \\
&\quad \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{33}$$

$$\begin{aligned}
TM_{BT} &= T_{LBM} + T_{MN:MAP:HA:CN} + T_{CN:HA:MAP:MN} \\
&= \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wl}} + (N-1) \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&\quad + \left\{ \frac{s3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times s3 + K \times s2 + H \times s1}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&\quad + \left\{ \frac{r3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1) \times r3 + K \times r2 + H \times r1}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)} \\
&= \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA} + s3 + r3}{BW_{wl}} \right. \\
&\quad \left. + \frac{(N-1)(M_{BU} + M_{BA}) + (M-1)(s3 + r3) + K(s2 + r2) + H(s1 + r1)}{BW_{wd}} \right\} \\
&\quad \times \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{34}$$

이동 노드가 다른 AR로 이동한 경우는 식(35), 식(36), 식(37)로 표현된다.(MAP의 변동은 없다) LCoA를 이용하여 이동 노드와 상대 노드가 직접 통신(Route Optimization with LCoA)하는 경우는 식(35), RCoA를 이용하여 MAP를 통해 통신(Route Optimization with RCoA)하는 경우는 식 (36), MAP와 HA를 모두 거쳐 터널링(Bidirectional tunneling) 되는 경우는 식(37)이다..

$$\begin{aligned}
TR_{RO|LCoA} &= TM_{RO|LCoA} = T_{RO|Pro|LCoA} + T_{MN:CN} + T_{CN:MN} \\
&= p \times T_{BMLCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMLCoA} + T_w) \\
&\quad + \left\{ \frac{s4 + r6}{BW_{wl}} + \frac{(L-1)(s4 + r6)}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{35}$$

$$\begin{aligned}
TR_{RO|RCoA} &= T_{MN:MAP:CN} + T_{CN:MAP:MN} \\
&= \left\{ \frac{s5 + r7}{BW_{wl}} + \frac{(M-1)(s5 + r7) + R(s4 + r6)}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{36}$$

$$\begin{aligned}
TR_{BT} &= T_{MN:MAP:HA:CN} + T_{CN:HA:MAP:MN} \\
&= \left\{ \frac{s3 + r3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1)(s3 + r3) + K(s2 + r2) + H(s1 + r1)}{BW_{wd}} \right\} \frac{8(bit)}{1024^2(bps)}
\end{aligned} \tag{37}$$

최종적으로, 이동 노드가 평균  $M_{MAP}$  번의 MAP간 이동과 평균  $M_{AR}$  번의 AR간 이동을 하는 경우에 이동 노드와 상대 노드의 패킷 송수신 비용을 구하는 수식은 식(38), 식(39), 식(40)과 같다. 주목할 점은 이동 노드의 AR간 이동한 횟수에는 MAP간 이동 횟수도 포함되어 있다는 사실이다. 식(38)은 LCoA를 이용한 Route Optimization 방법의 총 비용을 나타내며 식(39)는 RCoA를 이용한 Route Optimization 방법의 총 비용을, 식(40)은 HA와 MAP를 거쳐 이중 터널링(Bidirectional tunneling) 되는 방법에서의 총 비용을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
T_{RO|LCoA} &= M_{MAP} \times (TM_{RO|LCoA}) + (M_{AR} - M_{MAP}) \times (TR_{RO|LCoA}) \\
&= M_{MAP} \times (TM_{RO|LCoA}) + (M_{AR} - M_{MAP}) \times (TM_{RO|LCoA}) \\
&= M_{AR} \times (TM_{RO|LCoA}) \\
&= M_{AR} \times (T_{RO|Pro|LCoA} + T_{MN:CN} + T_{CN:MN}) \\
&= M_{AR} \times \left( p \times T_{BMLCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMLCoA} + T_w) \right. \\
&\quad \left. + \left\{ \frac{s4 + r6}{BW_{wl}} + \frac{(L-1)(s4 + r6)}{BW_{wd}} \right\} \frac{8}{1024^2} \right)
\end{aligned} \tag{38}$$

$$\begin{aligned}
T_{RO|RCoA} &= M_{MAP} \times (TM_{RO|RCoA}) + (M_{AR} - M_{MAP}) \times (TR_{RO|RCoA}) \\
&= M_{MAP} \times (T_{RO|Pro|RCoA} + T_{LBM} + T_{MN:MAP:CN} + T_{CN:MAP:MN}) \\
&\quad + (M_{AR} - M_{MAP}) \times (T_{MN:MAP:CN} + T_{CN:MAP:MN}) \\
&= M_{MAP} \times (T_{RO|Pro|RCoA} + T_{LBM}) + M_{AR} \times (T_{MN:MAP:CN} + T_{CN:MAP:MN}) \quad (39) \\
&= M_{MAP} \times \left( p \times T_{BMRCoA} + \sum_{i=1}^9 p(1-p)^i (T_{BMRCoA} + T_w) \right. \\
&\quad \left. + \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wl}} + (N-1) \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \frac{8}{1024^2} \right) \\
&\quad + M_{AR} \times \left\{ \frac{s5 + r7}{BW_{wl}} + \frac{(M-1)(s5 + r7) + R(s4 + r6)}{BW_{wd}} \right\} \frac{8}{1024^2}
\end{aligned}$$

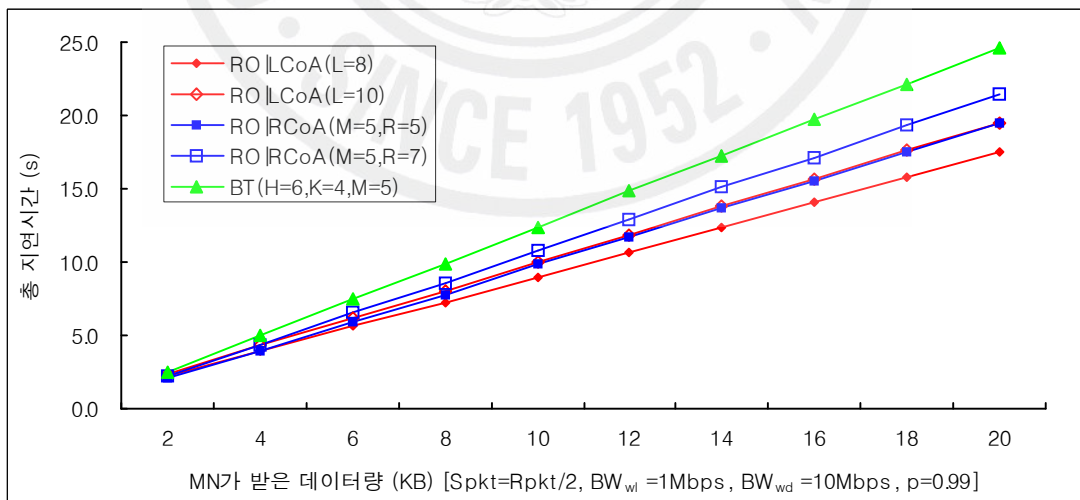
$$\begin{aligned}
T_{BT} &= M_{MAP} \times (TM_{BT}) + (M_{AR} - M_{MAP}) \times (TR_{BT}) \\
&= M_{MAP} \times (T_{LBM} + T_{MN:MAP:HA:CN} + T_{CN:HA:MAP:MN}) \\
&\quad + (M_{AR} - M_{MAP}) \times (T_{MN:MAP:HA:CN} + T_{CN:HA:MAP:MN}) \\
&= M_{MAP} \times T_{LBM} + M_{AR} \times (T_{MN:MAP:HA:CN} + T_{CN:HA:MAP:MN}) \quad (40) \\
&= M_{MAP} \times \left\{ \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wl}} + (N-1) \frac{M_{BU} + M_{BA}}{BW_{wd}} \right\} \frac{8}{1024^2} \\
&\quad + M_{AR} \times \left\{ \frac{s3 + r3}{BW_{wl}} + \frac{(M-1)(s3 + r3) + K(s2 + r2) + H(s1 + r1)}{BW_{wd}} \right\} \\
&\quad \times \frac{8}{1024^2}
\end{aligned}$$

## IV 성능평가

이 장에서는 이동 노드와 상대 노드가 HA와 MAP를 거쳐 터널링을 통해 패킷을 전송하는 방법(BT), RCoA를 이용하여 MAP를 거쳐 패킷을 전송하는 방법(OR|RCoA), LCoA를 이용하여 직접 패킷을 전송하는 방법(OR|LCoA)에 대해 제안기법에서 제시한 분석 모델을 이용하여 HMIPv6 네트워크에 다양한 조건이 주어졌을 때 총 지연시간을 측정하여 그 결과를 살펴본다.

### 1. 전송하는 데이터 크기에 따른 성능 평가

<Figure 10>는 이동 노드와 상대 노드가 전송하는 데이터의 크기가 커짐에 따른 패킷 전송 지연시간의 비교를 보여준다. 다른 조건들은 모두 동일한 상황에 무선망 대역폭이 각각 1Mbps, 10Mbps, 100Mbps인 경우(유선망은 무선망의 10 배)를 고려해 본다. 모든 경우에 있어서 데이터 크기가 커질수록 지연시간은 길어지는 것은 당연하다.



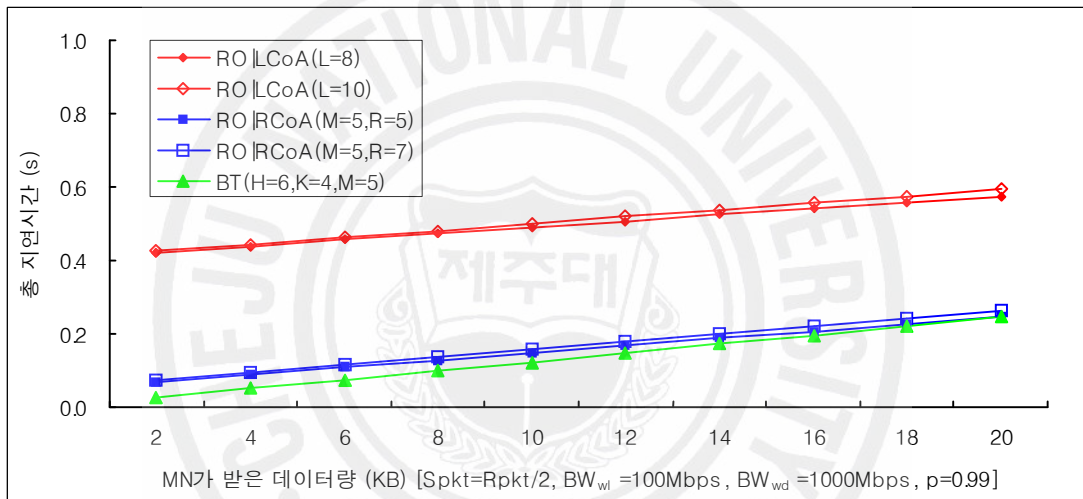
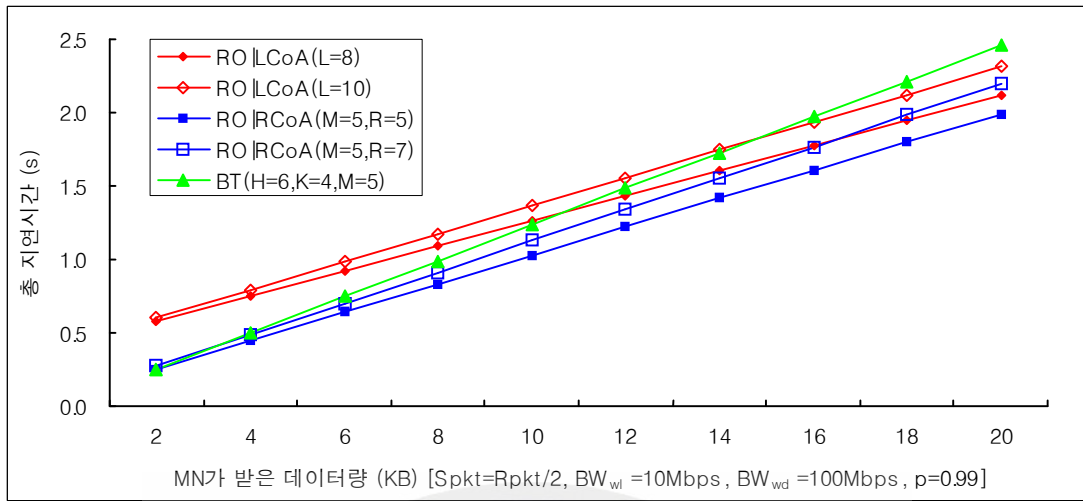


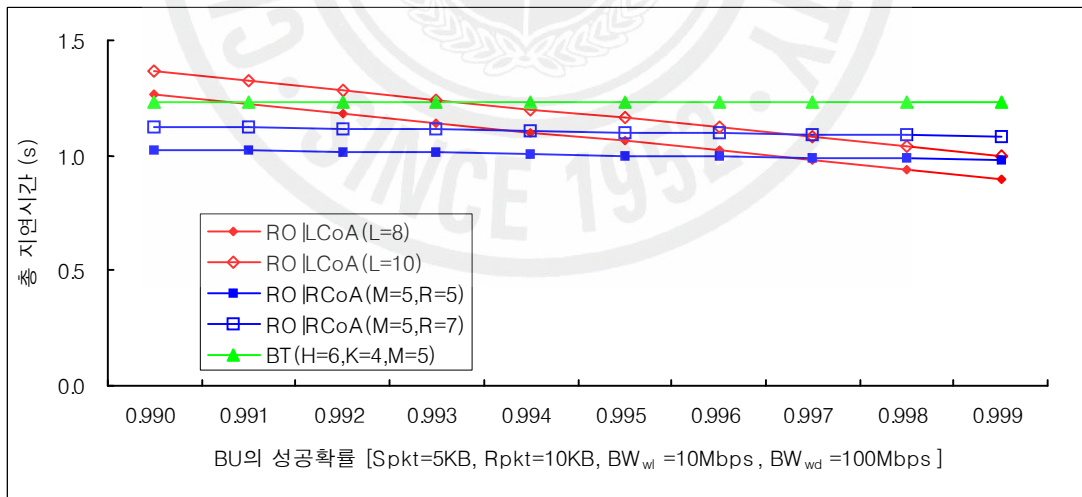
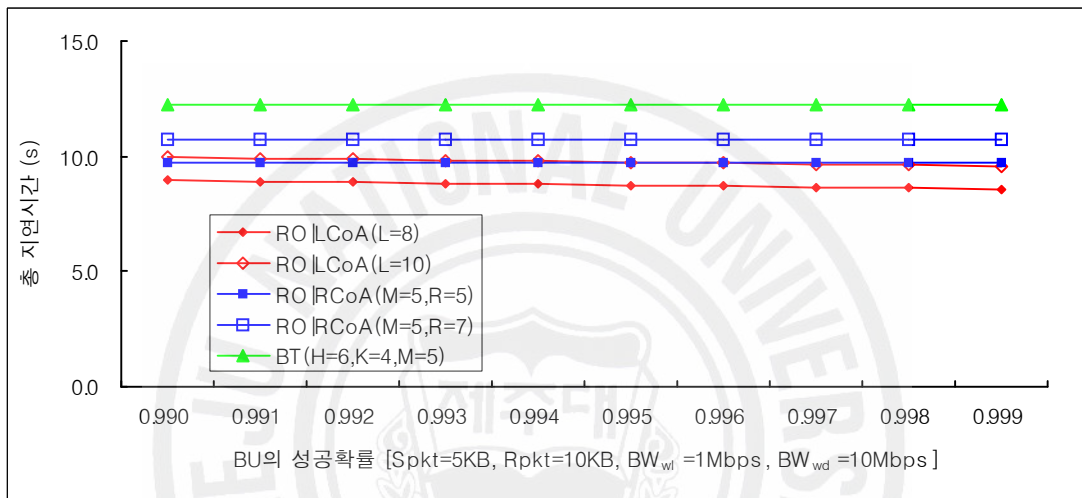
Figure 10. 전송하는 데이터 크기에 따른 지연시간 비교

네트워크 대역폭이 낮은 경우(무선망 대역폭이 1Mbps) Route Optimization with LCoA, Route Optimization with RCoA, Bidirectional tunneling 순으로 성능이 좋으며 데이터 크기가 커질수록 성능 차이가 커진다.

네트워크 대역폭이 높아질수록 데이터 크기가 작을 때는 Bidirectional tunneling, Optimization with RCoA, Route Optimization with LCoA 순으로 성능이 좋으나 데이터 크기가 커짐에 따라 성능이 좋은 순서가 바뀐다. 이것은 Bidirectional tunneling, Optimization with RCoA, Route Optimization with LCoA 순으로 데이터 크기에 많은 영향을 받는다는 것을 나타낸다.

## 2. BU의 성공확률에 따른 성능 평가

<Figure 11>는 이동 노드가 BU메시지를 송신했을 때 성공할 확률이 높아짐에 따른 패킷 전송 지연시간의 비교를 보여준다. 다른 조건들은 모두 동일한 상황에 무선망 대역폭이 각각 1Mbps, 10Mbps, 100Mbps인 경우(유선망은 무선망의 10배)를 고려해 본다.



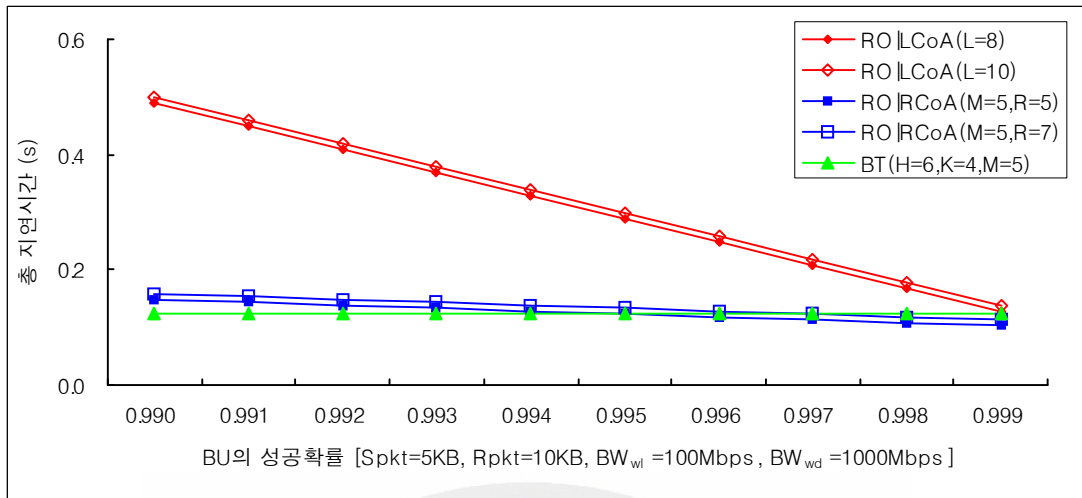


Figure 11. BU 성공확률에 따른 지연시간 비교

Bidirectional tunneling의 경우는 BU 메시지 성공확률에 거의 영향을 받지 않으나, Optimization with RCoA의 경우는 BU 메시지 성공확률이 높아짐에 따라 성능이 작은 쪽으로 좋아진다. 그러나 Route Optimization with LCoA에서는 BU 메시지 성공확률이 높아질수록 packet 송수신 지연시간이 확연히 줄어든다. Route Optimization with LCoA이 BU 메시지 성공확률에 가장 민감함을 보여준다.

### 3. 무선망과 유선망의 대역폭에 따른 성능 평가

<Figure 12>은 무선망과 유선망의 대역폭이 커짐에 따른 packet 전송 지연시간의 비교를 보여준다. 다른 조건들은 모두 동일한 상황에 무선망 대역폭이 증가하는 경우와 유선망 대역폭이 증가하는 경우, 무선망과 유선망 대역폭 모두 증가하는 경우를 고려해 본다. 평가 결과를 보면 무선망 대역폭의 증가는 모든 경우에 있어서 동일한 영향 끼치나 유선망의 대역폭이 증가하는 경우는 Bidirectional tunneling, Optimization with RCoA, Route Optimization with LCoA 순으로 많은 영향을 받음을 알 수 있다.



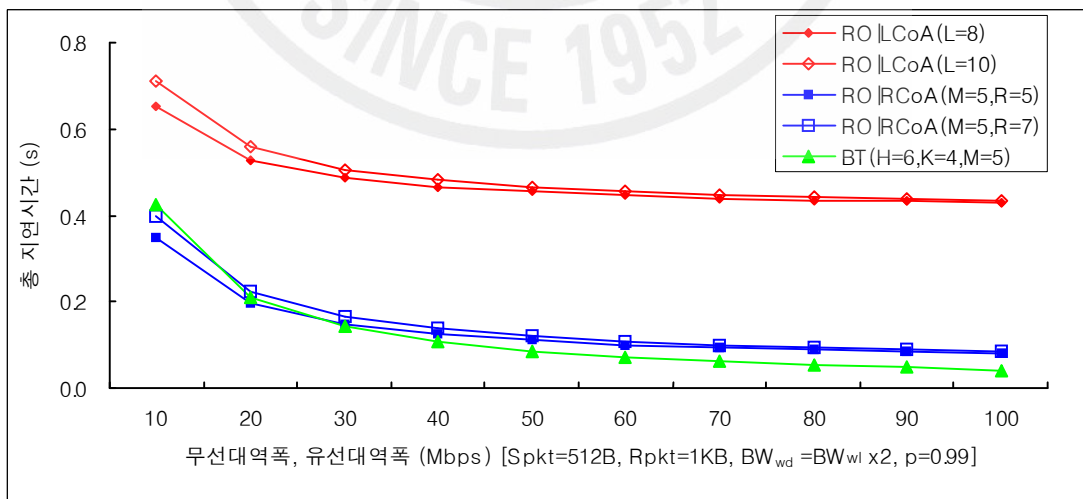
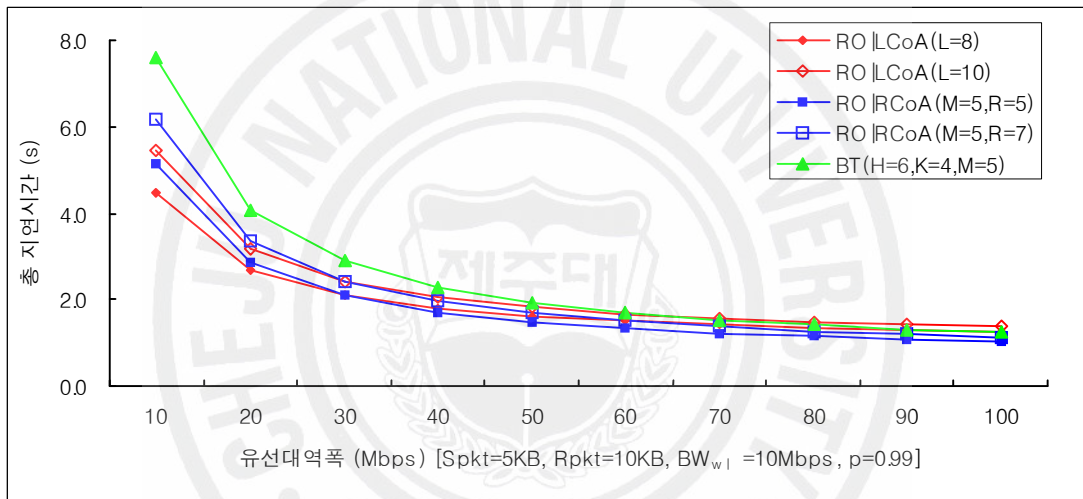
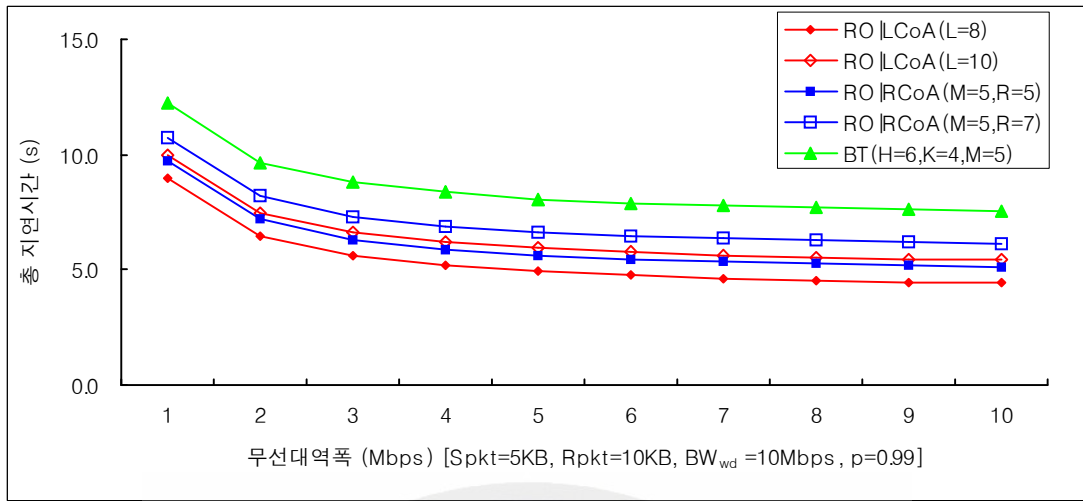
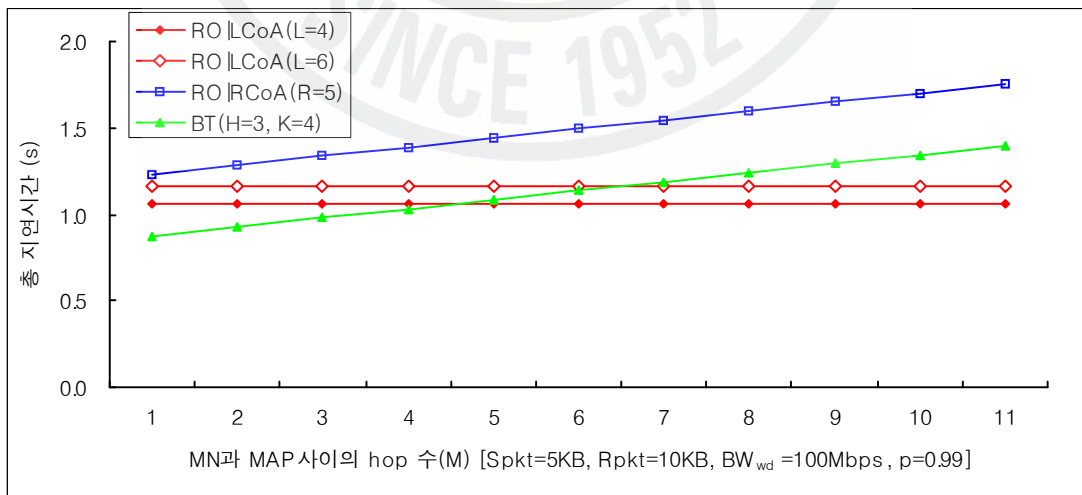
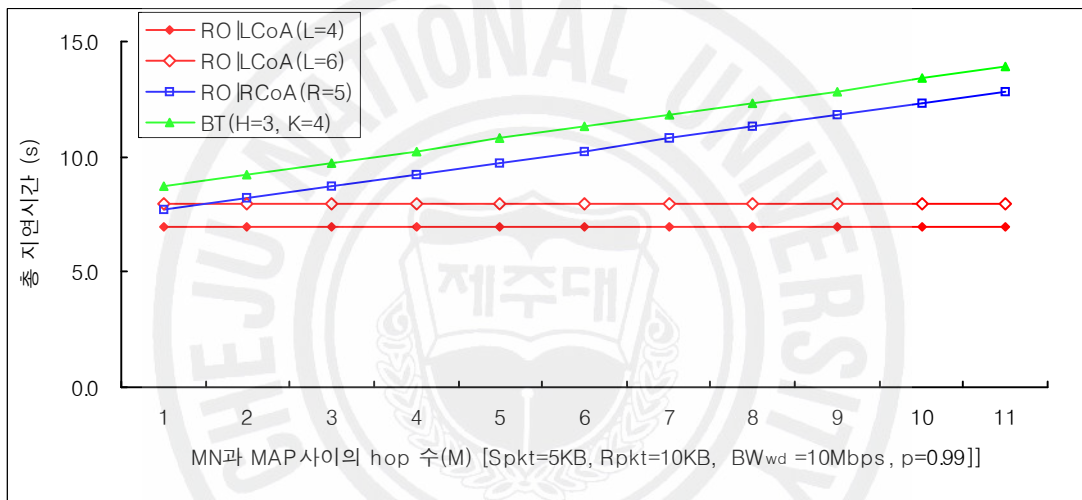


Figure 12. 무선망과 유선망의 대역폭에 따른 지연시간 비교

#### 4. 이동 노드와 MAP간 hop 수에 따른 성능 평가

<Figure 13>는 이동 노드와 MAP간 hop 수에 따른 패킷 전송 지연시간의 비교를 보여준다. 다른 조건들은 모두 동일한 상황에 무선망 대역폭이 각각 1Mbps, 10Mbps, 100Mbps인 경우(유선망은 무선망의 10배)를 고려해 본다.

Route Optimization with LCoA는 이동 노드와 MAP간 hop 수에 영향을 받지 않는다. 그러나 Bidirectional tunneling, Optimization with RCoA는 이동 노드와 MAP간 hop수가 많아질수록 packet 송수신 지연시간이 많이 소요된다.



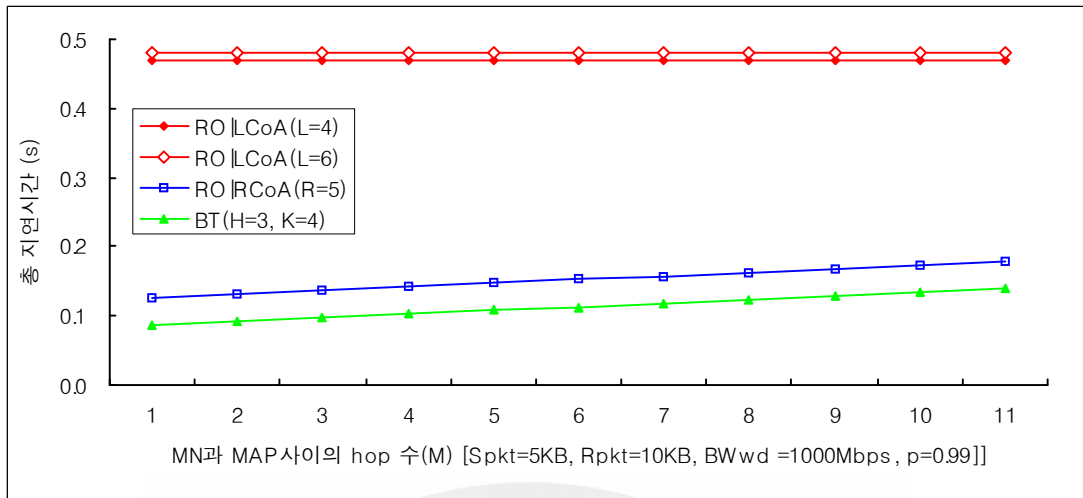


Figure 13. 이동 노드와 MAP간 hop수에 따른 지연시간 비교

### 5. 이동 노드의 MAP간 이동과 AR간 이동에 따른 성능 평가

<Figure 14>는 이동 노드의 MAP간 이동과 AR간 이동에 따른 패킷 전송 지연시간의 비교를 보여준다. 이동 노드의 이동이 MAP간 이동인 경우 이동 노드의 RCoA뿐만 아니라 LCoA도 바뀐다(즉, AR도 변경된다.)을 고려할 때, 여기서는 이동 노드의 전체 이동 횟수 중 MAP간 이동이 차지하는 비율이 높아짐에 따른 성능 평가를 살펴본다.

평가 결과를 살펴보면, Bidirectional tunneling, Route Optimization with LCoA의 경우는 MAP의 이동비율에 영향을 받지 않는다. 그러나, Optimization with RCoA에 있어서는 mobile node의 이동 중에 MAP간 이동 횟수 차지하는 비율이 높아질수록 packet 송수신 지연시간이 많이 소요됨을 알 수 있다..

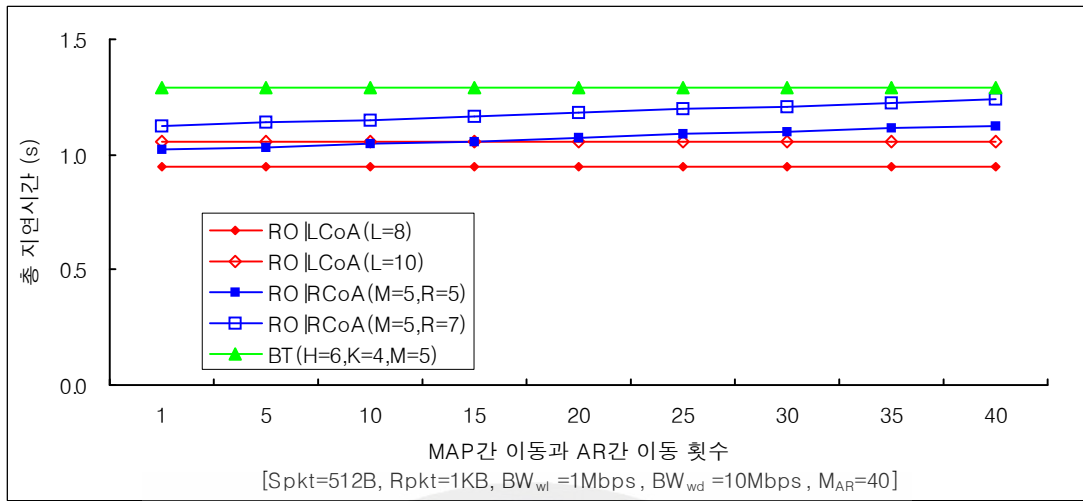
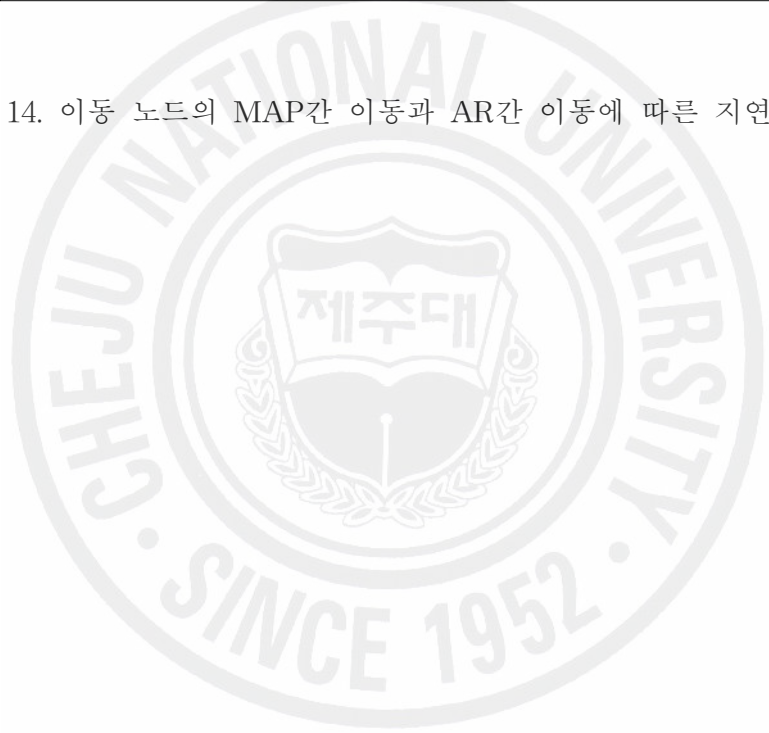


Figure 14. 이동 노드의 MAP간 이동과 AR간 이동에 따른 지연시간 비교



## V 결론

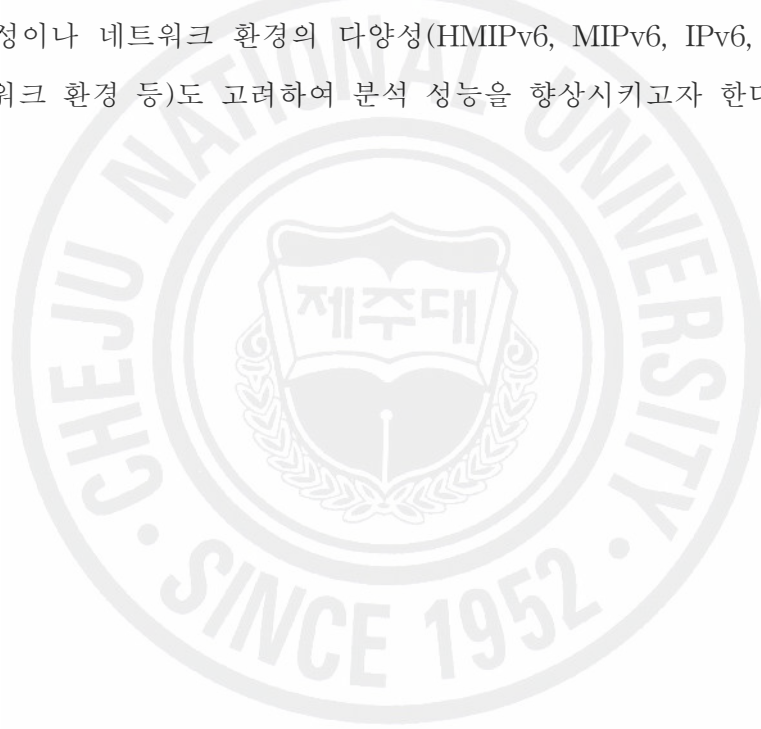
본 논문은 지역이동성을 제공하는 HMIPv6에서 이동 노드와 상대 노드 사이에 패킷을 송수신하는 3가지 방법에 대하여, 다양한 네트워크 환경을 적용하여 패킷 전송 성능을 평가하는데 그 목적을 두고 있다. 이 평가를 통하여 주어진 네트워크 환경 조건에 따라 어떤 packet 전송 방법이 효과적인 성능을 보이는지 파악할 수 있게 되며, 이를 통해 네트워크 관리자가 주어진 시스템 환경 하에서 이동 노드와 상대 노드 간에 패킷을 송수신하는 방법 선택의 판단 근거를 제공한다.

이동 노드와 상대 노드가 HA와 MAP를 거쳐 터널링을 통해 패킷을 전송하는 Bidirectional tunneling, RCoA를 이용하여 MAP를 거쳐 패킷을 전송하는 Route Optimization with RCoA, LCoA를 이용하여 직접 패킷을 전송하는 Route Optimization with LCoA에 대한 성능 평가를 위하여 패킷 전송 지연시간을 비교하는 분석 모델을 제시하였으며, 이 분석모델을 이용하여 성능 평가를 실시하였다. 이 분석 모델에서는 공통적으로 소요되는 지연시간을 제외하고 서로 다르거나 추가되는 지연시간을 대상으로 하였으며, 성능 평가 시에는 송수신하는 데이터 크기, binding update의 성공확률, 네트워크의 대역폭, MAP와 이동 노드간 경로 상에서의 hop 수, 이동 노드가 MAP나 AP간 이동하는 횟수를 고려하였다.

각각의 조건에 따라 성능평가를 해 본 결과 데이터 크기가 커짐에 따라 Bidirectional tunneling의 경우가 성능 저하에 많은 영향을 받았으며, Route Optimization with RCoA, Route Optimization with LCoA 순으로 데이터 크기가 커질수록 성능 저하의 폭이 컸다. BU 메시지 성공확률이 높아지는 경우에 있어서는 Route Optimization with LCoA가 많은 성능 향상을 가져옴을 알 수 있었다. 네트워크 대역폭의 경우는 Bidirectional tunneling이 대역폭에 따른 성능 차이를 많이 보였으며, 대역폭이 높아짐에 따라 Optimization with RCoA, Route Optimization with LCoA 순으로 성능향상을 보였다. 또한, 무선망 대역폭 증가가 모든 경우에 있어서 동일한 정도의 성능향상을 보이는데 반해 유선망 대역폭의 경우는 Bidirectional tunneling, Optimization with RCoA, Route Optimization with

LCoA 순으로 성능향상의 폭이 큼을 확인할 수 있었다. 이동 노드와 MAP간 경로상의 hop 수의 증가는 Bidirectional tunneling, Optimization with RCoA에만 성능 저하를 가져왔으며 Optimization with LCoA에는 별다른 영향을 주지 못했다. 마지막으로 이동 노드의 이동 중에 MAP간 이동이 차지하는 비율이 높아질수록 Optimization with RCoA에 있어서의 packet 송수신 지연시간이 많이 소요되지만, Bidirectional tunneling는 packet 송수신 지연시간의 소폭 증가, Route Optimization with LCoA의 경우는 MAP의 이동비율에 영향을 받지 않는 것도 보았다.

향후에는 이번 논문에서 고려하지 못한 보안을 분석 모델에 추가하고, 상대 노드의 이동성이나 네트워크 환경의 다양성(HMIPv6, MIPv6, IPv6, IPv4 등이 혼재된 네트워크 환경 등)도 고려하여 분석 성능을 향상시키고자 한다.



## VI 참고문헌

- [1] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, Mobility Support in IPv6, IETF RFC 3775, 2004.
- [2] N. Montavont, and T. Noel, Handover management for mobile nodes in IPv6 networks, IEEE Communications Magazine, Vol.40, 2002.
- [3] C. Liu, Support mobile IPv6 in IPv4 domains, The IEEE Vehicular Technology Conference, Vol.5, 2004.
- [4] L. Osborne, A. Abdel-Hamid, and R. Ramadugu, A performance comparison of Mobile IPv6, hierarchical Mobile IPv6, and Mobile IPv6 regional registrations, IEEE International Conference on Communications and Mobile Computing, Wireless Networks, Vol.2, 2005.
- [5] S. Aust, C. Gorg, and C. Pampu, Mobile IPv6 ad hoc gateway with handover optimization, The IEEE Vehicular Technology Conference, Vol.4, 2005.
- [6] H. Soliman, C. Castelluccia, K. E. Malki, L. Bellier, Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6), IETF RFC 4140, 2005.
- [7] S. Hwang, B. Lee, Y. Han, and C. Hwang, Anadaptive hierarchical mobile IPv6 with route optimization, The IEEE Vehicular Technology Conference, Vol.3, 2003.
- [8] S. Pack, T. Kwon, Y. Choi, Adaptive local route optimization in hierarchical mobile IPv6 Networks, The IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol.3. 2005.
- [9] C. Vogt, A Comprehensive Delay Analysis for Reactive and Proactive Handoffs with Mobile IPv6 Route Optimization, Technical Reports, 2006.

- [10] C. Vogt, and J. Arkko, A Taxonomy and Analysis of Enhancements to Mobile IPv6 Route Optimization, IETF Internet Draft draft-irtf-mobopts-ro-enhancements-08.txt, 2006.
- [11] R. Koodli, et al., Fast Handovers for Mobile IPv6, IETF RFC 4068, 2005.
- [12] T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson, H. Soliman, Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6), IETF RFC 4861, 2007.
- [13] C. Perkins, IP Encapsulation within IP, IETF RFC 2003, 1996.
- [14] J. McCann, J. Mogul, S. Deering, Path MTU Discovery for IP version 6, IETF RFC 1981, 1996.
- [15] S. Deering, and R. Hinden, Internet Protocol, Version 6 Specification, IETF RFC 2460, 1998.
- [16] S. Kent, and R. Atkinson, IP Encapsulation Security Payload (ESP), IETF RFC 2406, 1998.
- [17] S. Kent, and R. Atkinson, IP Authentication Header, IETF RFC 2402, 1998.
- [18] B. Haley, V. Devarapalli, H. Deng, and J. Kempf, Mobility Header Home Agent Switch Message, IETF Internet Draft draft-ietf-mip6-ha-switch-00.txt, 2006.
- [19] H. Soliman, MobileIPv6, Addison-Wesley, 2004.
- [20] 김성환, 여운영, 미래를 지배하는 모바일 네트워크, 야스미디어, 2003.
- [21] A. Conta, S. Deering, Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification, IETF RFC 2473, 1998.
- [22] R. Hinden, S. Deering, IP Version 6 Addressing Architecture, IETF RFC 4291, 2006.