

# Analytical Approach of Global Mobility Support Schemes in IP-based Heterogeneous Mobile Networks

Younghoon Won<sup>†</sup> · Jongpil Jeong<sup>††</sup>

## ABSTRACT

Mobility management of the mobile nodes and provision of seamless handover is crucial to an efficient support for the global roaming of the mobile nodes in next-generation wireless networks. Mobile IPv6 and mobility management in extended IP layer, which highly depend on traffic characteristics and user mobility models, were proposed by the IETF. Therefore, to evaluate the in-depth performance about these factors is important. Generally, the performance of IPv6-based mobility management protocol is evaluated through simulation. This paper shows the correlation between network parameters and performance metrics through numerical results, which is investigated how influence handoff latency and packet loss. And this paper uses mathematical analysis of the system parameters, such as the subnet residence time, the packet arrival rate and delay in wireless connection through the analytical framework which evaluate the performance of IPv6-based mobility management protocol.

**Keywords :** Mobile Management, IP-based Mobile Network, Global Roaming, Analytical Framework

## IP기반 이중 모바일 네트워크에서 글로벌 이동성 지원기법의 분석적 접근법

원영훈<sup>†</sup> · 정종필<sup>††</sup>

## 요약

차세대 무선 네트워크에서 MN의 글로벌 로밍을 효율적으로 지원하기 위해서는 원활한 핸드오버와 MN의 이동성관리는 매우 중요하다. IETF가 모바일 IPv6와 보다 확장된 IP 계층에서의 이동성관리를 제안하였지만 트래픽 특성 및 사용자의 MN에 따라 크게 좌우된다. 그러므로 이러한 요인에 관해 심도있는 성능을 평가하는 것이 중요하다. 일반적으로 IPv6 기반 이동성관리 프로토콜의 성능은 시뮬레이션을 통해 평가하는데 본 논문에서는 IPv6 기반 이동성관리 프로토콜의 성능을 평가하는 분석 프레임워크를 제안한다. 서브넷 체류 시간, 패킷 도착률과 무선 연결 지연 등 시스템 매개변수들의 수학적 분석을 이용하여 핸드오프 지연, 패킷 손실에 대한 성능평가를 수행하고, 분석 결과를 통해 네트워크 매개변수와 성능분석 수치간의 상관관계를 제시한다.

**키워드 :** 이동성 관리, IP기반의 모바일 네트워크, 글로벌 이동성 지원, 분석 프레임워크

## 1. 서론

차세대 무선 네트워크와 4G 네트워크 상에서 원활한 핸드오프의 제공과 이동성관리는 핵심적인 주제이다. 원활한 핸드오프의 제공과 이동성관리는 원활한 이동성과 연속적인 서비스를 제공하기 위해 중요하며 지능적이고 효율적인

방법으로 구성이 되어야 한다. 그러나 서로 다른 모바일 네트워크가 중첩되는 경우의 이질감을 해소하기 위해 새로운 아키텍처의 디자인, 이동성관리 프로토콜, 서비스 품질 및 확실한 보안, 빠른 무선 접속, 네트워크 프로토콜 간의 통일된 상호 연결 요소 등을 필요로 하게 되었다. 이러한 요소들로 포함하여 제안된 것이 IP(Internet Protocol)이며 이 프로토콜은 효율적인 비용과 확장성이 보장된 응용 프로그램을 지원하기 때문에 차세대 무선 네트워크의 핵심 백본 네트워크로써 모바일 네트워크 통신의 이질감 감소와 다양한 네트워크의 컨버전스에 많은 도움이 될 것으로 예상하였다[1].

그에 따라 IETF는 IP계층에서 모바일 이동성관리를 위한

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초 연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0027030).

† 준회원: 성균관대학교 정보통신대학 석사과정

†† 정회원: 성균관대학교 산학협력단 산학협력중점교수

논문접수: 2012년 5월 23일

수정일: 1차 2012년 8월 16일, 2차 2012년 9월 10일

심사완료: 2012년 9월 11일

\* Corresponding Author: Jongpil Jeong(jpjeong@skku.edu)

기본 프로토콜로 MIPv4(Mobile IPv4)의 확장개념인 MIPv6(Mobile IPv6)[2]를 제안하였다. 그러나 MIPv6 프로토콜에서는 몇 가지 단점이 발견되었는데 특히 HA(Home Agent)나 MN(Mobile Node)에서 CN(Correspondent Node)이 지리적으로 멀리 위치할 때 상당한 시그널링 부하가 발생하고 이로 인해 시그널링(Binding Massage)을 실시간으로 전달할 때 사용자가 인지할 수 있을 정도의 핸드오프 지연을 발생시켰고 패킷 손실의 비율이 매우 높아지는 결과를 초래하게 되었다.

그래서 MIPv6를 기반으로 한 FMIPv6(Fast Handover for MIPv6)[3]와 HMIPv6(Hierarchical MIPv6)[4]와 같은 몇 가지의 프로토콜이 제안되었고 F-HMIPv6(Fast Handover for HMIPv6)[14]와 FPMIPv6(Fast Proxy MIPv6)[20] 같은 프로토콜의 표준화를 진행하여 성능 향상을 꾀하였다. 이러한 제안에도 불구하고 아직도 차세대 무선 네트워크 상에서 우수한 서비스 품질을 제공할 수 있는 이동성관리 프로토콜은 복잡하고 어려운 과제로 남아있다. 이를 개선하기 위한 IPv6 기반 모바일 이동성관리 프로토콜의 성능 평가는 일반적으로 시뮬레이션과 테스트 베드 위주로 이루어지고 있지만[5],[6] 시뮬레이션을 통한 IPv6 기반 핸드오프 프로토콜의 성능 평가는 프로토콜간의 비교가 어렵고 작업 시나리오에 따라 결과가 크게 달라진다. 몇몇 문헌을 통해 성능분석 평가결과를 확인 할 수 있지만 간단한 가정에 기초하고 있으면 단점을 가진 사례도 많다. [7]은 IP 기반 이동성 프로토콜의 효율성을 평가하고 총 시그널링 비용을 계산하기 위해 시그널링 비용과 터널링 비용 사이의 상관관계를 제안하였지만 이는 주로 PCS(Personal Communication Systems)를 위한 위치 관리 프로토콜로 제안되었다. [8]은 IPv6 기반 이동성 프로토콜의 핸드오프 지연에 대한 기능 몇세 및 구현에 적합한 구조를 평가하기 위한 프로토콜을 제안하였고 [9]는 시그널링 방출 주파수에 따라 대역폭 신호의 분석을 제안하였지만 패킷 터널링에 의해 생성된 시그널링 오버헤드는 고려하지 않았다. [10]은 IP 기반 셀룰러 네트워크 상에서 HMIPv6의 성능평가를 위한 분석모델이 제안되었으나 이 모델은 대역폭에서 소비하는 데이터의 패킷 전달 비용을 고려하고 트래픽을 제어하는 여분의 신호 소비를 무시하였다. [11]은 MIPv6와 FMIPv6의 시그널링 오버헤드를 비교 분석 하였지만 패킷 손실, 핸드오프 지연시간과 사용자의 이동성 모델이 조사되지 않았다.

이에 따라 [21]의 평가 기법을 이용하여 IETF에서 제안한 다양한 IPv6 기반 이동성 프로토콜에 대해 매개변수를 통해 MN이 서브넷에 거주하는 동안 생성되는 총 시그널링 비용과 핸드오프 지연시간, 패킷 손실에 따른 버퍼공간을 고려하여 포괄적인 분석을 수행하였고 이러한 분석 기준을 바탕으로 트래픽 매개변수에 따라 얻어낸 수치결과를 분석 하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구를 설명하고, 3장과 4장에서 이동성 프로토콜의 모델링과 성능평가를 수행한다. 5장에서는 본 논문의 결론을 설명한다.

## 2. 관련 연구

모바일 네트워크의 이동성관리는 사용자의 위치에 따른 로밍이 가능한 위치 관리 및 새로운 서브넷으로 이동할 때 그들의 연결 상태를 유지하는 핸드오버 관리가 가능해야 한다. 그에 따른 IPv6기반의 이동성관리를 위해 제안된 몇 가지 프로토콜을 간략하게 소개하고자 한다.

정의 : 핸드오버 또는 핸드오프는 서로 다른 네트워크 지역 사이의 MN의 움직임이다. 즉 기존의 네트워크 연결을 종료하고 새로운 연결을 획득하는 과정이다. IP 기반의 차세대 무선 네트워크 상에서 핸드오버는 링크 (L2)계층에서의 액세스 포인트 변화와 IP 계층에서의 라우팅 변경 사항을 포함할 수 있다. 끊임 없는 핸드오버를 보장해야 효율적인 메커니즘이다. 즉 핸드오프 지연시간, 패킷 손실, 핸드오프 오류를 최소화 하고 연속적으로 서비스가 가능해야 한다.

정의 : 핸드오프 지연시간은 MN이 핸드오프를 하는 동안 패킷을 보내거나 받을 수 없는 상태의 시간 간격이며 그것은 L2와 L3 계층으로 구성되어 있다. L3 계층의 핸드오프 지연시간은 MN 움직임 감지, IP 주소 구성 및 시그널링 절차 시간의 합으로 구성한다.

Fig. 1은 이동성 관리의 종류와 그에 대한 클래스를 나타낸 것이다. 이동성 관리에는 호스트 기반 프로토콜과 네트워크 기반 프로토콜 두 가지의 프로토콜로 나눌 수 있고, MN이 이동하는 도메인 영역에 따라 도메인 내부의 이동은 로컬 이동성 관리, 도메인 변경이 발생하는 이동은 글로벌 이동성 관리로 분류할 수 있다.

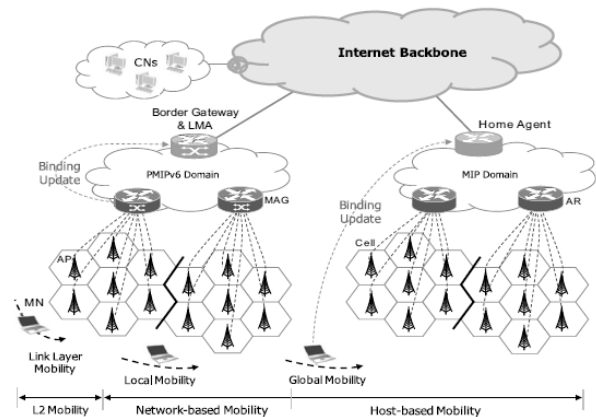


Fig. 1. Classification of mobility on the wireless network management

### 2.1 MIPv6

MIPv6(Mobile IPv6)[2]는 IP 계층에서 MN의 이동성을 관리하기 위해 제안된 프로토콜이며 IP 계층 상에서 MN이 이동함에도 불구하고 연결을 계속적으로 유지할 수 있도록 제안되었다. 각 MN은 항상 MN이 속한 HoA(Home of Address) 정보를 가진다. MN이 HoA를 변경하게되면 해당

는 MN의 현재 위치는 CoA(Care-of Address)에 의해 관리되는데 이동한 위치의 인접한 라우터가 RA(Router Advertisement)패킷을 통한 RS(Router Solicitation)로 정보를 교환하여 새로 접속 가능한 라우터를 식별한다. 식별 도중 CoA(정보를 저장하던 저장하지 않던[12])는 DAD(Duplicate Address Detection)라는 프로시저를 통해 NA(Neighbor Advertisement)패킷을 통한 NS(Neighbor Solicitation)로 정보를 교환하여 해당 링크가 중복되지 않은 고유한 링크인지 식별한다. CoA의 프로시저 작업이 끝나고 MN은 새로운 HA(Home Agent)에 시그널링(Binding Message) 메시지 교환을 통해 BAcK(Binding Acknowledgment)을 수신하며 MN은 해당 바인딩 정보를 갱신한다. 그리고 경로 최적화를 활성화 하기 위해서 MN에 대해 운영중인 모든 CN들의 바인딩 프로시저를 수행한다.

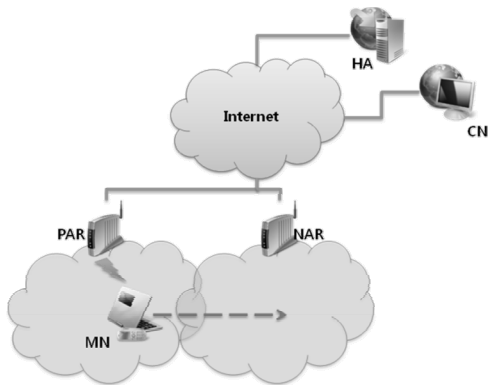


Fig. 2. MIPv6 protocol

그러나 RR(Return Routability)프로시저는 정상적이던 다른 악의적인 MN에 의해 비 정상적이던 CN의 바인딩 업데이트가 이루어지기 전에 수행되어야 한다. RR프로시저는 HoTI(Home Test Init)기능과 HoT(Home Test) 메시지 교환으로 이루어진 HoAT(Home of Address Test)와 CoTI(Care-of Test Init)기능과 CoT(Care-of Test) 메시지 교환으로 이루어진 CoAT(Care-of Address Test)로 구성되어 있다. RR 프로시저는 세션 하이재킹을 방지하는데 도움이 되지만 바인딩 업데이트 프로시저 수행에 지연을 가져온다. MIPv6의 구성도는 Fig. 2에 메시지 흐름의 순서는 Fig. 3에서 확인 할 수 있다.

위에서 분석한대로 MIPv6는 높은 패킷 손실, 사용자가 느낄 수 있을 만큼의 핸드오프 지연 등 몇 가지 단점이 있는 것을 알 수 있다. 또한 위와 같은 문제는 로컬 네트워크의 이동이 아닌 글로벌 네트워크의 이동에서도 문제가 발생한다. 두 개의 MN이 동시에 이동하여 지속적으로 세션을 가지고 있을 경우 경로 최적화를 하면 문제가 발생하기 때문이다[13].

2.2 FMIPv6

FMIPv6(Fast Handovers for Mobile IPv6)[3]는 MIPv6에 관해 핸드오버를 하는 동안 핸드오프 지연시간을 줄이고 서

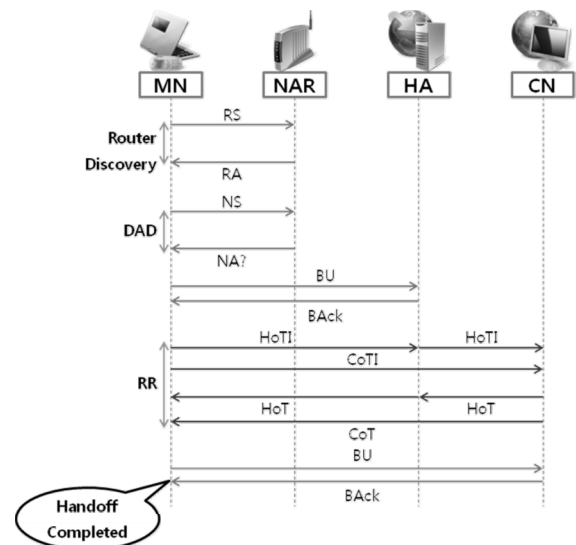


Fig. 3. Message flow diagram of the MIPv6 protocol

비스 중단을 최소화하기 위해 제안되었다. FMIPv6는 핸드오버가 발생하면 미리 예측하거나 핸드오버를 신속하게 반응하기 위해 L2 트리거를 사용한다. MN이 NAR(New Access Router) 방향으로의 움직임을 감지하면, L2 트리거를 사용하여 프록시에게 PrRtAdv(Proxy Router Advertisement) 메시지 패킷을 통한 RtSolPr(Router Solicitation for Proxy)로 정보를 교환하여 이전에 액세스했던 라우터 PAR(Previous Access Router)의 정보와 NAR의 대한 정보를 얻어 NCoA(new CoA)를 구성한다. 그런 다음 MN은 NCoA로 PCoA (previous CoA)를 연결하기 위해 PAR에 대해 FBU(Fast Binding Update)를 보낸다. 그리고 HI(Handover Initiate) 메시지와 HAcK(Handover Acknowledgment) 메시지를 교환하는데 있어서 실패를 방지하기 위해 NAR와 PAR사이에 양방향 터널을 개설하여 라우팅을 설정한다. 그 다음 MN에 미리 구성된 NCoA 및 양방향 터널 설립 검증에 대한 상태를 보고하는 FBAcK(Fast Binding Acknowledgment) 메시지를 통해 PAR은 MN에게 NCoA의 정보를 담아 FBAcK 메시지를 보내고 NAR의 링크를 통해 PCoA의 정보를 담아 NAR에게 FBAcK 메시지를 보낸다. NAR의 버퍼는 MN이 NAR에 접속할 때까지 패킷을 계속 버퍼링한다. 그런 다음 MN은 FNA(Fast Neighbor Advertisement) 옵션을 사용하여 NAR에게 RS(Router Solicitation) 메시지를 보내 새로운 링크를 생성하고 NAR은 MN에 버퍼링 된 패킷을 제공한다. FMIPv6의 프로토콜은 Fig. 4에서 확인 할 수 있고 Predictive 모드의 메시지 흐름 순서는 아래 Fig. 5에서 확인 할 수 있다.

FMIPv6의 다른 모드는 Reactive 모드인데 이 모드는 MN이 이미 PAR에서 벗어나 NAR로 접속하고 있는 단계에서 사용되는 모드이다. 이 상태의 MN은 PAR가 성공적으로 F시그널링을 처리했는지 알 수가 없는 상태이기 때문에 FBAcK 메시지를 FNA를 통해 NAR에게 직접 전송한다.

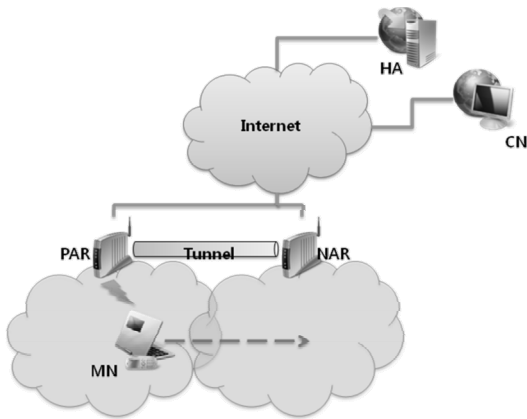


Fig. 4. FMIPv6 protocol

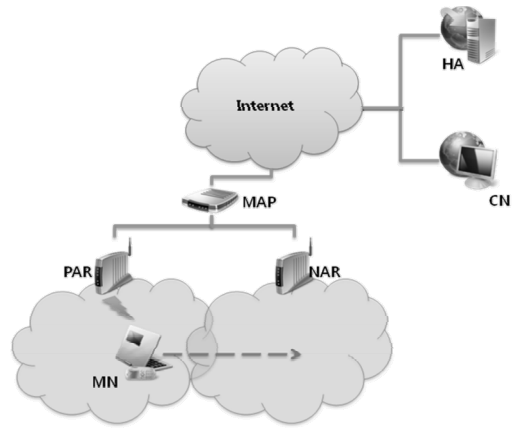


Fig. 6. HMIPv6 protocol

NAR는 FNA를 처리 할 때 NCoA의 정보(MN이 부여 받은 IP주소)가 충돌하면 수신한 정보를 버리고 다른 IP 정보를 포함한 NAAck(Neighbor Advertisement Acknowledge)를 RA(Router Advertisement) 메시지를 MN에게 보내야 한다. 그렇지 못할 경우 NAR는 FBack에 응답할 수 있도록 PAR로 FBU 메시지를 전송한다. 이때 PAR은 NAR의 링크를 통해 PCoA의 정보를 담아 NAR에게 NCoA의 정보를 PAR과 NAR사이에 생성된 터널을 통해 전달하고, 그 다음 NAR는 MN에 해당 정보 패킷을 전송한다.

를 처리하기 위해 제안되었다. MAP은 접속한 네트워크에 로컬 HA의 역할을 수행하는데 MIPv6에서 외부 도메인 시그널링의 양을 제한하고 위치 업데이트 지연시간을 줄일 수 있다. 그래서 MN은 MAP을 통해 MAP에 속한 서버넷의 RCoA(Regional Care-of Address) 정보와 MN이 속한 현재 위치에 해당하는 LCoA(Link Care-of Address) 정보, 두 가지의 임시 IP주소를 구성한다.

그리고 MN이 MAP안의 도메인이나 AN(Access Network) 안에서 이동하는 동안 HA나 CN들에게 시그널링을 보낼 필요는 없지만 LCoA가 변경되면 MAP에게 시그널링을 전송해야 한다. 따라서 MAP안의 MN의 움직임은 HA나 CN들이 알 수 없다. 그리고 MN이 MAP안의 도메인에서 글로벌 로밍을 할 때에는 HMIPv6보다 MIPv6를 사용하는 것이 낫다. MN이 새로운 MAP안의 도메인에 접근하여 새로운 MAP에 등록하게 되면 새로운 위치의 MN를 통제하기 위해 HA와 CN들에게 시그널링을 전송해야 한다. HMIPv6의 프로토콜은 Fig. 6에서 확인 할 수 있고 MN이 새로운 MAP 도메인에 MIPv6의 절차가 이미 이루어졌다고 가정할 때 HMIPv6의 메시지 흐름 순서는 아래 Fig. 7에서 확인할 수 있다.

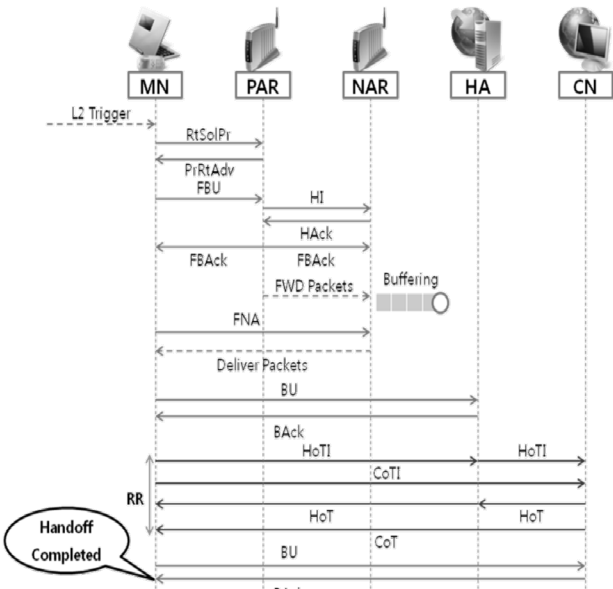


Fig. 5. Message flow diagram of the FMIPv6 protocol

### 2.3 HMIPv6

MIPv6는 MN의 움직임에 관계없이 다른 서버넷의 HA와 CN들에게 바인딩 업데이트를 수행하는데 이는 불필요한 시그널링 지연을 유도하는 행위이다. 이 문제를 해결하기 위해 HMIPv6(Hierarchical Mobile IPv6)[4]는 MAP(Mobility Anchor Point)라 불리는 특별한 노드를 통해 로컬 핸드오프

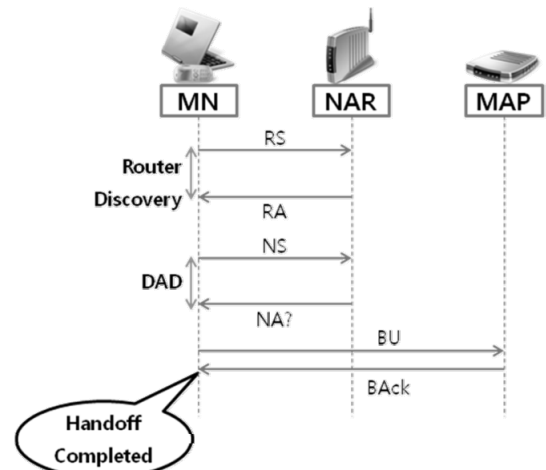


Fig. 7. Message flow diagram of the HMIPv6 protocol



2.4 F-HMIPv6

F-HMIPv6(Fast Handover for HMIPv6)[14]는 핸드오버 시 FMIPv6와 마찬가지로 효율적인 네트워크 대역폭 사용을 허용하기 위해 HMIPv6와 FMIPv6의 조합으로 이루어진 프로토콜이다. 또한 FMIPv6처럼 핸드오버 지연 및 패킷 손실을 줄이는 것을 목표로 하고 있다. 그러기 위해 F-HMIPv6는 FMIPv6처럼 PAR와 NAR사이에 터널링을 설치하는 것이 아니라 MAP과 NAR사이에 양방향 터널을 생성한다. 해당 프로토콜은 Fig. 8에서 확인 할 수 있다.

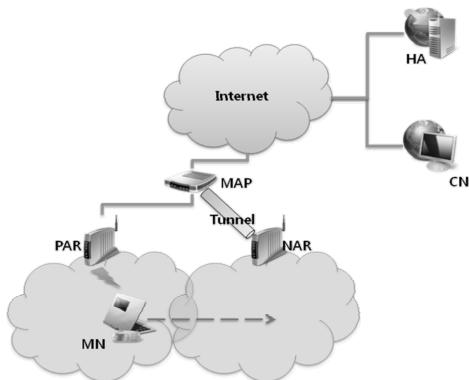


Fig. 8. F-HMIPv6 protocol

MN와 MAP간의 메시지 교환이 이루어진 후 HMIPv6와 같이 MAP에게 LBU(Local Binding Update)를 전송한다. MAP이 MN로 부터 NLCoA(New LCoA)를 포함한 L시그널링을 수신하면 MAP은 NAR에게 패킷 전송을 중지하고 생성한 양방향 터널을 제거한다. LBU에 응답하기 위해 MAP는 MN에게 LBAck(Local BAck)를 전송하고 그 후의 절차는 HMIPv6의 절차를 따른다. F-HMIPv6는 핸드오버가 지원하지 않을 때를 대비하여 HMIPv6의 절차를 따를 것을 권장하고 있다[14]. 따라서 HMIPv6는 F-HMIPv6의 Reactive 모드에 해당한다. 이미 MN이 MAP의 도메인 상에 PAR에서 NAR로 이동한 상태이고 MAP이 링크 계층 주소와 각 AR의 네트워크 Prefix에 대한 정보를 알고 있는 경우 F-HMIPv6에서 사용되는 메시지의 순서를 Fig. 9에서 확인할 수 있다. 이 그림은 이미 MN이 새로운 MAP에 대해 MIPv6절차와 HMIPv6의 등록 절차를 이미 완료했다는 가정의 기반으로 한다.

2.5 PMIPv6

IPv6기반 네트워크에서는 MIPv6의 기능을 가지지 않은 MN이 핸드오버를 시도하면 기존 네트워크의 연결을 종료하고 새로운 연결을 새로 개설해야한다. 이를 방지하기 위하여 MIPv6의 기능이 없어도 기존에 설정되어 있는 연결을 계속 유지하기 위하여 제안하는 프로토콜이 PMIPv6(Proxy MIPv6)[19]이다. PMIPv6는 LMA(Local Mobility Anchor)와 MAG(Mobile Access Gateway) 그리고 AAA(Authentication, Authorization and Accounting) 서버의 새로운 구성요소로 이루어져있다. 여기서 MAG는 MN을

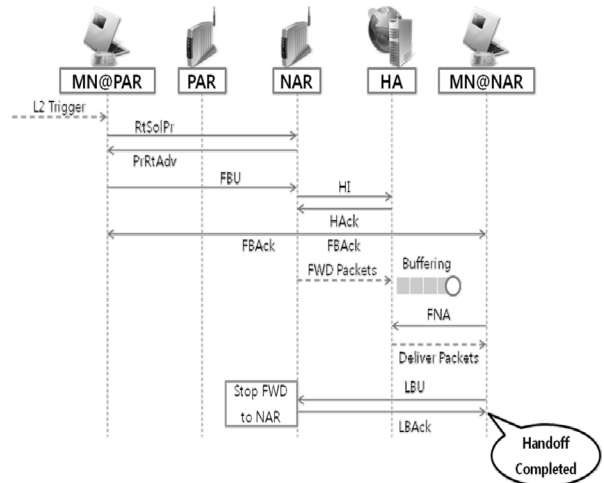


Fig. 9. Message flow diagram of the F-HMIPv6 protocol

대신하여 MN의 이동성을 지원한다. MN이 접속되어 있는 액세스 네트워크에서 기본 게이트웨이로 동작한다. 또한 PMIPv6 도메인 내의 MN을 위한 일종의 HA로 동작하는 것이 LMA이다.

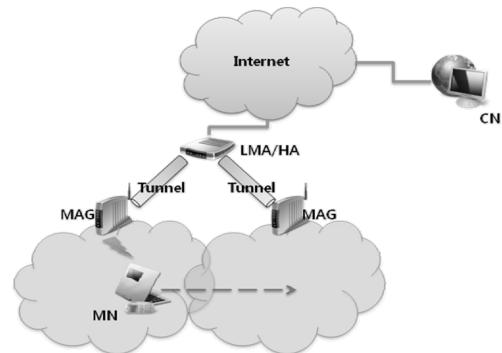


Fig. 10. PMIPv6 protocol

PMIPv6 프로토콜의 동작은 MN이 처음 도메인에 접근하여 MAG가 접속되어 있는 액세스 링크에 접속하면 MAG는 이를 감지하여 인증과정을 거쳐 MN의 고유한 키 값을 이용하여 MN의 정보를 얻어낸다. MN에 대한 정보에는 MN의 LMAA(LMA Address)와 주소 설정 방법 등과 같은 네트워크 기반 이동성 지원 서비스를 제공하기 위한 파라미터들이 포함된다. MAG는 MN의 프로파일 정보를 이용하여 LMA에게 PBU(Proxy Binding Update) 메시지를 전송한다. PBU 메시지의 소스 IP 주소는 MAG의 IP 주소인 Proxy-CoA이며 목적지 IP 주소는 LMAA로 설정된다. PBU 메시지를 수신한 LMA는 PBU 메시지 내에 있는 정보를 이용하여 MAG와 터널을 설정한다. 그리고 LMA는 터널 설정 및 바인딩 캐쉬 엔트리의 업데이트가 완료되었다는 것을 알리기 위하여 PBAck(Proxy Binding Acknowledgement) 메시지를 MAG에게로 전송한다. LMA로부터 PBAck 메시지를 수신한 MAG는 LMA와 터널을 설정하고 MN이 IP 주소를 설정할 수 있도록 RA 메시지를 전송한다. 연결설정이 완료되면

MAG는 해당 MN에서 오는 모든 트래픽을 LMA와 연결된 터널을 이용하여 LMA에게 전송하게 되며, LMA는 외부에서 오는 모든 트래픽을 해당 MN을 관리하는 MAG에게 전송하게 된다. PMIPv6의 프로토콜은 Fig. 10에서 확인할 수 있고 메시지 흐름 순서는 아래 Fig. 11에서 확인할 수 있다.

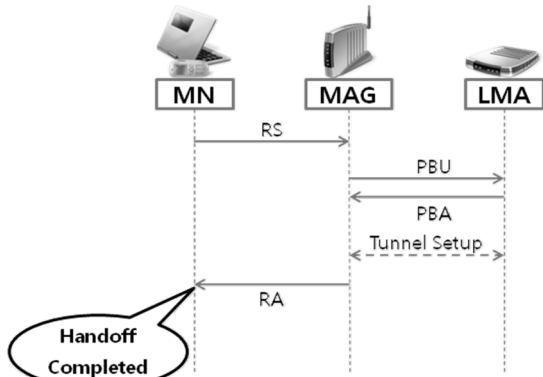


Fig. 11. Message flow diagram of the PMIPv6 protocol

2.6 FPMIPv6

FPMIPv6(Fast handovers for PMIPv6)[20] 프로토콜은 PMIPv6에 Fast Handover를 적용함으로써 핸드오프 지연시간을 최소화하고 패킷 손실을 줄인 프로토콜이다.

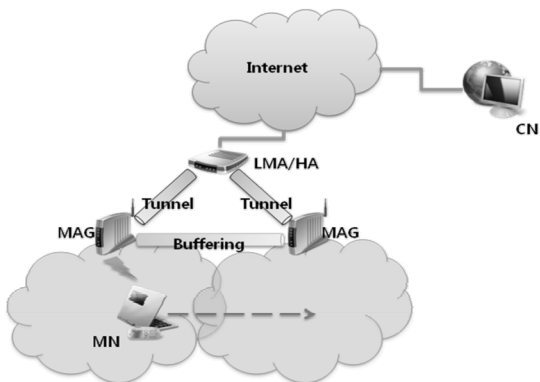


Fig. 12. FPMIPv6 protocol

PMIPv6는 핸드오버가 진행되는 동안 버퍼링을 사용하지 않기 때문에 핸드오프 절차와 별도로 인증 및 등록 단계를 수행해야만 했다. 그래서 FPMIPv6는 기존의 FMIPv6와 마찬가지로 MN이 NMAG(New MAG)로 접근할 때 PMAG(Previous MAG)와 NMAG 사이에 터널을 생성하여 MN이 핸드오버 수행중에 패킷을 터널링 함으로써 패킷손실을 줄이고자 제안되었다. MN이 핸드오버를 수행하면 PMAG는 NMAG로 HI 메시지를 전송하고 NMAG는 HI에 대한 결과로 HAck 메시지를 PMAG로 전송하고 PMAG와 NMAG 사이에 터널이 생성된다. 새로운 도메인으로 이동한 MN이 NMAG와 새로운 연결을 생성하면 NMAG는 LMA로 PBU 메시지를 전송하고 그에 대한 결과로 PBAck 메시지를 수신한다. FPMIPv6의 프로토콜은 Fig. 12에서 확인할 수 있고 메시지 흐름 순서는 아래 Fig. 13에서 확인할 수 있다.

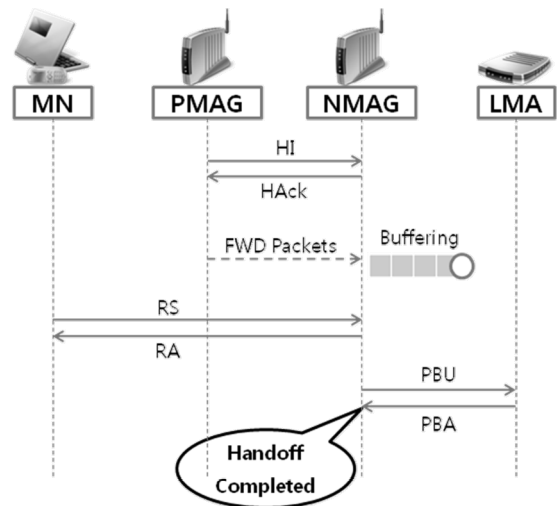


Fig. 13. Message flow diagram of the FPMIPv6 protocol

Table 1은 논문에서 분석하고자 하는 무선 네트워크 상에서의 이동성관리 프로토콜에 대해 간단하게 분석해놓은 내용이다.

Table 1. Comparison of IP-based wireless network mobility management protocols

특성	MIPv6	FMIPv6	HMIPv6	F-HMIPv6	PMIPv6	FPMIPv6
이동성 관리 범위	Global	Global/Local	Global	Global/Local	Global	Global/Local
지원 가능한 IP 버전	IPv6	IPv6	IPv6	IPv6	IPv4/IPv6	IPv4/IPv6
라우팅 최적화 지원	지원	-	지원	지원	지원안함	지원
핸드오버 종류	Reactive	Predictive/Reactive	Reactive	Predictive/Reactive	Reactive	Predictive/Reactive
QoS 지원	부분 지원	부분 지원	지원	지원	지원	지원
이동성 관리 분류	호스트 기반 프로토콜				네트워크 기반 프로토콜	
MN 터널링 오버헤드	발생(높음)				발생하지 않음	
MN 정보 수정	필요함				필요하지 않음	
다중유도 (Multi-Homing) 여부	지원하지 않음				지원	
L4 지원여부	지원 불가				지원 가능	

### 3. 이동성지원 프로토콜의 성능분석 모델링

IPv6 기반 무선 네트워크의 QoS(Quality of Service) 보장은 패킷 손실, 핸드오프 지연에 의해 정의될 수 있다. 이러한 통계 분석 항목들은 IPv6기반의 모바일 환경에서의 이동성관리 프로토콜의 성능을 평가하는데 매우 유용하다. 3장에서는 이동성 프로토콜의 성능을 평가하기 위한 분석 프레임워크를 제안하고자 한다. 본 논문에 사용되는 매개변수는 Table 2에서 확인할 수 있다.

변수  $x_T$ 는 L2트리거 생성과 핸드오버 대기중인 L2 다운링크 사이의 시간을 정의한 것이고,  $\sigma > 1$ 일때  $f_T(u, \sigma)$ 는 성공적으로 시그널링을 완료 했을 시의 확률 밀도 함수를 나타낸 것이다. 확률변수  $P_s$ 는 핸드오버가 성공한 시그널을 확인했을 때의 변수  $t_T$  값을 통해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Table 2. Parameters

매개변수	설명
$\lambda_s$	포아송 분포에 따른 세션 도착률
$\mu_c$	네트워크 경계에서 내부(MAG/AR)로 돌아올 확률
$\mu_d$	네트워크 경계에서 외부로 액세스 할 확률
$\mu_l$	네트워크 경계에 남아있을 확률
$t_c$	네트워크 경계에서 내부의 체류시간 확률변수
$t_d$	네트워크 경계에서 외부의 체류시간 확률변수
$t_T$	링크 변경부터 L2트리거 까지의 시간
$f_c$	$t_c$ 의 PDF(Probability Density Function)
$f_d$	$t_d$ 의 PDF
$t_s$	$f_c$ 와 $f_d$ 간의 상호 세션 시간
$N_c$	네트워크 경계에서 내부로 돌아오는 개수
$N_d$	네트워크 경계에서 외부로 액세스하는 개수
$N_{CN}$	MN에 대한 CN의 바인딩 캐시 엔트리가 가능한 수
$C^g$	HA/CN에 대한 글로벌 시그널링 비용
$C^l$	LMA/MAP에 대한 로컬 시그널링 비용
$M$	AN/LMA/MAP 도메인의 개수
$P_s$	핸드오프 예측율
$d_{X,Y}$	X와 Y사이의 평균 Hop수
$C_{X,Y}$	X와 Y사이의 컨트롤 패킷 전송 비용
$PC_X$	X의 컨트롤 패킷 처리 비용
$C_{hc}$	HA와 CN의 시그널링 비용
$C_{rr}$	RR프로시저의 비용

$$P_s = P_r(x_T > t_T) = \int_{t_T}^{\infty} f_T(u, \sigma) du \tag{1}$$

일반적으로  $f_T(u, \sigma)$ 의 정확한 형식을 알 수 없을때에는 확률변수  $P_s$ 를 구하기 어렵다. 단순하게 구하기 위해 변수  $x_T$ 는 기하 급수적으로 분산되어 있다고 가정하자.

#### 3.1 사용자 이동성 모델 및 트래픽 모델

사용자의 이동성 모델과 트래픽 모델은 효율적인 시스템 설계 및 성능 평가를 위해 중요하다. 본 논문에서는 세션과 패킷, 두 가지 수준으로 구성된 트래픽 모델을 고려하였다. 일반적으로 MN의 이동성은 네트워크 셀 거주 시간과 다양한 형태의 임의의 변수에 대응하기 위해 모델링한다[15]. 차세대 무선 네트워크에서 내부 호출을 하거나 내부 도착 시간이 기하급수적으로 분산 될 때 포아송 프로세스를 수행하지만 외부 세션 도착시간은 기하 급수적으로 분산되지 않을 수가 있다[15]. 트래픽 모델은 하이퍼 Erlang, Gamma, Pareto 같은 무선 네트워크의 다양한 시간 변수를 사용하여 제안한다. 그러나 성능 평가를 위한 지수 모델은 [15]에서 사용한 비용 분석 지수 모델을 따른다. 사실 지수 모델은 복잡성과 정확성 사이의 상관관계 허용을 제공한다.

$\mu_c$ 는 네트워크 경계선에서 내부 (MAG)로 다시 돌아올 확률을 나타내고,  $\mu_d$ 는 네트워크 경계선에서 외부의 네트워크에 액세스(AN)하거나 LMA에 속한 도메인에 접근할 확률을 나타낸다. 또한  $\mu_l$ 은 여전히 경계선에 남아있을 확률을 나타내는 변수다. MN이 AN이나 LMA 도메인에 경계를 지나갈 때 더불어 MAG의 경계도 지나가게 된다. [16]에 따르면 AN/LMA의 커버리지 영역을  $M$ 으로, 서브넷의 크기를  $aMAG$ 로 정의하면 경계를 지나가는 비율을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\mu_d = \frac{\mu_c}{\sqrt{M}} \text{ and } \mu_l = \mu_c - \mu_d = \mu_c \frac{\sqrt{M} - 1}{\sqrt{M}} \tag{2}$$

$\mu_c = 2 \frac{v}{\sqrt{\pi aMAG}}$ 에서  $v$ 는 MN이 이동하는 평균 속도이고,  $aMAG = \pi R^2$ 일때  $R$ 은 액세스하는 라우터의 반경이다.

호출 요청 중인 무선 셀룰러 네트워크에 대한 비용을 분석하는 것은 네트워크 경계의 확률 분포를 모델링 하는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다. Fig. 13은 모바일 사용자가 내부 세션에 머무를 때  $MAG_i$ 와  $MAG_j$ 의 경계에서 이동하는 타이밍을 그림으로 표현한 것이다.  $T_{ns}$ 는 남아 있는 서브넷 거주 시간을 나타낸다.

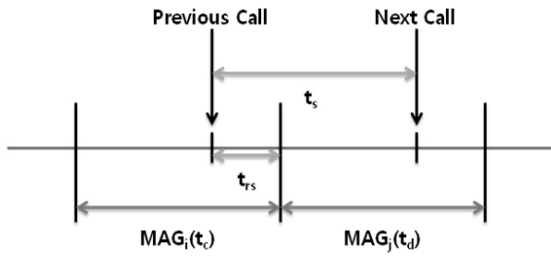


Fig. 14. Timing diagram for subnet boundary crossing

Table 2와 Fig. 14에 따라 서브넷으로의 이동 확률은  $P_c$ 로, AN/LMA 도메인으로의 이동 확률은  $P_d$ 로 정의했을 때  $P_c$ 와  $P_d$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_c = \Pr(t_s > t_c) = \int_0^{\infty} \Pr(t_s > u) f_c(u) du$$

$$P_d = \Pr(t_s > t_d) = \int_0^{\infty} \Pr(t_s > u) f_d(u) du \quad (3)$$

MN이 네트워크 경계에서 되돌아올 확률을  $k$ 로 정의하고 네트워크 경계에서 다른 네트워크로 이동할 확률을  $m$ 으로 정의 했을때  $N_c$ 와  $N_d$ 의 확률함수로 정의하면 다음과 같이 정의한다.

$$\Pr(N_c = k) = P_c^k (1 - P_c)$$

$$\Pr(N_d = m) = P_d^m (1 - P_d) \quad (4)$$

그리고 두 네트워크 경계에서 세션 시간 동안 이전 서브넷의 위치 시그널링을 하는 수의 평균은  $E(N_c)$ 로 AN/LMA 도메인에 위치 시그널링을 하는 수의 평균을  $E(N_d)$ 로 정의 하면 다음의 식을 얻어낼 수 있다.

$$E(N_c) = \sum_{k=0}^{\infty} k \Pr(N_c = k) = \sum_{k=0}^{\infty} k P_c^k (1 - P_c)$$

$$E(N_d) = \sum_{m=0}^{\infty} m \Pr(N_d = m) = \sum_{m=0}^{\infty} m P_d^m (1 - P_d) \quad (5)$$

시그널링 비용을 단순하고 쉽게 유도하기 위해 기하급수적으로 늘어난다고 가정하고 세션 도착률을 포아송 분포에 따라  $\lambda_s$ 로, 서브넷에서 이루어지는 체류시간의 지수분포를  $\mu_c$ 로, AN/LMA에서 이루어지는 체류시간의 지수분포를  $\mu_d$ 로 정의하면 세션 시간 동안 이동확률 및 위치 업데이트 평균개수는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_c = \frac{\mu_c}{\mu_c + \lambda_s} \text{ and } P_d = \frac{\mu_d}{\mu_d + \lambda_s}$$

$$E(N_c) = \frac{\mu_c}{\lambda_s} \text{ and } E(N_d) = \frac{\mu_d}{\lambda_s} \quad (6)$$

마찬가지로 경계 내에서 어느 쪽으로도 이동하지 않는 MN의 평균 숫자는  $E(N_l)$ 로 나타낼 수 있다.

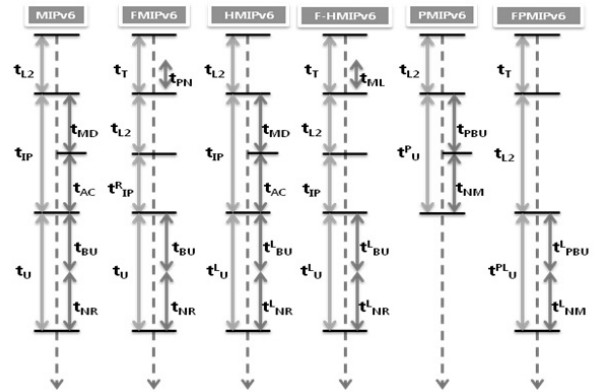


Fig. 15. Handoff Timeline of mobility management protocols

### 3.2 총 시그널링 비용

무선 네트워크의 성능 분석은 이동성관리 프로토콜에 의해 유도된 총 시그널링 비용을 고려해야 한다. 총 시그널링 비용은 MN의 시그널링 비용과 패킷전달 비용의 합으로 정의하는데 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$C_T = C_{BU} + C_{PD}$$

인증 및 L2 핸드오프에 필요한 비용은 모든 프로토콜에서 같기 때문에 분석에서는 생략한다.

### 3.3 시그널링 비용

시그널링 비용은 움직임의 종류와 프로토콜에 따라 두 가지의 종류로 분류할 수 있는데 MIPv6와 FMIPv6의 경우 MN의 움직임에 관계없이 NCoA를 획득하고 HA와 CN들에 등록할 때마다 글로벌 바인딩 업데이트가 수행된다. 반면 HMIPv6 같은 경우 MAP 도메인 내에서 IP주소가 변경될 때에는 로컬 바인딩 업데이트가 수행되지만 MAP 도메인 밖으로 이동할 때는 글로벌 바인딩 업데이트가 수행된다. 그러므로 IPv6 기반 이동성관리 프로토콜에 대한 평균 시그널링 비용의 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{BU} = E(N_l)C^l + E(N_d)C^g \quad (7)$$

시그널링 비용 계산 시 필요한 성능 요소는 SMR (Session to Mobility Ratio)이라고 하는 요소인데 수식에 적용하면 다음과 같다.



$$C_{BU} = \frac{1}{\lambda_s} (\mu_d C^g + \mu_l C^l) = \frac{1}{SMR\sqrt{M}} [C^g + (\sqrt{M} - 1)C^l] \quad (8)$$

IP 네트워크에서 패킷 전송 비용은 시작 노드와 대상 노드 사이에 hop 수의 비례하고, 유선 네트워크 보다 무선 네트워크의 전송 비용이 일반적으로 크다[7]. 따라서 두 노드 사이에 패킷 전송 비용은  $C_{x,y} = \tau d_{x,y}$  로 정의하되 MN과 라우터의 패킷 전송 비용은  $C_{MN,AR} = \tau \kappa$  로 정의한다.  $\tau$  는 유선 네트워크 상의 가중치,  $\kappa$  는 무선 네트워크 상의 전송 비용 가중치다.

MIPv6와 HMIPv6의 로컬 시그널링 비용과 글로벌 시그널링 비용은 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{MIPv6}^g = C_{MIPv6}^l = 4C_{MN,AR} + 2PC_{AR} + C_{hc} \quad (9)$$

$$C_{HMIPv6}^l = 2(2C_{MN,AR} + PC_{AR} + C_{MN,MAP}) + PC_{MAP} \quad (10)$$

$$C_{hc} = 2(C_{MN,HA} + N_{CN}C_{MN,CN}) + PC_{HA} + N_{CN}PC_{CN} + C_{rr}$$

$$C_{rr} = 2(C_{MN,HA} + N_{CN}C_{HA,CN} + N_{CN}C_{MN,CN} + PC_{HA} + N_{CN}PC_{CN})$$

$C_{hc}$  는 핸드오프 완료에 필요한 시그널링 비용을 나타낸 것이며  $C_{rr}$  는 RR프로시저 수행 시의 시그널링 비용을 나타낸다.

FMIPv6에서는 MN의 이동에 대해 미리 예측하거나 빠르게 응답하는 프로토콜이므로 핸드오버의 확률에 따라 시그널링 비용이 달라지는데 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{FMIPv6}^l = P_S S_S + (1 - P_S)(S_f + S_r) + C_{hc} \quad (11)$$

$$S_S = 4C_{MN,PAR} + 3C_{PAR,NAR} + 2C_{MN,NAR} + 5PC_{AR}$$

$$S_f = 3C_{MN,PAR} + 2C_{PAR,NAR} + 3PC_{AR}$$

$$S_r = 2C_{MN,PAR} + 2C_{PAR,NAR} + 2C_{MN,NAR} + 3PC_{AR}$$

$S_S$  는 호스트기반 이동성지원 프로토콜의 핸드오버 성공시의 시그널링 비용을 나타내며,  $S_f$  는 호스트기반 이동성지원 프로토콜의 핸드오버 실패시의 시그널링 비용을 나타내며,  $S_r$  은 Reactive 모드로 핸드오버를 완료했을 때의 시그널링 비용을 나타낸다.

F-HMIPv6는 FMIPv6에 대한 유사한 추론과 가정에서 시그널링 비용의 계산을 허용하는데 F-HMIPv6의 로컬 시그널링 비용은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{FHMIPv6}^l = P_S S_S^l + (1 - P_S)S_f^l + S_h^l \quad (12)$$

$$S_S^l = 4C_{MN,MAP} + 3C_{MAP,NAR} + 2C_{MN,NAR} + 3PC_{MAP} + 2PC_{AR}$$

$$S_f^l = 3C_{MN,MAP} + 2(C_{MAP,NAR} + PC_{MAP}) + PC_{AR}$$

$$S_h^l = P_S [2(C_{MN,NAR} + C_{NAR,MAP}) + PC_{NAR} + PC_{MAP}] + (1 - P_S)C_{HMIPv6}^l$$

$S_S^l$  는 F-HMIPv6에서의 핸드오프 성공시의 시그널링 비용을 나타내며,  $S_f^l$  는 F-HMIPv6에서의 핸드오프 실패시의 시그널링 비용을 나타내며,  $S_h^l$  는 F-HMIPv6에서의 핸드오프 완료시의 시그널링 비용을 나타낸다.

HMIPv6와 FMIPv6는 AN/MAP 도메인 내의 움직임에 대해서는 MIPv6보다 성능을 향상시킬 수 있지만 AN/MAP 도메인간의 움직임에 대해서는 MIPv6의 성능이 같다.

PMIPv6의 경우 메시징 프로세스에 따라 내부의 로컬 바인딩 비용과 외부의 글로벌 바인딩 비용으로 나눌 수 있고 PMIPv6의 경우 MAG와 LMA사이의 PBU와 PBA메시지를 통해 바인딩을 수행하므로 수식은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$C_{PMIPv6}^g = C_{PMIPv6}^l + 2C_{LMA,LMA} + 2PC_{LMA}$$

$$C_{PMIPv6}^l = 2C_{MN,MAG} + 2C_{MAG,LMA} + 2PC_{MAG} + PC_{LMA} \quad (13)$$

FMIPv6의 경우 FMIPv6와 같이 MN의 이동에 따른 핸드오버의 확률에 따라 비용이 달라지고 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{FMIPv6}^l = P_S S_S^p + (1 - P_S)S_f^p \quad (14)$$

$$S_S^p = 2C_{MN,MAG} + 2C_{PMAG,NMAG} + 2C_{MAG,LMA} + 3PC_{MAG} + PC_{LMA}$$

$$S_f^p = 2C_{MN,MAG} + 2C_{PMAG,NMAG} + 2C_{MAG,LMA} + 5PC_{MAG} + PC_{LMA}$$

$S_S^p$  는 네트워크기반 이동성지원 프로토콜에서 핸드오버 성공시의 비용을 나타낸 매개변수이며,  $S_f^p$  는 네트워크기반 이동성지원 프로토콜에서 핸드오버 실패시의 비용을 나타낸 매개변수이다.

### 3.4 패킷 전송 비용

[17]에 따르면 핸드오프 지연율은 기본적으로 세 가지의 구성요소로 나눌 수 있는데 첫 번째는, 링크 스위칭(link switching)이나 L2계층의 핸드오프 지연( $t_{L2}$ ) 이고 두번째는, IP 연결 지연( $t_{IP}$ ) 세번째는, 위치 정보 업데이트 지연( $t_U$ )이다. 그 외에도 각 프로토콜에 따라 패킷 수신 지연( $t_P$ ), 이동 검출 지연( $t_{MD}$ ), DAD 프로시저 실행 시 주소 구성 지연( $t_{AC}$ ), 시그널링 지연( $t_{BM}$ ), 새 IP주소로 바인드 업

데이트 후 첫 패킷 수신 완료까지의 지연( $t_{NR}$ ) 등이 발생할 수 있다.

패킷 전송 비용은 패킷의 터널링 비용( $C_{tun}$ ) 및 패킷 손실 비용( $C_{loss}$ )의 조합으로 정의하며 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{PD} = \alpha C_{tun} + \beta C_{loss}$$

컨트롤 패킷과 데이터 패킷의 평균 크기는 각각  $s_c$ 와  $s_d$ 로 정의하고 데이터 패킷 전송 비용은( $\eta$ ,  $\eta = s_d / s_c$ )로 정의한다. 또한 시간당 패킷 전송률은  $\lambda_p$ 로 정의한다. 터널링 비용이 없는 MIPv6 패킷 전송 비용 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{loss}^{MIPv6} = \lambda_p C_{cm}^{f,1} (t_{L2} + t_{IP} + t_U) \quad (15)$$

$$C_{cm}^{f,1} = \eta (C_{CN,PAR} + C_{PAR,MN})$$

$C_{cm}^{f,1}$ 은 핸드오프 실패 시 CN에서 PAR를 통해 MN까지 가는 데이터 패킷 전송 비용이다.  $t_U = t_{BU} + t_{NR}$ ,  $t_{BU} = t_{HA} + t_{RR} + t_{CN}$ 이며  $t_{HA}$ 는 HA에서의 BU 프로시저 수행 시간,  $t_{RR}$ 는 RR프로시저 수행 시간,  $t_{CN}$ 는 CN들의 BU 프로시저 수행 시간을 나타낸다.

HMIPv6의 경우도 터널링 비용이 없기 때문에 다음과 같이 패킷 전송 비용을 정의할 수 있다.

$$C_{loss}^{HMIPv6} = \lambda_p C_{cm}^{f,2} (t_{L2} + t_{IP} + t_U^L) \quad (16)$$

$$C_{cm}^{f,2} = \eta (C_{CN,MAP} + C_{MAP,PAR} + C_{PAR,MN} + PC_{MAP})$$

핸드오프 실패 시 데이터 패킷 전송 비용은  $C_{cm}^{f,2}$ 이며,  $t_U^L$ 는 내부 AN/MAP에서의 로밍을 위한 위치 업데이트 지연 시간을 나타내고  $t_U^L = t_{BU}^L + t_{NR}^L$ 이다.

FMIPv6 Predictive 모드는 패킷 손실을 피하기 위해 PAR와 NAR사이에 버퍼링을 위한 터널을 생성하고 터널을 통해 모든 패킷을 전송하며 터널링 패킷 전송 비용은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{tun}^{FMIPv6,p} = \lambda_p C_{cm}^{s,1} (t_{L2} + t_{IP}^P + t_U) \quad (17)$$

$$C_{cm}^{s,1} = \eta (C_{CN,PAR} + C_{PAR,NAR} + C_{NAR,MN})$$

$$C_{cm}^{s,2} = \eta (C_{CN,MAP} + C_{MAP,NAR} + C_{NAR,MN} + PC_{MAP})$$

$C_{cm}^{s,1}$ 은 PAR와 NAR사이의 터널을 통한 CN에서 MN의 데이터 전송 비용으로 정의하고,  $t_{IP}^P$ 는 Predictive 모드의 IP 접속 지연 시간을 나타낸다. FMIPv6 Predictive 모드 패킷 손실 비용은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{loss}^{FMIPv6,p} = \lambda_p C_{cm}^{f,1} \max(t_{PN} - t_T, 0) \quad (18)$$

$t_{PN}$ 은 PAR와 NAR사이에 터널 생성 시간인데 핸드오프 완료 패킷 전송이 성공적으로 전송되는 시간보다 터널 생성이 늦었을 경우와 이미 생성이 완료되었다고 해도 핸드오프 완료 패킷 전송이 성공적으로 전송되었을 수도 있으므로  $\max(t_{PN} - t_T, 0)$  값을 사용하는 것이다. 반면 Reactive 모드에서는 NAR 공간의 잘못된 위치 예측이나 FBACk 메시지가 이전 링크의 정보를 수신하지 못한 경우에 패킷이 손실될 수 있기 때문에 Predictive 모드의 패킷 손실 비용은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{loss}^{FMIPv6,r} = \lambda_p C_{cm}^{f,1} (t_{L2} + t_{IP}^R + t_U) \quad (19)$$

그래서 FMIPv6의 평균 패킷 전송 비용은 다음과 같다.

$$C_{PD}^{FMIPv6} = P_s C_{PD}^{FMIPv6,p} + (1 - P_s) C_{PD}^{FMIPv6,r} \quad (20)$$

F-HMIPv6의 패킷 전송 비용은 FMIPv6의 수식에서  $t_U$ 는  $t_U^L$ ,  $t_{PN}$ 은  $t_{ML}$ ,  $t_{IP}^R$ 는  $t_{IP}$ ,  $C_{cm}^{s,1}$ 는  $C_{cm}^{s,2}$ ,  $C_{cm}^{f,1}$ 는  $C_{cm}^{f,2}$ 로 치환하여 사용한다.  $C_{cm}^{s,2}$ 는 MAP과 NAR사이의 터널을 통한 CN과 MN사이의 데이터 패킷 전송 비용이다.  $t_{ML}$ 은 MAR과 NAR사이의 터널 생성 시간이다.

PMIPv6는 MIPv6와 유사하지만 MN에 대한 프로시저 수행 시간을 줄일 수 있고 터널링 비용은 없기 때문에 다음과 같이 정의한다.

$$C_{loss}^{PMIPv6} = \lambda_p C_{cm}^{f,3} t_{L2} \quad (21)$$

$$C_{cm}^{f,3} = \eta (C_{CN,LMA} + C_{LMA,MAG} + C_{MAG,MN} + PC_{LMA})$$

$C_{cm}^{f,3}$ 는 핸드오프 실패 시 CN으로부터 MN까지의 패킷 전송 비용을 나타낸다.

FPMIPv6는 패킷 손실을 피하기 위해 pMAG와 nMAG사이에 버퍼링을 위한 터널을 생성하고 터널을 통해 모든 패킷을 전송하며 터널링 패킷 전송 비용은 다음과 같이 정의한다.

$$C_{tun}^{FMIPv6} = \lambda_p C_{cm}^{s,3} t_{L2} \quad (22)$$

$$C_{cm}^{s,3} = \eta(C_{CN,LMA} + C_{LMA,pMAG} + C_{pMAG,nMAG} + C_{nMAG,MN} + PC_{LMA} + 2PC_{MAG})$$

$C_{cm}^{s,3}$ 는 pMAG과 nMAG사이의 터널을 통한 CN과 MN사이의 데이터 패킷 전송 비용을 정의한 것이다.

### 3.5 필요한 버퍼 공간

핸드오버 시 필요한 버퍼 공간도 성능 분석에 필요한 요소로 정의하고자 한다.

FMIPv6의 경우 필요한 버퍼 공간은 핸드오버를 수행하는 MN의 개수와 패킷 도착률, 핸드오버 지연시간에 비례하며 수식은 다음과 같이 정의한다.

$$BS_{FMIPv6}^l = \lambda_p [P_s(t_{L2} + t_{IP}^p + t_U) + (1 - P_s)t_{NR}] \quad (23)$$

F-HMIPv6의 경우는 FMIPv6의 수식에서  $t_U$ 는  $t_U^l$ 로  $t_{NR}$ 는  $t_{NR}^l$ 로 변경하여 사용한다.

MIPv6와 HMIPv6의 경우 핸드오버 시 터널링을 사용하지 않으므로  $P_s = 0$ 으로 설정하여 MIPv6와 HMIPv6의 필요한 버퍼 공간 크기를 구할 수 있다.

FPMIPv6의 필요한 버퍼 공간의 크기는 FMIPv6의 수식에서 MN의 대한 프로시저 수행시간을 줄일 수 있으므로  $t_{IP}^p$ 를 생략하여 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$BS_{FPMIPv6}^l = \lambda_p [P_s \cdot t_{L2} + (1 - P_s)t_{NR}] \quad (24)$$

### 3.6 핸드오프 지연에 따른 패킷 손실

앞서 패킷 전송 비용을 계산하기 위해 핸드오프 지연에 관한 변수들을 정의하였다.  $t_{L2}$ ,  $t_{DAD}$ ,  $t_{RD}$  등이 있는데 그 외에도 노드 X에서 Y로 전송하는 메시지의 지연은  $t_{X,Y}$ 로 정의하고 수식은 다음과 같다.

$$t_{X,Y}(s) = \frac{1-q}{1+q} \frac{s}{B_w} + L_w + (d_{X,Y} - 1) \frac{s}{B_w} + L_w + \varpi_q \quad (25)$$

$q$ 는 무선 네트워크의 전송 실패 확률,  $\varpi_q$ 는 인터넷의 각 라우터의 평균 큐잉(queueing)의 지연을[18],  $B_w, L_w$ 은 무선 네트워크의 대역폭(bandwidth)과 링크 지연을 나타낸 상수이다. ( $B_w, L_w$ 는 유선 네트워크)

MIPv6의 핸드오프 지연 수식은 다음과 같다.

$$D_{MIPv6} = t_{L2} + t_{RD} + t_{DAD} + t_{RR} + 2(t_{MN,HA} + t_{MN,CN}) \quad (26)$$

HMIPv6의 경우 HA대신 MAP을 사용하므로 MIPv6 핸드오프 지연 수식에서  $t_{RR}$ 과  $t_{MN,CN}$  값을 무시한다.

FMIPv6와 F-HMIPv6 핸드오프 지연 수식은 다음과 같다.

$$O_{FMIPv6}^l = O_{FHMIPv6}^l = \Delta_{ns} + t_{L2} + 2t_{MN,NAR} \quad (27)$$

$\Delta_{ns}$ 는 L2에서 핸드오프가 수행되기 전에 FBACk의 메시지를 수신했을 때 까지의 시간을 의미한다. 만약 FBACk 메시지가 이전에 링크를 통해 수신이 되지 않는 경우 FMIPv6는 Reactive 모드가 수행되지만 F-HMIPv6의 경우는 HMIPv6의 절차를 수행한다. FMIPv6의 핸드오프 지연 수식은 다음과 같다.

$$N_{FMIPv6}^l = \Delta_{lr} + t_{L2} + 2t_{MN,NAR} + 3t_{NAR,PAR} \quad (28)$$

$\Delta_{lr}$ 은 FBACk의 메시지 수신 후 L2 핸드오프 시작 후 마지막 패킷을 수신할 때까지의 시간을 의미한다. 위의 두 수식을 통해 FMIPv6의 평균 핸드오프 지연 수식은 다음과 같다.

$$D_{FMIPv6}^l = P_s O_{FMIPv6}^l + (1 - P_s) N_{FMIPv6}^l \quad (29)$$

위의 식을 통해 F-HMIPv6의 평균 핸드오프 지연 수식도 정의할 수 있다.

그 다음으로 패킷 손실을 구하는 방법에는 버퍼관리 기능의 유무에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

$$P_{loss}^{scheme,l} = \max(BS_{scheme}^l - B, 0) \quad (30)$$

$$P_{loss}^{scheme,l} = \lambda_p D_{scheme}^l$$

(26)의 수식에서 위의 수식은 버퍼 관리 기능이 있을 경우 사용하고 아래의 수식은 버퍼 관리 기능이 없을 경우 적용한다.

PMIPv6는 MIPv6의 수식에서 MN의 프로시저 수행시간을 생략할 수 있으므로 다음과 같이 정의한다.

$$D_{PMIPv6} = t_{L2} + t_{RD} + 2t_{MAG,LMA} \quad (31)$$

FPMIPv6 핸드오프 지연 수식은 다음과 같다.

$$O_{FPMIPv6}^l = t_{L2} \quad (32)$$

PHI(Proxy Handover Initiate)/PHAck(Proxy Handover Acknowledgment) 메시지가 이전에 링크를 통해 수신이 되지 않는 경우, FPMIPv6는 Reactive 모드를 수행한다. FPMIPv6의 핸드오프 지연 수식은 다음과 같다.

$$N_{FPMIPv6}^l = t_{L2} + 3t_{pMAG,nMAG} + 2t_{nMAG,LMA} \quad (33)$$

위의 두 수식을 통해 FPMIPv6의 평균 핸드오프 지연 수식은 다음과 같다.

$$D_{FPMIPv6}^l = P_s O_{FPMIPv6}^l + (1 - P_s) N_{FPMIPv6}^l \quad (34)$$

### 4. 성능 분석

성능분석을 위해 필요한 추가 매개변수는 Table 3과 같이 정의한다.

Table 3. Parameters for the system performance analysis

기호	값	매개변수
$t_{DAD}$	500ms	DAD 프로시저 지연시간
$t_{RD}$	100ms	라우터 발견에 따른 지연시간
$t_{L2}$	50ms	L2 핸드오프 지연시간
$P_s$	0.9	핸드오프 예측률
$q$	0.5	무선 연결 실패확률
$B_w$	100Mbps	유선 연결 대역폭
$B_{wl}$	11Mbps	무선 연결 대역폭
$L_w$	2ms	유선 연결 지연시간
$L_{wl}$	10ms	무선 연결 지연시간
$M$	2	LMA(MAP)의 MAG(AR) 수
$S_c$	96bytes	컨트롤 패킷 사이즈
$S_d$	200bytes	데이터 패킷 사이즈
$\lambda_p$	10packets/s	패킷 도착률
$U$	5.6Km/h	MN의 평균 이동속도
$R$	500m	서브넷 경계 반지름

이동성관리 분석을 위한 네트워크 모델은 Fig. 16과 같다. MN과 MAG(AR)의 거리를  $a$ , MAG(AR)과 LMA(MAP)의 거리를  $b$ , MAP과 HA의 거리를  $c$ , LMA(MAP)과 CN의 거리를  $d$ , LMA(MAP)과 LMA(MAP)의 거리를  $e$ , HA와 CN의 거리를  $f$ 로 정의하고 각 거리에 대한 수치는  $a = 1$ ,  $b = 2$ ,  $c = d = e = f = 10$ 으로 정의한다.

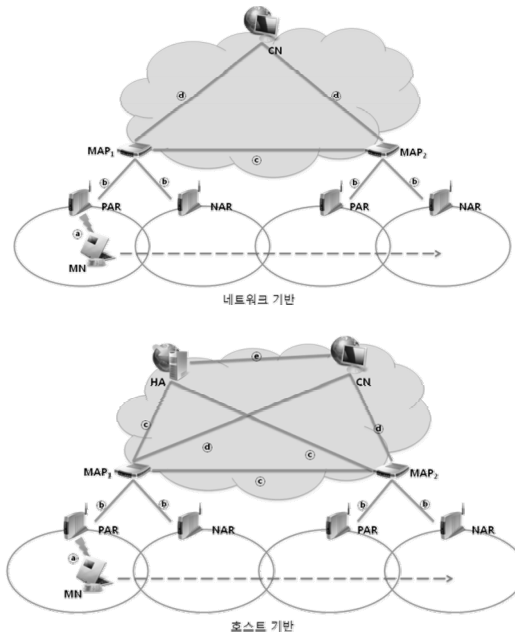


Fig. 16. Network topology used for analysis

Fig. 17은 각 프로토콜마다 SMR 변화에 따른 총 시그널링 비용의 변화를 나타낸 그래프이다. SMR이 작을수록 이동성 비용이 세션 도착률 보다 큰 것을 나타내는데 그래프에서 볼 수 있듯이 전체적으로 SMR이 1보다 크면(세션 도착률이 이동성 비용보다 클 경우) 바인딩 업데이트가 덜 수행되는 것을 알 수 있다. 또한 호스트 기반의 프로토콜보다 네트워크 기반의 프로토콜이, 기존의 표준 프로토콜보다 빠른 핸드오프 프로토콜 (FMIPv6, F-HMIPv6, FPMIPv6)의 바인딩 업데이트가 덜 발생하는 것을 알 수 있다.

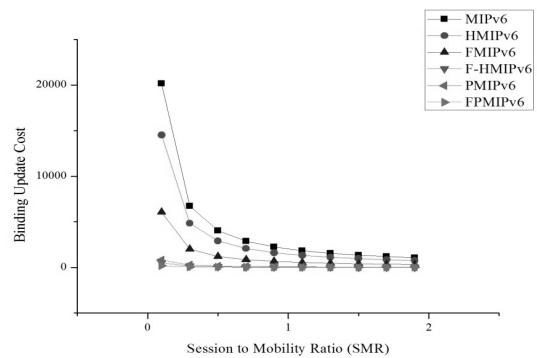


Fig. 17. Signaling costs in accordance with the SMR

Fig. 18은 패킷 도착률에 따른 패킷 전달 비용의 변화를 나타낸 그래프이다. 패킷 도착률에 변화에 따라 패킷 전달 비용이 비례하게 증가하는 것을 확인할 수 있었고 패킷 전달 비용이 증가하게 되면 패킷 손실이 높아지므로 빠른 핸드오프 프로토콜의 비용 증가가 상대적으로 적은 것으로 보아 일정하고 높은 속도의 패킷을 요구하는 실시간 애플리케이션에 적합한 것을 확인할 수 있었다.

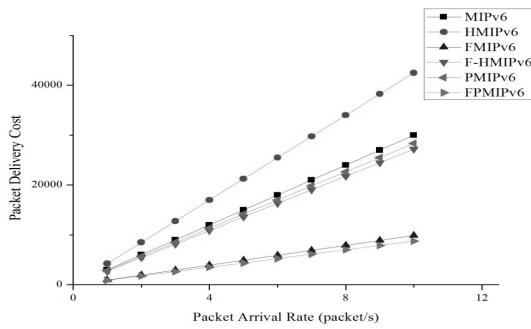


Fig. 18. The cost of delivering packets according to the packet arrival rate

Fig. 19는 핸드오프 예측 변화에 따른 패킷 전달 비용의 변화를 나타낸 것이다. Predictive 모드를 가지고 있는 FMIPv6와 F-HMIPv6, FPMIPv6에 대해  $P_s = 0$  일 때는 FMIPv6는 MIPv6와 같이 F-HMIPv6는 HMIPv6, FPMIPv6 같고 이는 MAP의 추가적인 패킷 처리로 인해 패킷 전송을 위한 추가적인 비용이 있기 때문에 패킷 전달 비용이 변화하는 것을 알 수 있다. 빠른 핸드오프 프로토콜에 대해 부정확한 예측율을 줄이고 패킷 처리에 대한 프로세스를 개선한다면 네트워크 기반의 프로토콜보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

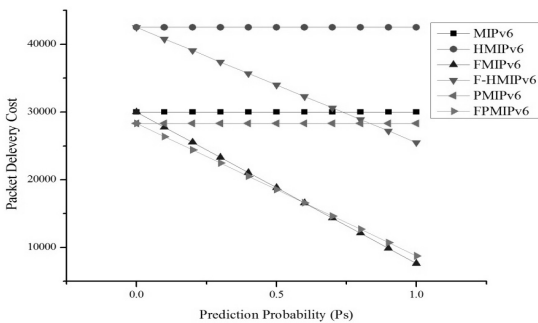


Fig. 19. Packet delivery cost according to handoff prediction probability

Fig. 20은 패킷 도착률에 따른 버퍼 공간의 변화를 나타낸 것이다. 빠른 핸드오프 방식은 패킷 손실을 완화하기 위해 패킷 버퍼링 기능을 지원하는데 그러기 위해서는 기존의 핸드오프 방식에 비해 상대적으로 더 많은 버퍼 공간을 필요로 하는 것을 알 수 있다. 하지만 핸드오프가 수행되는 동안 엔드 투 엔드 지연(end-to-end delay)시간보다 더 긴 시간 동안 버퍼에서 패킷을 버퍼링한다면 신호전달 지연을 최소화 할 수 있으므로 QoS를 제공하기 위해 효율적으로 버퍼를 관리하는 기능이 중요하다.

Fig. 21은 무선링크 지연에 따른 핸드오프 지연의 변화를 나타낸 것이다. 상대적으로 네트워크 기반 프로토콜이 호스트 기반 프로토콜 보다 핸드오프 지연이 적은 것을 알 수 있었고 호스트 기반 프로토콜 중 빠른 핸드오프 프로토콜에 비해 MIPv6와 HMIPv6의 대기시간이 높은 결과로 보아

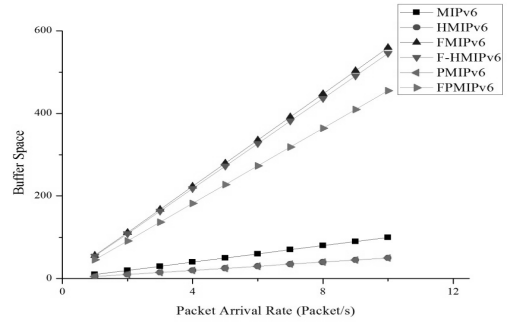


Fig. 20. The buffer space according to the packet arrival rate

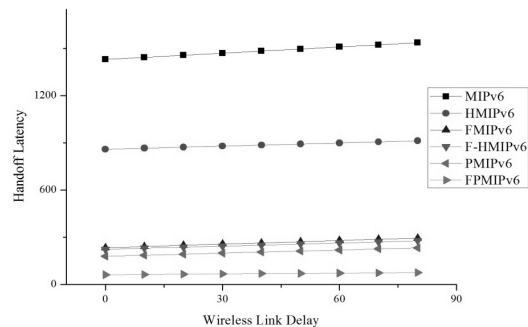


Fig. 21. Handoff delay according to the wireless link delay

DAD 프로시저 수행 시 발생하는 DAD 프로시저 지연시간이 핸드오프 지연에 많은 영향을 주는 것으로 알 수 있었다.

### 5. 결론

이동성관리는 차세대 무선 네트워크와 4G 무선 네트워크에서 핵심적인 문제이다. 몇몇의 IPv6기반의 이동성관리 기법들이 IETF에서 제안되었지만 그 기법들은 실시간 어플리케이션이나 특별히 중요한 어플리케이션에 대해 완벽한 로밍과 연속적인 서비스 지원을 보장할 수 없는 상태이다. 위의 프로토콜들의 분석 방법은 시뮬레이션에 따라 성능 평가가 다르게 나타난다. 좀 더 정확화 된 수치결과와 전반적인 심도 있는 성능 분석을 제공하기 위해 본 논문은 IPv6 기반의 분석 모델을 제안하였고 패킷 전달 비용, 핸드오프 지연 및 패킷 손실을 측면에서 사용자의 이동성 및 트래픽 모델을 바탕으로 분석하였다. 분석 모델들을 통해 SMR, 핸드오프 예측율, 무선 연결 지연과 같은 매개변수들이 MN의 이동성과 트래픽에 미치는 효과를 알 수 있었으며 무선 네트워크 설계를 용이하게 하는 데에 많은 도움이 되었고 성능 평가를 통해 얻어낸 수치 결과들은 IETF에 의해 제안된 기법들에 대해 잠재적인 장단점을 보여주었다. 그 중에서도 FPMIPv6 기법은 다른 프로토콜보다 핸드오프 지연 및 패킷 손실에 대해 개선이 가능할 수 있음을 알 수 있었다. 하지만 FPMIPv6가 차세대 무선 네트워크와 4G 무선 네트워크에서 IPv6 기반의 이동성 프로토콜을 지배할 수 있을 것



이라고 예측하기는 어렵다. 현재도 많은 프로토콜들이 제안되고 있지만 이러한 프로토콜들을 비교, 분석하기 위해 좀더 많은 노력이 필요할 것이다. 이동성관리 기법의 선택은 성능 기준에 따르지만 그것이 비용과 이익 측면만 내세울 점은 아니라는 것이며 이상적인 이동성관리 프로토콜을 설계하고 배포할 때까지 모바일 사용자들은 여전히 실용적인 솔루션을 필요로 할 것이다.

앞으로 다른 네트워크 기술들간의 통합과 네트워크간 상호운용성 등의 아직 해결되지 않은 연구분야를 확장하여, 이종의 모바일 환경에서 완벽하고 끊김이 없는 이동성을 제공하기 위한 연구를 진행할 것이다. 또한, QoS(Quality of Service)의 지원, 보안과 다른 표준들간의 상호작용 등은 효율적인 이동성관리 프로토콜을 설계하기 위해서는 반드시 필요하기 때문에 지속적으로 연구의 범위를 확대해 나갈 계획이다.

### 참 고 문 헌

[1] I. F. Akyildiz, S. Mohanty, and J. Xie, "A ubiquitous mobile communication architecture for next-generation heterogeneous wireless systems", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.43, No.6, pp.29-36, June, 2005.

[2] D. B. Johnson, C. E. Perkins, and J. Arkko, "Mobility support in IPv6", *IETF RFC 3775*, June, 2004.

[3] G. Koodli, "Fast handovers for mobile IPv6", *IETF RFC 4068*, July, 2005.

[4] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El-Malki, and L. Bellier, "Hierarchical mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)", *IETF RFC 4140*, Aug., 2005.

[5] X. P'erez-Costa, M. Torrent-Moreno, and H. Hartenstein, "A performance comparison of mobile IPv6, hierarchical mobile IPv6, fast handovers for mobile IPv6 and their combination", *ACM Mobile Computing and Commun. Rev.*, Vol.7, No.4, pp.5-19, Oct., 2003.

[6] Y. Gwon, J. Kempf, and A. Yegin, "Scalability and robustness analysis of mobile IPv6, fast mobile IPv6, hierarchical mobile IPv6, and hybrid IPv6 mobility protocols using a large-scale simulation", in *Proc. IEEE Int. Conf. on Commun. (ICC'04)*, Vol.7, pp.4087-4091, June, 2004.

[7] J. Xie and I. F. Akyildiz, "A novel distributed dynamic location management scheme for minimizing signaling costs in mobile IP", *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.1, No.3, pp.163-175, July, Sept., 2002.

[8] X. P'erez-Costa, R. Schmitz, H. Hartenstein, and M. Leibsch, "A MIPv6, FMIPv6 and HMIPv6 handover latency study: analytical approach", in *Proc. IST Mobile and Wireless Commun. Summit*, pp.100-105, June, 2002.

[9] C. Castelluccia, "HMIPv6: a hierarchical mobile IPv6 proposal", *ACM Mobile Computing and Commun. Rev.*, Vol.4, No.1, pp.48-59, Jan., 2000.

[10] S. Pack and Y. Choi, "Performance analysis of fast handover in mobile IPv6 networks", in *Proc. IFIP Pers. Wireless Commun., LNCS*, Vol.2775, pp.679-691, Sept., 2003.

[11] S. Pack and Y. Choi, "A study on performance of hierarchical

mobile IPv6 in IP-based cellular networks", *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E87-B, No.3, pp.462-469, March, 2004.

[12] S. Thomson and T. Narten, "IPv6 stateless address autoconfiguration", *IETF RFC 2462*, Dec., 1998.

[13] K. D. Wong, A. Dutta, H. Schulzrinne, and K. Young, "Simultaneous mobility: analytical framework, theorems and solutions", *Wireless Commun. and Mobile Computing (Wiley)*, to appear, July 18, 2005.

[14] H. Y. Jung, E. A. Kim, J.W. Yi, and H. H. Lee, "A scheme for supporting fast handover in hierarchical mobile IPv6 networks", *ETRI Journal*, Vol.27, No.6, pp.798-801, Dec., 2005.

[15] Y. Fang, "Movement-based mobility management and trade off analysis for wireless mobile networks", *IEEE Trans. Computers*, Vol.52, No.6, pp.791-803, June, 2003.

[16] F. V. Baumann and I. G. Niemegeers, "An evaluation of location management procedures", in *Proc. 3rd Annual Int. Conf. Universal Personal Commun. (UPC'94)*, pp.359-364, Sept./Oct., 1994.

[17] R. Koodli and C. E. Perkins, "Fast handovers and context transfers in mobile networks", *ACM Mobile Computing and Commun. Rev.*, Vol.31, No.5, Oct., 2001.

[18] J. McNair, I. F. Akyildiz, and M. D. Bender, "Handoffs for real-time traffic in mobile IP version 6 networks", in *Proc. IEEE GLOBECOM*, Vol.6, pp.3463-3467, Nov., 2001.

[19] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, B. Patil, "Proxy Mobile IPv6", *IETF RFC 5213*, Aug., 2008.

[20] Yokota, H., Chowdhury, K., Koodli, R., Patil, B., and F.Xia, "Fast Handovers for Proxy Mobile IPv6", *RFC 5949*, Sept., 2010.

[21] C. Makaya and S. Pierre, "An analytical framework for performance evaluation of IPv6-based mobility management protocols", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.7, No.3, pp.972 - 983, Mar., 2008.



### 원 영 훈

e-mail : zzangwyh@hanmail.net  
 2005년 학점은행제(이학사)  
 2009년~현재 성균관대학교 정보통신대학  
 석사과정  
 관심분야: 모바일컴퓨팅, Proxy Mobile  
 IPv6, 네트워크 보안 등



### 정 종 필

e-mail : jpjeong@ece.skku.ac.kr  
 2008년 성균관대학교 정보통신대학  
 (공학박사)  
 2009년 성균관대학교 컨버전스연구소  
 연구교수  
 2010년~현재 성균관대학교 산학협력단  
 산학협력중점교수

관심분야: 모바일컴퓨팅, 센서 이동성, 차량 모바일 네트워크, 스마트기기 보안, 네트워크 보안, IT융합, 인터랙션 사이언스 등