

# IEEE 802.11 네트워크 기반 Mobile IPv6 Fast Handover 성능 향상 방안

(Enhancement of Fast Handover for Mobile IPv6 based on IEEE 802.11 Network)

류성근<sup>†</sup>      문영성<sup>\*\*</sup>  
(Seonggeun Ryu)      (Youngsong Mun)

**요약** IP계층에서의 이동성 지원에 대한 연구가 활발히 진행되어, Internet Engineering Task Force(IETF)에서 Mobile IPv6(MIPv6) 프로토콜이 표준화 되었다. 이러한 MIPv6은 이동노드가 서브넷 사이를 이동할 때, 네트워크에 대한 연결성을 유지하여 끊김 없는 통신을 가능하게 해주며 이러한 과정을 핸드오버라고 한다. 이동노드가 서브넷 사이를 이동할 때마다 핸드오버 처리를 수행하게 되는데, 이러한 핸드오버 처리 동안에는 이동노드가 통신을 할 수 없는 긴 지연시간이 생긴다. 이러한 지연시간을 줄이기 위해서 IETF에서 Fast Handovers for Mobile IPv6(FMIPv6)를 표준화하였다. 하지만 FMIPv6 또한 홈 에이전트와 상대노드에게 바인딩을 갱신하기 위한 시간은 길게 남아 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 본 논문에서는 2계층 프로토콜로 IEEE 802.11을 사용하는 FMIPv6을 기반으로 하여 2계층 핸드오버 수행 중에 3계층 핸드오버 과정인 홈 에이전트와의 바인딩 갱신과 Return Routability 과정을 미리 시작하여 전체적인 핸드오버 지연시간을 단축시키는 방법을 제안한다. 수학적 비용 분석 방법을 통하여 제안하는 방법을 MIPv6과 FMIPv6의 방법과 비교 분석하였으며, MIPv6에 비하여 79%, FMIPv6에 비하여 31%의 성능 향상을 얻었다.

**키워드** : Mobile IPv6, FMIPv6, IEEE 802.11, 핸드오버

**Abstract** As a mobility support for IP have studied, Internet Engineering Task Force(IETF) standardized the Mobile IPv6(MIPv6) protocol. When a mobile node moves between subnets, MIPv6 maintains connectivity to network and supports seamless communication, and these processes are called a Handover. Whenever the mobile node moves between subnets, the Handover is performed. The mobile node can not communicate during the Handover. This period is called Handover latency. To reduce this latency, mipshop working group standardizes Fast Handovers for Mobile IPv6(FMIPv6), but latency which the mobile node registers its new care-of address to a home agent and a correspondent node is still long. To solve this problem, we propose a scheme that the mobile node registers the new care-of address to the home agent and initiates Return Routability procedure in advance during layer 2 handover, based on FMIPv6 and IEEE 802.11. We analyze MIPv6, FMIPv6 and the proposed scheme in term of packet transmission cost during the Handover. Compared to MIPv6 the proposed scheme gains 79% improvement, while it gains 31% improvement compared to FMIPv6.

**Key words** : Mobile IPv6, FMIPv6, IEEE 802.11, Handover

· 이 논문 또는 저서는 2006년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-005-J03802)

<sup>†</sup> 비회원 : 송실대학교 컴퓨터학과  
sgryu@sunny.ssu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 송실대학교 컴퓨터학과 교수  
mun@computing.ssu.ac.kr

논문접수 : 2006년 8월 3일  
심사완료 : 2007년 11월 20일

Copyright © 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제35권 제1호(2008.2)

## 1. 서론

무선 통신 기술과 이동 장치들의 발달로 무선 인터넷에 대한 관심이 증가하고 있다. 그에 따라 이동하면서 인터넷 연결을 지속적으로 유지시켜 주는 기술들이 연구되고 있다. 이러한 연구들 중에서 IP 계층에서의 이동성을 지원하기 위해서 Internet Engineering Task Force(IETF)에서 Mobile IPv6(MIPv6)[1] 프로토콜을 표준화했다. MIPv6은 이동노드(Mobile Node, MN)가 홈네트워크가 아닌 외부네트워크에 위치할 경우에도 고정된 IP 주소로 통신을 할 수 있게 하는 프로토콜이다.

MIPv6에서 이동노드가 서브넷 사이를 이동할 경우에, 설정된 IP 주소로 계속해서 통신을 하기 위해서는 일련의 과정이 필요하게 되는데, 이러한 처리 과정을 핸드오버라고 한다. 핸드오버 과정은 이동노드가 서브넷 사이를 이동할 때마다 처리된다. 또한, 핸드오버 동안에 이동노드는 홈에이전트(Home Agent, HA)나 상대노드(Correspondent Node, CN)와 통신을 할 수 없는데, 이 기간을 핸드오버 지연시간이라고 한다. 핸드오버 지연시간이 길어지게 되면 실시간 통신처럼 빠른 처리가 필요한 트래픽을 처리하는데 문제가 될 수 있다.

MIPv6의 핸드오버는 여러 가지 과정이 필요하며, 해당 과정들 때문에 많은 지연시간이 생겨난다. 이러한 MIPv6의 핸드오버 지연시간을 줄이는 연구들이 등장하게 되었다. 그 중, IETF의 mipshop 워킹그룹에서 제안하여 표준화한 두 가지 프로토콜이 있는데, Fast Handovers for Mobile IPv6(FMIPv6)[2]와 Hierarchical Mobile IPv6(HMIPv6)[3]이다. FMIPv6은 2계층 핸드오버 전에 3계층 핸드오버의 일부 과정을 미리 수행하여 핸드오버 지연시간을 줄이는 프로토콜이고, HMIPv6은 일정한 범위를 커버할 수 있는 에이전트를 두어 이동성을 지역적으로 관리하여 핸드오버 지연시간을 줄이는 프로토콜이다. 본 논문에서는 FMIPv6을 기반으로 하며, FMIPv6에서 2계층의 프로토콜로 IEEE 802.11[4]을 적용한 방법을 사용한다[5].

FMIPv6은 3계층 핸드오버 과정 중 일부를 2계층 핸드오버 전에 수행하여 핸드오버 지연시간을 줄였다. 하지만 이동노드가 홈에이전트와 상대노드에게 바인딩을 갱신하는 지연시간은 여전히 길게 남아있다. 이러한 지연시간을 줄이기 위해서 2계층 핸드오버 과정 중에 홈에이전트로의 바인딩 갱신과 상대노드와의 Return Routability 과정을 미리 시작하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 FMIPv6에서 2계층 핸드오버 후에 수행되어야 하는 홈에이전트로의 바인딩 갱신과 Return Routability 과정을 미리 시작함으로써 핸드오버 지연시간을 줄일 수 있다.

본 논문의 내용 구성은 2장에서 관련 연구인 FMIPv6 프로토콜과 MIPv6에서 2계층 프로토콜로 IEEE 802.11을 사용하는 방법을 기술하고, 3장에서 핸드오버 지연시간을 줄이기 위한 방법을 제안하였다. 그리고 4장에서는 제안 방법의 성능을 평가하기 위하여 수학적으로 비용을 분석하고, 5장에서 결론을 맺었다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 Mobile IPv6

MIPv6은 IETF에서 표준화한 프로토콜로 IPv6 노드가 서브넷 사이를 이동하며 네트워크에 대한 접속점이 바뀌어도 자신의 홈주소를 유지하여 지속적인 통신이 가능하도록 한다. MIPv6에서 이동노드(Mobile Node, MN)는 홈주소(Home Address)와 Care-of Address(CoA) 두 개의 주소를 갖는다. 홈주소는 이동노드가 홈네트워크에서 할당받은 주소로서 다른 서브넷으로 이동하여도 변하지 않고 통신할 수 있는 주소이고, CoA는 이동노드가 다른 서브넷으로 이동할 때마다 해당 네트워크에서 생성되는 주소로서 이동노드의 현재 위치한 곳의 주소를 나타낸다. MIPv6은 이 두 개의 주소를 바인딩시켜서 이동노드가 다른 서브넷으로 이동하여도 홈주소로 지속적인 통신을 가능하게 하는 프로토콜이다.

MIPv6에서 이동노드가 서브넷 사이를 이동할 때, IP 연결성과 상위계층으로의 투명성을 유지하기 위하여 핸드오버 처리가 필요하다. 핸드오버 처리는 물리적인 부분인 2계층 핸드오버(즉, Link Switching)와 논리적인 부분인 3계층 핸드오버로 이루어져 있고, 두 계층의 핸드오버는 새로운 서브넷으로 이동 후에 2계층, 3계층 순서로 일어난다. 2계층 핸드오버는 2계층의 프로토콜에 따라서 다양하며 본 논문에서는 IEEE 802.11을 사용한다. 3계층 핸드오버는 MIPv6에서의 처리이며, 이동 감지, 주소 생성, 주소 검증, 그리고 홈에이전트와 상대노드에게 차례로 새로운 주소에 대한 바인딩 정보를 갱신하는 과정으로 구성된다. 이동 감지(Movement Detection)는 IPv6의 Neighbor Discovery(ND)[6] 프로토콜을 이용하며 Router Solicitation(RS)/Router Advertisement(RA) 메시지를 통하여 새로운 서브넷에 대한 정보를 얻는 과정이다. 주소 생성(Address Configuration)은 RA 메시지에 포함된 새로운 서브넷의 정보를 이용하여 이동한 곳에서 사용할 CoA를 생성하는 과정이다. 그리고 주소 검증은 생성된 주소가 이동한 서브넷에서 다른 노드의 주소와 충돌이 있는지를 검사하는 과정이며 Duplicate Address Detection(DAD)[7]라고 한다. 바인딩 정보 갱신 과정은 이동한 서브넷에서 생성한 CoA를 홈주소와 바인딩하는 과정으로서 홈에이전트와 상대노드에게 이동노드의 홈주소에 대한 새로 생성된

CoA 정보를 보내어 홈에이전트와 상대노드에 저장된 바인딩 정보를 갱신한다. 즉, Binding Update(BU) 메시지를 홈에이전트와 상대노드에게 전송하는 과정이다. 홈에이전트로 보내어지는 BU 메시지는 이동노드와 홈에이전트 사이에 미리 설립된 보안 협약을 사용하는 IPsec[8]으로 보호된다. 이동노드와 상대노드 사이에는 미리 설립된 보안 협약이 없으므로 보안 협약 설립 과정이 필요하며, Return Routability 과정이라고 한다. Return Routability 과정은 이동노드가 Home Test Init(HoTI) 메시지와 Care-of Test Init(CoTI) 메시지를 상대노드에게 전송하고, 상대노드에서 각각에 대한 메시지를 처리하여 해당 메시지에 대한 Keygen Token을 생성한 후에 Home Test(HoT) 메시지와 Care-of Test(CoT) 메시지에 넣어 이동노드에게 전송하는 것으로 구성된다. Return Routability 과정에서 HoTI/HoT 메시지는 홈에이전트를 통하여 상대노드와 교환되고, CoTI/CoT 메시지는 직접적으로 상대노드와 교환되어 양방향으로의 접근 가능성을 검사할 수 있다. 이동노드는 이 두 개의 Keygen Token으로 바인딩키(Binding Management Key, Kbm)를 생성하여 상대노드로 전송하는 BU 메시지를 인증한다. 상대노드에게 바인딩 정보가 갱신되면 이동노드와 상대노드는 Route Optimization 모드가 되어 직접적으로 통신이 가능하게 된다.

**2.2 Fast Handovers for Mobile IPv6(FMIPv6)**

핸드오버 처리동안에 이동노드와 상대노드는 서로 패킷을 주고받을 수 없다. 이러한 핸드오버 지연시간을 단축시키기 위해서 IETF에서 Fast Handovers for Mobile IPv6(FMIPv6)을 연구하여 표준화시켰다. FMIPv6은 3

계층 핸드오버 처리의 일부분인 이동감지, 주소의 생성과 검증 과정을 2계층 핸드오버 전에 미리 수행하여 핸드오버 지연시간을 줄이고, 이전 액세스 라우터(Previous Access Router, PAR)와 과 새로운 액세스 라우터(New Access Router, NAR) 사이에 생성되는 터널로 핸드오버 동안에도 패킷의 손실을 막을 수 있다. FMIPv6의 동작 모드는 Predictive와 Reactive 모드 두 가지로 분류되며, 이동노드가 2계층 핸드오버 전에 이전 서버넷에서 Fast Binding Acknowledgement(FBack) 메시지를 수신했을 경우는 Predictive 모드, 새로 이동한 서버넷에서 FBack 메시지를 수신한 경우는 Reactive 모드로 동작하게 된다. Reactive 모드는 FMIPv6의 장점인 핸드오버 지연시간을 줄이지 못하며 이동노드가 이동한 후에 터널을 설립하여 패킷 손실을 줄이는 역할만 하기 때문에, 본 논문에서는 제안된 방법에 대한 수행의 복잡성을 줄이기 위해서 Predictive 모드만 다루며 Reactive 모드에 대한 수행은 일반 MIPv6과 동일하게 취급한다.

그림 1은 FMIPv6의 메시지 흐름을 보여준다. 이동노드가 액세스 포인트(Access Point, AP)에 대한 검색 과정을 수행 하거나 신호세가를 모니터링하며 이동할 것을 감지하여 2계층 Trigger(핸드오버가 일어날 것을 감지)가 일어나면 FMIPv6이 시작된다. 이동노드는 이동할 서버넷에 대한 정보(즉, New Access Router(NAR)의 정보)를 요청하는 Router Solicitation Proxy(RtSolPr) 메시지를 현재 접속되어 있는 액세스 라우터(Previous Access Router, PAR)에게 전송하고, PAR로부터 NAR의 정보를 Proxy Router Advertisement

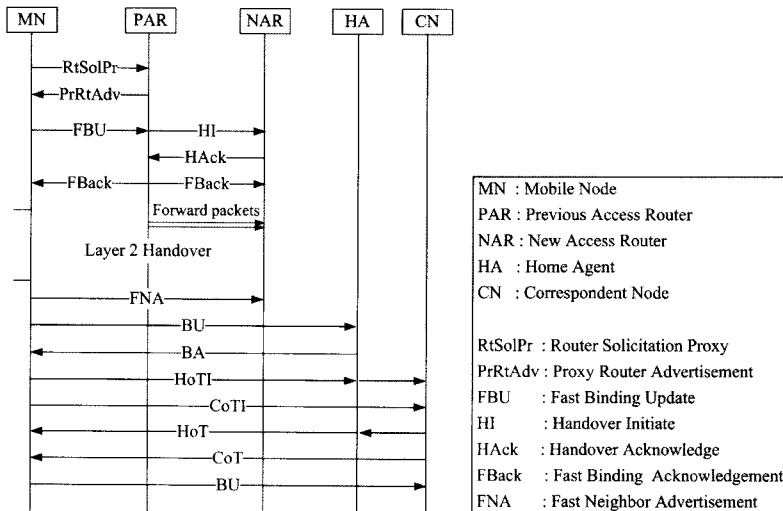


그림 1 FMIPv6에서 Predictive 모드의 메시지 흐름

(PrRtAdv) 메시지를 통하여 수신한다. 이동노드는 수신된 정보를 이용하여 새로운 CoA(New CoA, NCoA)를 만들고, NCoA를 이용하여 Fast Binding Update(FBU) 메시지를 생성하고 PAR에게 전송한다. FBU 메시지는 NCoA와 현재 CoA를 바인딩시켜서 핸드오버 동안에 이동노드의 이전 주소로 전송되는 패킷들을 터널을 통하여 새로운 서브넷으로 포워딩하고 NAR에서 버퍼링하게 하게 하는 역할을 한다. FBU 메시지를 받은 PAR은 NAR과 터널을 설립하기 위해서 Handover Initiate(HI) 메시지를 NAR에게 전송하고 응답으로 Handover Acknowledge(HACK) 메시지를 수신함으로써 NAR로부터 NCoA를 검증받고, 이로써 PAR과 NAR 사이의 터널이 설립된다. NCoA에 대한 검증 후에 PAR은 FBack 메시지를 이동노드와 NAR에게 전송하여 검증결과를 알린다. 이동노드는 FBack 메시지를 수신한 후에 2계층 핸드오버를 수행한다.(Predictive 모드의 경우이며, Reactive 모드일 경우에는 2계층 핸드오버 수행 후에 다시 FBU 메시지를 전송하고 FBack 메시지를 수신한다.) 2계층 핸드오버가 끝나면 이동노드는 새로운 서브넷의 NAR에게 자신이 이동했음을 빠르게 알리기 위해서(즉, RS/RA 메시지 교환을 하지 않고) Fast Neighbor Advertisement(FNA) 메시지를 전송하여 NAR의 Destination Cache를 갱신하게 한다. 이 후에, 이동노드는 홈 에이전트에게 자신의 이동을 알리기 위하여 BU 메시지를 전송하고 응답으로 Binding Acknowledgement(BA) 메시지를 받는다. 또한, 이동노드는 상대노드와 직접적으로 통신하기 위하여 Return Routability 과정을 통하여 이동노드와 상대노드 사이의 보안을 설립하고 BU 메시지를 상대노드에게 전송하게 되며, 이로써 FMIPv6 과정이 끝나게 된다.

### 2.3 FMIPv6 for 802.11 Networks

무선 인터넷에서 이동성을 위해서 2계층과 3계층의 기술들이 연구되고 있다. 이 중에서 대표적인 프로토콜

로 2계층에서는 IEEE 802.11과 3계층의 MIPv6이 있다.

IEEE 802.11은 무선 환경에서 무선 접속을 지원하기 위하여 IEEE의 테스크그룹이 규정한 무선랜 표준 모음으로, 현재 표준화가 완성된 규격은 802.11b/a/g이다. IEEE 802.11 무선랜 네트워크는 분산시스템(Distribution System), 액세스 포인트(Access Point), 무선 매체(Wireless Medium), 이동단말(STN, Station)로 구성되어 있다. IEEE 802.11 무선랜의 기본동작을 보면, 이동노드가 AP와 링크 레벨에서 연결되고, 이동노드가 핸드오버 시에 새로운 네트워크에 접근하기 위해 주위의 AP들을 검색(Scan)하여 그 중에서 하나의 AP를 선택(Join)하고, 네트워크 접근 권한을 검증하기 위한 인증과정(Authentication Phase)과 새로운 AP로의 연결을 위한 연결과정(Association Phase)을 수행한다. IEEE 802.11 핸드오버의 수행을 그림 2와 같이 단순화시켜서 나타낼 수 있다.

IEEE 802.11에서 하나의 AP가 서비스하고 있는 지역을 BSS(Basic Service Set)라고 하고, 동일한 ESSID를 사용하는 AP들의 집합을 ESS(Extended Service Set)라고 한다. 이동노드가 동일한 ESS 지역 내에서 BSS 사이를 이동할 경우에는 3계층에서의 핸드오버가 필요하지 않다. 하지만, 이동노드가 하나의 ESS 지역에서 다른 ESS 지역으로 이동할 경우에는 3계층 핸드오버가 필요하다. 이 때 3계층 핸드오버인 FMIPv6을 사용하므로써 성능을 향상시킬 수 있다.

IEEE 802.11에 기반을 둔 FMIPv6[5]에서 IEEE 802.11과 FMIPv6의 수행과정에 대한 시나리오를 제공하고 있으며, 본 논문에서는 참고문헌[5]의 Predictive 시나리오를 기반으로 제안하는 방법을 수행한다. 참고문헌[5]의 Predictive 시나리오의 수행을 살펴보면, IEEE 802.11의 Scan 단계가 핸드오버 이전에 미리 수행이 되며, 2계층 핸드오버에는 Authentication과 Association을 수행하는 것으로 나타나 있다. 그 외의 FMIPv6

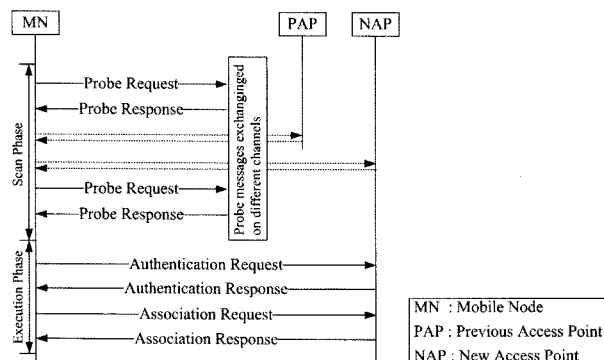


그림 2 IEEE 802.11 핸드오버

과정은 기존 방법과 같다.

IEEE 802.11 핸드오버 동안에 교환되는 프레임을 이용하여 Mobile IPv4의 성능을 향상시키려는 연구가 있었다[9]. 참고문헌[9]은 IEEE 802.11 핸드오버의 Association Request 프레임에 Mobile IPv4 등록 메시지를 포함하여 전송하므로써, IEEE 802.11 핸드오버 이후에 이루어져야 하는 과정을 미리 수행하여 핸드오버의 성능을 향상시키는 방법에 대한 연구였다. Association Request 프레임에 포함하는 이유는 Association 단계가 수행되어야 2계층 연결이 성립되기 때문이다. 본 논문에서는 참고문헌[9]에서 사용된 IEEE 802.11 Association Request 프레임에 IP 메시지를 포함하는 방법을 사용하였다.

### 3. 2계층 프레임을 이용한 핸드오버 성능 향상 방안

FMIPv6은 3계층 핸드오버 과정중 주소를 얻고 검증받고 터널을 개설하는 과정을 2계층 핸드오버 이전에 수행함으로써 전체적인 핸드오버의 지연시간을 줄였다. 하지만 홈에이전트와 상대노드에게 바인딩 정보를 갱신하기 위한 지연시간은 여전히 길게 남아있다. 본 논문은 IEEE 802.11을 사용하는 FMIPv6을 기반으로 하여, 2계층 핸드오버 수행 중에 3계층 핸드오버 과정인 홈에이전트로의 바인딩 갱신과 상대노드와의 보안설립 과정을 미리 시작하여 핸드오버의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다.

제안된 방법이 수행되기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다. 이동노드는 IEEE 802.11 핸드오버의 Association Request 프레임에 홈에이전트로의 BU와 HoTI/CoTI 메시지들을 인캡슐할 수 있어야 한다. 이 프레임을 받는 NAP(New Access Point)는 받은 프레임을 디캡슐하여 BU 메시지는 홈에이전트로 포워딩하고 HoTI/CoTI 메시지를 각각 알맞게 포워딩 할 수 있어야 한다. 제안하는 방법은 FMIPv6의 Predictive 모드일 경우에만 사용 가능하며, FMIPv6의 Reactive 모드일 경우에는 일반적인 Reactive 모드로 동작하거나 MIPv6로 수행된다. 2계층 핸드오버 시에 홈에이전트로 보내어지는 메시지들(BU, HoTI)은 현재의 SA를 사용하는 IPsec 터널에 의해서 보호된다.

그림 3은 제안된 방법의 메시지 흐름을 보여주며, 전체적인 흐름은 IEEE 802.11의 Association Request 프레임을 변경한 것을 제외하고는 FMIPv6과 같다.

제안된 방법의 핸드오버 과정의 시작 부분은 FMIPv6의 메시지 흐름과 같다. FMIPv6에서 2계층 핸드오버 이전의 과정이 끝나고 IEEE 802.11 핸드오버가 수행되며, Authentication 과정을 거쳐서 Association Request

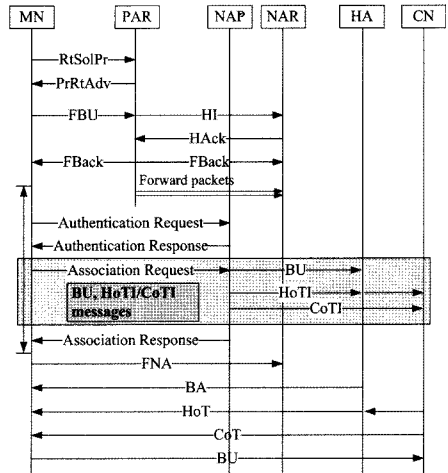


그림 3 제안된 방법의 핸드오버 메시지 흐름

프레임이 전송될 때, 이동노드는 홈에이전트로의 BU와 HoTI/CoTI 메시지들은 포함하여 NAP에게 전송한다. 해당 메시지를 수신한 NAP는 Association Request 프레임에 대한 처리를 하고 BU와 HoTI/CoTI 메시지를 뽑아내어 각각의 목적지로 포워딩한다. 여기서 BU 메시지는 홈에이전트로 전송되고, HoTI 메시지는 홈에이전트를 거쳐서 상대노드로 전송되며, CoTI 메시지는 직접 상대노드에게 전송된다. 2계층의 IEEE 802.11 핸드오버가 끝나면 이동노드는 Fast Neighbor Advertisement (FNA) 메시지를 NAR(New Access Router)에게 전송하며, 2계층 핸드오버시에 전송했던 BU와 HoTI/CoTI 메시지들에 대한 응답 메시지들을 수신하게 된다. 그 후에 이동노드는 BU 메시지를 상대노드에게 전송하여 핸드오버가 끝나게 된다.

제안된 방법은 FMIPv6에서 2계층 핸드오버가 끝난 후에 수행되는 과정들을 2계층 핸드오버 동안에 시작하여 홈에이전트와 상대노드로의 바인딩 정보 갱신 지연시간을 단축시킬 수 있다. 그러므로 핸드오버 지연시간이 단축되어 FMIPv6보다 핸드오버 성능이 향상됨을 기대할 수 있다.

### 4. 성능 평가

#### 4.1 시스템 모델

이동노드가 서브넷 사이를 이동할 때 일어나는 핸드오버의 비용을 측정하기 위하여 그림 4와 같은 시스템 모델을 구성하였다. 이전 네트워크의 라우터인 PAR에는 여러 AP들이 있지만 이동노드가 이동하려고하는 시점에서 현재 접속되어 있는 AP를 PAP(Previous AP)라 한다. 또한 새로운 서브넷에서 이동노드가 이동하려고 하는 AP를 NAP(New AP)로 한다. 그림 4에서 이

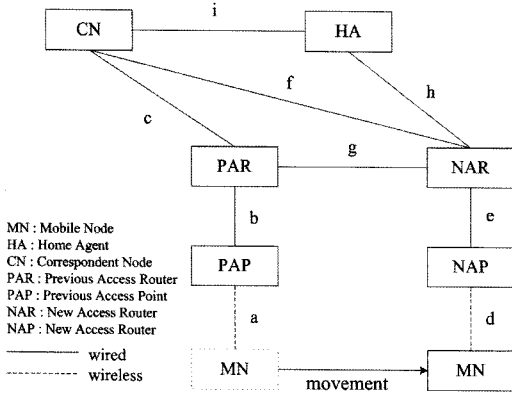


그림 4 성능분석 모델

동노드가 두 AP 사이를 이동하는 것은 서브넷 사이를 이동하는 것인데, 이 때 핸드오버의 비용을 구하여 기존의 방법들과 비교 분석한다.

본 논문에서는 참고문헌[10,11]을 참고하며, 성능평가를 위해서 다음의 사항을 정의 및 가정한다. 상대노드가  $\lambda$ 비율로 이동노드에게 데이터 패킷을 전송하고, 이동노드는  $\mu$ 비율로 한 서브넷에서 다른 서브넷으로 이동한다고 가정한다. 이 때 이동노드가 이동할 때마다 상대노드로부터 수신되는 평균 패킷 수는 PMR(Packet to Mobility Ratio,  $\rho$ )이라고 하며,  $\rho = \lambda/\mu$ 라고 정의한다. 제어 패킷의 평균크기는  $\ell_c$ 라고 하고 데이터 패킷의 평균 크기를  $\ell_d$ 라고 정의하며, 비율은  $\ell = \ell_d/\ell_c$ 라고 정의한다. 즉, 제어 패킷을 전송하는 비용은 송신자의 거리에 의해 주어지며 데이터 패킷의 전송 비용은 제어 패킷에 비해 평균  $\ell$ 배 크다고 정의한다. 그리고 한 노드에서 제어 패킷을 처리하는 평균 비용은  $r$ 이라고 가정한다[12].

#### 4.2 비용 분석

본 논문에서는 비용 분석 및 비교를 위해서 제안된 방법을 핸드오버 비용에 대해서 MIPv6과 FMIPv6과 비교 분석한다. 그림 4의 모델에서 이동노드가 이동할 때 발생하는 핸드오버의 비용은 식 (1)과 같이 정의할

수 있다.

$$C_{overall} = C_{signal} + C_{data} \quad (1)$$

$C_{signal}$ 은 시그널 패킷의 전송 및 처리 비용을 나타내고,  $C_{data}$ 은 데이터 패킷의 전송 및 처리 비용을 나타낸다. 즉, 핸드오버 비용은 핸드오버 동안에 시그널 패킷과 데이터 패킷의 전송 및 처리 비용의 합으로 나타낸다.

첫 번째로, FMIPv6의 핸드오버 비용을 구하기 위해서 FMIPv6의 핸드오버 과정을 시간 순서에 따라서 그림 5와 같이 구성 하였다.

그림 5에서,  $T_{fast}$ 는 주소를 생성하고 검증받고 터널을 설립하는 시간이고,  $T_{L2}$ 는 2계층 핸드오버가 수행되는 시간이고,  $T_{IP}$ 는 이동노드가 NAR에게 자신의 이동을 알리는 시간이고,  $T_{HABU}$ 는 홈에이전트에게 새로운 주소를 등록하는 시간이고,  $T_{CNRR}$ 는 이동노드와 상대노드 사이의 보안을 설립하는 시간이고,  $T_{CNBU}$ 는 상대노드에게 새로운 주소를 등록하는 시간이다.

FMIPv6의 시그널 비용과 데이터 비용은 식 (2), (3)으로 나타낸다.

$$C_{signalFH} = C_{sig.fast} + C_{sig.L2} + C_{sig.IP} + C_{sig.HABU} + C_{sig.CNRR} + C_{sig.CNBU} \quad (2)$$

$$C_{dataFH} = P_{suc} \cdot \lambda \cdot C_{tunnelFH} \cdot T_{tunnelFH} + \eta \cdot P_{fail} \cdot \lambda \cdot C_{loss} \cdot T_{loss} \quad (3)$$

FMIPv6의 시그널 비용은 식 (2)와 같으며, 그림 5에서의 핸드오버 과정 각각에 대한 비용의 합으로 나타낸다. FMIPv6의 데이터 비용은 식 (3)과 같으며, FMIPv6의 Predictive 모드일 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어진다. FMIPv6의 Predictive 모드의 경우, 이동노드가 2계층 핸드오버 후에 홈에이전트와 상대노드에게 새로운 주소를 등록할 때까지 이동노드에게 전송된 패킷들은 PAR과 NAR 사이의 터널을 통하여 보호된다. 이 경우 데이터 비용은 터널링 비용( $C_{tunnelFH}$ )과 터널이 유지되는 시간( $T_{tunnelFH}$ )의 곱으로 나타낸다. 또한, FMIPv6의 Predictive 모드가 아닌 경우, 이동노드가 핸드오버 하는 동안 모든 패킷이 손실되므로 데이터

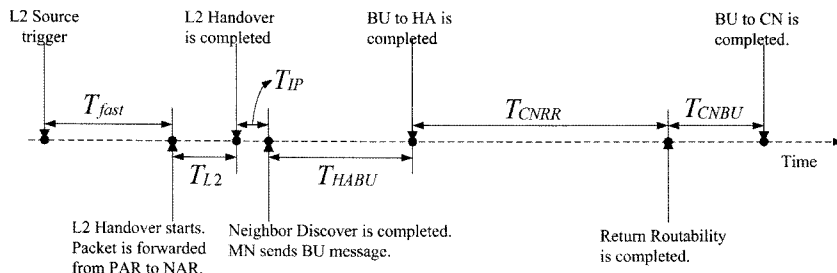


그림 5 FMIPv6의 시간에 따른 핸드오버 순서도

비용은 패킷 손실 비용 ( $C_{loss}$ )과 핸드오버 시간( $T_{loss}$ ) 그리고 재전송 가중치의 곱으로 나타낼 수 있다. 위에서 구한 두 가지 경우의 비용을 FMIPv6의 Predictive 모드일 경우와 그렇지 않을 경우에 대한 확률을 대입하면 식 (3)을 구할 수 있다. 여기서  $C_{tunnelFH}$ 은 상대노드에서 NAR까지 시그널 메시지를 전송하는 비용에  $l$  배하여 구할 수 있고,  $C_{loss}$ 은 상대노드에서 이동노드까지의 시그널 비용에  $l$  배하여 구할 수 있다.  $T_{tunnelFH}$ 은  $T_{L2} + T_{IP} + T_{HABU} + T_{CNRR} + T_{CNBU}$ 로 이루어지고,  $T_{loss}$ 는  $T_{L2BASIC} + T_{IPBASIC} + T_{HABU} + T_{CNRR} + T_{CNBU}$ 로 이루어졌다.  $T_{L2BASIC}$ 은 일반적인 2계층 핸드오버(Scan과 Execution 단계) 수행 시간이고,  $T_{IPBASIC}$ 은 RS/RA 메시지를 주고받는 시간이다.

식 (3)에서  $P_{suc}$ 와  $P_{fail}$ 은 FMIPv6의 Predictive 모드일 경우와 그렇지 않을 경우의 확률을 나타내는데, 참고문헌[13]에서 구한 값을 이용한다. 그리고 핸드오버 동안에 이동노드로 전송되는 패킷들이 터널을 통해 보호되지 않을 경우에 손실되게 되는데, 이러한 패킷들은 재전송되어야 한다. 이러한 재전송 때문에 드는 비용을 가중치  $\eta$ 를 곱하여 구한다. 본 논문에서는 핸드오버 동안에 손실된 패킷들이 핸드오버 후에 한 번 재전송된다고 가정하여  $\eta=2$ 로 사용한다.

제안된 방법의 핸드오버 비용을 구하기 위해서 제안된 방법의 핸드오버 과정을 시간 순서에 따라서 그림 6과 같이 구성하였다.

제안된 방법은 FMIPv6을 기반으로 했기 때문에, 전체적인 순서는 FMIPv6과 비슷하다. 제안된 방법은 FMIPv6의 성능을 향상시키기 위해서 2계층 핸드오버 동안에 3계층 핸드오버 메시지인 BU, HoTI/CoTI 메시지를 미리 전송한다. 그림 6에서 2계층 핸드오버 동안 ( $T_{L2}$ )에 BU와 Return Routability 과정이 미리 수행되는 것을 알 수 있으며, 결과적으로 FMIPv6 보다  $T_{reduced}$ 만큼의 시간을 줄일 수 있다. 그림 6에서  $T_{L2asso.}$ 는

IEEE 802.11 핸드오버의 Association 단계의 지연시간을 나타내며, 제안된 방법이 Association Request 프레임이 NAP에 도착하면 BU, HoTI/CoTI 메시지가 포워딩되기 때문에  $T_{L2asso.}/2$  시점에서 시작됨을 알 수 있다.

제안된 방법의 시그널 비용은 2계층 핸드오버 프레임에 3계층 메시지 세 개를 같이 전송하는 것을 제외하고 FMIPv6의 시그널 비용과 같다. 그러므로 FMIPv6의 시그널 비용인 식 (2)와 같은 비용을 소비하는 것으로 나타낸다. 데이터 비용 또한 FMIPv6의 데이터 비용을 구하는 식 (3)과 같이 구할 수 있으며,  $T_{tunnelFH}$  시간이  $T_{reduced}$  만큼 줄기 때문에 식 (4)와 같이 구하여, 식 (3)의  $T_{tunnelFH}$ 를  $T_{tunnelEFH}$ 으로 대체한 것과 같다.

$$T_{tunnelEFH} = T_{L2} + \max(T_{IP}, T_{CNRR} - \frac{T_{L2asso.}}{2}) + T_{CNBU} \quad (4)$$

MIPv6의 핸드오버 비용을 구하기 위해서 MIPv6의 핸드오버 과정을 시간 순서에 따라서 그림 7과 같이 구성 하였다.

MIPv6의 시그널 비용은 식 (5)로 나타낼 수 있으며, 그림 7의 핸드오버 과정에서 각각의 구간에 해당하는 시그널 비용의 합이다. MIPv6은 핸드오버 동안에 상대노드에서 이동노드로 보내진 모든 패킷들이 손실된다. 그래서 MIPv6의 데이터 비용은 식 (3)에서  $P_{fail} = 1$ 인 경우와 같이 구할 수 있다.

$$C_{signalMIPv6} = C_{sig.L2BASIC} + C_{sig.IPBASIC} + C_{sig.HABU} + C_{sig.CNRR} + C_{sig.CNBU} \quad (5)$$

4.3 성능 비교

본 논문에서는 유선링크와 무선링크에서의 패킷 전송에 따른 지연시간을 참고문헌[12]의 방법을 이용하여 구한다. 참고문헌[12]에서는 유선 구간에서 발생하는 지연시간은 유선링크 10Mbps LAN 환경에서 제어패킷의 지연시간(RTT, Round Trip Time)을 회기 분석한 결과를 정의한 식 (6)을 사용하고, 무선 구간은 2Mbps WaveLAN에서의 지연시간(RTT)을 회기 분석한 결과

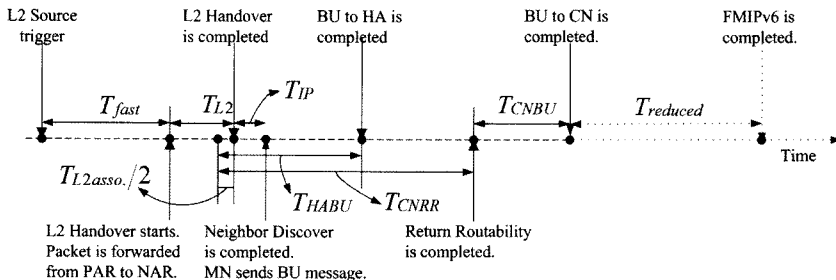


그림 6 제안된 방법의 시간에 따른 핸드오버 순서도

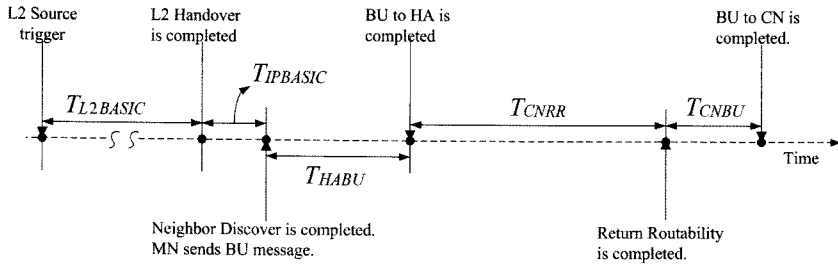


그림 7 MIPv6의 시간에 따른 핸드오버 순서도

를 정의한 식 (7)을 사용한다.

$$T_{wired-RT}(h, k) = 3.63k + 3.21(h - 1) \quad (6)$$

$$T_{wireless-RT}(k) = 17.1k \quad (7)$$

위 식에서  $k$ 는 패킷의 크기(Kbyte)를 나타내며,  $h$ 는 이동한 홉 수를 나타낸다. 그리고 식 (6),(7)의 결과는 제어 패킷 지연 시간 값으로 단위는 밀리 세컨드(ms)이다. 또한 무선 구간에서 발생하는 2계층 핸드오버 지연 시간인  $T_{L2}$  및  $T_{L2asso}$ 은 참고문헌[14]에서와 같이 Compaq EVOD 300v PC(Intel Celeron 1100MHz, 128MB RAM)에 D-Link 520 PCI WLAN를 사용하는 AP에 이동노드가 Dell Latitude CPx laptop(Intel Pentium III, 500MHz, 128MB RAM)에 Lucent Orinoco Silver 무선 랜카드를 사용하는 환경에서 테스트를 통해 얻어진 결과 값을 사용한다.

그림 4의 네트워크 환경에서 단일 홉에 대한 메시지 처리 비용( $r=1$ )은 동일하다고 가정한다. 그리고 같은 도메인 안에서의 거리 비용은  $a=b=e=d=1$ 이며, 서로 다른 두 도메인 간의 거리 비용은  $c=f=g=h=i=5$ 로 가정한다. 또한 인접한 서브넷 사이의 거리 비용  $g=2$ 이라고 가정한다. 위와 같은 값들을 이용하여 비용을 구하기 위해 필요한 시스템 파라미터를 표 1로 나타내었다.

총비용을 구하는 식 (1)을 기반으로 앞 절에서 정의된 식들에 의해서 핸드오버 동안에 필요한 총 비용들을 각각 정의한다. MIPv6를  $C_{overallMIPv6}$ 로, FMIPv6를  $C_{overallFH}$ 로, 그리고 제안된 방법(EFH, Enhanced Fast Handover)을  $C_{overallEFH}$ 으로 정의한다.

제안된 방법에 대한 기존의 방법들과의 비용 비교를

위해서  $\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{C_{overallEFH}}{C_{overallMIPv6}}$  과  $\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{C_{overallEFH}}{C_{overallFH}}$  와 같은 비

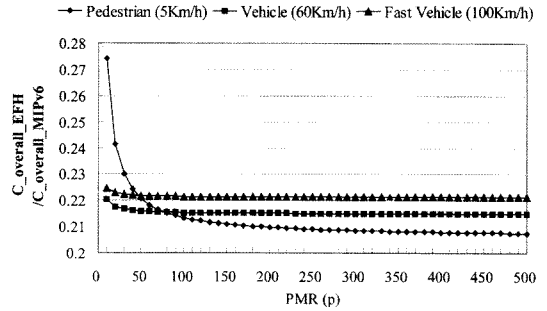


그림 8 MIPv6에 대한 제안된 방법의 총비용 비율 그래프 (셀 크기=100m)

용 비율을 구한다. 이 비용 비율은 PMR이 큰 경우 ( $p > 500$ ) 수렴 값에 도달하게 되며, MIPv6와 FMIPv6에 대한 제안된 방법의 효율을 나타내며, 작은 값으로 갈수록 더 성능이 좋음을 의미한다. MIPv6에 대한 제안된 방법의 효율은 식 (8)을 통하여 구하며, 그림 10과 같은 그래프로 표현된다.

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{C_{overallEFH}}{C_{overallMIPv6}} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{C_{signalEFH} + C_{dataEFH}}{C_{signalMIPv6} + C_{dataMIPv6}} \approx 0.21 \quad (8)$$

그림 8에서 보행자(Pedestrian)의 경우 PMR 값이 작을 때 그래프의 변화가 큰데, 그 이유는 속도가 낮으면 이동 비율( $\mu$ )이 줄어들어 PMR의 변화에 민감하게 반응하기 때문이다.

그림 8의 그래프는 PMR이 500이상인 지점부터 일정한 값으로 수렴하는데, 이동노드가 보행자의 속도일 경우 0.208, 일반 속도의 자동차 이동시는 0.215 그리고 빠른 속도의 자동차일 경우에는 0.221 값을 가진다. 즉, 핸드오버 동안에 제안된 방법이 MIPv6보다 비용을 평

표 8 시스템 파라미터

패킷 크기 (bytes)		구간별 지연시간 (ms)									
$l_c$	$l_d$	$T_{fast}$	$T_{L2}$	$T_{L2asso}$	$T_{L2BASIC}$	$T_{IP}$	$T_{IPBASIC}$	$T_{HABU}$	$T_{CNRR}$	$T_{CNBU}$	$T_{proc}$
200	1024	19.97	7.0	2.05	84.35	3.52	6.55	21.1	56.74	10.78	0.5



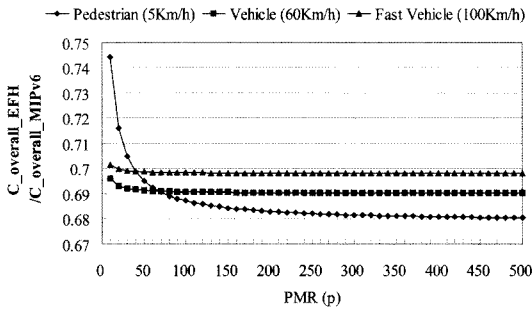


그림 9 FMIPv6에 대한 제안된 방법의 총비용 비율 그래프 (셀 크기=100m)

균적으로 0.21 만큼 낮추어 79% 정도의 성능이 향상됨을 기대할 수 있다.

다음으로 FMIPv6에 대한 제안된 방법의 효율은 식 (9)을 통하여 구하며, 그림 9와 같은 그래프로 표현된다.

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{C_{overallEFH}}{C_{overallFH}} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{C_{signalEFH} + C_{dataEFH}}{C_{signalFH} + C_{dataFH}} \approx 0.69 \quad (9)$$

그림 9 역시 PMR이 500이상인 지점부터 일정 값으로 수렴하는데, 이동노드가 보행자의 속도일 경우 0.680, 일반 속도의 자동차 이동시에는 0.690 그리고 빠른 속도의 자동차 이동일 경우에는 0.698 값을 가진다. 즉, 핸드오버 동안에 제안된 방법이 FMIPv6보다 비용을 평균적으로 0.69 만큼 낮추어 31% 정도의 성능이 향상됨을 기대할 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 2계층 IEEE 802.11 무선랜 기술과 3계층 Fast Handovers for Mobile IPv6(FMIPv6) 기술과의 연동을 통하여 FMIPv6이 가지는 핸드오버 지연 감소 및 핸드오버 동안의 패킷 손실 감소의 이점을 획득하여, FMIPv6의 성능을 향상시키는 방법을 연구했다. 즉, 홈에이전트로의 바인딩 갱신과 상대노드와의 보안설립과정을 2계층 핸드오버 기술과 연동하여 핸드오버 지연시간을 줄이는 방법을 연구했다.

FMIPv6은 2계층 핸드오버 이전에 3계층 핸드오버 과정의 일부분을 미리 수행하므로써 Mobile IPv6(MIPv6)에서의 핸드오버 지연시간을 현저히 감소시켰다. 뿐만 아니라, 핸드오버 동안에 손실되는 패킷들을 이전 액세스 라우터와 새로운 액세스 라우터 사이의 터널을 이용하여 패킷 손실을 감소시킴으로써 MIPv6에서의 핸드오버의 성능을 향상시켰다. 하지만 FMIPv6은 MIPv6과 같이 홈에이전트와 상대노드에게 새로운 주소에 대한 정보를 갱신하기 위한 지연시간이 여전히 길게 남아있다. 이러한 지연시간을 줄이고자, 본 논문에서는 2계층

핸드오버 프레임에 이용한다. 2계층 핸드오버 기술인 IEEE 802.11에 기반을 둔 FMIPv6 방법이 사용되며, IEEE 802.11 프레임에 홈에이전트로의 바인딩 갱신 메시지와 상대노드와의 보안설립을 위한 메시지들을 인캡슐하여 전송하는 방법이다. 제안된 방법은 2계층 핸드오버가 끝난 후에 수행되어지는 과정을 2계층 핸드오버 동안에 수행하여 핸드오버 지연시간을 줄이는 방법이다.

제안된 방법은 핸드오버 동안에 전송되는 패킷들에 대한 비용을 수학적인 계산 방법을 통하여 MIPv6과 FMIPv6을 제안된 방법과 비교 분석하였다. 성능 평가를 통하여 제안된 방법이 MIPv6 보다 79%, FMIPv6 보다 31% 만큼 성능이 향상됨을 보여주었다.

최근에 MIPv6 핸드오버의 성능을 향상시키기 위한 방법인 FMIPv6과 HMIPv6이 표준화 되었다. 제안된 방법은 MIPv6 기반의 프로토콜이므로 FMIPv6 뿐만 아니라 HMIPv6에도 도입하여 HMIPv6 도메인 내부의 이동에 대한 핸드오버의 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

- [1] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6," RFC 3775, June 2004.
- [2] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6," RFC 4068, July 2005.
- [3] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, and L. Bellier, "Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6)," RFC 4140, August 2005.
- [4] M. Ergen, "IEEE 802.11 Tutorial," June 2002.
- [5] P. McCann, "Mobile IPv6 Fast Handovers for 802.11 Networks, RFC 4260, November 2005.
- [6] T. Narten, E. Nordmark, and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)," RFC 2461, December 1998.
- [7] S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration," RFC 2462, December 1998.
- [8] J. Arkko, V. Devarapalli, and F. Dupont, "Using IPsec to Protect Mobile IPv6 Signaling Between Mobile Nodes and Home Agents," RFC 3776, June 2004.
- [9] Y. Mun and J. Park, "Layer 2 Handoff for Mobile-IPv4 with 802.11," draft-mun-mobileip-layer2-handoff-mip4-01, September 2003.
- [10] S. Pack and Y. Choi, "Performance Analysis of Fast Handover in Mobile IPv6 Networks," in proc. IFIP PWC 2003, Venice, Italy, September 2003.
- [11] R. Koodli, C. E. Perkins, "Fast Handovers and Context Transfers in Mobile Networks," ACM Computer Communication Review, Vol. 31, No. 5, October 2001.
- [12] R. Jain, T. Raleigh, C. Graff and M. Bereschinsky, "Mobile Internet Access and QoS Guarantees using Mobile IP and RSVP with Location Regis-

- ters," in Proc. ICC'98 Conf., pp.1690-1695, June 1998.
- [13] J. McNair, I.F. Akyildiz, and M. D. Bender, "An Inter-System Handoff Technique for the IMT-2000 System," IEEE INFOCOM, vol. 1, pp. 208-216, 2000.
- [14] J. Vatn, "An experimental study of IEEE 802.11b handover performance and its effect on voice traffic," SE Telecommunication Systems Laboratory Department of Microelectronics and Information Technology (IMIT), July 2003.



류 성 근

2002년 연세대학교 전산학과 졸업(학사)  
 2004년~2006년 숭실대학교 컴퓨터학과  
 졸업(석사). 2006년~현재 숭실대학교 컴  
 퓨터학과 박사과정. 관심분야는 IPv6,  
 Mobile IPv6, IPv6 Security



문 영 성

1983년 연세대학교 전자공학과 졸업(학  
 사). 1986년 Univ. of Alberta 전자공학  
 과(공학석사). 1987년~1994년 한국통신  
 연구원. 1993년 Univ. of Texas, Arling-  
 ton 컴퓨터공학과(공학박사). 1994년~현  
 재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수. 관심분  
 야는 Mobile IPv6, IPv6, IPv6 Security, Grid networking