JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 10 : 1862~1872 Oct. 2017

# 하이브리드 분산 이동성 관리 방식의 성능 평가

위성홍[1] · 장재신[2*]

# Performance Evaluation of Hybrid Distributed Mobility Management

**Sunghong Wie[1] · Jaeshin Jang[2*]**

[1]Department of Electrical and Electronic Engineering, The Cyber University of Korea, Seoul 03051, Korea
[2*]Department of Electronic Telecommunications, Mechanical & Automotive Engineering, Inje University, Gimhae 50834, Korea

## 요 약

현재의 중앙 집중형 이동성 관리 방식의 제약점들을 극복하기 위해서, IETF는 홈 에이전트의 이동성 기능을 사용자 가까이에 위치한 네트워크 경계 쪽으로 분산시키는 분산 이동성 관리 방식에 대해서 논의해왔다. 분산 이동성 관리 프로토콜은 트래픽 전달 비용이 낮고 확장성이 높다는 장점을 갖고 있다. 하지만, 시그널링 비용이 높고 주소관리가 복잡하다는 문제점을 보이고 있다. 특히 세션의 지속시간이 길고 빠르게 이동하는 사용자의 경우에는 이러한 문제점을 더욱 어렵게 만든다. 지속시간이 긴 세션에 대해서 높은 시그널링 비용을 감소시키기 위해서 우리는 하이브리드 분산 이동성 관리 방식을 제안하며, 이는 세션 지속 시간에 따라서 다른 이동성 앵커를 할당한다. 본 논문에서 우리는 제안한 하이브리드 분산 이동성 관리 방식에 대해서 성능을 분석하며 시그널링 비용 측면에서 우수한 성능임을 보여준다.

## ABSTRACT

To overcome the limitations of the current Central Mobility Management (CMM) protocols, IETF has been discussing about the Distributed Mobility Management (DMM) protocols that the centralized mobility functions of Home Agents (HA) are distributed to network edges closer to mobile users. The DMM protocol has some advantages of low-cost traffic delivery and high scalability. However, it faces several problems such as a high signaling cost and a complex address management. Especially, users moving at a high speed and with long-live sessions can make these problems worse. To reduce the high signaling cost for long-live sessions, we propose a novel hybrid DMM protocol allocating different mobility anchors according to the session durations. In this paper, we analyze the performance of the proposed hybrid DMM protocol and show superior performance with respect to the signaling cost.

**키워드** : 하이브리드 분산 이동성 관리, 프락시 모바일 아이피, 성능 분석, 성능 평가

Key word : Hybrid Distributed Mobility Management, Proxy Mobile IP, Performance Analysis, Performance Evaluation

**Received** 22 June 2017, **Revised** 05 July 2017, **Accepted** 07 August 2017

* **Corresponding Author** Jaeshin Jang(E-mail:icjoseph@inje.ac.kr, Tel:+82-55-320-3520)
Department of Electronic Telecommunications, Mechanical & Automotive Engineering, Inje University, Gimhae, 50834, Korea

Open Access https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1862 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## Ⅰ. 서 론

CISCO의 VNI 리포트[1]에 의하며 전 세계 모바일 트래픽은 2016년도 말에 한달 평균 7.2 exabytes에 이를 정도로 증가하였으며 전체 트래픽 중에서 63%를 차지하고 있다. 모바일 트래픽은 지난 5년간 약 18배 정도 증가하였으며 특히 스마트 디바이스에 의한 트래픽 발생이 그 외의 디바이스에 의한 트래픽보다 13배가량 높은 상황이다. 전체 모바일 트래픽 중에서도 모바일 비디오 서비스가 급증하여 현재 60%정도를 차지할 정도로 높아져있다.

이동통신 사업자들은 이러한 모바일 트래픽의 변화를 문제없이 처리하기 위하여 다양한 시도를 수행하고 있다. 이러한 기술적 방향성을 지원하기 위한 방안 중의 하나로서 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 진행하고 있는 분산 이동성 관리(DMM, Distributed Mobility Management) 방식이 있다. DMM 방식에서는 기존의 CMM(Centralized Mobility Management) 방식에서 사용하던 중앙 집중형 장비인 HA(Home Agent)나 LMA(Local Mobility Anchor)를 사용하지 않고 단말기가 접속한 엑세스 라우터를 모바일 앵커로서 사용한다. 단말기마다 모바일 앵커가 다른 장비이기 때문에 과도한 트래픽이 몇몇 중앙 집중형 장비에 집중되는 문제를 방지할 수 있고, 중앙 집중형 장비의 오류 상황에서 수많은 서비스가 중단되는 사태를 없앨 수 있어서 전체 시스템의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 그리고, 소수의 장비에 의존하지 않기 때문에 확장성이 좋은 장점이 있다. 게다가 요즘과 같이 모바일 트래픽이 폭증하는 환경에서 local CDN(Content Delivery Network) 장비를 엑세스 네트워크에 가깝게 도입하는 경우들이 늘어나고 있는데 CMM방식의 HA나 LMA를 경유해야 한다면 local CDN의 효과를 얻어내기 어렵다. 즉, local CDN 도입 방안이 실질적인 효과를 얻기 위해서는 DMM방식과 연동되어야 한다.

DMM 방식에는 여러 가지 장점이 있지만, 사용하는 IP주소의 개수가 증가하고 터널관리가 복잡해지며 시그널링 처리 비용이 증가는 문제점을 갖고 있다. 특히 시그널링 처리 비용이 증가하는 문제는 세션의 지속시간이 긴 경우나 혹은 단말의 이동성이 높은 경우에 더욱 심화된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 경감시켜주는 hDMM(hybrid-DMM) 방식을 제안하고 이에 대한 성능 분석 및 평가를 수행한다. Ⅱ장에서는 현재까지의 관련 연구 내용을 살펴보고 Ⅲ장에서는 본 논문에서 제안하는 hDMM방식의 동작을 기술한다. Ⅳ에서는 성능을 분석한 이후에 Ⅴ장에서 성능 평가를 수행하고 Ⅵ장에서 결론을 기술한다.

## Ⅱ. 관련 연구

DMM 방식의 개념은 모바일 앵커의 분산을 의미하기에 앵커의 위치를 단말기마다 다르게 지정하고 그 위치를 단말기와 더 가까운 방향으로 이동시키는 방식이다. 모바일 앵커의 분산으로 인하여 네트워크 구조가 더 단순화되어 확장성이 좋아지고 신뢰도가 높아진다. 기존의 HA와 LMA와 같은 중앙 집중형 장비를 제거하기 때문에 계층적 네트워크 구조에서 평평한 네트워크(Flat Network)로의 변화를 의미하기도 한다. DMM방식이 갖는 여러 가지 장단점을 비롯한 기술적 특징에 대해서는 [2,3]에서 기술하고 있다.

기존의 CMM방식에서도 단말기에 이동성 기능을 부여한 CMIP(Classical Mobile IP)가 있고, 엑세스 라우터가 단말기 대신에 이동성 기능을 담당하는 PMIP(Proxy Mobile IP)가 있다. 근래에는 [4]와 같이 PMIP의 성능적 우수성이 많이 연구되어 DMM방식에서도 PMIP기반으로 많은 연구가 제안되고 있다[5-7]. 본 논문도 PMIPv6기반의 DMM을 기반 시스템으로 가정하여 [7]의 성능 분석방식을 확장한다. 네트워크에는 MAAR(Mobility Anchor and Access Router)라는 엑세스 라우터가 트래픽 영역의 분산을 담당한다. MAAR는 자신의 서비스 영역에서 접속한 단말기에게 HNP (Home Network Prefix)주소를 할당하고, 단말기가 새로운 MAAR영역으로 이동하면 신규 MAAR와 터널을 생성하여 사용자 트래픽을 전달해주는 모바일 앵커 역할을 수행한다. 그리고 CMD(Central Mobility Anchor)라는 중앙 집중형 데이터베이스가 시그널링 메시지를 처리하는 기능을 수행하여 단말기에 할당된 주소 정보와 이동성 정보를 저장한다. 핸드오버가 발생하면 새로운 MAAR는 CMD로부터 단말기에 대한 정보와 이동성 정보를 획득하여 어떤 MAAR들이 모바일 앵커로서 역할을 수행하는지에 대한 정보를 알아낸다. 그림 1은 DMM방식으로 동작하는 시스템에서 단말이 핸드오버

하였을 때의 메시지 흐름도를 보여준다. 단말기가 MAAR2와 MAAR1에 접속하여 주소를 할당받고 그 주소를 이용하여 세션을 유지하는 상황에서 MAAR0의 서비스 영역으로 이동하는 상황이다. MAAR0는 단말기의 접속을 인지하고 CMD에게 PBU(Proxy Binding Update)메시지를 전송하여 단말기 등록을 요청한다. CMD는 단말기 관련 정보를 찾아서 모바일 앵커 리스트에 포함된 MAAR2와 MAAR1에게 S-MAAR옵션(Serving MAAR정보를 수록)을 포함하고 있는 PBU* 메시지를 전달한다. CMD는 여러 모바일 앵커로부터 응답을 받은 이후에 하나의 통합된 PBA**메시지를 새로운 MAAR에게 전달한다. 이러한 메시지 교환을 통하여 모바일 앵커들과 신규 MAAR간에 터널을 생성하고 세션의 사용자 데이터 전달에 사용한다.

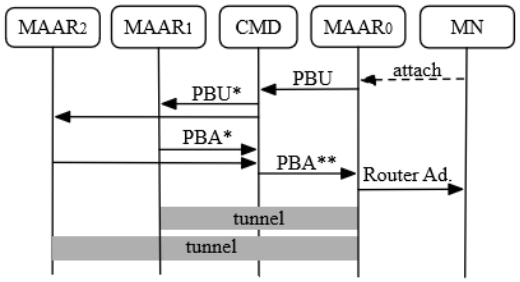


**Fig. 1** Message flow of DMM scheme

[5-7]의 DMM 성능 평가 결과에 의하면 DMM방식으로 인하여 모바일 앵커의 위치가 단말기와 가까워지기 때문에 이로 인한 이득이 있지만 시그널링 성능 측면에서는 단점이 존재하며, 특히 세션의 지속 시간이 길거나 이동성이 빠른 상황에서는 단점이 더 커지는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안이 논의되고 있으며 [8-9]와 같은 제안이 있다. [8]은 DMM 방식처럼 엑세스 라우터가 앵커로서 동작하지만, 세션의 개수와 핸드오버 발생횟수의 비율을 기준으로 하여 특정한 기준치를 넘게 되면 단말기의 세션을 엑세스 라우터로부터 LMA로 이동시키는 방안을 제안하고 있다. 이와 같이 앵커의 위치를 물리적으로 바꾸기 위해서는 라우팅 정보가 네트워크에 반영되어야 하는데, 라우팅 정보가 전파되는데 상당한 시간이 걸리기 때문에 서비스 중단 시간이 길어진다는 문제점을 갖고 있다. 그리고 단순히 세션의 개수를 고려하기 때문에 세션의 지속 시간과 같은 특성 반영은 포함되어 있지 않다. [9]에서도 하이브리드 방식의 DMM을 제안하고 있으나 단순히 모바일 앵커의 개수를 기준으로 하여 현재의 MAAR를 세션에 대한 앵커로 지정할지 혹은 LMA를 앵커로 지정할지 판단하고 있다. 즉, 세션의 특성을 고려하여 앵커를 지정하지 않기 때문에 하이브리드 방식의 장점을 전혀 활용하지 못하고 있다.

## Ⅲ. 하이브리드 분산 이동성 관리 기법

본 논문에서는 기존의 PMIPv6방식 기반의 DMM을 기본적인 동작 원칙으로 한다[7]. 따라서 세션이 발생하였을 때에는 현재 접속한 MAAR로부터 할당받은 HNP를 활용하여 Simple IP로 동작하며 이후에 핸드오버가 발생한 다음부터는 Mobile IP로 세션이 유지되며 HNP를 할당한 MAAR가 모바일 앵커로서 동작한다. 각 세션은 사용하는 HNP를 변경하지 않기 때문에 해당 HNP의 수명은 그 HNP를 사용하는 세션이 하나도 없을 때에 종료된다. 단말기에는 여러 개의 세션이 공존하고 세션마다 사용하는 HNP주소와 모바일 앵커가 다를 수 있다.

일반 DMM방식에서는 새로운 세션이 사용할 주소를 할당할 때에 단말기가 현재 접속한 MAAR의 HNP를 사용한다. 따라서 단말기의 이동에 따라서 현재의 MAAR가 달라지고 새로운 세션이 사용하는 HNP 주소도 달라진다. 하지만, 본 논문에서 제안하는 hDMM (Hybrid-DMM)방식에서는 새로운 세션이 사용할 주소를 선택할 때에 2가지 HNP주소 중에서 선택한다. 한 가지는 일반 DMM과 동일하게 단말기가 현재 접속 중인 MAAR의 HNP를 사용하는 것이고, 나머지 한 가지는 특별하게 지정된 MAAR가 할당한 HNP를 사용하는 것이다. 여기에서 특별하게 지정된 MAAR를 MAAR-LL (MAAR for Long-Live session)이라고 명명하는데 이는 지속시간이 긴 세션을 위한 MAAR를 지칭하는 것으로 MAAR-LL이 할당한 주소값을 HNP-LL이라고 지칭한다. MAAR-LL은 다음과 같은 절차에 의해서 지정한다.

- 단말기가 처음으로 POWER ON된 이후에 처음으로 접속한 MAAR를 MAAR-LL로 지정한다.

- HNP-LL 주소를 사용하는 세션이 전혀 없고 현재 MAAR와 MAAR-LL이 다르다면 현재의 MAAR를 MAAR-LL로 재지정한다.
- 현재의 MAAR-LL에 심각한 문제가 발생하여 더 이상 서비스를 할 수 없는 경우에는 현재의 MAAR를 MAAR-LL로 재지정한다.
- 운영자의 선택에 의하여 특정한 MAAR를 MAAR-LL로 강제 재지정한다.

hDMM방식에서는 새로운 세션이 도착했을 때에 그 세션의 통계적인 특성 파라미터를 참고하여 사용할 HNP 주소값을 결정한다. 만약 새로운 세션의 통계적 특성 중에서 지속시간이 짧다면 기존의 DMM방식과 동일하게 현재의 MAAR로부터 할당받은 HNP를 사용한다. 지속시간이 짧은 세션의 경우에는 해당 HNP를 빠른 시간 안에 단말기로부터 회수할 수 있으며, 단말의 이동시에 핸드오버 처리를 위한 시그널링 비용에 대한 부담이 작기 때문에 기존의 DMM방식과 동일하게 처리하여 DMM방식의 장점을 최대한 획득한다. 만약에 새로운 세션의 지속시간이 길다고 판단하는 경우에는 현재 MAAR가 할당한 HNP를 사용하지 않고 HNP-LL을 사용하도록 한다. 이로써 지속시간이 긴 세션들이 모두 HNP-LL을 사용하게 되어 마치 MAAR-LL이 HA나 LMA처럼 중앙 집중형 장치로서 동작하면서 시그널링 비용의 불필요하게 증가하는 것을 방지한다. 이와 같이 세션의 특성에 따라서 분산형과 중앙 집중형 관리 방식이 선택적으로 동작하기 때문에 CMM방식과 DMM방식의 장점을 모두 얻을 수 있다. 그리고 MAAR-LL이 중앙 집중형 장치인 것처럼 동작하기는 하지만 단말기마다 서로 다른 MAAR를 MAAR-LL로 지정하여 분산되기 때문에 SOF(Single point Of Failure) 문제를 피할 수 있다.

hDMM방식을 사용할 때에 단말기에서 새로운 세션에게 할당 가능한 HNP 주소값은 2개이다. 현재 위치한 MAAR가 할당해준 HNP값과 MAAR-LL이 할당한 HNP-LL이다. 그 외에 다른 MAAR가 할당하여 사용중인 HNP 주소값들도 있으나 이 주소값들의 상태는 “deprecated”상태로서 새로운 세션에 할당되지는 않는다. 새롭게 할당 가능한 2개의 HNP 주소값은 모두 “active” 상태로 지정되며 이 둘을 구분하기 위한 방법은 2가지 정도로 요약할 수 있다. 한 가지는 RA(Router Advertisement)메시지에 포함된 “prefix preference”값을 약속하여 사용하는 방법이고, 다른 한 가지 방법은 단말기의 CM(Connection Manager)과 네트워크의 FM(Flow Manager)간에 별도의 메시지를 정의하여 정보를 교환하는 것이다. 본 논문에서는 이에 대한 구체적인 방법을 논의하거나 지정하지는 않으며 hDMM방식을 구현했을 때의 성능을 분석하여 이를 평가하는 것에 국한한다. 그리고 본 논문에서는 하이브리드 방식의 특징을 명확하게 구분하기 위해서 세션의 지속시간 특성에 의존하여 사용하는 주소값을 다르게 선택한다. 하지만 실제로 hDMM방식 적용을 검토할 때에는 세션의 지속시간외에도 단말기의 이동속도(혹은 핸드오버 발생율)를 고려할 수 있다. 즉, 높은 속도에서는 지속시간이 작은 세션도 HNP-LL을 사용하도록 할당할 수 있다. 이에 대한 합리적인 근거는 성능 평가 결과에서 보여준다.

## Ⅳ. 성능 분석

성능 분석을 위하여 [7]과 같은 프로토콜 비용 개념을 도입한다. 분산 이동성 관리 방식의 프로토콜 비용은 시그널링 비용과 패킷 전달 비용으로 구분할 수 있다.

$$C_T = C_{BU} + C_{PD} \quad (1)$$

시그널링 비용은 핸드오버 발생시에 PBU/PBA메시지를 교환하는 비용이며 패킷 전달 비용은 사용자 데이터 패킷을 전달하기 위한 비용으로 패킷의 길이와 홉수(hop distance)의 곱셈으로 계산한다. 또한 네트워크 장치(MAG, MAAR, LMA, CMD 등)에서의 패킷 처리 비용도 합산한다. [9]에서는 바인딩 리프레시 비용도 포함하였으나 큰 비중을 차지하는 부분은 아니기 때문에 본 논문에서는 제외한다.

### 4.1. 시스템 모델

단말기가 하나의 MAAR영역에 머무는 시간은 평균 $(1/\mu_s)$를 갖는 지수분포라고 가정한다. 그러면 핸드오버 발생율 $\mu_s$값은 [10]에 따라서 MAAR영역의 크기 $A$

와 단말의 이동속도 $v$의 관계식으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\mu_s = 2v/\sqrt{\pi A} \quad (2)$$

전체적인 네트워크 토폴로지는 [7]과 동일하게 구성하여 다음의 그림 2와 같이 가정하고 성능 분석을 위하여 표 1과 같은 기호와 기본 값을 정의한다 [7].

**Table. 1** Parameters for performance analysis

| Parameter | Description |
|---|---|
| $\tau$ | header size of IPv6 tunnel, 40bytes |
| $w_1$ | packet delivery cost in wire-line, 1 |
| $w_2$ | packet delivery cost in wireless, 1.5 |
| $K_s$ | number of mobile anchor |
| $L_{PBU}$ | size of PBU message, 76bytes |
| $L_{PBA}$ | size of PBA message, 76bytes |
| $L_{PBU^*}$ | size of PBU* message, (76+20)bytes |
| $L_{PBA^*}$ | size of PBA* message, (76+36)bytes |
| $L_{PBA^{**}}$ | size of PBA** message, $(76+(36 \cdot K_s))$bytes |
| $PC_R$ | packet processing cost in router, 8 |
| $PC_{MAG}$ $PC_{MAAR}$ | packet processing cost in MAG/MAAR, 12 |
| $PC_{LMA}$ $PC_{CMD}$ | packet processing cost in LMA/CMD, 24 |
| $d_{MAG-MN}$ $d_{MAAR-MN}$ | hop distance of MAG-MN or MAAR-MN, 1 hop |
| $d_{LMA-MAG}$ $d_{CMD-MAAR}$ | hop distance of LMA-MAG or CMD-MAAR, 10 hops |
| $d_{LMA-CN}$ $d_{MAAR-CN}$ | hop distance of LMA-CN or MAAR-CN, 10 hops |
| $d_{MAAR-MAAR}$ | hop distance of MAAR-MAAR, 3 hops |

네트워크 구조에 따라서 $d_{MAAR-MAAR}$값은 상당히 변동될 수 있는 값이기에 여기에서는 $\sqrt{d_{CMD-MAAR}}$ 정도의 값으로 정의하였다. MAAR-LL과의 홉수값도 일반 MAAR와의 홉수로 동일하게 취급하여 $d_{MAAR-MAAR}$값을 동일하게 사용한다. 일반적으로 네트워크 구성을 계층적인 구조로 구성하기 때문에 오래전에 접속했었던 MAAR-LL이라고 하여도 거리가 크게 차이가 나지는 않는다.

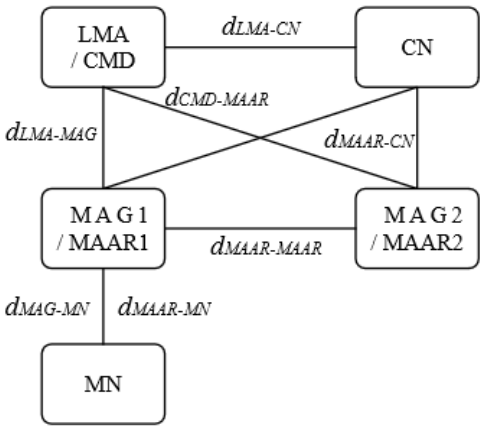


**Fig. 2** Network Topology [7]

### 4.2. 세션 모델

기존의 여러 논문[5-10]에서는 분석의 편리성을 위하여 아주 간략한 세션 모델을 사용하고 있다. 그림 3.(a)에서 보는 바와 같이 세션 도착 과정을 포아송 프로세스로 정의하고 세션 지속시간을 세션과 그 다음 세션 간의 시간 간격으로 모델링하고 있다. 이러한 세션 모델은 성능 분석을 쉽게 할 수 있다는 장점이 있으나 제안 방식과 같이 서로 다른 특성을 갖는 세션들이 제각각 유지되는 상황을 분석할 수 없다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 3.(b)와 같이 세션의 도착 프로세스와 세션 지속시간 분포를 분리한다. 세션의 도착 프로세스는 포아송 프로세스로 가정하고 세션의 지속시간 분포는 지수분포를 가정하며 서로 독립적이라고 가정한다. 세션 지속시간은 감마 분포나 파레토 분포 등과 같이 더 현실적인 확률 분포로 가정할 수도 있으나 [10]에 의하면 지수분포로 가정하여도 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있으며 분석의 용이성을 위해서도 편리한 확률분포이다. 세션의 특성에 따라서 도착율과 평균지속시간, 패킷 생성율, 패킷길이 등을 다르게 정의함으로써 다양한 특성의 세션을 모델링 할 수 있다. 본 논문에서는 G개의 세션 그룹을 정의하는데 세션 그룹이란 동일한 특성을 갖는 세션들의 집합을 지칭하는 것으로 i세션 그룹의 평균 도착율은 $\lambda_i$, 평균 지속시간은 $(1/\mu_i)$라고 정의한다.

DMM방식에서는 단말에 새로운 세션이 도착했을 때에 단말이 현재 위치한 MAAR로부터 할당받은 주소를 사용하여 Simple IP로서 동작한다.

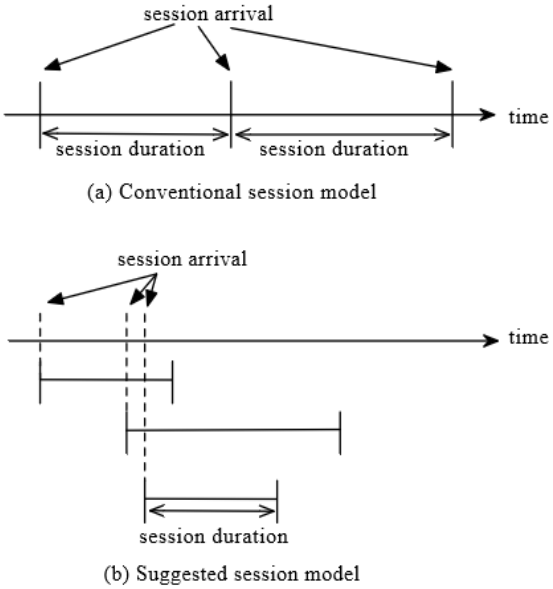


**Fig. 3** Session Model

그 이후에 단말이 다른 MAAR영역으로 이동하여도 세션이 사용하는 주소값은 그대로 유지하며 현재 MAAR과 주소를 할당한 MAAR간의 터널을 사용하여 서비스를 유지한다. 따라서 특정 $MAAR_k$가 할당한 주소를 현재까지 사용하는지는 $MAAR_k$영역에서 발생한 세션이 현재까지 유지되고 있는지와 동일하다. 만약 세션을 유지하지 않고 있다면 $MAAR_k$가 할당해준 주소값을 반납하여 $MAAR_k$는 더 이상 모바일 앵커로서 역할을 수행하지 않을 것이다. 이를 정리하기 위해서 다음과 같은 변수를 정의한다.

$$I_j = \begin{cases} 1, & MAAR_j\text{에서 발생한 세션중에서} \\ & 1\text{개 이상이 } MAAR_0\text{까지 유지되는경우} \\ 0, & MAAR_j\text{에서 발생한 모든 세션이} \\ & MAAR_0\text{까지 유지되지 못하는 경우} \end{cases} . \quad (3)$$

수식 (3)에서 $MAAR_0$은 단말이 현재 위치한 영역의 MAAR을 의미하며, $MAAR_j$는 단말이 $MAAR_0$로 위치하기 (j)번 이전에 경유했던 MAAR을 의미한다. (j)값이 클수록 더 오랜 전에 연결했었던 MAAR임에 주의해야 한다. 그렇다면 단말기가 현재 위치한 영역의 MAAR를 제외한 모바일 앵커의 개수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$K_s = \sum_{j=1}^{\infty} I_j \ , \quad E(K_s) = \sum_{j=1}^{\infty} E(I_j). \quad (4)$$

i그룹의 세션의 도착 시간 간격은 평균 $(1/\lambda_i)$의 지수분포이고, $MAAR_j$영역 내에서 단말이 머무는 시간은 평균 $(1/\mu_s)$의 지수분포이기에 지수분포의 특성을 이용하면 1개 MAAR영역 내에서 i그룹의 세션이 $n_i$개 발생할 확률을 수식 (5)처럼 정리하고 전체 세션 그룹에 대해서 수식 (6)과 같이 정리할 수 있다.

$$P(N_i = n_i) = \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_s}\right)^{n_i} \left(\frac{\mu_s}{\lambda_i + \mu_s}\right). \quad (5)$$

$$P(N_1 = n_1, \cdots, N_G = n_G) = \prod_{i=1}^{G} \left[\left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_s}\right)^{n_i} \left(\frac{\mu_s}{\lambda_i + \mu_s}\right)\right]. \quad (6)$$

그룹 i에 해당하는 세션의 지속시간과 MAAR에 머무는 시간이 모두 지수분포이기 때문에 “i그룹의 1개 세션이 종료되지 않고 다음 MAAR영역으로 핸드오버하는 확률”을 수식 (7)과 같이 정리할 수 있고 이것을 확장하여 수식 (8)의 “$MAAR_j$에서 발생한 그룹 i의 1개 세션이 $MAAR_0$까지 유지하지 못하고 종료하는 확률”을 얻을 수 있다.

$$p_i = \frac{\mu_s}{\mu_i + \mu_s} \ . \quad (7)$$

$$p_{ij} = 1 - \left(\frac{\mu_s}{\mu_i + \mu_s}\right)^j. \quad (8)$$

$MAAR_j$에서 각 그룹별로 발생한 세션의 개수를 $\{n_1, n_2, \cdots, n_G\}$이라고 할 때에, “$MAAR_j$에서 발생한 세션들 중에서 1개 이상이 $MAAR_0$까지 유지하는 확률”을 계산하면 다음과 같다.

$$P_c(j, n_1, n_2, \cdots, n_G) = 1 - \prod_{i=1}^{G} \left\{1 - \left(\frac{\mu_s}{\mu_i + \mu_s}\right)^j\right\}^{n_i} . \quad (9)$$

조건부 평균을 계산하는 방법과 함께 수식 (6)과 (9)를 이용하면 $E(I_j)$를 다음과 같이 수식 (10)으로 계산할 수 있으며 이를 수식 (4)에 적용하여 $E(K_s)$를 얻을 수 있다.

$$E(I_j)=\sum_{n_1=0}^{\infty}\cdots\sum_{n_G=0}^{\infty}E(I_j|N_1=n_1,\cdots,N_G=n_G) \cdot P(N_1=n_1,\cdots,N_G=n_G) \quad (10)$$

$$=\sum_{n_1=0}^{\infty}\cdots\sum_{n_G=0}^{\infty}P_c(j,n_1,n_2,\cdots,n_G) \cdot P(N_1=n_1,\cdots,N_G=n_G)$$

$$=\sum_{n_1=0}^{\infty}\cdots\sum_{n_G=0}^{\infty}\left[1-\prod_{i=1}^{G}\left\{1-\left(\frac{\mu_s}{\mu_i+\mu_s}\right)^j\right\}^{n_i}\right] \cdot\prod_{i=1}^{G}\left[\left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i+\mu_s}\right)^{n_i}\left(\frac{\mu_s}{\lambda_i+\mu_s}\right)\right].$$

### 4.3. 기존의 이동성 관리 방식의 성능 분석

[7]에서 분석한 CMM방식의 성능 분석 결과를 본 논문의 기호 정의에 맞게 다시 정리한다. 먼저 CMM방식의 시그널링 비용 분석 결과는 다음과 같다.

$$C_{PBU}^{CMM}=\omega_1\cdot(d_{MAG-LMA}\cdot L_{PBU}) +(d_{MAG-LMA}-1)\cdot PC_R+PC_{LMA} \quad (11)$$

$$C_{PBA}^{CMM}=\omega_1\cdot(d_{LMA-MAG}\cdot L_{PBA}) +(d_{LMA-MAG}-1)\cdot PC_R+PC_{MAG}.$$

$$C_{BU}^{CMM}=\mu_s\cdot(C_{PBU}^{CMM}+C_{PBA}^{CMM}). \quad (12)$$

그룹별 패킷 전달 비용을 계산하기 위하여 $(S_i,\ L_i)$ 파라미터를 도입한다. $S_i$는 i그룹 세션의 세션당 패킷의 평균 개수를 나타내며 $L_i$는 i그룹 세션의 평균적인 패킷 길이를 의미한다. 이와 같이 정의한 파라미터를 이용하여 CMM방식에서의 패킷 전달 비용과 총 비용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$C_{PD}^{CMM}=\sum_{i=1}^{G}[\omega_2\cdot(S_i\cdot L_i)d_{MH-MAG}+PC_{MAG} +\omega_1\cdot(S_i\cdot(\tau+L_i))\cdot d_{MAG-LMA} +((d_{MAG-LMA}-1)\cdot PC_R)+PC_{LMA} +\omega_1\cdot(S_i\cdot L_i)\cdot d_{LMA-CN} +((d_{LMA-CN}-1)\cdot PC_R)]\times\lambda_i. \quad (13)$$

$$C_T^{CMM}=C_{BU}^{CMM}+C_{PD}^{CMM} \quad (14)$$

기존 DMM방식의 시그널링 비용 분석 결과도 본 논문의 기호 정의와 세션 모델에 따른 모바일 앵커의 개수 $E(K_s)$를 고려하여 다시 정리한다.

$$C_{PBU}^{DMM}=\omega_1(d_{MAAR-CMD}\cdot L_{PBU}) +(d_{MAAR-CMD}-1)PC_R+PC_{CMD} +E(K_s)\cdot C_{PBU^*} \quad (15)$$

$$C_{PBU^*}=\omega_1(d_{CMD-MAAR}\cdot L_{PBU^*}) +(d_{CMD-MAAR}-1)PC_R+PC_{MAAR}.$$

$$C_{PBA}^{DMM}=E(K_s)\cdot C_{PBA^*} +\omega_1(d_{CMD-MAAR}\cdot L_{PBA^{**}}) +(d_{CMD-MAAR}-1)PC_R+PC_{MAAR} \quad (16)$$

$$C_{PBA^*}=\omega_1(d_{MAAR-CMD}\cdot L_{PBA^*}) +(d_{MAAR-CMD}-1)PC_R+PC_{CMD}.$$

$$C_{BU}^{DMM}=\mu_s\cdot(C_{PBU}^{DMM}+C_{PBA}^{DMM}). \quad (17)$$

한편 패킷 전달 비용과 총 비용도 정리하면 다음과 같다.

$$C_{PD}^{DMM}=\sum_{i=1}^{G}[\omega_2(S_i\cdot L_i)d_{MH-MAAR}+PC_{MAAR} +\omega_1(S_i\cdot(\tau+L_i))d_{MAAR-MAAR} +\omega_1(S_i\cdot L_i)\cdot d_{MAAR-CN} +((d_{MAAR-CN}-1)\cdot PC_R)]\times\lambda_i. \quad (18)$$

$$C_T^{DMM}=C_{BU}^{DMM}+C_{PD}^{DMM}. \quad (19)$$

### 4.4. 하이브리드 분산 이동성 관리 방식의 성능 분석

그룹1부터 그룹G까지 세션 그룹을 정의한 상황에서 그룹1부터 그룹g $(1\le g<G)$의 세션을 숏-라이브-세

션(short-live session)이라고 하고 그 외의 나머지 세션들을 롱-라이브-세션(long-live session)이라고 정의한다. 숏-라이브-세션은 지속시간이 짧은 세션을 모델링하는 것이고 롱-라이브-세션은 지속시간이 긴 세션을 의미한다. 롱-라이브-세션은 모두 HNP-LL만을 사용하기 때문에 별도의 계산없이 1개의 모바일 앵커만을 사용하며, 나머지 숏-라이브-세션은 기존의 세션 모델을 이용하여 평균 모바일 앵커 개수를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E(I_j^{sl}) = \sum_{n_1=0}^{\infty} \cdots \sum_{n_g=0}^{\infty} \left[ 1 - \prod_{i=1}^{g} \left\{ 1 - \left( \frac{\mu_s}{\mu_i + \mu_s} \right)^j \right\}^{n_i} \right] \cdot \prod_{i=1}^{g} \left[ \left( \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_s} \right)^{n_i} \left( \frac{\mu_s}{\lambda_i + \mu_s} \right) \right]. \quad (20)$$

$$E(K_s^{hDMM}) = 1 + \sum_{j=1}^{\infty} E(I_j^{sl}). \quad (21)$$

이와 같이 얻어진 평균 모바일 앵커 개수 $E(K_s^{hDMM})$를 이용하여 시그널링 처리 비용을 계산하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$C_{PBU}^{hDMM} = \omega_1 (d_{MAAR-CMD} \cdot L_{PBU}) + (d_{MAAR-CMD} - 1) PC_R + PC_{CMD} + E(K_s^{hDMM}) \cdot C_{PBU^*} \quad (22)$$

$$C_{PBA}^{hDMM} = E(K_s^{hDMM}) \cdot C_{PBA^*} + \omega_1 (d_{CMD-MAAR} \cdot L_{PBA^{**}}) + (d_{CMD-MAAR} - 1) PC_R + PC_{MAAR} \quad (23)$$

$$C_{BU}^{hDMM} = \mu_s \cdot (C_{PBU}^{hDMM} + C_{PBA}^{hDMM}). \quad (24)$$

패킷 전달 비용은 모바일 앵커의 개수와 상관없으며 일반 MAAR와 MAAR-LL간의 거리를 $d_{MAAR-MAAR}$로 동일하게 가정하였기 때문에 기존의 DMM방식에서의 패킷 전달 비용과 동일하다.

$$C_{PD}^{hDMM} = C_{PD}^{DMM}. \quad (25)$$

$$C_T^{hDMM} = C_{BU}^{hDMM} + C_{PD}^{hDMM}. \quad (26)$$

## Ⅴ. 성능 평가

세션 모델에서는 그룹 1부터 그룹 G까지를 정의하여 분석하였으나 본 장에서는 성능을 용이하게 평가하고 직관적으로 이해할 수 있도록 2개 그룹으로 단순화한다. 그룹 1은 숏-라이브-세션으로서 지속시간이 짧은 세션을 모델링하는 것이고, 그룹 2는 롱-라이브-세션으로서 지속시간이 긴 세션을 나타낸다. 그리고 별다른 언급이 없다면 다음의 파라미터 값을 가정하여 사용한다.

- $A = \pi(100)^2 \approx 31415m^2$, 셀의 면적으로 반지름을 100m로 가정함
- $v = 1$, 단말기의 이동속도 (m/s)
- $S_1 = 45,\ S_2 = 100$, 세션당 패킷의 평균 개수
- $L_1 = 100,\ L_2 = 500$, 패킷의 평균 길이 (bytes)
- $\lambda_s = 0.02$, 총 세션 발생율
- $\lambda_2/\lambda_s = 0.5$, 롱-라이브-세션 발생 비율
- $1/\mu_1 = 100,\ 1/\mu_2 = 1000$, 세션당 지속시간 (초)

그림 4는 총 세션 발생율에 따라서 각 이동성 관리 방식의 시그널링 성능을 보여주고 있다. 시그널링 성능은 기존의 중앙 집중형 관리 방식인 CMM의 성능이 가장 좋음을 볼 수 있다. 상대적으로 DMM방식은 상당히 높은 시그널링 비용이 소비됨을 알 수 있는데 이는 기존의 [5-7]에서도 볼 수 있었던 결과이다. 본 논문에서 제안한 hDMM방식은 CMM방식보다는 높은 비용을 소비하지만, DMM방식보다는 상당히 적은 시그널링 비용이 필요함을 확인할 수 있다. 이는 롱-라이브-세션들을 별도로 하나의 모바일 앵커로 관리함으로써 불필요하게 비용이 증가되는 요소를 제거하였기 때문이다. 그림 4는 이중축 그래프이며 왼쪽 y축은 시그널링 비용을 보여주고 오른쪽 y축은 평균 모바일 앵커의 개수를 보여주어서 $E(K_s)$와 $E(K_s^{hDMM})$ 값은 오른쪽 y축의 값으로 보아야 한다. 이후의 여러 가지 시그널링 성능 그래프들도 이중축 그래프임에 주의한다. DMM방식과 hDMM방식에서의 평균 모바일 앵커의 수 $E(K_s)$와 $E(K_s^{hDMM})$를 비교해보면 hDMM에서의 평균 모바일

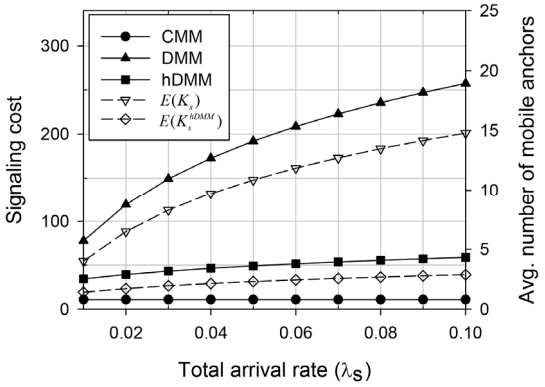


**Fig. 4** Signaling cost according to total arrival rate

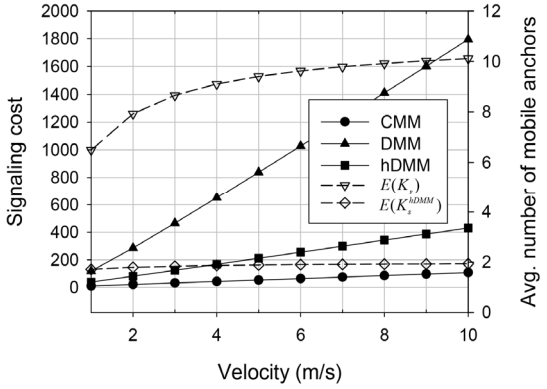


**Fig. 6** Signaling cost according to the velocity of MN

앵커의 개수가 상당히 작음을 볼 수 있다. 즉, 단말기의 핸드오버 시에 메시지를 교환할 모바일 앵커의 수가 감소한 것이 전체적인 시그널링 비용이 감소하게 된 주요 원인이다.

그림 5는 총 세션 발생율을 0.02로 고정하고 롱-라이브-세션의 비율값 ($\lambda_2/\lambda_s$)을 변화시키면서 시그널링 성능을 비교한 결과이다. 총 세션 발생율은 고정하였기 때문에 CMM방식의 시그널링 성능은 변화하지 않음을 볼 수 있다. 하지만, DMM방식에서는 롱-라이브-세션의 비율이 증가할수록 평균 모바일 앵커의 개수가 증가하고 결국 시그널링 비용도 증가함을 확인할 수 있다. 반면에 제안방식인 hDMM방식에서는 롱-라이브-세션들을 모두 하나의 MAAR-LL로 관리하기 때문에 오히려 모바일 앵커의 개수가 감소하는 효과를 얻게 되어 시그널링 비용이 감소하는 결과를 얻게 된다.

그림 6에서는 세션 파라미터를 고정한 상태에서 단말기의 이동속도를 증가시켰을 때에 시그널링 성능을 비교한 결과이다. 단말기의 이동속도가 증가함에 따라서 모든 이동성 관리 방식의 시그널링 비용이 증가함을 볼 수 있으나 특히 기존의 DMM방식은 급격히 시그널링 성능이 증가함을 볼 수 있으며, 제안한 hDMM방식에서는 비용증가가 상당히 억제되어 있음을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 세션 그룹을 단순하게 숏-라이브와 롱-라이브로 구분하고 있으나 실제 시스템에 적용할 때에는 더욱 다양한 그룹으로 구분하고 단말기의 이동 상황에 따라서 롱-라이브 세션의 판단 기준을 다르게 할 수 있다. 즉, 세션의 지속시간뿐만 아니라 단말기의 이동속도까지 포함하여 알고리즘에 포함할 수 있으며 이러한 방식을 추가 적용하면 hDMM방식의 시그널링 비용 증가를 방지할 수 있을 것이다. 시그널링 비용

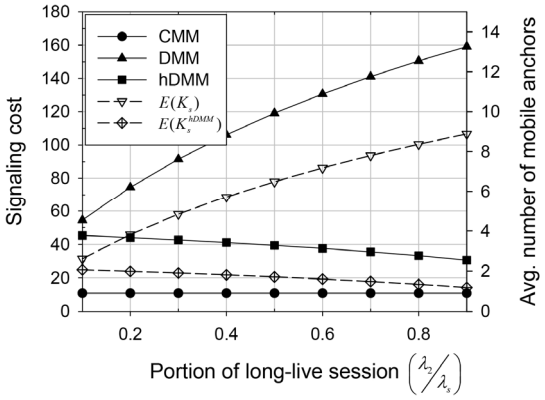


**Fig. 5** Signaling cost according to the portion of long-live sessions

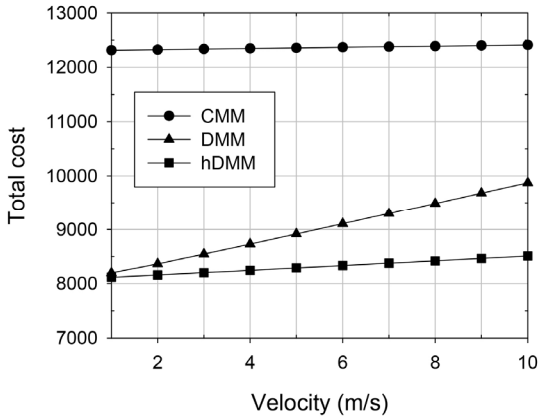


**Fig. 7** Total cost according to the velocity of MN

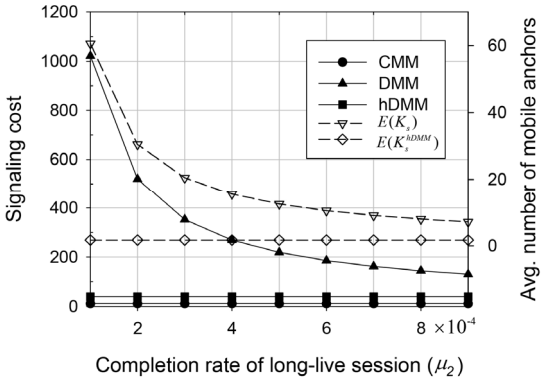


**Fig. 8** Signaling cost according to the completion rate of long-live session

뿐만 아니라 총 비용 측면에서의 성능 비교는 그림 7에서 볼 수 있다. 제안방식인 hDMM방식이 기존의 CMM 방식이나 DMM방식보다 낮은 비용에서 서비스를 제공함을 볼 수 있다. DMM방식과 hDMM방식은 분산 관리 방식으로 인하여 패킷 전달 비용 측면에서 CMM방식보다 월등하게 우월하여 총 비용측면에서 우수함을 확인할 수 있으며 hDMM방식은 시그널링 비용 측면에서 개선된 사항이 반영되어 총 비용 측면에서 가장 좋은 성능을 보이고 있다.

그림 8은 세션 발생율은 고정한 채로 롱-라이브-세션의 세션 종료율을 변화시킬 때의 시그널링 비용을 보여주고 있다. 세션의 평균 지속시간이 $(1/\mu_2)$이기 때문에 종료율이 작을수록 평균 지속시간이 증가하고, 단말기

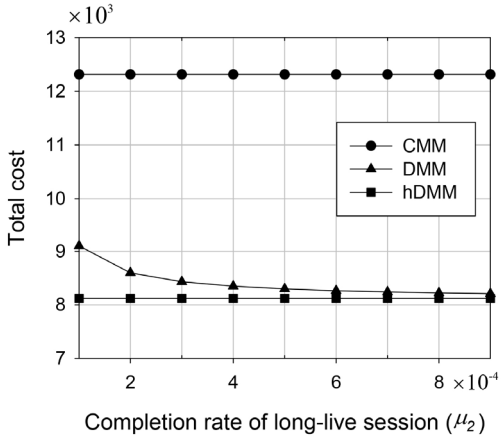


**Fig. 9** Total cost according to the completion rate of long-live session

가 이동하여도 세션이 유지되는 비율이 증가하여 평균 모바일 앵커의 개수가 증가하여 시그널링 비용은 증가한다. 특히 기존의 DMM방식에서는 이러한 문제점이 심각하게 나타남을 알 수 있으며, 제안방식에서는 이러한 상황에서 MAAR-LL로 고정되어 있기 때문에 모바일 앵커가 증가하지 않고, 시그널링 비용이 증가하지 않음을 알 수 있다. 그림 9에서는 같은 상황에서의 총 비용을 비교한 결과이며 제안 방식의 성능이 우월함을 알 수 있다.

## Ⅵ. 결 론

DMM방식은 기존의 중앙 집중형 이동성 관리 방식의 여러 가지 문제점을 해결할 수 있는 방식이지만, 주소 및 터널 관리의 복잡도가 증가하고 이동성이 높거나 세션의 지속시간이 긴 경우에 시그널링 처리 비용이 증가하는 단점이 있었다. 본 논문에서 제안하는 하이브리드 이동성 관리 방식은 지속시간이 긴 세션들을 별도의 지정된 엑세스 라우터에서 관리하도록 함으로써 시그널링 처리 비용이 불필요하게 증가할 수 있는 문제점을 보완하였다. 기존의 DMM방식이 갖는 분산 처리 방식의 이점을 유지하면서도 문제점을 보완하여 전체적으로 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 추후 연구 과제로는 플로우 이동성, 네트워크 이동성을 고려한 하이브리드 분산 이동성 관리 방안을 진행할 예정이다.

## REFERENCES

[ 1 ] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper [Internet]. Available: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html.

[ 2 ] J. C. Zuniga, C. J. Bernardos, A. de la Oliva, T. Melia, R. Costa, and A. Reznik, “Distributed mobility management: A standards landscape,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 3, pp. 80-87, March 2013.

[ 3 ] D. H. Shin, D. Moses, M. Venkatachalam, and S. Bagchi, “Distributed mobility management for efficient video

delivery over all-IP mobile networks: Competing approaches," *IEEE Network*, vol. 27, no. 2, pp. 28-33, March/April 2013.

[ 4 ] K. S. Kong, W. J. Lee, Y. H. Han, M. K. Shin, and H. R. You, "Mobility Management for All-IP Mobile Networks: Mobile IPv6 vs. Proxy Mobile IPv6," *IEEE Wireless Communications*, vol. 15, no. 2, pp. 36-45, April 2008.

[ 5 ] F. Giust, C. J. Bernardos, and A. de la Oliva, "Analytic Evaluation and Experimental Validation of a Network-based IPv6 Distributed Mobility Management Solution," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol 13, no. 11, pp. 2484- 2497, Nov. 2014.

[ 6 ] F. Giust, L. Cominardi and C. J. Bernardos, "Distributed Mobility Management for Future 5G Networks: Overview and Analysis of Existing Approaches," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 1, pp. 142-149, Jan. 2015.

[ 7 ] S. Wie and J. Jang, "A Study for Performance Evaluation of Distributed Mobility Management based on Proxy Mobile IPv6," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 97-105, Jan. 2015.

[ 8 ] J. H. Lee, Z. Yan, J. M. Bonnin and X. Lagrange, "Dynamic tunneling for network-based distributed mobility management coexisting with PMIPv6," in *Proceedings of 24th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, London, UK, pp. 2995-3000, Sept. 2013.

[ 9 ] T. T. Nguyen and C. Bonnet, "A Hybrid Centralized-Distributed Mobility Management for Supporing Highly Mobile Users," in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, pp. 3939-3944, June 2015.

[10] F. V. Baumann and I. G. Niemegeers, "An evaluation of location management procedures," in *Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Universal Personal Communications*, San Diego: CA, pp. 359-364, 1994.

**위성홍(Sunghong Wie)**

KAIST 전기및전자공학과 공학박사
고려사이버대학교 전기전자공학과 교수
※ 관심분야 : mobility management, future internet, MAC

**장재신(Jaeshin Jang)**

KAIST 전기및전자공학과 공학박사
인제대학교 전자IT기계자동차공학부 교수
※ 관심분야 : wireless QoS, MAC, routing, cooperative communication