

# IEEE 802.16/와이브로 망에서의 IPv6 도입 시나리오 및 고려사항

신 명 기 ETRI 차세대인터넷표준연구팀 선임연구원  
한 연 희 삼성종합기술원 전문연구원

## ● 와이브로 + IPv6 특징

와이브로 망에서 IPv6 단말의 고속 핸드오버 최적화 방안  
IEEE 802.16/와이브로/Mobile-WiMAX 표준화 현황 및 전망

IEEE 802.16/와이브로 망에서의 IPv6 도입 시나리오 및 고려사항

IEEE 802.16 망에서의 IPv6 ND 프로토콜 적용방안  
와이브로 네트워크를 위한 IPv6 기술 표준화  
와이브로 서비스 추진 및 향후 시장 전망

## 1. 개요

본 고에서는 IEEE 802.16/와이브로 망에서의 IPv6 도입에 따른 시나리오 및 기존 IPv6 프로토콜에 대한 고려사항들을 기술한다. 이를 위해 IEEE 802.16/와이브로 망의 IPv6 도입을 위해서는 먼저 가능한 시나리오를 서비스 방법, 시스템 구조, CS(Convergence Sublayer) 적용방법, 프리픽스(Prefix) 할당 방법에 따라 구분하여 기술하며, 이를 기준으로 IPv6 이웃 탐색(Neighbor Discovery), IPv6 패킷 전송, 이동성, 멀티캐스트, 보안 프로토콜 등이 어떠한 제한 및 수정이 요구되는지에 대해 소개한다.

## 2. IPv6 도입 시나리오

### 2.1 서비스 방법에 따른 시나리오

#### 1) 기존 셀룰라(Cellular) 이동통신 망과 비슷한 시나리오

2006년부터 서비스 되어질 와이브로는 기존의 셀룰라 시스템과 크게 다르지 않은 인증 및 과금 방식이 적용되며, RAS(Radio Access System)와 제어국인 ACR(Access Control Router)로 구성되는 액세스 망이 사업자 고유의 방식으로 구성될 예정이다. 따라서, 일반적인 유선망에서 설치되어 사용되는 IPv6 라우터/스위치 장비들과 이 시나리오에서 제공되는 RAS는 상호 호환성이 전혀 없다. 이 시나리오에서는 2.6&3.5GHz의 허가(Licensed) 영역을 활용하여 구성될 예정이며 기존 셀룰라 사업자들에게는 바로 직접적

인 경쟁 기술로서 받아들여질 것이다. 하지만, 기존의 셀룰라 시스템들과 다르게 IP 데이터 처리에 좀 더 최적화된 패킷-스위치 기반 망을 구성할 것이고 개방형 구조를 지향하고 있기 때문에 사용자에게 부과하는 요금체계 면에서 좀 더 유리하게 서비스할 수 있다. 이와 같은 시나리오에서는 무선 구간의 오버헤드 및 기존의 서비스 정책 및 요구사항에 따라 IPv6의 전체 특징을 완벽하게 구현하지 못할 가능성이 크다. 예를 들어 IPv6의 이웃 탐색(Neighbor Discovery) 기능에서 제공하고자 하는 같은 서브넷 내의 단말 간의 직접 통신(제어국을 거치지 않는 통신)이 허용될 가능성은 매우 적다. 따라서, 사업자가 설치하는 망의 특성과 정책에 따라 IPv6의 여러 기능을 제한하거나 변형하는 작업이 요구된다.

## 2) 기존 WLAN Hot-spot 망과 비슷한 시나리오

IEEE 802.11 기술을 이용한 WLAN은 Hot-spot 서비스라는 이름으로 도심을 중심으로 많이 이용되고 있다. IEEE 802.16의 BS(Base Station)는 이러한 IEEE 802.11의 Hot-spot 서비스와 비슷한 서비스를 제공해 줄 수 있다. 또한, 한 개의 BS에 의하여 커버되는 영역이 넓고 제공되는 대역폭도 넓기 때문에 전문 용어로서 “Hot-zone”이

라는 단어를 사용하기도 한다. 현재 각국의 많은 무선인터넷 서비스 제공자(Wireless ISP)들은 향후 WLAN Hot-spot 서비스의 대체용으로 IEEE 802.16 BS를 고려하고 있다. 특히, 일반 회사나 백화점, 공장, 대형 카페 등에서도 한 개 내지 두 개 정도의 IEEE 802.16 BS를 설치하여 무선 인터넷을 사용할 수 있는 환경을 계획 중에 있다. 위의 셀룰라 망 시나리오와 다른 가장 큰 특징은 2.6&3.5GHz의 허가 영역 뿐만 아니라 2.4&5GHz의 비허가(Unlicensed) 영역도 이 시나리오를 위하여 활용가능하다는 점이다. 비허가 영역을 사용할 때 IEEE 802.16 BS는 간단한 무선 허브(또는 브리지나 스위치)로서 역할을 하면서 기존의 IPv6 라우터/스위치와 연동되어 설치될 수 있을 것이다. 즉, 이 시나리오의 가장 큰 특징은 기존 IPv6 장비(라우터, 단말 등)와의 호환성 유지이다. 따라서, IPv6의 모든 기능이 구현되어야 하며 IPv6 패킷을 전달하는 방식을 비롯한 IPv6의 멀티캐스트 주소 매핑 문제 등이 IEEE 802.16의 MAC과의 연동문제를 고려하여 연구되어야 할 것이다.

## 2.2 시스템 구조에 따른 시나리오

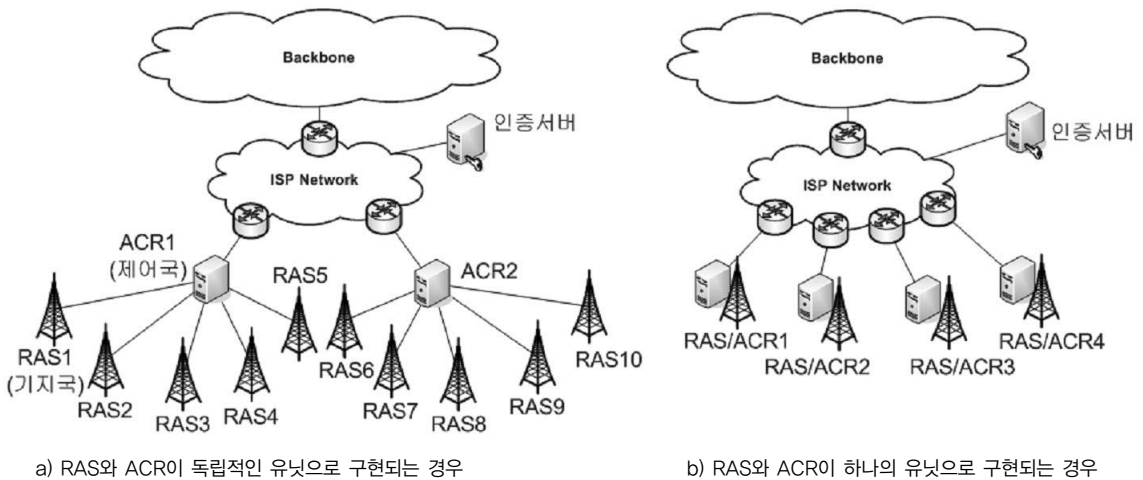


그림 1. 시스템 구조에 따른 시나리오

### 1) RAS와 ACR이 독립적인 유닛으로 구현되는 경우

그림 1의 a) 및 b)는 IEEE 802.16 액세스 망 시스템 구조의 두 가지 경우를 보여준다. 그림 1 a)에서 (서브)네트워크는 ACR로 대표되는 두 개의 서브넷으로 분할되어 있으며, 하나의 ACR은 다수 개의 RAS를 관리한다. 그림에서는 RAS와 ACR이 간단하게 연결되어 있지만 운영자의 고유 방식에 의하여 좀 더 복잡하게 RAS와 ACR이 연결될 수 있다. 이러한 망 구성에서 엄밀히 말하여 RAS는 IPv6 프로토콜 스택을 가지고 있지 않아도 된다. 하지만, 관리의 편리성을 위하여 IPv6 스택을 RAS가 가지고 있을 수 있다. 이러한 구조에서 가장 주목해야할 점은 단말과 ACR 사이에 서로 다른 두 개의 링크가 존재한다는 것이다. 즉, 1) IEEE 802.16 과 직접 관계되는 무선 링크와 2) RAS와 ACR 사이의 유선 링크가 존재한다. 그래서, 이러한 망 구조에서는 IPv6 운용 방식이 망구조에 다소 의존적으로 행해질 수 밖에 없다. 또한, 이 경우에서는 모든 RAS간의 이동이 항상 IPv6 이동성 관리를 필요로 하지 않는다. 임의의 ACR 내의 RAS간 이동 시에는 동일한 서브넷 내에서의 이동이 되기 때문에 IPv6 이동성 관리 없이 와이브로 표준 내지 IEEE 802.16e에 따른 핸드오버만을 이용하여 통신을 지속할 수 있다. 그러나, 그림 1 a)에서 RAS5에서 RAS6으로 이동하는 경우처럼 새로운 서브넷으로 이동하는 경우에는 세션 유지를 위해 IPv6 이동성 관리 및 핸드오버가 지원되어야 한다.

### 2) RAS와 ACR이 하나의 유닛으로 구현되는 경우

그림 1 b)은 ACR과 RAS가 물리적으로 통합되어 하나의 네트워크 장비로 구현되어 있는 모습을 보여준다. 이러한 경우 IPv6가 지니고 있는 링크의 개념과 IEEE 802.16 이 지니고 있는 링크의 개념이 정확하게 일치하기 때문에, IPv6를 운용하는 데에 있어서 고려해야 할 여러 사항들이 쉽게 해결될 것이다. 또한, 이와 같은 환경에서 단말의 임의의 이동은 항상 새로운 ACR로의 이동을 의미하므로 IPv6 기반 이동성 지원 프로토콜이 항상 지원되어야만 기존의 세션 유지가 가능하다.

## 2.3 Convergence Sublayer(CS)에 따른 시나리오

### 1) IP CS를 사용하는 경우

CS는 단말과 RAS 사이 무선 구간에서 IEEE 802.16 MAC 프레임을 전달하기 위한 일종의 터널링 효과를 제공하는 것으로서 Connection ID(CID)가 그 해당 터널의 식별자 역할을 한다. 현재 IEEE 802.16 스펙에는 총 11 종류의 CS Layer가 소개되고 있다. 그 중 어떤 것은 그 사용 가능성이 낮기 때문에 대표적으로 IP CS와 이더넷 CS로 요약 정리하여 나누어 볼 수 있다. 물론 CS 계층을 설명할 때 분류화(Classification) 및 CID 매핑과 같은 여러 가지 주제가 다루어져야 하지만 여기서는 IP CS와 이더넷 CS가 IPv6 패킷 전달 방식에 미치는 영향에 대하여 초점을 맞추어 설명한다. IP CS를 사용하게 되면 단말과 RAS가 주고받는 IEEE 802.16 MAC 프레임에 대하여 바로 IP 헤더가 덧붙여지게 되며 IP 관점에서 다음 홉인 라우터(또는 ACR)나 IPv6 이웃 노드들에 대한 L2 주소정보는 활용하지 않는다. 따라서, 기본적으로 IPv6의 이웃 탐색 과정 및 이웃 노드들에 대한 직접 통신 및 멀티캐스트 지원이 쉽지 않다. 2006년에 서비스될 와이브로는 IP CS를 사용하도록 설계되어 있으며, IP CS의 특징을 반영하여 항상 단말에서 RAS, 심지어 ACR까지 주고받는 트래픽을 항상 점대점 방식으로 처리하게 된다. 기존 셀룰라 시스템에서 접근하는 방안과 비슷한 특징을 지니게 되며 다음 홉의 L2 주소정보가 프레임에 덧붙여지지 않기 때문에 무선 자원을 좀 더 효율적으로 활용할 수 있는 장점이 있다.

### 2) 이더넷 CS를 사용하는 경우

이더넷 CS를 사용하는 경우는 단말과 BS 사이에 주고받는 IEEE 802.16 MAC 프레임에 다음 홉의 L2 주소정보를 담은 IEEE 802.3 이더넷 프레임을 항상 덧붙여서 통신하도록 설계된다. 이러한 통신 방법은 IEEE 802.16 액세스 망을 마치 이더넷 스타일의 브로드캐스트 망처럼 꾸밀 수도 있고, PPPoE를 활용하여 점대점 네트워크처럼도 꾸밀 수

있는 장점이 있다. 이더넷 CS를 사용하게 되면 자연스럽게 기존의 IPv6 이웃 탐색 기능을 쉽게 구현할 수 있게 되어 만약 IPv6 이웃 노드들 사이에 직접 통신 및 멀티캐스트가 필요하다면 큰 어려움 없이 지원이 가능하지만, 그러한 직접 통신 및 멀티캐스트가 지원될 필요가 없는 네트워크라면 이더넷 CS가 무선자원을 낭비해야 하는 단점이 있다는 사실을 인지하며 도입해야 한다.

## 2.4 프리픽스 할당에 따른 시나리오

### 1) 단말 당 독립적인 프리픽스를 할당하는 경우

RFC 3314는 3GPP 네트워크에서 IPv6를 도입하는 데 필요한 권고사항을 제시하고 있다. 그러한 권고 사항 가운데 특히 단말이 IPv6 주소를 설정하는 데 있어서 네트워크에서 각 단말들에게 독립적인 프리픽스를 할당하는 방안을 제안하고 있는데, 이 방안을 사용하면 단말이 스스로 주소를 생성하더라도 다른 단말들이 생성하는 주소와 중복이 되지 않게 되므로 DAD(Duplicate Address Detection) 과정을 수행할 필요가 없다. 이 방안은 IEEE 802.16/와이브로 액세스 망에서도 그대로 적용가능하며 IPv6와 관련된 여러 가지 기능들을 쉽게 구현할 수 있는 장점이 있다.

### 2) 서버넷 당 독립적인 프리픽스를 할당하는 경우

일반적으로 대부분의 네트워크 구성에서 서버넷 당 독립적인 프리픽스를 할당하고 있으며, 기존 네트워크 장비들과의 호환성 측면을 중요하게 고려한다면 이 방법을 따르는 것이 더 좋다고 볼 수 있다.

하지만, IPv6 서비스를 올바로 지원하기 위해서 요구되는 기능들을 구현할 때 단말당 독립적인 프리픽스를 할당하는 경우에 비해서 고려해야 할 사항이 더 많아진다.

## 3. IPv6 프로토콜 제한 및 수정사항

IEEE 802.16/와이브로 망은 IEEE 802.11과 같은 무선 망과는 달리, 기본적으로 링크가 점대다(Point-to-multipoint) 혹은 점대점(Point-to-point) 개념을 가지고 있으며, 따라서 멀티캐스트와 같은 패킷 전송을 지원하기 어렵다[1]. 또한 Mobile IPv6[2]에서의 빠른 핸드오버[3]를 적용하는데 문제점을 가지고 있으며, 방송 서비스를 위한 멀티캐스트/브로드캐스트 서비스인 MBS(Multicast Broadcast Service)는 기존 IP 멀티캐스트와는 서로 상이한 특징을 가지고 있다. 따라서 IPv6 이웃 탐색 기능, IPv6 패킷전송, 이동성, 멀티캐스트, 보안 지원 같은 기존 IPv6 프로토콜 기능에 대한 일부 제한 및 수정 등에 대한 작업이 필요할 것으로 예상된다. 본 장에서는 각 기술적 이슈에 대한 고려사항을 간단히 기술하며, 자세한 사항은 IETF 기고서[4]을 참조하기 바란다.

### 3.1 IPv6 이웃 탐색(Neighbor Discovery) 기능

IPv6의 가장 대표적인 기본 프로토콜인 이웃 탐색(Neighbor Discovery)[5] 기능은 AR(Address Resolution), NUD(Neighbor Unreachability Detection), DAD 기능을 위한 NS/NA(Neighbor Solicitation/Neighbor Advertisement) 메시지와 라우터 탐색 및 프리픽스 할당을 위한 RS/RA(Neighbor Solicitation/Neighbor Advertisement) 메시지, 그리고 Redirect 메시지로 구분되며, 이러한 메시지들은 IEEE 802.16 망에서의 점대점 링크 특성으로 인해, 앞서 기술한 시나리오에 따라 일부는 불필요 하거나 쉽게 구현이 가능할 수도 있으며, 혹은 더욱 복잡하게 프로토콜에 수정을 요구할 가능성도 있다. 현재 IP CS를 사용하는 와이브로 구현 방식에서는 IPv6 이웃 탐색을 위한 NS/NA와 같은 멀티캐스트 패킷들은 모두 기존의 유니캐스트 패킷들로 전송해야 한다. 반면, 802.16 링크의 점대점 특징 때문에 단말은 이미 정해진 ACR의 주소를 알게 되어, 라우터 탐색 기능은 불필

요 할 수 있다. 또한 단말당 독립적인 프리픽스를 할당하는 경우(2.4절의 첫 번째 시나리오)에는 DAD와 같은 기능도 불필요하게 되어 쉽게 구현이 가능하다. 반면, 서브넷 당 독립적인 프리픽스를 할당하는 경우(2.4절의 두 번째 시나리오)에는 AR, NUD, DAD 등 대부분의 이웃 탐색 기능들을 모두 요구하게 됨으로, 점대점 링크상에 이를 효율적으로 구현하기 위한 멀티캐스트 CID의 사용 등 새로운 방법이 요구된다. 이웃 탐색 프로토콜에 관한 이슈들은 현재 IETF 기고서 [6]에서 보다 구체적으로 논의 중에 있다.

### 3.2 IPv6 패킷 전송

IPv6 패킷전송 지원문제는 IPv6 이웃 탐색 프로토콜의 효율적인 지원과 함께 IEEE 802.16/와이브로 망에서 IPv6 적용을 위한 가장 중요한 이슈 중의 하나이며, 특히 IP CS, 이더넷 CS의 적용 방법에 따라 문제점들과 해결책 등이 크게 달라질 것으로 보인다. 또한 802.16 링크상의 점대점 특징으로 인해 이를 위한 별도의 유니캐스트, 멀티캐스트 패킷 전송 방법이 제안되어야 할 것으로 보인다. 현재 IP CS를 적용하고 있는 와이브로의 경우, 802.16 MAC 헤더에는 MAC 주소를 포함하고 있지 않으며, 이를 해결하기 위해 대신 CID를 단말과 ACR/RAS 간의 연결 트래픽 식별을 위해 사용한다. 또한 RAS와 ACR이 각각 독립적인 유닛으로 구현되는 경우(2.2절의 첫 번째 시나리오) 하나의 IP 연결을 위해 두 개의 서로 다른 특성을 가진 L2 링크가 연결(예를 들면, 802.16 무선 링크와 이더넷 링크)되게 되어, 경로 MTU 탐색(Path MTU Discovery)과 같은 프로토콜에 문제가 발생할 수 있다. 또한 IPv6 이웃 탐색 패킷과 같은 링크-로컬 멀티캐스트 패킷의 효율적인 전송에 대한 문제가 중요하게 고려되어야 하며, 다운링크의 경우에는 멀티캐스트 CID 등을 이용한 방법 등이 제공될 수 있다.

### 3.3 이동성 지원

IEEE 802.16/와이브로 망에서의 IPv6 서비스 측면에

서 보면, IP 이동성과 멀티캐스트 지원여부가 중요 관심사로 대두되고 있다. 이동성 지원과 관련하여 서브넷 변경이 일어난다면 BS간의 이동은 Mobile IPv6에 의해 처리될 필요가 있다. Mobile IPv6는 이동되었다는 것을 탐색하기 위해 IPv6 이웃 탐색 기능에서의 NUD를 통해 디폴트 라우터에 더 이상 연결할 수 없음을 탐지하고, 이 경우 이동 노드는 새로운 디폴트 라우터를 찾아야만 한다. IEEE 802.16/와이브로 망에는 802.11과는 달리 802.16 MAC에서 Ranging 프로시저와 핸드오프 프로시저에 의해 새 RAS로의 연결여부와 이동이 되었음을 감지 가능하기 때문에 이를 위해 주기적으로 RA 메시지를 전송할 필요가 없을 수 있다. 추가적으로 IEEE 802.16 표준에서는 핸드오프 동안 요구되는 IP 주소의 갱신여부를 위한 L2 트리거를 정의하고 있다. 서브넷 내의 핸드오프의 경우에는 별도의 라우터 탐색 절차는 필요 없으며, 서브넷간의 핸드오프의 경우 빠른 핸드오프는 L2 트리거 및 이를 이용한 IETF에서 정의되는 여러 고속 핸드오버 기법 등에 의해 처리될 수 있다. 한편, IEEE 802.16g에서는 link-up, link-down, handoff-start와 같은 링크 상태를 위한 L2 트리거를 정의 중에 있다. 이러한 L2 트리거들은 Mobile IPv6 처리과정을 더욱 효율적이고 빠르게 처리할 수 있을 것으로 보인다. 이러한 이슈들은 현재 IETF 기고문서 [7]에서 보다 구체적으로 논의 중에 있다.

### 3.4 멀티캐스트 지원

IEEE 802.16 망에서의 IP 멀티캐스트를 지원하기 위해서는 디폴트 라우터와 단말 사이의 MLD(Multicast Listener Discovery)[8]가 제공되어야 하며, MBS와 IP 멀티캐스트 서비스와의 연동 문제 또한 고려되어야 한다. 멀티캐스트 서비스를 지원하기 위한 MLD 질의(query) 및 응답(report) 메시지들은 3.1절의 IPv6 이웃탐색 메시지들과 마찬가지로 링크-로컬 멀티캐스트 패킷으로서 전송된다. IEEE 802.16 망 내에서 이동 단말은 디폴트 라우터/BS와 점대점 링크로 연결되어 있으므로, 이러한 멀티캐스트 패킷들은 IP CS가 사용된다면, 와이브로에서는 IPv6 이웃탐색

메시지들과 마찬가지로, 기존 802.16 유니캐스트 패킷들처럼 전송되어야 한다. 필요하다면 다운로드 상에는 멀티캐스트 CID를 적용 가능할 것으로 보인다. MLD의 추가적인 고려사항으로는 MLD 질의 및 응답 메시지의 범람을 막기 위한 적절한 억제(suppression) 방법이 고려되어야 한다는 점이다. 일반적으로 MLD에서는 가입 단말에서 응답 지연 타이머(report delay timer)를 구동시켜, 임의의 시간동안 같은 서브넷상의 다른 가입 노드들의 응답 메시지들이 있는가를 먼저 확인하는 방법을 사용하며, 802.16 링크상에도 이를 구현 가능하도록 고려해야 한다. IEEE 802.16 규격에서의 멀티캐스트 방송을 위한 MBS는 단일-BS 방식(single-BS access)과 다중-BS 전송(multi-BS access) 방식으로 나뉘며, 근본적으로 멀티캐스트 서비스라기 보다 브로드캐스트 서비스에 가까우며, 하나의 송신자가 여러 수신자에게 데이터를 보내는 형식과 유사하다. 이를 기존 IP 멀티캐스트 서비스와 연동 시키기 위해서는 소스-기반 멀티캐스트(Source-Specific Multicast) 기법과 MBS를 매핑하는 기술이 요구된다.

### 3.5 보안 기능 지원

IPv6에서의 보안 문제는 상용 서비스 적용을 위한 가장 중요한 문제 중 하나이다. 먼저 IPv6에서의 built-in IPsec의 사용은, 기존 IPv4와 달리, 전역 인터넷 망 상에서 기본으로 적용되어 도입될 것으로 보인다. 이때 전역 인터넷 망 상에서 사용가능한 PKI의 개발이 요구되며, IPsec과 Mobile IPv6와의 통합 이용 및 관리 역시 풀어야 될 이슈 중의 하나이다. 또한 IEEE 802.16 망 위협 요인 분석은 기존 IPv6 보안 위협 요인 분석과는 같지 않을 수 있다. 이와 관련한 이슈 또한 중요하게 다루어져야 할 것으로 보인다.

## 4. 결론

IEEE 802.16/와이브로 망에서의 IPv6의 적용은 궁극적으로 IPv6 입장에서 killer 응용으로 부각될 만큼, 중요한 서비스 중 하나로 자리잡을 것으로 예상된다. 802.16/와이브로 망에서 IPv6 도입을 위해서는 먼저 적용 시나리오에 대한 작업이 선행되어야 하며, 이 시나리오를 기준으로 IPv6의 핵심 프로토콜인 IPv6 이웃 탐색, IPv6 패킷 전송 방법, 이동성, 멀티캐스트, 보안 문제 등이 논의되어야 할 것이다. 특히 국내에서 서비스될 와이브로를 위해서는 일차적으로 서비스할 목표 시나리오 구성 작업을 마쳐야 할 것으로 보이며, 이를 기준으로 IPv6 이웃 탐색 프로토콜과 IPv6 패킷 전송방법에 대한 규격화 작업이 일차적으로 선행되어야 할 것이다. 그 후, IPv6 와이브로 망에서의 다양한 서비스를 제공하기 위해 이동성, 멀티캐스트 등의 부가 가치를 높일 수 있는 기능들에 대한 추가 규격 작업을 하는 것이 바람직하다.

### 참고문헌

- [1] Jee, J., Shin, M.-K., Paik, E.-K., Cha, J., and G. Montenegro, "16ng Problem Statement", draft-jee-16ng-problem-statement-02(work in progress), October 2005.
- [2] Johnson, D., Perkins, C., and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.
- [3] Koodli, R., "Fast Handovers for Mobile IPv6", draft-ietf-mipshop-fast-mipv6-03(work in progress), October 2004.
- [4] Shin, M., Moon, J., Han, Y-H, "Scenarios and Considerations of IPv6 in IEEE 802.16 Networks", draft-shin-ipv6-ieee802.16-01(work in progress), October 2005.

- [5] Narten, T., Nordmark, E., and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6(IPv6)", RFC 2461, December 1998.
- [6] Lee, J.-C., Han, Y.-H., Shin, M.-K., Jang, H.-J., and Kim, H.-J., "Considerations of NDP over IEEE 802.16 Networks", draft-lee-ndp-ieee802.16-00(work in progress), October 2005.
- [7] Jang, H.-J. et al., "Mobile IPv6 Fast Handovers over IEEE 802.16e Networks", draft-jang-mipshop-fh80216e-00(work in progress), July 2005.
- [8] Deering, S., Fenner, W., and B. Haberman, "Multicast Listener Discovery(MLD) for IPv6", RFC 2710, October 1999. **TTA**