

主 題

# 무선 LAN과 무선 ATM LAN

한국전자통신연구원 정 해 원, 한국항공대학교 이 영 교, 조 성 준

차 례

I. 서 론

II. 무선 ATM 프로토콜

V. 결 론

III. 무선 LAN의 표준화

IV. 5 GHz대 무선 ATM LAN의 설계

## I. 서론

최근에 멀티미디어 서비스의 급속한 성장으로 인하여 기존 이더넷이 유선 ATM LAN으로 급속히 대체되어 가고 있으며, 보다 고도화된 서비스 제공을 위하여 라우터 기술, ATM 스위치의 용량 확대 등에 대한 기술 개발이 진전되고 있다.

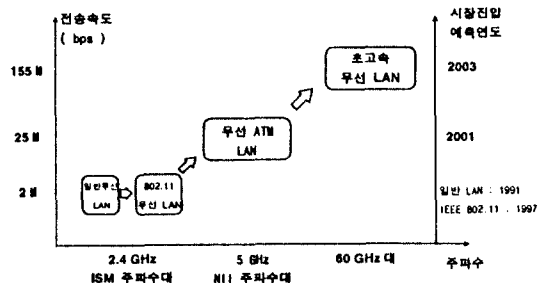
한편 LAN 보급이 일반화 되면서, 사무실의 업무 공간, 공장 내의 생산 시설 등의 재배치 시에 케이블을 다시 설치할 필요가 없는 무선 LAN에 대한 관심이 고조되고 있다. 무선 LAN은 고정된 단말이 아니라, 항상 이동하고 있는 단말, 예를 들면, 공장 내의 무인 반송차나, 증권거래소에서 손에 쥐고 조작하는 컴퓨터 단말 등을 이용하여 무선 LAN 인프라에 접속하여 각종의 제어 정보, DB검색 등을 가능하게 한다. 이와 같은 무선 LAN은 배선이 필요 없고, 단말기의 재배치가 용이함, 이동 중에도 통신이 가능하며, 빠른 시간 안에 LAN 구축이 가능하다는 강점이 있는가 하면은, 유선 LAN에 비하여 상대적으로 낮은 전송속도와 신호 간섭이 발생할 소지가 있다는 단점을 갖고 있다.

무선 LAN 구조도 단순히 유선 인프라 망(Infra-network)에 접속된 구조에서, 보다 밀접한 연관 구조를

갖는 ATM 기반의 유무선 통합 LAN으로 발전되어 갈 것으로 예측되며, 통신망의 비즈니스 용 하부 인프라를 구성 하는 기본 장치로서, 초고속 정보 통신 서비스에서 그 진가가 충분히 발휘할 수 있는 뉴미디어로 자리 매김을 하게 될 것이 분명하다.

무선 LAN은 다음과 같이 크게 4개의 부류로 나눌 수 있다. 이를 데이터 전송 속도와 사용 주파수 대역 및 제품의 시장 형성 시기를 도표화 한 것이 (그림 1) 이다. 현재 상용 및 개발 중인 무선 LAN의 대부분은 2.4 GHz 대에서 운용되는 것으로, 이 대역에서의 무선 LAN 표준화는 IEEE 802.11 위원회 '97년 6월 국제 표준을<sup>(1)</sup> 제정하였으며, 이종 메이커 간 호환성 시험을 위한 콘소시움이 구성, 운영되고 있다.<sup>(2)</sup>

(그림 1) 무선 LAN의 발전 동향



한편 미국 FCC는 5 GHz 대역에서 정부의 규제없이 사용할 수 있는 NII/Supernet 주파수 대(5.15- 5.35 GHz, 5.725 - 5.875 GHz)를 설정하여, HIPERLAN 과 같은 고속의 무선 LAN, 무선 인터넷, 무선 데이터 서비스 등을 초고속 정보 통신망 기반에 수용할 기반을 마련하였다.

이 주파수대에서의 대표적인 연구가 25 Mbps급 유무선 통합 구조 형태의 무선 ATM LAN 개발로써, 현 수준은 핵심 기술 사항을 파악하기 위한 연구 시작품 개발 단계라고 할 수 있다. 구체 적인 사례로 '95년부터 추진 되어 온 ACTS의 WAND (Wireless ATM Network Demonstrator)와 Lucent Bell Lab에서 추진중인 BAHAMA(Broadband Adaptive Homing ATM Architecture) 시스템 등이다. 이들은 주로 5 GHz NII 주파수대 피코셀 환경에서 TDMA계열의 MAC(Media Access Control)을 토대로 하고, OFDM / QPSK등의 변복조 방식과 무선 채널의 전송 특성을 개선하기 위한 각종의 에러 제거 기법 등을 이용하여 20 Mbps 이상의 무선 ATM 전송을 실험하고 있다.

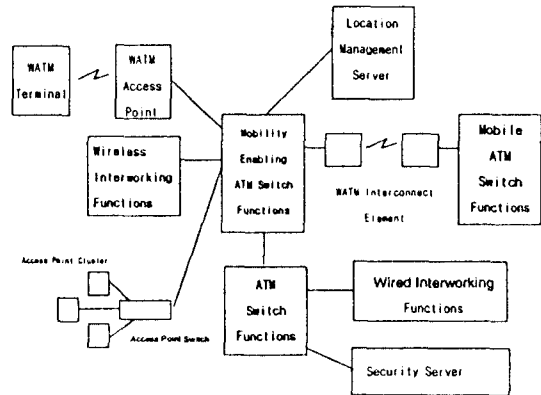
밀리파 대의 무선 ATM 시스템에 대한 연구도 유럽의 MBS(Mobile Broadband System)에서 개념 정립과 시작품을 선 보였으며, 일본에서는 60 GHz 대를 이용한 155 Mbps 급 ATM 데이터 전송용 초고속 무선 LAN 개발을 시작하여 현재 point to point 접속 시험을 수행 중에 있다.

이러한 무선 ATM 규격에 대하여 표준화를 작업하고 있는 기관이 ATM Forum이다. ATM Forum은 유럽의 ETSI BRAN (Broadband Radio Access Networks) 표준화 연구 그룹, 일본의 MMAC 표준화 활동 등과 밀접한 공동 작업 체계를 갖추고, 5 GHz 대역에서 25 Mbps 의 무선 ATM 에 대하여 '99에 WATM Release 1.0 작성을 목표로 하여 무선ATM 표준화를 진행하고 있다. 표준화의 1차 목표로 Mobile ATM 분야의 규격을 작성하고 이어 순차적으로 '99년에 Radio ATM 분야를 완성하고, '99년 말에는 Conformance test 규격을 추진할 계획이다.

현재 포름내에서 검토되고 있는 망 기능 요소에 대한 기준 모델은 (그림 2)와 같다. 이동 ATM 단말기는 액세스 포인트에 접속되어 이동 ATM 교환기에 접속된다. 이

교환기는 기존의 ATM 교환 기능을 토대로 하여 단말기의 핸드오프 지원, 위치 관리 기능 등이 부가된 ATM 교환기이다. 기존의 PCS 등과의 연동은 무선 연동 장치에서 이루어 진다.

(그림 2) 무선 ATM 의 기준 모델



본고는 '97년 6월 표준이 제정된 무선 LAN의 규격과 '96년 6월부터 ATM Forum에서 표준화가 진행되고 있는 무선 ATM에 대하여 핵심 기능의 개요와 앞으로의 추진 방향 등에 대하여 요약 보고를 하고 있다. 또한 ATM Forum 등에 기고된 기술 문서 및 제외국의 시제품 분석 등을 토대로 한 5 GHz 주파수대에서 25 Mbps 전송 속도로 운용되는 무선 ATM LAN에 대한 설계 예를 제시하고 있다.

## 2 무선LAN의 표준화

### 가. 개요

무선 LAN 의 표준에는 크게 2.4 GHz ISM 밴드에서 최대 2 Mbps 전송 속도를 목표로 하는 IEEE 802.11 표준과 유럽의 ETSI RES10에서 5.2 GHz 대역에서 이용자에게 최대 23.5 Mbps의 전송속도를 목표로 표준화 한 HiperLAN 규격으로 나눌 수 있다. 이외에도 모토롤라의 17 GHz 대역에서 10 Mbps 전송 속도로 운용되는 무선 LAN 과 Cordless PBX 시스템인 ETSI의 DECT (Digital European Cordless Telecommunications)

표준이 있다. 이 시스템은 1.88 - 1.90GHz 협대역 주파수 대역을 사용하여 최대 400 Kbps 전송속도, 연결형 구조의 성형 구조를 갖고있으나, LAN이라기 보다는 구내 무선 데이터 통신 시스템으로 보아야 할 것이다.

무선ATM LAN의 입장에서 무선 LAN 규격의 동향이 매우 중요하다. 그 이유는 무선ATM의 표준화는 이미 작성된 무선 LAN규격을 참고하여 ATM을 수용하는 형태로 진전되고 있기 때문이다. 그러나 무선 LAN 규격은 LAN 트래픽에 적합하도록 설계되어 있으며, 제공 속도가 너무 저속이라는 문제점을 갖고 있다. 즉, IEEE 801.11는 2 Mbps속도로서 ATM이 제공하는 장점을 충분히 살리지를 못한다. 이에 반하여 HiperLAN은 무선 ATM에 근접한 규격으로, 충분한 전송 속도와 일정시간 이내의 지연을 보장하는 데이터그램 전송방식 구조를 취하고 있는 등 WATM의 기본 규격으로 활용되고 있다.

무선 LAN이 유선 LAN과 비교하여 기술적으로 어떻게 다른가를 정리하면 아래와 같다. 이러한 점이 무선 LAN을 설계할 때에 고려하여야 할 사항이다.

- 목적지 주소와 목적지 위치가 동일하지 않다.
- 무선 전송 채널의 고유 특성이 시스템 설계에 반영되어야 한다. 즉, 무선 매체는 그 경계가 모호하며, 유선 매체보다 전송 에러 발생률이 높다. 외부 신호로부터 간섭을 받기 쉬우며, 공유 자원을 이용하여 통신을 하기 때문에 다른 스테이션의 통신 내용을 들을 수가 있다. 즉, 정보가 보호되지 않는다.
- 무선 주파수 자원이 유한하다는 점이다. 즉 유선의 경우와는 달리 무선 LAN은 한정된 대역폭을 공유하여 이용하기 때문에, 그 프로토콜도 높은 처리량을 실현할 수 있어야 한다.
- 단말기가 이동을 한다는 점이다. 이동성은 크게 Portable과 Mobile로 나눈다. Portable이란, 위치의 이동은 가능하지만은 통신을 할 때에는 정지된 상태에서 하는 것인데 반하여, Mobile이란 이동 중에도 LAN을 액세스하는 것을 말한다. 단말기가 이동한다는 것은 배터리의 사용을 의미하며, 단말기에서의 전력 관리는 중요한 요소이다. 또한, 단말기가 이동을 하기 때문에 망구조는 Dynamic topology를 갖는다.
- 스테이션의 이동성 : 서비스 제공 영역의 범위와 영역 내

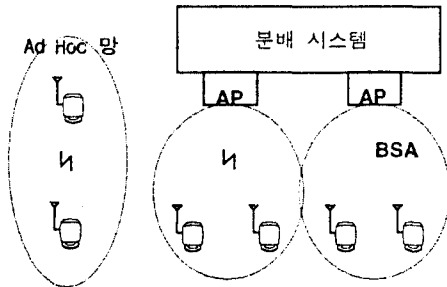
에서의 단말기의 통신 형태(고정, 반 고정, 이동) 및 이동 속도(보행, 반송차 등의 주행 속도 등)를 고려하여야 한다.

- 프레임(MSDU) 전송 서비스 ; 전송 지연에는 둔감한 비동기 데이터 (Asynchronous Data) 전송 서비스와 일정 시간 이내의 프레임 전송 지연을 요구하는 동기 데이터 전송 서비스를 모두 수용하여야 한다.
  - 복수의 전송 채널의 수용 ; 여러 종류의 물리 매체(마이크로파, 준 밀리 파, 적외선 등)에서의 사용, 전송속도(1 M - 20 M bps), 전송 에러 발생률(목표는 동축케이블의 경우와 같이  $10^{-8}$  BER 수준)을 고려하여야 한다.
  - 서비스 제공 영역의 확장성과 네트워크 상호 접속 ; 기본 구성이 용이하여야 하며 분배 시스템과 액세스 포인트(Access Point)를 이용하여 기존의 LAN, WAN과의 접속이 용이하여야 한다.
  - 다른 무선 LAN, 무선 시스템과의 공존 ; 즉, 여러 개의 무선LAN이 중복하여 사용될 때에도 각각의 운용은 독립적으로 이루어져야 한다. 이럴 때 전송 채널 획득의 경쟁, 서비스 영역간의 간섭에 대하여 충분한 고려가 있어야 한다.
  - Security 문제로 정보의 암호화 방법(통신 프로토콜 상에서 하는 방법과 응용 계층에서 이루어 지는 방법 등)과 허가 받지 않은 스테이션으로부터의 액세스를 방지하여야 한다.
  - 사용하기가 쉬워야 한다. 즉, 이용자가 무선 LAN을 자유롭게 시설, 이동, 변경을 할 수 있어야 한다. 또한 무선 주파수 사용이 용이(즉, 면허와 무관)하여야 한다.
  - 이동 스테이션에서의 운용을 고려하여 배터리로 구동이 가능한 저 소비 전력이어야 하며, 이를 위하여 Sleep mode등을 고려하여야 한다.
- IEEE802.11에서 정의한 무선 LAN의 기본 구조는 (그림 3)와 같이, 여러 개의 BSA와 분배 시스템, Ad Hoc 망으로 이루어 진다.
- 기본 서비스 영역 (BSA : Basic Service Area) ; 일반적인 LAN의 세그먼트(Segment)로 이동 전화에서의 Zone 또는 셀 개념과 동일하다. BSS 내에는 하나의 PCF, DCF 기능만을 갖을 수 있으며, 서비스 영역은 반경 20 m - 100 m 이다.
  - 확장 서비스 영역 (ESA : Extended Service Area) ; 한 개 이상의 BSA를 분배 시스템으로 접속하여 서비스 영역을 확대 ( - 1000 m 정도) 하기 위하여 사용된다.
  - 분배 시스템 (Distribution System) ; 여러 개의 BSA를

연결하여 정보를 주고 받을 수 있는 기반 기능을 제공한다. 분배 시스템은 유선 또는 무선 시스템으로 구성될 수도 있으며, 일반적으로 IEEE 802 표준 LAN으로 구성된다.

- 액세스 포인트(Access Point) ; BSA 와 분배 시스템간을 연결해주는 장치로서 일반적인 브리지 기능 외에 추가의 기능이 있다. 스테이션이 한 BSA에서 다른 BSA로 이동할 때 분배 시스템과의 계속하여 접속을 유지하도록 서비스 제어, 전력 관리, 동기화 기능 등을 제공한다.
- Ad-hoc 망 ; 분배 시스템과 같은 기반 구조를 갖지않고 point to point 통신을 하는 독립된 망이다.

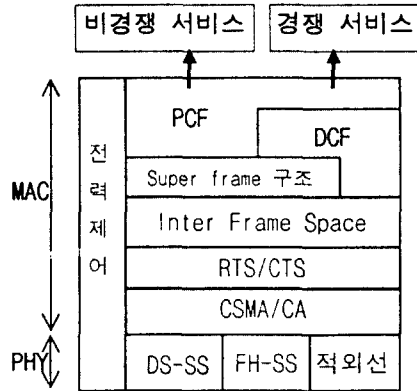
(그림 3) IEEE802.11 무선 LAN의 기본 구조



나. IEEE802.11 프로토콜 개요

현재 IEEE 802.11에서 표준화된 프로토콜 구조가 (그림 4)로서, 물리 계층은 각각의 무선 통신 방식에 따라 별도의 세부 규격이 정하여 졌으며, MAC 계층은 이러한 서로 다른 물리 계층에서 공통적으로 운용되는 하나의 규격으로 정하여 졌다. '98년부터는 HiperLAN 과 같이 5.2 GHz 대역에서 10 M bps 이상의 속도를 갖는 무선 LAN으로, 논리 링크 제어 부 계층 (LLC) 및 Security 를 포함한 표준화작업이 시작되었다.

IEEE 802.11이 채택한 MAC은 DFWMAC (Distributed Foundation Wireless MAC)라 부른다. DFWMAC 은 통신 범위 내에 있는 모든 스테이션과 서로 직접 통신을 할 수 있는 ad Hoc 구성과 액세스 포인트와 분배 시스템을 포함한 기반 구조의 무선 LAN, 모두에 사용되는 것을 목적으로 하고 있다. DFWMAC 은 비동기 데이터 서비스와 동기 서비스를 모두 제공한다. Hidden terminal 문제를 해결하기 위하여 RTS/CTS 및 Network



(그림 4) DFWMAC 서비스 모델

Allocation Vector를 추가로 사용한다. 또한 이동 스테이션의 전원 문제를 고려하여 전력 제어 기능을 갖추고 있다.

DFWMAC Coordination Function은 크게 DCF기능과 PCF기능으로 나뉜다. DCF(Distributed Coordination Function)기능은 경쟁에 의해 무선 채널을 획득하도록 하는 기능으로 비동기 데이터 통신용에 사용되며, PCF(Point Coordination Function)기능은 시간 제한을 받는 동기 데이터 전송용으로 폴링(Polling) 기법을 사용한다. (즉, 제어국이 있다)<sup>(3)</sup>

• DFWMAC은 효율적으로 무선 미디어 공유를 하면서 기존의 유선 LAN과의 호환성을 도모하기 위하여 IEEE 802.3의 CSMA/CD형의 프로토콜인 분산형 액세스 프로토콜 (CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance) 을 채용하고 있다.

• 즉, 1-persistent CSMA를 기본으로 프레임 간격 (IFS : Inter Frame Space) 제어에 의한 충돌 회피 기능을 부가한 프로토콜이다. 프레임간의 우선순위에 따라 상기의 시간 간격이 달라진다. 즉, 여러 개의 Inter Frame Spacing 을 사용한다. DFWMAC은 우선순위가 높은 것부터 전송하는 것으로 그 순위는 다음과 같다.

- 1 순위 (Short Priority) : 즉각적인 응답(ACK 및 CTS 프레임, 세그먼트화 된 데이터 프레임의 버스트 전송)을 하기 위하여 사용되며, 이러한 ISF를 SISF 라 부른다
- 2 순위 (PCF Priority) : 집중 제어 시에 사용되며, 이러한 ISF를 PISF라 부른다.

- 3 순위 (DCF Priority) : 비동기 데이터 통신(데이터 또는 RTS 전송)에 사용되며, 이러한 ISF를 DISF라 부른다.

- 데이터 전송의 정확성을 유지하기 위하여, 단일 프레임에는 CSMA/CA+ACK (MAC레벨에서 오류를 회복), 방송형 프레임에는 CSMA/CA를 사용한다.

- Hidden terminal 문제를 처리하기 위하여 RTS/CTS (Request To Send/ Clear To Send)를 사용한다.

- 물리적인 carrier sense 기능 외에도 NAV ( Network Allocation Vector)에 의한 가상 carrier sense 기능이 있다.

IEEE 802.11 무선LAN 의 전송매체는 2.4GHz대를 이용하는 Direct Sequence SS와 Frequency Hopping SS방식과 적외선을 이용하는 방식을 규정하고 있다. (표1 참조) 적외선을 이용하는 방식은 다시 반사판의 이용 여부에 따라 Direct Beam 방식과 Diffuse방식으로 나눌 수 있다.

다. HIPERLAN

유럽 ETSI RES 10 표준화 연구 그룹에서는 무선 LAN, mobile wireless ATM access networks 등과 같이 무선 ATM 하부 구조 네트워크를 포함하는 무선 광대

역 통신을 위하여 표준을 개발하고 있다. 목표 시스템은 다음과 같은 4가지 형태의 HIPERLAN family로서, 사용 주파수대는 5 GHz, 17 GHz 주파수 대역이다.

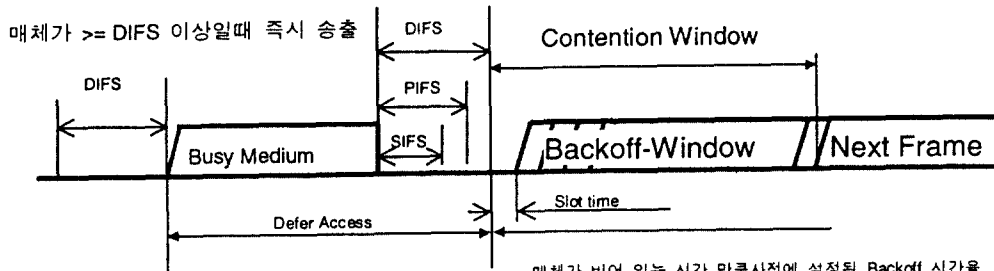
- **Type-1** : 무선 LAN 표준으로 23.5 Mbps의 고속 무선 전송을 50 m 정도의 단구간에서 Connection based 액세스 기능을 제공한다. 동작은 분산구조로 self-organizing 망 구성 능력과 Ad hoc 통신 기능도 제공하는 것으로 '96년 12월에 표준이 완성되었다.

- **Type-2** : 무선 ATM 표준화 작업은 최근에 시작되었으며, 5 GHz 주파수 대역에서 마이크로 셀 환경에서 24Mbit/s의 비트 전송율을 제공하는 고정 ATM 네트워크에서의 무선 액세스를 표준화하는데 목적이 있다.

- **Type-3** : Type 2의 응용으로 고정 무선 액세스 (Fixed Wireless Access)를 목표로 하고 있다. 5 GHz 대역에서 1km 정도의 거리 상에서의 ATM 서비스를 전송하는 것을 목표로 하고 있다.

- **Type-4** : Premises Wireless ATM Interconnect 은 작은 범위, 고속 인터커넥션 응용, ATM 스위치의 일대일 인터커넥션과 155Mb/s에 달하는 데이터 전송률에서의 무선 액세스 포인트이다. type-4는 HIPERLAN에 할당된 17GHz 주파수 대역에서의 사용을 목표로 하고있

(그림 5) DCF 우선순위에 따른 액세스



매체가 비어 있는 시간 만큼사전에 설정된 Backoff 시간을 감소시킨뒤 0이 되었을때 송출

(표 1) IEEE 802.11의 물리계층 규격

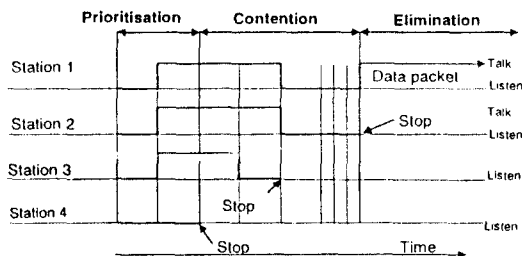
전송 방식	변조 방식
Frequency Hopping SS	1 M bps 의 GFSK 1 M bps 의 GFSK ( 1.4 Mbps 의 OQPSK , /4 DQPSK )
Direct Sequence SS	11 Chip coding 에 의한 1 Mbps 의 DBFSK 또는 2 Mbps 의 DQFSK
적외선	Baseband : 1 Mbps의 16PPM 과 2 Mbps의 4PPM ( QPSK , FSK )

다. 광대역 고속 전송 능력을 확보하기 위하여 높은 지향성 안테나의 사용, 주파수 재사용을 고려하고 있다.

(그림 6)이 Hiperlan의 MAC (EY-NPMA : Elimination Yield - Non preemptive Priority Multiple Access) 동작도이다. EY-NPMA 은 크게 3개의 Sub 동작으로 구성된다. 단말기의 우선 순위를 조정하는 하는 Prioritization 기간, 동일 우선 순위를 갖는 단말기간에 우선 순위를 결정하는 Contention 기간 및 패킷의 잔여 시간에 우선 순위가 결정되는 Elimination 기간으로 구성된다. 이러한 Hiperlan의 특성을 정리하면 다음과 같다.

- 연결 예약 기능은 없음. 즉, 모든 패킷은 매번 경쟁을 하여야 함. ( 이는 긴 패킷이 처리율에서 유리함.)
- 패킷 크기는 416-19552 비트
- 완전 분산 구조의 MAC
- 기반 분배시스템을 사용하기도 하고, 그렇지 않을수도 있음.
- RIM(Routing Information Maintenance)을 이용하여 인근 노드로 multi-hop relay
- 기본적으로 전송하기 전에 채널 상태를 검지(Listen Before Talk) : adaptive threshold를 갖는 CCA 사용
- Listen-Talk를 이용하여 Priority assertion : : 1-5 slots of 168bits (talk)
- Talk-Listen를 이용하여 Contention resolution
- 패킷 응답은 즉시 전송
- Elimination : 0-12 slots of 212bits (talk), 1 slot of 256bits (listen), prob(talk-listen) = 0.5 Yield - 0-9 slots of 168bits (listen), prob(n) = 0.1
- 송수신 전환시간은 6ms
- 256 contenders, 3.5% collision probability

(그림 6) HIPERLAN의 MAC 동작도



- MAC header는 최대 5152bits (219ms)로 구성

### 3. 무선 ATM 프로토콜

#### 가. 개요

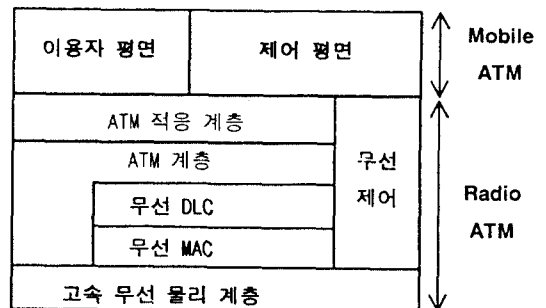
ATM Forum에서 검토되고 있는 프로토콜 구조는 (그림 7)과 같이 기존의 ATM 프로토콜 구조를 그대로 유지 하면서 무선 채널, 이동성으로 인한 기능을 추가하는 형태이다. 표준화는 크게 무선 부분(Radio Access Layer 또는 Radio ATM으로 통칭)과 유선 기반의 망에서 이동 망을 지원하는 기능(Mobile ATM Layer으로 통칭)으로 나누어 작업되고 있다. ATM 계층은 본래의 ATM 계층 이외에 공유 자원인 무선 채널을 획득하기 위한 매체 접근 제어(MAC) 계층과 유선에 비하여 전파 간섭, 다중 경로 전송 등으로 BER 이 높은 전송 환경을 개선하기 위한 데이터 링크 계층으로 세분화된다. Mobile ATM 분야는 주로 계층3 이상의 프로토콜 제어 및 관리 평면에 해당되는 기능으로 구성된다.

#### 나. Radio ATM

무선 물리 계층은 한정된 주파수를 효율적으로 사용하기 위하여 적절한 마이크로/피코셀 영역을 기본으로 하고 있다. 이러한 환경하에서 단말기는 이동을 하면서 가능한 한 낮은 전력 레벨과 BER 을 유지하면서 광대역의 ATM 데이터 전송을 한다. 이를 위하여 검토되어야 할 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 셀 설계 기술 (사용 주파수 대역 검토, 지향성 안테나,

(그림 7) 무선 ATM 프로토콜 스택



- 셀 반경, 전력 레벨, 주파수 재 사용 등)
- 변복조 방식, 전송 속도, 신호 스펙트럼 등
- 다이버서티, 이퀄라이저, Multi-carrier adaptation, 채널 부호화 방식, FEC, 등.
- 이퀄라이저의 트레이닝 시퀀스 등을 포함한 무선 전송 시의 데이터 포맷
- 상위 계층과의 접속

현재 ATM 포럼에서 논의되고 있는 물리 계층의 주요 파라메타를 정리한 것이 (표 2)이다.

매체 접근 제어(Medium access control) 계층은 공유 매체인 무선 채널을 공동으로 이용키 위한 방법으로, 일정 수준의 QoS를 유지하는 ATM 트래픽(ABR, VBR, CBR, UBR)을 제공한다.<sup>(3)</sup> 검토되어야 할 내용은 다음과 같다.

- MAC 프로토콜과 구조 정의 (프레임 포맷, 데이터 구성, 제어 등)
  - 일정한 QoS를 갖는 ATM 서비스를 위한 MAC 제어 알고리즘.
  - 물리 계층, 데이터 링크 제어 계층과의 접속 및 필요 시에 이동성 지원을 위한 프로토콜을 수행
- 데이터 링크 계층은 무선 채널의 에러를 경감하고, 셀

손실을 방지하여 양단간 ATM 성능을 개선 시키는 역할을 수행한다. 이를 위하여 FEC, 전송 에러 검출 및 재전송 기법 등의 강력한 에러 제어 기법을 사용한다. 일반적으로 ATM 헤더 내에는 강력한 오류 정정 및 검출 코드를 사용하고, 페이로드의 데이터는 오류 검출 코드만을 사용하여 오류 검출 시에 재 전송 기법(ARQ 등)을 사용하는 것이 검토되고 있다.

무선 제어(Wireless control protocol) 기능은 무선 액세스와 관련된 제어 평면의 기능을 수행한다. 즉, 무선 자원의 제어 및 물리, MAC, DLC 계층을 관리한다. 또한 이동 단말기의 등록, 인증, 핸드오프와 같은 Mobile ATM 기능을 위한 무선 제어 메타 시그널링을 제공한다

- 물리, MAC, DLC 계층을 위한 제어, 관리 포맷
- Mobile ATM을 위한 메타 시스널링
- ATM 제어 평면과의 접속

#### 다. Mobile ATM

Mobile ATM 은 통상의 계층3 프로토콜 위에서 핸드오프의 처리, 이동 단말기의 위치 관리, 통신 채널의 경로 설정, 트래픽 및 QoS 제어, 무선 통신망 관리 등과 같

(표 2) 물리 계층의 주요 파라메타

전송속도	RF채널당 최대 25 Mbps
패킷 크기	≥ 1 cell /PDU
BER	물리계층의 서비스 접속점에서 99.5%가 10 <sup>-4</sup> 이상이어야 함.
FEC	전체 데이터의 1/2과 0의 사이
Delay Spread	≥ 300 ns
Preamble	≤ 16바이트 PDU
변복조 방식	QPSK을 기본으로 하고 스펙트럼 효율이 높은 변복조 방식 채택에 개방
안테나	안테나 다이버서티는 상향, 하향 모두 적용
서비스 영역	실내 : 30-40 m , 실외 : 200 - 300 m
송출 출력	100 mW, 가변 제어를 기본으로 함.
채널 간격	21 MHz ≥ 12채널
무선전환시간	≤ 5 μ 초

(표 3) MAC 요구 조건

어드레스	IEEE 48 비트
제공 서비스	모든 ATM 트래픽을 제공
액세스 구조	Dynamic TDMA/TDD MCC 또는 이와 대등한 구조의 MAC
Sleep Mode	기능 보유

(표 4) 에러발생에 따른 ATM QoS 파라메타

에러발생위치	에러 발생 내용	에러 발생 결과	관련 QoS
헤더	정정 (Right)	정상 셀	—
헤더	정정 (False)	비정상 셀	CIR
헤더	검출	셀 손실	CLR
페이로드	최소한 1비트 발생	셀 에러	CER
페이로드	다중 비트 발생	심각한 셀 에러	SCER

(표 5) 기타 사항

구조	중앙 집중 방식을 기본으로 하고, Ad hoc망을 선택 사항
위치 등록	기능 보유
이동 속도	3 m/s 를 기본으로 하고, 보다 고속은 선택 사항
채널 사용	한 사용자가 RF 채널 모두를 사용할 수 있음.
채널 할당	동적 채널 할당

은 기능을 수행한다.

#### 1) 핸드오프 제어

핸드오프란 단말기가 이동을 하면서, 최적의 무선 링크 하에서 통신을 하기 위하여 인근의 액세스 포인트(Access Point, 이하 AP로 칭함)로 스위칭하는 것이다. 이는 이동 단말기와 통신을 하는 AP의 변경이 필요하며, 따라서 ATM 경로도 바뀌어야 하며, 이러한 가상 채널(VC : Virtual Channel)의 동적 re-routing을 위한 기존의 UNI/NNI 신호 방식의 확장이 필요하게 된다.

핸드오프 분류는 절체 순간의 움직임에 따라 하드 핸드오프와 소프트 핸드오프로 나눌 수 있으며, 핸드오프에 관여하는 통신망 요소에 따라 나눌 수도 있으며(Intra-Cell, Inter-Cell, Inter-Net 핸드오프), 누가 핸드오프

를 요구하고 결정하는가에 따라 분류할 수도 있다. 또한, Backward 핸드오프, Forward 핸드오프로도 분류할 수도 있다. Forward 핸드오프는 새로운 AP의 제어 채널을 통하여 핸드오프를 요구하는 것이고, Backward 핸드오프는 기존에 사용해오던 전송 채널과 AP를 통하여 핸드오프 요구, 절체를 수행하는 방식이다. Backward 핸드오프 방식의 문제점은 시간이 지나감에 따라 채널의 상황이 점점 악화되어 가고, 최악의 경우에는 핸드오프가 보장되지 못하는 경우도 있을 수 있다. Forward 핸드오프는 이러한 문제를 개선할 수가 있으나, 동시에 2개의 링크로 통신을 해야 하는 부담을 갖고 있는 방식이다.

핸드오프의 요구 조건으로는, 빠른 핸드오프, 핸드오프 알고리즘의 scalability, 제공 중이던 서비스의 QoS 보장, 핸드오프로 인한 최소의 신호 방식 추가, 버퍼의 최



표 6) 핸드오프 요구 조건

요구 사항		주요 내용
	Low latency	가능한 한 짧은 시간
일반 사항	Scalability	사실 망 뿐만 아니라 공중망에서도 사용할 수 있는 다양성
	QoS guarantee	핸드오프 기간 중에도 QoS 변화가 없어야 함
	Low signaling traffic	핸드오프 관련 신호 메시지의 최소화
	Minimum buffering	핸드오프 지연 시간의 추가 지연을 야기할 수 있는 셀 버퍼 링의 최소화
ATM고유의 요구사항	Registration & Authentication	핸드오프 시에 설정된 등록 및 인증 관련하여 기밀성을 보장
	Data integrity	셀 손실과 중복 방지 및 순서 보장

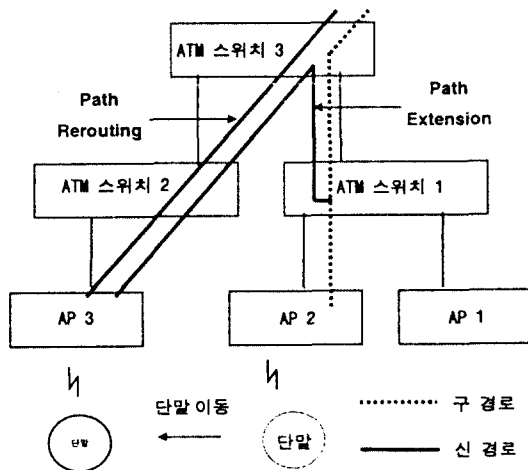
소화, ATM 셀 순서 확보, 멀티미디어 통신을 위한 그룹 핸드오버 등으로 정리할 수 있다.

핸드오프가 발생하면, 가상 채널 VC의 변경이 발생하게 된다. 이렇게 수정된 경로와 루팅 ID를 통신망과 어떻게 매핑하는가 하는 점과, 새로운 경로의 설정 및 최적화 등에 대한 세밀한 검토가 필요하게 된다. 결국 이러한 내용은 기존의 PNNI 신호 방식에 추가되어야 함을 의미한다.

핸드오프 시의 새로운 경로 설정의 방법은 Path Rerouting과 Path Extension 으로 나눌 수 있다. (그림8)와 같이 이동 단말기가 SW1에서 SW2 영역으로 핸드오프를 하는 경우를 살펴본다.

Path Rerouting은 SW3에서 Make-Break 동작이 일

그림 8) Path Rerouting과 Path Extension



어나는 방식이다. 즉, SW3는 COS(Cross Over Switch)로서 이전의 경로 (SW3-SW1-AP2-MT)를 해제(break)시키고, 새로운 경로(SW3-SW2-AP3-MT)로 연결(make)시키는 앵커 또는 COS스위치이다. 물론 SW3는 새로운 AP까지의 통신 채널을 요구된 QoS에 적합한 수준의 채널로 할당하여야 한다. 이때 새로운 경로로 make하고 구 경로를 break할 때 셀 손실 및 셀 순서가 뒤바뀔 수가 있다.<sup>(6)</sup> 뒤 바뀐 셀 순서를 재조정하기 위하여 스위치 내부에 버퍼를 구비하여야 한다. 또한 이러한 핸드오프 처리를 위한 신호 방식은 가능한한 최소화 하여 SW3, SW2, AP, MT 간에 주고 받을 필요가 있다.

Path Extension방식은 핸드오프 앵커 스위치로 이전 경로의 최종 스위치인 SW1이 사용되는 것으로, 기존의 연결 경로를 AP3까지 확장(발신 단말-SW3-SW1-SW3-SW2-AP3-MT) 하는 것이다. 핸드오프 시의 경로 설정에 필요한 시간은 Path Rerouting 보다 짧아지는 반면에, 불필요한 통신망 자원의 낭비와 채널의 양단간에 전송 지연은 늘어나게 된다. 특히 핸드오프 경계에 있는 경우에 루프가 형성될 가능성이 있다. 따라서, 핸드오프가 완료된 후에는 두 양단간에 최적의 경로를 얻기 위하여 경로 최적화 과정(Route Optimization Procedure)이 2차로 수행될 필요가 있다. 여기에서 생각해 볼 수 있는 것 중에 하나가, 만약 AP가 소규모의 핸드오프 전용의 ATM 스위치를 갖는다면 새 경로는 (발신 단말-SW3-SW1-AP2-AP3-MT)로 단순화 될 것이다.

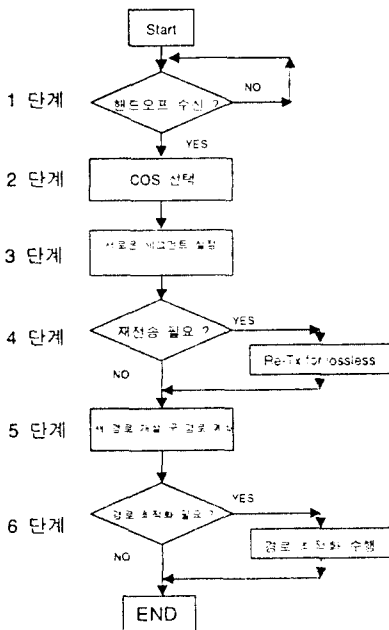
핸드오프 방식을 검토 할 때 다음과 같이 6단계로 세분

화 하여 검토하는 것이 유리할 수가 있다. 이들 각각의 단계는 사용되는 핸드오프 방식에 따라 생략될 수도 있다.

- 1 단계 : 핸드오프의 요구 단계로, 현재의 AP와 새로 연결될 AP간에 VC 채널을 설정.
- 2 단계 : 구 경로를 통하여 COS 스위치를 선정.
- 3 단계 : COS로 결정된 스위치는 PNNI, B-ICI 또는 UNI 등으로 새로운 AP로 경로를 설정.
- 4 단계 : 핸드오프로 인한 뒤 바뀐 셀 순서를 확보하기 위하여 버퍼링 및 새 AP로 재전송을 수행.
- 5 단계 : 하드 핸드오프인 경우, 구 경로를 해제하고 새 경로를 이용하여 데이터를 전송. 소프트 핸드오프인 경우, 신규 경로 모두를 이용하여 데이터를 주고 받음.
- 6 단계 : 핸드오프의 완료, end to end 양단간에 최적의 경로를 얻기 위한 경로 최적화를 수행.

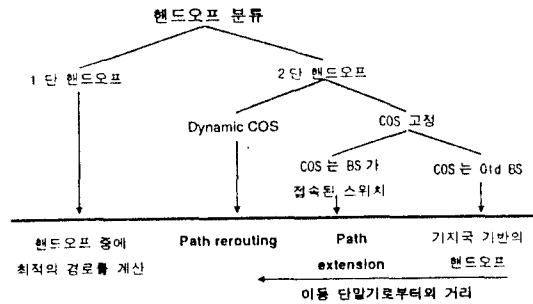
이러한 기능 요소 중에서도 가장 중요한 점은 어디에서 핸드오프를 처리하도록 설계하는가 하는 점이다. 이는 무선 ATM LAN의 구조 설계 시에 가장 핵심 요소로써, 핸드오프 처리 성능, 모듈간의 독립성 유지, 지연 등의 QoS와 매우 밀접한 관계가 있는 사항이다. 핸드오프의 지연 시간은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫번째가 COS

(그림 9) 핸드오프의 단계적 동작도



스위치를 찾는 탐색 시간으로 이는 주로 탐색 알고리즘의 성능에 좌우되는 요소이다. 두번째 시간은 새로운 AP로 ATM 채널을 설정하는 시간이다. 세번째 시간은 구 경로를 해제 하고, 새로운 경로를 설정하는 시간으로, 주로 셀 시퀀스 확보에 필요한 시간에 의하여 좌우된다. 이외에도 핸드오프가 완료된 후에 두 양 종단간에 최적의 경로를 찾기 위한 경로 최적화 알고리즘에 대한 연구 등이 필요할 것으로 보인다. (그림 10)은 현재 거론 되고있는 핸드오프 알고리즘의 스펙트럼이다.

(그림 10) 핸드오프 알고리즘의 분류



## 2) 이동 단말기의 위치 관리 (Location management) 기능

이동성(Mobility)은 무선 네트워크의 중요한 장점이다. 이러한 이동성을 제공하기 위하여 이동 네트워크는 항상 이용자의 위치를 추적하여야 하며, 이때, 추적 과정(tracking process)을 지원하기 위하여 데이터 베이스가 사용된다. 일반적으로 이동 단말기로 호를 설정할 때 이용자 식별 번호(User Identification Number)는 이용자의 홈 등록 정보의 위치를 결정한다. 이동 단말기의 어드레스는 초기에 단말기가 등록된 홈 어드레스와 단말기가 이동하면서 다른 서비스 영역에서 할당 받은 현재의 어드레스(Foreign address)로 구성이 된다. 이때 사용되는 착신 이용자의 주소는 PCS, 셀룰라, 무선 LAN의 경우에는 현재 서비스 중인 액세스 포인트이며, 무선 채널에서도 ATM을 사용하는 경우에는 착신 단말기의 어드레스이다. 단말기의 위치 관리를 하기 위해서는 기존의 호 설정 절차인 Q.2931에 위치 등록, 검색 및 조회 기능 등이 추가되어야 한다.<sup>(7)</sup>

- 이 기능은 초기에는 IS-41과 같은 프로토콜이 별개로 운용될 것으로 예측되며, 궁극적으로는 Mobile ATM NNI 프로토콜에 포함 될 것이다.

- 무선 인터넷 서비스 등의 IP-over-ATM 응용 서비스가 가시화 됨에 따라 현재 IETF에서는 기존의 IPv6를 수용하거나 아니면 새롭게 정의하는 문제를 신중히 검토하고 있는 중임.

앞으로 포럼내에서 표준화 시에 검토될 것으로 예측되는 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 통신망의 기준 모델에서 위치 관리 기능의 위치
- 기존 PCS, 셀룰라 서비스의 위치 관리 서비스와의 정합 문제
- ATM 어드레스 부여 문제
- 이동성 관리를 위한 어드레스 갱신 문제, 조회 등에 대한 프로토콜 절차
- 이동 단말기의 등록, 인증 문제
- IP-over-ATM에서 이동성 지원

### 3) 트래픽 및 QoS 제어

무선 ATM의 궁극적인 목표는 이동 멀티미디어 서비스의 제공이며, 이는 Multi-tier 통신망 환경을 의미한다. 즉, 이용자의 위치, 환경에 따라 여러 가지의 통신 대역을 제공하는 것을 말한다. 극단적인 예로, 캠퍼스 내의 무선 LAN 환경에서 수십 Mbps로 통신을 하고 있다가 캠퍼스를 떠나 공중망인 FPLMTS망으로 나오는 경우를 생각할 수가 있다. 또는 그 역의 경우도 발생할 것이다. 이때의 전송 속도의 변화는 수십 배 이상의 차이가 발생한다. 이 경우에 통신망은 핸드오프에 의해 연결은 지속적으로 이루어져도, 허용 가능한 데이터 전송 속도는 변동할 것이다. 현재의 ATM UNI신호 방식에서는, 한번 ATM 연결이 설정되면 할당된 대역폭을 바꿀 수가 없으며, 이를 바꾸기 위해서는 연결을 다시 설정하여야 한다. 결국, 핸드오프가 발생하였을 때, 경우에 따라서는 기 설정된 대역폭 등의 QoS를 바꾸기 위한 절차가 추가로 필요하게 된다.

이러한 문제를 풀기 위한 접근으로, ATM 플로우 제어 알고리즘의 확장, 자동적으로 허용 대역폭 협상 알고리즘 등에 대하여 연구 결과가 논문지에 발표되고 있으나,

ATM 포럼내에서의 이러한 분야에 대한 기고서 제안 및 검토는 극히 미진한 상태이다.

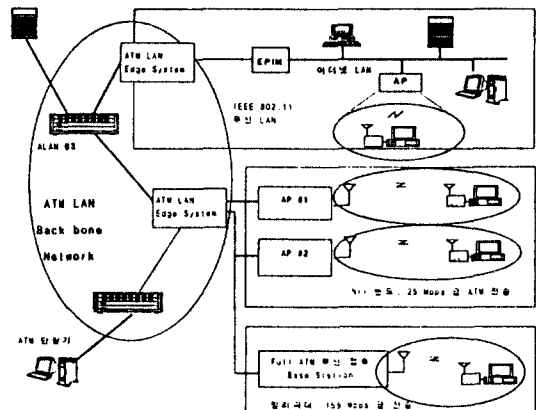
### 4) 무선 통신망 관리 기능

무선 통신망에 대한 구체적인 거론은 없었으나 무선 채널 고유의 망 관리 기능이 추가로 필요할 것으로 보인다. 이러한 부류에는 OAM 셀, 통신망의 성능 측정, 고장 검출 및 격리 등이 있다.

## IV. 5 GHz 대 무선 ATM LAN의 설계

제외국에서 연구 개발 중인 시제품 및 ATM Forum에 기고된 기술 문서를 토대로 하여 유무선 통합 ATM LAN의 형상을 정리한 것이 (그림 11)이다. 유무선 통합 ATM LAN의 기반 구조는 ATM LAN Backbone 시스템과 ES(Edge System)으로 구성되고, 무선 액세스 포인트는 ATM으로 ALAN ES 시스템 버스에 접속 된다. 이는 유선 ATM LAN 기반 구조와 무선 AP와의 상호 독립성을 확보하기 위한 것이다. 무선 채널의 단계적인 적용을 고려하여, 1단계에서는 IEEE 802.11 무선 LAN이 이더넷으로 ALAN ES에 접속되고, 2단계는 NII 주파수대를 이용한 25 Mbps급의 무선 ATM LAN이 ATM으로 ALAN ES에 접속 되는 구조이며, 3단계가 완전 ATM 구조로 무선 채널을 전송하는 것이다.

(그림 11) 유무선 통합 ATM LAN의 개념도



초기의 연구 목표 설정을 무선 ATM에 필요한 핵심 기술 사항을 도출 및 검증은 목표로 할 경우의 시스템 요구 사항을 정리하면 다음과 같다.<sup>(8)</sup>

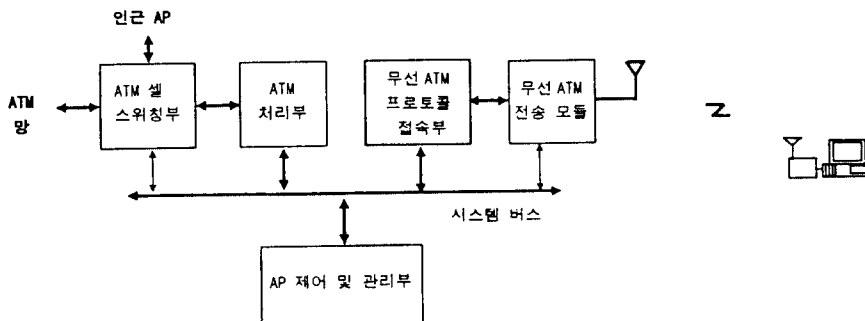
- 매체 접근 제어 프로토콜의 장착이 용이하여야 함. 즉, 2-3개의 후보 MAC을 손쉽게 장착, 제거 할 수 있도록 모듈화 된 시스템 구조를 갖추어야 함.
  - 무면허 주파수 대역에서 마이크로/피코셀 안에서 25 Mbps급의 광대역 무선 ATM 전송 기능의 제공
  - 변복조 효율(bps/Hz/Km2)이 높은 무선 전송 방식의 채택
  - 통합된 ATM 서비스(ABR, UBR, CBR, VBR)의 제공
  - 일정 수준 이상의 BER, QoS를 확보하기 위한 전송 에러 대비 기능
  - ATM 스위치를 이용한 핸드오프 처리
  - 유선 망과의 호환성
  - 주파수, 대역폭 등 무선 통신 규정과 정합성
  - 분산 멀티미디어 서비스 제공을 위한 소프트웨어 구조
- 액세스 포인트는 무선 링크와 유선 기반의 ATM LAN을 연결해 주는 브릿지 역할과 인근 AP와 연계하여 핸드오프 기능 등의 Mobile ATM 기능을 제공한다. AP의 구성은 국내의 프로세서 개발 환경 및 실시간 OS등을 고려할 때, 범용의 시스템 버스로 연결한 멀티 프로세서 구조가 적합할 것이다.

ALAN ES와 ATM 스위치 기능이 내장된 액세스 포인트의 기능 블록도가 (그림 12)이다. 무선 ATM 전송 모듈은 ATM 셀을 무선으로 전송하기 위한 변복조 장치, FEC, 동기 장치 및 무선 전송 채널을 여러 단말기와 공유하여 사용하기 위한 매체 접근 제어 등으로 구성이 된다. 무선 전송 모듈의 입출력 되는 패킷은 ATM 셀을 토대로

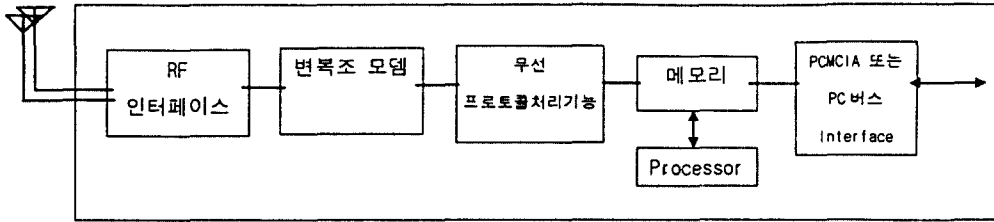
하여 전송 채널의 식별, 셀 전송 에러의 회복 등을 위하여 오버 헤드가 셀 전후에 첨가된 형태로 구성된다. 무선 ATM 프로토콜 접속부는 무선 채널 패킷의 시퀀스 확보, 상위 계층과의 접속 등을 위한 데이터 링크 계층 및 ATM 적응 계층 및 무선 전송 채널의 자원 관리, 전송 채널의 품질 측정 등의 기능을 수행한다. ATM 처리부는 통상의 ATM셀 어셈블리/디어셈블리(assembly/disassembly) 기능을 수행한다. ATM 셀 스위칭 부로의 입출력 포맷은 통상의 ATM 셀 형태이다. 핸드오버의 결정, 경로 관리, 시스템 관리 등의 기능은 AP제어 및 관리부에서 수행된다. 액세스 포인트의 소프트웨어 구조는 시스템의 실시간 운영 체계 위에서 프로세서 군과 연계하여 유/무선 프로토콜 처리 및 Mobile ATM처리 기능으로 구성이 된다. 개발 초기에는 운용 프로그램이 다운로드되는 형태가 적합할 것이다.

무선 ATM 전송 모듈은 (표2, 3, 5)와 같은 기능을 갖는 무선 채널과 관련된 기능으로 가능한 한 단말기와 AP양 쪽 모두에 사용할 수 있는 구조를 지향한다. 무선 채널의 망 인터페이스 유니트(NIU: Network Interface Unit)는 (그림13)과 같이 안테나 및 다이버서티를 수행하는 RF 접속부, 이퀄라이저 기능이 구비된 변복조 모뎀, MAC/DLC계층, 무선 자원의 관리 등을 수행하는 무선 프로토콜 처리부로 분리하고 이들 모듈간을 내부 버스로 연결하는 것이 초기 버전에 타당할 것이다. 개발 초기에도 시스템의 성능을 고려 할 때 MAC및 DLC 기능은 적어도 FPGA 등의 하드웨어로 구성이 되어야 하며, 모뎀 부분은 계속하여 기능 개선이 용이하게 할 수 있도록 하는 모듈 구조가 타당할 것으로 생각된다.

(그림 12) ALAN ES와 액세스 포인트의 기능 블록도



(그림 13) 무선 ATM NIU의 구성



무선 ATM 단말기의 구성도 액세스 포인터와 마찬가지로 무선 변복조 모듈부와 상위 계층의 무선 프로토콜 처리부로 구분할 수 있다. 무선 ATM 단말기로 노트북형 PC의 사용을 고려할 때 무선 변복조 모듈과의 연결은 PCMCIA형이 타당하다. 초기의 ATM AAL기능은 PC 단말기에서 소프트웨어로 처리되도록 구성토록 하는 것이 필요하나, 궁극적으로는 이 부분도 NIU에서 하드웨어로 처리되는 것이 바람직하다. 이러한 구조를 고려할 때 예상되는 소프트웨어의 구조가 (그림 8)이다. 액세스 포인트의 실질적인 주소가 IP 어드레스로 이루어질 것으로 예상되며, 이를 위하여 ARP 기능이 구비되어야 한다. 시스템 관리 기능은 운용 중에 NIU 보드 내의 제반 기능(리셋, 무선 환경에 대한 제반 데이터의 수집 등)을 관리하기 위한 명령, 제어 기능을 수행한다.

### V. 결론

무선 ATM에 대한 표준화는, ATM Forum에서 '96년 6월부터 연구 작업반이 구성되어, 이제 Mobile ATM의 핵심 기술 사항을 파악한 정도이며 특히 무선 액세스 계층에 대하여는 각국의 시제품에 대한 주요 사양 정도만 수집, 검토된 극히 표준화 초기 단계이다. 기고서의 대부분도 각국이 시제품 연구 개발시에 겪었던 여러가지 기술 사항, 논문이 주류를 이루고 있다. 따라서 이를 충분히 소화하여 가면서 무선 ATM LAN을 개발하는 지혜로운 연구 개발 전략이 필요하다.

### 참고문헌

- (1) IEEE 802.11., Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Dec. 1995
- (2) Wireless LAN's Technology Group, 'http://www.cwins.wpi.edu'
- (3) 정해원, 강 훈, 'IEEE 802.11 무선 LAN의 DFWMAC, ETRI 주간 기술 동향 760호, 1996. 8. 21.
- (4) Y. J. KIM, et al., 'Performance Analysis of an ATM Multiplexer with Multiple QoS VBR Traffic', ETRI Journal, Vol. 19, No. 1, 1997. 4
- (5) ATM Forum, 'Baseline Text for Wireless ATM Specifications, ATM Forum LTD-WATM-01.06, 1998. 1.
- (6) ATM Forum, 'Living list Document of Wireless ATM Working Group, ATM Forum LTD-WATM-01.06, 1998. 1.
- (7) 정해원, 조성준, 강 훈, 'Wireless ATM 의 연구 개발 동향, '96년도 한국 통신 학회 하계 종합 학술 발표회, 1996. 7.
- (8) A. Acharya, et al., 'Primitives for Location Management and Handoff in Mobile ATM Networks', ATM Forum 96-1121, 1996. 8.
- (9) D. Raychaudhuri, et al., 'A Prototype Wireless ATM System Multimedia Personal Communication', IEEE JSAC, Vol. 15, No. 1, 1997. 1.
- (10) M. Veeraraghavan, et al., 'Handoff Scheme for Mobile ATM Networks', ATM Forum 96-1499, '96. 10.
- (11) M. Veeraraghavan, et al., 'Mobility and Connection Managements in a Wireless ATM LAN', IEEE JSAC, Vol. 15, No. 1, 1997. 1.
- (12) Bora A. Akyol, et al., 'Handling Mobility in a Wireless ATM Network', INFOCOM 96, 1996 Feb.

- [13] J. Mikkonen, 'The Background and the Scope of the Future Work on Wireless ATM', ATM Forum 96-252, 1996 Feb.

### 정 해 원

- 1980. 2 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (학사)
- 1982. 2 : 한국항공대학원 항공전자공학과 (석사)
- 1982. 3 - 현재 : 한국전자통신연구소 근무,  
기입자 전송 연구실 책임연구원

### 이 영 교

- 1992. 2 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (학사)
- 1995. 8 : 한국항공대학원 항공전자공학과 (석사)
- 1996. 9 - 현재 : 한국항공대학원 항공통신정보공학과 박사과정  
재학중

### 조 성 준

- 1969. 2 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (학사)
- 1975. 2 : 한양대학교 대학원 (석사)
- 1981. 3 : 일본 오사카 대학교 통신공학과 (박사)
- 1972. 2 - 현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수

\*\* 사진은 통신학회 논문집 제22권 12호 pp2818 참조 \*\*