

# G.983.1 기반의 ATM-PON에서 Ranging 프로토콜 성능 분석

정희원 황계원\*, 정해\*, 김진희\*\*, 고상호\*\*, 유건일\*\*

## Performance Analysis of the Ranging Protocol for the ATM-PON based on ITU-T G.983.1

Kye-Won, Hwang\*, Hae, Chung\*, Jin-Hee, Kim\*\*, Sang-Ho, Koh\*\*, Gun-Il, Yoo\*\* *Regular Members*

### 요 약

ATM-PON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network)에는 두 가지 핵심 기술이 있는데 ranging 프로토콜과 MAC (Medium Access Control) 프로토콜이 그것이다. Ranging 프로토콜은 시간 분할 다중화 (Time Division Multiple Access, TDMA) 방식을 사용하는 ATM-PON에서 상향으로 액세스할 때 타임 슬롯의 동기를 유지하게 하기 위해 ONU (Optical Network Unit)를 가상적으로 동일한 거리에 놓는 기술이다. 본 논문에서는 FSN (Full Service Access Network)과 ITU-T를 중심으로 표준화된 G.983.1의 ranging 프로토콜에 관하여 연구하고 성능분석과 모의실험을 수행한다. 이를 통하여 ranging을 하는데 걸리는 소요시간이 표준안의 권고사항을 만족시키기 위한 필요조건을 도출할 수 있다. 특히 ranging을 할 때 윈도우의 길이를 줄일 수 있는 새로운 방식을 적용하여, 이미 서비스 중에 있는 ONU의 서비스 품질이 저하되는 것을 막을 수 있음을 보여준다.

### ABSTRACT

Asynchronous transfer mode (ATM) over passive optical network (PON) has two important technologies that are medium access control (MAC) protocol and ranging protocol. Ranging protocol is a technology that places ONUs the same virtual distance to keep the synchronization of time slot in the time division multiple access (TDMA) of ATM-PON access network. In this paper, we analyze the ranging protocol for the ATM-PON based on ITU-T G.983.1. From the analysis and the simulation, we drive the condition that the ranging time requirements can satisfy the ITU-T recommendation. In particular, we show that a new ranging scheme reducing window size can avoid the degradation of quality of service of ONUs in service.

### 1. 서론

정보화 사회에서 초고속 통신망은 국력을 이끌어 내는 인프라 역할을 한다. 따라서 모든 선진국가에서는 초고속 정보통신망을 구축하기 위해 국가적인 프로젝트를 수행하고 있다<sup>[1]</sup>. 국간 망에 있어서는 비동기식 전송방식 (Asynchronous Transfer Mode, ATM)의 교환기술이 이용되고 국간 전송은 대용량 정보전송을 제공하기 위한 파장분할 다중화 (Wave-

length Division Multiplexing, WDM) 기술이 사용될 것이다. 또한 망 내부에서는 신호의 광전 변환이 없는 전광 망 (All Optical Network)의 형태가 도입될 것으로 판단된다. 국간 망에 비해서 더욱더 큰 시장규모를 가지고 있는 가입자 전송분야는 가격적으로 매우 민감한 요인을 내재하고 있고 때문에, 망 사업자와 제조업자는 다양한 가입자에게 초고속 정보통신망을 제공하는데 있어서, 경제적인 측면과 망의 효율성 문제를 두고 어떤 해법을 제공할 것인가

\* 금오공과대학교 전자통신공학과  
논문번호 : 00395-1016, 접수일자 : 2000년 10월 16일

\*\* 한국통신 가입자망연구소 FLC연구소

에 대하여 광범위하고 포괄적인 연구를 수행해 왔다.

가입자 액세스 망의 최종적 목표는 가정마다 광케이블이 설치되는 FTTH(Fiber-To-The-Home) 가 되겠지만 광 케이블 포설 등 대규모 시설투자를 유발하므로 아직까지는 도입시기가 지연될 전망이다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 초고속 정보통신망 구축의 경제적인 측면으로 인해 중간 단계의 진화 계획들이 각국의 환경을 고려하여 다양하게 접근하고 있다. 우리 나라의 현실에 비추어 본다면 xDSL(Digital Subscription Line)과 FTTC(Fiber-To-The-Curb) 방식의 기술이 현재 주목을 받고 있다. 그러나 이러한 기술도 각각의 단점으로 인해 초고속 정보통신망의 완전한 해답은 될 수 없다<sup>[2,3]</sup>.

각 기술의 단점을 보완하고 현존하는 가입자 망 구조의 요구사항에 부응하는 기술로 ATM-PON이 차세대 가입자 망의 대안으로 등장하였는데, 유럽에서는 이미 RACE-II 프로젝트를 통해 ATM-PON을 연구하여 시험제품도 선보였고<sup>[4,5]</sup>, 최근 들어서는 일본과 미국에서도 연구를 하고 있다. 또 FSAN, ITU-T를 중심으로 ATM-PON 기술에 대한 표준화가 활발하게 진행하고 있는데 G.983.1이 그것중의 하나이다.

G.983.1에는 두 가지 핵심기술이 있는데 MAC 프로토콜과 ranging 프로토콜이 그것이다. MAC 프로토콜은 매체를 공유하는 장치들 간에 상호 간의 통신을 허용하기 위해서 매체 접근(access)을 제어하는 프로토콜을 말한다. 여기서 ranging 프로토콜에 대해 연구하기로 한다. II장에서는 G.983.1의 대략적인 개요와 ranging 대해 알아보고, ranging 분석을 위한 절차를 제안하고자 한다. III장에서는 이러한 절차들을 토대로 ranging을 분석하였고, IV장에서는 분석에서 나온 결과와 표준안의 요구사항을 비교하였다. V장에서는 결론을 맺고 차후 연구 과제에 대하여 언급하기로 한다.

## II. ATM-PON과 ranging의 개요

### 1. ATM-PON의 구조와 TC(Transmission Convergence) 계층

FSAN에서의 ATM-PON은 그림 1과 같이 OLT(Optical Line Termination), ONU(Optical Network Unit), ODN(Optical Distribution Network)으로 구성되어 있다. OLT는 국사에 설치되는 장치로 ONU와 더불어 PON 상의 사용자와의

접속(User Network Interface, UNI)과 서비스 노드와 접속 사이의 ATM 전송 서비스를 제공한다. ONU는 가입자 인접지역에 설치되어 PON과 접속을 가지는 장치이며, ODN은 OLT와 여러 개의 ONU 사이의 광 경로를 제공하는 장치로 전력공급이 필요 없어 전력의 결합에 영향을 받지 않고, 전자기 간섭(Electro-Magnetic Interference, EMI)에도 민감하지 않으며 유지보수 비용이 적게 드는 장점이 있다.

ATM-PON에서의 광 전송에 관한 방향은 다음과 같이 정의한다.

- 하향 스트림(downstream): OLT에서 ONU의 신호의 진행
- 상향 스트림(upstream): ONU에서 OLT의 신호의 진행

ATM-PON 구조를 살펴보면 물리매체 계층(physical medium layer), 전송수렴 계층(transmission convergence layer, TC), 경로 계층(path layer)으로 나눌 수 있다.

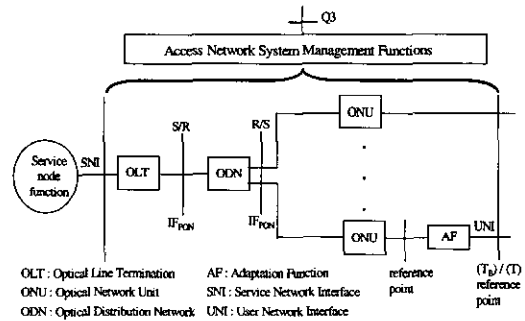


그림 1. ATM-PON의 시스템 구성도

경로 계층은 ATM 계층의 가상 경로(virtual path)에 해당하고 기능은 I.732에 정의되어 있다.

전송수렴 계층은 정합 부계층(adaptation sublayer)과 PON 전송계층(PON transmission layer)으로 나뉘어 지는데, 이것은 I.321에 정의된 B-ISDN 전송 수렴 부계층 기능에 해당한다. 정합 부계층은 I.732에 정의되어 있고, PON 전송 부계층은 셀 슬롯 할당, 대역폭 할당, 프라이버시 및 보안, 프레임 정렬, 버스트 동기나 비트, 라이트 동기 등의 여러 기능이 있다.

그림 2는 ATM-PON의 상·하향 프레임 구조로 대칭구조의 PON 프레임 형식을 나타내고 있다. 하향 접속 구조는 155.52 Mbits/s의 연속적인 타임 슬롯으로 구성되어 있고, 각 타임 슬롯은 53바이트의

ATM 셀이나 PLOAM(Physical Layer Operation and Maintenance) 셀을 포함하고 있다. PLOAM은 28개의 타임 슬롯마다 삽입되는데, 622.08 Mb/s의 경우 224개의 슬롯에 8개의 PLOAM 셀을 포함한다.

상향 프레임은 53개의 타임 슬롯으로 구성되어 있고, 각 타임 슬롯은 53 바이트의 ATM 셀과 3바이트의 오버헤드가 있는데 3바이트의 오버헤드 안에는 Guard time, Preamble, Delimiter의 필드들이 있다. Guard time의 최소 길이는 4비트로서 일련의 셀이나 미니 슬롯의 충돌을 방지하기 위해 충분한 시간 거리를 제공하는데 사용되고, Pre amble은 OLT에 대해 도착한 셀이나 미니 슬롯의 위상을 추출하거나 비트 동기화 및 진폭복구에 사용된다. Delimiter는 ATM 셀이나 미니슬롯의 시작을 지시하는 유일한 패턴을 가리키며, 바이트 동기를 수행하는데 사용된다. 이러한 필드의 내용은 하향 PLOAM 셀의 상향 오버헤드(upstream\_overhead) 메시지에 정의되어 있다.

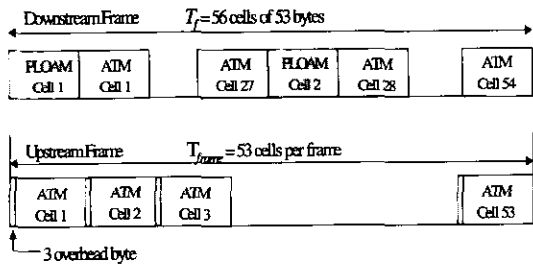


그림 2. PON 프레임 형태 (대칭구조)

### 2. Ranging 개요 및 방법

ATM-PON에서 하향 스트림은 단순히 방송(broadcast) 형태로 연속적인 셀로 구성되어 있고, 상향 스트림은 버스트 형태(burst mode)로 ONU는 일정한 타임 슬롯을 점유하여 올라오는 시간 분할 다중화 방식을 사용한다. 따라서 서로 다른 거리에 있는 ONU들이 상향으로 동시에 셀을 전송할 때, ODN에서 겹쳐질 경우가 생기게 되어 OLT가 정확한 비트 스트림을 검출할 수 없거나 셀 손실이 발생하게 될 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ONU들을 가상적으로 동일한 거리에 두어야 하는 기술이 필요한데 이것이 ranging이다.

Ranging 프로토콜의 요지는 그림 3에서 보는 것과 같이 OLT가 등화 왕복 전파 지연(equalized round trip delay,  $T_{eqd}$ )을 일정하게 하기 위하여 각

각의 ONU에게 등화 지연(equalization delay,  $T_d$ )을 제공하는 것이 목적이다. 즉, 가까운 거리에 있는 ONU는 긴 지연을 두고 셀을 전송하게 하고, 먼 거리에 있는 ONU는 짧은 지연을 두고 셀을 전송함으로써 논리적으로 동일한 거리에 두게 하는 것이다.

Ranging에 대한 절차는 ranging의 형태와 ONU의 설치방법, 시나리오에 대한 방법으로 분류하고 있는데 내용은 다음과 같다.

#### ▶ 형태에 대한 분류

- Cold PON Cold ONU : PON 상에서 상향 트래픽이 없고, ONU들은 OLT로부터 PON\_ID를 부여받지 않고 ranging하려는 상태이다. 여기서 상향 트래픽이 없다는 것은 PON 상에서 하나의 ONU도 ranging되어 있지 않아서 상향으로 프레임이 형성되어 있지 않다는 것을 의미한다.

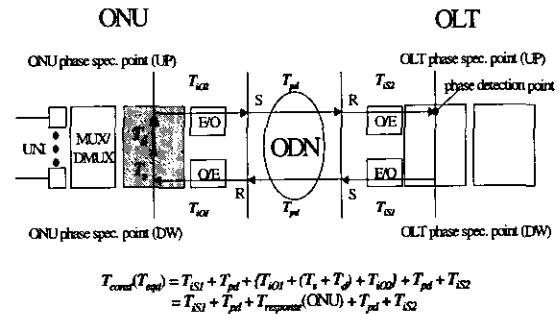


그림 3. 기술점의 구성

- Cold PON Warm ONU : Ranging된 적이 없는 새로운 ONU가 추가되거나 ranging된 적이 있는 ONU가 전원이 복구되어 PON 상의 트래픽이 가동 중일 때 다시 ranging하려는 상태다.
- Warm PON Warm ONU : 전원이 켜진 채 PON에 연결되어 있으나 하향 LOS (Loss of Signal)나 트래픽이 가동 중인 활성화된 PON이 ranging하려는 상태로 상향으로 프레임이 형성되어 있는 상태이다.

#### ▶ ONU의 설치방법에 대한 분류

- 방법 A : OLT가 ONU의 일련번호를 알고 있는 상태
- 방법 B : OLT가 ONU의 일련번호를 모르고 있는 상태

▶ 시나리오에 대한 분류는 다음과 같다.

- 시나리오 1 : 새로운 ONU의 연결을 망 운영자가 알고 있을 때 직접 ranging 과정을 수행하는 경우로 ranging 과정 후에는 측정이 성공하든 실패하든 상관없이 자동적으로 종료된다
- 시나리오 2 : 새로운 ONU가 연결되었는지를 주기적인 polling을 통하여 ranging 과정을 가동하는 것을 말한다.

### III. Ranging 프로토콜의 분석

본 논문에서는 표준안에 제시된 ranging 소요 시간이 실제로 만족하는가에 대해 알아보려고 한다. Ranging에 소요된 시간을 알아보기 위해 모의실험과 분석을 병행하기로 한다. 모의실험은 표준안의 순서도를 바탕으로 event driven 방식을 채택하였고, 분석은 본 논문에서 제시한 제안을 토대로 분석하여 표준안에 제시된 결과 값과 일치하는지 알아보았다.

분석은 흐름 (message flow) 방식을 사용하는데 메시지 흐름 방식이란, OLT와 ONU 사이의 메시지 송·수신을 확인하는 것으로, 일단 ranging이 시작되면 OLT는 ranging에 참여하고자 하는 ONU들에게 ranging에 관련된 메시지들을 보내게 된다. 그러면 ONU들은 OLT에게 이에 대한 응답 메시지를 보내게 되고 다시 OLT는 다음 절차에 해당하는 셀을 보내게 된다. 이러한 셀들이 오고 가면서 마침내 ranging이 성공적으로 종료하게 되면 OLT는 그동안 송·수신하였던 셀 및 내부 처리시간 등에 소요된 셀을 시간으로 환산하게 되는데 이것이 ranging에 소요된 시간이 된다. 여기서 고려되어야 파라미터들은 표 1에 제시하였다.

#### 1. Ranging 프로토콜 분석을 위한 절차 제안

표준안에서 제시한 ranging은 Cold PON Cold ONU에서 방법 A와 B에 대해 시나리오 1, 2가 각각 적용되며, Warm PON Cold ONU에서도 방법 A, B에 대해서도 시나리오 1, 2가 각각 적용된다. 또 Warm PON Warm ONU에서는 방법 A만 적용되고 시나리오에 1, 2가 적용된다<sup>6)</sup>. 그러나 Cold PON Cold ONU에서 적용되는 시나리오 2는 무의미하다. 왜냐하면 Ranging의 모든 절차는 OLT 중심에서 시작되는데, Cold PON Cold ONU의 경우는 상향으로 프레임이 형성되어 있지 않은 상황이므로 시나리오 2(주기적으로 polling에 의한 ranging 절차)가 적용되는 것은 사실상 불가능하다.

또, Warm PON Warm ONU에 적용되는 시나리오 1은 무의미하다. Warm PON Warm ONU는 상·하향 트래픽이 형성되어 있는 상태이고 ONU가 POPUP 상태로 ONU가 언제 POPUP 상태로 들어갈지 모르기 때문에 망 운영자가 ranging을 가동하는 시나리오 1은 사실상 무의미하게 된다.

표 1. 고려된 파라미터

파라미터	적용
시간산출 근거	상향 프레임의 전송속도 (155.52Mbits/s)를기준
OLT, ONU 내부처리 시간	6T <sub>i</sub> 이내
비트 에러율	10 <sup>-10</sup> (G.983.1의 표 4 참조)
광 케이블에서 신호의 전파 속도	$\frac{2c}{3}$ (c는 빛의 속도)
ONU가 승인 수신시 처리 시간	7~9셀
OLT와 ONU사이 거리	0 ~ 20 Km

여기서 POPUP 상태란 ranging 과정 중에서 ONU 상태로서 ranging 과정을 끝내고 지속적인 등화지연을 갱신하는 상태에서 LOS (Loss of Signal), LCD (Loss of cell delineation), OAML (PLOAM cell loss) 혹은 FRML (Loss of downstream frame)이 감지될 때 들어가는 상태를 말한다.

제안된 내용을 살펴보면, 제안된 (i) 방법은 T<sub>d</sub> 값 획득 상태로 Warm PON Warm ONU의 방법 A에 해당하는 방법이다.

제안된 (ii) 방법은 T<sub>d</sub> 값 획득 과정과 PON\_ID 획득 과정으로 Cold PON Cold ONU의 방법 A와 해당되며 메시지 흐름 관점에서 본다면 Cold PON Cold ONU 방법 A의 부분으로 생각할 수 있다.

제안된 (iii) 방법은 T<sub>d</sub> 값 획득 과정, PON\_ID 획득 과정과 일련번호 획득과정을 위해 이진 트리 메커니즘이 적용되는 방법으로, Cold PON Cold ONU의 방법 B와 해당되며 메시지 흐름 관점에서 본다면 Cold PON Cold ONU 방법 B의 부분으로 생각할 수 있다.

위의 내용을 토대로 기존의 방법들에서 ranging 프로토콜 분석을 위해 새로운 방법을 제안하였는데 이것은 표 2에 제시하였다.

2. 제안된 방법에 대한 설명

제안된 (i) 방법은 POPUP 상태에 있는 ONU를 ranging하는 과정으로 각종 경보가 발생한 경우로 ONU들은  $T_d$  값을 제외한 모든 값을 보존하고 있으므로  $T_d$  값 측정을 위한 절차를 실행하면 된다.

그림 4는 제안된 (i) 방법의 흐름도를 나타낸 것으로서, OLT가 ranging하려는 ONU에게 무할당 승인(unassigned grant)과 PLOAM 승인을 보내어 해당 ONU로부터 유효한 PLOAM 셀을 수신하면 OLT는 이러한 과정을 한번 더 수행한다.

두 번의 과정이 모두 성공적으로 수행되면 OLT는 ranging\_time 메시지를 보내고 ranging 절차를 종료하게 된다. 그러나 에러로 인해 이러한 두 번의 과정이 실패한다면 ranging하려는 ONU에게 비활성 PON\_ID 메시지를 보내어 실패로 간주하고 다시 ranging을 시도하게 된다. 만약 다시 시도한 ranging이 성공적으로 끝났다면 ranging에 소요된 시간은 실패한 과정의 시간도 포함되어야 한다.

ranging 승인을 보내어 ONU로부터 PLOAM 셀을 수신한다.

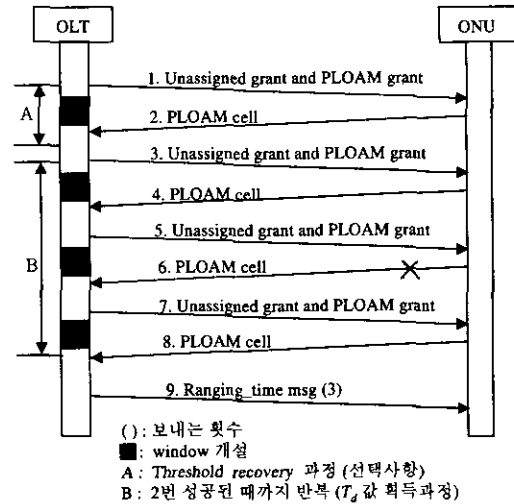


그림 4. 제안된 (i) 방법의 메시지 흐름도

표 2. 프로토콜의 분석을 위한 제안된 방법의 모델링 분석

G.983.1의 ranging 방법			제안된 ranging방법		
Cold PON	Cold ONU	방법B	시나리오1	(iii)	시나리오 1,2 (구분 없음)
			시나리오2		
		방법A	시나리오1	(ii)	
			시나리오2		
Warm PON	Cold ONU	방법B	시나리오1	(iii)의 부분집합	시나리오 1
			시나리오2		
		방법A	시나리오1	(ii)의 부분집합	시나리오 1
			시나리오2		
Warm PON	Warm ONU	방법A	시나리오1	(i)	시나리오 2
			시나리오2		

$T_d$  값 측정 절차는 여러 번의 측정으로 구성되고, 두 번의 성공이나 실패를 합으로써 완료된 것으로 간주된다. 만약 ONU가 임계치 복구 과정이 필요하다면 OLT는 무할당 승인과 PLOAM 승인을 보내어 광 전력을 설정한 다음  $T_d$  값 측정을 위한 절차를 실행한다.

제안된 (ii) 방법의 ranging 과정은 그림 5에서 보는 것과 같이 크게 PON\_ID 획득 과정과  $T_d$  값 획득 과정으로 나누어진다. PON\_ID 획득 과정은 먼저 OLT는 상향 오버헤드 메시지와, 일련번호 마스크(serial number\_mask) 메시지, 무할당 승인,

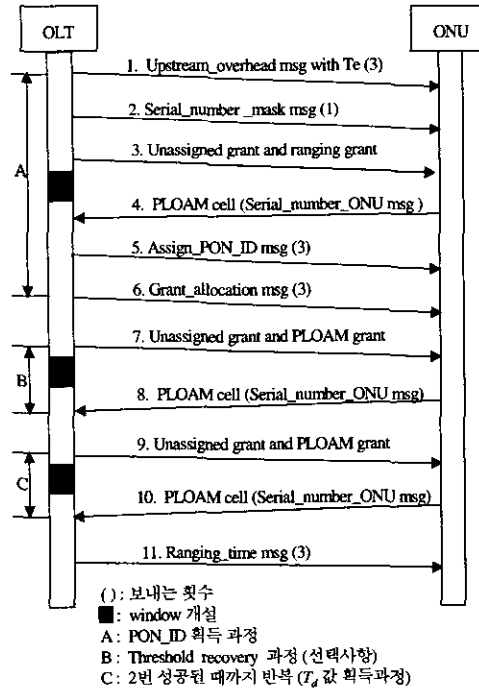


그림 5. 제안된 (ii) 방법의 메시지 흐름도

이때까지 아무런 에러 없이 PLOAM 셀을 수신하였다면 OLT는 PON\_ID 메시지와 승인 할당 (grant\_allocation) 메시지를 보내어 PON\_ID를 획득 절차를 끝내게 된다. PON\_ID 획득 과정이 끝나면

$T_d$  값 획득 과정으로 가는데,  $T_d$  값 획득 과정은 제안된 (i) 방법과 동일하다.

제안된 (iii) 방법은 일련번호 획득과정, PON\_ID 획득 과정,  $T_d$  값 획득 과정으로 나누어진다. 일련번호 획득과정에서 먼저 OLT가 ONU에게 배치 승인을 보낸다. 만약 ranging하려는 ONU들이 동시에 상향으로 응답 신호를 보낸다면 충돌을 야기하게 된다. 따라서 OLT는 충돌없이 ONU들의 일련번호를 획득하기 위해 이진 트리 메커니즘을 적용한다.

일단 이진 트리 메커니즘이 적용되면 OLT가 일련번호 마스크 메시지, 무할당 승인, ranging 승인을 보내게 되는데, 이때 일련번호 마스크 메시지의 일련번호 유효자리 숫자를 한 비트씩 증가시키면서 유효 자리와 일치하는 일련번호를 가진 ONU들만 ranging에 참여하게 한다.

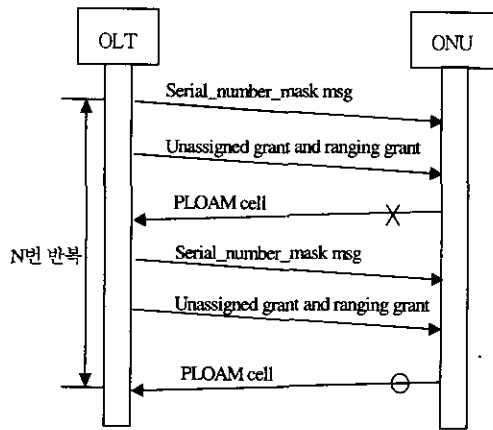


그림 6. 이진 트리 메커니즘의 메시지 흐름도

Ranging에 참여한 모든 ONU의 일련번호를 획득 과정을 위해 이진 트리 메커니즘이  $N$  번 반복하게 되는데 최대 128번 반복될 수 있다. 그림 6은 이진 트리 메커니즘의 메시지 흐름도를 나타낸 것이다. PON\_ID 획득 과정,  $T_d$  값 획득 과정은 제안된 (ii) 방법과 동일하다.

### 3. 제안된 방법 분석

제안된 (i) 방법에서 성공한 ONU의 ranging 과정과 실패한 ONU의 ranging 과정을 각각 세 가지 경우로 생각해 줄 수 있다. 예를 들어 OLT가 메시지 (무할당 승인과 PLOAM 승인)를 보내어 ONU로부터 PLOAM 셀을 수신하여 첫 번째 과정은 성공으로 끝났지만 두 번째 과정에서 선로상의 에러로 인해 실패로 끝나고, 다시 세 번째 과정에서

PLOAM 을 성공적으로 끝났다면 ranging하려는 해당 ONU에 대해 ranging은 성공으로 간주한다. 반면 처음 보낸 메시지가 선로상의 에러로 인해 실패하고 두 번째 과정에서는 성공적으로 끝났지만 세 번째 과정에서는 다시 실패하였다면 OLT는 이것을 실패로 간주하게 된다. 이러한 경우들을 모두 고려해 본다면 ranging하려는 ONU에 대해 ranging에 관련된 모든 경우는 표 3과 같다.

여기서 첫 번째, 두 번째, 세 번째 과정이라는 것은  $T_d$  값을 측정하기 위해 시행되는 과정으로 두 번의 성공이나 두 번의 실패가 있어야만 하나의 ONU에 대해 ranging이 종료된다.

표 3. Ranging에 관련된 경우

경우	번호	첫번째과정	두번째 과정	세번째 과정	소요시간
성공할 경우	①	성공	성공		$T_1$
	②	성공	실패	성공	$T_2$
	③	실패	성공	성공	$T_3$
실패할 경우	④	실패	실패		$T_4$
	⑤	실패	성공	실패	$T_5$
	⑥	성공	실패	실패	$T_6$

표 3을 바탕으로 각 경우가 발생할 확률을 구하기에 앞서 아래와 같이 정의하기로 한다.

- $P_1$ : 하향으로 보낸 메시지가 성공할 확률
- $P_2$ : 하향으로 보낸 메시지가 실패할 확률
- $P_3$ : 상향으로 보낸 메시지가 성공할 확률
- $P_4$ : 상향으로 보낸 메시지가 실패할 확률
- $P_e$ : 한 비트가 에러 날 확률
- $N_d$ : 하향 스트림의 한 셀의 비트 수
- $N_u$ : 상향 스트림의 한 셀의 비트 수

$$P_1 = (1 - P_e)^{N_d} \tag{1}$$

$$P_2 = 1 - P_1 \tag{2}$$

$$P_3 = (1 - P_e)^{N_u} \tag{3}$$

$$P_4 = 1 - P_3 \tag{4}$$

$$P_{case}^{(1)} = P_1^2 P_3^2 \tag{5}$$

$$P_{case}^{(2)} = P_1^2 P_3^2 (P_1 P_4 + P_2) \tag{6}$$

$$P_{case}^{(3)} = P_1^2 P_3^2 (P_1 P_4 + P_2) \quad (7)$$

$$P_{case}^{(4)} = (P_1 P_4 + P_2)^2 \quad (8)$$

$$P_{case}^{(5)} = (P_1 P_4 + P_2)^2 \times P_1 P_3 \quad (9)$$

$$P_{case}^{(6)} = (P_1 P_4 + P_2)^2 \times P_1 P_3 \quad (10)$$

식 (5), (6), (7)은 ranging 과정이 성공한 경우로, 식 (5)는 표 3에서 ①의 경우가 발생할 확률을 나타내고 있다. 이는 상·하향 모두 선로상의 에러가 없어야 하므로, 첫 번째 메시지가 성공할 확률 ( $P_1 P_3$ )과 두 번째 메시지가 성공할 확률 ( $P_1 P_3$ )을 곱하면 된다.

식 (6)과 식 (7)은 표 3에서 ②의 경우가 발생할 확률과 ③의 경우가 발생할 확률을 나타낸 경우로서 한 번의 실패 과정과 두 번의 성공 과정으로 확률적으로는 동일하다. 여기서 실패한 경우는 두 가지 경우를 생각할 수 있다. 첫째, 하향으로 보낸 메시지가 에러가 난 경우로 확률은  $P_2$ 가 되고, 이때 상향으로 생긴 에러는 고려해 줄 필요가 없다. 둘째, 하향으로 보낸 메시지는 ONU가 정확하게 수신하였지만 상향으로 보낸 메시지가 에러가 난 경우로 확률은  $P_1 P_4$ 가 된다.

식 (8), (9), (10)은 ranging 과정이 실패한 경우로, 식 (8)은 표 3에서 ④의 경우가 발생할 확률로 두 번 모두 실패한 경우이다. 식 (9)와 식 (10)은 표 3에서 ⑤의 경우가 발생할 확률과 ⑥의 경우가 발생할 확률을 나타낸 경우로서 두 번의 실패 과정과 한 번의 성공 과정으로 확률적으로는 동일하다.

각각의 경우가 발생할 확률을 구하면 각각의 소요되는 시간을 구할 수 있다. 각각의 소요되는 시간은 OLT와 ONU의 거리를 알고 있다면 거리에 소요되는 시간은  $t = s/v$ 를 적용한다. 여기서  $s$ 는 OLT와 ONU 사이의 거리를 말하는 것이고,  $v$ 는 광케이블에서의 전파속도의  $2c/3$ 를 의미하며  $c$ 는 빛의 진행 속도이다.

각 경우의 시간들이 구해진다면 하나의 ONU가 ranging 하는데 걸리는 평균 시간은 식 (11)과 같다.

$$E[T_{ONU}] = T_1 P_{case}^{(1)} + T_2 P_{case}^{(2)} + T_3 P_{case}^{(3)} + T_4 P_{case}^{(4)} + T_5 P_{case}^{(5)} + T_6 P_{case}^{(6)} \quad (11)$$

식 (11)은 하나의 ONU가 ranging함에 있어서 성공하든 실패하든 무조건 끝내 버리는 평균 시간을

의미한다. 예를 들어 에러로 인해 ranging과정이 실패하였다면 식 (11)은 단순히 실패하였을 때 소요되는 평균시간만 구하는 결과가 된다. 이 경우에는 실패하였을 때 소요되는 시간과 더불어 ranging에 성공한 시간까지도 더해 주어야 하는데 하나의 ONU가 ranging에 성공할 때까지 소요되는 평균 시간은 다음과 같다.

$T_i$ : 하나의 ONU가 ranging에 성공할 때까지 걸리는 평균시간

$T_s$ : 성공한 경우에 소요되는 평균시간

$$(T_1 P_{case}^{(1)} + T_2 P_{case}^{(2)} + T_3 P_{case}^{(3)})$$

$T_{fa}$ : 실패한 경우에 소요되는 평균시간

$$(T_4 P_{case}^{(4)} + T_5 P_{case}^{(5)} + T_6 P_{case}^{(6)})$$

$P_s$ : 성공할 확률 ( $P_{case}^{(1)} + P_{case}^{(2)} + P_{case}^{(3)}$ )

$P_f$ : 실패할 확률 ( $P_{case}^{(4)} + P_{case}^{(5)} + P_{case}^{(6)}$ )

$$T_i = \left( \frac{1}{P_s} - 1 \right) T_{fa} + T_s \quad (12)$$

만약 여러 개의 ONU와 연속적으로 ranging한 평균 시간을 구하고자 한다면 여러 개의 ONU가 ranging에 소요된 각각의 시간에 하나의 ONU가 ranging을 종료한 후 다른 ONU와 ranging하기 전 기다리는 시간 ( $6T$ )을 더해 주면 된다. 예를 들어 ranging하려는 ONU가 4개가 있다면 4개의 ONU에 소요된 ranging 시간과  $6T$ 에 해당하는 시간에 3을 곱하여 더하면 총 시간이 나온다. 따라서  $n$ 개의 ONU가 성공할 때까지 걸리는 평균 시간 ( $T_i^n$ )은 식 (13)과 같다.

$$T_i^n = T_i + (n-1) \times 6T \quad (13)$$

제안된 (ii) 방법에서 PON\_ID 획득 과정은 선로상의 에러와 각각에 대한 확률을 고려해 주어야 하는데 이것은 제안된 (i) 방법의 식들을 적용하면 된다. 여기서는 하향으로 보낸 일련번호 마스크 메시지가 성공할 확률과 무할당 승인, ranging 승인이 성공할 확률은 식 (1)을 상향으로 보낸 PLOAM 셀이 성공할 확률은 식 (3)을 적용하면 된다.

세 번 보내는 메시지인 상향 오버헤드 메시지, PON\_ID 메시지, 승인 할당 메시지에 대해서는 무조건 성공한다고 생각하고 (성공할 확률을 1로 둔다.) 풀어도 무방하다. 왜냐하면 OLT는 정확한 메시지 송신을 위해서 ranging하려는 해당 ONU에게

메시지를 세 번 보내는 경우가 있다. 만약 세 번 보낸 메시지 중 ONU가 적어도 하나를 성공적으로 수신하였다면 이 메시지는 성공하였다고 간주하게 되는데, 세 번 보낸 메시지가 적어도 한번 성공할 확률은 1에서 한번도 받지 못할 확률을 빼면 되므로 식 (14)과 같다.

$$1 - \binom{3}{0} (1 - P_e)^{N_s} \{1 - (1 - P_e)^{N_s}\}^3 \quad (14)$$

여기서  $\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$  이다.

광 신호상의 비트 에러율이 매우 낮음을 고려할 때, 세 번중 적어도 한 번 성공할 확률을 구하면 거의 1에 가깝다. 따라서 세 번 보내는 메시지들이 성공할 확률은 1로 두고 풀어도 무방하다는 결론이 나오게 된다.

여기서 한가지 더 고려해 주어야 할 것은 OLT가 ONU에게 메시지를 보낼 때 ONU의 메시지 처리 시간이다. 예를 들어 ONU의 내부 처리시간이  $3T_f$  라고 가정한다면 OLT가 상향 오버헤드 메시지를 세 번 보냄에 있어서 처음 상향 오버헤드 메시지를 보내고 난 뒤, 두 번째 메시지를 다음 프레임에 보낸다면 ONU는 첫 번째 메시지를 처리하지도 못한 채 다음 메시지를 받는 결과가 된다. 이렇게 된다면 ONU는 에러가 발생할 수 밖에 없게 되는 것이다. 따라서 OLT는 두 번째 메시지를 최소한  $3T_f$  이후에 보내야 한다. 이러한 메시지 처리시간은  $6T_f$  이내 처리하여야 한다고 표준안에 명시되어 있다. 반면 OLT가 승인에 관련된 셀을 ONU에게 보냈을 때, ONU는 이러한 셀을 수신한 즉시 OLT에게 응답 셀을 보내게 되어 있다. 따라서 OLT가 승인에 관련된 셀을 보낼 때는 다음 프레임에 다른 메시지를 보내도 ONU는 이 메시지를 처리할 수 있게 된다. ONU의 내부 처리시간과 더불어 고려해 주어야 할 것은 OLT 내부 처리시간이다.

제안된 (ii) 방법에서  $T_d$  값 획득 과정은 제안된 (i) 방법과 동일하므로 그대로 적용하면 된다.  $T_d$  획득 과정에 소요된 시간에 PON\_ID 획득 과정에 소요된 시간을 더하면 제안된 (ii) 방법에서의 소요된 시간으로서, PON\_ID 획득 과정을 위해 먼저 OLT는 상향 오버헤드 메시지와, 일련번호 마스크 (serial number\_mask) 메시지, 무할당 승인, ranging 승인을 보내어 ONU로부터 PLOAM 셀을 수신한다. 이때까지 아무런 에러 없이 PLOAM 셀을 수신하였

다면 OLT는 PON\_ID 메시지와 승인 할당 (grant\_allocation) 메시지를 보내어 PON\_ID를 획득 절차를 끝내게 된다.

#### 4. 윈도우 개설

Ranging에 참여한 ONU는 OLT로부터  $T_d$  값을 부여받지 못한 상태로 TDMA에서는 타임슬롯을 할당받지 못한 상태를 말한다. 이런 상태에서 ONU가 셀을 보낸다면 기존에 연결된 ONU들과 충돌하게 되므로 ranging을 하는 동안에는 ranging에 참여한 ONU만이 셀을 올려 보내야만 한다. 이렇게 하기 위한 방법이 윈도우 개설이다.

윈도우의 개설 크기는 ranging하려는 ONU의 위치 정보의 유무에 따라 나뉘어 진다. OLT가 ONU의 거리를 모르는 경우라면 윈도우 크기는 표준안에 73셀로 제시되어 있다. 그러나 거리를 아는 경우에 대해서 윈도우 크기를 얼마로 할 것인가 하는 것은 표준안에 제시되어 있지 않다. 따라서 거리를 알고 있는 경우 윈도우 크기를 줄일 수 있는 방안으로 위치 정보를 알고 있을 경우 3~5 셀까지 줄일 수 있는 방법이 제시되어 있다<sup>[7]</sup>. 본 논문에서는 이 방법을 채택하여 위치 정보의 유무에 따라 개설되는 윈도우 크기로 인해 트래픽 잠식이 어느 정도 영향을 미치는지 비교해 보기로 한다. 윈도우 개설로 인한 트래픽 잠식 정도는 식 (15)와 같이 정의 된다.

$$\text{트래픽 잠식정도} = \frac{\text{윈도우 개설시간}}{\text{Ranging에 소요된 시간}} \times 100(\%) \quad (15)$$

### IV. Ranging 프로토콜 분석 결과

본 장에서는 모의실험과 분석을 통한 결과를 제시하였다. 그림 7은 제안된 (i) 방법에서 소요된 시간을 나타낸 것이다. 모의실험과 분석의 조건은 임계치 복구가 필요하다고 가정하였고, 거리는 0~20 Km 사이에 ONU가 동일하게 분포한다고 가정하였다.

OLT와 ONU의 내부 처리시간은  $6T_f$  이내의 값을 임의로 선택하였다. ONU가 승인을 수신하였을 때 처리시간은 7~9셀로 하였다. 여기서 OLT가 보내는 메시지들이 배치하려는 ONU에게 정확하게 전달하기 위해 동일한 메시지를  $N$ 번 보낼 수 있는데 여기서는  $N=1$ 로 주었다. 그림 7은 OLT와 ONU



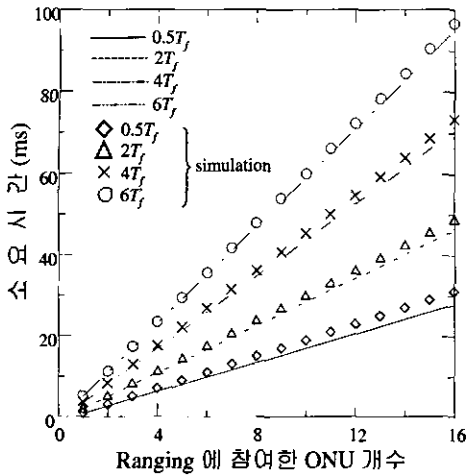


그림 7. 제안된 (i) 방법에 소요된 시간

의 내부 처리시간이  $6T_f$  일 때로 16개를 ranging 하는데 94.7 ms가 소요되었다.

그림 8은 제안된 (ii) 방법에 소요된 시간을 나타낸 것이다. 모의실험과 분석의 조건은 제안된 (i) 방법과 동일하다. 그림 8에서 보는 것처럼 내부 처리시간이  $6T_f$  일 때 64개를 ranging하는데 1038 ms로 나타났다.

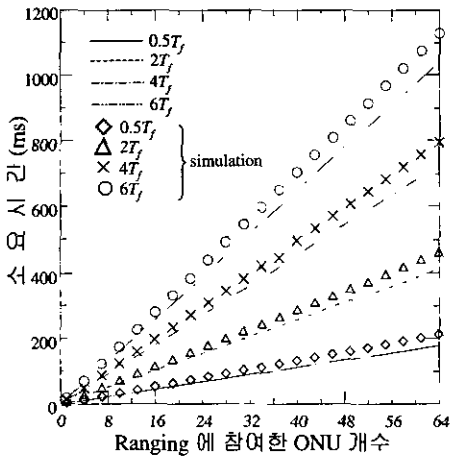
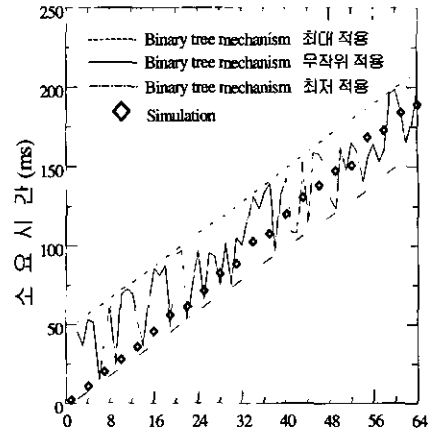
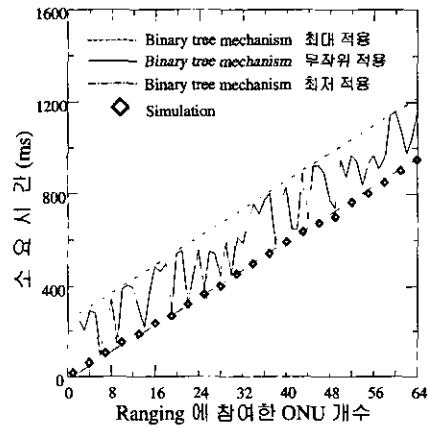


그림 8. 제안된 (ii) 방법에 소요된 시간

그림 9는 제안된 (iii) 방법에 소요된 시간을 보여주고 있다. 분석에서는 이진 트리 메커니즘이 몇 회 적용되는지 알 수 없기 때문에 최대(128번)로 적용되었을 경우, 최저(1번)로 적용되었을 경우, 무작위로 적용되었을 경우로 나누어서 분석하였다. 내



(a) OLT, ONU 메시지 처리 시간 :  $0.5T_f$



(b) OLT, ONU 메시지 처리 시간 :  $6T_f$

그림 9. 제안된 (iii) 방법에 소요된 시간

부 처리시간이  $6T_f$  인 경우 이진 트리 메커니즘을 최대로 적용하였을 경우는 64개를 ranging하는데 1218 ms로 나타났고, 최저로 적용하였을 경우는 954 ms로 나타났다. 모의 실험은 표준안의 순서도를 토대로 실험하였기 때문에 최대로 적용한 경우와 최저로 적용한 경우 사이의 값을 가지면 된다.

그림 10은 윈도우 개설로 인한 트래픽 잠식정도를 비교하였다. 위치 정보를 모르는 경우는 윈도우 크기를 73 셀로 개설하였고, 위치 정보를 아는 경우는 3~5 셀로 개설하였다.

모의실험 결과 위치 정보를 모르는 경우는 20~30 % 내외의 높은 잠식 정도를 보였고, 위치 정보를 아는 경우는 1 % 내의 낮은 잠식 정도를 나타내고 있다.

그림 10에서 하나의 ONU와 ranging할 때 잠식

되는 트래픽 정도가 여러 개의 ONU와 ranging 할 때의 잠식 정도보다 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이것은 윈도우 개설시간은 하나의 ONU와 ranging 할 때나 여러 개의 ONU와 ranging 할 때나 소요되는 윈도우 시간은 고정적인데 반해, ranging에 소요되는 시간은 여러 대의 ONU를 ranging하는데 소요되는 시간이 하나의 ONU와 ranging 하는 시간보다 상대적으로 길기 때문이다.

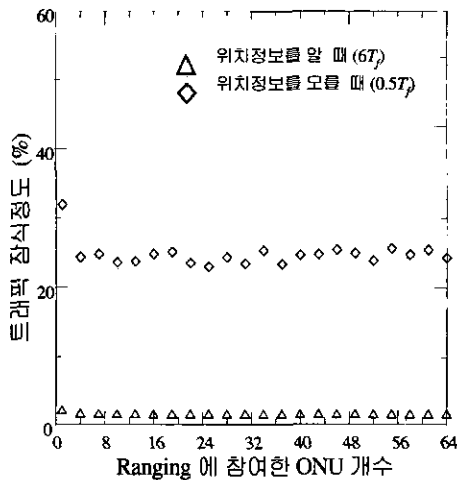


그림 10. 위치정보의 유무에 따라 소모되는 용량 비교

### V. 결론

지금까지 ranging 프로토콜의 결과를 살펴보았다. Ranging 프로토콜 성능 분석을 위해서 제안한 방법과 모의실험 결과에서 볼 수 있듯이 ranging 소요 시간은 표준안에서 제시한 요구사항을 만족함을 보였다. 이를 만족하기 위해서는 분석결과에서 보여준 것처럼 6T<sub>r</sub> 이내에 PLOAM 셀을 처리해야 한다는 권고안의 내용을 반드시 준수해야 한다. 이러한 조건은 ATM-PON을 구현할 때, 메시지 처리부분을 하드웨어로 할 것인지 소프트웨어로 구현할 것인지를 판단할 수 있는 척도가 된다. OLT의 경우는 64대의 ONU에서 오는 메시지들을 6T<sub>r</sub> 이내에 처리해야 하므로 하드웨어로 구현해야 하고, ONU의 경우는 OLT의 메시지만 처리해야 하므로 소프트웨어로 구현하는 것이 바람직할 것이다.

Ranging 프로토콜에서 ranging 소요시간과 더불어 중요한 요소는 ranging할 때 개설되는 윈도우로 인한 트래픽 잠식 정도이다. 왜냐하면 윈도우가 개설되는 동안에는 상향으로 셀 전송이 금지되기 때

문에 윈도우 개설이 크거나 간격이 연속적이라면 서비스 상태에 있는 ONU의 품질에 영향을 미치게 될 것이고, 특히 실시간 서비스를 받고 있는 ONU에 대해서는 상당한 악영향을 초래할 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 윈도우 크기를 줄이는 방안으로 위치 정보를 알고 있을 경우 3~5 셀까지 줄일 수 있는 방법을 이용하여 모의실험을 하였다. 그 결과 소개한 방법이 상당한 효과를 가져 왔음을 알 수 있다.

ATM-PON은 차세대 가입자 망의 좋은 대안이 될 수 있으므로, 각국에서 장치 개발에 몰두하고 있고 현재 시제품이 나와 있는 것도 있다. 시스템 개발을 위하여 ranging 기능을 구현하는 것이 핵심이며, 본 논문의 연구내용은 TC 칩을 개발하는데 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 현재 제안된 알고리즘과 소개한 방법들을 바탕으로 TC 칩 기능을 구현하고 있다<sup>[8]</sup>.

### 참고 문헌

- [1] <http://www.infowin.org/ACTS/>
- [2] 정 해 외, "최적 ATM-PON 구성을 위한 프로토콜 연구", 한국통신 가입자망 연구소 중간연구보고서, 1999. 8.
- [3] 정 해 외, "최적 ATM-PON 구성을 위한 프로토콜 연구", 한국통신 가입자망 연구소 최종연구보고서, 1999. 12.
- [4] <http://trigi.snh.ch/environment/switches/apon/apon.html>
- [5] U. Killat, Access to B-ISDN via PONs: *ATM Communication in Practice*, Wiley, 1996.
- [6] ITU-T Recommendation G.983.1, "Broad-band Optical Access Systems Based on Passive Optical Network (PON)," Geneva, Oct. 1998.
- [7] 정해, 김진희, 권순철, "G.983.1 기반의 ATM-PON을 위한 Ranging 프로토콜에 관한 연구", 한국해양정보통신학회, 제 4권 제 1호, 2000. 3.
- [8] 정 해 외, "ATM-PON TC 기능 모듈 구현 연구", 한국통신 가입자 망 연구소 최종연구보고서, 2000. 12.

황 계 원(Kye-Won, Hwang)



1999년 : 금오공과대학교  
전자통신공학과(학사)  
2001년 : 금오공과대학교  
전자통신공학과(석사)  
2001년~현재 : 일룸텔레시스  
부설연구소(연구원)

<주관심 분야> ATM-PON, ATM, xDSL

유 건 일(Gun-Il, Yoo)



1984년 : 한양대학교  
전자통신공학과(학사)  
1986년 : 한양대학교 대학원  
전자통신공학과(석사)  
1987년~현재 한국통신  
가입자망연구소  
FLC연구실장

<주관심 분야> 광가입자망 기술

정 해(Hae, Chung)



1987년 : 한양대학교  
전자통신공학과(학사)  
1991년 : 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(석사)  
1996년 : 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과  
(박사)

1996년~1998년 : 엘지정보통신 선임연구원

1998년~현재 : 금오공과대학교 조교수

<주관심 분야> 가입자 액세스망, ATM망, 트래픽  
제어, 통신 프로토콜

김 진 희(Jin-Hee, Kim)



1987년 : 경북대학교  
전자공학과(학사)  
1991년 : 경북대학교  
전자공학과(석사)  
1991년~현재 : 한국통신  
가입자망연구소  
(선임연구원)

<주관심 분야> 광가입자망 기술

고 상 호(Sang-Ho, Koh)



1987년 : 고려대학교  
전자공학과(학사)  
1989년 : 한국과학기술원  
전기전자공학과(석사)  
1989년~현재 : 한국통신  
가입자망연구소  
(선임연구원)

<주관심 분야> 광가입자망 기술