

# 신규 가입자망 기술의 경제성 평가를 위한 망 구조모형과 그 응용

## Modeling of Access Networks and Applications for the Economics of New Access Network Technology

류 태 규\* · 이 정 동\*\* · 김 태 유\*\*\*

### 〈 目 次 〉

- |                       |               |
|-----------------------|---------------|
| I. 서 론                | III. 경제성 비교분석 |
| II. 가입자망 구조모형 및 비용산출식 | IV. 결 론       |

### <Abstract>

This paper discusses the economics of local loop architecture focusing on existing technologies, ADSL, HFC, and new one, PLC, and suggests a new modeling approach of access network system and the numerical equations. To modelize access network system and drive the numerical equations, we consider the double star and the tree & branch architecture and made block diagram of each access system. In addition, we introduce the density of subscriber as a variable and the equation of seeking the optimal number of cell in a service area. The economics of local loop architecture is analyzed in two ways, i.e. with and without consideration of the cost of cable and infrastructure.

From the numerical analysis, we find that in case of not including the cost of cable and infrastructure, there is no much difference in the cost per one subscriber, while, in case of including it, there is remarkable difference among technologies. Therefore we conclude that the economics of local loop architecture is depend on the density of subscriber and existing network infrastructures.

Key words : PLC, Economics, Networks architecture, Access network

\* 서울대 공과대학 기술정책대학원 박사과정, tkryoo30@snu.ac.kr

\*\* 서울대 공과대학 기술정책대학원 조교수, leejd@snu.ac.kr

\*\*\* 서울대 공과대학 기술정책대학원 교수, tykim@snu.ac.kr

## I. 서론

통신산업은 기술발전의 속도가 빠르기 때문에 하루가 다르게 개발되어 나오는 신규 통신기술의 가치를 올바르게 평가하는 것이 여의치 않다. 즉, 새로운 통신기술이 시장에 진입하였을 때, 과연 비용측면에서 경쟁기술에 비해 우위를 점할 수 있는 것인지를 신속히 평가하지 못할 경우 기술기획이나 사업화단계에서 필연적으로 오류를 범하게 된다. 모든 기술이 평가를 요하지만 특히 그 경제적 중요성이 지대한 통신기술은 시장 진입이전에 기술개발상황과 함께 시장상황에 따른 경제성을 면밀히 분석하여야만 올바른 기업전략 및 정부의 정책대안이 마련될 수 있다.

본 논문에서는 초고속 광 가입자망의 대안기술들로서 기존 전화선망을 활용하는 ADSL, CATV망을 활용하는 HFC, 그리고 전력선을 활용하기 위하여 새롭게 개발되고 있는 PLC를 대상으로 비용측면에서 경제성을 비교 분석하는데 초점을 두고 있다. 이를 위하여 각 가입자망별로 경제성을 평가하기 위한 핵심과제로서 적절한 망의 구조모형과 망 조직도를 설정하고, 비용요소를 도출하는 계산식을 제시한다. 제시된 망 구조모형과 조직도를 여러 가입자망 기술에 대하여 적용하여 계산식을 도출하고, 상대적인 경제성 수준을 고찰하였다. 본 연구에서는 새롭게 개발되고 있는 PLC에 많은 초점을 두어, 어떠한 상황에서 신규기술인 PLC가 기존기술에 비해 경쟁력을 가질 수 있는지에 대한 정책시사점을 중점적으로 살펴보고자 한다.

## II. 가입자망 구조모형 및 비용산출식

### 1. 분석의 전제

경제성을 평가하기 위해서는 먼저 경제성 평가에 포함되는 비용요소를 결정하여야한다. Reed(1992), Pupillo and Conte(1998), 정해원, 박기식, 노장래, 조성준(1997) 등 가입자망을 분석한 기존의 연구들에서 통상적으로 취하는 접근방식은 가입자망이라는 기술의 기본속성에 초점을 맞추어 케이블 및 포설비용을 중점적으로 고려하는 것이다. 그러나 본 연구에서의 분석 대상인 ADSL, HFC, 및 PLC의 경우 전력이 들어가지 않는 지역을 통신을 하기 위해서 전력선망을 포설하는 경우는 비현실적이므로 제외한다면 PLC가 망의 포설비용이 거의 필요 없으므로 망의 포설비용을 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우로 크게 나누어 볼 수 있다. 즉 전력망, 전화선, CATV망이 다 포설되어 있는 대도시지역과 같은 지역을 편의상 A지역, 그리고 전력망은 포설이 되어 있으나 전화선이나 CATV망은 포설되어 있지 않은 지역을 B 지역이라 하자. 그리하여 A지역은 케이블 및 망 포설비용을 고려하지 않기 때문에 망 구조모형이 없이 비용을 산출하고, 그리고 B지역은 망 구조모형에 기반한 케이블 및 전송기반시설 설치비용을 추가하여 비용을 산출하였다. 본 논문에서는 이렇게 두 가지 차별화된 방식으로 경제성을 비교 분석함으로써 분석의 현실성을 높이고자 한다.

### 2. 가입자망 구조모형

가입자망의 구조모형은 기본적으로 케이블 및 전

〈표 1〉 이중성형 망 구조 및 Tree & Branch 구조모형에 대한 기본 전제

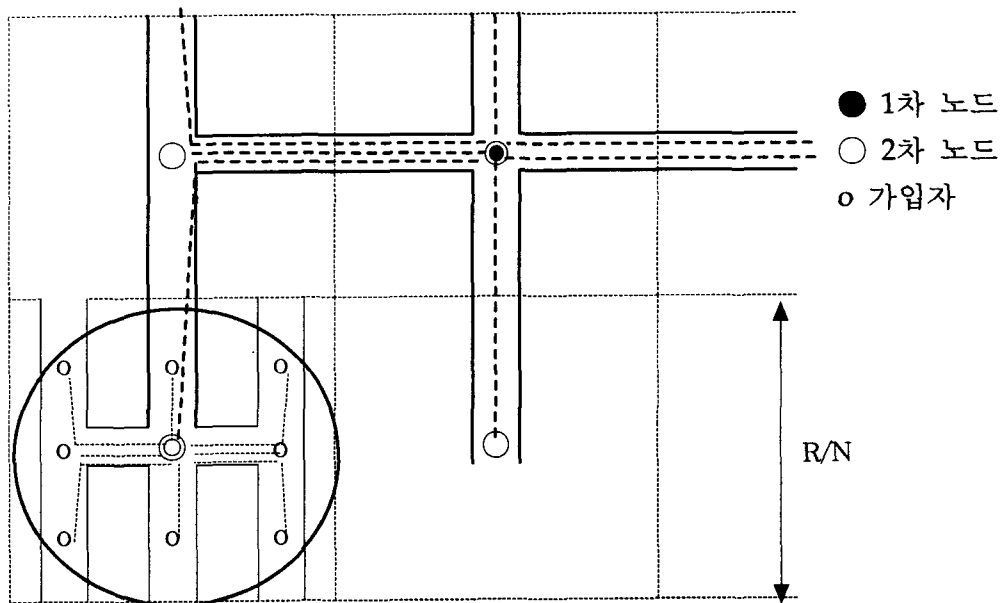
서비스 영역	한 변의 길이가 R km인 정방형 구조
이용자의 밀도분포	가입자의 밀도가 d(가입자수/km <sup>2</sup> )인 일정한 분포
셀의 형상	한 변이 R/N인 정방형구조로 이중성형망의 경우, N은 홀수이며 Tree & Branch망의 경우는 짝수로서 한 변에서의 셀의 개수
서비스 영역내의 셀수	$n = N^2$

송로 기반시설 설치비용을 산출하기 위하여 케이블의 길이와 선로의 길이를 구하는 목적에 이용된다. 그러나 기술적 속성이 상이하기 때문에 모든 전송기술에 동일한 망 구조모형이 적용될 수는 없다. 전화망을 이용하는 ADSL이나 전력선망을 이용하는 PLC의 경우, 망의 구조는 기술적인 특성상 이중성형 구조가 적절하다. CATV망을 이용한 HFC의 경우, 망의 구조가 Tree & Branch구조로 이루어지는 것이 일반적이고<sup>1)</sup>, 현재 우리나라의 HFC 망 구조 또한 Tree

& Branch구조를 보이고 있다.

### 1) 이중성형(Double - Star) 구조

이중성형 망 구조를 가지는 모형을 [그림 1]과 같이 나타내었다. 이 서비스 영역에서 가입자는 서비스 영역에서 일정한 밀도를 가지는 분포를 한다고 가정한다. 그리고 일정한 규모의 기본 서비스 영역인 셀(Cell)에서 트래픽을 2차 노드에서 모아 다시 1차 노드에 접속하는 이중성형구조를 고려한다. PLC Hub



[그림 1] 이중성형 망 구조모형

1) Reed (1992)를 참조

와 ADSL의 DSLAM이 약 300가입자 정도를 수용할 수 있기 때문에 1차 노드(Primary Node : Nd1)는 최대 300가입자를 수용하며 각 셀 당 최대 가입자 규모는 2차 노드(Secondary Node : Nd2)의 가입자 수용규모와 일치하며 약 30명을 수용한다. 그 이유는 우리나라의 전력선망은 22.9kv를 220/110v로 바꾸어 주는 주상변압기가 약 30~50가구의 가입자를 수용하는 구조로 되어 있다. 그런데 2~30MHz의 고주파대역 디지털 데이터 신호는 이 주상변압기를 통과할 수 없으므로 PLC Hub와 high Voltage Coupling Capacitor로 이루어진 2차 노드가 이 변압기와 함께 설치되어야 한다. 따라서 PLC 기술은 침투율을 고려할 때 최대 30가입자를 가지는 2차 노드로 이루어지는 것이 바람직하다.

이와 같은 맥락에서 PLC Hub를 포함한 1차 노드 또한 어느 정도의 수용 노드의 한계를 가질 수밖에 없다. 따라서 PLC기술에 있어서 망 구조모형에 있어서 1차와 2차 노드로 이루어지는 이중성형망 구조가 적합하다. 또한 ADSL의 기술특성상 전화국-1차 노드에 해당-과 대규모 가입자밀집지역의 2차 노드로 이루어지는 이중성형구조가 경제성 분석에 널리 이용되고 있다.<sup>2)</sup>

Nd1과 Nd2간의 케이블비용은 케이블 연장길이( $L_{12CA}$ )와 단위길이(Km)당 케이블가격( $AC_{12CA}$ )의 곱으로 정의되며, Nd1과 Nd2간의 전송로 기반시설 설치비용은 전송로 기반시설 연장길이( $L_{12NF}$ )와 단위길이(Km)당 전송로시설 설치가격( $AC_{12NF}$ )의 곱으로 정의된다. [그림 1]과 같은 이중성형 망 구조모형을 고려할 때, Nd1과 Nd2 사이의 케이블 연장 길이와 Nd1과 Nd2간의 전송로 기반시설의 연장 길이는 각각

다음의 식 (1), (2)와 같다. 그리고 Nd2와 Tm간의 케이블 연장 길이( $L_{2TCA}$ )와 전송로 기반시설 연장길이( $L_{2TNF}$ )도 각각 식 (3), (4)와 같이 나타내어진다.

$$(1) L_{12CA} = \frac{(n-1)}{2} \cdot R$$

( $\sqrt{n} = N$  이 홀수인 경우 성립)

$$(2) L_{12NF} = \frac{(n-1)}{\sqrt{n}} \cdot R$$

$$(3) L_{2TCA} = \frac{(dR^2/n) - 1}{2} \cdot \left(\frac{R}{N}\right)$$

$$(4) L_{2TNF} = \frac{(dR^2/n) - 1}{\sqrt{dR^2/n}} \cdot \left(\frac{R}{N}\right)$$

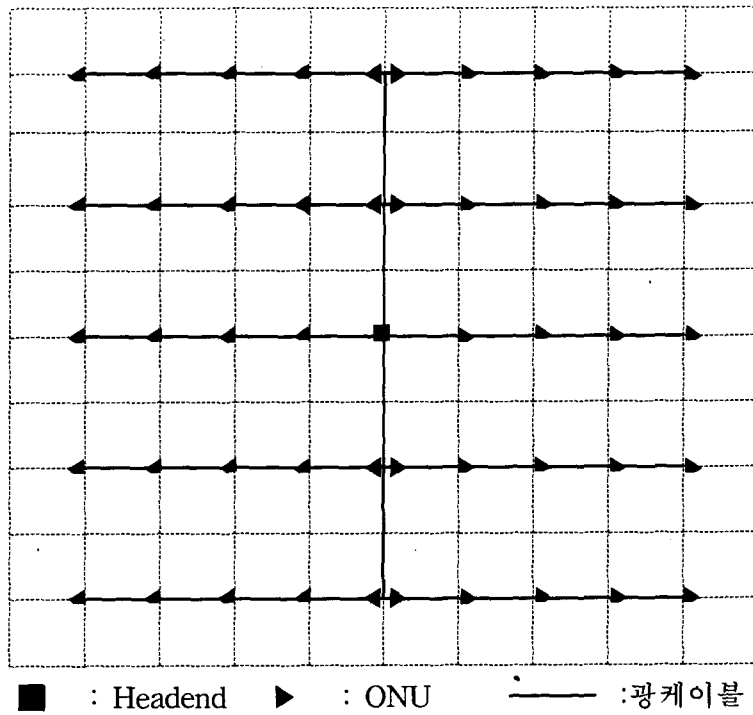
## 2) Tree & Branch 구조<sup>3)</sup>

Tree & Branch 구조를 형상화하면 아래 [그림 2]와 [그림 3]과 같이 표현할 수 있다. 보통 CATV망을 이용한 HFC기술의 망 구조는 Tree & Branch 구조로 이루어지며 우리나라에서도 역시 Tree & Branch 구조로 서비스를 공급하고 있다. 하나의 ONU는 보통 50~500가입자를 수용하는 구조<sup>4)</sup>를 가지게 된다. 본 논문에서는 하나의 ONU는 512가입자를 수용하는 구조를 갖는다고 가정한다. Tree & Branch 구조의 특성에 따라 하나의 광케이블에 접속되는 ONU는 동축케이블로 갈라지고 256 가입자를 가지는 [그림 3]은 하나의 셀을 구체화한 것으로 같은 하나의 셀(Cell)이 ONU의 양쪽에 존재하며, 각 셀은 다시 동축케이블로 Tree & Branch구조를 이루며 32 가입자를 수용하는 8개의 동축케이블로 나뉘어 다시 4명의 가입자를 수용하는 세부가지로 나뉘어지는 구조이다.

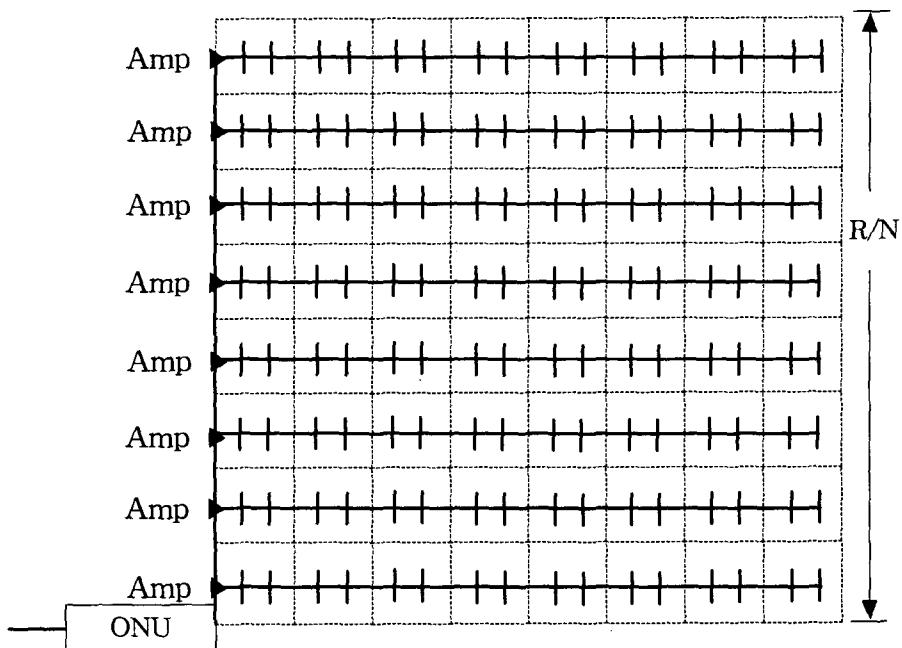
2) 이중성형 망 구조모형은 정해원, 박기식, 노장래, 조성준 (1997)에서 활용된 바 있다.

3) Tree & Branch 망구조에 대한 보다 상세한 논의는 Reed (1992)를 참조.

4) Nortelnetworks(<http://www.nortelnetworks.com>)



[그림 2] Tree & Branch 구조의 HFC 망



[그림 3] Tree & Branch 망 구조 중 하나의 셀 형상<sup>5)</sup>

5) 하나의 셀은 64개의 Sub-Cell로 이루어지고 각 Sub-Cell은 4명의 가입자를 수용하는 구조를 가정하였다. 따라서 하나의 ONU는 약 512가입자를 수용하게 된다.

Headend와 ONU간의 광케이블 비용은 광케이블 총 연장길이( $L_{HOOPT}$ )와 광케이블 단위길이(Km)당 가격( $HC_{OPT}$ )을 곱한 것으로 한다. 또한 Headend와 ONU간의 전송로 기반시설 비용은 전송로 기반시설의 총 연장길이( $L_{HOINF}$ )와 단위 전송로 길이(Km)당 가격( $HC_{HOINF}$ )의 곱으로 구할 수 있다. 그런데  $L_{HOOPT}$ 와  $L_{HOINF}$ 의 길이는 서로 같으므로 [그림 2]에서와 같은 모형을 고려할 때, Headend와 ONU사이의 케이블과 전송로 기반시설의 총 연장길이는 식 (5)과 같이 나타내어진다. 그리고 ONU와 Tm 간의 케이블 총 연장길이( $L_{OTCA}$ )와 전송로 기반 시설 총 연장길이( $L_{OTINF}$ )도 HFC망에서는 여러 가입자가 동축케이블 하나를 공유하기 때문에 서로 같고, 따라서 식 (6)과 같이 나타내어진다.

$$(5) \quad L_{HOOPT} = L_{HOINF} = \frac{N^2 - 4}{2N} \cdot R$$

$$(6) \quad L_{OTCA} = L_{OTINF} = \frac{797}{48} \cdot RN$$

$$(7) \quad TAC_{city} = d R^2 \cdot AC_m + \left( \left[ \frac{d R^2}{300} \right] + 1 \right) \cdot AC_{AM} + AC_R \quad 6)$$

$$(8) \quad TAC_{country} = d R^2 \cdot AC_m + \left( \left[ \frac{d R^2}{300} \right] + 1 \right) \cdot AC_{AM} + AC_R$$

$$+ AC_{12CA} \cdot L_{12CA} + n \cdot AC_{2TCA} \cdot L_{2TCA}$$

$$+ AC_{12INF} \cdot L_{12INF} + n \cdot AC_{2TINF} \cdot L_{2TINF}$$

$$= d R^2 \cdot AC_m + \left( \left[ \frac{d R^2}{300} \right] + 1 \right) \cdot AC_{AM} + AC_R$$

$$+ AC_{12CA} \cdot \frac{n-1}{2} R + AC_{2TCA} \cdot \frac{d R^2 - n}{2N} R$$

$$+ AC_{12INF} \cdot \frac{n-1}{\sqrt{n}} R + AC_{2TINF} \cdot \frac{d R^2 - n}{\sqrt{d R^2}} R$$

$$(9) \quad AC_{city} \text{ (or } AC_{country}) = \frac{TAC_{city}}{d R^2} \text{ (or } \frac{TAC_{country}}{d R^2})$$

### 3. 각 가입자망의 비용요소 정의

먼저 가입자망 기술을 ADSL, HFC, PLC로 나누고 각 초고속 가입자망별로 부품 및 시설설치에 관한 비용요소를 정의할 때 해당요소에 대응하는 비용요소명과 그 의미를 간략히 요약하여 정리하면 다음의 <표 2>에 제시된 바와 같다.

### 4. 가입자망의 기술별 망 조직도 및 비용산출식

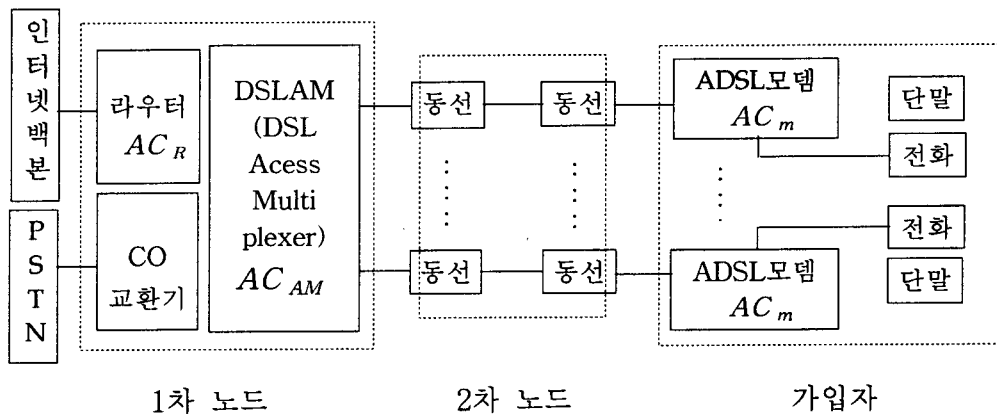
#### 1) ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)

이중성형망 구조에 [그림 4]와 같은 ADSL기술이 적용된 가입자망의 A지역 총비용( $TAC_{city}$ )과 B지역 총비용( $TAC_{country}$ )는 각각 식 (7), (8)과 같이 나타낼 수 있고, 한 가입자당 단위비용  $AC_{city}$  (or  $AC_{country}$ )는 식 (9)와 같이 주어진다.

6) 기호 [·]는 가우스 기호이며, 이는 DSLAM 장비가 최소한 300가입자당 1대씩 필요하다는 것을 의미한다.

〈표 2〉 각 초고속 가입자망 비용요소

망 종류	비용요소	비용요소에 대응하는 장비
ADSL	$AC_m$	ADSL모뎀 (내/외장형/라우터 평균, Line card와 Splitter 포함)
	$AC_R$	상용 Router
	$AC_{AM}$	DSL Access Multiplexer(CO switch Line card, 액세스 집중장치 Line card, DLC Line card 포함)
	$AC_{12CA}$	Nd1과 Nd2사이의 단위길이(Km)당 동선가격
	$AC_{2TCA}$	Nd2와 Tm사이의 단위길이(Km)당 동선가격
	$AC_{12INF}$	Nd1과 Nd2사이의 단위길이(Km)당 전송로 시설 설치가격
	$AC_{2TINF}$	Nd2와 Tm사이의 단위길이(Km)당 전송로 시설 설치가격
HFC (CATV)	$HC_{HE}$	HeadEnd(CMTS, WAN Router, 네트워크관리시스템, 로컬 서버 및 스위치 포함)
	$HC_m$	Cable Modem
	$HC_{ONU}$	ONU(Optical Network Unit)
	$HC_{AMP}$	Line Amplifier
	$HC_{HOOPT}$	Headend와 ONU 사이의 단위길이(Km)당 광케이블 가격
	$HC_{OTCA}$	ONU와 Tm 사이의 단위길이(Km)당 동축케이블 가격
	$HC_{HOINF}$	Headend와 ONU 간의 단위길이(Km)당 전송로시설 설치가격
	$HC_{OTINF}$	ONU와 Tm 간의 단위길이(Km)당 전송로시설 설치가격
PLC	$PC_R$	상용 Router
	$PC_{hC}$	고압용 Coupling Capacitor
	$PC_{Hu}$	PLC Hub
	$PC_{HC}$	Home Coupler
	$PC_m$	PLC Modem
	$PC_{BF}$	Blocking Filter



〔그림 4〕 ADSL의 망 조직도<sup>7)</sup>

7) 한국전자통신연구원, 「기술/시장 보고서 - xDSL」, 1999. 9.

2) HFC(Hybrid Fiber Coax)

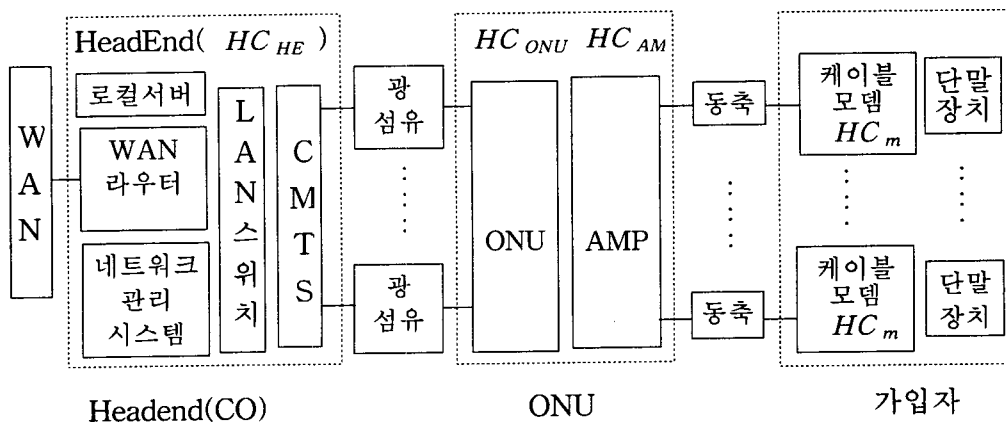
Tree & Branch 구조에 [그림 5]와 같은 HFC기술이 적용된 가입자망의 A지역 총비용( $THC_{city}$ )과 B지역

총비용( $THC_{country}$ )은 각각 식 (10), (11)과 같이 나타낼 수 있고, 이로부터 도출되는 한 가입자당 단위비용  $HC_{city}$ 와  $HC_{country}$ 는 식 (12)로 주어진다.

$$(10) \quad THC_{city} = \left( \left[ \frac{d R^2}{256 \cdot 24^2} \right] + 1 \right) \cdot HC_{HE} + \frac{N^2}{2} \cdot HC_{ONU} + 8 N^2 \cdot HC_{AMP} + d R^2 \cdot HC_m^8)$$

$$(11) \quad \begin{aligned} THC_{country} &= \left( \left[ \frac{d R^2}{256 \cdot 24^2} \right] + 1 \right) \cdot HC_{HE} + \frac{N^2}{2} \cdot HC_{ONU} \\ &+ 8 N^2 \cdot HC_{AMP} + d R^2 \cdot HC_m \\ &+ (HC_{HOOPT} + HC_{HOINF}) \cdot L_{HOINF} \\ &+ (HC_{OTCA} + HC_{OTINF}) \cdot L_{OTINF} \\ &= \left( \left[ \frac{d R^2}{256 \cdot 24^2} \right] + 1 \right) \cdot HC_{HE} + \frac{N^2}{2} \cdot HC_{ONU} \\ &+ 8 N^2 \cdot HC_{AMP} + d R^2 \cdot HC_m \\ &+ (HC_{HOOPT} + HC_{HOINF}) \cdot \frac{N^2 - 4}{2N} R \\ &+ (HC_{OTCA} + HC_{OTINF}) \cdot \frac{797}{48} RN \end{aligned}$$

$$(12) \quad HC_{city} \text{ (or } HC_{country}) = \frac{THC_{city}}{d R^2} \text{ (or } \frac{THC_{country}}{d R^2})$$



[그림 5] HFC의 망 조직도<sup>9)</sup>

8) 하나의 헤드엔드가 수용할 수 있는 가입자수는 CMTS장비에따라 다르다. 본 논문에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 장비 중 최대 153600 가입자를 수용할 수 있는 장비를 선정하였다. 따라서 가입자수가  $256 \cdot 24^2$ 을 초과하면 헤드엔드가 1곳 더 필요하다.

9) Nortelnetworks(<http://www.nortelnetworks.com>), 한국전자통신연구원, 「기술/시장 보고서 - 케이블모뎀」, 1999. 9.



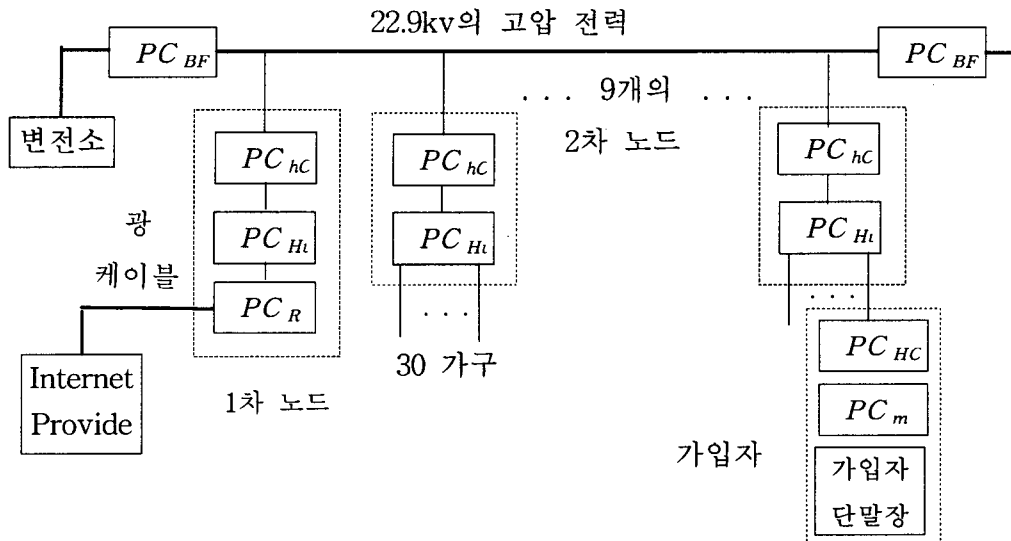
3) PLC(Power Line Communication)

이중성형구조에 [그림 6]과 같은 PLC기술이 적용된 가입자망의 A지역의 총비용( $TPC_{city}$ )과 B지역의 총비용( $TPC_{country}$ )은 가입자 밀도에 따라 다르나 그 비용을 구하는 식은 서로 동일하다. 왜냐하면 전력선

은 대도시나 농촌 모두 100%의 보급율을 가지고 있으므로 케이블비용과 선로 설치비용이 필요하지 않기 때문이다. 따라서 한 가입자당 전송비용인  $PC_{city}$ 와  $PC_{country}$ 는 서로 같아진다. 따라서 비용산출식은 각각 식 (13), (14)와 같이 주어진다.

$$(13) \quad TPC_{city} \text{ (or } TPC_{country}) = d R^2 (PC_m + PC_{HC}) + n \cdot (PC_{Hu} + PC_{hC}) + \left( \left[ \frac{N^2}{9} \right] + 1 \right) \cdot (PC_R + PC_{Hu} + PC_{hC} + 2 PC_{BF})$$

$$(14) \quad PC_{city} \text{ (or } PC_{country}) = \frac{TPC_{city}}{d R^2} \text{ (or } \frac{TPC_{country}}{d R^2})$$



[그림 6] PLC의 망 조직도<sup>10)</sup>

10) "PLC World Congress, 2000년판" 과 기인텔레콤(현재 젤라인), 전기연구소 PLC관련 홈페이지(<http://potel.keri.re.kr/plc>) 참고

여기서 서비스 영역의 한 변에 셀의 수는  $\left\lceil \sqrt{\left[\frac{d R^2}{30}\right]+1} \right\rceil = N$ 를 만족시켜야 한다. 그 이유는 주상 변압기가 커버할 수 있는 가구수가 우리나라는 평균 가구 수는 50가구 정도이며 PLC Hub가 이 주상 변압기에서 구축되어 약 30가입자를 수용할 수 있도록 만들어지기 때문이다.

### Ⅲ. 경제성 비교분석

#### 1. 최적 셀의 수를 구하는 과정

경제성 분석에서 가장 먼저 고려해야 할 것은 중요 변수인 가입자 밀도  $d$ 와 서비스 지역의 한 변의 길이인  $R$ 을 현실에 맞도록 합리적으로 설정하는 것이다. 또한 이렇게 설정된  $d$ 와  $R$  하에서 최적의 셀수를 구하는 것이다. 이러한 과정은 비용산정 구조를 기준 논문<sup>11)</sup>에서처럼 총비용을 가입자수가 늘어감에 따라

단순히 나누는 것과는 달리 가입자밀도에 따라 주어진 서비스영역의 셀 수를 최적화해 나가는 과정을 삼입하여 총비용의 동적 최적화를 도모할 수 있도록 해 준다.

이중성형구조에서는

$$(15-1) \quad \left\lceil \sqrt{\left[\frac{d R^2}{30}\right]+1} \right\rceil = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{홀수}$$

$$(15-2) \quad 1 + \left\lceil \sqrt{\left[\frac{d R^2}{30}\right]+1} \right\rceil = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{짝수}$$

Tree & Branch 구조에서는

$$(16-1) \quad \left\lceil \sqrt{\left[\frac{d R^2}{256}\right]+1} \right\rceil = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{짝수}$$

$$(16-2) \quad 1 + \left\lceil \sqrt{\left[\frac{d R^2}{256}\right]+1} \right\rceil = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{홀수}$$

〈표 3〉 기본 변수에 대한 전제

기본변수		d(가입자수/Km <sup>2</sup> )	R(Km)	N
유효값범위	A지역	1,000 ~ 4,000	2.5 ~ 5	15 ~ 57* 6 ~ 20**
	B지역	250 ~ 1,000	5 ~ 10	15 ~ 57* 6 ~ 20**

\* 은 이중성형구조의 경우이며 구간 내에 홀수만 해당

\*\* 은 Tree & Branch 구조의 경우이며 구간 내에 짝수만 해당

11) 정해원, 박기식, 노장래, 조성준, "초고속 액세스망의 모델화 및 경제성에 대한 검토", 한국통신학회, 1997, Vol. 22 No. 12, pp.2806~2818. 과 Pupillo, L. and Conte, A., "The Economics of local loop architecture for multimedia services", Information Economics and Policy, 1998.

## 2. 전력망, 전화망, CATV망이 모두 공존하는 A지역

다음의 [그림 7-1], [그림 7-2], [그림 7-3]에서는 각 기술별로 가입자당 단위비용이 가입자 밀도에 대하여 어떻게 변화하는지를 그림으로 제시하였다.<sup>12)</sup>

먼저 [그림 7-1]에 제시되어 있는 ADSL의 경우, 가입자당 총비용에서 모뎀비용은 고정이며 서비스 영역이 클수록 그리고 가입자 밀도가 높을수록 많은 가입자가 라우터와 300가입자당 하나씩 필요한 DSLAM 장비가격을 나누어 가지게 되므로 비용이 점차 낮아지는 것을 예측할 수 있다.

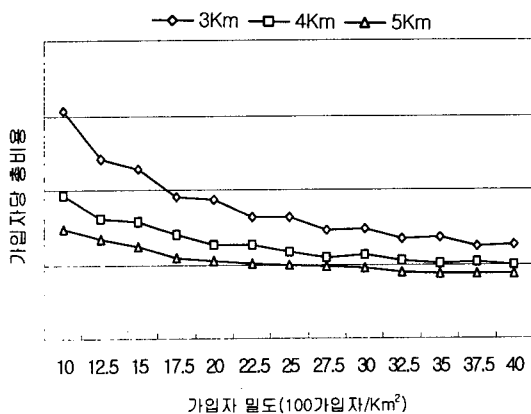
[그림 7-2]에 제시된 HFC의 경우, 하나의 ONU가 256가입자를 가지는 셀 두 개를 수용할 수 있도록 서비스 영역의 셀 수를 식 (16)에 의해서 정하게 되는데, 이 때문에 N 값이 변하는 순간 ONU와 Amp가 더 필요하게 되어 장비 비용이 급격히 늘어나므로 그림

에서 볼 수 있는 바와 같이 큰 진폭의 변화를 보인다.

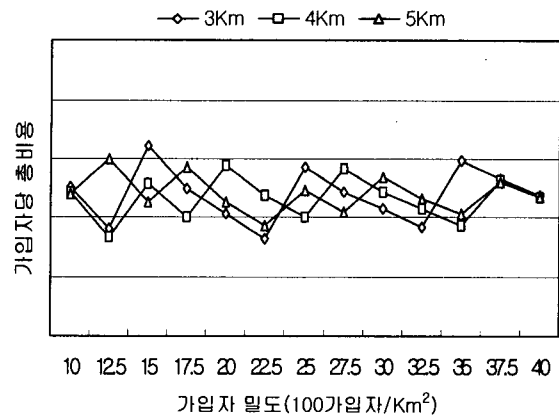
[그림 7-3]에 제시된 PLC의 경우에도 비용이 급격히 하락하는 구간이 존재하는데 이는 가입자 밀도에 따라 N이 비례적으로 증가하다가 가입자밀도는 증가하는데 반해 서비스영역 내 셀의 수가 증가하지 않는 구간 즉, N이 변하지 않는 구간에서 비용이 급격히 하락하는 것으로 분석되었다. 이것은 계수  $[N \cdot 29] + 1$ 에 의하여 근본적으로 비용의 큰 부분을 차지하는  $(PC_R + PC_{Hu} + PC_{hC} + 2PC_{BF})$ 가 증가되기 때문이다. 또한 급격히 상승하는 구간은 N이 갑자기 커지는 구간이다. 그러나 그래프에서 보이는 간격과는 달리 그 절대적인 값은 매우 작은 범위에서 변화하고 있는 것이므로 사실상은 거의 변화가 없다고 보아야 한다.

아래의 [그림 7-4]에서는 서비스 영역의 한 변의 길이가 4Km인 경우, 세 가지 기술대안에 대하여 가입자당 총비용을 비교하였다. 가입자밀도에 관계없이 전반적으로 HFC, ADSL, PLC의 순서로 비용이 높은

[그림 7-1] 밀도와 서비스영역 크기에 따른 ADSL의 비용곡선(A지역)

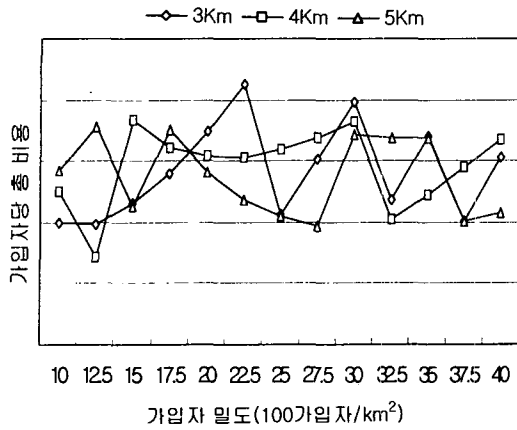


[그림 7-2] 밀도와 서비스영역 크기에 따른 HFC의 비용곡선(A지역)

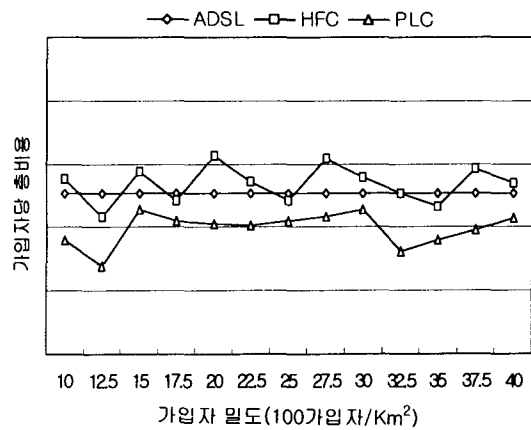


12) 0에서 10 사이의 값은 가입자당 총비용을 정규화한 값으로 각 그래프마다 동일한 기준을 적용한 것이 아님은 물론 각 그래프 간 간격사이의 비용도 동일하지 않다. 이는 신규로 진입한 초기사업자들에게는 가입자당 비용의 상대적 격차가 민감한 결과일 수 있기 때문에 단위를 알아볼 수 없도록 인위적으로 취하여진 조치이다.

[그림 7-3] 밀도와 서비스영역 크기에 따른 PLC의 비용곡선(A지역)



[그림 7-4] 각 기술대안의 가입자당 단위비용 곡선(A지역 4Km² 기준)



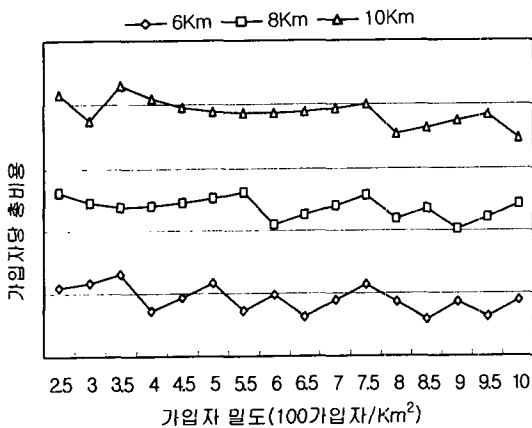
것을 보여주고 있으나, 가격 추정자료의 오차를 감안한다면 현저한 차이가 있는 것으로 판정하기가 곤란하다. 즉 A지역에서는 세 가지 기술대안 중 어느 하나도 가입자당 비용 측면에서 극복 불가능할 정도의 획기적인 우위를 점하지 못하고 있음을 알 수 있다.<sup>13)</sup>

[그림 8-1]에 제시된 ADSL의 경우, 가입자 밀도가 같더라도 서비스영역이 넓을수록 망 포설비용이 커지므로 가입자당 총비용이 전체적으로 넓게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 한편, [그림 7-1]에서와 마찬가지로 가입자당 비용이 밀도가 높을수록 서비스영역이 작을수록 감소하였다.

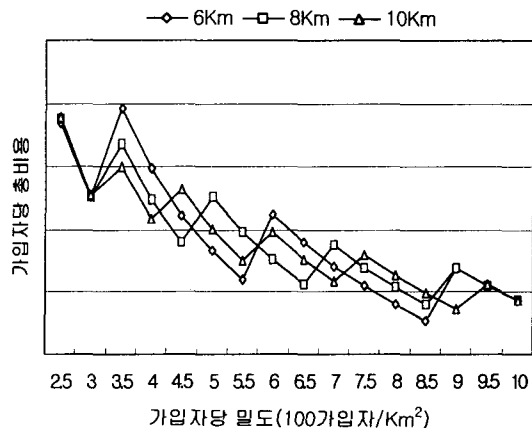
### 3. 전력망 시설만이 있는 B지역

[그림 8-2]에 제시된 HFC의 경우, [그림 7-2]와

[그림 8-1] 밀도와 서비스영역 크기에 따른 ADSL의 비용곡선(B지역)



[그림 8-2] 밀도와 서비스영역 크기에 따른 HFC의 비용곡선(B지역)



13) ADSL과 HFC 비용의 비교분석은 홍정식의, "정보인프라 조기구축지원을 위한 네트워크 산업 정책방향", 대한품질경영학회, (1999)의 연구결과에 의할 때 한 가입자당 서비스별 표준원가는 HFC가 ADSL보다 약 10%정도 높은 것으로 제시되어 있다.

마찬가지로 약간의 주기성을 가지고 가입자당 총비용이 일시적으로 급격히 증가하는 현상을 보이고 있다. 급격한 비용증가의 원인은 가입자 밀도가 증가하여 N 값이 변하는 순간 ONU와 Amp가 더 필요하게 되어 장비 비용이 급격히 늘어나기 때문이다.

[그림 8-3]에서 제시된 PLC의 경우, 망의 포설비용이 없으므로 가입자당 비용은 [그림 7-3]과 같이 가입자밀도와 관계없이 거의 평탄한 모습을 보이고 있다. 한편 가입자당 비용의 전반적인 경향은 가입자밀도가 높아질수록 서비스영역이 커질수록 상승하였다.

[그림 8-4]에서는 서비스영역의 한 변의 길이가 8Km인 경우 세 가지 기술대안에 대하여 가입자당 비용을 비교하였다. 그림에서 제시된 결과에 의하면, 가입자 밀도가 낮은 부분에서는 HFC, ADSL, PLC 순서를 보이게 되나, 가입자 밀도가 600을 넘어서면 ADSL, HFC, PLC의 순서로 비용이 낮아진다. 이 그림에서 가장 중요한 정보중의 하나는 PLC가 ADSL이나 HFC에 비해서 망 포설비용이 없기 때문에 매우 낮은

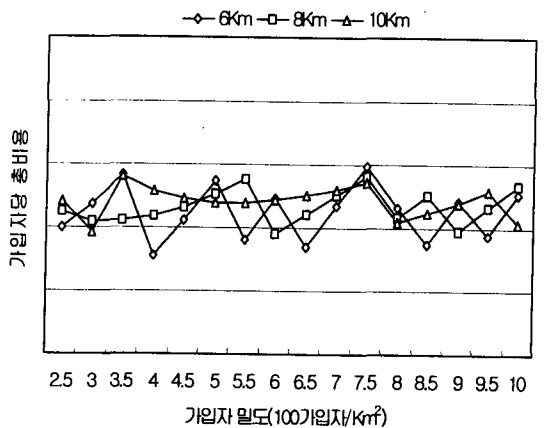
비용을 보여주고 있다는 점이다. 이는 추정된 비용요소자료의 부분적 오차를 고려하더라도 매우 큰 비용의 차이므로 전화망이나 CATV망이 포설되어 있지 않은 농촌지역의 경우 PLC가 가입자당 비용면에서 절대적인 우위를 점하고 있음을 보여주는 것이다.<sup>14)</sup>

#### 4. 서비스영역 내의 셀 수가 가입자당 비용에 미치는 영향

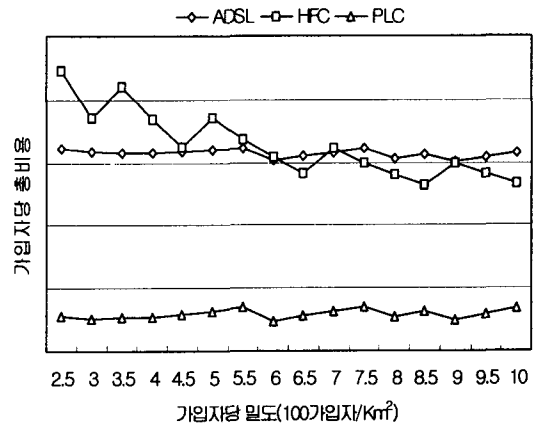
서비스 영역내의 셀 수가 가입자당 비용에 미치는 영향을 이중성형구조를 바탕으로 하는 ADSL, PLC와 Tree & Branch 구조를 바탕으로 하는 HFC로 각각 [그림 9]과 [그림 10]에서 나타내었다.

[그림 9]에서 보여지는 일반적인 현상은 셀 수가 증가할 때에는 비용이 서서히 증가하고 셀 수의 변화가 없는 부분에서는 비용이 갑자기 감소한다. 셀 수의 증가는 지속적인 초과설비 및 초과투자 상태에 있음을 의미하며 셀 수가 변하지 않는 것은 설비의 투자

[그림 8-3] 밀도와 서비스영역 크기에 따른 PLC의 비용곡선(B지역)

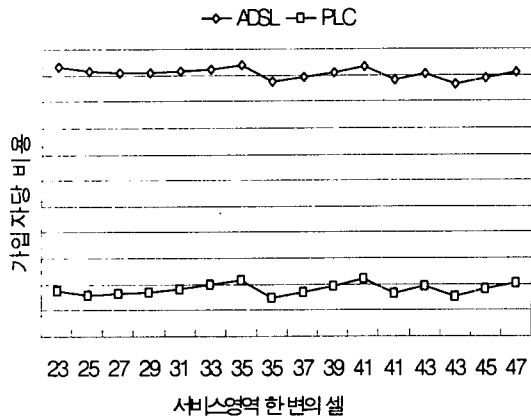


[그림 8-4] 각 기술 대안의 가입자당 단위비용 비교(B지역 R=8km 기준)

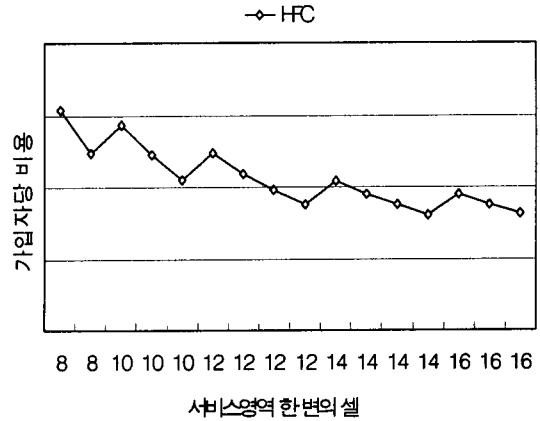


14) 가입자밀도(또는 서비스 침투율)가 증가함에 따라 가입자당 총비용이 감소하는 본 연구의 분석결과는 기존의 연구에서도 이미 확인된 바 있다. 대한품질경영학회 (1999), Pupillo and Conte (1998), 정해원, 박기식, 노장래, 조성준 (1997) 등을 참조.

[그림 9] 서비스영역의 셀 수에 따른 가입자당 비용곡선 ADSL, PLC (B지역 R=8km 기준)



[그림 10] 서비스영역의 셀 수에 따른 가입자당 비용곡선 HFC (B지역 R=8km 기준)



없이 가입자수만 증가함을 나타낸다. 또한 거의 변화가 없는 듯 보이지만 사실상 약간의 비용하락이 있으므로 네트워크 산업의 특징인 규모의 경제성을 보여주고 있다. 그러나 가입자가 늘어남에 따라서 가입자당 비용이 크게 하락하지 않음은 초기에 모든 투자를 다하는 것이 아닌 동적 최적화 상태에 있기 때문이다.

[그림 10]에서 보여지는 일반적인 현상은 셀의 수가 변하지 않을 때에는 비용이 급격히 하락하며 셀의 수가 증가할 때에는 비용이 급격히 상승함을 보여주고 있다. [그림 9]에서와 마찬가지로 셀 수의 증가는 초과설비 및 초과투자 상태에 있음을 의미하며 셀 수가 변하지 않는 것은 설비의 투자 없이 가입자수만 증가함을 나타낸다. 특히 HFC에 있어서는 광케이블과 동축케이블의 단위길이(km)당 비용 및 그 설치비용이 비싸기 때문에 ADSL, PLC에 비해서 급격한 비용의 상승 및 하락을 보이고 있으며, 전체적으로도 뚜렷한 규모의 경제성을 보여주고 있다.

이 분석에서 주장하고자 하는 것은 최적의 셀 수를 구하는 과정이 가입자당 투자비용의 동적 최적화를 가능하게 해 준다는 것이다. 이는 가입자당 비용이

가입자밀도가 증가함에 따라 최적 셀 수에 의해 약간의 변동은 있지만 전체적으로 거의 변화를 보이지 않고 있음에서 증명되고 있다. 특히 농촌지역의 비용곡선은 가입자망의 포설비용이 포함되어 있어 규모의 경제성을 보여주어야 함에도 다른 논문에서 보이는 바와 같이 현저한 규모의 경제성을 보이지 않고 있음은 가입자 밀도의 변화에 따라 가입자당 비용의 동적 최적화를 이루는 과정이 식 (13), (14)을 통해 이루어지고 있음을 보여준다.

#### IV. 결론 및 정책적 시사점

경제성 분석에서 볼 수 있듯이 A지역에서는 망 포설비용이 없기 때문에 각 기술별로 비용의 뚜렷한 차이를 관측할 수 없었다. 그러나 ADSL이나 CATV망이 포설되어 있지 않는 B지역에서는 PLC의 비용 상우위가 현격하게 드러남을 확인할 수 있었다. 본 연구의 분석결과는 새롭게 등장하는 가입자망 기술로서 PLC가 모든 상황에서 절대적으로 비용우위를 점

하고 있는 것은 아니며, 대안 망들의 기반설비가 미약한 지역에 대해 우위가 있음을 보여주고 있다. 이러한 분석결과는 일차적으로 PLC가 정보화시대 그 문제의 심각성이 날로 커지고 있는 정보화 격차를 해소시키는데 주요한 기여를 할 수 있다는 것을 보여준다. 즉, 정보화 기반설비로서 ADSL이나 HFC를 위한 기초적인 망이 부설되어 있지 않은 낙후지역 내에서 이미 포설되어 있는 전력선을 가입자망으로 활용할 수 있기 때문에 이들 지역의 정보화 수준을 한 단계 끌어올릴 수 있는 주요한 수단이 될 수 있다. 이는 또한 정보화 기반설비가 전력선망에 비하여 미비한 개도국 대상의 기술수출 가능성을 보여주는 것이기도 하다.

지금까지 ADSL, HFC, PLC에 대한 비용측면에서의 경제성 비교분석의 방법론과 간략한 분석결과를 살펴 보았다. 통신망 특히 가입자망의 경제성을 비교한 타 연구들에서는 서비스영역 내에서 인구밀도를 가정하고 침투율을 변수로 분석하는 것을 일반적인 절차로 하고 있다. 본 논문에서는 가입자밀도를 변수로 하고 가입자밀도가 변화함에 따라 가입자 수에 가장 적합한 서비스영역 내의 셀의 수를 정해진 규칙에 따라 도출함으로써 최적화가 이루어질 수 있도록 하였으며, 서비스 영역을 정방형으로 택하고 가우스기호를 도입함으로써 가입자 수가 임계 인원을 넘기면 셀의 수가 확장되는 과정을 묘사할 수 있도록 하여 빠르게 변화하는 수요를 대비한 초과투자의 효과를 반영할 수 있도록 하였다. 한편, 각 기술에 맞는 망 구조모형 및 조직도를 설정함으로써 확실적인 모형의 채택에 따른 연구결과의 오류를 사전에 방지하고자 하였다.<sup>15)</sup>

향후 본 연구의 결과를 확장하기 위하여 최근 관심

의 대상이 되고 있는 B-WLL과 인공위성을 이용한 가입자망 기술에 대한 경제성 분석이 추가되어야 할 것으로 보여진다. 또한 기술의 가변성과 비용 및 수요의 불확실성이 고려되어 종합적인 경제성 분석이 시도되어야 할 것이다. 이러한 분석 결과가 종합되면, 향후 초고속 가입자망의 전략적 진화방안을 수정해나갈데 있어 기초자료로서 기여할 수 있게 될 것이다.

## 참 고 문 헌

- 기인텔레콤 (<http://www.keyin.co.kr>).
- Notelnetworks (<http://www.nortelnetworks.com>).
- 전기연구소 (<http://potel.keri.re.kr/plc>).
- 정해원, 박기식, 노장래, 조성준, “초고속 액세스망의 모델화 및 경제성에 대한 검토”, 한국통신학회, 1997, Vol. 22 No. 12, pp.2806~2818.
- 홍정식의, “정보인프라 조기구축지원을 위한 네트워크 산업 정책방향”, 대한품질경영학회, 1999. 12.
- 한국전자통신연구원, 「기술/시장 보고서 - xDSL」, 1999. 9.
- 한국전자통신연구원, 「기술/시장 보고서 - 케이블모뎀」, 1999. 9.
- Reed, D.P., *Residential Fiber Optic Networks: An Engineering and Economic Analysis*, Artech House, INC. Boston, London, 1992.
- Pupillo, L. and Conte, A., “The Economics of local loop architecture for multimedia services”, *Information Economics and Policy*, 1998.
- PLC World Congress, 2000년판.

15) 본 논문은 PLC기술이 아직 완전히 세팅되지 않은 상태라 어려움이 많았다. 예를 들어 트랙픽 밀도도 망 설계의 최적화와 경제성에 고려되어야 할 요소이나, 아직 이 부분에 대한 자료를 구하기 힘들어 고려하지 하지 않았다. 이 부분이 고려된다면 보다 신빙성있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.