

신규 가입자망 기술의 경제성 평가를 위한 망 구조모형과 그 응용

류태규*, 이정동**, 김태유***

I. 서론

II. 본론

1. 분석의 전제
2. 가입자망 구조모형 및 비용 산출식
3. 가입자망의 기술별 망 조직도 및 비용산출식
4. 경제성 비교분석

III. 결론

ABSTRACT

Broadband access technologies plays an important role in the national information infrastructure. In the evolution path of the information infrastructure, the relative economics of alternative access technology is the most critical determining factor.

In this paper, we discuss the economics of local loop access technologies of existing technologies, such as, ADSL, HFC, and new PLC. To do this, we suggest appropriate configuration of access network system and its associated numerical equations. To modelize access network system and drive the numerical equations, we consider the DS (Double Star) and the T&B (Tree & Branch) architecture and analyse the adequate block diagram of each access system for each technology. We introduce the density of subscriber as a key variable and the equation of allocating

* 서울대학교 기술정책대학원과정 석사과정

** 서울대학교 기술정책대학원과정 조교수

*** 서울대학교 기술정책대학원과정 교수

optimal number of cell in a service area. We analyze the relative economics of local loop architecture in two different situations, that is, urban and rural.

From the empirical implementation, we found that for the case of urban area, where the cost of cable and infrastructure is not necessary, there is not much difference in the cost per one subscriber. However, for the case of rural region, we found that there is remarkable difference in the cost per one subscriber among technologies. Therefore we conclude that the economics of local loop architecture is depend on the density of subscriber and existing network infrastructures.

we hope that this paper contribute to the optimal technology selection of consmer, technology providers, and government.

1. 서론

세계는 정보화·지식기반 사회에 이미 들어서 있으며 그 이행 속도를 더욱 빠르게 진행시키고 있다. 그리고 선진국·후진국 할 것 없이 모두가 제 2의 산업 혁명이라고 하는 정보·지식의 혁명시대에서 선두로 나서기 위해 국가적인 역량을 총결집하고 있는 상황이다. 비록 산업화과정에서 후진국이 되었다 할지라도 정보화·지식기반 사회에서 앞서나갈 수 있다면 단숨에 선진국으로 발돋움할 수 있는 기회를 잡을 수 있기 때문이다.

이렇듯 중요한 시점에서 우리가 어느 나라보다도 빨리 정보화·지식기반사회로 나아가기 위해서는 무엇보다 통신의 용이성 및 보편성을 확보하는 것이 절실히 필요한 과제이다. 이에 정부는 초고속 국가통신망의 구축, 컴퓨터 및 통신단말기의 보급 및 이용자교육, 인터넷의 보급, 각종 데이터베이스의 구축 등에 힘쓰고 있다. 한편 사용자들의 측면에서도 보다 빠른 속도와 양질의 정보통신 서비스를 제공받고자 하는 욕구가 날로 증대되고 있다. 이러한 욕구를 충족시키고 정보화의 국가적 수준을 진일보시키기 위해서는 네트워크 말단에 이르는 초고속 정보통신망의 완성, 즉 소위 Last One Mile 문제가 일차적으로 해결되어야 한다.¹⁾

현재의 음성대역 중심 전화망을 이용하는 것은 이미 그 한계에 이르렀고, 이에 따라 여러 가지 기술적 대안이 속속 개발되고 있는 실정이다. 최근 전화망, CATV망, 위성, 무선 등의 여러 매체를 이용한 고속 데이터 서비스 기술이 개발되고 있고 일부는 이미 상용화 단계에 접어들고 있다. 이러한 기술적 진보의 일환으로 최근 모든 가정을 거미줄처럼 연결하고있는 전력망을 통신망으로 활용하기 위한 PLC (Power Line Communication: 전력선통신)에 대한 기술개발경쟁이 치열하게 전개되고 있다. 특히 PLC는 전체 통신망

1) Last one mile을 규정하는 것에 대해서는 다양한 견해가 존재하고 있으나 교환기에서 가입자구간 혹은 MDF에서 가입자구간을 말하는 것이 보통이며, 특히 ADSL(한국통신ADSL은 전화국의 DSLAM에서 가입자까지 5.6km), B-WLL(LoS가 확보된 전제하에서 1~4km까지 서비스 가능)등과 같이 거리가 1~5km 이내인 서비스를 'Last one mile', 'Last four mile'이라 흔히 정의한다.

구성비용의 40~50%를 차지하는 가입자망의 포설²⁾이 필요하지 않은 대안기술로써 가입자망 구축의 막대한 비용을 절감할 수 있다는 점에서 매우 큰 주목을 받고있다.

통신산업은 그 경제적 중요성이 지대할 뿐만 아니라 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 급속히 변화하는 통신기술은 시장 진입이전에 기술 개발 상황과 함께 시장상황에 따른 경제성을 면밀히 분석하여야만 올바른 기업 전략 및 정부 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.

2) 차균현, 이영호, 박진우 (1999)를 참조. 일부 전문가들에 따라서는 통신망시설 전체 투자비의 60%정도를 가입자망이 차지한다고 말하는 사람도 있다.

II. 본론

1. 분석의 전제

통신사업자는 이미 설치된 가입자망의 기반 시설, 가입자의 특성과 신규 서비스의 수용여부, 통신 사업의 경쟁구도, 망 진화계획 등을 고려하여 최적의 가입자망 기술을 선택하게 된다. 이러한 가입자망 구축의 최대 결정요인이자 선결 검토사항중의 하나가 비용측면의 경제성이다.

경제성을 평가하기 위해서는 먼저 경제성 평가에 포함되는 비용요소를 결정하여야 한다. 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 도시지역과 농촌지역³⁾의 상황이 다를 수 있다는 점에서 도시지역에서는 케이블 및 포설비용을 고려하지 않고, 농촌지역에서는 이를 포괄하는 차별화된 접근법을 취하였다. 국내의 경우 전력선과 전화선의 경우 보급율이 100%에 육박하고 있는 실정이다. 또한 CATV망의 경우에도 대도시지역이나 대규모 아파트단지에는 이미 ADSL망과 함께 가입자망이 대체로 설치되어 있는 상태이다. 따라서 도시지역에서 ADSL, HFC, PLC 간의 경제성을 비교 분석하고자 할 때는 지하관로나 전주, 케이블 포설비용 등과 같은 전송로 기반시설 설치비용은 고려하지 않아야 현재의 시점에서 정확한 비교가 될 것이다. 한편, 농촌지역의 경우 전력선을 이용한 PLC를 제외하고, ADSL과 HFC의 경우 선로 기반시설이 필요하기 때문에 기반시설비용을 감안하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 대도시의 주택 및 상가밀집지역은 망 구조모형 없이 그리고 농촌지역은 망 구조모형에 기반한 케이블 및 전송기반시설 설치비용을 추가하는 두 가지 차별화된 방식으로 경제성을 비교 분석함으로써 분석의 현실성을 높이고자 한다. 또한 교환기와 국간 전송로인 코어 통신망의 고속 디지털화 및 지능화는 완성되었다고 보고 가입자망에 대하여 비용측면에서 경제성을 비교·분석한다.

2. 가입자망 구조모형 및 비용 산출식

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 1>에 제시된 바와 같다.

가입자망의 구조모형은 기본적으로 케이블 및 전송로 기반시설 설치비용을 산출하기

3) 본 논문에서는 인구밀도가 상대적으로 희박한 지역을 편의상 농촌지역이라 부르기로 한다.

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 이중성형구조가 적절하다. CATV망을 이용한 HFC의 경우, 망의 구조가 Tree & Branch구조로 이루어지는 것이 일반적이고⁴⁾, 현재 우리나라의 HFC 망구조 또한 Tree & Branch구조를 보이고 있다. 따라서 망 구조모형을 고려하는데 있어 이 두 가지 구조에 맞는 모형을 각각 구성하고, 이것을 이용하여 농촌이나 산간벽지 등 통신기반시설이 아직 갖추어져 있지 않은 지역의 비용이 도출할 수 있다.

1) 이중성형(Double-Star) 구조⁵⁾

이중성형 망구조를 가지는 모형에서 [그림 1]과 같이 가입자는 서비스 영역에서 일정한 밀도를 가지는 분포를 한다고 가정한다. 그리고 일정한 규모의 기본 서비스 영역인 셀(Cell)에서 트래픽을 2차 노드에서 모아 1차 노드에 접속하는 이중성형구조를 고려한다. 각 셀당 최대 가입자 규모는 PLC Hub와 ADSL의 DSLAM이 약 300가입자 정도를 수용할 수 있기 때문에 1차 노드(Primary Node : Nd1)는 최대 300가입자, 2차 노드(Secondary Node : Nd2)는 최대 30가입자를 수용하는 것으로 가정하는 것이 타당하다.

4) Reed (1992)를 참조

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

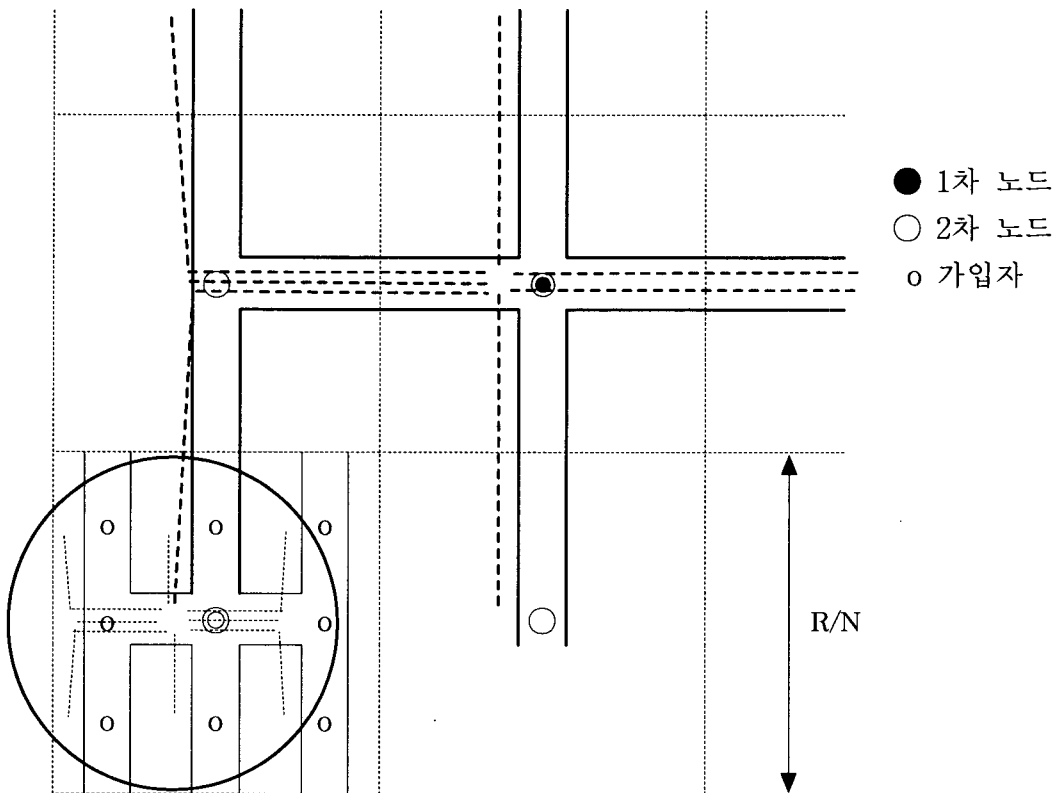
<표 1> 각 초고속 가입자 망의 비용요소

망종류	비용요소	비용요소에 대응하는 장비
ADSL	AC_m	ADSL모뎀(내/외장형/라우터형 평균치, Line card와 Splitter 포함)
	AC_R	상용 Router
	AC_{AM}	DSL Access Mutiplexer(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 전송로시설 설치가격
	AC_{2TINF}	Nd2와 Tm사이의 단위길이(Km)당 전송로시설 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 단위길이당(Km)당 동축케이블 가격
	HC_{HOINF}	Headend와 ONU 사이의 단위길이(Km)당 전송로시설 설치가격
	HC_{OTINF}	ONU와 Tm 사이의 단위길이당(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

그리고 이용자가 접속하는 점을 터미널(Terminal)이라고 부르며 'Tm'으로 표기하고, 사용자 단말장치인 STB (Set Top Box)는 주로 가입자측 단말장치인 PC, 전화기, TV 등을 의미하므로 비용에 포함시키지 않았다. 그리고 <표 2>에서는 이중성형 망 구조모형에 대한 기본전제를 정리하였다.

<표 2> 이중성형 망 구조모형에 대한 기본 전제

모델의 서비스 영역	한 변의 길이가 R km인 정방형 구조
이용자의 밀도분포	가입자의 밀도가 d (가입자수/ km^2)인 일정한 분포
셀의 형상	한 변이 R/N 인 정방형구조로 N 은 홀수로서 한 변에서의 셀의 개수
모델 서비스 영역내의 셀수	$n = N^2$



[그림 1] 이중성형 망 구조모형

Nd_1 과 Nd_2 간의 케이블비용은 케이블 연장길이(L_{12CA})와 단위길이(Km)당 케이블가격(AC_{12CA})의 곱으로 정의되며, Nd_1 과 Nd_2 간의 전송로 기반시설 설치비용은 전송로 기반시설 연장길이(L_{12INF})와 단위길이(Km)당 전송로시설 설치가격(AC_{12INF})의 곱으로 정의된다. [그림 1]과 같은 이중성형 망 구조모형을 고려할 때, Nd_1 과 Nd_2 사이의 케이블 연장 길이와 Nd_1 과 Nd_2 간의 전송로 기반시설의 연장 길이는 각각 다음의 식 (1), (2)와 같다. 그리고 Nd_2 와 T_m 간의 케이블 연장 길이(L_{2TCA})와 전송로 기반시설 연장길이(L_{2TINF})도 각각 식 (3), (4)와 같이 나타내어진다.

$$(1) L_{12CA} = \frac{(n-1)}{2} \cdot R \quad (\sqrt{n} = N \text{ 이 홀수인 경우 성립})$$

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

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

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

2) Tree & Branch 구조⁶⁾

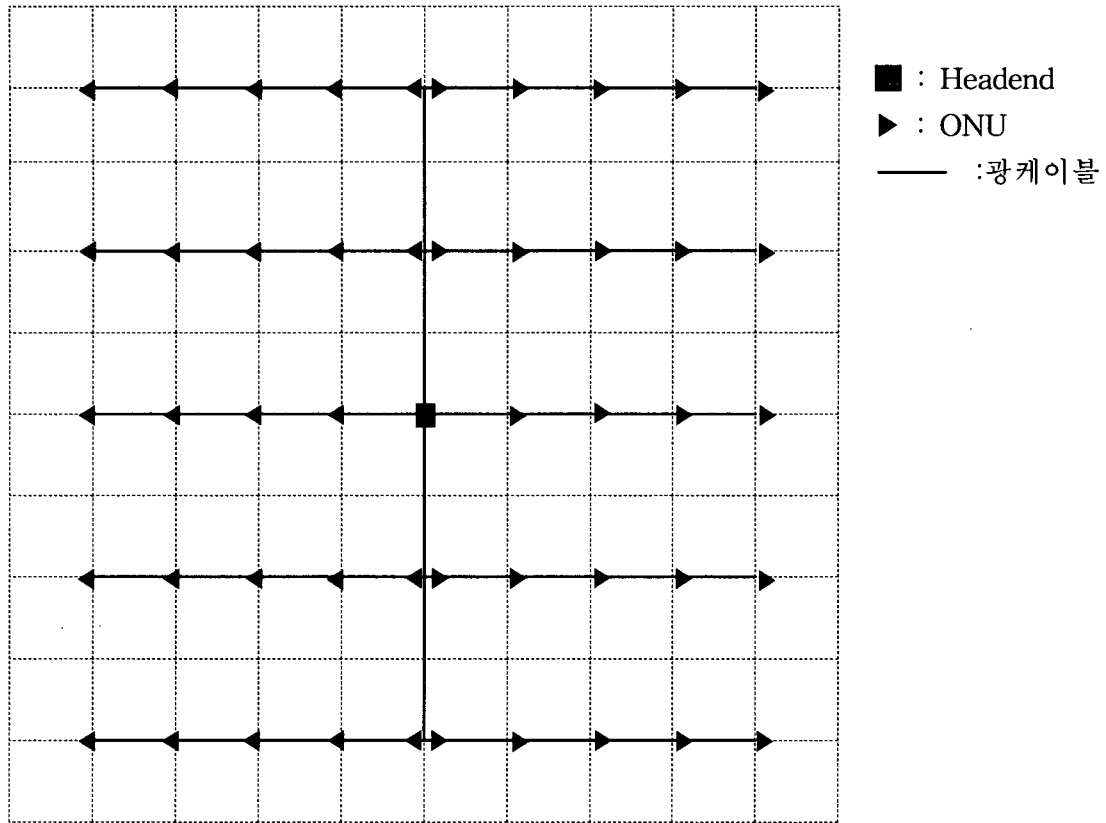
아래의 <표 3>에서는 Tree & Branch 망 구조의 기본전제를 제시하였으며, Tree & Branch 구조를 형상화하면 아래 [그림 2]와 [그림 3]과 같이 표현할 수 있다. 하나의 ONU는 보통 50~500가입자를 수용하는 구조⁷⁾를 가지게 된다. 본 논문에서는 하나의 ONU는 512가입자를 수용하는 구조를 갖는다고 가정한다. Tree & Branch 구조의 특성에 따라 하나의 광케이블에 접속되는 ONU는 동축케이블로 갈라지고 256 가입자를 가지는 [그림 3]과 같은 하나의 셀(Cell)이 ONU의 양쪽에 존재하며, 각 셀은 다시 동축케이블로 Tree & Branch구조를 이루며 32 가입자를 수용하는 8개의 동축케이블로 나뉘어 다시 4명의 가입자를 수용하는 세부가지로 나뉘어지는 구조이다. 하나의 셀을 구체화한 것이 [그림 3]이며, <표 3>에는 Tree & Branch 구조모형의 기본적인 전제를 요약하였다.

<표 3> Tree & Branch 망 구조의 기본 전제

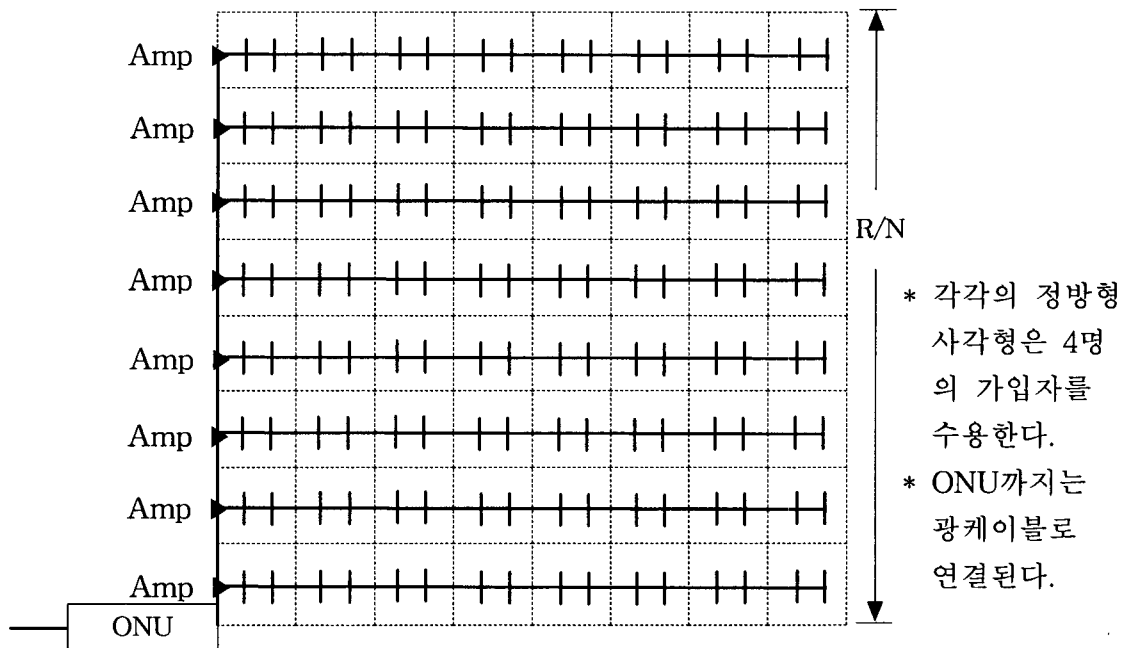
모델의 서비스 영역	한 변의 길이가 R km인 정방형 구조
이용자의 밀도분포	가입자의 밀도가 d(이용자수/km ²)인 일정한 분포
셀의 형상	한 변이 R/N인 정방형구조이며 N은 짝수로서 한 변에서 셀의 개수
모델 서비스 영역내의 셀수	n=N ²

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

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



[그림 2] Tree & Branch 구조의 HFC 망



[그림 3] Tree & Branch 망 구조 중 하나의 셀 형상⁸⁾

8) 하나의 셀은 64개의 Sub-Cell로 이루어지고 각 Sub-Cell은 4명의 가입자를 수용하는 구조를 가정하

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 전송기반시설의 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 케이블 총 연장길이와 전송기반시설의 총 연장길이는 식 (5)과 같이 나타내어진다.

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

그리고 ONU와 Tm 간의 케이블 총 연장 길이(L_{OTCA})와 전송로 기반 시설 총 연장 길이(L_{OTINF})도 HFC망에서는 여러 가입자가 동축케이블 하나를 공유하기 때문에 서로 같고, 따라서 식 (6)과 같이 나타내어진다.

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

3. 가입자망의 기술별 망 조직도 및 비용산출식

가입자망의 기술대안별로 구체적인 비용을 도출하기 위해서는 무엇보다 각 기술의 특성을 완전히 고려한 망 조직도가 설정되어야 한다. 그리고 <표 1>에 정리한 비용요소와 각 기술에 적합한 망 구조모형을 바탕으로 망 조직도를 결합하여 대도시 주거 및 상업 밀집지역과 ADSL이나 CATV망이 포설되어있지 않는 농촌지역으로 구분하여 비용산출식을 도출한다.

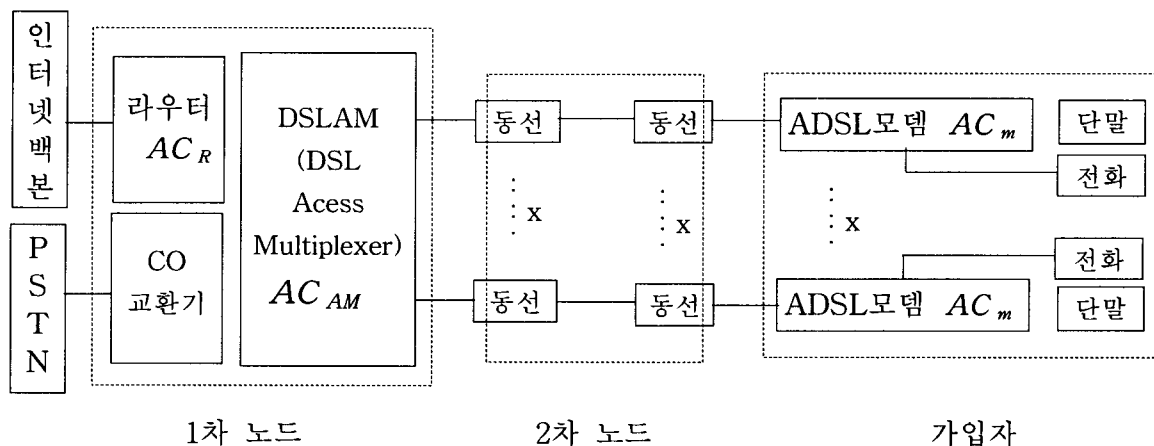
1) ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)

먼저 동선으로 조직된 기존 전화선로에 ADSL기술이 적용된 가입자계⁹⁾를 모델화하여 나타내면 다음의 <그림 4>와 같이 제시될 수 있다. ADSL은 비교적 단순한 망조직을

였다. 따라서 하나의 ONU는 약 512가입자를 수용하게 된다.

9) 하나로통신의 경우, 전화국에서 가입자의 remote node까지 광케이블로 연결이 되고 가입자의 remote node에 DSLAM 장비를 두고 각 가입자를 동선으로 연결하는 망구조를 선택하고 있다. 그러나 본 논문에서는 ADSL의 전형적인 기술형태를 기본으로 삼았으며 한국통신(KT)는 이러한 형태의 망구조를 통해 실제로 서비스를 하고있다.

가진다. 공중전화망(PSTN)과 연결되는 전화국 교환기와 Internet 백본망과 연결되는 라우터(혹은 ATM 교환기)는 다시 DSLAM(DSL Access Multiplexer: DSL 다중화장치 및 모뎀과 Splitter포함)을 거쳐 전화선망으로 연결되어 각 가입자의 ADSL모뎀으로 1:1 연결이 된다. (ETRI (1999a))



[그림 4] ADSL의 망 조직도

ADSL기술이 적용된 가입자망의 대도시지역 총비용(TAC_{city})과 농촌지역 총비용($TAC_{country}$)는 각각 식 (5), (6)와 같이 나타나고, 이로부터 도출되는 한 가입자당 단위 전송비용 AC_{city} (or $AC_{country}$)는 식 (7)과 같이 주어진다.

$$(5) TAC_{city} = dR^2 \cdot AC_m + \left(\left[\frac{dR^2}{300} \right] + 1 \right) \cdot AC_{AM} + AC_R^{10}$$

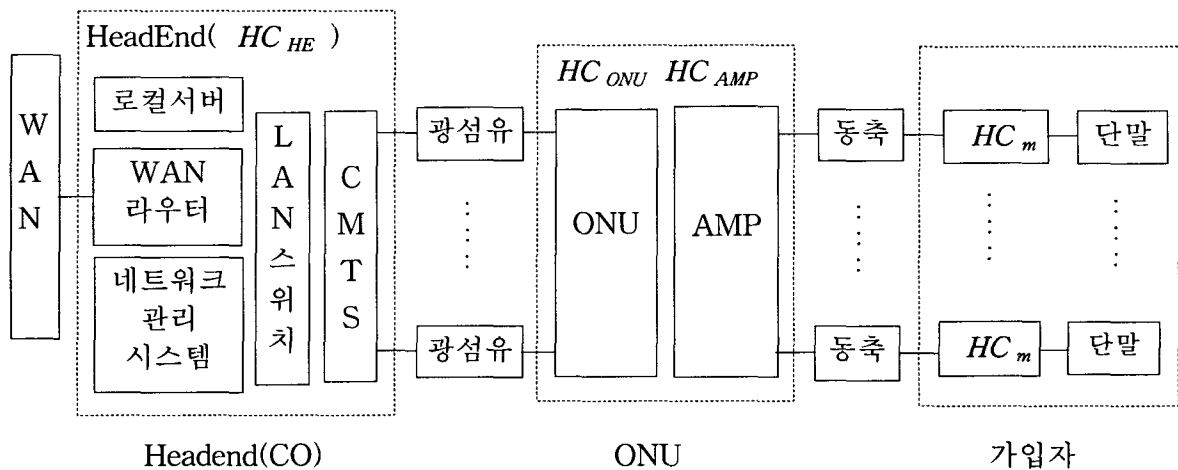
$$(6) TAC_{country} = dR^2 \cdot AC_m + \left(\left[\frac{dR^2}{300} \right] + 1 \right) \cdot AC_{AM} + AC_R + AC_{12CA} \cdot L_{12CA} \\ + n \cdot AC_{2TCA} \cdot L_{2TCA} + AC_{12INF} \cdot L_{12INF} + n \cdot AC_{2TINF} \cdot L_{2TINF} \\ = dR^2 \cdot AC_m + \left(\left[\frac{dR^2}{300} \right] + 1 \right) \cdot AC_{AM} + AC_R + AC_{12CA} \cdot \frac{n-1}{2} R \\ + AC_{2TCA} \cdot \frac{dR^2 - n}{2N} R + AC_{12INF} \cdot \frac{n-1}{\sqrt{n}} R + AC_{2TINF} \cdot \frac{dR^2 - n}{\sqrt{dR^2}} R$$

$$(7) AC_{city} \text{ (or } AC_{country}) = \frac{TAC_{city}}{dR^2} \text{ (or } \frac{TAC_{country}}{dR^2})$$

10) 기호 $[\cdot]$ 는 가우스 기호이며, 이는 DSLAM 장비가 최소한 300가입자당 1대씩 필요하다는 것을 의미한다.

2) HFC(Hybrid Fiber Coax)

CATV망을 이용하는 HFC의 경우 Headend와 ONU간에 광케이블을 이용하고, ONU와 Tm 간에는 동축케이블을 이용하는 방식을 적용하게 되며, 이를 모형화한 것이 [그림 5]이다. 하나의 헤드엔드에는 IP 트래픽을 처리하는 서버나 라우터와 같은 장비, 케이블모뎀과 WAN(Wide Area Network) 또는 지역서버 사이에서 데이터를 라우팅해 주는 스위치, 상, 하향 대역폭을 제어하는 채널제어기 및 네트워크 관리시스템, 그리고 헤드엔드모뎀인 CMTS(Cable Modem Termination System)등이 포함되어 있다. 분배망은 HFC망이며 양방향으로 모두 신호전송이 가능하다. 헤드엔드에서 각 가입자 셀의 중심까지는 광섬유망으로 연결되면 가입자 셀에서 각 가입자까지 동축케이블망으로 연결이되어 가입자의 케이블모뎀에 이르는 조직을 보인다. (ETRI (1999b))



[그림 5] HFC의 망 조직도

HFC기술이 적용된 가입자망의 대도시지역 총비용 (THC_{city})과 농촌지역 총비용 ($THC_{country}$)은 각각 식 (8), (9)과 같이 나타낼 수 있고, 이로부터 도출되는 한 가입자당 단위 전송비용 HC_{city} 와 $HC_{country}$ 는 식 (10)으로 주어진다.

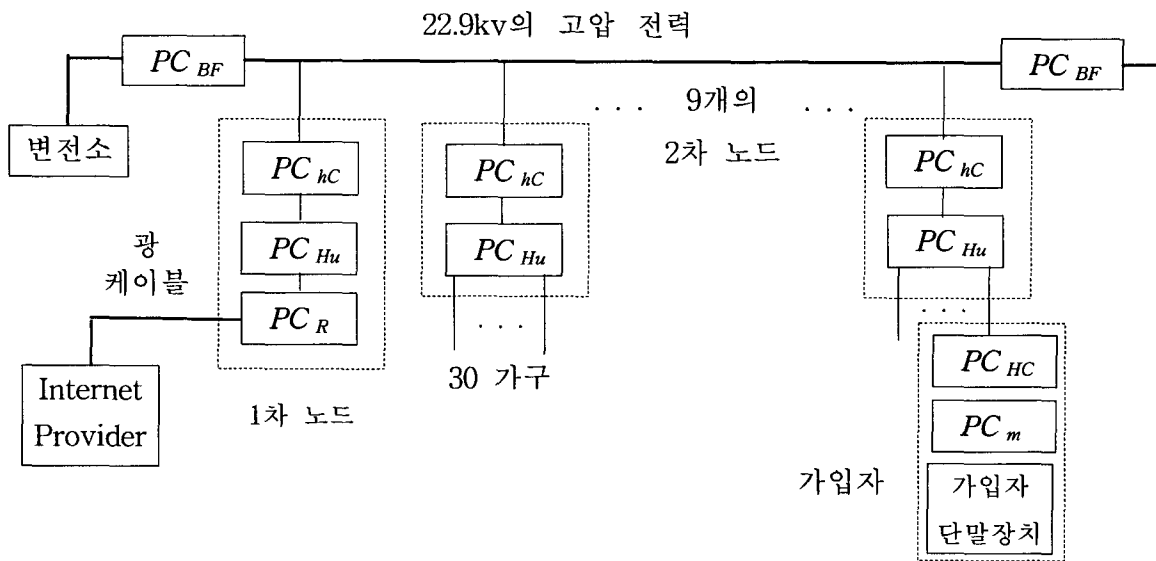
$$(8) \quad THC_{city} = \left(\left[\frac{d R^2}{256 \cdot 24^2} \right] + 1 \right) \cdot HC_{HE} + \frac{N^2}{2} \cdot HC_{ONU} + 8 N^2 \cdot HC_{AMP} + d R^2 \cdot HC_m^{11)}$$

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

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

3) PLC(Power Line Communication)

전력선으로 조직된 기존 전력선 망에 PLC기술이 적용된 가입자계를 모형화하면 다음의 [그림 6]과 같이 나타난다. 그림에서 나타난 바와 같이 IP에 연결된 라우터에 PLC허브와 고압절연 축전지를 통해 가입자망인 22.9(kV)의 고압전력선망으로 음성신호와 데이터가 전송된다. 다시 주상변압기마다 설치된 PLC허브와 고압절연 축전지를 통해 가정용 전송선로인 110/220(V)의 전력선망으로 개별 가입자에게 연결된다. 각 가입자는 PLC 홈 커플러와 PLC모뎀으로 데이터와 음성신호를 받게된다. (PLC World Congress (2000))



[그림 6] PLC의 망 조직도

PLC기술이 적용된 가입자망의 대도시 지역의 총비용(TPC_{city})과 농촌지역의 총비

용($TPC_{country}$)은 가입자 밀도에 따라 다르나 그 비용을 구하는 식은 서로 동일하다. 왜냐하면 전력선은 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.¹²⁾ 따라서 비용산출식은 각각 식 (11), (12)와 같이 주어진다.

$$(11) \quad TPC_{city} \text{ (or } TPC_{country}) = dR^2 (PC_m + PC_{HC}) + n \cdot (PC_{Hu} + PC_{hC}) \\ + \left(\left[\frac{N^2}{9} \right] + 1 \right) \cdot (PC_R + PC_{Hu} + PC_{hC} + 2 PC_{BF})$$

$$(12) \quad PC_{city} \text{ (or } PC_{country}) = \frac{TPC_{city}}{dR^2} \text{ (or } \frac{TPC_{country}}{dR^2})$$

여기서 서비스 영역의 한변에 셀의 수는 $\left[\sqrt{\left[\frac{dR^2}{30} \right] + 1} \right] = N$ 를 만족시켜야 한다. 그 이유는 주상 변압기가 커버할 수 있는 가구수가 우리 나라는 평균 가구수는 50가구 정도이며 PLC Hub가 이 주상변압기에서 구축되어 약 30가입자를 수용할 수 있도록 만들어지기 때문이다. 즉 변압기를 중심으로 셀(Cell)이 결정된다고 볼 수 있다.

4. 경제성 비교분석

본 연구에서 활용되는 각종 비용자료는 대부분의 장비들이 외국에서 수입되는 점을 감안하여 환율 1134.6원/\$ (2000년 11월 10일)을 기준으로 달러환산하였다. 비용자료는 각종 보고서 및 물가자료¹³⁾ 또는 해당 기술을 수용하고 있거나, 기술개발을 주도하고 있는 기업으로부터 확보하였다.¹⁴⁾

경제성 분석에 들어가기 전에 가장 먼저 고려해야 할 것은 가입자 밀도와 서비스 지역의 한변의 길이인 R을 합리적으로 설정하는 것이다. 또한 합리적인 d와 R 하에서 ADSL이나 PLC의 경우 하나의 셀이 30가입자를 가질 수 있도록 N(홀수)을 정해야 하며, HFC의 경우 하나의 셀이 약 256가입자가 되도록 N(짝수)을 정해야 한다. 이 과정을 간략히 수식으로 보이면 다음의 식 (13), (14)와 같다.

$$(13) \quad \text{이중성형 구조에서는} \quad \left[\sqrt{\left[\frac{dR^2}{30} \right] + 1} \right] = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{홀수}$$

12) 엄밀히 말하여, 농촌지역의 경우 가입자 밀도가 너무 희박하면 리피터(repeater)가 필요하게 되지만, 이를 고려할 때 분석이 매우 복잡해지고 이는 다른 기술도 마찬가지이므로 세 가지 기술에 대하여 동일하게 고려하지 않았다.

13) 물가자료(2000. 11), 물가정보(2000. 11), 공정가격(2000. 11)에서 비용자료 참고

14) 영업기밀로 분류될 수 있는 성격의 자료들이므로, 이하에서는 구체적인 결과수치를 제시하지 않고, 비용의 변화나 상대적으로 크기를 살펴볼 수 있는 형태로 결과를 제시한다.

$$1 + \left\lceil \sqrt{\left\lceil \frac{dR^2}{30} \right\rceil + 1} \right\rceil = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{짝수}$$

(14) Tree & Branch 구조에서는 $\left\lceil \sqrt{\left\lceil \frac{dR^2}{256} \right\rceil + 1} \right\rceil = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{짝수}$

$$1 + \left\lceil \sqrt{\left\lceil \frac{dR^2}{256} \right\rceil + 1} \right\rceil = N \quad \text{if } [\sqrt{*}] = \text{홀수}$$

본 분석에서 위의 수식에 따라 실제로 활용된 값을 정리하여 제시하면 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> 기본 변수에 대한 전제

기본변수		d(가입자수/Km ²)	R(Km)	N
유효값범위	도시지역	1,000 ~ 4,000	2.5 ~ 5	15 ~ 57* 6 ~ 20**
	농촌지역	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

여기서 본 논문은 도시지역은 R= 3, 4, 5(Km), 농촌지역은 R= 6, 8, 10(Km) 별로 나누어 가입자 밀도를 변수로 하여 경제성을 분석하려고 한다. 가입자 밀도가 유효한 값 범위¹⁵⁾ 내에서 변화하면 식 (13), (14)에 의해서 N도 따라 변화하므로 결국 셀의 수 또한 변수로 볼 수 있다. 상기 표에서 특이한 점은 농촌지역인 경우 다소 높은 밀도로 여겨지는 1,000(가입자수/Km²)를 분석대상에 포함시킨 점이다. 이는 향후 개발된 PLC 기술을 여타 대안적인 망 기반시설이 없고 오로지 전력선만이 제대로 부설되어 있는 후진국을 대상으로 수출하게 될 때의 경제성을 검토해보기 위해 포함시켰다. 이하에서는 도시지역과 농촌지역을 분리하여 가입자망 기술별 경제성 평가결과를 요약하여 제시한다.

1) 대도시 주택 및 상업밀집지역

앞서 전제에서도 설명한 바와 같이 대도시의 주택 및 상업밀집지역은 전력망은 물론이고 전화망, CATV망까지도 거의 포설이 완료되어 있는 상태이므로 망 포설비용은 고려대상에서 제외된다. 다음의 [그림 6-(a)], [그림 6-(b)], [그림 6-(c)]에서는 각 기술별로

15) 통계청 발표 인구밀도를 1가구 평균 가족수로 나누어 지역별 가구밀도를 구하고, 도시지역의 경우 아파트 등 밀집지역이 주 서비스 대상임을 고려하여 가중치를 부여하여 시도별 가입자밀도를 추산한 다음 그 변위를 고려한 후 밀도값의 범위를 설정하였다.

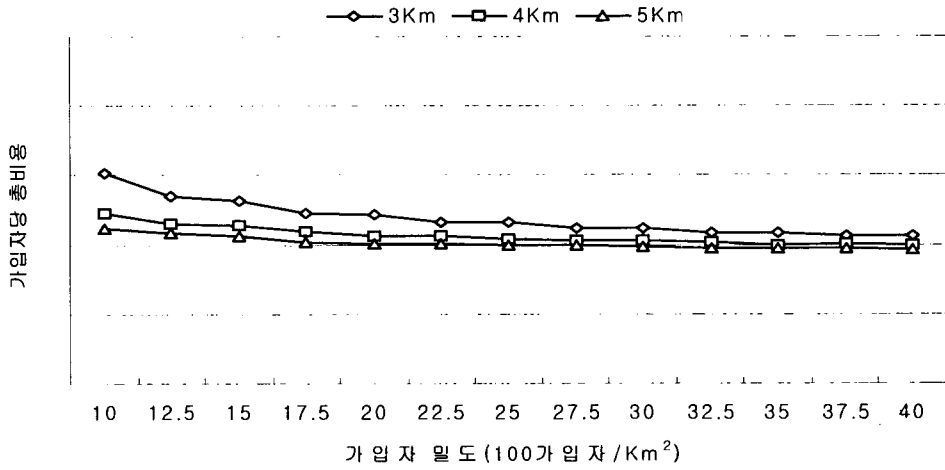
가입자당 단위비용이 가입자 밀도에 대하여 어떻게 변화하는지를 그림으로 제시하였다.¹⁶⁾ 그림에서는 또한 각 기술별로 서비스영역의 한 변의 길이가 3, 4, 5Km로 변화할 경우 비용변화를 살펴볼 수 있다.

먼저 [그림 6-(a)]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. 그러나 절대적인 수준을 분석하여본 결과 가입자밀도가 증가할수록, 가입자당 비용이 평균 0.0034% 하락하고 서비스영역의 크기가 커질수록 가입자당 비용이 평균 0.014% 하락하므로 가입자밀도나 서비스영역에 따른 큰 변화는 없는 것으로 볼 수 있다. 이는 식 (13)에 의해 가입자 수에 맞는 셀 수를 합리적으로 설정하고, 망 포설비용을 고려하지 않았기 때문이다.

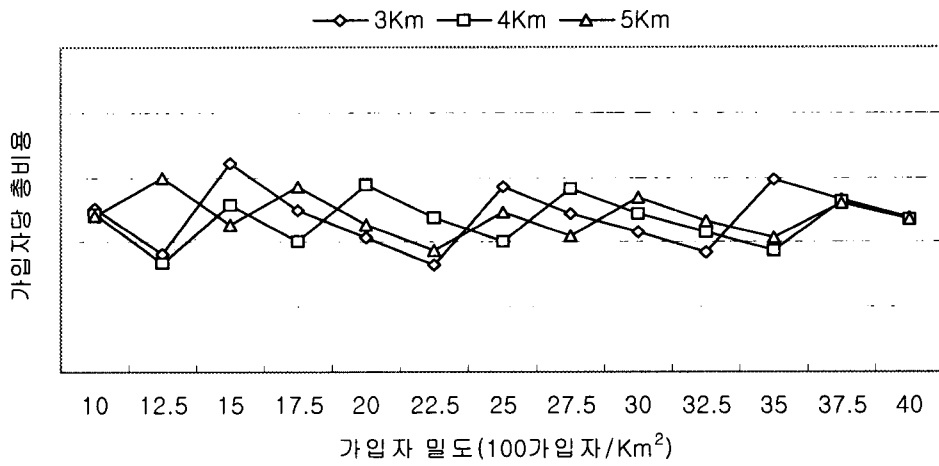
[그림 6-(b)]에 제시된 HFC의 경우, 하나의 ONU가 256가입자를 가지는 셀 두 개를 수용할 수 있도록 서비스 영역의 셀수를 식 (14)에 의해서 정하게 되는데, 이 때문에 N 값이 변하는 순간 ONU와 Amp가 더 필요하게 되어 장비 비용이 급격히 늘어나므로 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 큰 진폭의 변화를 보인다. 그러나 ADSL과 마찬가지로 가입자밀도 증가할 수록 가입자당 비용이 평균 0.00064% 감소, 서비스영역이 커질수록 평균 0.053% 증가하는 것으로 나타나 밀도변화에 따른 가입자당 단위비용의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다.

[그림 6-(c)]에 제시된 PLC의 경우에도 비용이 급격히 하락하는 구간이 존재하는데 이는 가입자 밀도에 따라 N이 비례적으로 증가하다가 가입자밀도는 증가하는데 반해서 서비스 영역 내 셀의 수가 증가하지 않는 구간 즉, N이 변하지 않는 구간에서 비용의 급격한 하락이 일어나는 것으로 분석되었다. 이것은 근본적으로 비용의 큰 부분을 차지하는 $(PC_R + PC_{Hu} + PC_{hc} + 2PC_{BF})$ 가 계수 $[N^2/9] + 1$ 에 의하여 증가되기 때문이다. 또한 급격히 상승하는 구간은 N이 갑자기 커지는 구간이다. 그리고 PLC역시 ADSL과 HFC의 경우에서와 같이 가입자밀도와 서비스영역의 크기에 증가함에 따라 가입자당 비용 평균 0.079% 상승하고, 0.063% 하락하였다. 이는 N의 변화에 따른 약간의 편이로 인한 것으로 가입자당 비용의 변화가 없다고 볼 수 있다. 이는 식 (13), (14)를 통해서 기술적 특성에 맞도록 서비스 영역의 셀 수와 셀당 가입자수가 정해지는 비용산출구조 즉, ADSL, PLC의 경우는 셀당 30명의 가입자를, HFC의 경우는 셀당 256가입자를 수용하도록 망 조직 모형에서 셀의 수를 결정하는 구조를 취하였기 때문이다.

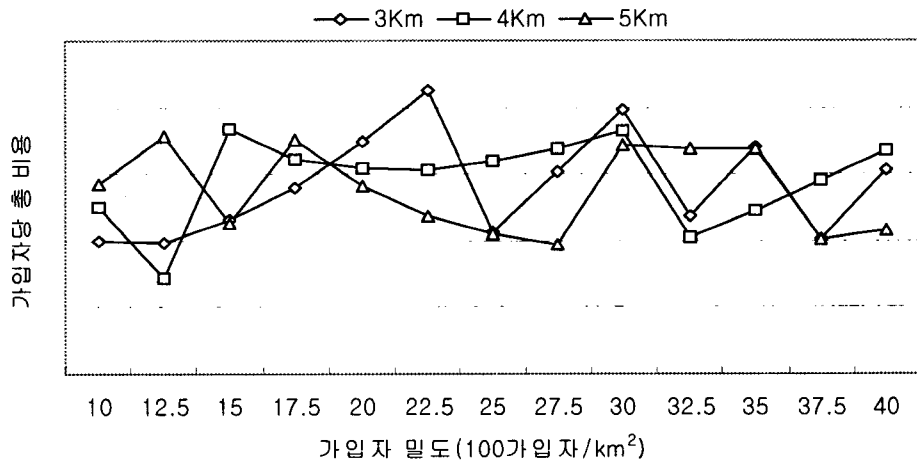
16) 0에서 10 사이의 값은 가입자당 총비용을 정규화한 값으로 각 그래프마다 동일한 기준을 적용한 것이 아님은 물론 각 그래프간 간격사이의 비용도 동일하지 않다. 이는 신규로 진입한 초기사업자들에게는 가입자당 비용의 상대적 격차가 민감한 결과일 수 있기 때문에 단위를 알아볼 수 없도록 인위적으로 취하여진 조치이다.



[그림 6-(a)] 밀도와 서비스영역의 크기에 따른 ADSL의 비용곡선(도시지역)

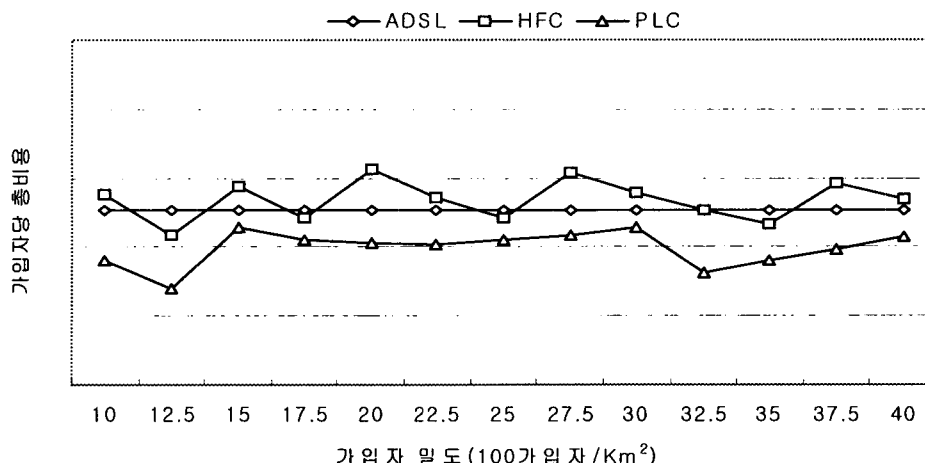


[그림 6-(b)] 밀도와 서비스영역의 크기에 따른 HFC의 비용곡선(도시지역)



[그림 6-(c)] 밀도와 서비스영역의 크기에 따른 PLC의 비용곡선(도시지역)

다음의 [그림 7]에서는 서비스 영역의 한변의 길이가 4Km인 경우, 세 가지 기술대안에 대하여 가입자당 총비용을 비교하였다. 가입자밀도에 관계없이 전반적으로 HFC, ADSL, PLC의 순서로 비용이 높은 것을 보여주고 있으나, 가격 추정자료의 오차를 감안한다면 현저한 차이가 있는 것으로 판정하기가 곤란하다. 즉 대도시 주택 및 상가 밀집지역에서는 세 가지 기술대안 중 어느 하나도 가입자당 비용 측면에서 극복 불가능할 정도의 획기적인 우위를 점하지 못하고 있음을 알 수 있다.¹⁷⁾



[그림 7] 세 가지 기술대안의 가입자당 단위비용 곡선 (도시지역 4Km² 기준)

2) 농촌지역

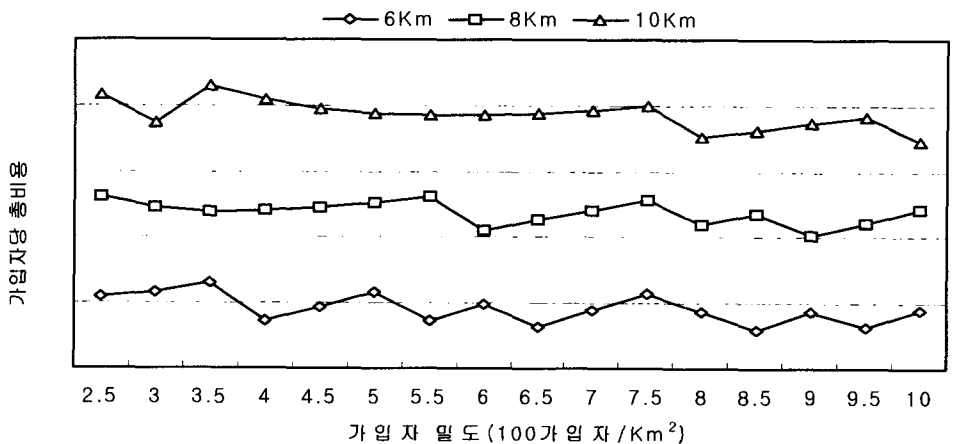
여기서 농촌지역이라 함은 전력망은 포설이 되어있으나, 전화선망이나 CATV망은 아직 포설이 되어있지 않은 상태의 지역을 의미한다. 이러한 상황의 상정은 국내의 경우에도 시사점이 있으나, 보다 중요하게는 PLC기술의 해외진출을 가정했을 때, 다른 기술에 비하여 얼마나 경제성이 있는가를 알아보기 위함이다. 이는 중국, 인도, 인도네시아, 말레이시아 등 개발도상국의 경우 전력망이 타 망에 비하여 보급정도가 절대적 우위를 점하고 있기 때문이다.

[그림 8-(a)]에 제시된 ADSL의 경우, 가입자 밀도가 같더라도 서비스영역이 넓을수록 망 포설비용이 커지므로 가입자당 총비용이 전체적으로 넓게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 한편, [그림 6-(a)]에서와 마찬가지로 가입자밀도가 높아질 수록 서비스영역의 크기에 커질수록 가입자당 단위비용 각각 약 0.09%하락하고, 6.5%정도 상승하는 것을 보였다. 즉, 가입자당 비용이 밀도가 높을수록 서비스영역이 작을수록 감소하였다.

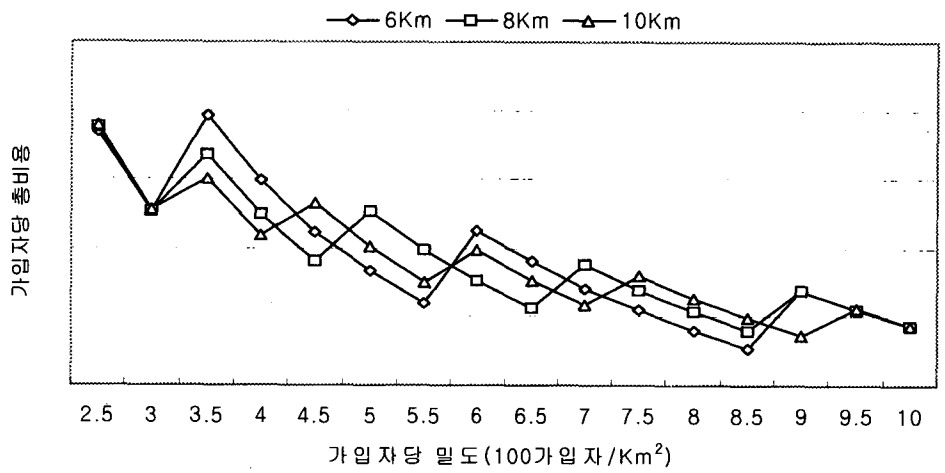
17) ADSL과 HFC의 비용을 비교분석한 대한품질경영학회 (1999)의 연구결과에 의할 때 한 가입자당 서비스별 표준원가는 HFC가 ADSL보다 약 10%정도 높은 것으로 제시되어 있다. 이는 <그림 7>의 그래프와 거의 비슷한 것으로서 본 연구의 분석결과가 비교적 합리적으로 구하여진 것임을 간접적으로 시사하고 있다.

[그림 8-(b)]에 제시된 HFC의 경우, [그림 6-(b)]와 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. 한편, 가입자당 비용의 전반적인 경향은 가입자밀도가 높아질수록 평균 1.14% 하락, 서비스영역이 커질수록 0.047% 하락하는 것을 보였다. 그러나 하락의 기울기는 점차 감소함을 보였는데, 이는 상대적인 망포설비용의 하락에 근거하여 감소하는 모습이다.

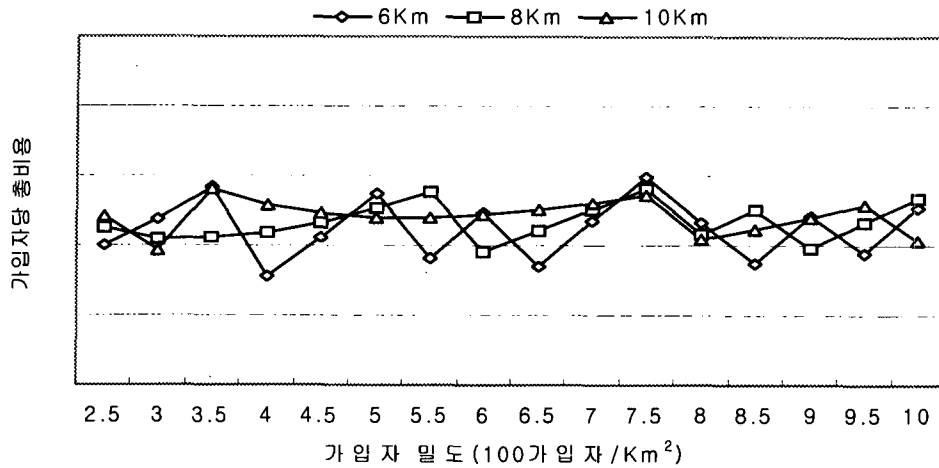
마지막에 제시된 PLC의 경우, 망의 포설비용이 없으므로 가입자당 비용은 [그림 6-(c)]과 거의 평탄한 모습을 보이고 있다. 한편 가입자당 비용의 전반적인 경향은 가입자밀도가 높아질수록 평균 0.07% 상승, 서비스영역이 커질수록 0.38% 상승하는 것을 보였다. 그러나, 증폭기비용을 고려한다면 ADSL의 경우와 같이 미약하나마 하락하는 모습을 보일 수도 있을 것으로 예상된다.



[그림 8-(a)] 밀도와 서비스영역의 크기에 따른 ADSL의 비용곡선(농촌지역)

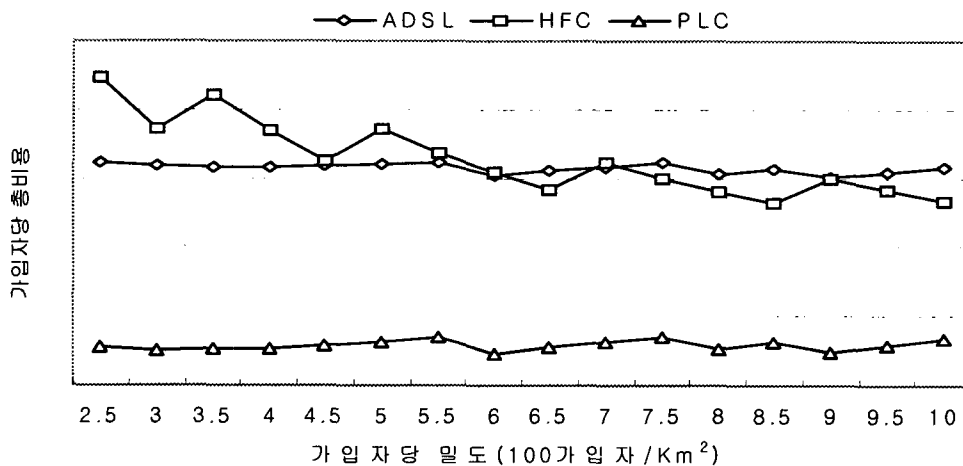


[그림 8-(b)] 밀도와 서비스영역의 크기에 따른 HFC의 비용곡선(농촌지역)



[그림 8-(c)] 밀도와 서비스영역의 크기에 따른 PLC의 비용곡선(농촌지역)

[그림 9]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 않는 농촌지역의 경우 PLC가 가입자당 비용면에서 절대적인 우위를 점하고 있음을 보여주는 것이다.¹⁸⁾

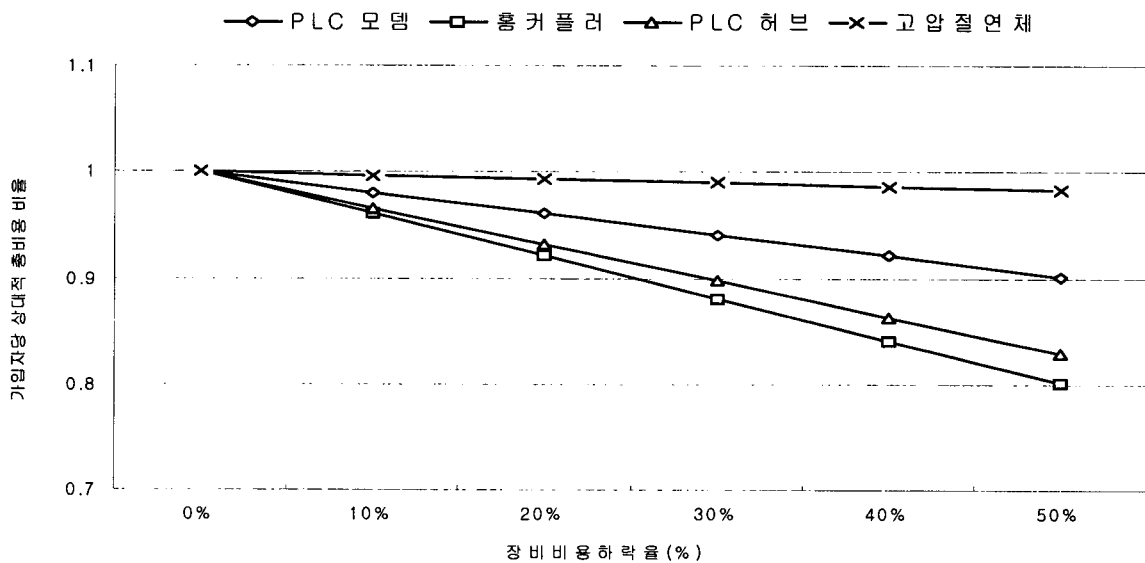


[그림 9] 세 가지 기술 대안의 가입자당 단위비용 비교(농촌지역)

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

3) PLC 요소 비용의 변화에 의한 가입자당 비용의 변화

[그림 10]에서는 PLC의 주요 장비별로 다른 장비의 비용은 기준가격으로 일정하고 한 장비의 비용이 하락하였을 때, 가입자당 비용이 어느 정도 하락할 수 있는지 나타내었다. 아래의 그래프에서는 홈케플러의 비용하락이 전체 가입자당 비용의 하락에 가장 큰 기여를 하고 있으며 PLC허브도 거의 비슷한 기여도를 보이고 있다. [그림 10]이 시사하는 바는 PLC가 전화망이나 CATV망이 포설되어있지 않는 지역에서는 비용적 우위를 가질 수 있으나 도시지역에서도 비용상의 우위를 점하기 위해서는 홈케플러와 PLC 허브 장비의 비용을 빠른 속도로 하락시키는 것이 중요하다는 점이다.



[그림 10] 장비별 비용하락율에 따른 총비용 하락

III. 결론

지금까지 ADSL, HFC, PLC에 대한 비용측면에서의 경제성 비교분석의 방법론과 간략한 분석결과를 살펴보았다. 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.

경제성 분석에서 볼 수 있듯이 도시지역에서는 망포설비용이 없기 때문에 각 기술별로 비용의 뚜렷한 차이를 관측할 수 없었다. 그러나 ADSL이나 CATV망이 포설되어 있지 않는 지역에서는 PLC의 비용 상 우위가 현격하게 드러남을 확인할 수 있었다.

본 연구의 분석결과는 새롭게 등장하는 가입자망 기술로서 PLC가 모든 상황에서 절대적으로 비용우위를 점하고 있는 것은 아니며, 대안망들의 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.

한편, 본 연구는 대안적 기술들을 가입자망의 관점에서 파악하고, 한 가입자당 소요되는 물리적 연결비용을 산정한 것이며, 가입자의 가입자망기술에 대한 지불의사(WTP: Willingness -To-Pay)와는 무관하다는 점에 유의하여야 한다. 가입자의 지불의사는 각 가입자망 기술이 제공할 수 있는 전송속도 및 안정성, 동일한 기술의 타 용도로의 전용가능성 등에 크게 영향을 받는다. PLC의 경우 가입자구역내 조밀하게 산포되어 있는 콘센트를 통해 대내망으로 직접 활용할 수 있고, 전력회사와 연결된 고부가 에너지서비스를 제공받을 수 있는 통로가 열리는 등 부가적인 혜택이 존재하기 때문에 타 가입자망에 비하여 높은 지불의사를 가지게 될 수도 있다. 따라서, 비록 도시지역의 경우 본 연구의 분석결과에 의하면 비용측면에서 PLC가 현격한 비용우위를 점하지 못한 것으로 나타났으나, 이를 시장성이 없다는 증거로 해석하기는 곤란하다. 만약 PLC가 제공하는 편익의 크기가 타 가입자망에 비하여 커서 가입자의 지불의사가 타 가입자망 기술에 비해 높은 것으로 판명된다면 비용상의 큰 장점이 없음에도 불구하고 성공적 시장정착이 가능할 것이기 때문이다.

향후 본 연구의 결과를 확장하기 위하여 최근 관심의 대상이 되고 있는 B-WLL과 인공위성을 이용한 가입자망 기술에 대한 경제성 분석이 추가되어야 할 것으로 보여진다. 이러한 분석 결과가 종합되면, 향후 초고속 가입자망의 전략적 진화방안을 수정해나가는 데 있어 기초자료로서 기여할 수 있게 될 것이다.

참고문헌

1. 전기연구소 (<http://potel.keri.re.kr/plc>)
2. 정해원, 박기식, 노장래, 조성준, “초고속 액세스망의 모델화 및 경제성에 대한 검토”, 한국통신학회, 1997, Vol. 22 No. 12, pp.2806~2818.
3. 차균현외, “국내 통신망 상황을 고려한 효율적인 초고속 정보통신 가입자망 구축 및 진화방안연구” 한국통신학회, 1999.
4. 통계청 (<http://www.nso.go.kr>)
5. 한국공정가격협회, “공정가격” 2000. 11.
6. 한국전자통신연구원 (<http://www.etri.re.kr>)
7. 한국전자통신연구원 “기술/시장 보고서-xDSL”, 1999a.
8. 한국전자통신연구원 “기술/시장 보고서-케이블모뎀”, 1999b.
9. 한국물가협회 “물가자료”, 2000. 11.
10. 한국물가정보, “물가정보”, 2000. 11.
11. 홍정식의, “정보인프라 조기구축지원을 위한 네트워크 산업 정책방향”, 대한품질경영학회, 1999.
12. Nortelnetworks (<http://www.nortelnetworks.com>)
13. Pupillo, L. and Conte, A., “The Economics of local loop architecture for multimedia services”, Information Economics and Policy, 1998.
14. PLC World Congress, Proceedings, 2000.
15. Reed, D.P., “Residential Fiber Optic Networks: An Engineering and Economic Analysis”, Artech House, INC. Boston, London, 1992.