

# 광대역 가입자망 기술경제성 평가에 관한 새로운 분석모형 연구

정회원 이영호\*, 노장래\*\*, 정혜승\*\*\*

## A New Techno-Economic Modeling and Analysis of Emerging Broadband Access Networks

Youngho Lee\*, Jangrae Rho\*\*, Hyeseung Jeong\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

이 논문은 의사결정과 위험분석 방법론을 바탕으로 가입자망의 경제성을 평가하는 새로운 방법론을 개발한다. 또한 국내에서 개발한 통합액세스노드 시스템을 기반으로 하는 광대역 가입자망의 최적 진화 방안을 제시한다. 가입자망 기술경제성 평가에서 가장 중요한 요소인 불확실성 변수 조합을 분석 도구를 통해 개발하고, 기술 대안에 대한 경제성 분석 결과를 이해하고 망 설치 계획을 마련할 수 있도록 하였다. 이 논문에서 다룬 가입자망 기술경제성 평가 과정은 다음과 같다. 먼저 가입자망 서비스 수요와 비용 구조를 분석하고 기술 대안 별로 트래픽을 분석한다. 다음으로 지역 모형을 설계하고 가입자망 기술경제성 분석 도구를 개발한다. 또한 서비스 제공 능력, 연구 대상기간, 광대역 서비스 가입자 수, 그리고 시스템과 케이ابل링 소자 비용 하락률에 대한 여러 시나리오를 설정한다. 이를 바탕으로 불확실성 변수를 평가한 다음, 개발한 분석 도구를 통해 ADSL, FTTC, HFC, 그리고 FTTH 기술 대안에 대한 경제성을 분석하고 결과와 시사점을 보인다.

### ABSTRACT

In this paper, we develop a new techno-economic model of emerging broadband access networks and analyze a set of effective network deployment strategies for Multi Access Integrated Node(MAIN) system. The proposed analysis method helps us effectively deal with the inherent uncertainty of technologies and cost factors. This paper describes a new modeling methodology based on the decision and risk analysis. In order to develop modeling and analysis methodology, we evaluate a set of key decision factors in deploying broadband access networks. Then, we analyze the impact of critical factors such as cost and demand uncertainty. Next, we generate an annual cash flow during study period, and show a net present value of the architecture, along with in-depth sensitivity and risk analysis of key decision factors. Finally, we generate an optimal broadband evolution strategy.

### I. 서 론

최근 통신 시장이 점점 열리면서 통신 기술 환경이 빠르게 변하고 있다. 또한 인터넷 서비스에서 대

화형 비디오 서비스에 이르기까지 새로운 멀티미디어 수요가 빠르게 증가하고 있다. 이런 초고속 서비스 수요로 기업 고객은 물론이고 주거 가입자도 초고속 접속 환경을 요구하고 있다. 하지만 지금까지 망 구축 사업과 서비스 제공 능력은 서로 다른 문

\* 고려대학교 산업공학과(yhlee@kucn.korea.ac.kr)

\*\* 한국전자통신연구원(jlno@etri.re.kr)

\*\*\* 고려대학교 산업공학과(hsjeong@kucn.korea.ac.kr)

논문번호: 99209-0328, 접수일자: 1999년 5월 28일

세였다. 이제는 사용자 요구에 얼마나 빠르고 편리하게 대응하여 서비스를 제공하고 망을 구축하느냐에 따라 시장 경쟁력이 결정된다<sup>[3]</sup>. 가입자망을 구축할 때 가장 어려운 문제는 미래의 불확실한 상황을 다루는 일이다. 광대역 서비스 수요가 얼마나 증가하고 시스템 비용이 얼마나 달라질지 미리 알기 어렵기 때문이다<sup>[2]</sup>. 불확실한 요인값을 알아내기 위해서 기존 연구들은 델파이 분석을 사용하거나 특정 확률 분포를 가정해서 사용했다<sup>[3],[4]</sup>. 경우에 따라 학습 곡선(Learning Curve)을 사용하기도 했다. 예를 들어 생산량이 증가함에 따라 감소하는 선로 설비와 시스템 비용을 예측할 때는 학습 곡선을 이용하였다<sup>[3]</sup>. 수요 증가율, 서비스 침투율, 요금 정책을 예측할 때는 델파이 분석을 사용했다<sup>[4]</sup>. 이 연구들은 불확실성 요인에 대해 정확한 값을 예측하려 했거나 제한된 시나리오를 통해 분석했기 때문에 불확실성 요인값이 예측과 달리 움직일 때 대응할 수 있는 능력이 부족하다. 또한 지금까지 광대역 서비스를 제공할 수 있는 여러 기술 대안들이 제시되었지만 비용과 서비스 제공 능력을 함께 따져 보았을 때 어느 대안도 절대 우위에 있지 않다<sup>[1],[6]</sup>. 가입자망 진화방안은 이런 불확실성 요인들을 다루어 비용이 적게 들면서도 서비스 요구 변화를 빠르게 수용할 수 있어야 한다. 분석 도구를 통해 다양한 결과물 내놓은 연구로는 유럽의 TITAN 프로젝트가 있다<sup>[4],[8]</sup>. 하지만 진화 방안을 효율 있게 세우려면 불확실성 요인들을 체계화 갖추어 다룰 수 있는 기술 경제성 평가 분석 도구를 마련하는 일이 중요하다<sup>[5]</sup>. 또한 이는 유럽 자료를 바탕으로 했기 때문에 분석 방법을 우리 나라에 그대로 적용하기 힘들다. 우리 나라 가입자망은 가입자망 구간이 매우 짧고 대규모 공동 주택지, 단독 주택지, 상가 그리고 사무실이 복잡하게 섞여 있어서 다른 나라와 비교할 때 성격이 매우 다르다. 따라서 이 논문은 국내 실정을 충분히 고려하여 가입자망 기술경제성 평가에서 가장 중요한 여러 불확실성 변수 조합을 분석 도구를 통해 쉽게 다루도록 하고, 다양한 기술 대안에 대한 경제성 분석 결과론 이해하고 실천 계획을 마련할 수 있도록 하였다. 이 논문은 기존 연구들과 달리 불확실성 요인들 체계 있는 분석 도구를 통해 통제할 수 있는 방법론을 제시한다. 이를 위해 의사 결정과 위험분석 방법론을 바탕으로 가입자망 기술 경제성을 평가하는 새로운 모형윤 이끌어낸다. 또한 통합엑세스노드 시스템을 기반으로 하는 광대역 가입자망의 최적 진화 방안을 수립한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 새로운 가입자망 기술경제성 평가 방법론을 제시하고 실제 분석 과정을 보인다. 3장은 가입자망 기술경제성 평가 도구의 구성과 흐름을 설명한다. 또한 4장은 통합엑세스노드 시스템을 기반으로 가입자망을 구축하는 경우에 앞서 설명한 방법론과 평가 도구를 사용하여 얻은 결과물 분석한다. 마지막으로 5장은 이 논문의 결론과 활용 범위를 보인다.

## II. 가입자망 기술경제성 평가 방법론

가입자망 기술 경제성을 평가할 때 광대역 서비스 수요와 시스템 비용에 대한 불확실성 변수를 다루는 일이 핵심이다. 각 불확실성 변수들이 미래에 다양하게 조합을 이루어 나타나고 각 경우마다 적절한 기술 대안이 다르기 때문이다. 이 논문에서 가입자망 기술경제성 평가 과정을 효율 있고 체계를 갖추어 수행하기 위해 개발한 새로운 방법론의 개요는 그림 1과 같다.

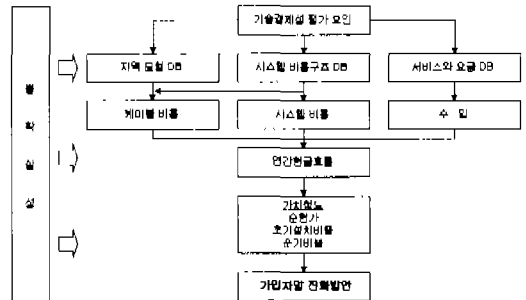


그림 1. 가입자망 기술경제성 평가 분석 과정

첫째, 가입자망을 구축할 때 영향을 미치는 기술 경제성 평가 요인들을 정의한다. 이 단계에서 연구 대상기간, 이자율, 그리고 인플레이션율과 같은 기본 입력 자료와 제공할 광대역 서비스 종류에 대한 시나리오를 결정한다. 분석할 기술 대안도 여기서 선택한다. 둘째, 지역 모형을 정하고 불확실성 요인을 평가한 값에 확률윤 주어 연구대상기간에 걸쳐 예측값을 얻어낸다. 불확실성 요인들은 시스템과 케이블 비용에 대한 자료와 서비스에 대한 자료로 나눈다. 셋째, 연구대상기간에 거쳐 연간현금흐름을 계산하여 순현재가나 가입자당 초기설치비용 같은 가치척도 값을 구한다. 넷째, 민감도와 위험수익 분석을 통해 결과를 분석하여 진화 방안을 찾아낸다.

이 논문은 음성 전화 서비스(POTS), 고속 데이

터 통신(Data) 서비스, 주문형 비디오(VOD) 서비스, 그리고 방송형 비디오(CATV) 서비스를 다룬다. POTS와 Data를 기본으로 다음과 같이 세 가지 시나리오로 나누어 분석한다. 먼저 시나리오 1은 POTS, Data, VOD, 그리고 CATV 서비스를 다룬다. 시나리오 2는 여기서 CATV 서비스를 분석하지 않는다. 또한 시나리오 3은 POTS와 Data 서비스만 분석한다. 이렇게 시나리오를 설정한 이유는 통신사업자마다 선택하는 서비스 종류가 다르고 트래픽 양상이 달라져서 적합한 기술 대안이 다양하기 때문이다. 모든 결과 분석에서 연구대상기간은 1998년부터 3년 간격으로 세 기간을 설정한다(1998년 ~ 2007년, 2001년 ~ 2010년, 2004년 ~ 2010년). 한 기간은 10년이다. 단, 시나리오 3은 1999년에서 2008년까지 연구대상기간을 추가한다. 시나리오 3은 POTS와 Data 서비스만 분석하기 때문에 가까운 장래에 수익이 어떤 형태로 발생하는 지 분석하는 일이 중요하기 때문이다.

이 논문은 새로 건설 중인 주거 지역을 분석 대상으로 설정한다. 초기 연구대상년도에 모든 시스템과 선로를 설치하며 기존 선로는 없다고 가정한다. 연간 인플레이션율은 5%, 이자율은 12%, 그리고 운용유지보수(Operations, Administration, and Maintenance, OAM) 비용은 연구대상기간 2차 년도부터 최종 년도까지 매년 초기투자비용의 4%가 발생한다고 가정한다.

이 논문은 다섯 가지 가입자망 기술 대안을 다룬다. 적용할 시스템은 한국전자통신연구원이 6개 국내 기업체와 공동 개발한 통합액세스노드(Multi Access Integrated Node, MAIN)시스템이다. 통합액세스노드시스템은 다양한 가입자 분배구조를 수용할 수 있게 가입자망을 구성해서 미래 불확실한 상황에 쉽게 대처하도록 구조화되어 있다. 음성 전화, Data, VOD, 그리고 CATV 서비스를 제공할 수 있다. 또한 망쪽과 가입자쪽 모두 이중 보드로 구성하여 신뢰성을 높였다. 액세스 노드 하나가 다루는 광대역 서비스 가입자 수는 대안마다 조금씩 다르다. FTTC(Fiber To The Curb)와 FTTH(Fiber To The Home) 대안은 2,048 가입자를, HFC(Hybrid Fiber Coax) 대안은 2,000 가입자를 수용한다. 전화 서비스 가입자 수는 FTTC 대안일 경우 5,760 가입자를, FTTH와 HFC 대안은 2,048 가입자를 다룬다. 모든 기술 대안에서 케이블과 선로, 액세스 노드, 그리고 VDSL(Very High Rate Digital Subscriber Loop) 라인카드를 제외한 광중단장치(Optical Network

Unit, ONU)는 각 연구대상기간 초에 모두 설치한다. VDSL 라인카드와 가입자 측내에 설치하는 셋탑박스, 케이블모뎀, 그리고 ONU는 연구대상기간 중 매년 초에 광대역 서비스 가입자 수 증가에 따라 설치한다. 서비스 제공 능력 시나리오에 따라 다루는 기술 대안 종류는 표 1과 같다. 숫자는 ONU 당 광대역 서비스 가입자 수를 나타낸다.

표 1. 서비스제공능력 시나리오에 따른 기술대안 종류

시나리오	ADSL	SDH32	SDH64	PON16	PON32	HFC	FTTH
시나리오 1							
시나리오 2							
시나리오 3							

ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) 기술 대안은 그림 2와 같이 동선을 사용하여 Data 서비스를 제공한다. 전화국과 가입자 측내에 놓는 ADSL 모뎀은 연구대상기간 중 매년 초에 Data 서비스 가입자 수 증가에 따라 설치한다.

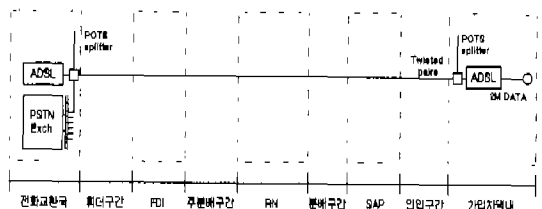


그림 2. ADSL 기술 대안

FTTC-SDH 기술 대안은 그림 3과 같이 ONU까지 광케이블을, ONU부터 가입자 측내까지 동선을 설치한다. FTTC 기술 대안은 표 1과 같이 서비스 제공 능력 시나리오 따라 분석하는 ONU 크기가 다르다. 예를 들어 SDH64 대안은 ONU 하나당 VDSL 가입자 회선이 64개라는 뜻이다. 시나리오 1은 액세스 노드에 양방향 622 Mbps를 제공할 수 있는 라인카드를, 시나리오 2와 3은 양방향 155 Mbps를 제공하는 라인카드를 사용한다. PON (Passive Optical Network)으로 구성할 경우 분기율은 16을 사용한다.

FTTH 기술 대안일 경우 그림 4와 같이 액세스 노드에서 가입자 측내까지 광케이블을 설치한다. 시나리오 1에서만 양방향 622 Mbps를 제공하는 PON 지원 액세스 노드 라인카드를 사용한다. 전화서비스

를 위해 V5.x 인터페이스로 전화망에 접속한다고 가정한다. 또한 망쪽 이중 보드는 유지하고 가입자 쪽 이중 보드는 무시한다.

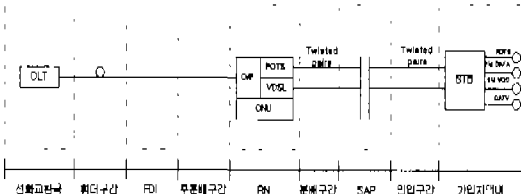


그림 3. FTTC-SDH 기술 대안

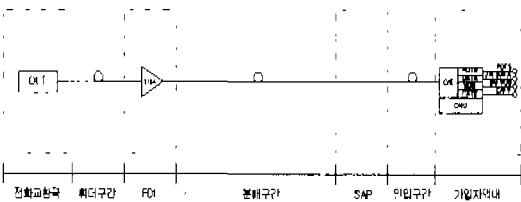


그림 4. FTTH 기술 대안

HFC 기술 대안은 그림 5와 같이 500 가입자를 수용하는 ONU까지 광케이블을, ONU에서 가입자 대내까지 동축선을 설치한다. 시나리오 1은 양방향 622 Mbps를 제공하는 호스트 디지털 터미널(Host Digital Terminal, HDT) 모뎀을 사용한다. 시나리오 2와 3은 양방향 155 Mbps를 제공하는 모뎀을 사용한다.

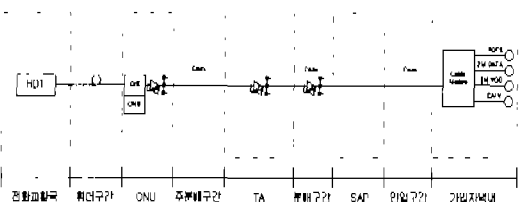


그림 5. HFC 기술 대안

어떤 기술 대안을 선택하느냐에 따라 여러 가지 광가입자망 구조를 적용할 수 있다. 많은 연구에서 대안 특성에 따라 적합하다고 인정하는 구조가 다르기 때문이다<sup>9)</sup>. 이 논문에서 지역 모형은 선로 부분을 기준으로 격자모형으로 설계한다. 지역 모형에서 다루는 가입자 수는 액세스 노드 하나가 수용할 수 있는 최대 광대역 서비스 가입자 수이다. 광대역 서비스 수요는 지역 전체에서 균일하게 발생한다. 한 액세스노드가 관할하는 지역은 256 가입자들 수

용하는 작은 구역으로 나눈다. 한 구역은 다시 16 가입자를 수용하는 작은 셀(cell)로 나눈다. ONU나 분기기를 설치하는 원격노드는 구역 안에 균일하게 분포하고, 수용하는 가입자 지역 중앙에 놓는다. 셀 안의 서비스접근점(Service Access Point)은 4 가입자를 수용한다. 그림 6은 셀 형태와 FTTC 기술 대안에서 ONU당 가입자 수에 따른 지역 모형 보기이다. 광가입자망 선로 부분은 휘더 구간, 분배 구간 그리고 인입 구간으로 나눈다. 각 구간에서 선로를 구성하는 데 필요한 설비 개수와 비용을 곱하고 여기에 설치 비용을 더하여 기술 대안 별로 케이블 관련 비용을 구한다.

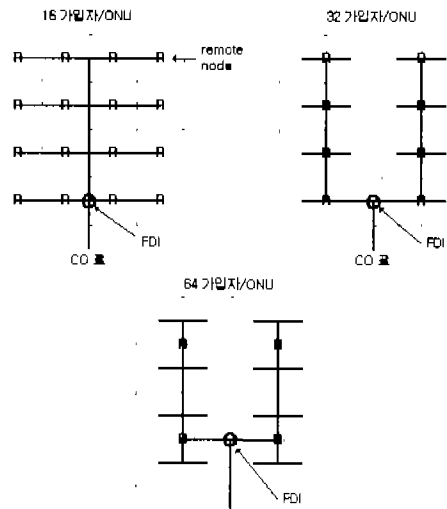


그림 6. ONU당 가입자 수에 따른 지역 모형 보기

이 논문에서 다루는 불확실성 변수는 크게 보아 시스템 소자 비용 하락률과 광대역 서비스 가입자 수이다. 먼저 시스템 소자는 전자 소자, 광송수신 관련 소자, 그리고 수동 소자로 분류한다. 다음에 비용 요소별로 하락률을 예측한다. 여기서 하락률이란 연구대상기간동안 전년도 비용에 비해 해년년도 소자 비용이 몇 퍼센트인지 예측한 값이다. 하락률 형태는 낮음, 중간, 그리고 높음으로 나눈다. PON 대안일 경우 모든 시스템 소자 비용 하락률에 대한 불확실성 변수 조합은 그림 7과 같이 27가지이다. 하락률 각 형태에 확률값을 주어 분석한다. 시스템 소자 비용 요소별 하락률은 다음 표 2와 같다.

광대역 서비스 가입자 수가 증가하는 추이는 각 서비스마다 표 3에 나타난 세 가지 예측값을 따른다. 숫자는 매년 전년도 가입자 수에서 증가한 퍼센

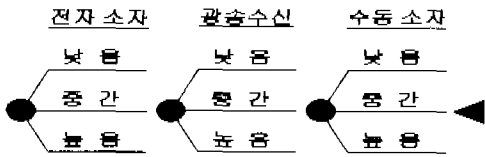


그림 7. 시스템 소자 비용 하락률에 대한 불확실성 변수 조합

트 값이다. 시나리오 1과 같이 모든 광대역 서비스 물 다룬다면 불확실성 변수 조합은 모두 27가지이다. 각 열에 확률값을 어떻게 주느냐에 따라 다음 두 가지 경우로 나누어 분석한다. 예측 1은 광대역 서비스 가입자 증가율을 보통으로 예상할 경우이다. 이때 불확실성 변수의 확률값은 낮음에 0.25, 중간에 0.50, 그리고 높음에 0.25를 주어 분석한다. 또한 예측 2는 광대역 서비스 가입자 증가율을 낙관하여 예상할 경우이다. 불확실성 변수의 확률값은 낮음에 0.15, 중간에 0.25, 그리고 높음에 0.60으로 높은 쪽에 확률값을 더 많이 주었다.

표 2. 비용 요소별 하락률

비용 요소	낮 음	중 간	높 음
전자 소자	85%	88%	90%
광송수신 관련 소자	84%	86%	89%
수동 소자	82%	85%	88%

표 3. 광대역 서비스 가입자 수 증가 시나리오

광대역 서비스 가입자 수	비 판	보 통	낙 판
Data 서비스	8%	10%	12%
VOD 서비스	5%	7%	10%
CATV 서비스	6%	8%	10%

결과를 분석할 때 사용하는 가치 척도는 크게 순현재가와 초기설치비용으로 나눌 수 있다. 이 논문에서 순현재가(Net Present Value)는 연구대상기간동안 매년 발생하는 수입에서 비용을 뺀 값을 할인하여 1998년을 기준으로 누적한 값이다. 초기설치비용(Installed First Cost)은 연구대상기간동안 설치비용을 할인하여 누적한 값이다<sup>[11]</sup>. 또한 기술 대안별 망 구성 방식에 따른 차이 없이 가입자당 초기설치비용을 계산한다. 가입자당 초기설치비용은 초기설치비용을 연구대상기간 최종년도에서 POTS를 제외한 모든 광대역 서비스 가입자들을 더한 값으로 나누어 구한다. 이 방법은 광대역 서비스 가입

자 수에 영향을 받는 ONU VDSL 라인카드, 셋탑박스, 그리고 케이블 모뎀에 대한 가입자당 초기설치비용을 계산할 때 사용한다. 다른 비용 요소에 대한 가입자당 초기설치비용은 초기설치비용을 전체 POTS 가입자 수로 나누어 구한다. 마지막에 얻는 가입자당 초기설치비용은 비용 요소에 따라 계산한 가입자당 초기설치비용을 모두 더한 값이다.

민감도 분석은 분석 모형에 있는 불확실성 변수들이 가치척도에 영향을 주는 정도를 비교한다. 다이어그램 하나에 여러 번 실행한 결과를 함께 표시하는 데 이를 토네이도 다이어그램이라고 한다. 그림 8은 실제 사용한 토네이도 다이어그램의 예이다.

먼저 모든 불확실성 변수를 중간값으로 고정해서 가치척도를 계산하여 가운데 수직선으로 나타낸다. 다른 불확실성 변수 값을 하나씩 낮은 값과 높은 값으로 변화 시키면서 가치척도를 계산하여 막대에 표시한다. 막대는 각 사건에 대해 최적 대안에서 결과값 차이를 표시한다. 토네이도 다이어그램은 가치척도에 영향을 많이 미치는 불확실성 변수 순으로 위험 정도를 나타내는 S-곡선은 불확실성 변수를 조합에 따라 대안 가치가 변하는 범위를 나타내는 그림이다. 이 곡선은 대안 가치가 발생하는 빈도를 누적 확률 분포로 나타낸다. 여러 대안을 S-곡선 하나에 동시에 표시하면 여러 대안들의 위험 수준을 서로 비교할 수 있다. 가로축은 가치 척도가 변하는 범위를, 세로축은 누적확률을 나타낸다. 이 누적 확률값은 대안 결과가 대응하는 가로축 가치보다 같거나 적을 확률을 나타낸다<sup>[7],[10]</sup>.

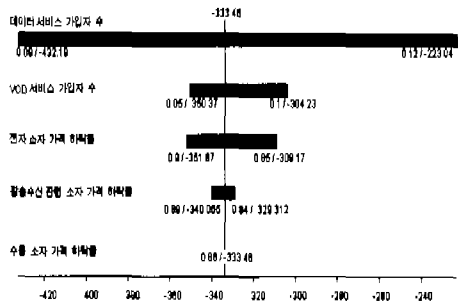


그림 8. 사건 민감도 비교 토네이도 다이어그램

### III. 가입자당 기술경제성 평가 분석 도구

분석 도구는 Excel과 DPL(Decision Programming Language)을 연결하여 개발하였다. DPL

은 의사결정 프로그램 중 하나로 지금까지 개발된 의사결정 방법론을 결합해서 크고 복잡한 문제를 빠르고 정확하게 해결한다. 이를 통해 의사 결정에 영향을 미치는 핵심 요인들을 파악하기 쉽고, 간단한 조작을 통해 민감도와 위험 분석 결과를 얻을 수 있다(자세한 내용은 참고 문헌 [7] 참조). 개발한 분석 도구에서 DPL은 기술 대안과 불확실성 변수를 통제하고, Excel은 기술 대안과 불확실성 변수가 결정되었을 때 가치 척도를 계산하는 역할을 한다. Excel 부분은 다시 워크시트와 매크로 부분으로 나뉜다. 워크시트는 불확실성 변수를 입력하고 이를 바탕으로 현금 흐름을 계산하는 역할을 한다. 서비스 제공 능력 시나리오에 따라 세 가지 워크시트로 나뉜다. 분석 도구의 흐름은 그림 9와 같다.

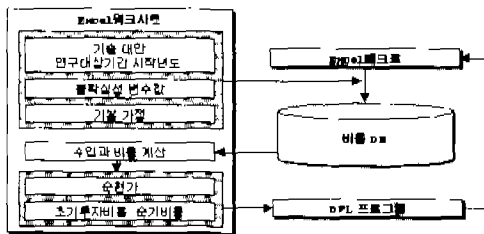


그림 9. 분석도구 흐름도

각 워크시트는 다음과 같은 세부 부분으로 나뉜다. 먼저 기술 대안(Stratgy)과 연구대상기간 시작년도(Time Frame Starting Point)를 입력한다. 그리고 분석할 불확실성 변수와 각 변수값을 입력한다(Uncertainties). 다음에 분석에 필요한 기본 가정들을 입력한다(Assumption). 이런 입력 자료를 바탕으로 수입과 비용을 계산하고(Calculation), 연간 현금 흐름을 통해 순현재가치를 얻는다(Free Cash Flow Summary). 또한 초기투자비용, 순기비용, 그리고 가입자당 초기투자비용과 순기비용과 같은 다른 가치척도 값을 얻는 부분이 있다(Cost Calculation).

매크로 부분은 데이터베이스 비용 자료와 워크시트 입력 자료를 바탕으로 시스템 비용과 케이블링 비용을 계산하여 워크시트 중 계산 부분에 입력하는 역할을 한다. 데이터베이스는 서비스 제공 능력 시나리오에 따라 세 가지로 나뉜다. 각 데이터베이스는 연구대상기간동안 소자 비용과 각 대안에 따라 표시한다. 라 필요한 소자 종류와 개수를 간추려 놓은 테이블로 구성한다. 예를 들어 Cost 데이터베이스는 비용변화, SDH64, PON16, PON32, HFC, 그리고 FTTH 테이블로 구성한다.

DPL 부분은 DPL 고유 프로그램을 작성한다. DPL 프로그램은 불확실성 변수 이름, 예측값, 그리고 확률값과 연고자 하는 가치 척도 이들을 저장한다. DPL 프로그램을 실행하면 불확실성 변수 조합을 하나씩 동적 데이터 교환(Dynamic Data Exchange, DDE) 방식을 사용하여 Excel로 넘겨 매크로 함수를 실행한다. 워크시트를 통해 얻은 가치 척도는 다시 DDE를 거쳐 DPL 의사결정나무 가치로 저장한다. 모든 불확실성 변수 조합에 대해 가치 척도를 넘겨 받으면 이를 사용해서 최적 대안을 선택하고 민감도와 위험 분석을 한다.

#### IV. 연구 결과 분석

이 장은 3장에서 설명한 시나리오, 가정, 그리고 기술 대안을 바탕으로 분석한 결과를 표와 그래프로 나타낸다. 또한 결과가 나타내는 시사점과 활용 방안을 보인다. 특별히 표시하지 않은 모든 결과값은 분석 도구를 통해 얻은 기대값이다. 또한 모든 결과값은 1998년 초 현금 가치론 기준으로 했다.

##### 4.1 순현재가 분석

그림 10, 그림 11, 그리고 그림 12는 서비스 제공 능력 시나리오별 순현재가를 나타낸다. 그림 10에서 12까지 나타낸 모든 시나리오에서 FTTC-SDH64 대안과 HFC 대안이 가장 이익을 많이 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 2001년 투자 시점에서 모든 대안에서 순현재가 상당히 커지기 시작한다. ONU당 가입자 수가 같다면 2001년 이후에는 SDH 대안보다 PON 대안이 우세하다. 또한 광대역 서비스 가입자 수 상대값(예측 1과 예측 2)에 따른 차이보다 연구대상기간 시작년도 절대값에 따른 차이가 두드러진다.

시나리오 1은 2001년 이후에 FTTC 대안과 HFC 대안에서 수익을 올릴 수 있음을 관찰할 수 있다. 이 연구에서 분석한 통합 액세스노드 시스템은 POTS를 함께 제공하지만 수입은 광대역 서비스만 고려하기 때문에 실제 수익은 그림에 나타난 결과보다 크다. 또한 FTTH 대안은 현재 비용 구조로는 높은 수익을 올릴 수 없음을 알 수 있다. 시나리오 2는 FTTC-SDH64 대안과 HFC 대안에서 수익을 올릴 수 있음을 볼 수 있다. 또한 2001년 투자 시점 이후 FTTC-SDH32 대안도 수익을 올릴 수 있다. 시나리오 1과 시나리오 2에서 나타나듯이 광가입자당 대안에서 중요한 비용 요소는 ONU 비용이다. 기술 대안 차이보다 ONU당 가입자 수에 따른 순현재가 차이가

더 크다. 특히 SDH 대안보다 PON 대안에서 이런 특징이 두드러지게 나타난다. 시나리오 3은 순현가불 가치 척도로 분석할 때 ADSL 대안이 다른 대안 보다 우세함을 볼 수 있다. 하지만 ADSL 대안은 비용 요소 대부분을 ADSL 모뎀이 차지하고 시간이 지날 수록 광가입자망보다 케이블링 비용에서 경쟁력이 떨어지기 때문에 순현가가 크게 증가하지 않는다. ADSL 대안은 연구대상기간 시작년도에 무자하는 비용이 다른 대안에 비해 작기 때문에 순현가불 가치 척도로 평가하면 더 유리하다. 이에 비해 FTTC 대안은 시간이 지날수록 순현가가 급격하게 증가하고 2001년이 지나면 대안 사이 차이도 크게 찾을 수 없다. 시나리오 1에서 2001년 무자 시점을 기준으로 다른 기술 대안에서 어떤 불확실성 변수가 영향을 많이 미치는 지 순위표 매겨 살펴보면 표 4와 같다. FTTH 대안을 제외한 모든 대안은 불확실성 변수 순위가 같다. 광대역 서비스 가입자 수가 시스템 비용 하락폭보다 영향을 많이 미친다. 그리고 광대역 서비스 가입자 수는 데이터 서비스 가입자 수가, 시스템 비용 하락폭에서는 전자 소자 비용 하락폭이 영향을 가장 많이 미친다. 따라서 비용을 낮추기 위해서는 전자 소자 비용 점유율이 높은 ONU와 가입자 댁내 장치 가격을 낮추는 일이 효과 있다. FTTH 대안에서 가장 영향을 많이 미치는 불확실성 변수는 전자 소자 비용 하락폭이다. 또한 다른 대안보다 수동 소자 비용 하락폭이 미치는 영향이 크다. 가입자마다 수동 소자를 포함한 ONU를 설치하기 때문이다.

표 4. 순현가에 영향이 많이 미치는 불확실성 변수 순위

	광대역 서비스 가입자 수			시스템 비용 요소 하락폭			
	Data	VOD	CATV	전자	광송수신	수동	
SDH64	1	4	2	3	5	-	
PON16	1	4	2	3	5	6	
PON32	1	4	2	3	5	6	
HFC	1	4	2	3	5	-	
FTTH	2	5	3	1	6	4	

4.2 연구대상기간 최종년도 현금흐름 분석

연구대상기간 이후 가입자망 기술 대안에 대한 전망을 순현가불 통해 분석하는 일은 쉽지 않다. 미래에 가입자망 경제성이 어떤 양상으로 나타날 지 분석하기 위해 연구대상기간 최종년도 현금흐름을 살펴본다<sup>9)</sup>. 이 가치 척도는 연구대상기간 최종년도에 얻은 수입에서 그 해에 새로 설비에 무자한 비용과

OAM 비용을 뺀 값이다. 모든 불확실성 변수를 중간 값으로 고정하고 예측 1에서 최종년도 현금흐름을 그림 13과 그림 14에 나타냈다. 그림 13을 보면 순현가불 가치 척도로 했을 때 그다지 매력적 없었던 PON 대안과 FTTH 대안이 연구대상기간 이후에 전망이 있음을 볼 수 있다. 2000년대 초반 이후에 PON 을 구성하는 소자 가격, 가입자 댁내 ONU 가격, 그리고 광케이블 가격이 현재 가격에서 절반 정도로 떨어지리라 예상하기 때문이다. 2010년 이후에는 FTTH-PON 대안이 가장 수익면에서 유리한 대안이 되리라 여겨진다. 그림 14에서는 특이한 결과를 볼 수 있다. 다른 시나리오에서는 모든 기술 대안에서 시간이 지날수록 현금흐름이 많아진다. 하지만 시나리오 3은 SDH 대안에서 2013년 현금흐름이 2010년 현금흐름보다 줄어든다. 2010년 초반까지 다른 대안에 비해 SDH 대안이 더 경쟁력이 있지만 이후에는 다른 대안이 더 유리하다. 시나리오 3은 POTS만 제공하고 라인카드와 셋탑박스 비용이 ADSL 모뎀 비용을 상쇄할 만큼 떨어지지 않기 때문이다. 따라서 시나리오 3에서도 SDH 대안이 경쟁력을 가지려면 이 두 소자 가격, 특히 ONU에 들어가는 라인카드 비용을 많이 낮추어야 한다.

4.3 가입자당 초기설치비용 분석

그림 15에서 그림 17은 예측 1에서 시나리오별로 연구대상기간이 증가하면서 가입자당 초기설치비용이 어떻게 변하는 지 나타낸 그림이다. 시나리오 1에서 SDH64대안이 가장 비용이 적게 든다. FTTH와 HFC 대안은 다른 대안에 비해 비용 하락폭이 작아서 다른 대안에 비해 경쟁력이 부족하다. PON16 대안은 현재 시점에서 보면 최적 대안과 거리가 멀지만 2001년 무자 시점부터 비용이 빠르게 떨어진다. 시나리오 2도 마찬가지로 SDH64대안이 가장 우세하다. 이 시나리오에서는 HFC 대안이 시나리오 1보다 비용 하락폭이 작다. 서비스 제공 능력이 달라질 때 HFC 대안은 시스템 구성에 차이가 없다. 하지만 FTTC 대안은 액세스노드와 ONU 라인카드를 구성하는 방법이 다르기 때문이다. 또한 FTTC 대안에서 비용이 떨어지는 기술기는 대안 사이 차이보다 ONU당 가입자 수에 따른 차이가 더 크다. 시나리오 3은 가까운 기간 안에 사업자가 모든 광대역 서비스를 제공할 계획이 없을 경우를 가정한다. 이 경우 분석하는 연구대상기간 처음에 ADSL 대안이 SDH64 대안보다 조금 우세하다. 하지만 연구대상기간 뒷부분에는 SDH64나 SDH32 대안보다 불리하고 갈수록 차이

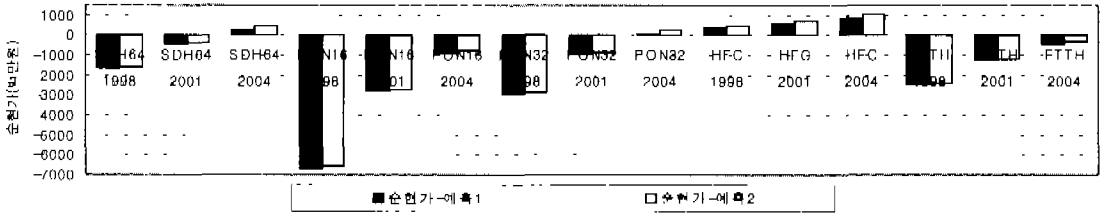


그림 10. 순현가 시나리오 1

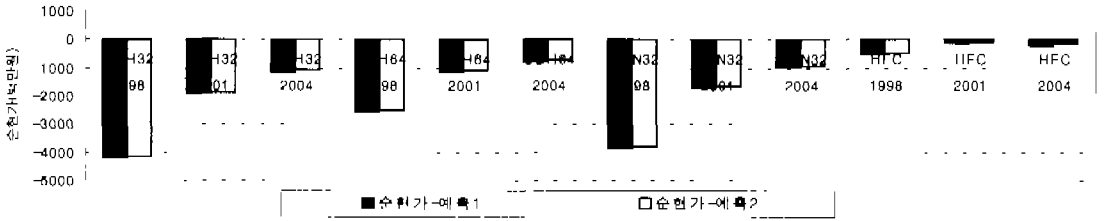


그림 11. 순현가 시나리오 2

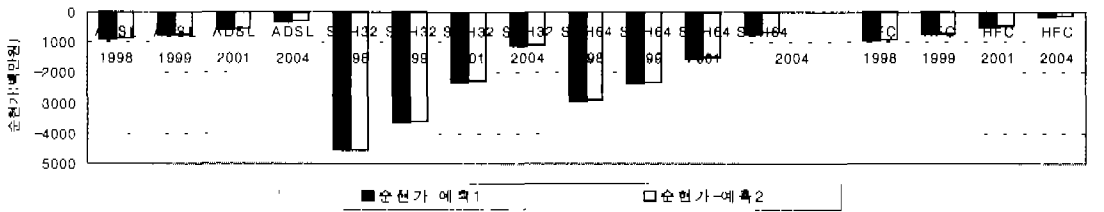


그림 12. 순현가 시나리오 3

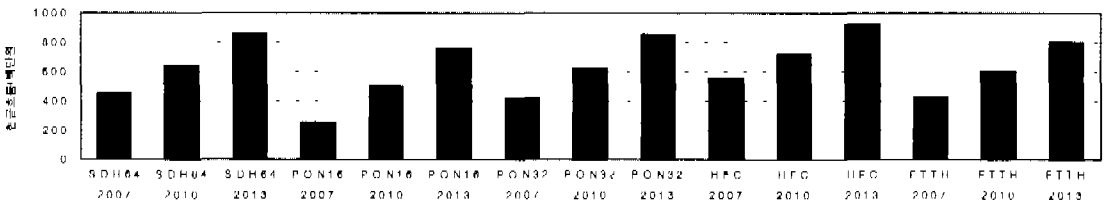


그림 13. 최종년도 현금 흐름 시나리오 1과 예측 1

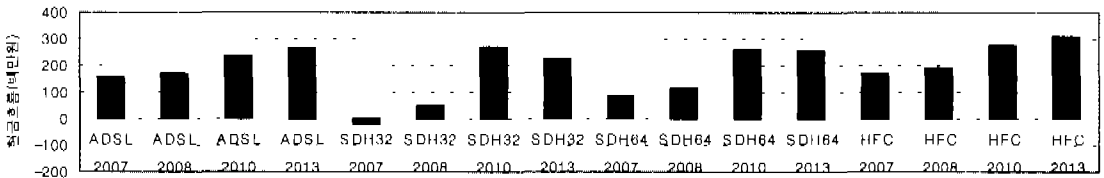


그림 14. 최종년도 현금 흐름 시나리오 3과 예측 1



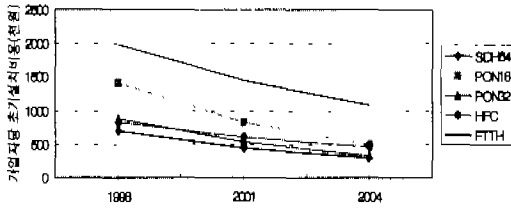


그림 15. 가입자당 초기설치비용 변화 시나리오 1

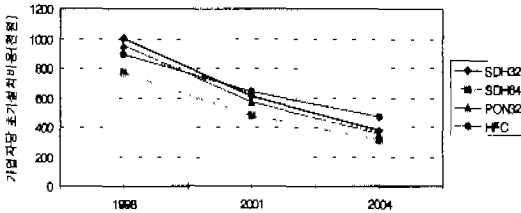


그림 16. 가입자당 초기설치비용 변화 시나리오 2

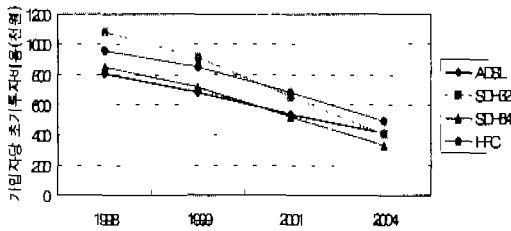


그림 17. 가입자당 초기설치비용 변화 시나리오 3

가 벌어진다. 만일 10년 이상 분석한다면 ADSL 대안은 최적 대안에서 떨어진다. 광대역 서비스 가입자 수를 가정한다면 ADSL 모델 가격이 2001년에 현재 가격의 1/3 수준보다 더 떨어져야 경쟁력이 있다. 하지만 FTTH 대안 가운데 상당 부분을 차지하는 ONU 가격은 조금만 낮추어도 쉽게 가격 경쟁력을 얻을 수 있다. 수익과 위험을 분석하기 위해 연구대상기간 2001년에서 2010년, 시나리오 3, 그리고 예측 1에서 S-곡선을 그려보면 그림 18과 같다. S-곡선을 살펴보면 SDH64대안과 ADSL 대안은 다른 대안들을 확률 지배한다. SDH64 대안과 ADSL 대안은 서로 경쟁 관계에 있는 대안이다. 그리고 SDH 대안들은 다른 대안에 비해 비용 변화폭이 크다. 이 곡선에서 보면 SDH64 대안이 최적 대안이다. 하지만 ADSL 대안과 비교할 때 ONU 라인카드와 셋탑박스 비용이 충분히 떨어지지 않거나 메터 서비스 가입자 수가 기대만큼 늘지 않아서 가입자당 초기설치비용이 550,000원 이상이면

ADSL 대안이 더 유리하다. SDH64 대안 곡선과 ADSL 대안 곡선이 교차하는 부분은 전체 확률에서 15 퍼센트 미만인 부분이다. 따라서 SDH64 대안이 서비스 침투율을 예측 1로 가정할 때 ADSL 대안보다 유리할 확률이 85퍼센트 이상임을 알 수 있다.

#### 4.4 비용 요소 분석

비용 요소는 여러 가지 방법으로 나눌 수 있다. 이 분석에서 시스템 비용 하락률에 대한 불확실성 변수처럼 전자, 광송수신 관련, 그리고 수동 소자와 같이 나눌 수 있다. 또 다른 방법은 가입자 수가 변할 때 영향을 받는 부분과 그렇지 않은 부분, 그리고 케이블링 관련 비용으로 나눈다<sup>[8]</sup>. 여기서는 두 번째 방법을 사용한다. 모든 비용 요소는 서비스 의존 비용, 기본 서비스 비용, 그리고 케이블링 관련 비용으로 나눈다. 이렇게 나누면 대안 사이 비용 구조를 뚜렷이 알 수 있다. 또한 액세스노드, ONU, ONU 라인카드, 가입자 태내 장치, 그리고 케이블링 비용 중에서 어떤 부분에 투자를 집중해서 가격을 떨어뜨려야 하는지 파악하기 쉽다. 그림 19는 시나리오 1에서 가입자당 초기설치비용을 세 가지 비용 요소로 나누어 상대 크기를 비교한 그래프이다. 모든 불확실성 변수는 중간값으로 고정했다. SDH 대안은 비용 요소들 사이 점유율이 비슷하다. PON 대안은 기본 서비스 비용 점유율이 다른 요소들 보다 2배 이상 높다. 또한 HFC 대안과 FTTH 대안은 케이블링 관련 비용이 대부분을 차지한다. 시간이 지나면서 모든 대안에서 케이블링 비용 점유율이 커진다. 케이블링 관련 기술 순기가 시스템 관련 기술 순기보다 길기 때문이다. ONU당 가입자 수가 많을수록 기본 서비스 비용보다 서비스 의존 비용이 차지하는 비율이 높아진다. 비용 요소 분류를 통해 서비스 가입자 수가 늘어날 때 투자하는 비용보다 기본 서비스 비용이나 케이블링 비용 같이 연구대상기간 처음에 투자하는 비용이 더 위험이 크다는 사실을 알 수 있다.

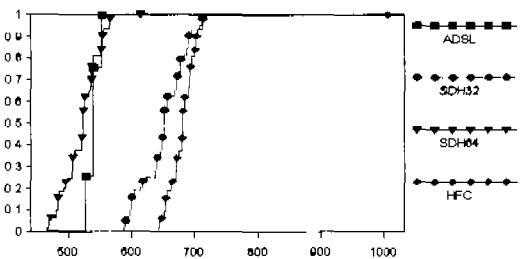


그림 18. 여러 기술 대안의 S-곡선 비교

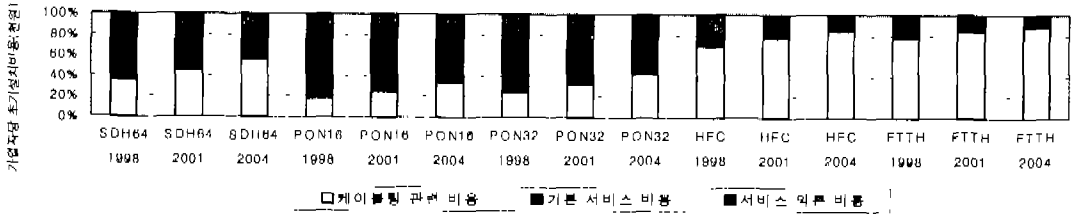


그림 19. 비용 요소 분류 상대값-시나리오 1

### V. 결론

이 논문은 가입자망 기술경제성 평가 모형을 이끌어내고 통합액세스노드 시스템을 기반으로 하는 광대역 가입자망의 최적 진화 방안을 수립했다. 가입자망 기술경제성 분석틀은 의사결정과 위험분석 방법론을 바탕으로 마련했다. 먼저 가입자망을 구축할 때 영향을 미치는 기술경제성 평가 요인들을 정의했다. 다음으로 지역 모형을 정하고 분할확성 요인을 평가한 값에 확률을 주어 연구대상기간에 걸쳐 예측값을 얻어냈다. 또한 연구대상기간에 걸쳐 연간현금흐름을 계산하여 순현재가치나 가입자당 초기설치비용 같은 가치척도 값을 구했다. 마지막으로 기대값을 비교하고 민감도와 위험수익 분석을 통해 결과를 분석하여 진화 방안을 찾아냈다. 결과분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다. 순현재가치로 분석할 때 SDH64 대안과 HFC 대안이 가장 우수했다. 최종년도 현금흐름에서는 2010년대 이후에는 현재 가입자망 대안들 중 FTTH-PON 대안이 가장 수익을 많이 올릴 수 있음을 알아냈다. 또한 가입자당 초기설치비용에서 SDH64 대안이 가장 우수했다. 모든 시나리오에서 같은 기술 대안을 비교해보면 시나리오 사이에는 가입자당 초기설치비용 기준으로 10 퍼센트 정도 차이가 나지만 대안 사이에는 최대 73.5 퍼센트까지 차이가 생긴다. 가입자망을 구축할 때 어떤 광대역 서비스를 제공하는가 결정하는 문제보다 어떤 대안으로 구성하는가 결정하는 문제가 더 중요함을 알 수 있다. 비용 요소 분류에서 보면 광케이블과 동선을 함께 설치하는 대안일 경우 가입자에 가까이 광케이블을 설치할수록 비용이 크게 증가한다. 또한 케이블 비용 관련 기술 순기는 시스템 관련 기술 순기보다 길어서 시간이 흘러도 케이블 비용이 떨어져서 얻을 수 있는 이익은 크지 않다. 따라서 액세스노드에서 어느 지점까지 광케이블을 설치하는가 결정하는 문제는 중요하다. FTTC 대안에서는 ONU당 가입자 수

를 결정하는 일이 SDH나 PON 구조를 결정하는 일보다 가치척도에 영향을 더 많이 준다. 또한 시나리오 1과 2는 다른 시나리오에 비해 연구대상기간 처음에 투자하는 비용 비율이 높다. 기본 서비스 비용은 가입자에 가깝게 광케이블을 포설할수록 ONU당 가입자 수가 작아져 액세스 노드나 ONU같은 시스템을 공유하는 비율이 낮기 때문이다. 기본 서비스 비용과 케이블링 관련 비용은 연구대상기간동안 서비스 침투율이 얼마나 증가하느냐에 관계없이 한 번에 투자해야 하므로 위험 부담이 크다. 따라서 다양한 광대역 서비스를 제공할 수 있는 가입자망의 경제성을 평가할 때 가입자에 가깝게 광케이블을 포설할수록 위험이 크다. 이 논문의 결과는 가입자망 기술경제성을 체계화 갖춘 분석틀을 이용해서 평가하고 우리나라 실정에 맞는 분석 결과를 제공했다. 이를 통해 통신 사업자가 수요와 기술 예측을 바탕으로 가입자망 구축 계획을 세우는 데 도움을 준다. 또한 장비 생산 업체가 적절한 가격으로 장비를 공급하기 위해서 어떤 기술 개발에 투자해야 하는지 의사결정을 내리는 데 기여할 수 있다. 더 나아가 설비 입지 결정 문제나 망 자원 할당 문제와 같이 중요하지만 답을 얻기 어려운 문제에 대한 연구를 촉진하는 계기가 된다. 앞으로 서비스 수요와 시스템 비용 단가 변화 사이 상관 관계에 대한 확률 분포를 시간에 따라 예측하여 이 논문에서 이끌어낸 결과와 통합한 계획이다. 이는 의사결정기법과 최적화 기법으로 최적 가입자망 진화 전략을 제시하는 APSAN (Advanced Planning System for Access Network)으로 구현될 것이다.

### 참고문헌

[1] M. P. Vecchi, Broadband Networks and Services: Architecture and Control, *IEEE Communications Magazine*, 33(8), pp. 24~32, August 1995.  
 [2] W. Verbiest, G. VanderPlas, and D. J.G. Mestdagh,

FITL and B-ISDN: A Marriage with a Future, *IEEE Communications Magazine*, 30(6), pp. 60-66, June 1993.

- [3] K. Lu and M. I. Eiger, System and Cost Analysis of Broad-Band Fiber Loop Architectures, *IEEE JSAC*, 8(6), pp. 1058-1067, Aug. 1990.
- [4] B. T. Olsen, A. Zaganianis, K. Stordahl, L. Aa. Ims, and D. Myhre, Techno-Economic Evaluation of Narrowband and Broadband Access Network Alternatives and Evolution Scenario Assessment, *IEEE JSAC*, 14(6), pp. 1184-1202, August. 1996.
- [5] 노장래, 이영호, 정혜승, 가입자망 기술경제성 평가에 대한 새로운 방법론 연구, 1998년도 한국통신학회 추계종합학술대회 논문집, 18(2), pp. 1499-1502, 1998년 11월.
- [6] 노장래, 김재근, 최문기, 평가가입자망의 전략적 진화 기술경제적 문제풀 중심으로-, *Telecommunications Review*, 7(1), pp. 72-85, 1997. 1~2월.
- [7] ADA Decision Systems, *DPL Advanced Version User Guide*, Duxbury Press, 1998.
- [8] EURESCOM, *Implementation Strategies for Advanced Access Network, Deliverable 3 Techno economic Analysis of Major Factors of B-ISDN/ATM Upgrades, vol. 2 of 2:Annex*, April 1998.
- [9] David P. Reed, *Residential Fiber Optic Networks: An Engineering and Economic Analysis*, Artech House, 1992.
- [10] G. J. Thuesen, W. J. Fabrycky, 김영휘, 김성식, 김성인, 김승권 역, *경제성 공학*, 제 8판, 청문사, 1994.
- [11] 나완배, 정찬수 공저, *기업전략개발과 위험분석*, 도서출판 한송, 1996.

gies, Boulder. Colorado, USA, Distinguished Memeber Technical Staff

1994.10~현재: Telecommunications Systems International Journal, USA Associate Editor

1997.1~현재: International Journal of Management Science Associate Editor

1997.2~현재: 고려대학교 산업공학과 부교수  
<주관심 분야> 정보통신 시스템, 정보경영 시스템, 서비스 공학, 네트워크 설계

노 장 래(Jangrai Roh)



1982년 2월: 성균관대학교  
산업공학과 졸업

1985년 2월: KAIST  
산업공학과 석사

1985.2~현재: ETRI 연구원/팀장

<주관심 분야> 정보통신 시스템 엔지니어링, 통신망 계획 및 설계

정 혜 승(Hyeseung Jeong)



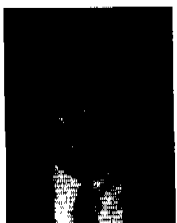
1998년 2월: 고려대학교  
산업공학과 졸업

1998년 3월~현재: 고려대학교  
산업공학과 석사과정

<주관심 분야> 네트워크 설계 및  
경제성 분석

이 영 호(Youngho Lee)

정희원



1984년 2월: 서울대학교 산업공학과 졸업

1986년 2월: 서울대학교 산업공학과 석사

1992년 8월: 버지니아 공과대학  
산업시스템공학과 박사

1992.9~1997.2: US WEST Advanced Technolo-