

ATM 기반 초고속 정보통신망 기술경제성 평가 모형

이영호* · 김정헌* · 김영부** · 이순석** · 강국창**

A New Techno-Economic Modeling for ATM Based High-Speed Networks

Youngho Lee* · Jeongheon Kim* · Youngbu Kim**
Soonsuk Lee** · Kugchang Kang**

■ Abstract ■

This paper is concerned with a new techno-economic modeling of ATM based high-speed networks. Coupled with advances of technology, the rapid development of new telecommunication services significantly increases the magnitude of risk in making an investment decision. Naturally, the success of techno-economic modeling depends on how effectively we manage underlying risk factors such as cost and technology. To deal with risk factors, we need to rely on modern decision and risk analysis while implementing mathematical optimization for solving a complex capacity expansion problem of telecommunication systems during the planning period. We provide a case study that will enhance our understanding of the techno-economic analysis for emerging telecommunication systems.

Keyword : Techno-Economic Modeling, ATM Networks, Capacity Expansion Problem, High-Speed Networks

1. 서론

정부는 약 40조원을 투자하는 초고속 정보통신망

구축계획을 수립했다[5]. 이와 같은 대규모 투자에서 투자효율을 높이기 위해서는 통신시장 상황, 요금 정책 그리고 통신 기술과 지역 환경이 주는 제

논문접수일 : 2002년 1월 14일 논문게재확정일 : 2003년 2월 6일

* 고려대학교 산업시스템정보공학과

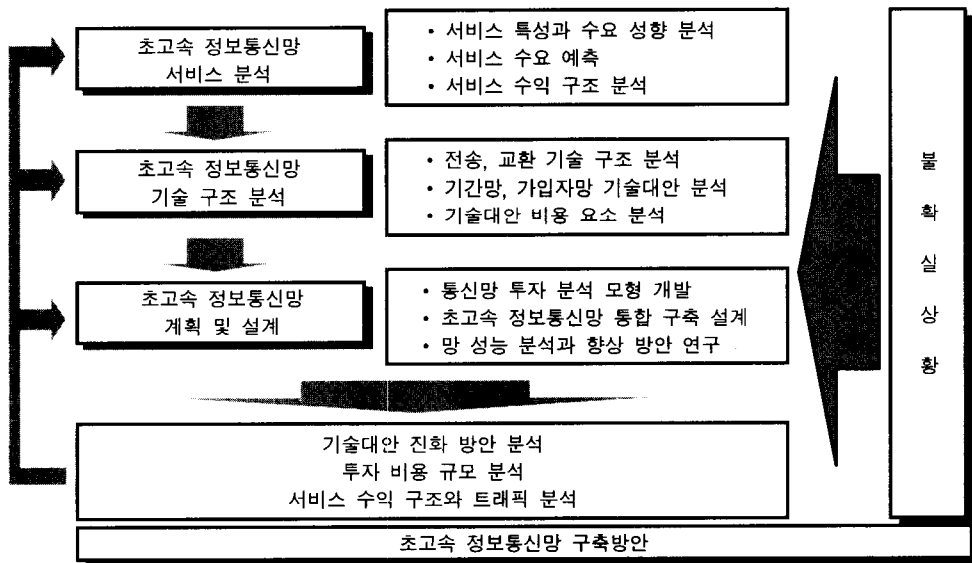
** 한국전자통신연구원

약조건을 분석해야 한다. 또한 서비스 트래픽, 교환, 전송 장비 같은 망 요소가 지닌 특성을 파악하여 기간망과 가입자망을 함께 고려한 망 구축방안과 운용계획을 세워야 한다. 이를 위해서 이 연구는 초고속 정보통신망 기술체계를 분석하고 최적 투자 방안을 제시하는 새로운 기술경제성 평가 방법론을 개발한다.

통신망 기술경제성 평가는 [그림 1]과 같은 분석 과정을 이용한다. 첫 번째 단계로 초고속 서비스가 갖고 있는 트래픽, 제공회선, 제공 가능 기술대안 같은 서비스 특성과 수용 성향을 조사한다. 그리고 수요 예측과 이용 요금을 고려하여 수익구조를 분석한다. 다음 단계로 망 기술 구조를 분석한다. 제안한 지역모형에서 교환, 전송기술과 기간망, 가입자망에 적용할 수 있는 기술대안 구조를 조사한다. 그리고 기술대안 조합에 필요한 장비, 케이블, 유지보수에 대한 비용구조를 파악한다. 세 번째 단계는 망 계획과 설계 과정이다. 서비스와 기술대안을 바탕으로 비용을 최소로 하면서 수요를 만족하는 통신망 투자 분석모형을 개발한다. 투자 분석 모형은 기간에 따라 예측한 서비스 수요와 장비, 케이블 같은 요소의 비용변화 값을 이용해 수요와 설비

에 대한 제약조건을 수학 모형으로 표현하여 망 구축과 성능 향상 방안을 제시한다. 다음 단계로 불확실한 상황을 반영한 망 구축 방안을 제시한다. 의사결정 방법론을 이용하여 수요와 비용이 망 구축 과정에 주는 불확실성 영향을 분석한다. 이러한 기술경제성 분석 과정은 기간별 기술대안의 진화 과정, 비용 규모, 그리고 서비스의 수익 구조를 분석해서 최적 투자 방안을 제시한다. 또한 [그림 1]과 같이 각 단계에서 고려하는 요소를 바꾸면서 분석을 반복하면, 다양한 투자 방안을 제시할 수 있다.

통신망 기술경제성 평가에 관한 연구 가운데, 특히 지난 10년 동안 가입자망 기술경제성 평가에 관한 연구가 활발하게 이루어졌으나 가입자망에 대한 평가 방법론은 지역 범위가 넓고 초기 투자비용이 큰 초고속 정보통신망을 분석하기에는 알맞지 않다[3, 12, 16]. 그리고 지역 특성, 서비스 수요 특성이 나라마다 다르므로 우리나라 실정에 맞는 구축 방안을 위한 방법론이 필요하다[7, 9]. 또한 초고속 정보통신망 정책 방향과 서비스에 대한 분석 연구[6, 7]는 망 구축 방법에 대한 정량적 접근보다 정책개발에 비중을 두고 있다. 또한 연구[2, 15]는 가입자망이나 초고속 정보통신망 수요를 예측하기



[그림 1] 초고속 정보통신망 기술경제성 평가 단계

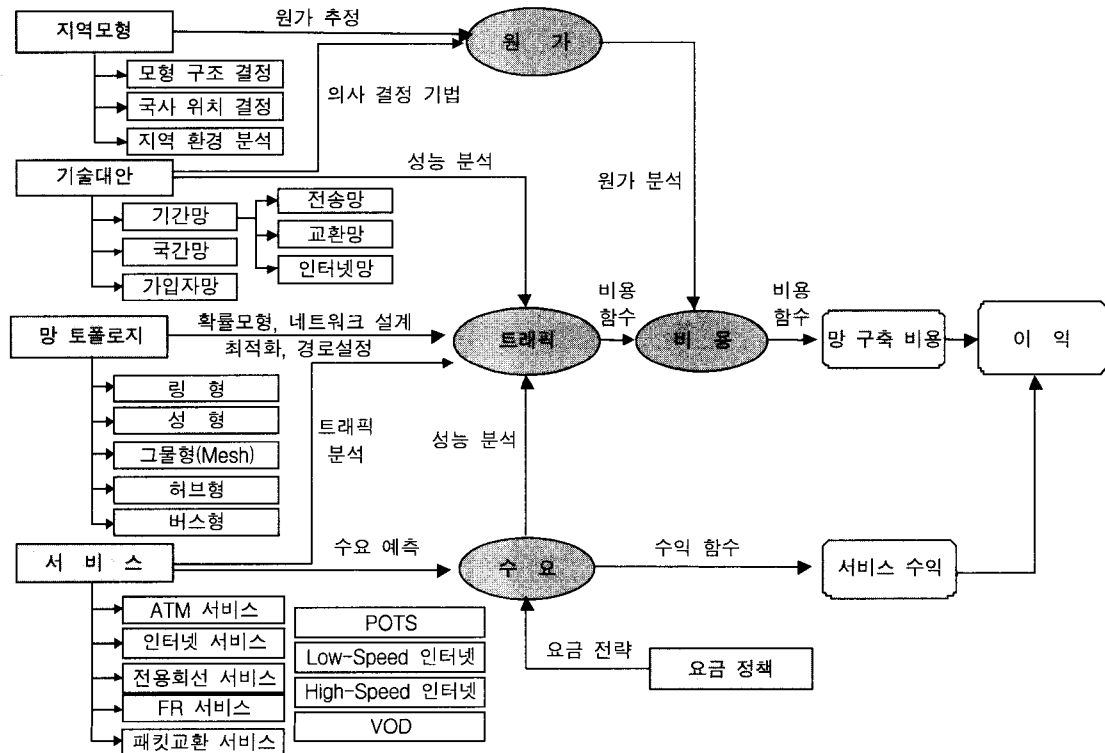
위해 설문을 통한 방법과 확률분포를 이용한 수요 모형을 제시했다. 그리고 선로설비와 시스템 비용을 예측하기 위해 학습곡선을 이용했다[14]. 그러나 이러한 연구는 미래의 불확실한 상황에 대해 대응할 수 있는 능력이 떨어진다. 따라서 이 연구는 불확실성을 다루기 위해 의사결정 분석 방법론을 이용한다. 의사결정 분석은 광대역 가입자망 기술 경제성 평가에 이용되었다[3, 8]. 한편, 수요를 만족하는 장비용량 결정과 트래픽 경로설정 문제는 망을 설계하는데 중요한 고려요소이다[18, 19]. 다양한 장비 가운데 비용을 최소로 하는 장비 선택문제와 링크 비용을 줄일 수 있는 경로설정 문제는 투자 규모를 결정하는데 중요하다. 따라서 이 연구는 트래픽 수요를 만족하면서 비용을 최소로 하는 교환, 전송 장비와 케이블 용량을 결정하는 망 계획 최적 모형을 개발한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 이 연구

에서 다루려는 초고속 정보통신망 구성과 경제성 평가 모형을 설명하고, 3장은 초고속 정보통신망 구성요소를 설명한다. 그리고 4장은 최적화 기법을 이용한 망 투자 분석 모형을 설명하고, 5장은 사례연구를 다룬다. 6장은 결론과 활용방안을 제시한다.

2. 기술경제성 평가 모형

통신망 기술경제성 평가를 할때는, 핵심 요소인 장비 비용과 서비스 수요에 내재된 불확실성을 체계있게 다룰 수 있는 방법론이 필요하다. [그림 2]는 의사결정 요소와 불확실성 요소 그리고 가치척도 사이에 나타나는 영향관계를 이해하기 쉽게 보여주는 영향도이다[1]. [그림 2]에서 사각형으로 나타난 지역모형, 기술대안, 망 토폴로지, 서비스, 그리고 요금정책은 결정해야 하는 의사결정 요소이다. 그러나 원으로 나타난 장비 원가, 트래픽, 서비스



[그림 2] 초고속 정보통신망 기술경제성 평가 영향도

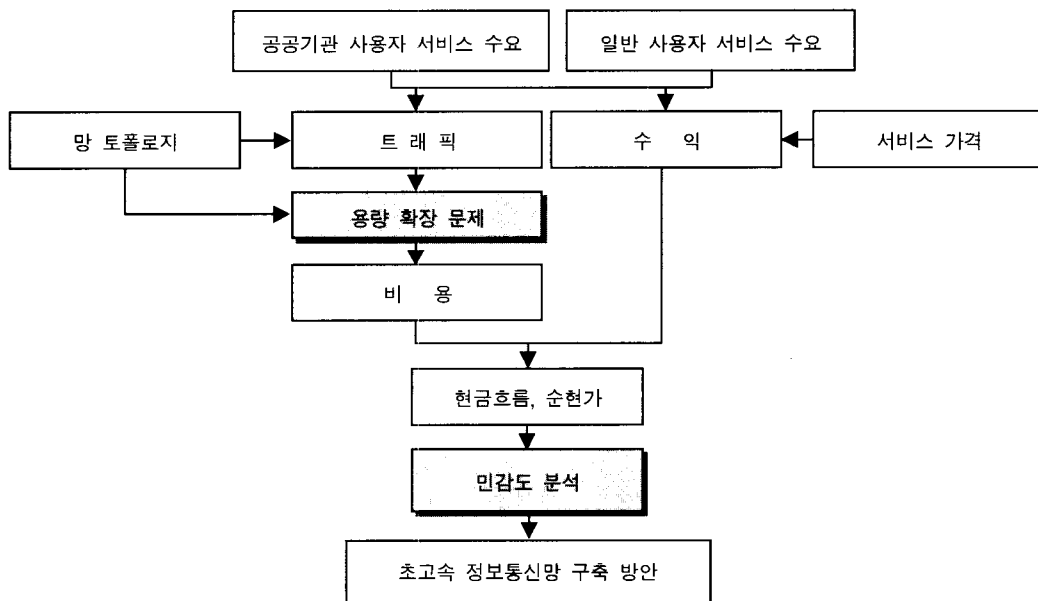
스 수요는 불확실성 요소를 나타낸다. 그리고 화살표는 요소 사이 영향 관계 흐름을 나타내고, 화살표 위는 요소 분석에 필요한 방법론을 보여준다. 여기서 이익이 가치척도이고 [그림 2]에서 모서리가 둥근 사각형으로 나타난다. 이익은 망 구축 비용과 서비스 수익을 이용하여 계산한다.

[그림 2]에서 지역 모형은 망이 구축되는 지역이 갖고 있는 특성을 표현한다. 인구 분포, 국사에서 가입자까지 거리 분포, 그리고 산지, 평지 같은 지역 환경 특성에 따라 국사 위치나 케이블 분배 같은 지역 모형 구조를 결정한다. 기술대안은 다양한 교환, 전송 기술의 조합을 이용한다. 기술대안에 따라 필요한 설비 용량이 결정된다. [그림 2]에서 지역 모형과 기술대안에 대한 의사결정은 원가 계산과 트래픽에 영향을 준다. 또한 망 토폴로지는 그물형, 링형, 성형 구조로 할 수 있고, 상세 구조는 비용과 처리 트래픽 용량에 영향을 준다. 다음으로 서비스에 대한 의사결정 요소와 수요에 대한 불확실성 요소를 영향도에 나타낸다. 그리고 요금 정책이 서비스 수요에 영향을 줄 수 있다. 예를 들어 낮은 요금으로 적극적인 시장 침투 정책을 쓸

경우 서비스 수요가 증가한다. [그림 3]은 위에서 설명한 [그림 1]과 [그림 2]를 바탕으로 이 연구에서 분석한 초고속 정보통신망 기술경제성 평가 흐름을 나타낸다. 망 토폴로지, 서비스 수요, 그리고 서비스 가격으로 트래픽과 수익을 산출한다. 산출한 트래픽을 처리하기 위한 최적 망을 구성하고 비용을 산출한다. 산출한 비용과 수익으로 현금 흐름과 순현재가를 산출하고, 민감도 분석을 통하여 최적 투자 방안을 제시한다. 다음 장은 기술경제성 분석에 필요한 망 구성 요소를 설명한다.

3. 초고속 정보통신망 구성 요소

초고속 정보통신망은 초고속 국가정보통신망(이하 국가망)과 초고속 공중정보통신망(이하 공중망)으로 나눌 수 있다. 국가망은 국가가 재정을 지원하여 구축해서 공공기관에 서비스를 제공한다. 공공기관은 중앙행정, 특별지방행정, 지방자치단체, 교육, 연구, 의료, 문화예술, 기타 기관, 8가지로 나눈다. 현재 국가망은 한국 통신과 데이콤이 사업을 진행하고 있다. 그리고 공중망은 가입자망과 시내



[그림 3] 초고속 정보통신망 기술경제성 평가 분석 과정

국간망으로 일반 가정과 기업에 초고속 통신서비스를 제공한다. 초고속 정보통신망 구축 계획에 따르면 국가망은 2005년까지 전국 144개 지역(통화권역)을 연결하는 규모로 구축하게 된다. 이와 함께 공중망은 2005년까지 통신사업자가 시장수요와 경제성 그리고 지역 특성을 고려해서 구축한다. 기간전송망은 국가망을 바탕으로 하고 가입자망은 기존 통신망을 활용하여 망을 확장한다[13].

초고속 정보통신망 교환망은 코어 ATM 교환기로 백본망을 구성하고, 에지 ATM 교환기로 가입자 접속장치를 수용하는 방식이다[5]. [그림 4]는 이 연구에서 다루는 초고속 망 구조이다. 여기서 백본망을 구성하는 노드를 코어노드로 하고, 코어노드에 에지노드가 연결되는 2계위 구조이다. [그림 4]와 같이 에지노드에 공공기관 사용자와 일반 사용자가 연결된다.

에지노드에서 국가망 서비스 사용 기관수를 추정하여 트래픽과 비용을 산출한다. 서비스를 사용하는 공공 기관 숫자는 연구 기간동안 선형으로 증가한다고 추정한다. 그리고 이용하는 서비스는 <표 1>과 같이 다섯 가지이며 여러 서비스를 동시에 이용할 수 있다. 한국전산원이 산정한 전송속도별 이용료에 따라 이용 요금과 트래픽을 계산한다. 서비스별 이용 성향은 <표 1>과 같이 저속, 중속, 고속 세 가지로 정의한다. 또한 서비스를 이용할 때

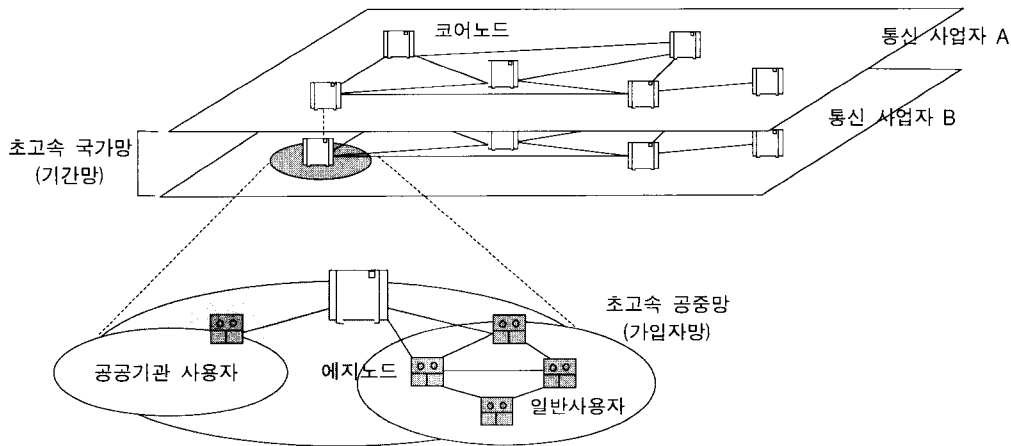
나타나는 전이 비율을 이용하여 시간이 지날수록 고속 서비스를 이용하려는 성향을 반영한다. 전이 비율은 기간별로 낮은 속도를 이용하던 공공기관이 다음 기간에 더 높은 속도 서비스로 옮겨가는 경향을 비율로 나타낸 값이다.

국가망이 처리하는 트래픽을 계산하기 위해 서비스별 이용 공공기관수와 동시 사용률, 코어노드 사이 친밀도를 가정한다. 친밀도는 한 노드에서 발생한 트래픽이 다른 노드로 나누어지는 비율을 말한다. <표 2>는 코어노드 사이 트래픽 친밀도 일부분을 나타낸다. 예를 들어, 서울에서 발생한 총 트래픽이 1이면, 서울에서 처리되는 트래픽은 0.2, 대전으로 전달되는 트래픽은 0.15이다.

집합 S 를 <표 1>에서 분류한 서비스 집합으로, 집합 U 를 저속, 중속, 고속 서비스 분류에 관한 이용성향 집합이라고 정의한다. 전체 연구 대상기간을 T 라고 할 때, 기간 $t(t \in T)$ 에 에지노드에서 발생하는 트래픽 P_t 는

$$P_t = \alpha \sum_{s \in S} \sum_{u \in U} a_t \cdot b_{su} \cdot c_{su} \cdot r_s$$

이다. 위 식에서 a_t 는 기간 t 에서 에지노드에 접속한 공공기관 수이고 b_{su} 는 서비스 이용성향 비율을, c_{su} 는 접속회선 수를 나타낸다. r_s 는 공공기



[그림 4] 초고속 정보통신망 구성도

〈표 1〉 공공기관이 이용할 수 있는 서비스별 전송속도와 이용료

(단위 : 천원/월)

서비스	이용료	전송 속도(이용 성향)		
		저 속	중 속	고 속
ATM		2Mbps	45Mbps	155Mbps
	접속료	345	2,587	5,175
	전송료	851	3,119	10,594
	설치비	100	970	1,940
	합	1,296	6,676	17,709
전용회선		2Mbps	45Mbps	155Mbps
	회선이용료	2,573	19,309	38,618
	설치비	100	970	1,940
	합	2,673	20,279	40,558
패킷교환		0.064Mbps	0.512Mbps	2Mbps
	기본료	114	447	1,335
	사용료	100	400	1,000
	설치비	28	100	100
	합	242	947	2,435
프레임 릴레이		0.064Mbps	0.512Mbps	2Mbps
	접속료	87	394	1,099
	전송료	59	408	809
	설치비	28	100	100
	합	174	902	2,008
인터넷		0.512Mbps	2Mbps	45Mbps
	이용료	405	940	7,047
	설치비	100	100	970
	합	505	1,040	8,017

관이 서비스 $s(s \in S)$ 를 이용하는 비율을 나타낸다. 또한 코어노드에서 에지노드로 전송되는 하향 트래픽을 고려하기 위해 가정한 상수값 $\alpha(\alpha = 2)$ 를 곱한다. 이때 패킷 교환 서비스 경우는 시간과 전송량에 따른 사용량은 고려하지 않았다. 위 식으로 계산한 트래픽으로 처리 용량에 맞는 장비와 케이블 비용을 구한다.

ATM 교환망과 SDH 전송망 구조를 갖는다고 가정하여 비용을 산출할 때는 교환장비, 전송장비, 케이블을 고려한다. 교환장비는 ATM 교환기이며, 전송장비는 STM급 장비이고, 처리 트래픽양과 장비 가격 하락율을 이용하여 필요한 장비 수와 비용

〈표 2〉 코어노드 사이 트래픽 친밀도(일부분)

전달노드 \ 발생노드	서울	대전	부산	...	제주
서울	0.2	0.15	0.1	...	0.1
대전	0.15	0.25	0.2	...	0.12
부산	0.15	0.2	0.3	...	0.14
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
제주	0.2	0.17	0.21	...	0.23

을 산출한다. 교환장비 비용 계산 때는 모듈당 처리할 수 있는 트래픽과 최대 장착가능한 모듈 수를 고려하여 교환기 수를 구한다. 이 때 소요된 고정

〈표 3〉 국가망 구성 장비 분류와 비용

(단위 : 백만원)

장비 분류	비용 요소	비 용			
			고 정 비	변 동 비	최 대 용 량
ATM 교환기	고정비, 변동비, 최대 용량	교환기 A	165	17/5Gbps	10Gbps
		교환기 B	192	10/5Gbps	20Gbps
STM급 전송장비	비용/용량	15/STM-1			
케이블 + 설치 비용	비용/km	2.2/km			

〈표 4〉 가입자망 기술대안별 가입 전이확률

기술대안	ADSL	HFC	FTTC-SDH	FTTC-PON	FTTH
ADSL	0.7	0.05	0.1	0.1	0.05
HFC	0	0.8	0.1	0.05	0.05
FTTC-SDH	0	0	0.7	0.1	0.2
FTTC-PON	0	0	0	0.6	0.4
FTTH	0	0	0	0	1

비와 모듈 변동비로 비용요소를 나눈다. 케이블 비용은 전송장비가 처리하는 용량에 따라 달라지므로 전송장비 설치와 함께 거리당 비용을 이용한다. 전송장비는 STM급 용량과 비용을 이용한다. 망 토폴로지는 모든 공공기관이 에지노드 한 지점에 직접 연결되는 성형 구조를 가정하고 거리는 노드 사이 직선 거리를 이용한다. <표 3>은 초고속 국가망을 이룰 때 이 연구에서 고려하는 장비 분류와 장비별 비용을 보인다.

공공기관 수요와 분리하여 가입자망 수요를 서비스 초기 침투율과 포화 도달시기 그리고 이용자수의 최대 포화값을 로지스틱 함수를 이용하여 예측할 수 있다[20]. 이때 포화값은 한 에지노드에서 발생하는 가입자망 전체 가입자수를 나타낸다. 그리고 가입자망 기술대안별 가입자수를 구한다. 가입자망 기술대안은 ADSL(Asymmetric digital subscriber loop), FTTC-SDH(Fiber-to-the-curb SDH), FTTC-PON(Fiber-to-the-curb PON), FTTH(Fiber-to-the-home), HFC(Hybrid fiber coax) 다섯 가지로 분류한다[3]. 위에서 산출한 수요를 이용하여 기술대안별 수요를 계산한다. 또한

시간이 지나면서 사용자는 큰 대역폭을 제공하는 기술대안을 선택하려 하기 때문에 가입 전이가 발생한다. 가입 전이는 한 기간에 저속 서비스 사용자는 다음 기간에 더 높은 대역폭을 제공하는 FTTC 나 FTTH를 이용하는 성향을 말한다. 망 사업자 입장에서 높은 대역폭을 요구하는 서비스를 제공하기 위해 기술대안을 진화시키는 상황을 반영한다. <표 4>는 기술대안별 가입 전이확률의 한 예로 가로축에 있는 기술대안에서 세로축 기술대안으로 가입이 전이되는 확률을 가정하여 나타낸다. 예를 들어, HFC 기술대안 이용자가 다음 기간에 HFC를 계속 이용할 확률은 0.8이고 FTTC-SDH를 이용할 확률은 0.1, 그리고 FTTC-PON과 FTTH를 이용할 확률은 0.05이다. 그리고 <표 4>에서 비율이 0인 부분은 제공 대역폭이 큰 기술대안에서 작은 기술대안으로 하향 전이는 안되고, 가로축 각 기술대안별 가입 전이확률 합은 1이다.

<표 5>는 가입자망 기술대안별 초기 가입비와 월사용료를 나타낸다. 가입자망은 국가망과 달리 기술대안에 따라 요금을 부과한다. 전이확률을 이용하여 얻은 기간별, 기술대안별 가입자 수를 이용

하여 가입자당 서비스 수익을 산출한다.

〈표 5〉 가입자당 기술대안별 요금

	초기 가입비(원)	서비스 가격(원/월)
ADSL	40,000	30,000
HFC	40,000	35,000
FTTC-SDH	70,000	50,000
FTTC-PON	70,000	50,000
FTTH	100,000	50,000

서비스는 일반음성전화 서비스, 저속 인터넷 서비스, 고속 인터넷 서비스, 주문형 비디오 서비스, 네 가지를 고려한다. 일반음성전화 서비스는 기본 서비스로 제공되고, 나머지 세 가지는 대역폭을 제공할 수 있는 기술대안을 고려하여 가입자가 원하는 서비스를 선택하여 이용한다고 가정한다. 또한 트래픽을 계산하기 위해서 서비스별 요구 트래픽, 이용 가입자 수와 함께 동시 사용율을 고려한다. 〈표 6〉은 서비스별 요구 트래픽과 동시 사용율을 나타낸

다. 〈표 6〉에 나타난 요구 트래픽과 서비스 이용 가입자 수는 한국전자통신연구원이 개발한 통합 액세스노드(Multi Access Integrated Node, MAIN) 시스템을 기준으로 정하였다[8]. 계산한 트래픽은 가입자당 구축비용을 산출하는데 이용한다.

가입자당 구축비용 요소를 장비와 케이블로 나눈다. 비용 단가와 용량 그리고 기간별 비용 하락율을 이용하여 비용을 산출한다. 비용단위는 가입자당 비용으로 계산한다. 장비비용은 기술대안에 따라 달라진다. 〈표 7〉은 장비를 크게 네 가지로 분류하고 기술대안별로 해당하는 장비요소와 비용을 나타낸다. 〈표 7〉을 보면, 세로축 기술대안에서 비용이 있는 부분이 필요한 장비요소를 나타낸다. 보기를 들면 ADSL 기술대안은 DSLAM 장비가 필요하지만 FTTH 경우에는 DSLAM을 제외한 나머지 장비가 필요하다. 〈표 6〉에서 분류한 내용과 장비가 처리하는 가입자수(장비 용량)를 이용하여 기간별 추가 가입자 수를 만족하는 장비용량과 비용을 구한다. 이때 비용 단가와 비용하락율을 이용해

〈표 6〉 가입자당 서비스별 요구 트래픽, 이용자수와 동시 사용율 가정

(이용 가입자수는 2,048 가입자 기준)

서비스 종류	요구 트래픽	이용 가입자 수	동시 사용율
일반음성전화 서비스	64 Kbps	5,760	100 %
저속 인터넷 서비스	1.2 Mbps	1,500	40 %
고속 인터넷 서비스	2 Mbps	500	30 %
주문형 비디오 서비스	6 Mbps	300	20 %

〈표 7〉 기술대안별 가입자당 구축 장비요소와 비용

(용량단위 : 가입자수, 비용단위 : 천원)

분 류		ADSL	HFC	FTTC-SDH	FTTC-PON	FTTH
DSLAM	용 량	576				
	단 가	1,870				
엑세스노드 (AN)	용 량		2,000	2,048	2,048	2,048
	단 가		185,598	250,696	200,000	210,572
스플리터	용 량				16	64
	단 가				20,000	7,800
ONU	용 량		500	64	128	1
	단 가		4,500	45,883	50,000	831

<표 8> 가입자망 기술대안에 따른 구간별 케이블 종류

기술대안	휘더 구간		주분배 구간		분배 구간		인입 구간	
	케이블 종류	비율	케이블 종류	비율	케이블 종류	비율	케이블 종류	비율
FTTC-SDH	48심 광케이블	0.3	6심 광케이블	0.2	25페어 동선	0.3	1페어 동선	0.2
FTTC-PON	48심 광케이블	0.2	6심 광케이블	0.3	25페어 동선	0.2	1페어 동선	0.3
FTTH	48심 광케이블	0.2	6심 광케이블	0.3	2심 광케이블	0.3	1페어 동선	0.2
HFC	48심 광케이블	0.3	17코어 동축선	0.2	12코어 동축선	0.3	5코어 동축선	0.2
ADSL	600페어 동선	0.3	100페어 동선	0.3	25페어 동선	0.3	1페어 동선	0.1

각 기간에서 발생하는 장비비용을 구한다.

케이블 비용 산출도 케이블과 가입자수에 따라 비용 계산 방법이 달라진다. 여기서 구간은 국사에서 가입자까지 케이블을 설치할 때 거리, 공유 가입자수, 그리고 사용하는 케이블 종류에 따라 휘더 구간, 주분배 구간, 분배 구간, 인입 구간으로 나눈다[3]. <표 8>은 기술대안에 따른 구간별 케이블 종류를 나타내고 <표 9>는 케이블 종류별 단가이다[8]. 국사와 가입자 평균 거리(1.5km)를 이용하여 <표 8>의 거리 비율로 구간별 거리를 구하여 <표 9>의 케이블 단가를 이용하여 케이블 비용을 산출한다[20].

<표 9> 케이블 종류별 단가
(단위 : 원/미터)

케이블 종류	단 가	
광케이블	2심	700
	6심	10,000
	48심	18,000
동축선	5코어	300
	12코어	11,630
	17코어	11,630
동선	1페어	136
	25페어	1,040
	100페어	2,460
	600페어	11,630

4. 최적 투자 분석 모형

서비스 수요 트래픽이 발생하고 지역 모형과 기

술대안에 따른 망 토폴로지를 결정하면 통신망 용량 확장 결정 과정을 통해 망 설비 구축 방안을 제시해야 한다. 용량 확장 결정과정은 기간별 수요를 고려하여 비용을 최소로 하는 교환, 전송 장비 수를 결정하는 문제이다. 에지노드에 설치하는 액세스 스위치로 공공기관 사용자와 일반 사용자에서 발생하는 트래픽이 모인다. 에지 스위치는 액세스 스위치에서 올라오는 고속 트래픽을 다중화하고, 또한 비 ATM 망과 접속점이 된다. 그리고 코어노드에 설치하는 코어 스위치는 에지 스위치 또는 다른 코어 스위치에서 받는 고속 트래픽을 인접한 코어 스위치 또는 에지 스위치로 교환한다. 또한 코어노드와 에지노드는 성형 구조를 이루고 있어, 에지노드 트래픽이 코어노드로 합쳐진다. 코어노드와 에지노드에 설치하는 교환기(스위치)는 망 특성에 따라 처리 용량과 가격특성이 다르다. 그리고 장비 가격 하락율과 증가하는 수요 사이에 상충관계가 있으므로 장비 용량 결정이 중요한 문제이다. 이러한 문제는 최적화 기법을 이용한 용량 확장 문제로 표현되어 다양한 연구가 진행되어 왔다[17, 18]. 모든 트래픽 수요를 만족하면서 비용을 최소로 하는 교환기와 교환기 모듈 설치문제를 최적화 기법으로 해결한 연구도 진행됐다[19]. 또한 가상채널 할당문제를 바탕으로 비용을 최소로 하는 망 용량결정 문제를 제안한 연구도 있다[17]. 그러나 기존 연구와 다르게 이 연구는 ATM 교환망으로 이루어진 코어노드만을 대상으로 ATM 교환기와 전송장비의 용량 확장 문제를 다기간 계획문제로 분석한다. 이러한 망 구축 설계 문제를 수학식으로 나타

내기 위해 필요한 모수는 다음과 같다.

$G(N, L)$: 코어노드 집합 N 과 링크 집합 L 로 구성된 네트워크

M : 코어노드 사이의 통신수요 노드 쌍 집합.

P_k : 통신수요 $k \in M$ 의 가능한 모든 운영 경로 집합.

δ_{ikp} : 통신수요 $k \in M$ 의 $p \in P_k$ 번째 운영 경로가 링크 $i \in L$ 를 지나면 1의 값을 가지며, 지나지 않으면 0의 값을 가지는 변수.

ρ_{jkp} : 통신수요 $k \in M$ 의 $p \in P_k$ 번째 운영 경로가 노드 $j \in N$ 을 지나면 1의 값을 가지며, 지나지 않으면 0의 값을 가지는 변수.

R : 코어 스위치 용량별 타입 집합.

S : 케이블 용량별 타입 집합.

T : 대상 기간 집합.

c_{ist} : 기간 $t \in T$ 에 링크 $i \in L$ 에서 케이블 타입 $s \in S$ 한 개의 비용.

f_{rt} : 기간 $t \in T$ 에 코어 스위치 타입 $r \in R$ 의 고정비.

w_{rt} : 기간 $t \in T$ 에 코어 스위치 타입 $r \in R$ 의 변동비 (라인카드 비용).

b_s : 케이블 타입 $s \in S$ 의 용량 (Mbps).

d_{kt} : 기간 $t \in T$ 에 통신수요 $k \in M$ 의 트래픽 수요(Mbps).

g_r : 코어 스위치 타입 $r \in R$ 의 단위 용량 (Mbps).

h_r : 코어 스위치 타입 $r \in R$ 에 설치 가능한 최대 스위칭 모듈 수.

의사 결정변수 x_{kp} 는 통신수요 $k \in M$ 가 $p \in P_k$ 번째 운영경로를 사용하면 1이고, 그렇지 않으면 0인 변수이다. y_{ist} 는 기간 $t \in T$ 에 링크 $i \in$

L 에 설치하는 케이블 타입 $s \in S$ 의 개수다. u_{jrt} 은 기간 $t \in T$ 에 노드 $j \in N$ 에 설치하는 코어 스위치 모델 $r \in R$ 수이다. v_{jrt} 은 기간 $t \in T$ 에 노드 $j \in N$ 에 코어 스위치 모델 $r \in R$ 을 설치하는 경우, 스위칭 모듈 개수를 나타낸다. 이 문제를 정수계획법(Integer Programming)으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{t \in T} \sum_{i \in L} \sum_{s \in S} c_{ist} y_{ist} + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{j \in N} \sum_{r \in R} f_{rt} u_{jrt} + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{j \in N} \sum_{r \in R} w_{rt} v_{jrt} \\ \text{subject to} \quad & \sum_{p \in P_k} x_{kp} = 1 \quad k \in M, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in M} \sum_{p \in P_k} \delta_{ikp} d_{kt} x_{kp} \leq \\ & \sum_{q=1}^{t-1} \sum_{s \in S} b_s y_{isq} + \sum_{s \in S} b_s y_{ist} \end{aligned} \quad (2)$$

$$i \in L, t \in T,$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k \in M} \sum_{p \in P_k} \rho_{jkp} d_{kt} x_{kp} \leq \\ & \sum_{q=1}^{t-1} \sum_{r \in R} g_r v_{jrq} + \sum_{r \in R} g_r v_{jrt} \end{aligned} \quad (3)$$

$$j \in N, t \in T,$$

$$\sum_{q=1}^t v_{jrq} \leq \sum_{q=1}^t h_r u_{jrq}, \quad (4)$$

$$j \in N, r \in R, t \in T,$$

$$u_{jrt} \in Z_+ \quad (5)$$

$$j \in N, r \in R, t \in T,$$

$$v_{jrt} \in Z_+ \quad (6)$$

$$j \in N, r \in R, t \in T,$$

$$x_{kp} \in \{0, 1\}, k \in M, p \in P_k, \quad (7)$$

$$y_{ist} \in Z_+ \quad (8)$$

$$i \in L, s \in S, t \in T.$$

제약식 (1)은 통신망에서 트래픽 경로를 선택할 때 여러 경로 가운데 한 경로만을 선택하게 한다. 제약식 (2)는 링크에서 기간별로 케이블을 추가할 때, 링크를 지나는 경로는 케이블 용량을 만족해야 하는 제약식이다. 식 (3)은 노드에서 기간별로 교

환기 스위칭 모듈을 추가할 때, 노드에 설치하는 모듈 수에 대한 제약식이다. 식 (4)는 모듈과 교환기 수에 관한 제약식을 나타내고 제약식 (5)부터 식 (8)은 결정변수에 대한 제약식이다. 다음 장에서 설명하는 사례 연구에서는 개발한 용량 확장 모형을 풀기 위해 CPLEX를 이용한다[10].

5. 사례 연구

방법론을 적용한 결과를 분석하기 위해서 시나리오를 이용한다. 정부는 초고속 정보통신망 구축 시기를 2010년에서 2005년으로 앞당겨 완성할 수 있는 계획을 수립했다[5]. 따라서 처음 구축 계획과 수정된 계획 사이 비교 분석을 위해 <표 10>과 같이 서비스 수요가 포화점에 도달하는 시기별로 시나리오를 정한다. 그리고 시나리오는 2장에서 설명한 불확실성 요소 가운데 비용과 수요에 대한 요소를 불확실성 변수로 둔다. 사례 연구에서 불확실성 변수값 변화에 따른 가치 척도 변화 정도를 분석한다. 시나리오 1, 시나리오 2, 시나리오 3에서 다루는 불확실성 변수는 <표 10>과 같이 국가망(기간망)과 공중망(가입자망) 구성 장비와 케이블 비용

<표 10> 서비스 수요 포화 도달 시기에 따른 시나리오 정의와 분석 대상 불확실성 변수

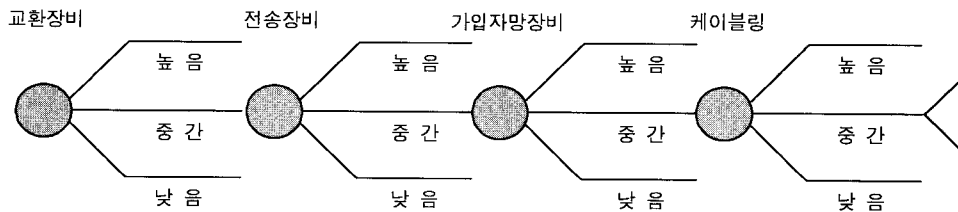
구 분	서비스 수요 포화 도달 시기(구축 시기)	불확실성 변수	
		수 요	비 용
시나리오 1	5년		○
시나리오 2	7년		○
시나리오 3	10년		○
시나리오 4	5년	○	○

<표 11> 비용 요소별 비용 하락율

비 용 요 소	높 음	중 간	낮 음
교환 장비	85%	88%	91%
전송 장비	88%	91%	94%
가입자망 장비	84%	87%	90%
케이블	83%	86%	89%

에 대한 변수이고 시나리오 4에서는 서비스 수요에 대한 불확실성 변수를 추가하여 분석한다. <표 11>은 이들 불확실성 변수 변화폭을 나타낸다.

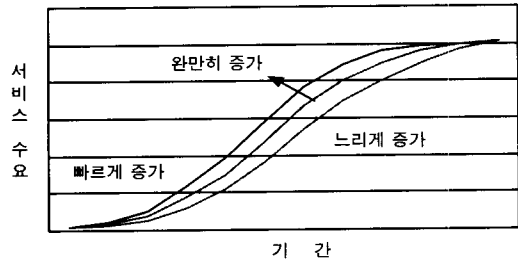
비용에 대한 불확실성 변수값은 전년도 비용에 대해 상대적으로 감소한 해당연도 장비 비용을 예상한 값이다. 시나리오 1, 시나리오 2, 시나리오 3은 <표 11>에 나타난 비용 요소에 관한 네 가지 불확실성 변수를 갖고 [그림 5]와 같이 모두 81가지 사례가 생긴다. 각 요소별로 높음은 0.25, 중간은 0.5 낮음은 0.25 확률 값을 갖는다[1]. 그리고 시나리오 4의 경우 수요 변화에 대한 요소 두 가지를 더하여 모두 여섯 가지 불확실성 요소를 갖는다. 이때 시나리오 4에서 서비스 수요에 대한 불확실성이란 [그림 6]과 같이 서비스 수요 증가 추이를 말한다. 서비스 수요 포화 도달 시기와 포화값이 정해져 있을 때 [그림 6]처럼 수요가 빠르게 증가하는 경우와 완만히 증가하는 경우, 그리고 느리게 증가하는 경우를 불확실성으로 둔다. 그리고 시나리오 4의 경우에 불확실성 변화값의 확률값에 따라 <표 12>처럼 두 가지 경우로 나누어 생각한다. 예측 1은 서비스 수요가 포화도달 시기 전반에 증가하는 경우를, 예측 2는 서비스 수요가 후반에 증가하는 경우를 반영하기 위하여 <표 12>와 같이 확률값을 갖는다.



[그림 5] 비용 하락율에 대한 불확실성 변수 조합 - 시나리오 1, 시나리오 2, 시나리오 3 경우

〈표 12〉 서비스 수요에 대한 불확실성 가지별 확률 - 시나리오 4의 경우

	느리게 증가	완만히 증가	빠르게 증가
예측 1	0.2	0.3	0.5
예측 2	0.5	0.3	0.2

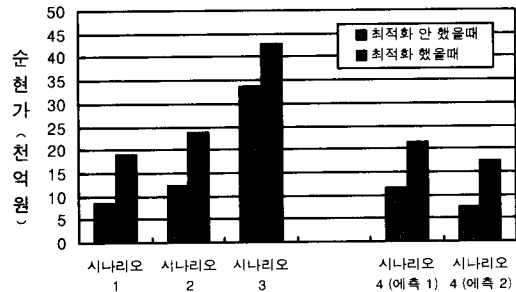


[그림 6] 서비스 수요에 대한 불확실성 요소 변화 추이

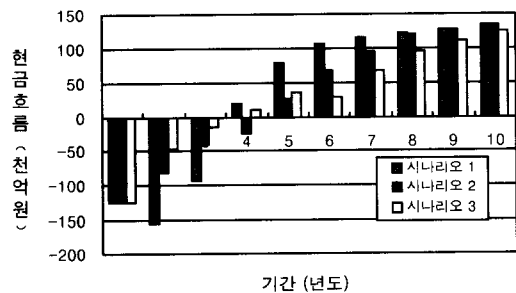
시나리오에서 국가망이 수용하는 트래픽 누적비용을 <표 13>과 같이 가정하여 이용한다. <표 13>에서 시나리오 1과 시나리오 4의 경우, 구축 시기가 5년이므로 2차 년도에 전체 수요의 10%를 수용하고 시기에 따라 수용 비율을 늘려 5년 안에 전체 공중망 수요를 포함한다. 나머지 시나리오 2와 시나리오 3도 구축 시기에 따라 시기별 누적 수용비율을 정한다.

가치 척도는 순현재가(Net Present Value)를 이용한다. 순현재가는 연구 대상기간 동안 매년 발생하는 수입에서 비용을 뺀 순이익을 초기연도를 기준으로 할인하여 누적한 값이다[13]. 장비 비용 자료는 정보통신부와 한국전자통신연구원에서 추정한 자료를 이용하였다[4, 8, 9]. [그림 7]은 이자율이 11%일 때 시나리오별로 망을 최적 구성했을 때와 아닌 경우 발생한 순현재가를 비교한다. [그림 7]에서 보듯

이 비용에 관한 불확실성 요소만을 갖는 시나리오 1, 2, 3 가운데서 시나리오 3이 제일 높은 순현재가를 갖는다. 이 같은 현상은 시간이 지나면서 장비 비용 하락률이 커지기 때문이다. 또한 시나리오 4는 서비스 포화도달 시기가 5년일 때를 나타내는데 예측 1과 예측 2에 따라 다른 순현재가를 갖는다. <표 12>와 같이 예측 2가 예측 1보다 서비스 수요가 느리게 증가하는 경우에 더 큰 확률값을 주었다. [그림 7]에서 예측 1이 예측 2보다 순현재가가 평균 약 4천억원 더 높음을 알 수 있다. 이는 망 구축시기가 짧아 초기 투자 비용과 장비 비용 하락률보다 누적 수요가 순현재가에 영향을 더 많이 주기 때문이다.



[그림 7] 시나리오별 순현재가 비교



[그림 8] 시나리오별 현금 흐름 - 최적화를 했을 때

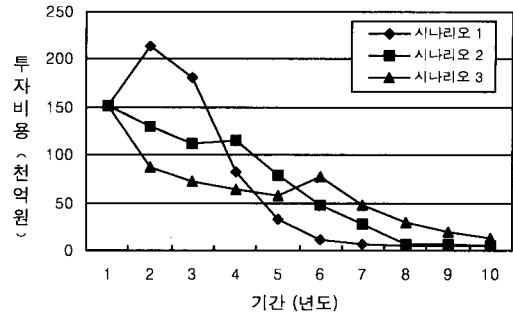
〈표 13〉 국가망의 시나리오별 공중망 수요 수용 누적비율(%)

시나리오	기간	구축시기	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
시나리오 1	5년	5년		10	40	60	100					
시나리오 2	7년	7년				20	50	70	100			
시나리오 3	10년	10년						10	30	50	80	100
시나리오 4	5년	5년		10	40	60	100					

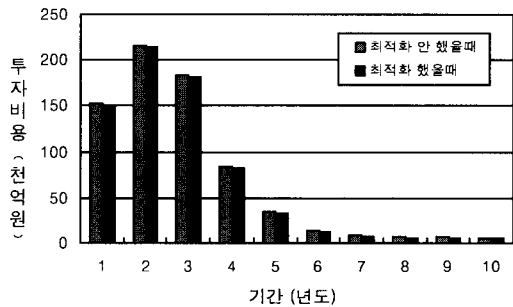
또한 모든 시나리오에서 최적화를 해서 망 구성을 했을 때가 그렇지 않을 때보다 순현가가 평균 약 1조원 더 높음을 알 수 있다. 최적화를 하지 않은 경우는, 통신수요 노드 쌍사이 최단 경로를 이용하여 트래픽 경로를 정하고 이를 이용하여 장비 용량을 결정하였을 때를 나타낸다. 따라서 최적화 모형을 이용한 비용 절감 효과가 매우 크다. [그림 8]은 시나리오별 망 최적화를 했을 경우 연간 현금 흐름을 나타낸다. 시나리오 1과 시나리오 3의 경우는 4차년도부터 수익을 올리고 있음을 보인다. 시나리오 1의 경우는 초기 서비스 가입자 수가 많을 경우 다른 시나리오보다 수익 증가 추이가 비용증가 추이보다 크다. 그리고 시나리오 3의 경우는 시간에 따른 비용 하락률이 커서 시나리오 2보다 투자회수기간이 1년 짧다.

[그림 9]와 [그림 10]은 시나리오별 비용 변화를 보여준다. 먼저 [그림 9]는 최적화를 했을 때 시나리오별 투자 비용을 나타낸다. 시나리오 1은 서비스 수요 포화 도달시기를 5년으로 하여 초기 3년간 투자비용이 시나리오 2보다 약 15조원, 시나리오 3보다 약 23조원이 더 높다. 마찬가지로 시나리오 2와 3의 경우에는 구축시기에 따른 비슷한 비용 변화를 보이는데 시나리오 1과 달리 수요와 비용 하락에 따른 큰 차이를 보인다. 또한 구축 시기 가운데 초고속 국가망이 일반 가입자가 사용하는 초고속 공중망 트래픽 수요를 흡수하기 시작하는 시기에 투자 비용이 일시 증가하다가 감소하는 결과를 보인다. [그림 10]은 시나리오 1에 대해서 망 구성을 최적화했을 경우와 그렇지 않을 경우 비용을 비교한 그림이다. 망 구성을 최적화하지 않은 경우가 최적 망 구성을 하는 경우보다 비용이 매 기간 평균 약 1천 6백 억원(전체 비용의 2.4%) 더 크다. 망을 최적화하지 않을 경우 한 노드에서 다른 노드로 최단 거리를 이용하여 트래픽을 전달한다고 가정하였다. 이 경우 몇 개 노드로 트래픽이 집중되어, 처리 용량을 만족하기 위한 장비 비용이나 케이블 비용이 증가하여 망 최적화를 통한 방법보다 10년 동안 전체 투자 비용에서 약 1조 6천 7백 억

원(전체 비용의 2.4%) 정도 비용이 더 필요하다.



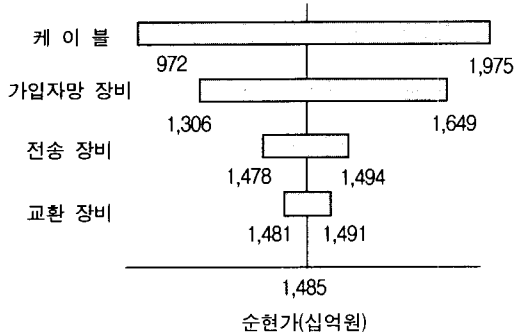
[그림 9] 시나리오별 비용 비교



[그림 10] 최적화 여부에 대한 비용 비교 - 시나리오 1의 경우

민감도 분석은 불확실성 변수가 순현가에 주는 영향 정도를 비교한다. [그림 11]은 최적화를 했을 경우 시나리오 1의 토네이도 다이어그램으로, 모든 불확실성 변수를 중간값으로 고정해서 가치척도를 계산하여 가운데 수직선으로 나타낸다. 다른 불확실성 변수를 중간값으로 고정하고 불확실성 변수를 낮은 값과 높은 값으로 하나씩 변화시키면서 가치척도를 계산하여 수평 막대로 표시한다. 막대는 불확실성 변화 차이를 표시한다. 불확실성 변수가 순현가에 영향을 주는 순위를 보면 <표 14>와 같다. 비용에 관한 4가지 불확실성 변수를 갖는 시나리오 1, 시나리오 2, 시나리오 3의 경우는 불확실성 변수 순위가 같다. 그러나 서비스 수요에 대한 불확실성 변수를 갖는 시나리오 4의 경우는 서비스 수요가 케이블 비용 다음으로 영향을 많이 준다. 따라서 총 투자 비용을 줄이려면 케이블

블 가격을 낮추는 일이 중요하다.



[그림 11] 민감도 분석을 위한 토네이도 다이어그램 - 시나리오 1의 경우

<표 14> 순현재가에 영향을 많이 주는 불확실성 변수 순위

구 분	교 환 장 비	전 송 장 비	가 입 자 망 장 비	케 이 블	서 비 스 수 요
시나리오 1	4	3	2	1	-
시나리오 2	4	3	2	1	-
시나리오 3	4	3	2	1	-
시나리오 4	5	4	3	1	2

6. 결론 및 추후 연구 과제

이 연구는 ATM 기반 초고속 정보통신망의 기술경제성 평가를 위한 분석 모형을 개발했다. 기술 경제성 평가를 위해 초고속 정보통신망 기술체계를 분석하여 경제성 평가 요소를 찾았다. 다음으로 교환 장비, 전송 장비, 가입자 장비, 케이블과 같은 비용요소와 초고속 국가망을 통한 공공기관 사용자와 초고속 공중망의 일반 사용자의 서비스 요소 사이 영향관계를 분석했다. 비용변화와 서비스 수요 변화를 불확실성으로 두고 현실 상황을 반영한 시나리오를 이용해 사례를 분석했다. 사례 분석 결과를 보면 초고속 정보통신망을 구축할 때 구축 완성 시기를 앞으로 10년에서 5년으로 앞당길 경우 비용 하락율을 감안했을 때 경제성이 더 떨어지는 것으로 나타났다. 그리고 서비스 수요가 구축 초기에 빠르게 증가할 경우에는 비용 감소보다 수요 증

가가 순현재가에 더 큰 영향을 준다. 또한 장비 용량과 구축비용 그리고 서비스 수요를 고려한 최적 투자 분석 모형을 이용하여 망 계획과 설계를 할 때 비용을 연평균 1,600억원 줄여 경제성이 더 높다. 그리고, 민감도 분석에서 케이블 비용이 가장 중요한 투자요소로 나타났다. 이 논문에서 제시한 방법론은 초고속 정보통신망과 같이 투자 규모가 큰 통신망을 구축할 때 최적 투자 방안에 대한 의사결정을 하는데 도움을 준다. 더 나아가 망 설비 입지 결정 문제나 트래픽 성능 분석과 경로 결정 문제, 자원 할당 같은 문제에 대한 연구를 촉진하는 계기가 된다. 또한 개발한 방법론은 IP(Internet Protocol)를 기반으로 하는 광통신망 설계와 구축을 위한 기술경제성 평가에 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 나완배, 정찬수, 「기업전략개발과 위험분석」, 도서출판 한성, 1996.
- [2] 윤기호, 이정성, “초고속 정보통신 서비스의 분류 및 수요예측”, 정보통신정책연구원, 1998.
- [3] 이영호, 노장래, 정혜승, “광대역 가입자망 기술 경제성 평가에 관한 새로운 분석모형 연구”, 「한국통신학회 논문지」, Vol.25, No.2A(2000), pp.306-316.
- [4] 정보통신부, 「정보통신망 고도화 추진계획」, 1997.
- [5] 정보통신부, “초고속 정보통신망의 추진현황 및 발전방향”, 초고속 국가정보통신망 개통기념행사 발표자료, 2000.
- [6] 한국전산원, 「초고속 정보통신망을 기반으로 한 초고속 서비스 도입전략」, 1998.
- [7] 한국전산원, 「초고속 정보통신 정책동향 및 발전 방향 연구」, 1996.
- [8] 한국전자통신연구원, 「가입자망 기술 경제성 평가에 관한 연구」, 1998.
- [9] 한국전자통신연구원, 「초고속 정보통신기술 기반구조 연구」, 1998.

- [10] CPLEX version 6.2, *Using the CPLEX callable library*, CPLEX Optimization Inc., 1998.
- [11] D. Medhi, C.T. Lu, "Dimensioning and Computational Results for Wide-Area Broadband Networks with Two-level Dynamic Routing," *IECE Transaction Communications*, Vol.E80-B, No.2(1997).
- [12] 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).
- [13] G. J. Thuesen, W.J. Fabrycky, 김영휘, 김성식, 김성인, 김승권 역, 「경제성 공학」, 제8판, 청문사, 1994.
- [14] K. Lu and M. I. Eiger, "System and Cost Analysis of Broad-Band Fiber Loop Architectures," *IEEE JSAC*, 8(6)(Aug. 1990), pp.1058-1067.
- [15] Kjell Stordahl, Eddie Murphy, "Forecasting Long-Term Demand for Service in the Residential Market," *IEEE Communication Magazine*, (February 1995), pp.44-49.
- [16] Leif A. Ims, Borgar T. Olsen, Degfinn Myhre, "Multiservice Access Network upgrading in Europe : Techno-Economic Analysis," *IEEE Communication Magazine*, (December 1996), pp.124-134.
- [17] S.B. Kim, M.J. Kim, S.I. Lee, "Mathematical Models for Dimensioning of ATM Networks," *GLOBECOM '95*, 1995.
- [18] S. Rajagopalan, Andreas C. Soteriou, "Capacity Acquisition and Disposal with Discrete Facility Sizes," *Management Science*, Vol.40, No.7(1994), pp.903-917.
- [19] Y. Lee, J. Han, K. Kang, S. Kim, "An ATM Switch Capacity Allocation Problem," *Telecommunications System*, Vol.18, No.4 (2001), pp.301-303.
- [20] Y. Lee, H. Cho, "An Optimal Network Design and Evolution Problem of Local Access Networks, 8th International Conference on Telecommunication Modeling and Analysis," Nashville, TN, USA, (March 2000), pp.114-131.