불확실한 수요와 기술 환경을 고려한 가입자망 진화 의사결정모형

김 도훈, 안 재현, 차 동완
한국과학기술원(KAIST) 테크노경영대학원
서울시 동대문구 청량리동 207–43 (우: 130–012) [Phone] 958–3644, [Fax] 958–3376
[e–mail] kimdh@telmal.kaist.ac.kr, jahn@kgsm.kaist.ac.kr, tchadw@hanbit.kasit.ac.kr

Abstract

The environment of the access network service market is characterized by uncertain demand and various competing alternative technologies. In Korea, despite the introduction of competition, dominant Public Network Operator(PNO) still leads the market. Therefore, the decision of PNO has a great impact on the access network evolution.

In this paper, we propose an model which aims to reduce risks and both investment and operating costs, to cope with the uncertain demand and technology evolution. We expect this model to provide a tool to analyze risks and evaluate various strategies on the access network evolution.

1. 서론 및 문제제기

21C 를 대비하는 초고속 정보통신망(information superhighway) 구축계획에 따라, 기간망(backbone network)을 중심으로 활발한 연구와 실험이 진행되어 왔다. 그러나 가입자망(access network, local loop, 또는 subscriber network)의 고도화 없이는 초고속 정보통신망의 진정한 의의가 실현되지 못함에도 불구하고, 이에 대한 뚜렷한 방향이 제시되지 않고 있다. 그 대표적인 이유로 초고속 정보통신망을 필요로 하는 서비스 수요에 대한 불확실성과 아직까지도 망사업자(NO, Network Operator)의 지배적인 기술대안(dominating technology alternative)이 존재하지 않는다는 점을 들 수 있다.

가입자망은 기간망과는 달리 서비스 수요예측이 어려울 뿐만 아니라, 막대한 투자비용 때문에 통신사업 중에서 가장 대표적인 적자부문으로 인식되고 있다([5]). 또한 통신산업의 규제철폐 및 자유화에 따라, 과거와 같은 정책당국의 보조와 일방적인 결정에 의한 가입자망 구축도 불가능해졌다. 이에 따라 가입자망을 운영하는 기존 및 신규 NO 는 투자비용 보전과 수입 극대화 차원에서 가입자망 진화를 결정해야 하는 새로운 국면을 맞고 있다.

지금까지의 가입자망 고도화 연구는 주로 개별 기술대안의 공학적 분석에 따른 경제성 평가에 치중하였다([1], [15], 등). 그러나 빠른 기술진보 및 지배적 기술대안 부재와 더불어 경쟁도입과 같은 시장환경 변화로 말미암아, 앞으로의 가입자망 진화는 기술적 우위성 보다는 시장논리에 의존할 가능성이 매우 크다. 따라서 단순히 기술적 우위성을 비교/평가하는 연구방법 보다는, 서비스 수요와 경쟁구조에 대한 분석을 바탕으로 실현 가능한 기술대안들의 구현전략을 비교/평가하는 시장중심적 접근법(market oriented approach)이 요구된다.

본 연구에서는 불확실한 수요와 기술 환경에 직면하여, 한국적 상황에 적합한 NO 의 가입자망 진화 의사결정모형을 제시한다. 이러한 모형은 최고경영자의 전략적 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 또한 보다 상세한 공급계획과 경제성 평가를 위한 기초자료로도 활용될 수 있다([3]).

2. 가입자망 기술대안과 서비스 및 시장 환경

2.1 가입자망 기술대안에 대한 검토

가입자망 기술대안은 크게 기존의 동선을 이용하는 xDSL 계열과 FTTC 나 FTTH 와 같이 광전송 기술을 이용하는 경우, 그리고 WLL(Wireless Local Loop)으로 대변되는 무선방식으로 구분된다. 이들 기술에 대한 자세한 내용은 [6]에 잘 소개되어 있다.

2.2 가입자망 서비스 및 시장 수요

가입자망을 통해서는 앞으로 거의 모든 종류의 정보통신서비스가 제공될 것이다. 광대역 서비스에 대한 수요예측과 진화방향에 대한 연구도 많이 존재한다([11], [12] 등). 특히

NO 의 관심은 가입자가 요구하는 접속률(access rate, 접속 대역폭)의 변화이다. 예를 들어 [14]에서는 NO 의 입장에서 가입자 유형을 다음 3 가지로 구분하고 있다. ; 1) 협대역(narrow-band) 가입자(64kbps 이하의 접속률을 요구하는 가입자), 2) 확대역(wide-band) 가입자(64kbps~2Mbps 의 접속률을 요구), 3) 광대역(broad-band) 가입자(2Mbps 이상의 접속률을 요구).

2.3 우리 나라 가입자망 서비스 사업환경

제 2 시내전화사업자의 등장으로 우리 나라 가입자망 서비스 시장도 본격적인 경쟁에 돌입하였다. 규제완화로 정책당국의 역할이 크게 축소된 반면, 시장개방을 앞두고 통신사업자간 전략적 제휴 등, 민간부문의 역할이 급속히 증대되고 있다. 그러나 수십년간 한국통신이 가입자망 시장을 독점하였던 만큼, 시장 지배력은 당분간 한국통신에 귀속될 것으로 전망된다. 후발 사업자와의 경쟁 관계가 사업환경의 핵심적인 논제로 부각되고 있으며, 이에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다([2]).

3. 가입자망 진화 의사결정모형

NO 는 불확실한 수요와 기술대안의 경제성 분석, 공급정책, 경쟁환경 등을 종합적으로 고려하여 가입자망 진화를 결정해야 한다. 그러나 이들을 동시에 고려한다는 것은 복잡성과 불확실성으로 인하여 매우 어렵기 때문에, 계층적 의사결정방식(hierarchical decision making)에 따를 수 밖에 없다. 특히 막대한 투자비용과 위험부담이 수반되는 의사결정에서는, 먼저 의사결정에 큰 영향을 주는 변수와 환경 요인들을 선별적으로 고려하여 적합한 대안들을 선정한 뒤, 이들을 구체적으로 분석하는 하향식(top-down) 접근법이 바람직 하다.

본 연구에서는 이러한 계층적 의사결정 과정에서 상위 부분에 해당하는 의사결정모형을 제공하고자 한다. 이를 통하여 수요와 기술발전의 불확실성하에서 기술대안과 경쟁 및 공급정책들의 적합성을 비교/평가할 수 있다. 적합성이 인정된 진화계획에 대해서, 하위 계층은 보다 정밀한 공급계획과 경제성 평가를 통하여 타당성을 재검증하고 구현계획을 확립한다.

3.1 모형설계 요구조건

3.1.1 환경 요인과 기본적인 가정들

가입자망 서비스 시장과 관련되는 환경 요인을 크게 ① 수요 요인, ② 기술 및 비용 요인, ③ 타 사업자와의 경쟁 등 사업환경 요인, ④ 기타 가격 및 규제/정책적 요인으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 실제로는 다양한 요인들의 상호작용이 가입자망 시장의 역동성(dynamics)을 규정하지만, 의사결정모형의 분석 가능성(tractability)을 위해서는 현실성을 침해하지 않는 범위에서 각 요인에 대한 제약(specification)이 필요하다.

요인 ①과 ②에 대해서는 불확실성을 고려하나, 이러한 불확실성이 몇 개의 시나리오로 대변됨을 가정한다. 요인 ③과 ④에 대해서는 아래와 같이 가정한다. 이러한 가정은 한국과 같은 개발도상국의 현실을 잘 반영하는 것이다.

- 가정 1) 시장 지배적 NO(PNO, Public NO)가 존재하여 가입자망 서비스 시장을 선도한다.
- 가정 2) 경쟁환경에 대한 가정 : 가입자망 서비스 시장은 개방되어 있으나, 후발 경쟁사업자는 시장지배적 사업자에 비해 열세에 있으며, 대도시 사업지역(business area)의 광대역 서비스와 같은 수익성이 높은 분야에만 진입하여 이득을 취하는 전략(cream skimming strategy)을 취한다.
- 가정 3) 규제/정책적 가정 : PNO 는 수요자들이 원하는 접속률(대역폭)을 반드시 제공해야 한다.
- 가정 4) 관로망(conduit network) 구조의 진화는 고려하지 않는다. : 기술별로 서로 다른 관로체계를 필요로 하지는 않는다. 특히 광전송 기술을 이용할수록 관로 공간점유율은 큰 폭으로 줄어들기 때문에, 이 경우 충분한 양의 관로공간이 확보되었음을 가정한다. 이에 따라 관로시설 계획은 가입자망 기술진화와는 독립적으로 결정됨을 가정한다.

3.1.2 공급 환경

지리적, 인구학적 특성에 따라, L 가지의 대표적인 지역 모형(geographic and demographic types) R_l (l =1, .., L)를 고려한다. [4]과 [15]에서와 같이, 지역 모형은 평균적인 가입자 수 및 분포, 배선구역 등 주요 배분지점(distribution point)과 같은 정보들을 데이터베이스로 가진다. 이 경우 각 유형 R_l 에서, 특정한 기술대안을 통하여 일정한 대역폭을 요구하는 가입자군을 서비스하기 위한 투자비용을 계산할 수 있다.

기술별 투자비용은 해당 기술의 발전속도

에 따라 감소하는 것이 일반적인데, 여기서는 기술진보에 따른 학습효과(learning effect)를 고려하여, 매년 일정 비율로 투자비용이 감소됨을 가정한다. 기술발전의 불확실성을 고려하기 위하여 다양한 시나리오에 따라 서로 다른 파라미터(parameter) 값을 가지는 N개의 비용하락 시나리오를 고려할 것이다.

3.1.3 수요 환경

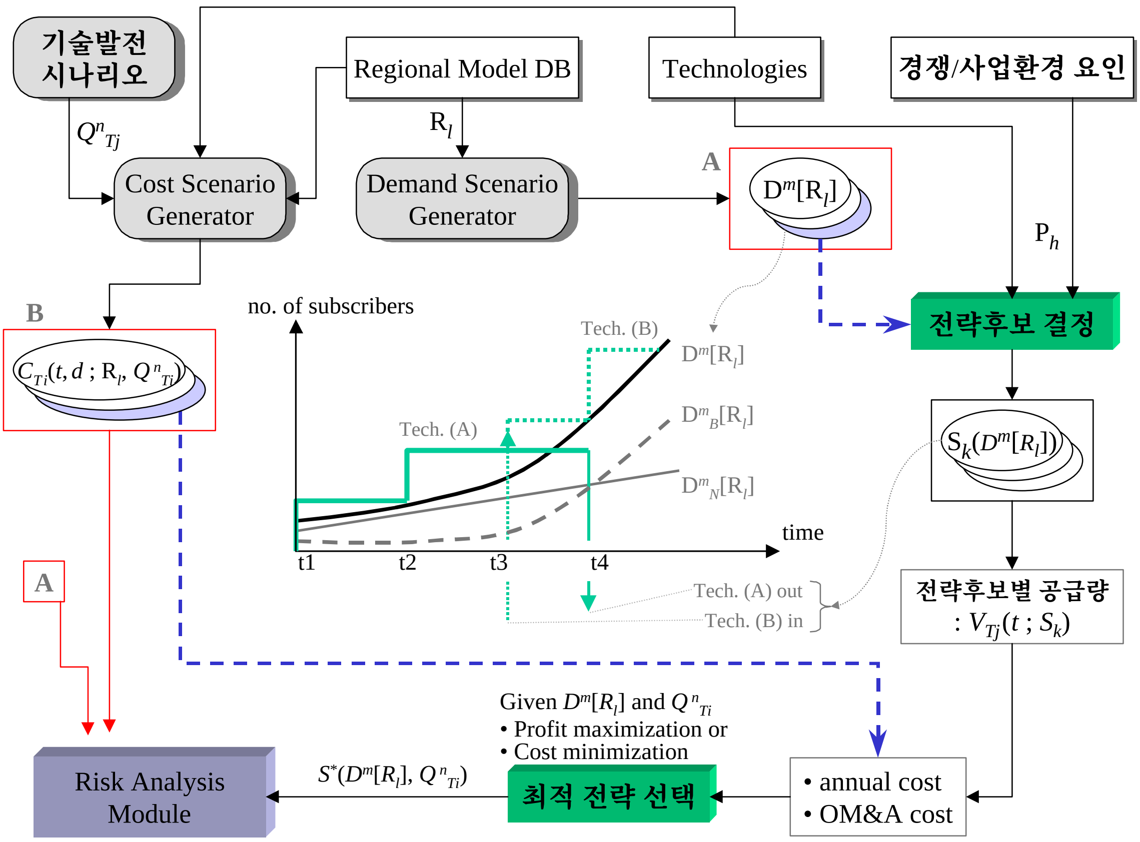
가입자는 다양한 형태의 서비스를 요구하지만, NO 의 관점에서는 원하는 품질의 서비스를 제공 받기 위한 접속 대역폭(접속률)을 수요하는 것으로 볼 수 있다. 이 경우 3.1.1 의 가정 3)에 의하여 NO 는 가입자들이 요구하는 대역폭을 반드시 공급해 주어야 한다.

본 연구에서는 사용자들이 요구하는 대역폭의 범위를, 2Mbps 이하의 기준대역(narrow/wide-band)과 2Mbps 이상의 광대역(broad-band)으로 구분한다. [14]에서와 같이, 서비스 진화 시나리오로부터 지역 모형별로 기준대역과 광대역 접속을 요구하는 가입자수의 변화를 나타내는 M개의 수요 진화 시나리오를 도출할 수 있다.

3.2 의사결정모형

3.2.1 기호 및 개요

<그림 1>은 NO 의 가입자망 진화를 위한 의사결정모형을 보여주고 있다.



<그림 1> 가입자망 진화 의사결정모형

$\Pi = \{t_1, \ldots, t_\tau\}$: 의사결정시점(decision times)들의 집합(t_1은 최초 공급 시점)

R_l : l 번째 지역 모형, $l \in L = \{1, \ldots, L\}$

T_i : i 번째 기술대안, $i \in I = \{1, \ldots, I\}$

$D^m_B(t; R_l)$: 지역 모형 R_l의 m 번째 수요 진화 시나리오로, $t(\in \Pi)$년도의 광대역 접속을 요구하는 누적된(cumulated) 가입자 규모, $m = 1, \ldots, M$

$D^m_N(t; R_l)$: 지역 모형 R_l의 m 번째 수요 진화 시나리오로, t 년도의 기준대역 접속을 요구하는 누적된 가입자 규모, $m = 1, \ldots, M$

$Q^n_{Ti}(t)$: 기술대안 T_i의 n 번째 비용하락 시나리오로, t 시점에서의 기술발전에 따른 가입자당 단위증분비용(unit incremental cost per subscriber)의 감소율, $n = 1, \ldots, N$

$C_{Ti}(t, d_B; Q^n_{Ti}, R_l)$: Q^n_{Ti} 시나리오에 따를 때, t 시점의 R_l 지역에서 d_B 규모의 광대역 접속

가입자를 기술대안 T_i로 공급할 때 발생되는 가입자당 단위투자비용, $i=1, .., I$

$C_{Ti}(t, d_N\,; Q^n_{Ti}, R_l)$: Q^n_{Ti} 시나리오에 따를 때, t 시점의 R_l지역에서 d_N 규모의 기준대역 접속 가입자를 기술대안 T_i로 공급할 때 발생되는 가입자당 단위투자비용, $i=1, .., I$

$C^W_{Ti}(t, d\,; R_l)$: t 시점의 R_l지역에서 d 규모의 기술대안 T_i를 철거할 때 발생되는 가입자당 단위철거비용, $i=1, .., I$

P_h : h 번째 공급정책(supply policy), $h=1, .., H$

$S_k(D^m[R_l])$: PNO 가 수요 시나리오 $D^m[R_l]$하에서 취할 수 있는 k 번째 전략후보(k^{th} strategy candidate)로, ① 기술대안들의 집합($J \subseteq I$)과 ② 기술대안 $T_i (i \in J)$의 적용기간($[t^s(T_i), t^f(T_i)]$) 및 ③ 공급정책(P_h)의 조합($<\{T_i, [t^s(T_i), t^f(T_i)] \mid i \in J \subseteq I\}, P_h)>$)으로 구성됨, $k=1, .., K$

$V^B_{Ti}(t\,; S_k)$: 전략후보 k에 따를 때, t 시점에서의 신규 광대역 접속 가입자를 위한 기술대안 T_i의 공급 규모

$V^N_{Ti}(t\,; S_k)$: 전략후보 k에 따를 때, t 시점에서의 신규 기준대역 접속 가입자를 위한 기술대안 T_i의 공급 규모

$W_{Ti}(t\,; S_k)$: 전략후보 k에 따를 때, t 시점에서의 기술대안 T_i의 철거 규모

$U_B(t\,; R_l)$: 지역 모형 R_l에서 t 년도의 가입자당 평균적인 년간 광대역 서비스 접속시간

$U_N(t\,; R_l)$: 지역 모형 R_l에서 t 년도의 가입자당 평균적인 년간 기준대역 서비스 접속시간

$g_B(t)$: t 년도의 단위시간별 광대역 서비스 가격

$g_N(t)$: t 년도의 단위시간별 기준대역 서비스 가격

δ : 할인률(discount rate)

3.2.2 전략후보 생성 : 기술대안 및 공급정책 선정

PNO 는 지역 유형별로 주어진 수요 시나리오와 시장환경에 근거하여 적합한 전략후보들 $\{S_1(D^m[R_l]), .., S_k(D^m[R_l])\}$을 생성한다. 전략후보는 기술대안들과 공급정책의 조합으로 구성된다. 먼저 PNO 는 예측된 시장 수요와 경쟁 가능성 등을 종합적으로 고려하여, 적극적인 자세(aggressive position)를 취하거나 반대로 보수적인 자세(conservative position)를 취하는 등, 전반적인 공급정책을 결정한다.

결정된 공급정책에 근거하여 적합한 기술대안들의 부분집합을 선별하고, 이들의 적용기간 등을 명시하여 하나의 전략후보로 구체화시킨다. 이러한 전략후보는 여러 개를 생성할 수 있다. 주어진 전략에 대해서는 매 의사결정 시점에서의 기술대안별 공급 규모와 철거 규모 및 총투자비용을 쉽게 산출할 수 있다. 운영비용(OM&A cost, Operating Maintenance and Administration cost)은 [14]에서와 같이 투자비용에 대한 일정 비율로 계산된다.

3.2.3 최적 전략 결정

주어진 수요와 기술발전 시나리오에 대한 전략후보 중 기대이윤(expected profit)을 극대화시키거나 공급비용을 최소화 시키는 최적 전략을 결정한다. 예를 들어, 가격정책과 연평균 가입자별 접속시간이 주어질 때, PNO 는 기대이윤을 극대화 시키는 전략 S^*을 최적 전략으로 채택한다.

$$\max_{S_k} \sum_{t\in\Pi}\sum_{s=B,N}\frac{U_s(t)D^m_s(t)g_s(t)}{(1+\delta)^t}-\sum_{j\in J}\sum_{t=t^s(T_j)}^{t^f(T_j)}\sum_{s=B,N}\frac{1}{(1+\delta)^t}\left\{V^s_{T_j}(t;S_k)C_{T_j}\left(t,V^s_{T_j};Q^n_{T_j}\right)+W_{T_j}(t;S_k)C^W_{T_j}\left(t,W_{T_j}\right)\right\}$$

가격정책의 변화는 기술과 수요의 불확실성으로 인하여 쉽게 예측될 수 없기 때문에, 총비용을 최소화하는 전략을 결정한 뒤에, 투자비용 보전 정도는 최소한 보장하는 가격체계를 찾아내어 그 실현 가능성을 검토함으로써, 최적 전략의 적합성을 평가할 수도 있다.

3.2.4 위험의 종류 및 전략평가

PNO 의 전략에 의해 산출되는 투자비용은 기술발전에 의한 비용감소를 $Q^n_{Tj}(t)$란 시나리오로 가정한 결과이다. 따라서 기술발전이 예상과는 다르게 진행됨으로써 발생되는 위험이 존재한다.

수요측면에서는 먼저 PNO 가 시장을 낙관적으로 평가하고 적극적인 전략(aggressive strategy)을 취했을 때, 실제 실현된 수요가 이에 미달될 경우 발생할 투자 손실 위험을 생각할 수 있다. 반대로, 시장을 비관적으로 평가하여 보수적인 전략(conservative strategy)을 택했을 때, 실제 수요가 공급을 초과한다면 후발 경쟁사업자에게 시장을 잠식당할 우려도 있다. 또한 이 경우 투자비용 측면에서는 규모의 경제성(economies of scale)을 실현시키지 못한 것에 따른 기회비용도 발생하지만, 이는 투자 지연에 따른 기술발전의 이득(비용하락)을 통해 어느 정도 상쇄된다.

3.3 예제

가장 수익성이 높은 대도시 사업지역(business area)을 대상으로, 매 3 년 단위로 9 년에 걸친 가입자망 투자계획 사례를 생각해 보자($\Pi=\{t_1=0,\ t_1=3,\ t_2=6,\ t_3=9\}$). 이미 구축된 인프라 규모와 개별 기술의 경제성 분석에 의한 사전연구([1], [3] 등)를 고려할 때, 적합한 기술대안들로 기존의 동선 직배선 방식(copper, T_1), ADSL(T_2), FTTO/copper(T_3), FTTO/ADSL(T_4) 등을 선정하였다. 이 경우 실현 가능한 진화과정은 ① copper → FTTO/copper → FTTO/ADSL, ② ADSL → FTTO/ADSL, ③ copper → ADSL → FTTO/ADSL 등이 될 것이다.

수요 시나리오도 단순화 시켜, 광대역 접속 수요가 5 년 이후에 크게 증가하는 경우(낙관적 수요 시나리오, D^1)와 그렇지 않은 경우(비관적 수요 시나리오, D^2)만을 고려한다. 기술발전의 불확실성은 최종 배분구역(final distribution point)까지의 FTTO 구현비용이 연간 5% 이상 선형적으로 감소되거나(낙관적 비용 시나리오, Q^1), 연간 2% 이하로 감소되는 경우(비관적 비용 시나리오, Q^2)의 두 가지 시나리오로 규정됨을 가정한다.

운영비용(OM&A cost)은 [14]를 참고할 때, ADSL 의 경우 전체 투자비의 약 7%, FTTO 의 경우 약 4%에 해당될 것으로 예상된다. 관로시설이 여유가 있음을 가정하므로(가정 4), 내용연수에 도달한 설비의 철거나 기술 진화에 의한 설비대체는 신규설비 구축 시에 함께 시행된다고 가정한다. 이 경우 철거비용은 상대적으로 크지 않을 것이므로, 고려하지 않기로 한다.

여기서는 낙관적 수요 시나리오(D^1)와 낙관적 비용 시나리오(Q^1)에 대하여, 비용 최소화 관점에서 PNO 의 최적 전략을 살펴보고, 이의 위험을 평가하였다. PNO 는 경쟁 가능성을 높이 평가하여 가입자망을 적극적으로 고도화 시키려는 공급정책(P)을 취한다고 하자. 이 경우 우선적으로 고려되는 기술대안은 ADSL, FTTO/copper, FTTO/ADSL 등이다. 그런데 이들 기술대안들의 조합으로 실현 가능한 진화과정은 ② 뿐이므로, 적용 가능한 기술대안은 최종적으로 ADSL 과 FTTO/ADSL 로 한정된다(즉, $J = \{T_2,\ T_4\}$). 이 예제에서는 진화과정 ②에 따를 때, 기술대안들(T_2, T_4)의 특정 적용기간(도입 및 퇴출 시점)이 하나의 전략후보가 된다.

비용 최소화 전략은, <그림 1>에서 보이는 바와 같이, 광대역 수요규모가 충분히 확보되기 이전까지는 모든 형태의 접속요구를 ADSL 로 처리하다가, 광대역 수요 확대 초기(t_2)부터 신규 ADSL 투자를 억제하고 FTTC/ADSL 로 가입자망을 고도화 시키는 안으로 결정되었다 ($S^* = <\{T_2,\ [t^s(T_2) = t_1,\ t^f(T_2) = t_3]\},\ \{T_4,\ [t^s(T_4) = t_2,\ t^f(T_4) = t_3]\ ;\ P>$).

최적 전략의 위험은 다른 수요 및 비용하락 시나리오에 대하여 동일한 전략을 적용한 뒤, 이득의 감소 및 증가를 계산하여 평가할 수 있다.

4. 요약 및 앞으로의 연구방향

지금까지 제시된 가입자망 진화 의사결정 모형을 통하여 광기술 도입시기 등 주요 의사결정 사안에 대한 통찰(insight)을 얻을 수 있었다. 앞의 예제에서는 단순화된 시나리오에 대한 결과를 살펴보았지만, 보다 복잡한 시나리오에 대해서도 동일한 과정을 거쳐서 결과를 얻을 수 있다. 단, 이 경우 증가되는 복잡성(complexity)을 효율적으로 관리할 수 있는 기법이 요구된다.

또한 위험분석(risk analysis)을 체계적으로 수행하기 위하여, 불확실성 유발요인들에 대해 보다 정밀한 분석과 자료수집이 요구된다. 이러한 점들을 보완한다면 보다 현실적인 실험결과를 기대할 수 있다.

참고문헌

[1] 노 장래, 김 재근, 최 문기, “광가입자망의 전략적 진화 – 기술경제적 문제를 중심으로,” Telecommunication Review, Vol. 7, No. 1, pp. 72–85, 1997.

[2] 이 승규, 손 병규, 최 성철, “통신서비스 산업의 경쟁전략 분석을 위한 진화모형,” 한국경영과학회 97 년 추계학술대회, pp. 207–210, 1997.

[3] 윤 문길, 최 재석, 김 도훈, 차 동완, “가입자망 진화를 위한 평가도구의 개발 및 적용,” working paper, KAIST GSM, 1998.

[4] 황 건, 장 석권, 김 사혁, “대도시 가입자망 투자비 산출 모형의 개발,” 한국경영과학회 97 년 추계학술대회, pp. 239–242, 1997.

[5] 한국통신 선로기술연구소, “다수사업자 환경에서 가입자 선로시설의 휘다시설 기준에 관한 연구,” 1997.

[6] 한국통신학회지 전송기술 특집호, 15 권, 7 호, 1998.

[7] L. Aarthun Ims, K. Stordahl, and B.T. Olsen, “Risk Analysis of Residential Broadband Upgrade in a Competitive and Changing Market,” IEEE Communications Magazine, June, 1997.

[8] J. Atkinson et al., “The Use of Computer Models for Estimating Forward-Looking Economic Costs,” Staff Analysis Report, FCC, 1997.
[9] J. Freidenfelds, “Capacity Expansion : Analysis of Simple Models with Applications,” North Holland, 1981.
[10] O. Kawata, I. Sankawa, and K. Okada, “Access Network Evolution Scenario and Key Technological Concepts for the Broadband Network,” Proceedings of IEEE INFOCOM ’ 97, pp. 1471–1475, 1997.
[11] G. Kimura, Y. Hoshiai, and M. Inoue, “Service Demand Forecasting and Advanced Access Network Architecture,” Proceedings of ITC 14, pp. 1301–1310, 1994.
[12] J. Matthews and F. Darabi, “The Local Loop : Market, Technical and Regulatory Strategies,” Ovum Limited, 1994
[13] W.H. Melody, “Network Cost Analysis : Concepts and Methods,” in Telecom Reform (W.H. Melody ed.), pp. 215–246, 1997.
[14] B.T. Olsen et al., “Techno–Economic Evaluation of Narrowband and Broadband Access Network Alternatives and Evolution Scenario Assessment,” IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 14, pp. 1184–1204, 1996.
[15] D.P. Reed, “Residential Fiber Optic Networks : An Engineering and Economic Analysis,” Artech House, 1992.