

실물옵션을 이용한 차세대 정보통신 투자사업의 가치 평가 및 최적 투자시기 결정

임금순¹ · 이덕주^{2*} · 김기홍³ · 오형식³

¹LG CNS / ²경희대학교 테크노공학대학 / ³서울대학교 산업공학과

Valuation and Optimal Timing of the Investment in Next Generation Telecommunication Service Using Real Options

Kum-Soon Lim¹ · Deok-Joo Lee² · Ki-Hong Kim³ · Hyung-Sik Oh³

¹LG CNS

²College of Advanced Engineering, Kyung Hee University

³Department of Industrial Engineering, Seoul National University

We evaluate the economic value and the optimal investment timing of IMT-2000 in Korea, in the perspective of a service provider who owns the business license for IMT-2000, by using the real options analysis. The result clearly shows the project value with options is positive and delaying the investment is more favorable to the provider. Binomial lattice approach, in which we try to describe American call option and sequential compound option, and sensitivity analysis present the optimal decisions according to future states and enable the management to make decision strategically and proactively.

Keywords: Real Options, IMT-2000, Optimal Investment Timing, Telecommunication Project Valuation, Binomial Lattice

1. 서론

제 3세대 이동통신서비스 사업인 IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)은 육상 및 위성에서 음성 고속데이터, 영상 등의 멀티미디어 서비스 및 글로벌 로밍을 제공하는 유무선 통합 차세대 통신서비스로서 세계를 하나로 연결시켜 주는 통신서비스의 미래로 인식되어 왔으며, 통신사업자들은 천문학적 이익을 예상하면서 사업권을 따기 위해 치열한 경쟁을 치렀다. 1999년에 들어 진행되었던 IMT-2000 서비스 사업자 선정 과정에서 국내외 통신사업자들은 사업권 획득에 사운을 걸었으며, 일부 사업자들은 사업권 획득을 위해 막대한 금액의 선행투자를 실시하기도 했다. 그러나 초반에 매우 적극적인 모습을 보였던 사업자들이 시간이 지나면서 예상과는

달리 IMT-2000서비스 사업에 관한 실제 투자에 소극적으로 대응하게 되었고, 심지어 유럽지역의 일부 사업자들은 사업권을 반납하고 철수하기까지 하였다.

이렇게 투자가 지연된 이유는 사업자들이 IMT-2000 서비스가 2세대 이동통신과 차별화 되는 부분이 부족하다는 인식을 하였기 때문인데, 이는 2.5세대 이동통신 기술의 발달로 인해 더욱 심화되었다. 또한 듀얼모드 단말기의 공급부족, 사업자들의 재정문제로 인한 네트워크 구축지연으로 인프라가 제대로 구축되지 못하고 있다는 점도 서비스 지연의 중요한 요인으로 작용하였다(Kim *et al.*, 2002).

한국에서도 역시 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 방식의 비동기식 사업권을 획득한 통신사업자들이 2000년에 사업자로 선정되면서 2002년 5월 '한일월드컵' 개최

이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R05-2003-000-11783-0) 지원으로 수행되었음.

* 연락저자 : 이덕주 교수, 449-701 경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 테크노공학대학, Tel : 031-201-2911, Fax : 031-203-4004

E-mail : ldj@khu.ac.kr

2005년 9월 접수; 2006년 2월 수정본 접수; 2006년 3월 게재 확정.

에 맞춰 서비스를 개시하겠다고 발표하였으나, 동기식 서비스인 cdma 2000-1x EV-DO 서비스 시연에 그쳤다. 이후 정부의 압박으로 2003년말에 상용화 서비스를 시작하여 현재 수도권 서울지역을 대상으로 서비스를 제공하고 있지만 서비스 품질과 기능, 단말기 가격이 기대에 미치지 못하여 유료 가입자는 거의 없는 상태이다.

이러한 상황에서 국내 사업자로 선정된 S사는 정부의 계속되는 압박으로 현재 서울에 머물고 있는 서비스 지역을 2005년 말까지 23개 도시로 늘리고, 2006년 6월말에는 전국을 커버할 수 있는 수준인 84개 도시로 확대하기로 했다. 또한 듀얼밴드 듀얼모드 단말기를 제공하여 IMT-2000 서비스가 제공되지 않는 곳에서는 기존의 이동통신서비스를 이용할 수 있게 하고, 데이터 전송속도를 높이기 위해서 WCDMA 망을 기반으로 하는 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access) 개발에 적극 투자하기로 발표한 바 있으나, 이러한 계획이 실제로 이루어질지에 대해서는 아직 미지수인 상황이다.

위에서 살펴본 바와 같이, 제3세대 이동통신사업으로 일컬어지는 IMT-2000 사업은 초기에 ‘꿈의 이동통신’으로 기대를 모았던 것이 사실이나, 현재는 여러 가지 장애로 인하여 충분한 수요를 창출하지 못하고 있는 실정이다. 사실 상용화를 검토하던 시점에서 ETRI(2000)는 현금흐름할인법(DCF : Discounted Cash Flow)을 이용하여 사업의 경제적 타당성 분석을 실시한 바 있고, 분석결과 매우 낙관적인 결과가 도출된 바 있다. 그러나 시간이 지나면서 시장상황이 예상보다 좋지 않은 방향으로 흘러가자 최근에는 당시의 현금흐름 예측이 너무 과대평가되지 않았나 하는 의문이 제기되고 있다. 즉, 사업의 운영과정에서 많은 불확실성을 내재하고 있었던 IMT-2000 사업의 상용화시기를 결정하는 데 있어서 보다 신중하게 접근해야 했다는 지적이 있는 것이다.

지금까지 사업가치를 분석하는데 있어 가장 일반적으로 사용되어온 현금흐름할인법(DCF : Discounted Cash Flow)이 투자사업의 가장 큰 특징인 미래의 불확실성을 반영하지 못한다는 한계를 가지고 있다는 점에 대해서는 많은 연구에서 지적되어 왔다(Dixit and Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1996; Amram and Kulatilaka, 1999; Copeland and Antikarov, 2001). 그리고 최근들어 이를 극복하기 위한 대안으로 실물옵션 분석법이 많은 주목을 받고 있으며(Kim, 2005), 특히 연구개발(Newton *et al.*, 2004; Paxon, 2003)이나 자원개발(Brennan, 1985; Slade, 2001), 정보기술(Balasubramanian, 2000; Kumar, 2002) 등과 같이 불확실성이 높고 사업의 운영과정에서 유연성이 전략적으로 중요한 특성을 가지는 분야에 대한 투자가치를 평가하기 위한 분석에서 많은 연구들이 실물옵션 분석법을 적용하고 있다.

이러한 연구들 중 특히 Alleman(2002)은 정보통신사업의 경우 미래의 수요나 기술의 발전 등이 매우 불확실하여 실제 현금흐름과 투자의 규모가 예상했던 것과 크게 달라질 수 있는데 주목하면서 정보통신산업에서의 실물옵션 분석법 적용 가능성 및 적합성을 주장하였다. 실제로 실물옵션의 관점에서

보면 정보통신 투자사업은 이처럼 불확실성이 높을 뿐만 아니라 연기, 확장, 축소, 포기, 성장 등 여러 가지 의사결정상의 옵션을 포함한 사업의 특징을 가지고 있으며, 사업자들에게는 이러한 다양한 옵션들을 고려하여 사업의 가치를 평가하고 투자해야 할 최적시점이 언제인지를 결정하는 것이 매우 중요한 문제로 대두되는 것이다. 또한 Panayi and Trigeorgis(1998)와 Trigeorgis(1993)는 정보통신 투자사업과 같이 불확실성이 높을 뿐만 아니라 연기, 확장, 축소, 포기, 성장 등 여러 가지 의사결정상의 옵션을 가지는 경우 대부분이 상호 관련된 여러 개의 투자 옵션이 결합되어 있으면서 하나의 옵션이 행사 되어야만 다음 옵션이 가치를 갖게 되는 다단계 옵션으로 구성되어 있음을 지적하였다. 따라서 이러한 다단계 옵션을 평가할 때에는 이들의 상호 작용을 모두 고려해서 평가해야 하며 각각의 옵션을 따로따로 합산하게 되면 프로젝트의 가치를 과대 또는 과소평가하게 될 수 있음을 지적하였다.

한편 Benaroch and Kauffman(2000), Campbell(2002), Ahn, Lee, and Lee(2004)은 실물옵션 방법론을 이용하여 최적 투자시점을 결정하는 모형을 제시하였다. 이들 연구에서는 투자를 연기함으로써 얻게 되는 가치와 동시에 연기로 인해 손실되는 현금흐름의 가치를 실물옵션 모형을 이용하여 평가하고 이 값들을 비교하여 최적 투자 시점을 결정하는 방법론을 제시하였다. 특히 Benaroch and Kauffman(2000)은 사업을 연기함으로써 현금흐름의 손실이 발생하는 경우는 금융옵션 이론에서 배당금(dividend)이 있는 아메리칸 콜옵션의 경우와 비슷한 개념임을 지적하고, 블랙의 근사법(Hull, 2005)을 이용하여 만기를 변화시켜가며 옵션의 가치를 측정하고 그 가치를 최대로 만드는 만기 시점을 결정하여 이를 최적 투자 시점으로 평가하였다.

본 연구는 IMT-2000 사업의 최초 투자가능 시점인 2001년 말 사업자 입장에서 국내 IMT-2000 사업 투자에 대한 가치와 최적투자시점을 실물옵션 분석법을 이용하여 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 국내 IMT-2000 사업과 관련된 현금흐름 예측자료를 이용하여 시장 상황에 따라 의사 결정에 유연성을 갖는 연기, 확장 옵션(초기투자자와 확장투자자로 이루어진 순차적 복합옵션, 각 투자는 정해진 기간 안에서 언제든지 투자할 수 있다는 측면에서 두 개의 미국형 연기옵션 상황을 다루고 있음)의 가치를 평가하기 위한 실물옵션 모형을 제시하고, 이를 이용하여 IMT-2000의 전략적 사업가치를 평가하였다. 특히 본 연구에서는 실물옵션 방법론을 적용하는데 있어서 사업의 가치뿐만 아니라 사업이 진행되어 나가면서 발생 가능한 불확실성에 대해서 사업자가 대응할 수 있는 전략적 선택과정을 파악할 수 있도록 이항격자(binomial lattice)를 이용한 분석을 시도하였다. 그리고 연기 옵션 가치에 대한 동태적인 비교분석을 통해서 2001년 말 사업자의 관점에서 IMT-2000 사업의 최적투자시기를 결정해보았다.

본 연구는 위와 같은 분석을 통해 사업 초기 막연하게 장밋

빛 미래로 기대되었지만 아직까지 제대로 상용화가 되지 못하고 있는 IMT-2000 사업이 정말 가치가 있었는지, 그리고 언제까지 투자 의사결정을 연기하는 것이 최적이었는지에 대한 체계적인 규명을 시도해 보았다.

2. 문제의 모형화

2.1 문제의 상황

이동통신사업은 기술이 발전함에 따라 진화적인 성격을 가지고 있으며(Kim *et al.*, 2001), 각 세대의 수명주기는 크게 성장기와 쇠퇴기로 나누어 볼 수 있다. 즉 차세대 서비스가 등장하여 성장하면 그 전세대의 서비스는 쇠퇴기를 걷게 되는 것이다. ETRI(2000)는 한국의 IMT-2000 사업이 2002년부터 수요가 발생하여 성장하다가, 2011년경에 포화상태에 이를 것으로 예측한 바 있으며, 그 결과를 그림으로 도시하면 <Figure 1>과 같다. 이에 본 논문에서는 ETRI(2000)의 연구결과를 수용하여 IMT-2000과 관련된 현금흐름은 2010년까지 위너프로세스(standard diffusion Wiener process)를 따라 성장하며, 2011년 이후 제4세대 서비스가 등장하면서 쇠퇴기에 접어들었다고 가정한다.

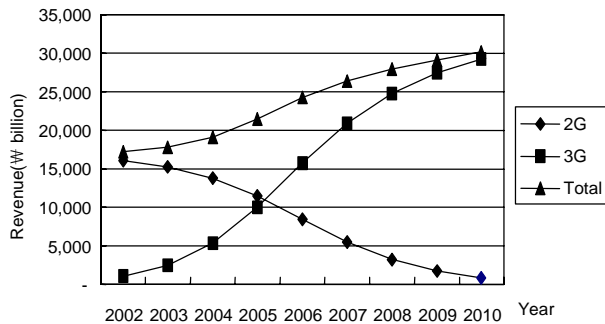


Figure 1. Market forecasting of Korean mobile telecommunication services(ETRI, 2000).

한편, IMT-2000 사업이 갖고 있는 옵션은 여러 가지가 관점에서 파악할 수 있지만 본 논문에서는 순차적 복합옵션(sequential compound option)과 미국형 콜옵션(American call option) 형태의 연기옵션을 중심으로 고려하여 평가하고자 한다. 즉, 2001년 말 현재 사업권을 획득한 S 사업자는 2002년에 당장 투자할 수도 있지만 2006년까지 투자를 연기할 수 있고, 상황이 좋지 않으면 투자를 하지 않을 수 있다고 가정한다. 이 기간에 투자하는 것은 전국적인 서비스를 할 수 있는 인프라를 구축하는 초기투자이다. 또한, 2007년부터 수요의 증가에 대응하기 위해 확장투자를 할 수 있으며, 이 또한 2010년까지 연기할 수 있는 옵션을 갖고 있는 것으로 가정한다. 이는 초기투자자와 확장투자자 두 개의 미국형 연기옵션이 있고, 초기투자가 끝난 이후에 확장투자를 할 수 있는 순차적 복합옵션이 있

으며, 여러 개의 옵션이 포함된 다중옵션(multiple option) 문제에 해당된다고 할 수 있다.

위에서 설정한 문제 상황에 의하면 투자시점을 연기한 이후 상황이 나빠질 경우에는 투자를 하지 않음으로써 손실을 줄일 수 있고, 연기한 기간만큼 투자비가 할인됨으로써 투자를 연기하는 결정이 유리하게 작용하는 반면에 연기한 기간동안 얻을 수 있는 현금흐름을 잃어버리게 됨으로써 손실요인으로 작용하게 된다. 따라서, 최적 투자 의사결정 시점은 연기를 함에 따라 얻게 되는 이득과 잃게 되는 손실을 고려하여 결정하게 된다.

본 논문에서 고려한 옵션을 시간에 따라 그림으로 도시하면 <Figure 2>와 같으며, 의사결정이 전개되는 과정을 나타내면 <Figure 3>과 같다.

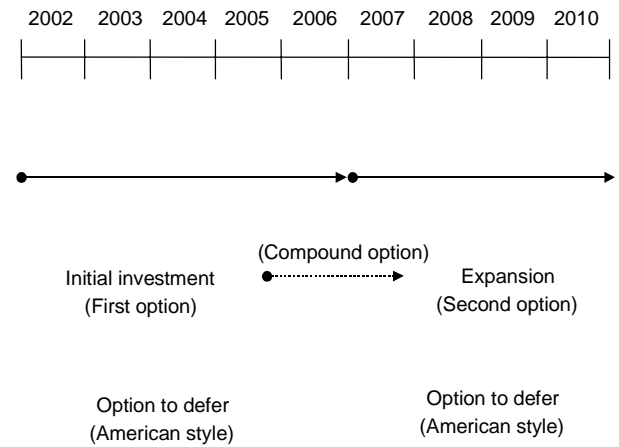


Figure 2. Chronological illustration of options in Korean IMT-2000 project.

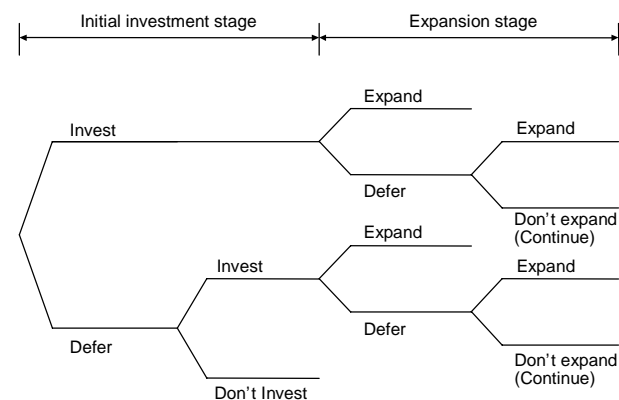


Figure 3. Evolution of investment decision in IMT-2000 project stages.

2.2 모형화

먼저 본 연구에서 투자사업의 실물옵션 가치를 계산하기 위해서 사용되는 모수들을 다음과 같이 정의한다

- V = 기대 현금흐름의 총현가(gross PV of expected cash flows)
또는 프로젝트 가치
- * V 는 투자비용을 제외한 가치임에 유의
- X_1 = 초기투자비용(initial investment cost)
- X_2 = 확장투자비용(expansion cost)
- T_1 = 초기투자 연기옵션 만기(time until initial investment opportunity disappears)
- T_2 = 확장투자 연기옵션 만기(time until expansion opportunity disappears)
- σ = 프로젝트 가치(V)의 불확실성 또는 변동성(project value uncertainty or volatility)
- r = 무위험 이자율(risk-free interest rate)
- e = 확장옵션 행사시의 현금흐름 증가율(increasing rate of cash flows with expansion)

실물옵션 모형은 기본적으로 금융옵션에서 유래되었으며, 본 모형의 모수들과 금융옵션에서 정의하는 모수들을 비교해보면 <Table 1>과 같다(Trigeorgis, 1996).

Table 1. Comparison between a real option on a project and a call option on a stock

Parameter	Real option on project	Call option on stock
V	(Gross) PV of expected cash flows	Current value of stock
X	Investment cost	Exercise price
T	Time until opportunity disappears	Time to expiration
σ	Project value uncertainty	Stock value uncertainty
r	Risk-free interest rate	Risk-free interest rate

실물옵션분석에서 옵션이 없는 투자가치를 NPV(Net Present Value), 옵션가치를 포함한 실물가치를 ENPV(Expanded NPV), 옵션가치를 ROV(Real Option Value)라고 하면 그 관계는 $ENPV = NPV + ROV$ 와 같이 표현할 수 있다.

실물옵션분석을 위해서는 먼저 기초자산(underlying asset)에 대한 이항격자를 도출해야 하는데, 기초자산이 본 연구에서와 같이 종료기간이 있는 프로젝트인 경우에는 매 기간에 이전 기간의 현금흐름이 제외된 만큼의 프로젝트 가치만이 남게 되므로, 매 기간에 발생하는 현금흐름은 가치누출(leakage in value)이 일어나는 것과 같아서 결과적으로 프로젝트 가치는 <Figure 4>와 같이 불연속적인 모습을 보이게 된다(Brandao and Dyer, 2005; Copeland and Antikarov, 2001). 특히 여기서 가리키는 현금흐름은 엄밀히 말하면 잉여현금흐름(FCF : free cash flow)으로서, 기업의 잉여현금흐름은 매 기간 주주에게 배당으로 쓰여지거나 채권자에게 귀속되는데 여기서는 전액 배당으로 가정한다.

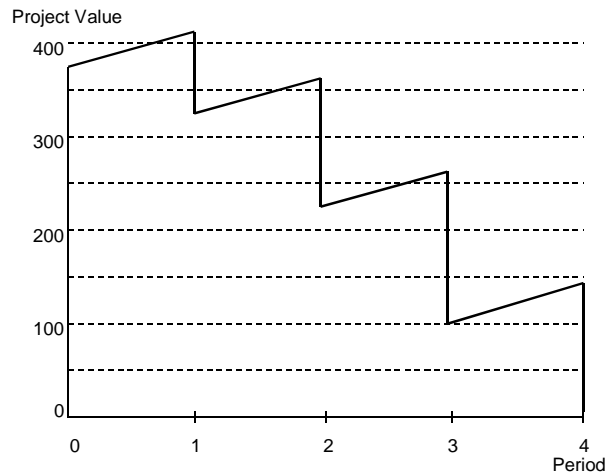


Figure 4. Project value dynamics(4 period project example).

매 기간 발생하는 기대 현금흐름을 $C_i, i = 1, 2, \dots, n$ 라고 하고 위험조정할인율을 k 라 하면, 기간 i 에서의 프로젝트의 가치는 다음 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 즉, 매 기간마다 발생하는 현금흐름이 배당과 같은 형태로 지출되어 기간이 증가할수록 프로젝트의 가치가 감소하게 된다.

$$V_i = \sum_{t=i}^n \frac{C_t}{(1+k)^{t-i}} \quad (1)$$

이항격자모형을 수립하기 위하여 매기간 프로젝트의 가치는 u 의 비율로 상승하거나 또는 d 의 비율로 하락할 수 있으며, 이때 가치가 상승할 확률은 위험중립확률(risk-neutral probability)인 p 라고 하자. 그리고 매 기간의 배당률을 그 기간의 프로젝트 가치에서 차지하는 현금흐름의 비율($\delta_i = C_i / V_i$)로 정의하면, 이항격자모형에서 기간 i , 상태 j 노드에서의 값은 <Figure 5>와 같이 표현된다. 이때 이항격자 옵션모형에 의하면 $u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}}$, $d = 1/u$ 이며, $p = (e^{r\Delta t} - d) / (u - d)$ 의 값을 가진다.

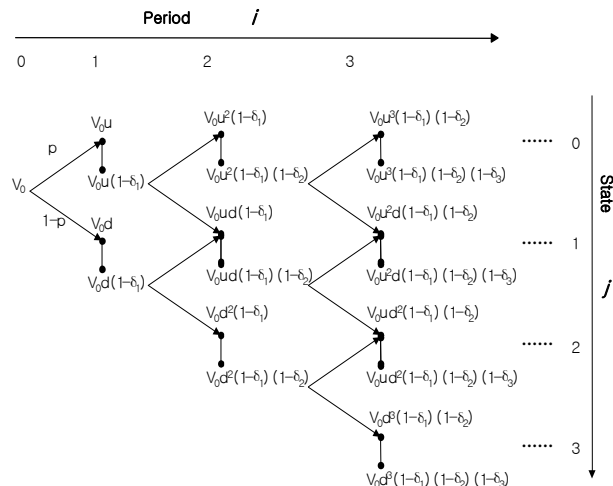


Figure 5. Binomial lattice of project with dividend.

<Figure 5>에서 기간 i , 상태 j 에서의 프로젝트 가치 $V_{i,j}$ 와 배당락 직후(현금흐름 계산시점이 연말이라면, 배당락 직후는 연초를 의미함)의 프로젝트 가치 $V_{i,j}^-$ 는 식 (2)와 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{i,j} = V_0, \quad i=0, \quad j=0$$

$$V_{i,j} = V_0 u^{i-j} d^j, \quad i=1, j=0, 1$$

$$V_{i,j} = V_0 u^{i-j} d^j \prod_{m=1}^{i-1} (1-\delta_m), \quad i=2, 3, \dots, n, \quad j=0, 1, 2, \dots, i \quad (2)$$

$$V_{i,j}^- = V_0, \quad i=0, \quad j=0$$

$$V_{i,j}^- = V_0 u^{i-j} d^j \prod_{m=1}^i (1-\delta_m), \quad i=1, 2, \dots, n, \quad j=0, 1, 2, \dots, i \quad (3)$$

위 식에 의하면 투자연기로 인한 현금흐름의 손실이 발생하는 프로젝트의 경우에는 연기시점 이후의 노드 값은 동일하지만 연기시점 이전의 노드에서는 현금흐름이 없으므로 배당락이 0인 값을 갖게 된다.

본 연구에서 고려하고 있는 순차적 복합옵션의 경우에는 2차 옵션을 먼저 평가하고 그 때의 이항격자를 이용하여 1차 옵션을 평가할 수 있다(Copeland and Antikarov, 2001; Mun, 2002). 본 연구에서는 두 개의 미국형 연기옵션에 대한 순차적 복합 옵션이므로 2차 옵션인 확장투자옵션을 먼저 평가하고 이를 반영하여 1차 옵션인 초기투자옵션을 평가해야 한다. 2차 옵션, 즉 확장투자에 대한 미국형 연기옵션을 행사할 수 있는 기간을 n_2 부터 n_3 까지라고 하고, 확장투자를 했을 때의 미래 프로젝트 가치 증가율을 e , 각 노드에서 초기 투자시 얻게 되는 프로젝트 가치를 $V_{i,j}$, $V_{i,j}^-$, 2차 옵션기간 중 옵션을 고려한 가치평가 값을 $E_{i,j}^2$, $E_{i,j}^{2-}$ 라고 하면, 만기인 n_3 에서는 확장투자를 하지 않았을 때의 가치와 확장투자를 했을 때의 가치를 비교하여 큰 값을 선택하게 되므로 각 노드의 값은 식(4), 식(5)와 같다.

$$\text{For } i = n_3, j = 0, 1, 2, \dots, i,$$

$$E_{i,j}^{2-} = \max[V_{i,j}^-, (1+e)V_{i,j}^- - X_2] \quad (4)$$

$$E_{i,j}^2 = E_{i,j}^{2-} + \delta_i V_{i,j} = E_{i,j}^{2-} + (V_{i,j} - V_{i,j}^-), \quad \text{when } E_{i,j}^{2-} = V_{i,j}^-$$

$$E_{i,j}^2 + (1+e)\delta_i V_{i,j} = E_{i,j}^{2-} + (1+e)(V_{i,j} - V_{i,j}^-),$$

$$\text{when } E_{i,j}^{2-} = (1+e)V_{i,j}^- - X_2 \quad (5)$$

한편 n_2 부터 n_3-1 까지의 각 노드에서는 확장투자옵션을 유보했을 때의 가치와 확장투자를 했을 때의 가치를 비교하여 큰 값을 선택하므로 각 노드의 값은 식(6), 식(7)과 같다.

$$\text{For } i = n_2, \dots, n_3 - 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, i,$$

$$E_{i,j}^{2-} = \max\left[\left[pE_{i+1,j}^2 + (1-p)E_{i+1,j+1}^2\right]e^{-r\Delta t}, (1+e)V_{i,j}^- - X_2\right] (6)$$

$$E_{i,j}^2 = E_{i,j}^{2-} + \delta_i V_{i,j} = E_{i,j}^{2-} + (V_{i,j} - V_{i,j}^-),$$

$$\text{when } E_{i,j}^{2-} = \left[pE_{i+1,j}^2 + (1-p)E_{i+1,j+1}^2\right]e^{-r\Delta t}$$

$$E_{i,j}^2 + (1+e)\delta_i V_{i,j} = E_{i,j}^{2-} + (1+e)(V_{i,j} - V_{i,j}^-),$$

$$\text{when } E_{i,j}^{2-} = (1+e)V_{i,j}^- - X_2 \quad (7)$$

다음으로 만기 n_1 의 미국형 연기옵션인 1차 옵션의 가치를 평가해보자. 이때는 2차 옵션을 평가한 이항격자를 기반으로 1차 옵션의 만기부터 역행(backward)으로 평가한다. 각 노드에서의 옵션 평가가치를 $E_{i,j}^1$, $E_{i,j}^{1-}$ 라 하면, 만기에서는 초기투자시의 가치와 초기투자를 하지 않을 때의 가치를 비교하여 큰 값을 선택하므로 식(8), 식(9)와 같다.

$$\text{For } i = n_1, j = 0, 1, 2, \dots, i,$$

$$E_{i,j}^{1-} = \max[0, E_{i,j}^{2-} - X_1] \quad (8)$$

$$E_{i,j}^1 = E_{i,j}^{2-} + \delta_i V_{i,j} = E_{i,j}^{2-} + (E_{i,j}^2 - E_{i,j}^{2-}),$$

$$\text{when } E_{i,j}^{1-} = E_{i,j}^{2-} - X_1$$

$$E_{i,j}^{1-}, \quad \text{when } E_{i,j}^{1-} = 0 \quad (9)$$

그리고 현시점부터 n_1-1 까지의 각 노드에서는 초기투자 옵션을 유보했을 때의 가치와 초기투자를 했을 때의 가치를 비교하여 큰 값을 선택하므로 각 노드의 값은 식(10), 식(11)과 같다.

$$\text{For } i = 0, 1, 2, \dots, n_1 - 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, i,$$

$$E_{i,j}^{1-} = \max\left[\left[pE_{i+1,j}^1 + (1-p)E_{i+1,j+1}^1\right]e^{-r\Delta t}, E_{i,j}^{2-} - X_1\right] \quad (10)$$

$$E_{i,j}^1 = E_{i,j}^{2-}, \quad \text{when } E_{i,j}^{1-} = \left[pE_{i+1,j}^1 + (1-p)E_{i+1,j+1}^1\right]e^{-r\Delta t}$$

$$E_{i,j}^1 + \delta_i V_{i,j} = E_{i,j}^{2-} + (E_{i,j}^2 - E_{i,j}^{2-}),$$

$$\text{when } E_{i,j}^{1-} = E_{i,j}^{2-} - X_1 \quad (11)$$

이 때 최종적으로 얻어지는 E_0^1 가 옵션가치를 포함한 프로젝트의 가치(ENPV)이다. 그리고, 이항격자의 각 노드 (i, j)에서 어느 값이 선택되었는지의 결과는 기간 i 에서 프로젝트의 상황이 j 상태일 경우에 어떻게 의사결정을 하는 것이 최적인지에 대한 경로를 보여 준다. 특히 최초로 투자가 권고되는 노드가 발생하는 기간을 알 수 있는데, 이것은 의사결정자가 투자여부를 결정하기 위해 프로젝트의 가치가 어느 상태에 있는지를 다시 검토해야 하는 최적시점에 대한 정보를 알려주기 때문에 의미가 있다.

본 연구의 모형에 따라 다음과 같은 절차로 실물옵션분석을 수행할 수 있다.

- Step 1(Static NPV 도출) : 전통적인 DCF법을 이용하여 프로젝트의 현재가치(기대 현금흐름의 총 현재가치)를 계산한다. 투자비의 현재가치를 계산하여 프로젝트 현재가치에서 빼면 Static NPV가 도출된다.
- Step 2(프로젝트 가치의 이항격자 작성) : 프로젝트 가치의

변동성을 분석한 후 식 (2), 식 (3)을 이용하여 이항격자를 작성한다. 프로젝트 가치는 초기투자를 수행할 경우의 기대 현금흐름의 총 현재가치를 기초로 만든다.

- Step 3(Expanded NPV의 계산) : 초기투자시의 이항격자를 기초로 실물옵션가치가 포함된 ENPV를 계산한다. ENPV는 위험중립확률과 무위험이자율을 적용하여 시간의 역행으로 계산되어지며, 2차 옵션인 확장투자옵션을 식 (4)~식 (7)을 이용하여 먼저 평가한 후 이를 기반으로 1차 옵션인 초기투자옵션을 식 (8)~식 (11)을 이용하여 평가한다. 최종적으로 얻어지는 값이 프로젝트의 ENPV이다.
- Step 4(최적 투자사의사결정 경로와 재검토시기 도출) : ENPV를 계산하기 위해 이항격자의 각 노드에서 선택된 의사결정 결과를 파악하여 최적 투자사의사결정 경로를 도출하고, 최초로 투자를 권고하는 노드가 나타나는 시점을 도출하면 재검토시기가 된다.

3. 분석

3.1 자료의 구성

본 연구에서 사용된 기초자료는 한국전자통신연구원(ETRI, 2000; Jang *et al.*, 2001)에서 분석한 IMT-2000 투자에 대한 경제성분석 보고서 자료에 기초하고 있으며 실물옵션분석을 위해 <Table 2>와 같이 재구성하였다. 본 연구의 모형에서 사용되는 변수들인 프로젝트 가치(V), 투자비(X), 만기(T), 변동성(σ), 무위험이자율(r), 확장투자로 인한 프로젝트 가치증가율(e)의 도출방법은 다음과 같다.

우선 S 사업자를 비롯한 3개의 IMT-2000 사업자는 각각 1/3의 동일한 시장점유율을 가질 것으로 가정하였다. 한편 사업자들은 사업권을 획득하면서 정부에 일시출연금을 납입하기로 했으며, 이 금액은 S 사업자의 경우 2001년 말 기준으로 1조 1302억원에 달하였다. 본 연구에서는 사업자가 이미 사업

권을 획득한 시점을 기준으로 하고 있으므로 정부일시출연금은 사업자가 의무적으로 납부해야 되는 것으로서 향후 투자의 사결정에 영향을 주지 못한다고 보고, 이 비용을 매몰비용(sunk cost)으로 간주하였다.

프로젝트 가치(V)는 매년 발생하는 현금흐름과 잔여가치(remaining value)의 현재가치로 평가하였다. 이때 잔여가치는 IMT-2000의 다음 세대인 제 4 세대 서비스가 출현하는 시점을 2011년으로 잡고, 이후의 현금흐름이 2002년부터 2010년까지 예측한 현금흐름과 대칭적으로 발생한다고 가정하여 2011년부터 2019년까지의 현금흐름을 할인하여 계산하였다. 예를 들어, 2011년에는 2010년의 현금흐름과 같은 금액의 현금흐름이 발생하고, 2012년에는 2009년과 같은 금액의 현금흐름이 발생한다는 가정이다. 이것은 <Figure 1>에서 보여주는 바와 같이 이동통신서비스의 성장기와 쇠퇴기의 시장규모가 대칭적이라는 가정에 기초한 것이다. 한편 <Table 2>에서 운영비용이 2008년에 감소하는 것은 단말기를 매 2년마다 교체한다는 가정 하에 가입자 유치비용을 산정하였기 때문이다.

투자비용(X)은 핵심망 투자비와 무선접속망(기지국관련 장비 및 설비) 투자비로 이루어져 있는데, 2002년부터 2006년간 전국적인 서비스를 가능하게 하기 위해 인프라를 조성하는 투자비용을 초기투자비(X_1)로 가정하였고, 2007년부터 2010년까지 투자하는 것은 초기투자로 수용할 수 없는 수요에 대응하기 위한 투자비용으로서 확장투자비용(X_2)이라고 가정하였다. 초기투자비는 투자를 한 해 연기할 때마다 연기된 투자비를 다음 해에 이월, 합산하여 투자한다고 가정하였다. 즉, 초기투자를 2003년에 하게 되면 그 해의 투자금액과 2002년의 연기된 투자금액을 합산하여 투자하는 것이다. 확장투자비는 2007년부터 2010년까지의 투자비를 합쳐서(14,546억원) 한 해에 투자하는 것으로 가정하였다.

확장투자로 인한 미래 프로젝트 가치 증가율(e)은 초기투자시의 기지국관련 무선접속망 투자비(29,124억원) 대비 확장투자시의 기지국관련 무선접속망 투자비(13,863억원) 비율인 47.6%로 설정하였다. 이것은 현금흐름이 가입자 수와 트래픽

Table 2. Cash flows estimation of IMT-2000 project for S Company (₩billion)

Year	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Revenue	171.7	597.6	1,644.3	3,625.6	4,970.5	7,404.5	7,891.3	8,068.2	10,376.5	
Operating cost	263.4	581.8	1,406.5	2,462.7	2,937.2	4,596.5	4,071.9	4,761.4	4,308.5	
Depreciation	110.6	171.5	355.0	461.9	535.2	708.2	644.4	600.5	422.6	
Tax(30.77%)	0.0	4.9	73.2	357.8	625.6	864.0	1,175.2	1,017.5	1,867.1	
After tax profit	-91.7	11.0	164.6	805.1	1,407.6	1,944.0	2,644.1	2,289.3	4,200.8	
(Free) Cash flow	18.9	182.5	519.6	1,267.0	1,942.8	2,652.2	3,288.5	2,889.8	4,623.4	
Remaining value										13,406.9
Investment	663.3	365.6	1,101.2	641.3	439.7	1,038.2	280.4	102.1	33.8	

*Revenue, Operating cost, Depreciation were calculated by the method in ETRI(2000)

After tax profit = (Revenue-Operating cost)(1-Tax rate) if (Revenue-Operating cost) > 0, otherwise 0

*(Free) Cash flow = After tax profit + Depreciation

*PV of cash flows is ₩10,142.2bil(risk-adjusted discount rate 15%), PV of investment cost is ₩3,804.2bil(risk-free rate 5.34%), NPV is ₩6,337.9bil

수에 밀접한 관련이 있기 때문에 무선접속망의 투자규모가 커진 만큼 현금흐름이 증가되는 것으로 가정한 것이다.

무위험이자율(r)은 2001년도 1년 만기 국채이자율 5.34%를 적용하였고, 위험조정할인율(k)은 ETRI(2000)에서와 같이 15%를 적용하고 추후 민감도 분석을 수행하였다 변동성(σ)은 보통 프로젝트와 직접적으로 관련된 기업의 주가를 기초로 산정하거나 또는 프로젝트 현금흐름에 대한 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여 구할 수 있다. 그러나 금융시장에서 거래되는 주가가 프로젝트의 변동성을 설명할 수 있다면 보다 다양한 불확실성을 반영할 수 있게 되므로 전자가 더 바람직하다고 할 수 있다. 본 모형에서 프로젝트의 변동성은 S 사업자의 제 2세대 서비스 기간(1996년~2001년) 중 주식가격의 연간 평균변동성인 61%를 적용하였다. 이것은 이 기간 동안 2세대 서비스가 S사업자 사업비중의 대부분을 차지하였으므로 주가의 변동성이 프로젝트 가치의 변동성과 같다고 가정하고 3세대 사업도 유사한 변동성을 가질 것으로 가정한 것이다. 마지막으로 초기투자에 대한 연기옵션의 만기(T_1)는 2006년까지이고, 2007년부터 가능한 확장투자에 대한 연기옵션의 만기(T_2)는 2010년까지라고 가정하였다.

그리고 본 연구에서 설정한 모수 값 추정의 오차와 불확실성을 고려하여 모수별로 분석결과에 대한 민감도 분석을 수행하기로 한다.

3.2 단계별 계산 결과

- Step 1(Static NPV 도출) : <Table 2>에서 보는 바와 같이 연도별 현금흐름에 대해서 전통적 DCF법을 이용하여 2001년말 기준으로 프로젝트의 NPV를 구하면 63,379억원으로 상당히 높은 투자가치가 있는 것으로 평가되어 NPV분석은 현재 투자하는 것이 바람직함을 권고하고 있다.
- Step 2(프로젝트 가치의 이항격자 작성) : 초기투자로 발생되는 프로젝트 현재가치(투자비용을 고려하지 않은 가치이며, 2007년부터 무선접속망 투자비 비율로 초기투자(68%)와 확장투자(32%)시의 현금흐름을 나누어 구함) 75,765억원을 출발점으로 변동성 61%를 적용하여 이항격자를 만들면 <Table 3>과 같다. 각 노드는 배당금으로 처리된 현금흐름이 제외되기 전과 후의 값으로 구성되었다.

Table 3. Lattice evolution of the value of project (₩billion)

	2001.12.31	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Cash flow from total investment		18.9	182.5	519.6	1,267.0	1,942.8	2,652.2	3,288.5	2,889.8	4,623.4	
Cash flow from initial investment		18.9	182.5	519.6	1,267.0	1,942.8	1,796.9	2,228.0	1,957.8	3,132.4	
Remaining value from initial investment											9,083.3
Ex-dividend value	7,576.5	8,694.1	9,815.8	10,768.5	11,116.8	10,841.5	10,670.8	10,043.4	9,592.1	7,898.5	
Pre-dividend value		8,713.0	9,998.2	11,288.1	12,383.8	12,784.3	12,467.7	12,271.4	11,549.9	11,030.9	
Dividend rate		0.002	0.018	0.046	0.102	0.152	0.144	0.182	0.170	0.284	
Binomial lattice	7,576.5	8,713.0	16,000.9	28,911.1	50,759.6	83,861.6	130,886.4	206,169.8	310,550.2	474,662.5	
		8,694.1	15,708.9	27,580.3	45,566.3	71,117.2	112,022.5	168,737.7	257,908.3	339,874.2	
			4,723.9	8,535.4	14,985.8	24,758.5	38,641.6	60,867.5	91,683.8	140,134.7	
			4,637.7	8,142.5	13,452.5	20,995.9	33,072.4	49,816.5	76,142.3	100,341.1	
				2,519.9	4,424.2	7,309.4	11,408.2	17,969.9	27,067.8	41,372.0	
				2,403.9	3,971.6	6,198.6	9,764.0	14,707.3	22,479.5	29,623.7	
					1,306.2	2,158.0	3,368.0	5,305.3	7,991.2	12,214.3	
					1,172.5	1,830.0	2,882.6	4,342.0	6,636.6	8,745.8	
						637.1	994.3	1,566.3	2,359.3	3,606.0	
						540.3	851.0	1,281.9	1,959.3	2,582.0	
							293.6	462.4	696.5	1,064.6	
							251.3	378.5	578.5	762.3	
								136.5	205.6	314.3	
								111.7	170.8	225.1	
									60.7	92.8	
									50.4	66.4	
										27.4	
											19.6

Volatility(σ) = 0.61
 Time step = 1 year
 Up step size(u) = 1.840431
 Down step size(d) = 0.543351
 Probability of up move(p) = 0.394348
 Probability of down move(1-p) = 0.605652
 Risk-free discount rate(r) = 0.0534
 Risk-adjusted discount rate(k) = 0.15
 Initial investment(₩bil) = 2,908.5
 Expansion investment(₩bil) = 1,454.6
 FCF increasing rate with expansion(e) = 0.476

Table 6. Combined option valuation lattice (₩billion)

	2001.12.31	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ENPV	8,048.4	8,048.4	16,666.8	33,479.7	57,258.4	108,316.2	182,830.1	302,851.8	431,935.4	699,146.9
		8,048.4	16,666.8	32,148.8	57,258.4	95,571.8	163,966.2	247,602.2	379,293.5	500,199.4
		(defer)	(defer)	(invest)	(defer)	(invest)	(defer)	(expand)	(defer)	(expand)
			3,165.8	7,229.2	14,230.8	29,199.7	53,005.1	88,385.9	126,548.5	205,384.1
			3,165.8	6,836.3	14,230.8	25,437.2	47,435.9	72,074.5	111,007.0	146,648.8
			(defer)	(invest)	(defer)	(invest)	(defer)	(expand)	(defer)	(expand)
				806.8	2,158.2	5,773.1	15,383.9	25,069.0	36,389.1	59,610.5
				806.8	2,158.2	4,662.3	12,957.1	20,253.4	31,800.8	42,270.0
				(defer)	(defer)	(invest)	(expand)	(expand)	(defer)	(expand)
					0.0	0.0	3,696.4	6,183.5	10,340.5	16,573.7
					0.0	0.0	3,210.9	5,220.3	8,341.1	11,454.2
					(defer)	(don't invest)	(defer)	(defer)	(expand)	(expand)
						0.0	994.3	1,566.3	2,359.3	3,606.0
						0.0	851.0	1,281.9	1,959.3	2,582.0
						(don't invest)	(defer)	(defer)	(defer)	(don't expand)
							293.6	462.4	696.5	1,064.6
							251.3	378.5	578.5	762.3
							(defer)	(defer)	(defer)	(don't expand)
								136.5	205.6	314.3
								111.7	170.8	225.1
								(defer)	(defer)	(don't expand)
									60.7	92.8
									50.4	66.4
									(defer)	(don't expand)
										27.4
										19.6
										(don't expand)

• Step 4(최적 투자의사결정 경로와 재검토시기 도출) : ENPV를 계산하기 위해 이항격자의 각 노드에서 선택된 의사결정 결과를 종합한 결과가<Table 6>의 각 노드에 나타나 있다.

<Table 6>을 살펴보면, 최초로 투자를 권고하는 노드가 나타나는 시점은 2004년으로서 이것이 프로젝트 가치를 재검토해야 하는 시기가 된다. 2004년까지 투자의사결정을 미루다가 2004년에 투자를 권고하는 상태가 되면 기초투자를 하고, 2005년과 2006년에는 투자에 대한 변화가 없고 2007년부터는 노드에 나타난 최적 확장투자 의사결정 결과에 따른다. 만약 2004년에 초기투자유선을 유보해야 하는 상태가 되면 2005년에도 유보하고 2006년에 재검토 하는 것이 최적인 것을 볼 수 있다. 2006년에는 투자를 하던지 아니면 투자를 포기하던지 결정을 내려야 한다. 투자를 포기하면 거기서 투자전략이 종료된다. 2006년이나 그 이전에 초기투자를 했을 경우, 2007년부터 확장투자를 권고하는 노드가 최초 발생하는 상태에 도달하면 확장투자를 실행함으로써 투자전략이 마무리 된다. 2010년까지 확장투자를 권고하는 노드에 도달하지 못한다면 확장투자를 하지 않고 초기투자 상태를 그대로 지속하는 것이 바람직하다는 사실을 알 수 있다. 결론적으로 투자에 대한 의사결정을 연기하는 최적시점은 2004년이고, 프로젝트의 최종 ENPV는 80,484억원이며, Static NPV 값(63,379억원)과 비교하여 17,105억원의 옵션가치(ROV)

를 갖게 됨을 알 수 있다. 이것은 NPV 분석 결과가 현재 투자해도 충분히 가치가 있는 프로젝트임을 보여주지만 미래의 불확실성과 의사결정의 유연성을 고려하면 투자 의사결정시점을 2004년까지 연기하는 것이 더 유리함을 보여주는 결과이다.

3.3 민감도 분석

본 연구의 실물옵션분석에 사용된 주요 변수들인 프로젝트 가치(V), 초기투자비용(X_1), 확장투자비용(X_2), 확장투자료인한 프로젝트 가치증가율(e), 변동성(σ), 무위험이자율(r)이 ENPV에 미치는 민감도를 분석해 보면<Figure 6>과 같다.

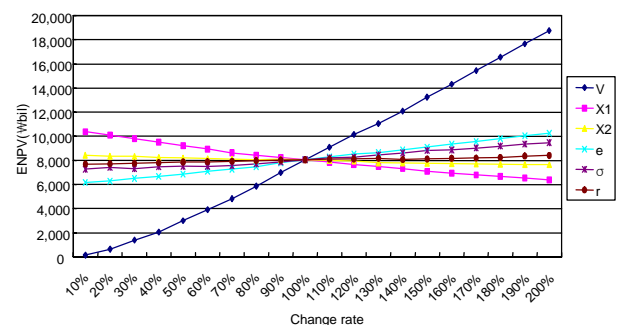


Figure 6. Results of sensitivity analysis.

<Figure 6>을 보면 ENPV는 프로젝트 가치, 확장투자시의 프로젝트 가치 증가율, 변동성, 무위험이자율이 커질수록 증가하고, 초기투자비와 확장투자비가 커질수록 감소한다. 가장 민감하게 영향을 주는 모수는 프로젝트 가치이며 이는 현금흐름 예측에 좌우된다. 한편 기존의 NPV 분석에서 현금흐름을 과다하게 예측하였다는 주장을 고려하여 현금흐름 예측치를 충분히 낮추더라도 옵션을 고려한 ENPV는 양의 값이 되어 투자하는 것이 유리하다는 결과가 도출됨을 알 수 있다.

<Figure 7>은 NPV 분석에 사용된 위험조정할인율(k), 잔여가치에 대한 민감도 분석 결과를 나타내고 있다.

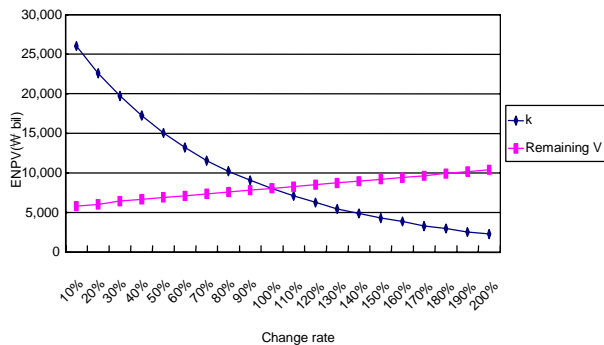


Figure 7. Sensitivity analysis results of NPV parameters.

<Figure 7>에 의하면 모형에서 사용된 위험조정할인율(15%)을 증가시키면 ENPV는 감소하지만, 2배(30%)까지 충분히 크게 증가시켜도 ENPV는 여전히 양이 되어 투자하는 것이 유리하게 평가됨을 알 수 있다. 위험조정할인율은 프로젝트 가치 계산에 사용되므로 프로젝트 가치의 민감도 분석결과와 일관성을 갖는다. 잔여가치는 그 값이 증가할수록 ENPV가 증가하지만 위험조정할인율에 비하여 변화의 폭이 크게 작으며, 잔여가치가 충분히 작다고 해도 ENPV는 양이 되어 투자하는 것이 유리하게 평가되는 것으로 도출되었다.

마지막으로 초기투자 의사결정을 위하여 프로젝트 가치를 재검토하는 시기에 대하여 민감도 분석을 실시한 결과는 <Table 7>과 같다. 이때 모수들의 변화범위는 ENPV 민감도 분석에서 사용된 범위와 같다.

<Table 7>을 보면 확장투자비, 확장투자시 프로젝트가치 증가율, 무위험 이자율, 잔존가치의 변화는 최적 재검토 시기(2004년)에 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 프로젝트 가치가 감소할 위험을 고려한다면 예측치의 80%로 감소할 경우에는 재검토시기가 2003년으로 앞당겨지고, 10%와 20%일 경우에는 2006년으로 늦춰지며, 나머지의 경우에는 2004년이 최적이 된다. 그리고 초기투자비가 증가할 위험을 고려한다면 예측치보다 130%, 140%로 증가할 경우에는 재검토시기가 2003년으로 앞당겨지고, 나머지 증가할 경우는 2004년이 최적이 된다. 변동성과 위험조정할인율이 증가할 경우도와 유사하여, 최적 재검토시기는 2003년 또는 2004년이 되는 것으로 도출되었다.

Table 7. Sensitivity of 1st check year for decision

Change rate	V	X ₁	X ₂	e	σ	r	k	Rem. V
10%	2006	2002	2004	2004	2002	2004	2002	2004
20%	2006	2002	2004	2004	2002	2004	2004	2004
30%	2004	2002	2004	2004	2002	2004	2004	2004
40%	2004	2002	2004	2004	2002	2004	2004	2004
50%	2004	2002	2004	2004	2002	2004	2004	2004
60%	2004	2002	2004	2004	2002	2004	2004	2004
70%	2004	2004	2004	2004	2002	2004	2004	2004
80%	2003	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
90%	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
100%	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
110%	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
120%	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
130%	2004	2003	2004	2004	2003	2004	2003	2004
140%	2004	2003	2004	2004	2003	2004	2003	2004
150%	2004	2004	2004	2004	2003	2004	2003	2004
160%	2002	2004	2004	2004	2004	2004	2003	2004
170%	2002	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
180%	2002	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
190%	2002	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
200%	2002	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004

4. 결론

본 논문에서는 실물옵션 분석법을 이용하여 차세대 이동통신 사업의 가치와 최적의 투자 의사결정 시기를 평가하였다. 옵션 가치를 포함한 프로젝트 투자가치(Expanded NPV)는 미래의 불확실한 상황에서의 의사결정 옵션을 고려함으로써 DCF 분석으로 구한 Static NPV 값보다 유리한 결과를 제시한다. 통신 사업의 미래로 여겨졌던 IMT-2000 사업에 대하여 미국형 연기 옵션과 순차적 복합옵션을 고려하여 평가한 ENPV는 충분한 투자가치가 있음을 나타내는 결과를 보여 주었다. 특히, 현금흐름이 과대 예측되었을 것이라는 의문을 고려하여 현금흐름을 대폭 낮추었을 때에도 긍정적인 결과가 나왔다. 그러나, 최적의 투자 의사결정 시기는 예정보다 늦추는 것이 유리하게 평가되었는데, 이는 사업자들이 투자에 소극적이고 서비스를 연기하고자 한 이유를 어느 정도 설명한다고 할 수 있다.

본 논문에서 보여준 실물옵션 분석법은 불확실성이 고려된 이항격자와 민감도 분석을 통하여 미래 상황변화에 따른 전략적 의사결정 경로들을 보여줌으로써 경영진이 능동적으로 사업을 관리할 수 있게 한다. 이것은 불확실성과 유연성이 높은 통신사업의 가치를 평가하는데 있어서 기존의 DCF 분석 보다는 실물옵션 분석방법을 적극 사용하는 것이 의사결정자에게 많은 유익을 줄 수 있음을 의미한다. 향후, 사업자간의 경쟁,

투자비의 불확실성, 차세대 기술의 조기도입 등이 반영된 추가 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- Ahn, J., Lee, D., and Lee, J. (2004), A Model for the Optimal Decision Timing Using a Real Options Approach, *International Journal of Operations and Quantitative Management*, **10**, 185-202.
- Alleman, J. (2002), A new view of telecommunications economics, *Telecommunications Policy*, **26**, 87-92.
- Amran, M. and Kulatilaka, N. (1999), *Real Options : Managing Strategic Investment in an Uncertain World*, Harvard Business School Press, Boston.
- Balasubramanian, P., Kulatilaka, N., and Storck, J. (2000), Managing information technology investments using a real-options approach, *Journal of Strategic Information Systems*, **9**(1), 39-62.
- Benaroch, M. and Kauffman, R. J. (2000), Justifying Electronic Banking Network Expansion Using Real Options Analysis, *MIS Quarterly*, **24**, 197-225.
- Brandao, L. E. and Dyer, J. S. (2005), Decision analysis and real options : a discrete time approach to real option valuation, *Annals of Operations Research*, **135**, 21-39.
- Brennan, M. J. and Schwartz, E. S. (1985), Evaluating Natural Resource Investments, *Journal of Business*, **58**, 133-155.
- Copeland, T. and Antikarov, V. (2001), *Real Options : A Practitioner's Guide*, Texere, New York.
- Dixit, A. K. and Pindyck, R. S. (1994), *Investments Under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- ETRI (2000), *Economic Analysis of Next Generation Mobile Telecom Service*, Research Report.
- Hull, J. C. (2005), *Fundamentals of Futures and Options Markets*, 5th Ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Jang, H., Lee, K., and Rim, M. (2001), An Investment Cost Analysis of the IMT-2000 Mobile Communications Industry, *IE Interfaces*, **14**(3), 318-325.
- Kim, G. (2005), The Multi-period Opportunity Cost Model to Evaluate an Option Value based on a Deferral option, *IE Interfaces*, **18**(2), 184-192.
- Kim, H., Lee, K., and Song, Y. (2002), A Research for the Reasons of Delaying IMT-2000 through Success Factor Analysis of New Services, *Radio Promotion*, **12**, 48-57.
- Kim, Y., Kim, J., and Lee, H. (2001), Forecasting of IMT-2000 Market Size using Modified Multi-generation Lotka-Volterra Model, *IE Interfaces*, **14**(3), 318-325.
- Kumar, R. L. (2002), Managing risks in IT projects : an options perspective, *Information & Management*, **40**(1), 63-74.
- Newton, D. P., Paxon, D. A., and Widdicks, M. (2004), Real R&D options, *International Journal of Management Reviews*, **5**(6)(2), 115-150.
- Panayi, S. and Trigeorgis, L. (1998), Multi-stage Real Options : The Cases of Information Technology Infrastructure and International Bank Expansion, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, **38**, 675-692.
- Paxon, D. A. (2003), *Real R&D Options*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Slade, M. E. (2001), Valuing Managerial Flexibility : An Application of Real-Option Theory to Mining Investments, *Journal of environmental economics and management*, **41**(2), 193-233.
- Trigeorgis, L. (1993), The Nature of Option Interactions and the Valuation of Investments with Multiple Real Options, *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, **28**, 1-20.
- Trigeorgis, L. (1996), *Real Options : Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, MIT Press, Cambridge, MA.