

# 원자력발전소 건설 리드타임의 변화가 투자프로젝트 평가에 미치는 효과분석: 발전소 건설비용과 리드타임 간의 상쇄효과분석<sup>†</sup>

김규태<sup>1</sup> · 이병국<sup>2</sup> · 오치재<sup>3</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>한국전력공사 영광원자력발전소 / <sup>3</sup>영산대학교 경영정보학과

## An Effect Analysis of Lead Time Changes on Investment Evaluation of a Nuclear Power Plant Construction: A Trade-Off Analysis Between a Construction Cost and Lead Time

Gyutai Kim<sup>1</sup> · Byunggook Lee<sup>2</sup> · Chijac Oh<sup>3</sup>

A nuclear power plant requires a huge amount of initial investment and long construction lead time. As we expect that there may exist a relationship between investment and construction lead time, a number of researchers have reported that nearly a half of investment is incurred due to time factors such as the time value of money and inflation or escalation rates. Therefore, we investigated in this paper a relationship between the initial investment and the construction lead time of a nuclear power plant construction, and proposed a method for a trade-off analysis between the annual equivalent worth and the investment alternatives to reduce the construction lead time. Finally, we presented a real case to numerically explain the steps of the method presented in this paper.

### 1. 서론

지난 35년간 한국의 에너지 소비 증가율은 연 평균 8.5%로, 이는 동기간의 경제성장률을 훨씬 상회하고 있다. 특히 1990년 이후 국내 에너지 소비의 석유 의존도가 60% 이상으로 높게 나타나고 있으며, 이와 같은 에너지 소비형태의 구조는 2000년 이후부터 점차적으로 개선되어 2030년에는 45.8%로 낮아질 것이라고 한다(통상산업부/한국전력공사, 1997; 한국동력자원연구소, 1982).

높은 석유 의존도를 줄여 나가기 위해 세계의 여러 국가들이 대체에너지 개발이나 기존의 대체에너지 기술로의 전환 등 여러 방안들을 모색하고 있는 데 국내에서도 석유 의존도를 줄이는 방안으로 원자력발전소 건설계획을 가지고 있다(한국

전력공사, 1996a). 그러나 원자력발전소 건설비용의 급격한 상승, 불안정한 정부 규제조치, 높은 이자율, 천연에너지 자원의 낮은 가격, 한 번의 사고 발생으로 인한 치명적인 환경 파괴 및 인명피해 등 여러 복합적인 요소들로 인하여 최근에는 세계 각국에서 원자력발전소 건설사업을 크게 축소하고 있는 경향이다.

원자력발전소는 천연자원을 이용하는 발전소와 비교하여 그 사업 투자 규모가 방대하고 고도의 기술과 절대적인 안전을 요구하므로 원자력발전소 사업의 타당성 문제는 환경, 정치, 사회, 경제, 과학 등 여러 측면에서 다각도로 분석 검토되어야 할 것이다. 경제적인 측면에서 원자력발전소 건설의 타당성을 향상시키기 위해 일반적으로 두 가지 방안이 모색되고 있다. 첫 번째로는 많은 설계변경을 수반하는 불안정한 정부의 규제조치들을 조속히 확정하고 공고하는 것이고, 두 번째로는

<sup>†</sup> 이 논문은 1998년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

초기 투자비가 방대한 원자력발전소 건설비용을 줄이는 것이다. 본 논문에서는 두 번째 방법인 건설비용 절감측면에 초점을 두고자 한다.

원자력발전소와 같은 대형 투자사업은 고도의 연구개발, 복잡한 설비 및 잦은 규제상황 변화로 발전소 건설 리드타임이 증가되고 이에 비례하여 투자비용도 증가하고 있다. 원자력발전소 건설의 총 비용 중 절반 이상이 발전소 건설의 리드타임과 관련하여 발생하고 있다고 한다.

따라서 원자력발전소 건설 리드타임은 발전소 건설의 경제성에 지대한 영향을 미치게 되므로 이 연구의 궁극적인 목적은 원자력발전소 건설에 대한 리드타임의 변화가 건설비용의 총 등가에 미치는 영향을 조사, 분석함으로써 건설비용 절감을 위해 리드타임 단축의 당위성을 입증하는데 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제2절에서는 원자력 발전소 건설비용을 분석하기 위해 먼저 현금흐름 계산절차를 개념적으로 설명하고 실질적인 사례를 도입하여 그 절차들의 적용 예를 보여준다. 이 절에서 계산된 건설비용은 다음 제3절에서 계산된 건설비용의 총 등가를 계산하기 위해 이용된다.

제3절에서는 리드타임 변동에 따른 투자개선안의 경제성 평가를 위해 먼저 건설비용의 총 등가 개념을 설명하고, 이렇게 계산된 총 등가를 이용하여 한계등가를 계산한 후 사례를 통하여 한계등가가 상쇄효과분석에서 어떻게 적용가를 밝혀낸다. 또한 제3절의 마지막에서는 물가상승률과 최소요구수익률이 건설비용과 리드타임 상호관계에 미치는 영향을 민감도분석을 통하여 보여 주고 있다. 마지막으로 제4절에서는 본 논문에 대한 결론과 앞으로 더 진행되어야 할 연구분야를 제시하고 있다.

## 2. 발전소 건설비용 분석

원자력발전소 건설비용에 관한 정확한 분석을 수행하기 위해서는 부지별 특수성을 고려한 실질적인 평가가 절대적으로 필요하다. 그러나 이러한 평가를 위해서는 막대한 시간과 노력이 요구되므로 본 논문에서는 영광원자력발전소의 평균 건설비용을 평가하기 위해 미 에너지성에서 사용하고 있는 CONCEPT라는 분석모델을 이용하려 한다. CONCEPT모델은 미 원자력 에너지 위원회에서(U. S. Atomic Energy Commission, 1974) 1974년에 개발한 발전소 건설비용 추정모델을 1980년에 미 에너지성에서(U. S. Department of Energy, 1979) 일부 수정한 것이다. <그림 1>은 CONCEPT모델을 영광원자력발전소 사례에 적용한 결과를 보여주고 있고, 본 모델에 사용된 수리적 관계식은 부록 A에 수록되어 있다.

### 2.1 현금흐름 계산절차

원자력발전소 건설과 관련된 현금흐름을 계산하기 위해서는 발전소건설이 실질적으로 시작되기 이전에 발전소 건설계획단계에서 리드타임을 분석한다. 먼저 상업운전 시작일을 정하고, 그후에 원하는 리드타임을 고려하여 건설 착공일을 추정한다. 이를 달리 표현하면 상업운전 개시일을 평가 시기 범위로 정하고 모든 현금흐름을 이 시점으로 전환한다는 것을 의미하고 있다.

다음으로 이 분석은 현금흐름의 계산을 시작하게 되는 데 계산절차는 <그림 2>와 같다.

**단계 1:** 해당 연도 건설비용에 관한 현금흐름을 추정하는 것

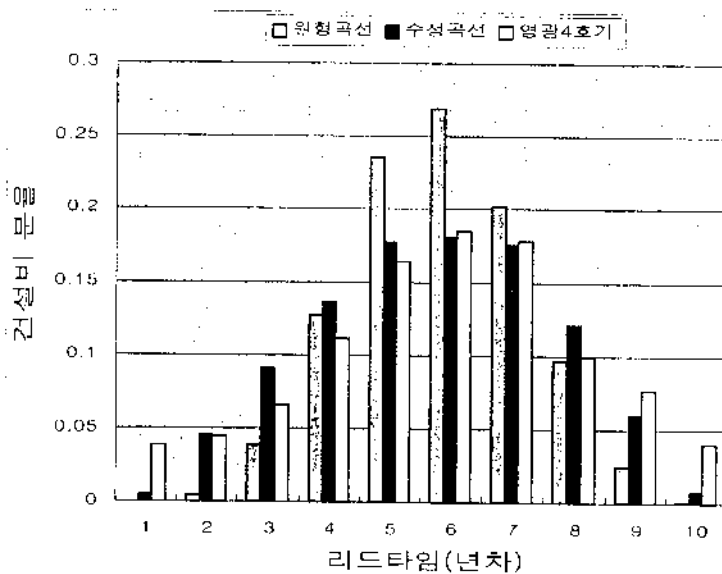


그림 1. 현금흐름 그래프.

이다. 이러한 현금흐름을 추정하기 위해 이 논문에서는 1996년도의 화폐가치로 계산된 영광 4호기 건설비용을 발전소 건설시 작년도인 2006년도의 화폐가치로 환산하여 해당 연도 건설비용으로 사용하였다. 영광 4호기 건설비용을 토대로 1996년도 발전소에 대한 총 해당 연도 건설비용을 계산하면 다음과 같다(부록 B 참조).

$$2,685,776\text{백만원}/2\text{백만kWe} = 1,343\text{천원/kWe}$$

이 비용에 대한 연간 물가상승률 5%를 고려하여 2006년도 총 해당 연도 건설비용으로 환산하면 다음과 같다.

$$1,343\text{천원/kWe} \times (1+0.05)^{10} = 2,187\text{천원/kWe}$$

이 단계와 관련된 수리적인 관계식이 A의 부록 1)항과 2)항에 표시되어 있다.

**단계 2:** 각 연도별 물가상승률에 따른 건설비용 추가부담액을 계산한다. 이 단계의 수리적인 모델은 부록 A의 3)항에 나타나 있다.

**단계 3:** 투자자본비용(AFUDC)을 계산하는 것이다. 투자자본비용은 자본구조율이 반영된 부채이자율과 자기자본 이자율을 전년도 CWIP에 적용하여 계산한다.

**단계 4:** 해당 연도 CWIP를 계산한다. 해당 연도 CWIP의 계산은 전년도 CWIP, 해당 연도 건설비용, 인플레이션비용, 부채비용과 자기자본비용들의 합으로 구성되어 있다. 단계 3과 4의 수리적인 모델이 부록 A의 4)항에 나타나 있다.

AFUDC(Allowance for Funds Used During Construction)는 발전소 건설을 위해 사용된 자본에 대한 자본비용을 일컫는 용어로 WACC(Weighted Average Cost of Capital)와 동일한 의미를 포함하고 있다. 즉, AFUDC도 WACC와 같이 자기자본비용과 타인자본비용의 가중치 합으로 구성된다. 이러한 해당 연도 AFUDC 총액과 해당 연도 실질 건설비용(해당 연도 건설비용 + 물가상승비용)이 연차적으로 누적된 화폐의 총액을 CWIP(Construction Work In Process)라 한다.

AFUDC와 CWIP의 개념을 명확하게 구분하는 이유는 발전소 건설 투자에 의한 비용 발생이 회사의 재정상태에 영향을 주지 않게 하기 위함이다. 또한 AFUDC와 CWIP는 발전소 건설이 완료된 후 고객의 서비스를 위한 투자를 대차대조표상에 분리하는 역할을 하게 된다. 그러므로 건설비용과 부채에 대한 자본비용은 건설기간 동안 발생한 현금흐름에서 세금감소요소로 작용하지 않게 된다.

이 논문에서는 부채에 대한 자본비용은 한전의 차입금의 평균 자본비용을 고려하여 연 8%로 가정하였고, 자기자본수익률은 한전의 자기자본수익률과 한전자체 경영평가 기준값인 연 19%를 고려하여 연 12%를 취했다. 부채비용은 단위발전소별로 추정하기가 어려워 본 논문에서는 96년도 한국전력공사의 부채비용 50%를 적용하였고, 건설비용은 매년 말에 지불되고 이와 동시에 동일한 비용이 차입된다고 가정하였다. 일반적으로 기업들은 장기채권이나 주식을 발행하여 필요한 투자자본을 확보하고 있다. 그러나 특정한 사업을 위한 투자자본을 위해서라기보다는 여러 프로젝트들을 동시에 수행할 목적으로 위와 같이 투자자본을 마련하고 있다. 그러므로 동등한 자금이 동시에 지불되고 차용된다는 가정은 실제적인 상황과 매우 유사하다고 할 수가 있다. 영광 4호기를 기준발전소로 하여 위와 같은 가정 하에 계산된 현금흐름 결과가 <표 1>에 나타나 있다.

2.2 실질적 분석을 위한 사례

아래와 같이 영광 4호기를 참고하여 기준발전소를 정의하였고 차입자본비 대 자기자본비의 구성을 50:50으로 가정하였다.

- (1) 발전소 용량: 1,000MWe 급
- (2) 리드타임: 10년
- (3) 건설 운전 개시년도: 2006년
- (4) 상업운전: 2016년

<표 1>에서 보는 바와 같이 누적된 총 CWIP는 4,370.25천원/kWe이다. 이를 분석해 보면 해당 연도 건설비용은 50.0%, 물가상승률과 관련된 비용은 16.4%, 자본비는 33.6%를 차지하고 있음을 확인할 수가 있다. 이들 결과에 의하면 총 CWIP 중 내약 50%이상이 리드타임과 관련되어 발생한 비용임을 알 수가 있다. 특히 자본비용이 33.6%로 매우 높아 원자력발전소 건설에 있어서 자본비용을 절감하는 노력이 절실히 요구되고 있다.

<표 1>의 내용을 좀 더 구체적으로 이해하기 위해 시간의

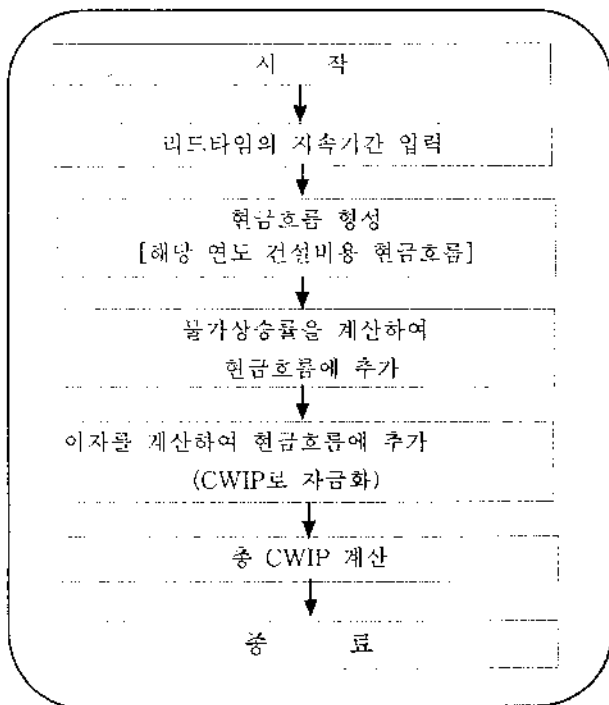


그림 2. 현금흐름 계산절차.

표 1. 상업운전 시작전의 현금흐름

리드타임: 10년, 물가상승률: 5%, 자기자본율: 12%, 부채이자율: 8%, 단위: 천원/kWe

연도	-10	-9	-8	-7	-6	-5
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
a. 해당 연도 건설비용	0	12.43	99.43	198.85	298.28	385.28
b. 인플레이션비용	0	0.62	10.19	31.35	64.28	106.45
c. 실질비용	0	13.05	109.62	230.20	362.56	491.72
d. AFUDC(부채)	0	0	0.52	4.96	14.66	30.63
e. AFUDC(자기자본)	0	0	0.78	7.44	21.99	45.95
f. 누적 CWIP	0	13.05	123.97	366.57	765.79	1334.09
AFUDC(총)	0	0	1.30	12.40	36.66	76.58

연도	-4	-3	-2	-1	0	총합계
	2012	2013	2014	2015	2016	
a. 해당 연도 건설비용	397.71	381.14	265.14	132.57	16.79	2187.61
b. 인플레이션비용	135.26	155.16	126.59	73.09	10.56	713.54
c. 실질비용	532.96	536.30	391.73	205.66	27.35	2901.15
d. AFUDC(부채)	53.36	80.02	109.47	136.09	157.92	587.64
e. AFUDC(자기자본)	80.05	120.03	164.21	204.13	236.89	881.46
f. 누적 CWIP	2000.46	2736.80	3402.21	3948.09	4370.25	4370.25
AFUDC(총)	133.41	200.05	273.68	340.22	394.81	1469.10

흐름에 따른 현금흐름의 발생을 <그림 3>으로 표시하였다. 누적된 총 CWIP와 실질비용(해당 연도 건설비용 + 물가상승비용)의 차이를 자본비용이라 할 수 있는데, 그림에서 보듯이 시간이 경과함에 따라 이 차이가 점진적으로 커지다가 일정한 시점 후부터는 급격한 변화가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 이유는 자본비용이 복리로 계산되기 때문이다.

시간의 경과에 따른 비용 상호간의 관계를 알아보기 위해 리드타임을 4년에서 16년으로 하고 각 비용들을 계산한 결과를 <그림 4>에 도식화하였다. 실질비용은 리드타임이 증가함에 따라 점점 적게 발생하고 있다. 그 이유는 리드타임이 짧을 수록 기준 년도에, 즉 상업운전 개시 년도, 가까운 년도에서 비용이 더 많이 발생하게 되어 리드타임이 긴 경우보다 상대적으로 물가상승비용이 더 많이 발생하고 있기 때문이다. 이와는 반대로 리드타임이 증가할수록 건설기간 중 발생하는 자본비용은 증가하고 있다.

마지막으로 리드타임이 증가할수록 누적된 총 CWIP도 증가하고 있는데 이는 물가상승률보다 자본비용과 관련된 이자율이 더 높기 때문이다. 좀 더 구체적으로 이를 분석하면 리드타임이 4년에서 16년으로 증가하면 실질비용의 누계는 3,326.84천원/kWe에서 2,537.24천원/kWe로 감소한 반면 자본비용의 증가로 총 건설비용은 3,810.20천원/kWe에서 5,027.36천원/kWe으로 증가하고 있다. 즉 리드타임이 증가함에 따라 실질 비용은 연평균 66천원/kWe씩 감소하고, 총 건설비용은 년 101천원/kWe씩 증가하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 리드타임 변동에 따른 투자개선안의 경제성 평가

이 절에서는 발전소 건설비용의 총 등가를 정의한 후 리드타임 절감을 위한 투자안에 대한 경제적 상쇄효과 분석방법을 논하고자 한다.

#### 3.1 건설비용의 총 등가

먼저 건설비용의 실질적 총 등가가 무엇인지를 명확하게 정의할 필요가 있다. CWIP는 해당 연도 건설비용과 물가상승비용, 그리고 자본비용(AFUDC)의 합으로 구성되어 있음을 앞에서 논하였다. 여기에서 AFUDC는 발전소 건설 기간 중에 발생한 자본비용을 일컫고 있다. 그러므로 CWIP는 건설이 끝나 는 시점에서 AFUDC를에 의하여 계산된 건설비용의 미래가치와 동일한 개념이라고 해석할 수가 있다. 그러므로 t년도 말에 누적 CWIP를 수리적으로 표현하면 아래와 같다.

$$CWIP(t) = \sum_{j=0}^t E(j) * (1+i)^{t-j}$$

단, E(j) : j년도에서의 건설비용

i : AFUDC률

즉, CWIP와 AFUDC는 회계학적인 화폐의 시간 가치에 대한 측정값이라 할 수 있다. 그러나 투자분석의 목적을 위해서는 최소요구수익률(MARR)을 화폐의 시간 가치 측정값으로 사용해야

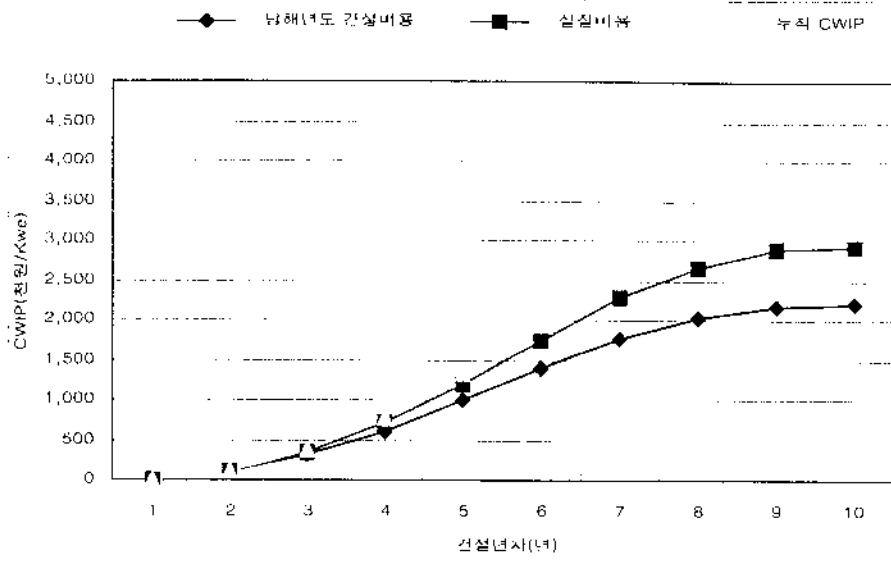


그림 3. 기준발전소에 대한 현금흐름.

한다. 최소요구수익률은 투자자본에 대한 위험요소를 포함하고 있기 때문에 일반적으로 자본비용률보다 높게 책정된다. 또한 공공사업의 특수한 성격상 공공사업의 이익은 정부의 많은 규제에 의하여 재약을 받기 때문에 다른 사업부문과는 달리 이익의 폭이 상대적으로 낮고 동시에 사업의 위험성도 낮은 편이다. 그러므로 공공사업 부문의 최소요구수익률은 일반적으로 자본회수율과 거의 동일한 수준에서 결정되고 있다.

발전소 건설 투자분석을 위해서는 최소요구수익률을 이용하여 계산된 건설비용이 CWIP보다 실질적인 총 등가가치에

더욱 근접하므로 발전소 건설비용을 발전소 상업운전 개시일을 기점으로 재평가할 필요가 있다. 건설비용 재평가 시에는 CWIP구성 요소들 중에서 AFUDC부분을 제외하고 해당 연도 건설비용과 물가상승비용 부분만을 고려해야 하며 동시에 발전소의 상업운전기간 중 발생하는 건설비용의 절세효과까지 고려해야 한다. 즉, 발전소 건설의 총 등가 요소는 해당 연도 건설비용과 물가상승비용, 그리고 절세효과 요소들로 구성되게 된다.

절세 효과는 발전소 건설기간 중에 발생하는 것이 아니고

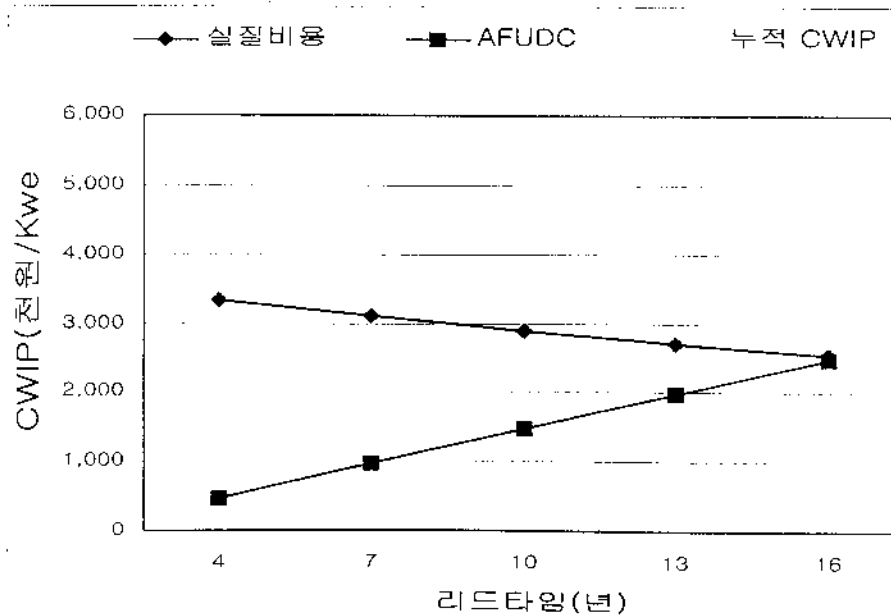


그림 4. 리드타임에 따른 CWIP변화.

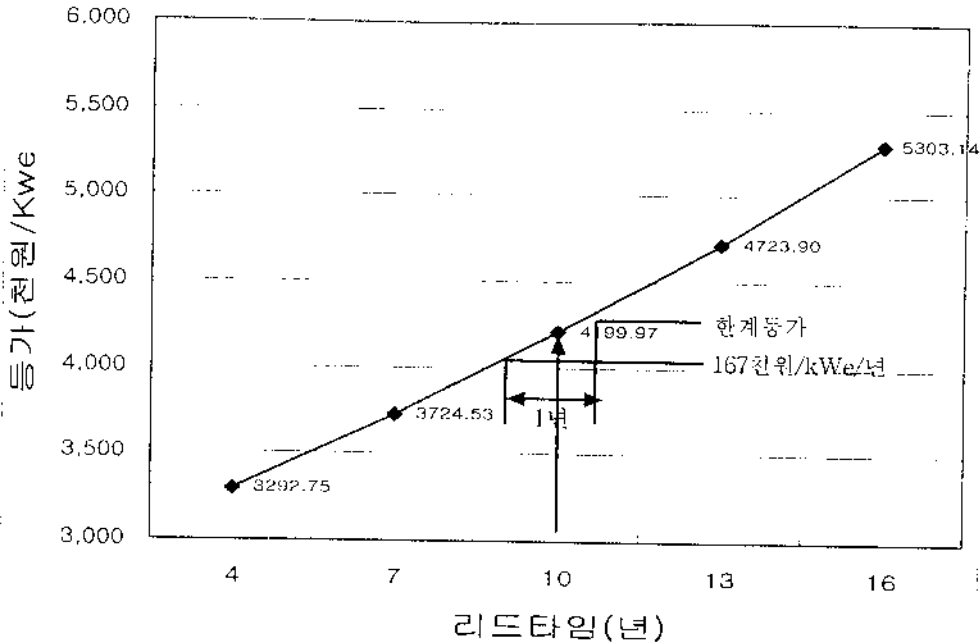


그림 5. 상쇄효과 분석의 예.

발전소가 상업운전을 개시한 후부터 발생하게 된다. 그러나 발전소 건설비용 중에서 설비비용(감가상각비)은 절세효과에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 이 전세효과를 건설비용의 총 증가를 구성하는 일부분으로 고려해야 한다. 그러므로 발전소 상업운전 개시일을 기점으로 발전소 건설비용의 총 증가를 수리적으로 표현하면 아래와 같다.

$$EW = \sum_{j=0}^{LD} E(j) * (1 + MARR)^{LD-j} - \sum_{k=1}^{RP} TRD(k) * (1 + MARR)^{-k}$$

단, E(j): j년도에서의 건설비용

MARR: 최소요구수익률

LD: 리드타임

TRD(k): k년도에 감가상각의 세금절감 효과

RP: 감가상각 내용년수

이와 같은 내용을 제2절의 기준발전소 사례연구에 적용하여 계산된 건설비용의 총 증가와 세금 절감액을 요약하면 <표 2>와 같다. 본 계산을 위해 최소요구수익률을 12%로 하였고 한계세율을 40%로 가정하였다.

제2절의 사례연구에서 보듯이 해당 연도 건설비용과 물가 상승비용을 합한 총 실질 건설비용은 2,901천원/kWe였으나 총 증가개념으로 전환된 건설비 비용은 4,740천원/kWe이다. 총 증가 4,740천원/kWe과 AFUDC을 포함하고 있는 CWIP의 값

표 2. 기준발전소에 대한 총 증가

구 분	C/O전의 현금흐름	C/O이후 세금절감	총 계
증가:			
실질현금 C/O시점에서 의 가치	2901	1160	4199
실질가:			
비용/감가상각 AFUDC	2901	1160	1740
부채	587	235	352
자기자본	881	0	881
총 CWIP	4370	1395	2974

※ C/O: commercial operation

4,370천원/kWe을 비교하면 총 증가가 370천원/kWe (8.5%)이나 더 증가하였음을 알 수가 있다. 발전소 상업운전 개시일을 기점으로 상업운전 이전의 현금흐름에서 상업운전 이후의 절세효과를 뺀 증가와 실질가의 총액을 비교하면 그 차이는 더욱 커지고 있다. 이와 같은 현상을 발생시키는 주된 원인은 세금 절감액에 대한 화폐의 시간가치 적용 여부와 밀접한 관련이 있음을 알 수가 있다.

리드타임을 4년부터 16년까지 변화시켜 위와 같이 계산된 발전소 상업운전 전의 현금흐름을 <그림 5>로 나타내 보았다. 리드타임이 증가함에 따라 총 증가와 건설비용(실질비용

+ 자본비용)의 가치는 증가하는 반면 세금 절세효과는 감소하고 있다. 이러한 현상은 <그림 4>가 보여주는 것과 같이 리드타임이 증가함에 따라 실질비용(해당 연도 건설비용 + 물가상승비용)이 감소하기 때문이다. 또한 리드타임이 증가함에 따라 총 등가가 상당히 증가하고 있는데 이는 건설비용과 세금 절감 효과의 영향 때문인 것으로 분석된다.

<그림 5>에서 총 등가는 직선형태를 가지고 있고 그 기울기는 대략 167천원/kWe/년 정도가 된다. 이러한 직선을 이용하면 리드타임의 변화에 따른 발전소 건설비용의 한계 등가를 쉽게 구할 수가 있다.

3.2 상쇄효과분석 사례

리드타임 감소와 관련된 투자대안의 평가 방법을 아래와 같은 가상적인 예제를 통하여 알아보기로 하자. 발전소 건설기간 5년차에 입계공정활동에 대해서 하루 동안만 1교대에서 2교대로 생산근로자의 교대형태를 바꾸면 5일간의 리드타임이 감소된다고 하자. 이러한 활동을 위해 필요한 총 소요인력은 1,000명/일으로 한다. 2006년 노동단가는 220천원/일이고, 이러

한 교대형태로 인하여 노동단가는 50%정도 증가할 것이라고 예측된다. 건설시작 연도는 2006년, 현재 리드타임은 10년, 물가상승률은 년 5%, 그리고 최소요구수익률은 년 12%으로 가정한다. 이와 같은 가정과 함께 5일 동안의 리드타임을 줄이기 위해 요구되는 추가 총노동비용의 증가를 구하면 아래와 같다.

$$220\text{천원/일} \times 1,000\text{명/일} \times (1.5-1) = 110,000\text{천원}$$

$$110,000\text{천원} \times (1+0.176)^5 = 247,417\text{천원}$$

또한 5일 동안의 리드타임 감소로 인하여 발생하는 비용 절감의 증가를 구하면

$$167\text{천원/kWe/년} \times (5\text{원} \div 365\text{일/년}) \times (1000\text{MkWe/호기}) = 2,287,671\text{천원}$$

단순히 5일 동안의 리드타임 감소를 위해 247,417천원이라는 막대한 투자를 추가적으로 부담하는 것이 어렵기는 하지만, 5일 동안의 리드타임 감소로 인한 비용 절감액이 추가적인 투자액보다 훨씬 크므로 이는 매우 효과적인 투자라고 할 수 있다.

상기 예에서 설명한 것과 같이 일단 투자비 대 리드타임 관계식을 유도해 내면 투자대안들과 리드타임 절감 사이의 상쇄효과 분석을 용이하고도 신속하게 수행할 수가 있다. 이러한 분석방법은 특히 여러 투자대안들을 평가하여 가장 적절한 투

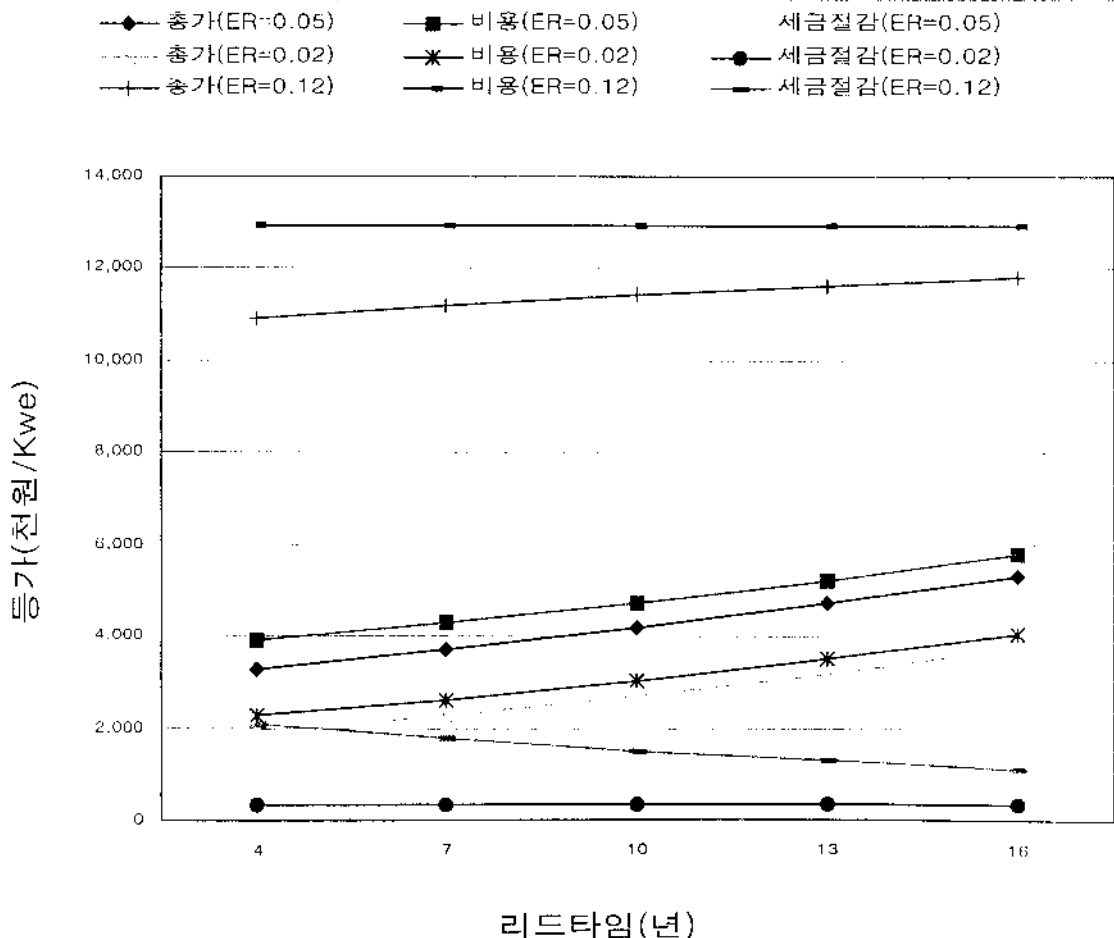


그림 6. 리드타임 변화에 의한 등가의 민감도

자내안을 선택할 경우에 매우 효율적일 것이다.

### 3.3 민감도 분석

일반적으로 건설비용에 대한 리드타임의 영향은 물가상승률과 최소요구수익률에 기인하고 있기 때문에 이 두 요소의 변화에 대한 건설비용의 총 등가의 민감도를 분석하였다. 본 민감도분석을 위해 다음과 같은 조건들을 가정하였다.

- (1) 기준년도 : 2007 ( 5%/년의 고정된 물가상승률을 2007년도의 해당 연도 건설비용을 산출하기 위해 사용하였다)
- (2) 물가상승률 : 2%/년, 5%/년, 12%/년(가변)
- (3) 최소요구수익률 : 12%/년
- (4) 다른 조건 : 원래의 값과 동일

이 민감도 분석의 결과는 <그림 6>에 제시되었다. 물가상승률과 최소요구수익률과의 차이가 감소함에 따라 등가에 미치는 리드타임 영향이 점점 감소하여 두 값이 일치하는 경우에는 건설비용의 등가는 리드타임이 변함에 따라 거의 변하지 않고 있다. 그러나 세금이 줄어드는 영향 때문에 총 등가는 리드타임이 증가함에 따라 여전히 증가하고 있다. 물가상승률이 증가함에 따라 세금감소의 민감도도 증가함을 알 수 있다.

일반적으로 물가상승률과 최소요구수익률 사이에는 양(+)의 상관관계가 존재하고, 이들 상호관계는 공공사업 분야에서는 비교적 안정상태라 할 수가 있다. 그러나 리드타임 변화에 의한 비용 등가는 물가상승률과 최소요구수익률과의 차이에 매우 민감하게 작용하고 있다. 따라서 리드타임 변화의 등가를 계산함에 있어서 미래의 물가상승률과 최소요구수익률을 적절하게 결정하는 것은 매우 중요한 작업이라 할 수 있다.

## 4. 결론

이 논문에서는 영광 4호기의 사례연구를 통하여 원자력발전소의 경제성과 리드타임의 상관관계를 분석하였다. 즉, 원자력발전소 건설비용의 추이는 이전의 연구를 기초로 현금흐름 모델을 사용하여 변화된 리드타임에 따라 분석하였다. 이러한 분석결과는 리드타임이 4년에서 16년까지 증가함에 따라 실질비용의 누계는 3,326천원/kWe에서 2,537천원/kWe(리드타임 1년 증가 당 약 -66천원/kWe)로 감소하지만 비용에 대한 자본비용의 증가로 총 건설비용의 합은 3,810천원/kWe에서 5,027천원/kWe(리드타임 1년 증가 당 약 +101천원/kWe)로 증가하였다. 이렇게 추정된 자료를 가지고 건설비용의 등가를 산출하는 방법을 제시하였고, 리드타임 감소에 대한 부가적인 투자평가를 위한 상쇄효과분석의 한 사례를 제시하였다.

건설비용 등가에 대한 민감도 분석은 투자자치가 어떤 재정적 요소, 즉 물가상승률, 최소요구수익률 및 한계세율 등에 대해서 하나의 모수가 변할 때, 다른 모수는 상수로 유지된다고 가정하여 추산하였다.

이 연구의 초점인 리드타임에 대한 민감도는 리드타임 1년 변화당 167천원/kWe로 발전용량(100만kWe)을 고려할 때 리드타임을 1년 단축시키면 건설비용은 약 1,675억원이 전감되어 건설비용의 등가는 리드타임에 민감한 반응을 보이고 있다. 따라서 원자력발전소와 같은 대형사업에 있어서 리드타임을 줄이기 위한 노력이 절실하고, 등가에 대한 민감도 수준이 높은 물가상승률과 최소요구수익률에 주의해서 평가가 이루어질 때, 본 연구의 결과는 리드타임과 관련이 있는 일정계획이나 공장설계에도 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

이 논문에서 기술되었듯이 원자력발전소 건설 기간이 짧게는 4년에서 길게는 16년씩 소요되어 막대한 초기투자비용과 더불어 원자력발전소 사업의 경제적 위험이 실질적으로 증가하게 된다. 그러므로 적절한 투자시점의 결정과 신속성 있는 건설리드타임의 조정을 불확실성의 상황하에서 분석할 수 있는 기법들이 요구되고 있다.

## 부 록

### A. 건설기간 동안의 현금흐름 모델

#### 1) 정규화된 해당 연도 건설비용 현금흐름

$$NRM(X) =$$

$$(1) 0: \quad X < 0.05$$

$$(2) 2.27525X^2 - 0.22725X + 0.00568125: \quad 0.05 \leq X < 0.45$$

$$(3) 1.818X - 0.4545: \quad 0.45 \leq X < 0.65$$

$$(4) -3.03X^2 - 5.757X + 1.734675: \quad 0.65 \leq X < 0.95$$

$$(5) 1: \quad 0.95 \leq X$$

$NRM(X)$ : X에서 정규화된 누적 해당 연도 건설비용 현금흐름

X: #LD, t: 발전소건설 경과시간, LD: 리드타임

#### 2) 해당 연도 건설비용

$$ONCF(t) = TOVNC(t=0) \times \{NRM(t/LD) - NRM\{(t-1)/LD\}\}$$

$$TOVNC(t=0) = TOVNC(1996) \times (1+ER)^T$$

$ONCF(t)$ : t년도의 건설비용

$TOVNC(t)$ : t년도의 화폐가치로 환산된 총 건설비용

ER: 물가상승률

T: 물가상승률이 적용되는 기간

#### 3) 물가상승률

$$ESC(t) = ONCF(t) \times \{(1+ER)^t - 1\}$$

$ESC(t)$ : 물가상승률이 적용된 t년도의 건설비용

#### 4) CWIP와 AFUDC

$$CWIP(t) = CWIP(t-1) + ONCF(t) + ESC(t) + AFUDC(t)$$

$$AFUDC(t) = CWIP(t-1) \times IR$$

$$IR = ID \times DR + IE \times (1-DR)$$

$CWIP(t)$ : t년도까지의 누적 CWIP

$AFUDC(t)$ : t년도의 AFUDC

IR: 자본비용률, ID: 부채이자율, IE: 자기자본회수율,

DR: 부채비율



## B. 분야별 건설비 실적내역

단위: 내자(백만 원), 외자(천 달러)

구 분		금 액			비 고		
		내 자	외 자	소 계			
건	설계기술 용역비	플랜트종합설계	190,640	107,587	269,723		
		기타용역	5,726	1,562	6,931		
		소 계	196,366	109,149	276,654		
	기자재비	원자로설비	369,304	221,120	536,570		
		터빈발전기	191,031	18,736	205,533		
		보조기기	525,967	191,990	672,528		
		소 계	1,086,302	431,846	1,414,631		
	설	시공비	주설비공사	590,512	-	590,512	
			비파괴검사	3,051	-	3,051	
			시운전지원	28,363	-	28,363	
시운전정비			16,648	-	16,648		
부대공사			34,899	-	34,899		
소 계			673,473	-	673,473		
비	사업주비	일반관리비	91,564	-	91,564		
		시운전비	21,459	-	21,459		
		해외사무소	11,968	-	11,968		
		외자조작비	39,178	-	39,178		
		기타간접비	8,554	-	8,554		
		건설이자	148,295	-	148,295		
		소 계	321,018	-	321,018		
건설비 계		2,277,159	540,995	2,685,776			
연료비	성형가공	63,572	28,233	84,980			
	정광, 변환, 농축	-	79,314	79,314			
	소 계	63,572	107,547	148,178			
소 계		2,340,731	648,542	2,833,954			

**참고 문헌**

통상산업부/한국전력공사(1997), 원자력발전백서, 서울: 대성인쇄.  
 한국동력자원연구소(1982), 한국전력주식회사 경영개선방안연구.  
 한국전력공사(1991), 21세기 전력사업 비전 우리의 도전, 32-34.  
 한국전력공사(1996a), 영광원자력3, 4호기 건설동계자료집.  
 한국전력공사(1996b), 투자사업을 위한 경제성평가(방법과 절차서).  
 한국전력공사(1997), 원자력업무현황. 예문사.

한국전력공사(1997), 경영통계, 산보인쇄.  
 한국전력공사(1997), 1998년도 예산편성지침.  
 한국전력주식회사(1980), 원자력발전소 원거의 기술경제성 검토.  
 U. S. Atomic Energy Commission (1974), *Power Plant Capital Cost, Current Trends and Sensitivity to Economic Parameters*, WASH-1345.  
 U. S. Department of Energy (1979), *Power Plant Capital Investment Cost Estimates: Current Trends And Sensitivity to Economic Parameters*, DOE/ NE-0009.  
 U. S. Department of the Treasury (1991), *Internal Revenue Service, Depreciation, For use in Preparing 1991 returns*, Publication 534.



**김규태**  
 성균관대학교 산업공학과 학사  
 Fairleigh Dickinson University 산업공학과 석사  
 Auburn University 산업공학과 박사  
 현재: 조선대학교 산업공학과 조교수  
 관심 분야: 경제성 분석, 활동기준원가시스템  
 활용, 옵션평가법의 실무투자분석 응용



**오치재**  
 서울대학교 재료공학과 학사  
 Texas A&M University 산업공학과 석사  
 Auburn University 산업공학과 박사  
 현재: 영산대학교 경영정보학과 교수  
 관심 분야: 전자상거래, CALS, 동시공학, 경제  
 성 분석



**이병국**  
 울산공업전문대학 원자력공학과 학사  
 한국방송통신대학교 영어영문학과 학사  
 조선대학교 산업대학원 석사  
 현재: 영광원자력 제2방사선관리부 보건물리  
 과 근무  
 관심 분야: 방사선 폐기물처리 경제성 분석,  
 방사선 안전관리