

KALIMER의 자본비 분석

문 기 환*, 이 만 기

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

우리나라는 미래의 노형전략 차원에서 한국형액체금속로인 KALIMER의 개발을 추진 중에 있어 이에 대한 자본비를 추정하였다. 자본비의 비용구성 항목은 EEDB 분류기준을 참고하였으며, 특히 원자로 및 핵증기 공급계통, T/G 건물, 원자로 설비, 열수송장치 등과 같은 주요 비용에 대해서는 KALIMER의 설계치를 반영하여 평가하였다. KALIMER는 Block 당 333MWe로 구성되며, 3개의 Blocks으로 구성되는 1000MWe를 전용량 규모로 고려하고 있다. 그리하여 여기에서는 FC1B(First Commercial Plant with 1 Block), FC3B(First Commercial Plant with 3 Blocks), NOAK1B(Nth-Of-A-Kind Plant with 1 Block), NOAK3B (Nth-Of-A-Kind Plant with 3 Blocks) 등과 같은 4개의 대안을 설정하였다. 분석결과에 의하면 NOAK3B 대안의 평균화자본비는 30.46 mills/kWh로 학습효과와 규모의 경제효과 등에 의해 FC1B, FC3B, NOAK1B 대안에 비해 각각 42%, 11%, 23% 정도 더 경제적인 것으로 분석되었다. 또한 이들 대안의 평균화자본비는 기존의 1144MWe, 587MWe급의 PWR에 비해서 11%, 39% 정도 저렴하여 경쟁력을 가지고 있는 것으로 평가되었다.

1. 서론

1995년말 현재 우리나라의 에너지 해외의존도는 96.8%로 거의 대부분의 에너지를 수입해 오고 있는 실정이다. 원자력에너지는 그동안 이와 같은 국내의 에너지 문제를 해결하기 위한 주요 에너지원으로서 충분한 역할을 수행해 왔다. 액체금속로는 특히 경·중수로의 사용후핵연료를 자원으로 재활용할 수 있기 때문에 미래의 에너지 공급원으로 그 역할이 기대되고 있다.

한국원자력연구소는 한국형액체금속로인 KALIMER(Korea Advanced Liquid Metal Reactor)의 개발을 책임지고 있으며, 이를 위해 고려하고 있는 참고 노형은 일본의 MDP(Modular Double Pool), 미국의 ALMR(Advanced Liquid Metal Reactor) 그리고 유럽의 EFR(European Fast Reactor) 등이 있다. 한국원자력연구소는 그동안 특히 미국 GE(General Electric)사와의 협력을 통해 그들의 경험을 KALIMER의 설계개선에 활용하는 등 KALIMER의 모습을 구체화시키고 있다. 이러한 상황에서는 KALIMER의 설계개선이 반영된 사전적인 비용평가와 이를 위한 컴퓨터 모델의 개발은 필수적이다. 그리하여 본 연구에서는 KALIMER의 상용화를 전제로 4개의 대안을 설정하여 이에 대한 경제성을 비교·분석하였다. 아울러 경수로와의 수평적인 관점에서 자본비 측면에서의 비교·분석도 수행하였다.

2. 분석 방법

본 연구의 자본비 평가를 위해서 평준화비용법(Levelized Busbar Cost Method), 학습효과(Learning Effects) 및 규모경제효과(Scaling Factors) 등이 이용되었다. 평준화비용법은 발전소의 건설에서 폐기까지의 전 과정을 통해 발생한 비용과 발전소에서 생산한 전기를 판매하면서 얻어지는 수입이 같게되는 판매가격을 도출하는 방법으로서 전 세계적으로 널리 이용되고 있다. 학습효과는 신기술이 상용화된 후 반복적인 이용과정에서 기술의 개선으로 인해 비용 절감이 이루어지는 정도를 나타내는 인자를 의미한다. 규모경제효과는 기존의 상용 발전소와는 다른 용량의 미래 발전소에 대한 비용을 평가할 때 이용되는 인자이다. 여기에서 학습효과와 규모경제효과는 GE의 경험 자료를 참고하였다. 표-1은 직접비 산정을 위해 이용한 학습효과와 규모경제효과를 나타낸다.

표-1 직접비의 학습효과와 규모경제효과

비용 계정	비용 설명	학습효과	규모경제효과
21	Structure and Improvements	0.980	0.400
22	Reactor Plant Equipment	0.940	0.850
23	Turbine Plant Equipment	0.980	0.850
24	Electric Plant Equipment	0.980	0.850
25	Miscellaneous Plant Equipment	0.980	0.500
26	Main Condenser Heat Rejection System.	0.970	0.800

3. 대안 설정

KALIMER의 비용 평가를 위한 대안으로는 FC1B, FC3B, NOAK1B, NOAK3B 등 4개로 구성되어 있다. 이는 초기의 상용로 비용 평가(FC1B, FC3B 대안)와 동일 노형의 반복 건설에 따른 비용(NOAK1B, NOAK3B 대안)을 평가하기 위함이다. 또한 EEDB 자료¹에 수록된 1144MWe와 587MWe의 PWR 대안이 이들 4개 KALIMER 대안과의 비교를 위해 고려되었다.

4. 주요 가정 및 입력자료

자본비는 직접비, 간접비, 건설이자, 예비비 등으로 구성되는데 여기에서는 이와 같은 자본비를 평가하기 위해 다음과 같은 가정이 이용되었다.

- 비용평가는 설계사양과 설계를 반영하며, NI(Nuclear Island)와 BOP(Balance of Plant)로 나누어 평가한다.
- First Commercial Plant는 학습효과가 없다.
- Nth-Of-A-Kind Plant는 First Commercial Plant와 설계가 동일하고 코드, 규격과 규제 요건 등이 동일하다.
- First Commercial Plant와 Nth-Of-A-Kind Plant는 동일한 원자로 제조업자와 설계업자가 공급을 하며, Nth-Of-A-Kind Plant는 누적 설비용량이 4,500MWe를 초과할 때를 의미한다.

한편 표-2는 비용평가를 위한 각 대안별 주요 입력자료를 나타낸다.

표-2 주요 입력자료

구분	단위	KALIMER				PWR	
		FC1B	FC3B	NOAK1B	NOAK3B	1144MWe	587MWe
발전소용량	MWe	333	1,000	333	1,000	1,144	587
수명기간	년	30	30	30	30	30	30
건설기간	개월	42	54	42	54	66	64
이용율	%	80	80	80	80	80	80
할인율	%	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
에스컬레이션율	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
비용기준일	년.월	1996.1	1996.1	1996.1	1996.1	1996.1	1996.1

5. 자본비 평가 모델

여기에서 KALIMER의 자본비 분석은 그림-1과 같은 과정을 통해 이루어지며, 이와 같은 과정은 MS Excel software를 이용하여 개발되었다. 하지만 PWR의 자본비는 이와 같은 과정을 거치지 않고 기존의 자료를 이용하여 기준시점으로 비용의 재평가만을 수행하였다.

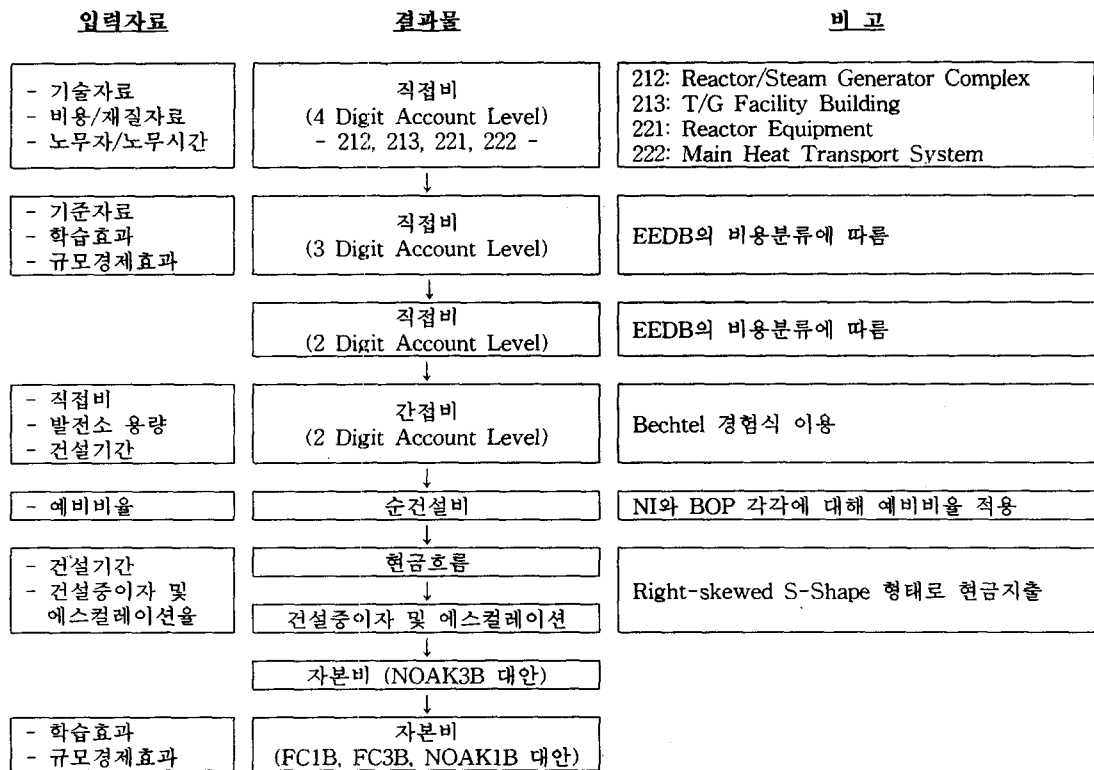


그림-1 자본비 분석 모형 구조

6. 분석 결과

표-4와 표-5는 KALIMER 대안과 PWR 대안의 자본비와 평균화자본비 분석결과를 나타낸다. 이 표에서도 알 수 있는 바와 같이 NOAK3B 대안은 FC1B, FC3B, NOAK1B 대안 보다도 42%, 11%, 23% 정도 자본비 측면에서 우수한 것으로 평가되었다. 이는 주로 NOAK3B 대안의 학습효과와 규모경제에 따른 물량 감소 등의 효과에 기인한다.

한편 KALIMER 대안과 PWR 대안의 분석결과에 의하면 예비비는 KALIMER 대안이 PWR 대안 보다도 높은 것으로 평가되었는데 이는 KALIMER 대안의 기술과 비용에 대한 불확실성이 PWR 대안 보다 더 크기 때문이다. 그러나 KALIMER 대안의 자본비는 모듈화에 따른 건설기간의 단축과 고급인력의 이용에 따른 투입인력의 감소, 설계단순화 등으로 인해 특히 간접비와 건설

이자 등이 감소될 수 있을 것으로 평가되었다. 그리하여 NOAK3B 대안의 자본비와 평균화자본비가 PWR 1144MWe와 587MWe 대안에 비해 각각 10%, 39% 정도 저렴한 것으로 나타났다.

표-4 KALIMER와 PWR 대안의 자본비

(단위 : 백만\$)

EEDB 계정	계정 설명	FC1B	FC3B	NOAK 1B	NOAK 3B	PWR 1144	PWR 587
20	Land and Land Rights	10	10	10	10	13.8	13.8
21	Structures and Improvements	162.4	357.5	151.3	334.8	277.6	187.5
22	Reactor Plant Equipment	277.3	649.1	216.5	551.3	419.0	293.5
23	Turbine Plant Equipment	60.3	170.8	55.6	160.8	309.4	177.4
24	Electric Plant Equipment	24.1	65.7	22.2	61.8	112.5	81.2
25	Miscellaneous Plant Equipment	11.1	19.8	10.2	18.6	64.6	43.4
26	Main Condenser Heat Rejection System	12.4	31.2	11.0	288.8	67.7	33.4
직접비 계 (A)		557.6	1,304.0	476.8	1,166.1	1,250.8	816.4
91	Construction Services	52.1	108.2	48.0	111.6	313.8	198.2
92	Home Office Engineering & Services	91.0	183.4	80.8	160.2	294.2	197.3
93	Field Office Supervisor & Service	23.8	54.7	21.8	51.0	154.0	97.0
94	Owner's Expenses	108.7	247.5	94.1	223.3	241.5	157.1
간접비 계 (B)		275.5	593.8	244.6	546.1	1,003.5	649.5
기본공사비 계 (A+B)		833.1	1,897.9	721.4	1,712.2	2,254.3	1,465.9
예비비 (C)		176.2	400.3	152.2	359.5	270.5	175.9
순건설비 (A+B+C)		1,009.3	2,298.1	873.7	2,071.7	2,524.8	1,641.8
건설이자 (D)		123.9	367.9	107.2	331.6	502.2	315.8
총 건설비(A+B+C+D)		1,132.2	2,666.0	980.9	2,403.3	3,027.1	1,958
건설단가 (\$/kWe)		3,403	2,666	2,946	2,403	2,646	3,335
상대비용지수		1.42	1.11	1.23	1.00	1.10	1.39

표-5 KALIMER와 PWR 대안의 평균화자본비

대안		단위	직접비	간접비	예비비	건설이자	자본비
KALIMER	FC1B	mills/kWh	21.23	10.49	6.71	4.72	43.13
		상대비율(%)	(144)	(151)	(147)	(112)	(142)
	FC3B	mills/kWh	16.53	7.53	5.07	4.66	33.79
		상대비율(%)	(112)	(109)	(111)	(111)	(111)
	NOAK1B	mills/kWh	18.15	9.31	5.79	4.08	37.34
		상대비율(%)	(123)	(135)	(127)	(97)	(123)
	NOAK3B	mills/kWh	14.78	6.92	4.56	4.20	30.46
		상대비율(%)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)
PWR	1144MWe	mills/kWh	13.86	11.12	3.00	5.56	33.54
		상대비율(%)	(94)	(161)	(66)	(132)	(110)
	587MWe	mills/kWh	17.63	14.03	3.80	6.82	42.27
		상대비율(%)	(119)	(203)	(83)	(162)	(139)

주 1) PWR의 두가지 대안은 EEDB의 Best Experience 자료 (자료원: Phase IX Update (1987) Report for the Energy Economic Data Base Program)를 이용하였음.

2) 상대비율은 NOAK3B 대안의 비용을 100으로 가정했을 경우의 상대값을 의미함.

7. 결론

KALIMER의 경제성평가 모델을 Excel software를 이용하여 개발하였다. 또한 KALIMER 대안과 PWR 대안의 자본비와 평준화자본비를 비교·분석하였다.

결과에 따르면 NOAK3B 대안의 자본비와 평준화자본비는 FC3B 대안에 비해 11% 정도 저렴한 것으로 나타났는데 이는 동일 발전소의 반복건설에 따른 학습효과와 기술진보에 따른 물량감소 효과 등에 기인한다.

또한 NOAK3B 대안의 자본비는 기존의 PWR 대안에 비해서도 경쟁력이 있는 것으로 평가되었다. NOAK3B 대안의 자본비와 평준화자본비는 비슷한 용량의 PWR1144MWe 대안에 비해 17% 정도 저렴한 것으로 분석되었는데 이는 모듈화에 따른 건설기간의 단축과 인력과 장비의 효율화 및 설계단순화 등에 의한 비용절감이 예상되기 때문이다.

이상의 결과들을 통해서 KALIMER는 1000MWe급으로 개발되는 것이 타당하며, 지속적인 건설을 통해서 KALIMER의 경제성을 제고시키면 한국의 미래 전력공급원으로서 그 역할을 담당할 수 있을 것으로 기대된다.

단지, 여기에서 도출된 결과들은 주요 비용을 제외한 많은 부분에서 GE의 ALMR 프로젝트에 참여한 각 기관들의 기술수준과 축적된 경험자료들을 이용하였다. 그렇지만 한국은 아직 기술개발의 초기단계에 머물러 있는 실정이기 때문에 본 연구의 결과와 같은 해를 도출하고 성공적인 KALIMER 프로그램을 수행하기 위해서는 이들 기술 선진국과의 지속적인 협력과 정부의 적극적인 관심과 지원을 통해 체계적인 기술능력의 함양과 인력계획이 요구된다.

또한 앞으로는 KALIMER의 자본비 뿐만 아니라 운전유지비, 연료비 폐지비 등과 같은 제반 비용을 고려한 평가가 이루어질 수 있도록 모델을 확장하고 이들 비용에 대한 신뢰성 있는 자료의 확보를 통한 대안의 비교가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. "Phase IX Update(1987) Report for the Energy Economic Data Base Program", DOE/NE-0091, U.S., D.O.E., 1988. 7
2. "TAGTM Technical Assessment Guide-Volume 1 : Electricity Supply-1986", P-4463-SR, Volume 1, EPRI, 1986
3. "Technical Reference Book for the Energy Economic Data Base Program", DOE/NE-0092, U.S., D.O.E., 1988.7
4. "Cost Estimate Guidelines for Advanced Nuclear Power Technologies", ORNL/TM-100715, J. G. Delene & C. R. Hudson II, ORNL, 1993. 5.