

'99 춘계학술발표회 논문집

한국원자력학회

## 발전소 유형에 따른 액금로의 자본비 평가

- Modular Type과 Monolithic Type의 비교 -

Capital Cost Evaluation of Liquid Metal Reactor by Plant Type

- Comparison of Modular Type with Monolithic Type -

문기환, 석수동, 송기동, 김인철

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

### 요 약

KALIMER를 하나의 모듈(150MWe)로 하여 대용량(1200MWe)을 구성할 것인지, 아니면 기존의 개발 모형을 토대로 대용량(1200MWe)의 단위 발전소로 확장 개발하는 것이 타당한 지를 비용 측면에서 분석하였다.

분석 결과, 최초의 상용발전소(First-Of-A-Kind Plant, FOAK Plant)와 기술이 성숙된 발전소(Nth-Of-A-Kind Plant, NOAK Plant) 공히 Monolithic Plant가 Modular Plant 보다 경제성이 있는 것으로 나타났다. 단지 NOAK Plant의 경우는 상당히 근접한 결과를 보이고 있기 때문에 지속적으로 발전소의 건설이 이루어진다는 전제하에서 기술의 진보와 지속적인 경제성 절감 노력을 통해 Modular Plant도 Monolithic Plant에 대한 경제성에 대한 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

## Abstracts

A preliminary economic comparison study was performed for KALIMER(Korea Advanced LIquid MEtal Reactor)between a modular plant type with 8 150MWe modules and a 1200MWe monolithic plant type. In both cases of FOAK (First-Of-A-Kind) Plant and NOAK (Nth-Of-A-Kind) Plant, the result says that the economics of monolithic plant is superior to its modular plant. In case of NOAK plant comparison, however, the cost difference is not significant. It means that modular plant can compete with monolithic plant in capital cost if it makes efforts of cost reduction and technical progress on the assumption that the same type of NOAK plant will be constructed continuously.

### 1. 서론

현재 우리 나라에서 개발중인 액체금속로인 KALIMER는 용량이 150MWe인 실증로이다. 이와 같은 KALIMER는 기본설계의 결과와 국제 개발동향, 자원조달의 가능성 등을 고려하여 2010년 이후에 건설하는 것을 목표로 추진 중에 있다.

액체금속로의 개발 형태는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 프랑스의 경우처럼 대규모의 단일 용량 발전소(monolithic plant) 형태로 개발하는 것과 미국과 일본처럼 소규모 용량을 하나의 모듈로 하여 대용량을 구성하는 모듈러 발전소(modular plant) 형태가 그것이다.

현재 고려중인 KALIMER의 용량이 150MWe이기 때문에 이를 하나의 모듈 개념으로 보아야 하는지 아니면 대용량 개념 정립을 위한 실증로 개념으로 보아야 하는 지에 대한 판단이 이루어질 필요가 있다. 그리하여 본 연구에서는 150MWe 용량의 KALIMER를 1개의 모듈로 하여 대규모 용량(1200MWe)을 구성하는 모듈러 발전소 형태가 동일 용량의 단위기 대용량 발전소에 비해 경제성 측면에서 효과가 있는지를 분석하였다.

## 2. 주요 가정

본 연구에서는 Monolithic Plant와 Modular Plant의 FOAK Plant와 NOAK Plant를 대상으로 하여 자본비를 비교하였으며, 이를 위해 다음과 같은 가정을 하였다. KALIMER는 아직 개발 중에 있기 때문에 비용평가를 위한 국내의 축적된 자료가 거의 없어 많은 부분에서 외국의 자료를 활용하였다.

- NOAK Plant와 FOAK Plant는 동일한 설계 및 규제 요건이 적용된다.
- FOAK Plant와 NOAK Plant는 동일한 원자로 제조업자와 설계업자가 공급을 하며, NOAK Plant는 누적 설비용량이 4,500MWe를 초과할 때를 의미한다.
- 최초 상용 발전소(First-Of-A-Kind Plant, FOAK Plant)
  - Modular Plant의 첫 번째 모듈 비용에 비해 두 번째 이후 모듈의 평균비용은 일본(48%)과 미국(62%)의 연구결과를 인용하였다.
    - 이와 같은 효과는 발전소 전체의 공통 설비비, 모듈의 설계비, 기기제작 준비비 등이 첫 번째 모듈에 포함되고, 두 번째 모듈 이후부터는 이들 비용 중에서 일부 비용만이 소요되기 때문에 얻을 수 있다.
- 기술이 성숙된 N번째 발전소 (Nth-Of-A-Kind Plant, NOAK Plant)
  - FOAK 비용에 대한 NOAK 비용
    - Monolithic Plant : 92% (프랑스 EDF 연구결과 인용)
    - Modular Plant : 83% (미국 GE 연구결과 인용)
- 1200MWe의 자본비는 150MWe 자본비를 생산한 후에 각 비용 요소별로 용량보정 계수(표-1 참조)를 이용하여 산정 하였다.

표-1 용량보정 계수

비용계정	비용 설명	용량보정 계수
직접비	Structure and Improvements	0.588
	Reactor Plant Equipment	0.554
	Turbine Plant Equipment	0.834
	Electric Plant Equipment	0.487
	Miscellaneous Plant Equipment	0.595
	Main Condenser Heat Rejection System	0.800
간접비	Construction Services	0.689
	Home Office Engineering and Services	0.598
	Field Office Engineering and Services	0.694
	Owner's Costs	0.500

### 3. 분석 결과

본 연구에서는 자본비 측면에서 Monolithic Plant와 Modular Plant의 경제성을 비교 하였으며 그 결과는 표-2와 표-3과 같다.

표-2는 150MWe와 1200MWe의 자본비 계산 결과를 나타낸다. 150MWe의 자본비는 6.8억 달러 정도, 1200MWe의 경우는 규모경제의 실현으로 인해 26.3억 달러 정도 소요될 것으로 평가되었다.

또한 표-3은 Modular Plant와 Monolithic Plant의 자본비 분석 결과를 나타낸다. Monolithic Plant의 자본비를 기준(1.00)으로 했을 때 FOAK Plant의 자본비는 1.13~1.38로 추정되었고, NOAK Plant의 자본비는 1.02~1.25로 추정되었다. 여기에서 구간의 좌측 값과 우측 값은 두 번째 이후의 모듈비용이 첫 번째 모듈에 비해 각각 48%, 62%로 절감 되는 경우를 의미한다.

표-2 용량별 자본비 비교

	비용 요소	비용(1,000\$)	
		150MWe	1200MWe
직접비 (A)	- Land & Land Right - Structures & Improvements - Reactor Plant Equipment - Turbine Plant Equipment - Electric Plant Equipment - Miscellaneous Plant Equipment - Main Condenser Heat Rejection System	318,970	1,115,050
간접비 (B)	- Construction Service - At Home Office Engineering & Services - Field Office Supervisor & Service - Owner's Expenses	177,900	609,364
예비비 (C)		113,208	431,103
순건설비 (D = A + B + C)		610,077	2,155,517
건설기간중 이자 (E)		73,034	477,268
총 자본비 (F = D + E)		683,111	2,632,785

표-3 Monolithic Plant와 Modular Plant의 경제성분석 결과

발전소 형태	기본 개념	First Module 비용 (1,000\$)	2nd 이후 Module의 평균비용(1,000\$)		1200MWe 발전소의 총 자본비 (1,000\$)			
					FOAK		NOAK (92% <sup>3)</sup> , 83.2% <sup>4)</sup> )	
			48% <sup>1)</sup>	62% <sup>2)</sup>	48%	62%	48%	62%
Monolithic Plant	단위기 대응량 (1200MWe)	-	-	-	2,632,785 (1.00) <sup>5)</sup>	2,632,785 (1.00)	2,422,162 (1.00)	2,422,162 (1.00)
Modular Plant	150MWe/ 모듈	683,111	327,894	421,785	2,978,368 (1.13)	3,635,605 (1.38)	2,476,829 (1.02)	3,025,209 (1.25)

- 주 1) 일본의 CRIEPI 연구 자료("Conceptual Design of Metallic Fueled Double Pool Reactor", 1993.4) 결과를 인용하였음.  
 2) 미국의 GE 연구 자료("1993 ALMR Power Plant Capital and Busbar Cost Estimates", 1993) 결과를 인용하였음.  
 3) 프랑스의 EDF 연구 자료 결과를 인용하였음.  
 4) FOAK 비용에 대한 NOAK 비용의 절감률은 1)과 2) 연구결과의 평균값(각각 82.5%, 83.9%)을 사용함.  
 5) 괄호 안의 수치는 Monolithic Plant의 자본비를 기준(1.00)으로 했을 경우 Modular Plant 자본비의 상대적 비율을 의미함.

#### 4. 결론

KALIMER는 아직 설계 중이고 2010년이 되어야 실증로로서의 모습을 갖출 수 있다. 그렇기 때문에 아직은 개발의 초기단계라고 볼 수 있지만, 이와 같은 초기단계에서는 개발의 목표와 합리적인 추진 방안은 개발의 성공 못지 않게 중요한 요소이다.

분석 결과에 의하면, FOAK Plant와 NOAK Plant 모두 Monolithic Plant가 Modular Plant 보다도 경제성이 있는 것으로 나타났다. 다만 NOAK Plant의 경우에는 Modular Plant의 자본비가 Monolithic Plant의 자본비에 상당히 근접한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 이는 Monolithic Plant의 자본비가 절대적으로 우세한 것이 아니고 Modular Plant의 비용절감 노력과 기술진보의 여하에 따라 Modular Plant도 경쟁력을 가질 수 있음을 의미한다. 그러나 이와 같은 결과는 근본적으로 NOAK Plant가 지속적으로 건설된다 전제조건 하에서만 가능한 것이다. 한편 GE의 연구결과에 의하면, Modular Plant 유형의 적정 module 용량은 하나의 모듈을 303MWe로 구성하는 것이 165MWe나 475MWe로 구성하는 것보다도 가장 경제적인 것으로 나타났다. 이와 같은 연구결과는 현재 우리나라에서 개발 중인 KALIMER가 상업용 발전소로서의 역할을 담당하기 위해서는 용량의 격상이 필요하다는 시사점을 주고 있다.

#### 참고문헌

1. "ALMR Power Plant Capital and Busbar Cost Estimates", GE, 1993
2. "Conceptual Design of Metallic Fueled Double Pool Reactor", CRIEPI, 1993.4
3. "Cost Estimate Guidelines for Advanced Nuclear Power Technologies", ORNL/TM-100715, J. G. Delene & C. R. Hudson II, ORNL, 1993. 5.
4. "Phase IX Update(1987) Report for the Energy Economic Data Base Program", DOE/NE-0091, U.S., D.O.E., 1988. 7