

95' 추계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

REALAP5/MOD3.1를 이용한 Semi-Scale Mod-2A 실험의 모사

안 성수, 장완호, 김상녕
경희대학교

요 약

SB-LOCA, RCP Failure 등의 특정사고와 운전중의 과도현상의 발생시, 형성되는 자연대류의 PWR의 열수력학적 거동은 로심 잔열제거의 가능/불가능과 직결되므로 매우 중요한 PWR 안전성평가자료이다. 이러한 자료를 획득하기 위해, EG&G의 감독하에 수행된 Semiscale Experiment Program의 일부인 Semiscale Mod-2A 실험들 중에서 S-NC-3과 S-NC-4를 REALAP5/MOD3로 모사하였다. 모사결과는 실험결과와 REALAP5/MOD1을 이용한 모사결과와 비교 검토하였다.

1. 서 론

SB-LOCA, RCP Failure 등의 특정사고와 운전중의 과도현상의 발생시, PWR내에서 형성되는 자연대류의 열수력학적 거동은 로심 잔열제거의 가능/불가능과 직결되므로 매우 중요한 PWR 안전성평가자료이다. 그러한 상황에서 형성되는 자연대류 현상의 로심잔열제거 효율성을 연구하기 위하여, EG&G의 감독하에 수행된 Semiscale Experiment Program의 일부인 Semi-scale Mod-2A는 자연대류 현상의 해석적 모델 개발과 평가를 목적으로 한다. 한편, 축적비율로 불때 Mod-2A System의 실험결과는 실제 PWR에 직접 응용하지는 못하지만, PWR의 자연순환 특성을 결정하는 주요변수를 설정하는데 도움이 된다. 또한 Semi-scale Mod-2A 실험의 모사계산은 장차있을 열광 3,4호기를 축소제작한 실험장치인 KUNCIF 실험의 모사계산을 지원하기 위한 기초연구로 수행되었다.

2. Semiscale Mod-2A 실험장치

Semiscale Mod-2A 실험장치는 PWR에서의 다양한 가설적 LOCA 사고(Loss Of Coolant Accident)와 운전사고들에 수반된 열수학적 현상을 조사하는데 사용된다. 이것의 크기는 4 루프 PWR을 1/1705 Scale Factor로 축소한 장치이며, 전체적인 모습은 그림 1과 같다. 이 장치의 순환계통은 파단이 발생한 순환 루프를 모사하는 Broken Loop와 파단되지 않은 3개의 순환 루프를 모사한 Intact Loop으로 구성되어 있다. 그림 2는 S-NC-3, S-NC-4 실험에 사용된 Single Loop Semiscale Mod-2A 장치의 구성도이다.

2.1. Semiscale Mod-2A 실험결과와 불확실성

S-NC-3, S-NC-4 실험결과에 대한 주요변수인 온도, 압력, 냉각제의 유량과 보존량은 다음의 표1과 같은 불확실성을 갖는다.

표 1 주요 변수들의 불확실성

온도	압력	냉각제 보존량	유량	로심 출력
±2	±0.1MPa	±5%	±0.033kg/s	±1kW

2.2. S-NC-3의 초기 조건

S-NC-3 실험의 초기조건은 다음의 표와 같다.

표 2. Initial Conditions for S-NC-3

Parameters	Condition
System Configuration	Partial system, including pressurizer; no break; lower plenum drain is required.
Core Power (kW)	30 ^a
Intact Loop Steam Generator Secondary	
Pressure (MPa)	5.1±0.1 (saturated)
Liquid Level (m)	9.98±0.05 b
System Pressure (MPa)	6.9±0.1
Pressurizer Liquid mass (kg)	10.4
Pressurizer Location	Intact loop hot leg
System Mass Inventory	Full

a. System의 열 손실을 보상하기 위해 더 많은 출력이 필요.

b. Feedwater line은 Steady-State Condition 동안에는 격리되어야 하고 액체의 수위는 위 값들보다 크게 유지되어야 한다. Steam Generator는 초기에 가득차도록 채워져야 하고, test points 사이에 맞도록 보충되어야 한다.

3 RELAP5/MOD3.1의 자연순환 실험 S-NC-3, S-NC-4의 모사

3.1. 입력화일 작성

Semiscale Mod-2A 실험인 원자로 자연순환 냉각 현상을 RELAP5/MOD3.1로 모사하시 위해서 Semiscale Mod-2A 실험장치를 각각의 실험장치 구성에 따라서 그림 5과 같이 노드를 나누어 S-NC-3과 S-NC-4 실험에 사용하였다.

3.2. 결과의 비교 및 분석

S-NC-3, S-NC-4 실험을 모사계산하고, 이 결과들은 Semiscale Mod-2A로 수행했던 S-NC-3, S-NC-4 실험결과와 비교하였다. 또한 Snadia Lab.이 RELAP5/MOD1으로 S-NC-3, S-NC-4 실험을 모사한 결과와도 비교, 분석하여 RELAP5 버전에 따른 모사결과의 차이점을 살펴보았다. S-NC-3에 대한 결과에서 RELAP5/MOD1은 낮은 이차측 유량에선 약간의 불일치가 있지만, 92 % 1차유량에 대해서 양적으로 잘 일치함을 보였다. 전체 튜브 열전달면적의 55 %까지의 유량에 대해선 1차측 자연대

류는 대체로 변하지 않고, 55% 아래에선 감소가 발생했다. 루프유동의 계산과 측정된 유동률의 일치성은 계통질량이 92%에서 보다 85%에서 더 우수함을 보인다. 이와같이 92 % 유량에서, 실험의 최대 이상유동은 기포들이 U 튜브 꼭대기에 도착하자마자 아래쪽으로 내려가는 것을 지적하지만, 계산에서 기포들이 U 튜브 꼭대기보다 낮은 지역에서 응집됨을 말한다. U 튜브 내의 이상 혼합물의 높이와 분포를 2차측 액체의 높이와 분포로 조화시키는 것은 S-NC-3에서 보이는 감소되는 열전달행동을 올바르게 계산하는데 필수적이다.

역류 냉각실험 S-NC-4에서, 유동률에 대한 계산과 측정된 결과들은 실험에서 보고되지 않지만 RELAP5에 의해 예견된 역류유동 oscillation과는 다소 다르다. 이러한 유동 oscillation의 존재를 무시하고 time-averaged 유동만을 고려하면, 계산과 측정된 결과의 비교는 좋다. 유사한 유동 oscillation 측정과 존재의 명확성은 좋진 않았지만 S-NC-4에서도 oscillation이 예상되면서, 낮은 1차측과 2차측 유량이 S-NC-2와 S-NC-3에서 보였고 계산되었다.

이상과 역류 자연대류에 대한 이런 계산들이 발생했던 비현실적 oscillation은 time step의 조절로 소멸시킬 수 있었다. 따라서 이러한 현상에 보다 적절하게 적용되지 못한, 코드의 자동 time control algorithm의 문제점을 지적한다. 다른 평가계산들은 RELAP5 time step control은 특히 액체와 기체 상태 사이의 상당한 마찰 또는 교류하는 유동이 있는 이상 유동 상황에선 불충분하다고 보인다.

4. 참고 문헌

1. K. E. Carlson et al., RELAP5/Mod3 Code Manual, Vol. I: Code Structure, System Models And Solution Methods (Draft), EG & G Idaho, June 1990.
2. K. E. Carlson et al., RELAP5/Mod3 Code Manual, Vol. II: User's Guide, EG & G Idaho, August 1991.
3. K. E. Carlson et al., RELAP5/Mod3 Code Manual, Vol. IV: Models and Correlations (Draft), EG&G Idaho, June 1990.
4. V. H. Ransom et al., RELAP5/Mod2 Code Manual, Vol. II: User's Guide and Input Requirments, NUREG/CR-4312,EGG-2396, EG & G Idaho, December, 1985.
5. V. H. Ransom et al., RELAP5/Mod1 Code Manual, Vol. I: System Models and Numerical Methods, Vol. II:User's Guide And Input Requirments, NUREG/CR-1826, EGG-2070 draft, EG & G Idaho, September 1981.
6. G.G. Loomis and K. Soda, Experimental Operating Specification : Natural Circulation Test Series Semiscale Mod-2A, EGG-SEMI-5427, USNRC, April 1981.
7. G.G. Loomis and K. Soda, Results of the Semiscale Mod-2A Natural Circulation Experiments, NUREG/CR-2335, EGG-2200, EG & G Idaho, September 1982.
8. C. C. Wong and L.N.Kmetyk, RELAP5 Assesment: Semiscale Natural Circulation Tests S-NC-3, S-NC-4 and S-NC-8, NUREG/CR-3690, Sandia National Lab., May 1984.

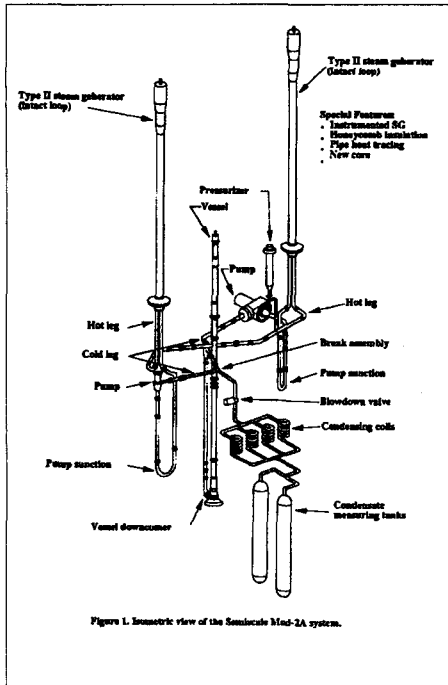


그림 1. Semiscale Mod-2A System의 개략도

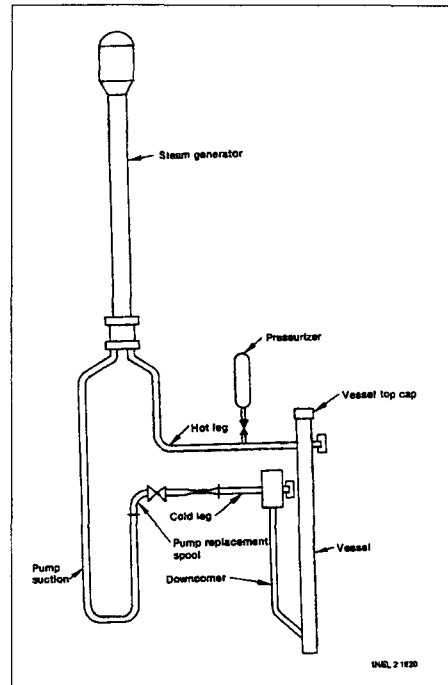


그림 2. Semiscale Mod-2A single-loop configuration.

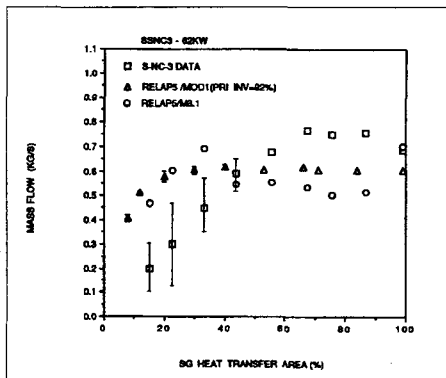


그림 3. Measured and Calculated Mass Flow Rates for Test S-NC-3.

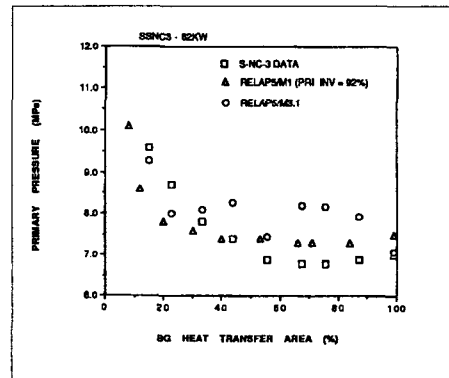


그림 4. Measured and Calculated Primary System Pressures for Test S-NC-3

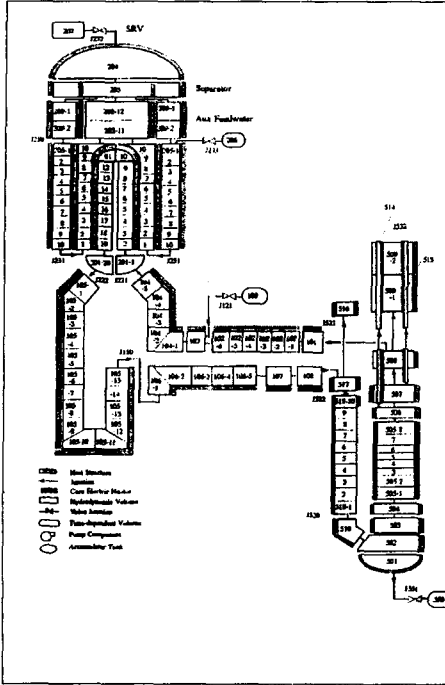


그림 5 S-NC-3 & 4를 위한 REALP5/MOD3.1용 Nodalization

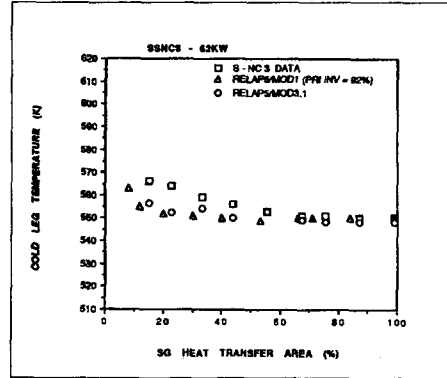


그림 7. Measured and Calculated Cold Leg Temperatures for Test S-NC-3.

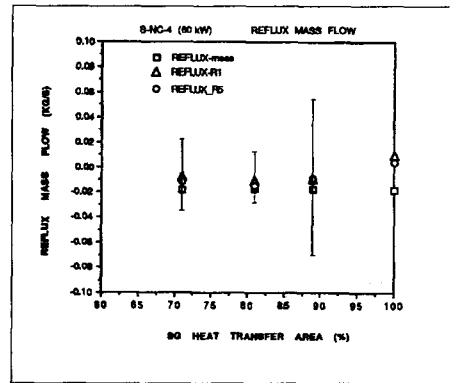


그림 8. Measured and Calculated Reflux Mass Flow Rates for Test S-NC-4 (60kW Power Case)

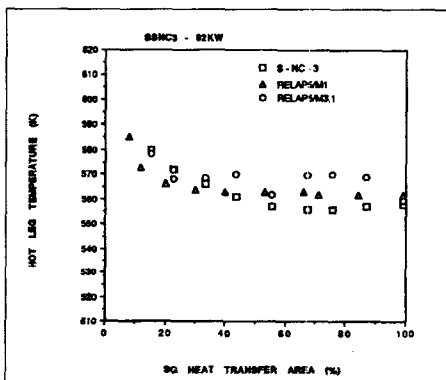


그림 6 Measured and Calculated Hot Leg Temperatures for Test S-NC-3.

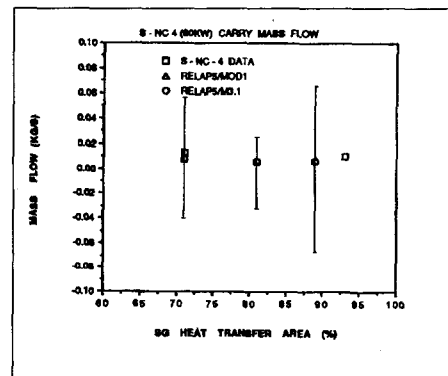


그림 9. Measured and Calculated Carryover Mass Flow Rates for Test S-NC-4 (60kW Power Case)

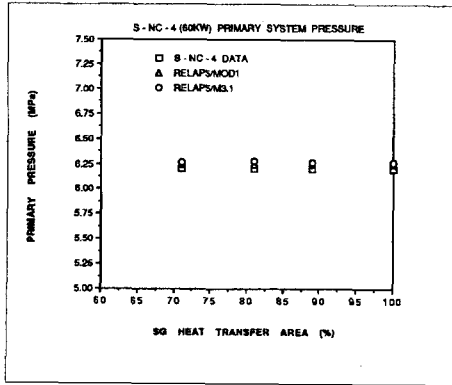


그림 10. Measured and Calculated Primary pressures for Test S-NC-4 (60kW Power Case)

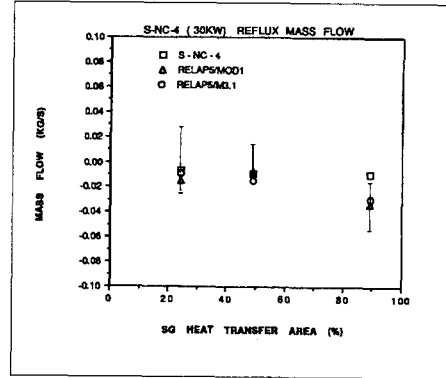


그림 13. Measured and Calculated Reflux Mass Flow Rates for Test S-NC-4 (30kW Power Case)

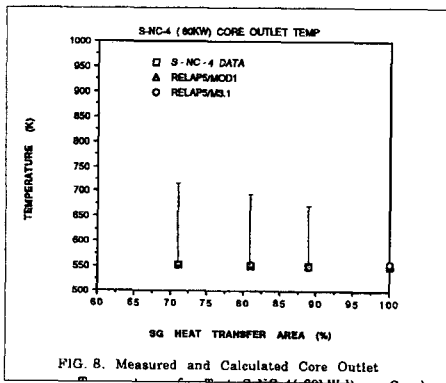


FIG. 8. Measured and Calculated Core Outlet

그림 11. Measured and Calculated Core Outlet Temperatures for Test S-NC-4 (60kW Power Case)

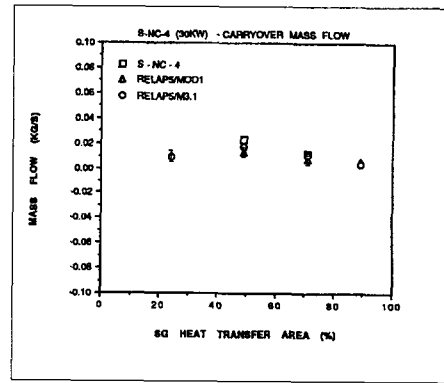


그림 14. Measured and Calculated Carryover Mass Flow Rates for Test S-NC-4 (30kW Power Case)

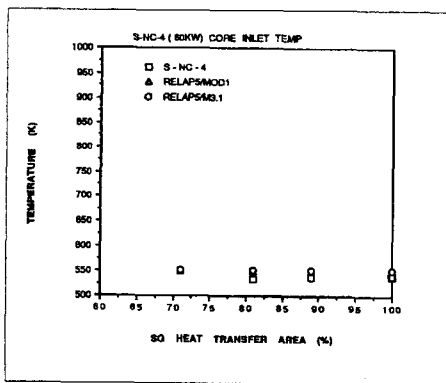


그림 12. Measured and Calculated Core Inlet Temperatures for Test S-NC-4 (60kW Power Case)

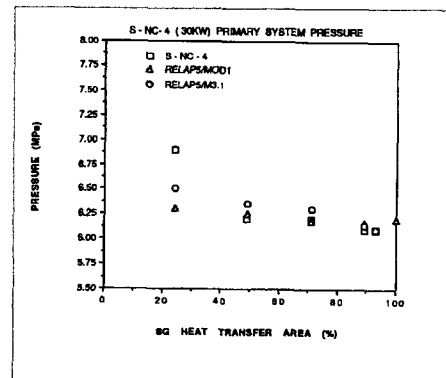


그림 15. Measured and Calculated Primary Pressures for Test S-NC-4 (30kW Power Case)

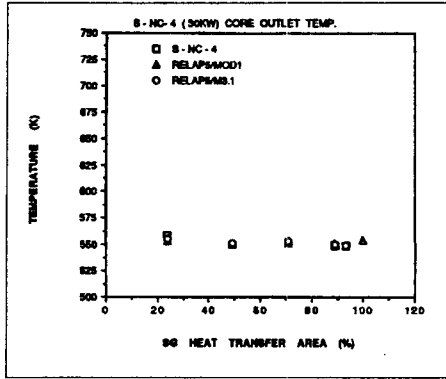


그림 16. Measured and Calculated Core Outlet Temperatures for Test S-NC-4 (30kW Power Case)

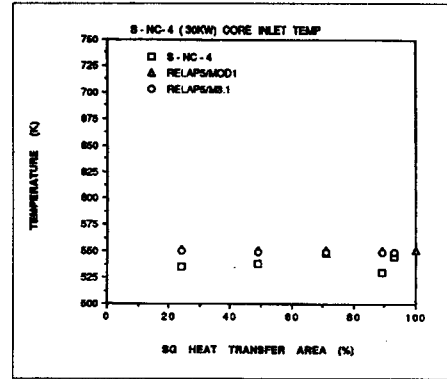


그림 17. Measured and Calculated Core Inlet Temperatures for Test S-NC-4 (30kW Power Case)