

KAERI / MR-250 / 94

^KR9600014

# 연구용 원자로 1호 및 2호 운영

Research Reactor No.1 & No.2 Operation

한국원자력연구소

VOL 27 No 19

KAERI / MR-250 / 94

# 연구용 원자로 1호 및 2호 운영

Research Reactor No.1 & No.2 Operation

한 국 원 자 력 연 구 소

# 제 출 문

소 장 귀하

본 보고서를 "연구용 원자로 1호 및 2호 운영" 과제의 최종 보고서로 제출 합니다.

1995 년 1 월

연 구 실 명 : 원자로관리부 원자로관리실

과제 책임자 : 서 두 환

참 여 자 : 박 상 준            홍 광 표

              이 재 풍            오 삼 용

              김 영 주            김 종 국

              강 태 진            염 기 홍

              구 정 민            송 병 선

              신 호 철

감수 위원 : 김 현 준

# 요 약 문

## I. 제 목

연구용 원자로-1호(TRIGA Mark-II) 및 2호(TRIGA Mark-III) 운영

## II. 운영의 목적 및 중요성

연구용 원자로 1-호 및 2-호를 안전하고 효율적으로 운전하여 원자로를 이용한 연구 사업을 적극 지원한다

## III. 운영의 내용 및 범위

1) 학생 실험, 원자로 운영 기술 개발 및 타 연구실의 원자로 이용 연구 지원을 위한 연구로-1호 운전

2) 동위원소 생산과 방사화 분석 등을 위한 시료 조사, 중성자공 이용 연구 및 하나로(KMRR) 시운전 예비 실험 지원을 위한 연구로-2호 운전

## IV. 운영 결과 및 활용에 대한 건의

연구로-1호의 '94년도 총 운전 시간은 206 시간, 열출력 생성량은 874 kWh, U-235의 연소량은 0.04 g으로 대부분 0 출력으로 운전되었다.

운전 시간의 대부분은 원자력 관련 전공 대학생의 실험 실습을 위한 것이었고, 기타 다른 목적으로는 거의 이용되지 않았다. 금년에는 서울대 학생들이 1,2학기 모두 실험 실습에 참가하였고 한양대는 2학기에만 실험 실습을 하였으며, 기타 지방대의 방학중 실험 실습은 없었다. 총 실험 인원은 서울대 30명, 한양대 47명으로 교육 시간은 420 시간 정도 이다.

연구로-2호의 '94년도 총 운전 시간은 2,539 시간이며, 열 출력 생성량은 3,266 MWh, U-235의 연소량은 168 g이다. 시료 조사 건수는 1,118 건이며, 이 중 동위원소 생산을 위한 것이 371 건, 방사화 분석이 648 건, 기타가 99 건이다. 동위원소 생산은 Tc<sup>99m</sup>이 126 건, I<sup>131</sup>이 103 건, Au<sup>198</sup>이 45 건 등 모두 12 종을 생산 공급하였다.

금년 여름은 기상 이상 현상에 따른 무더위가 장시간 지속됨에 따라 약 2개월간 정상 운전을 하지 못하였다. 원자로 수조수의 평균 온도가 40 °C 에 이르고, 이에 따라 출력을 1 MW로 낮추어 운전할 수 밖에 없었다. 이 기간 후에도 원자로가 정상 출력인 1.5 MW에 도달하는데는 1개월 이상이 걸렸다.

연구로 1호 및 2호는 '95년 중으로 운전을 중지하고, 하나로가 그 임무를 대신 하는 것으로 내정되었다. 이에 따라 '95년 부터는 연구로 1호를 이용하는 학생 실험 실습을 중지키로 결정하였으며, 특히 연구로 1, 2호가 보유하고 있는 모든 핵연료를 본소로 이송 저장하기 위한 작업과, 두 연구로에 대한 폐지 신고에 대한 준비가 진행중이며, 1995년도 원자로 운영 과제도 여기에 중점을 두게 될 것이다.

# SUMMARY

## I. Project Title

Research Reactor No.1 and No.2 (TRIGA Mark-II & -III) Operation

## II. Objective and Importance of the Project

Safe and effective operation of research reactor NO.1 and No.2 so as to support research projects utilizing research reactors.

## III. Scope and Contents of the Project

1. Research reactor No.1 operation for the student training and for reactor experiments to develop operational technique research projects using reactor neutron.
2. Research reactor No.2 operation for sample irradiations for the radioisotope production, activation analysis, etc., and research works using beamports, and experiments for KMRR operation.

## IV. Results and Proposal for Applications

The annual operation time of Research Reactor No.1 was 206 hours, and the gross thermal output was 874 kWh, having consumed 0.04 grams of  $U^{235}$  in 1994.

The bulk of operation was for reactor experiments for university students. In this year, students of Seoul National Univ. had two semesters of reactor experiments as usual, but in case of Hanyang Univ., only 2nd semester was serviceable. The oth schools did not attend in this training course.

Total number of trainees was 30 from Seoul Univ. and 47 from Hayang Univ., and time for education was 420 hours.

The annual operation time of Research Reactor No.2 was 2,539 hours, and the gross thermal output was 3,266 MWh, having consumed 168 grams of U-235. Number of samples irradiated was 1,118; 371 samples for radioisotope production, 648 for activation analysis and 99 for other purposes. 12 kinds of radioisotopes including 126 samples for Tc<sup>99m</sup>, 103 for I<sup>131</sup>, 198 for Au<sup>198</sup>, etc., were produced and supplied for medical diagnosis and industrial non-destructive testing. In this year, a long period of abnormal hot summer prevented normal operation about for 2 months. This unusual weather caused average bulk temperature of reactor pool to increase over 40 degrees, consequently reactor power had to down to 1 MW during these period, after then it also took more than one month to reach up to normal power, 1.5 MW.

It was planned Research Reactor No.1 and No.2 to be stopped sometime during next year. Then a new reactor, 'HANARO' will take all missions of these two reactors. According to this policy, the reactor training course using reactor No. 1 was decided to be called off from 1995. Especially preliminary arrangements for transporting of spent fuels and disuse reporting for these two reactors are under operation, and reactor operation in this year will place the focus on this matter.

# 목 차

제 1장 서 론 .....	9
제 2장 본 론 .....	11
제 1절 원자로 운전 실적 .....	11
1. 연구로-1호 .....	11
2. 연구로-2호 .....	12
제 2절 원자로 보수 .....	25
1. 연구로-1호 .....	25
2. 연구로-2호 .....	25
제 3절 원자로 특성 분석 .....	28
1. 연구로-1호 .....	28
2. 연구로-2호 .....	28
제 3장 결론 및 건의 사항 .....	53
참고 문헌 .....	55



# 표 목 차

2.1-1. 학생 실험 실습 실적(1994) .....	15
2.1-2. 연구로-1호의 월별 운전 실적(1994) .....	16
2.1-3. 연구로-1호의 연도별 운전 실적 .....	17
2.1-4. 연구로-2호의 월별 운전 실적(1994) .....	18
2.1-5. 연구로-2호의 연도별 운전 실적 .....	19
2.1-6. 연구로-2호의 목적별 시료 조사 실적(1994) .....	20
2.1-7. 연구로-2호의 시설별 시료 조사 실적(1994) .....	21
2.1-8. 연구로-2호의 원자로심 변화(1994) .....	22
2.1-9. 연구로-2호의 예기치 않은 운전 중단 사례(1994) .....	22
2.2-1. 연구로-1호의 월별 보수 현황(1994) .....	26
2.2-2. 연구로-2호의 월별 보수 현황(1994) .....	27
2.3-1. 연구로-1호의 제어봉 특성 .....	30
2.3-2. 연구로-2호의 출력에 따른 각 계기값과 반응도 변화 .....	31
2.3-3. 연구로-2호의 제어봉 특성 .....	32
2.3-4. 연구로-2호의 출력에 따른 각 계기값과 반응도 변화 .....	33

# 그 립 목 차

2.1-1. 연구로-1호의 노심 구성(1994. 12 현재) .....	23
2.1-2. 연구로-2호의 노심 구성(1994. 12 현재) .....	24
2.3-1. 연구로-1호 Safety Rod의 미적분 반응도가 .....	34
2.3-2. 연구로-1호 Shim Rod의 미적분 반응도가 .....	35
2.3-3. 연구로-1호 Regulating Rod의 미적분 반응도가 .....	36
2.3-4. 연구로-1호 출력영역감시기의 선형도 .....	37
2.3-5. 연구로-1호 대수출력계의 선형도 .....	38
2.3-6. 연구로-1호의 출력에 따른 핵연료 온도 변화 .....	39
2.3-7. 연구로-1호의 출력에 따른 초과 반응도가 변화 .....	40
2.3-8. 연구로-1호의 출력 교정 실험시 수조 온도 상승(100 kW) .....	41
2.3-9. 연구로-2호 Transient Rod의 미적분 반응도가 .....	42
2.3-10. 연구로-2호 Safety Rod의 미적분 반응도가 .....	43
2.3-11. 연구로-2호 Shim-1 Rod의 미적분 반응도가 .....	44
2.3-12. 연구로-2호 Shim-2 Rod의 미적분 반응도가 .....	45
2.3-13. 연구로-2호 Regulating Rod의 미적분 반응도가 .....	46
2.3-14. 연구로-2호의 시간에 따른 광대역 출력계(wide range linear power recoder)의 출력지시(반응도 15 cent) .....	47
2.3-15. 연구로-2호 대수 출력계와 선형계의 선형도 .....	48
2.3-16. 연구로-2호 백분율계의 선형도 .....	49
2.3-17. 연구로-2호의 출력에 따른 핵연료 온도 변화 .....	50
2.3-18. 연구로-2호의 출력에 따른 초과 반응도가 변화 .....	51
2.3-19. 연구로-2호의 출력 교정 실험시 수조 온도 상승(1.5 MW) .....	52

# 제 1 장 서 론

금년에도 연구로-1호는 원자력 관련 전공 대학생의 실험 실습에 주로 사용되었으며, 「하나로」 중성자공의 중성자 및 방사선 fluence 측정을 위한 사전 실험에 이용되었을 뿐 기타 타 이용 부서나 원자로 특성 실험 개발 등에는 이용되지 않았다. 연구로-1호의 폐지시까지 원자로 전체 계통의 가동을 요구하는 출력 운전을 지양한다는 취지에 맞추어 '94년도 총 운전 시간 206 시간에 생성된 열출력은 874 kWh 정도로 핵연료 연소량은 거의 없다. '95년 부터는 학생 실험실습이 폐지되므로 핵연료의 수송에 따르는 방사능 부담을 줄이기 위해 가능한한 운전을 일체 중지하기로 하였다. 서울공대는 작년과 마찬가지로 두 학기 모두 실험실습을 실시하였으나 한양대학교는 2학기에만 실시하였고, 여름 방학 기간중 지방 학교에 대한 실험실습은 이루어지지 않았다. 서울대 30명, 한양대 47명에 대하여 각각 288 시간 그리고 132 시간의 교육이 이루어졌다.

연구로-2호는 동위원소 생산, 방사화 분석 등을 위한 시료 조시에 지속적으로 활용되고 있으며, 중성자 연구팀의 본소 이전 이후 중성자공의 활용은 중지된 상태이다. 원자로 시설 및 계통의 전반적인 노후화로 인하여 매년 원자로의 비정상 가동 중지 사례가 있었으나, 금년에는 정기검사 기간을 제외하고는 장시간의 운전 중지 사례는 없었다. 금년도 연구로 2호의 운전 시간은 예년과 비슷한 실정이나, 생성된 열출력량은 운전 시간에 비해 조금 낮았는데, 이는 올 여름철의 이상 기온 현상 때문이다. 지난 7, 8 월의 무더위로 원자로 수조수의 온도가 운전 제한치에 육박하고, 이에 따라 출력을 1 MW 로 낮추어 운전할 수 밖에 없었다. 9월에도 출력은 1.2 MW를 넘지 못했으며, 그 후에는 원자로 반응도 감소로 1.5 MW의 정상 출력이 어려웠다. 11월 부터는 신연료 1개를 추가 장전하여 1.5 MW의 정상 출력을 유지하고 있다. 계측용 연료봉을 제외하고 현재 보유하고 있는 일반 연료봉은 단 1 개로, 차후 연구로 1, 2호 폐지 후 전시 등 다른 목적을 위하여 남겨 두었다.

지난 1962년과 1972년 연구용 원자로 1, 2호가 각각 운전을 시작하여 30년, 그리고 20년이 넘도록 이 두 연구로는 우리나라 원자력 관련 과학, 기술 개발에 커다란 역할을 담당하여 왔다. 이제 또 하나의 새로운 연구로가 우리 손으로 건설

되어 가동을 눈앞에 둔 시점에서, 기존의 두 연구로에 대한 향후 관리 문제는 가동 중지 후 연구로 1호는 기념관화, 그리고 2호는 페로라는 방침으로 굳어졌다. 이에 따라 '95년 중반에는 연구로 1, 2호의 운전을 중지하고, 연말까지는 보유 핵연료 전량을 대전 본소로 수송한 후 폐지 신고할 예정이다. 물론 원자로의 운전 중지 일정은 동위원소 생산과 밀접한 관계가 있기 때문에, 「하나로」 운전 일정에 따라 수정될 수도 있다. 핵연료 수송 문제는 아직까지 수송용기, 수송 방법, 관련 절차서 작성 등 법적으로 해결해야 하는 어려움이 많이 있기 때문에 '95년은 이들 문제를 해결하여 안전한 핵연료 수송 준비를 기하는데 운영의 초점이 맞추어 질 것이다.

## 제 2 장 본 론

### 제 1 절 원자로 운전 실적

#### 1. 연구로-1호(TRIGA Mark-II)

연구로 1호는 원자력 전공 학생들에 대한 실험 실습에 주로 사용하였다. 금년에는 실험실습 비용을 해당 학교측에 부담시켰는데, 서울대가 예년과 같이 1, 2 학기 모두 실험에 참가한데 반해, 한양대는 이 문제를 해결하느라고 1학기에 실험에 참가하지 못하였다. 이 비용 문제로 여름방학중에 실시하던 지방 대학의 실험실습 요구는 전혀 없었다.

표 2.1-1은 '94년도의 실험 실습 실적을 요약한 것이다. 서울대는 30명의 학생에 대하여 1, 2 학기 각각 168 시간 및 120 시간의 교육을 실시하였고, 한양대의 경우에는 2학기에만 47명에 대하여 132 시간 교육을 실시하였다. 1 학기 중의 교육 방법은 예년과 같은 8개 조, 8개 과목으로 이루어 졌으나, 학생들의 요구에 의하여 2 학기에는 4개 조, 4개 과목으로 구성하였다.

'95년중 연구로 1, 2호 운전 중단 방침에 따라 학생 실험 실습도 일단 중지하고 연수원과 「하나로」를 중심으로 새로운 교육 방법을 계획하기로 하였다. 이에 따라 '95년 부터 연구로 1호를 이용한 학생 실험 중단을 각 학교에 통지하였으며, 새로운 계획이 확립될 때까지는 학생 실험실습이 중단될 것이다.

표 2.1-2는 연구로 1호의 '94년도 월별 운전 실적을 요약한 것이다. 총 운전 시간은 207 시간으로 전년도와 비슷하고, 출력 운전 시간은 약 22 시간으로 약간 늘었는데, 이는 3월과 8월 중에 「하나로」 중성자공의 fluence 측정을 위한 예비 실험이 있었기 때문이다. 반면 학생들의 원자로 이용은 거의 0 출력에서 이루어 졌다. 열 출력 생산량은 870 kWh 이고  $U^{235}$  연소량은 0.04 g으로서 핵연료 소모량은 거의 없는 상태이다.

표 2.1-3는 연구로-1호 가동 이후 현재까지의 연도별 운전 실적을 나타낸 것이다. '94년말 까지의 총 운전 시간은 36,371 시간, 총 출력량은 3,735,070 kWh 이며,  $U^{235}$  연소량은 192.35 g이다.

그림 2.1-1은 현재의 노심 구성을 나타낸 것으로 작년과 마찬가지로 출력 운전이 거의 이루어지지 않는 관계로 노심 특성에 특별한 변화는 없고, 핵연료 이동 등의 노심 변경도 없었다.

'95년 부터는 학생 실험도 중단되므로, 핵연료 수송에 따르는 방사능의 부담을 줄이기 위해서 원자로의 가동을 최대한 억제할 계획이다.

## 2. 연구로-2호(TRIGA Mark-III)

연구로 2호는 주로 동위원소 생산과 방사화 분석 등을 위한 시료 조사에 활용하였다. 표 2.1-4는 월별 운전 실적을 요약한 것이다. '94년도 총 운전 시간은 주 평균 50 시간 정도인 2,539 시간으로 전년도와 같은 수준이다. 출력 운전도 2,048 시간으로 전년도와 같으나, 생성된 출력량은 3,266 MWh로 10 % 정도 감소했는데 이것은 금년 여름 동안의 이상 기온 현상에 의해 약 3 개월간 운전 출력을 감소시킨데 그 원인이 있다. 지난 7, 8월의 무더위로 원자로 수조수의 온도가 운전 제한치를 넘어설 우려가 있어 출력을 1 MW로 낮추어 가동하였으며, 9월 이후에도 1.2 MW의 출력으로 운전할 수 밖에 없었다.  $U^{235}$ 의 연소량은 168 g 이다.

표 2.1-5는 연구로 2호 가동 이후 현재까지의 운전 실적을 요약한 것이다. 금년까지의 총 운전 시간은 53,028 시간, 열출력 생성량은 65,718 MWh, 그 동안  $U^{235}$ 의 연소량은 3,386 g이다.

표 2.1-6은 시료 조사를 목적별로 분류한 것이다. 시료 조사 건수는 총 1,118 건으로 전년에 이어 계속 증가하였다. 동위원소 생산은  $Tc^{99m}$ 과  $I^{131}$ 이 각각 126건 및 103 건으로 이 목적의 총 조사 건수의 약 2/3를 차지하고, 그밖에  $Au^{198}$  등 모두 12종을 생산하였다. 전년도에 임상 실험 및 연구 목적으로 생산하기 시작한  $Dy^{165}$ 는 본격적인 치료용 생산에 들어가 올해 모두 44 건을 조사하였다. 또한 금년부터는 간암 치료용으로  $Ho^{166}$ 이 실험용으로 새롭게 생산되기 시작하여 모두 29 건이 조사되는 등, 모두 371 건이 조사된 동위원소 생산은 전년도에 비해 140 여 건이 크게 증가하였으며, 앞으로도 그 수요는 더욱 증가할 것으로 기대된다.

방사화 분석 목적의 시료 조사 건수는 모두 648 건으로 최근 몇년 동안 약간의 증가 추세를 보이고 있으며, 기타 실험 목적 등으로 약 100 건이 조사되었다.

표 2.1-7은 조사 시설별로 그 이용 실적을 나타낸 것이다. 총 1,118 건의 조사 중에서 방사화분석에 주로 사용되는 기송관 장치가 475 건, 노외 조사 시설이 337 건, 그리고 노내 조사 시설이 255 건을 차지했다. 특히 5월중에는 14개의 파이프 로 구성된 노외 조사 시설을 제거하고 그 위치에 중성자물리 연구팀의 실리콘 중성자 도핑을 위한 사전 실험용 장치를 설치했는데, 이로 인해 모자란 조사 공간을 확보하기 위해서 G-링에 3 개의 조사공을 추가로 장전하고 2공 짜리 노외 조사 장치도 새로 설치하였다. 이로 인해 노내 조사공의 사용 실적이 크게 증가하였다. 금년에는 열중성자주의 사용 실적은 전혀 없었다.

예년과 마찬가지로 금년에도 노심을 항상 남쪽 끝의 중성자공이 있는 곳에 놓고 운전하였으므로 회전 조사 시설은 사용한 적이 없다. 중성자공은 중성자물리 연구팀의 대전 본소 이동 후에는 사용이 중지되고 있다.

표 2.1-8은 노심의 핵연료 이동 사항을 나타낸 것이다. 동위원소 생산등에 유용하게 이용해오던 14개의 노외 조사공이 제거됨에 따라 부족한 조사공을 보충하기 위하여 '93년말 제거했던 G-14, G-15 및 G-17에 다시 조사용 파이프를 설치했다. 이번에 설치한 파이프는 '93년도 당시 기사용 파이프의 켈슬 장전에 문제가 있어 새로 제작한 것이다. 그러나, 연말에는 노심 반응도 부족으로 1.5 MW의 출력이 어려워지게 되어 신연료 하나를 G-15에 장전하게 됨으로써 실제로 증가된 노내 조사공은 2개가 된 셈이다. 전년도에 발견한 인출 불가능 모의봉 4개는 아직 그대로 꽂혀 있는데, 원자로 상판 그리드를 해체하지 않고는 인출이 불가능한 상태이며, 이것이 원자로 안전에는 아무런 영향을 주지 못하므로 그대로 유지하기로 하였다.

'94년도에 발생한 예기치 않은 원자로 긴급 정지 사례는 모두 17 건으로 전년도에 비해 줄었다(표 2.1-9 참조). 예년과 마찬가지로 불시 정전에 의한 것들이 절반을 넘고 있으며, 장비 노후화에 따른 제어봉 계통 및 핵연료 온도 계통 불량에 의한 문제는 그대로 남아 있다. 이들을 보수하기 위해서는 장시간의 원자로 운전중단이 필요하고 이로 인한 동위원소 생산 계획의 차질뿐 아니라, 관련 부품 대다수가 원자로 제작사인 미국의 GA사로 부터 도입해야 하므로 예산 및 시간적인 면을 고려할 때, 얼마 남지않은 원자로 수명을 감안하면 불필요한 예산 및 시간 낭비의 초래가 예상되므로 이에 대한 전면적인 보수는 고려하고 있지 않으나, 보다

철저한 관리와 자체 점검을 통하여 남은 기간 안전 운전에 만전을 기할 수 있도록 준비하고 있다.



표 2.1-1. 학생 실험 실습 실적(1994년)

학 교 명		과목수	교육 인원	조편성	교육 시간	비 고
서울대	1학기	8	30	8	168	3.30 - 6.22(수)
	2학기	4	28	4	120	9. 7 -11.23(수)
한양대	1학기	-	-	-	-	미실시
	2학기	4	47	4	132	8.31 -11.15(화)
총 계			105		420	

\* 한양대는 2학기에만 실시.

\* 기타 지방대의 방학중 실험실습 요청은 없었음.

\* 실험 과목

임계 측정	보건물리	Ge 계측기	$\beta$ - $\gamma$ 동시 계수법
반응도 측정	방사화 분석	동위원소 생산	전단면적 측정
원자로 잡음 분석	동특성 수치 해석	neutron radiography	
열중성자 측정	고속중성자 측정		

표 2.1-2. 연구로-1호의 월별 운전 실적(1994)

구분 월	운전시간 (시:분)	출력시간 (시:분)	열출력량 (kWh)	교육 훈련(시간)	
				서울공대	한양공대
1	9:30	-	-	-	-
2	9:40	-	-	-	-
3	26:48	3:10	287.8	-	-
4	7:20	-	-	16	-
5	21:10	-	-	12	-
6	6:20	-	-	8	-
7	5:40	-	-	-	-
8	58:53	17:30	335.8	-	-
9	32:05	-	-	8	12
10	2:23	-	-	8	12
11	18:50	-	-	16	7
12	7:50	1:00	250.0	-	-
계	206:29	21:40	873.6	68	31

\* 핵연료 소모량 : U-235 : 0.04499 g  
 총 우라늄 : 0.03829 g

표 2.1-3. 연구로-1호의 연도별 운전 실적

구분 연도	운전시간(시간)		출력시간(시간)		열출력량(kWh)		U-235연소량(g)	
	연 간	누 계	연 간	누 계	연 간	누 계	연 간	누 계
1962	1,588		846		73,892		3.80	
1963	1,138	2,726	766	1,612	73,691	147,583	3.80	7.60
1964	1,869	4,595	1,423	3,035	131,855	279,438	6.79	14.39
1965	1,754	6,349	1,385	4,420	135,397	414,835	6.97	21.36
1966	1,650	7,999	1,390	5,810	138,116	552,951	7.11	28.48
1967	1,543	9,542	1,202	7,012	117,701	670,652	6.06	34.54
1968	1,784	11,326	1,478	8,490	144,565	815,217	7.45	41.99
1969	1,518	12,844	1,265	9,755	239,296	1,054,513	12.32	54.31
1970	1,737	14,581	1,469	11,224	354,253	1,408,766	18.24	72.55
1971	2,117	16,698	1,860	13,084	453,179	1,861,945	23.34	95.89
1972	1,918	18,616	1,733	14,817	413,198	2,275,143	21.28	117.17
1973	1,175	19,791	995	15,812	117,520	2,392,663	6.05	123.22
1974	1,106	20,897	885	16,697	142,908	2,535,571	7.36	130.58
1975	1,300	22,197	1,106	17,803	38,079	2,573,650	1.96	132.54
1976	936	23,133	773	18,576	84,028	2,657,678	4.33	136.87
1977	2,356	25,489	2,065	20,641	394,653	3,052,331	20.32	157.19
1978	2,636	28,125	2,339	22,980	438,649	3,490,980	22.59	179.78
1979	1,731	29,856	1,483	24,563	192,832	3,683,810	9.93	189.71
1980	766	30,622	615	25,178	2,135	3,685,945	0.11	189.82
1981	1,100	31,722	790	25,968	17,159	3,703,104	0.89	190.71
1982	450	32,172	177	26,145	3,843	3,706,947	0.20	190.91
1983	319	32,491	203	26,345	3,757	3,710,704	0.19	191.10
1984	325	32,816	172	26,517	4,138	3,714,842	0.21	191.31
1985	267	33,083	161	26,678	3,395	3,718,237	0.18	191.49
1986	257	33,340	119	26,797	3,580	3,721,817	0.18	191.67
1987	421	33,761	213	27,010	4,059	3,725,876	0.21	191.88
1988	495	34,256	102	27,112	2,080	3,727,956	0.11	191.99
1989	495	34,751	92	27,200	857	3,728,813	0.04	192.03
1990	319	35,070	42	27,242	4,114	3,732,927	0.21	192.24
1991	299	35,369	9	27,251	492	3,733,419	0.03	192.27
1992	548	35,917	24	27,275	753	3,734,172	0.04	192.31
1993	248	36,165	2	27,277	24	3,734,196	0.00	192.31
1994	206	36,371	21	27,298	874	3,735,070	0.04	192.35

표 2.1-4. 연구로-2호의 월별 운전 실적(1994)

	운전시간(시간:분)		열출력량 (kWh)	평균출력 (MW)	핵연료소모량(g)	
	총 운전	출력운전			U-235	총 U
1	205:40	194:30	289.862	1.50	14.928	12.705
2	191:50	181:35	272.375	1.50	14.027	11.939
3	239:20	229:20	344.000	1.50	17.751	15.078
4*	230:10	219:55	327.283	1.49	16.855	14.354
5	217:10	205:50	303.877	1.48	15.649	13.319
6*	127:50	124:10	175.050	1.41	9.015	7.673
7	209:00	202:05	224.956	1.11	11.585	9.860
8	217:30	202:55	209.127	1.03	10.770	9.166
9	225:50	214:30	267.765	1.25	13.789	11.737
10	216:40	204:00	243.518	1.20	12.541	10.674
11	211:20	197:35	266.375	1.35	13.718	11.676
12	246:00	231:30	341.600	1.48	17.592	14.973
계	2,538:30	2,407:55	3,265.79	1.36	168.18	143.15

\* 정기 검사

표 2.1-5. 연구로-2호의 연도별 운전 실적

구분 연도	운전시간 (시간)		출력시간 (시간)		열출력량 (MWh)		U-235 연소량 (gr)		U 연소량 (gr)	
	연간	누계	연간	누계	연간	누계	연간	누계	연간	누계
1972	548		506		865.5		44.57		37.94	
1973	1,348	1,896	1,276	1,782	1,855.0	2,720.5	95.53	140.10	81.31	119.25
1974	1,217	3,113	1,172	2,954	1,296.7	4,017.2	66.78	206.88	56.84	176.09
1975	1,884	4,997	1,825	4,779	1,957.4	5,974.6	100.82	307.70	85.80	261.89
1976	2,239	7,236	2,184	6,963	2,232.5	8,207.0	114.97	422.67	97.86	359.75
1977	503	7,739	486	7,449	418.8	8,625.9	21.57	444.24	18.36	378.11
1978	133	7,872	124	7,573	55.0	8,680.9	2.83	447.07	2.41	380.52
1979	1,232	9,104	1,129	8,702	1,489.7	10,170.6	76.72	523.79	65.30	445.82
1980	2,171	11,275	2,063	10,765	2,867.0	13,037.6	147.65	671.44	125.67	571.49
1981	3,531	14,806	3,431	14,196	4,113.0	17,150.6	211.82	883.26	180.29	751.78
1982	3,718	18,524	3,590	17,786	4,409.6	21,560.2	227.09	1,110.35	193.29	945.07
1983	3,778	22,302	3,619	21,405	4,273.9	25,834.1	220.11	1,330.46	187.34	1,132.41
1984	3,710	26,012	3,613	25,020	4,308.0	30,142.1	221.86	1,552.32	188.83	1,321.24
1985	2,795	28,807	2,697	27,717	3,318.5	33,460.6	170.90	1,723.22	145.46	1,466.70
1986	2,933	31,740	2,802	30,519	3,691.8	37,152.4	190.13	1,913.35	161.82	1,628.52
1987	3,011	34,751	2,919	33,438	3,635.3	40,787.7	187.22	2,100.57	159.35	1,787.87
1988	2,861	37,612	2,553	35,991	4,294.2	45,081.9	221.15	2,321.72	188.23	1,976.10
1989	2,857	40,469	2,756	38,747	4,141.7	49,223.6	213.30	2,535.02	181.55	2,157.65
1990	2,243	43,326	2,155	40,902	3,110.4	52,334.0	160.17	2,695.19	136.33	2,293.98
1991	2,599	45,925	2,490	43,392	3,692.6	56,026.6	190.17	2,885.36	161.86	2,455.84
1992	2,070	47,995	1,965	45,357	2,908.9	58,935.5	149.81	3,035.17	127.51	2,583.35
1993	2,549	50,544	2,403	47,760	3,518.9	62,452.4	181.22	3,216.39	154.24	2,737.59
1994	2,538	53,082	2,407	50,167	3,265.8	85,738.2	168.18	3,386.57	143.15	2,880.74

표 2.1-6. 연구로-2호의 목적별 시료 조사 실적(1993)

목적		월												총계
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
동위원소생산	Tc-99m	13	9	11	13	12	5	3	11	13	11	12	13	126
	Au-198	8	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	2	45
	Ir-192	1	1	2	1	-	-	1	2	1	1	-	-	10
	I-131	16	5	6	6	10	8	8	10	7	10	8	9	103
	P-32	2	1	-	1	1	-	1	-	1	-	-	-	7
	Na-24	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2
	Cr-51	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	Lu-177	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
	Dy-165	3	2	3	5	2	3	5	5	4	4	4	4	44
	Rb-86	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
	K-42	2	2	2	6	4	1	2	3	2	2	2	1	29
	소 계	47	25	30	36	33	23	24	35	31	30	28	29	371
	방사화분석	55	41	98	56	41	24	92	17	26	60	95	43	648
실험	9	7	24	6	3	5	2	6	1	5	6	22	96	
기타	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	3	
소 계	64	48	122	62	44	29	94	24	28	66	101	65	747	
총 계	111	73	152	98	77	52	118	59	59	96	129	94	1,118	

표 2.1-7. 연구로-2호의 시설별 조사 실적(1993)

시 설	목 적	건 수
중 심 공 (Central Thible)	동위원소 생산	48
	실 험	1
	방사화 분석	-
노심내 조사공 (In-core Irradiation Pipe)	동위원소 생산	233
	분 석	17
	실 험	5
조 사 시 설 (Out-core Irradiation Pipe)	동위원소 생산	91
	방사화 분석	200
	실 험	45
	추 적 자	1
기 송 관 장 치 (Pneumatic Transfer System)	방사화 분석	431
	실 험	44
	동위원소 생산	-
열 증 성 자 주 (Thermal Coulumn)	방사화 분석	-
	실 험	-
기 타	실 험	2
총 계		1,118

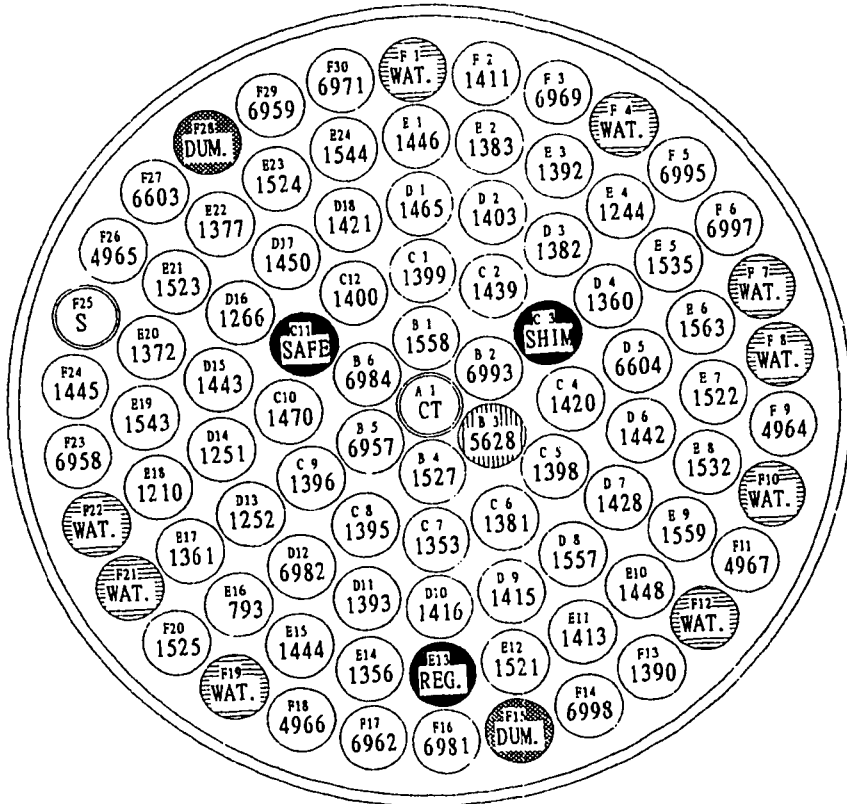
표 2.1-8. 연구로-2호의 원자로심 변화(1994)

항 목	전위치	이 동 사 항 (날짜)	현위치
Irr. Pipe	신설	노내 조사공 설치 (5/23)	G-14
Irr. Pipe	"	"	G-15
Irr. Pipe	"	"	G-17
Irr. Pipe	G-15	조사공 제거 (11/7)	수조
8757	신연료	반응도 조절 추가 장전 (11/7)	G-15

표 2.1-9. 연구로-2호의 예기치 않은 원자로 운전 중단 사례(1994)

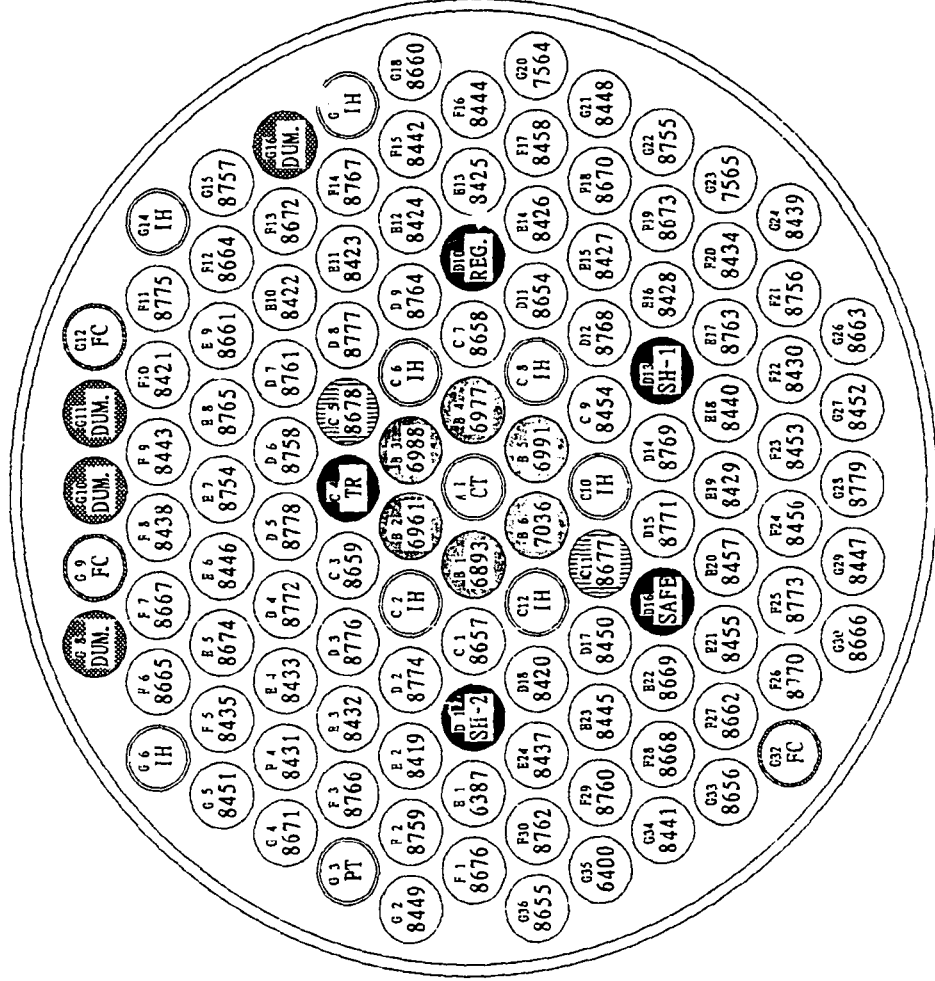
원 인	건 수
정 전	9
제어봉 계통 불량	3
핵연료 온도 계통 불량	4
냉각계통 고장	1
계	17





Date : 1993. 8. 16  
 CT : CENTRAL THIMBLE            WAT : WATER  
 DUM : DUMMY ELEMENT            PT : PNEUMATIC TUBE  
 S : NEUTRON SOURCE  
 $B(6) + C(10) + D(18) + E(23) + F(18) = 75$  ea

그림 2.1-1. 연구로-1호의 노심 구성(1994. 12 현재)



DATE : 1994. 12. 31  
 CT : CENTRAL THIMBLE  
 IH : IRRADIATION HOLE  
 DUM : DUMMY ELEMENT  
 B(6) + C(6) + D(18) + E(24) + F(30) + G(19) = 103 (EA)  
 FC : FISSION CHAMBER  
 PT : PNEUMATIC TUBE

그림 2.1-2. 연구로-2호의 노심 구성(1994. 12 현재)

## 제 2 절 원자로 보수

### 1. 연구로-1호(TRIGA Mark-II)

표 2.2-1은 연구로 1호의 월별 보수 현황과 냉각수 전기 전도도를 요약한 것이다. 보수 건수는 전자 16 건, 기계 8 건, 그리고 전기가 4 건등 총 28 건으로 예년과 비슷한 수준이다. 이들 보수 내용은 학생 실험실습을 위한 원자로 기동에 필요한 최소한의 보수로서, 냉각 계통, 천정 크레인 등과 같은 보수 요소가 그대로 남아있기 때문에, 현재 이 원자로는 특성 실험을 제외한 전체 계통을 가동해야 하는 출력 운전을 일체 중지하고 있다.

냉각수 전기 전도도는 연평균  $0.76 \mu\text{mho/cm}$ , 최고가  $0.85 \mu\text{mho/cm}$ 로서 수질은 매우 양호하였다.

### 2. 연구로-2호(TRIGA Mark-III)

연구로 2호의 월별 보수 현황과 냉각수 전기 전도도는 표 2.2-2와 같다. 보수 건수는 전자가 22 건, 기계가 42 건 전기가 26 건으로서 예년과 비슷하다. 원자로 냉각수의 전기 전도도는 평균  $0.90 \mu\text{mho/cm}$ , 최고가  $1.01 \mu\text{mho/cm}$ 로서 대체로  $1.0 \mu\text{mho/cm}$  이하를 유지하였다. 여름철의 냉각수 평균 온도 및 최고 온도는 이 기간 동안의 평균 출력이  $1.0 \text{ MW}$  정도로 다른 기간의 출력보다 낮음에도 불구하고 이상 기온 현상으로 인하여 최고치를 기록하였다. 보충된 원자로 수조 냉각수는 연간 총  $11,050 \text{ G/L}$  이다.

정기 검사 기간 동안에 원자력안전기술원의 입회 아래 열교환기 청소 및 보수 작업도 하였다. 현재의 열교환기 성능이 운영기술지침서에서 제시하고 있는 성능에는 미치지 못하고 있으나, 지난번 보수 작업 이후 추가적으로 파열된 세관도 없고 별다른 성능 저하도 없었기 때문에, 원자로 냉각 계통 성능으로 인한 안전성 확보에는 별다른 영향을 주지 않을 것으로 보고되었다.

'93년에 새로 설치한 천정 크레인은 전문 기관의 정기적인 점검 항목을 추가한 새로운 보수 지침서를 작성하고 이 절차서에 따라 9월에 (주)범우기계로부터 연간 점검을 실시하여 안전에 만전을 기하였다.

표 2.2-1. 연구로-1호의 월별 보수 현황(1994)

구분 월	보 수 (회)			점 검 (회)		냉각수 보충 (liter)	냉각수 전도도 ( $\mu\text{mho}$ )	
	기계	전기	전자	일일	주간		평균	최고
1	1	1	1	8	5	100	0.72	0.75
2	2	-	2	9	4	-	0.78	0.80
3	2	1	1	8	4	-	0.75	0.80
4	-	-	1	7	4	-	0.74	0.80
5	1	1	3	10	5	-	0.66	0.70
6	-	-	1	8	3	600	0.70	0.75
7	-	-	2	5	3	-	0.78	0.80
8	1	-	1	11	4	200	0.83	0.85
9	-	1	1	10	3	400	0.83	0.85
10	-	-	2	8	4	200	0.82	0.85
11	1	-	1	7	4	-	0.75	0.80
12	-	-	-	5	4	-	0.75	0.80
계	8	4	16	96	47	1,500	0.76	0.85

표 2.2-2. 연구로-2호의 월별 보수 현황(1994)

구분 월	보 수 (회)			점 검 (회)		냉각수 전도도 ( $\mu\text{mho}$ )		냉각수 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )		냉각수 보충량 (G/L)
	기계	전기	전자	일일	주간	평균	최고	평균	최고	
1	2	3	1	25	5	0.91	1.0	25.55	31.5	890
2	1	3	1	21	4	0.89	1.0	26.38	30.5	730
3	2	-	3	26	4	0.90	1.0	30.10	34.0	660
4	4	1	2	20	4	0.91	1.0	36.84	40.5	1,060
5	6	1	2	24	5	0.89	1.0	38.18	42.2	1,120
6*	14	6	1	11	2	0.94	1.01	40.67	42.8	620
7*	3	4	3	15	3	0.92	0.96	39.65	44.4	970
8	1	1	2	24	4	0.92	0.97	41.48	43.7	910
9	3	-	2	23	4	0.91	0.95	39.96	43.9	1,080
10	2	4	1	24	5	0.89	0.95	35.96	39.1	1,040
11	2	2	2	24	4	0.87	0.96	35.95	41.6	830
12	2	1	2	26	4	0.90	0.98	36.67	40.0	1,140
계	42	26	22	263	48	0.90	1.01	35.62	44.4	11,050

\* 연간 점검 기간

## 제 3 절 원자로 특성 분석

### 1. 연구로-1호 (TRIGA Mark-II)

표 2.3-1은 연구로 1호의 제어봉 특성을 나타낸 것이다. 각 제어봉 구동 속도 및 낙하 시간은 최근 측정치('93년도 정기검사)와 거의 같은 상태를 나타내고 있으며, Safety, Shim 및 Reg. 봉의 반응도가는 각각 3.44, 3.53 그리고 1.78 \$로 역시 최근 측정치와 큰 차이가 없다. 3개 제어봉의 총 반응도가는 8.75 \$이며, 초과 반응도 및 정지 여유도는 각각 1.58 \$와 3.64 \$이다. 그림 2.3-1 ~ 2.3-3은 각 제어봉에 대한 미·적분 반응도가 곡선을 나타낸 것이다.

표 2.3-2는 원자로 출력 상승에 따른 각 계기값의 변화와 원자로 반응도 변화를 나타낸 것이다. 출력 영역 감시기 및 대수 출력계의 변화를 그림 2.3-4와 2.3-5에 나타내었는데, 모두 양호한 선형성을 보이고 있다. 한편, 출력 상승에 따른 핵연료 온도 변화는 그림 2.3-6에, 초과 반응도 및 출력 결손은 그림 2.3-7에 각각 나타내었다.

그림 2.3-8은 열출력 계산을 위하여 일정 출력에서 시간에 따른 수조수 온도 상승을 측정된 실험 결과로서, 제어반에 설치된 온도 지시계의 값과 digital 온도계를 사용하여 직접 측정한 두가지 데이터를 이용했다. 실험 결과 현재의 출력값과 잘 일치되었으므로 별도의 보정 작업은 하지않았다.

### 2. 연구로-2호(TRIGA Mark-III)

표 2.3-3은 연구로 2호의 제어봉 특성을 나타낸 것이다. 5 개 제어봉 전체의 반응도가는 11.9 \$로 전년도에 비해 약 2 \$ 정도 감소하였고, 정지 여유도와 초과 반응도는 각각 6.30 \$ 및 2.99 \$이다. 현재 운전 출력인 1.5 MW에서의 출력 결손이 약 2.1 \$(그림 2.3-18 참조)이므로, 이 때의 초과 반응도는 불과 0.9 \$ 정도로 주말에는 5 개 제어봉이 거의 모두 뿔히게 된다. 각 제어봉에 대한 미·적분 반응도가 곡선은 그림 2.3-9 ~ 2.3-13에 각각 나타내었다.

제어봉의 구동 속도와 낙하 시간은 '93년도 최근 특성 실험시와 거의 비슷한 값을 보이고 있으나, 전체적으로 인출 시간은 짧아진 반면 삽입 시간이 조금 길어졌

다.

저출력에서 광대역 각 구간 사이의 선형성을 점검한 결과를 그림 2.3-14에 나타내었는데, 이는 원자로 출력이 안정 주기를 갖고 지수 함수적으로 증가할 때 시간에 따른 광대역 출력계의 지시값을 나타낸 것이다. 300 W 이하의 계수율 측정 구간과 그 이상의 Campbell 방식 측정 구간 사이의 선형성이 양호한 상태이며, 온도 궤환 효과가 나타나기 전까지는 전체적인 선형성도 양호한 상태이다.

표 2.3-4는 원자로 출력 변화에 따른 각 계통의 계기값과 반응도 변화를 나타낸 것이고, 그림 2.3-15 ~ 2.3-18은 이들 자료를 그래프로 나타낸 것이다.

출력 변화에 따른 대수 출력계의 변화는 그림 2.3-15, 백분율계의 변화는 그림 2.3-16에 각각 나타내었는데, 모두 양호한 선형성을 보이고 있다.

그림 2.3-17는 출력에 따른 핵연료 온도 변화를 나타낸 것으로 예년과 마찬가지로 C-5와 C-11 링의 계측 연료봉에 의한 핵연료 온도를 측정하였다. 그림에서와 같이 현재의 운전 출력인 1.5 MW에서 최대 온도가 450 °C 이하이고, 이 원자로의 최대 출력인 2 MW에서도 운전 제한치인 600 °C 이하의 값을 예상할 수 있으므로 충분한 안전 여유를 확보하고 있다.

그림 2.3-18은 원자로 출력 상승에 따른 출력 결손과 초과 반응도의 변화를 나타낸 것이다. 운전 출력 1.5 MW에서의 초과반응도가 0.9 \$ 정도이기 때문에, 이 출력으로 주중 연속적인 연장 근무는 불가능하다. 현재 연장 근무는 목요일부터 토요일 까지만 허용하고 있으며, 부득이 그 이상의 연장 근무가 필요한 경우에는 출력을 낮추어 운전하고 있다.

그림 2.3-19는 출력 보정 실험의 결과로서 원자로 수조 내 여러 곳에 K-형 열전대를 설치하여 연구로 1호에서와 같이 수조 열용량을 측정하는 방법을 이용하였다. 실험에서는 수소수 온도 측정을 위하여 모두 7개의 열전대를 사용하였으나, 2개는 열전대 상태에 문제가 있어 출력 평가에는 사용하지 않았다. 각각의 결과는 최소자승법으로 fitting하여 그 기울기로 부터 열출력은 산정하고, 그 결과를 바탕으로 출력계를 보정하였다.

표 2.3-1. 연구로-1호의 제어봉 특성

제어봉	제어봉가(\$)		삼입시간(sec)		인출시간(sec)		낙하시간(msec)	
	1992	1994	1992	1994	1992	1994	1992	1994
Safety	3.48	3.44	74.73	74.95	78.65	76.49	402	411
Shim	3.56	3.53	76.41	76.48	79.46	76.36	406	418
Regulating	1.75	1.78	75.47	75.76	78.00	78.36	408	422
계	8.79	8.75	X	X	X	X	X	X

초과 반응도 : 1.58 \$

정지 여유도 : 3.64 \$



표 2.3-2. 연구로-1호의 출력에 따른 각 계기값과 반응도 변화

출력 (kW)	출력영역 감시기	대수출력	핵연료온도 (°C)	출력 결손 (\$)	초과반응도 (\$)
0.01	-	-	-	0.00	1.58
0.5	-	$4.5 \times 10^2$	15	0.01	1.57
1	-	$9.2 \times 10^2$	16	0.02	1.56
10	0.3	$9.4 \times 10^3$	27	0.11	1.47
20	0.6	$2.0 \times 10^4$	38	0.17	1.41
30	0.9	$2.9 \times 10^4$	47	0.23	1.35
40	1.2	$3.8 \times 10^4$	56	0.28	1.30
50	1.6	$4.9 \times 10^4$	65	0.33	1.25
60	1.9	$5.9 \times 10^4$	73	0.37	1.21
70	2.2	$6.9 \times 10^4$	80	0.41	1.17
80	2.5	$8.0 \times 10^4$	88	0.45	1.13
90	2.8	$9.0 \times 10^4$	96	0.49	1.09
100	3.1	$1.0 \times 10^5$	103	0.53	1.05
120	3.8	$1.2 \times 10^5$	117	0.61	0.97
140	4.4	$1.4 \times 10^5$	130	0.69	0.89
160	5.1	$1.6 \times 10^5$	143	0.77	0.81
180	5.7	$1.9 \times 10^5$	155	0.84	0.74
200	6.3	$2.1 \times 10^5$	166	0.92	0.66
220	7.0	$2.3 \times 10^5$	178	1.00	0.58
250	7.9	$2.5 \times 10^5$	194	1.12	0.46

표 2.3-3. 연구로-2호의 제어봉 특성

제어봉	제어봉가(\$)		삽입시간(sec)		인출시간(sec)		낙하시간(sec)	
	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994
Transient	2.20	1.93	35.14	35.25	37.11	36.48	0.73	0.81
Safety	2.72	2.50	44.93	44.39	49.81	44.39	0.45	0.52
Shim-1	3.07	2.58	45.41	45.08	51.52	45.08	0.53	0.56
Shim-2	2.91	2.49	45.44	45.17	51.04	45.17	0.60	0.62
Regulating	3.02	2.37	35.51	35.88	39.42	35.88	0.48	0.53
계	13.92	11.87						

초과 반응도 : 2.99 \$

정지 여유도 : 6.30 \$

표 2.3-4. 연구로-2호의 출력에 따른 각 계기값과 반응도 변화

출력 (kW)	대수 출력계 (%)		백분율계 (%)		핵연료온도(°C)		출력 결손 (\$)	초과반응도 (\$)
	LOG RECORDER	LOG METER	%-1	%-2	C-11	C-5		
0.001	$5.2 \times 10^{-4}$	$5.3 \times 10^{-4}$	-	-	49	38	0.0	2.99
0.5	$3.1 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-2}$	-	-	49	38	0.04	2.95
1	$5.1 \times 10^{-2}$	$5.2 \times 10^{-2}$	-	-	49	39	0.06	2.93
10	$5.1 \times 10^{-1}$	$5.2 \times 10^{-1}$	-	-	52	45	0.08	2.91
20	1.05	1.10	-	-	62	50	0.13	2.86
40	2.0	2.2	-	-	75	62	0.16	2.83
60	3.0	3.3	-	-	90	76	0.20	2.79
80	4.05	4.1	-	-	100	88	0.25	2.74
100	5.05	5.1	5.0	5.0	110	95	0.27	2.72
200	10.5	11	11.0	11.0	160	147	0.48	2.51
400	20	21	20.5	21.0	230	216	0.86	2.13
600	30	31	30.0	31.0	277	262	1.14	1.85
800	40	41	40.3	41.0	320	310	1.36	1.63
1000	50	51	50.5	51.0	360	350	1.56	1.43
1200	60	61	60.0	61.0	388	385	1.79	1.20
1500	70	76	75.0	76.0	430	428	2.09	0.90

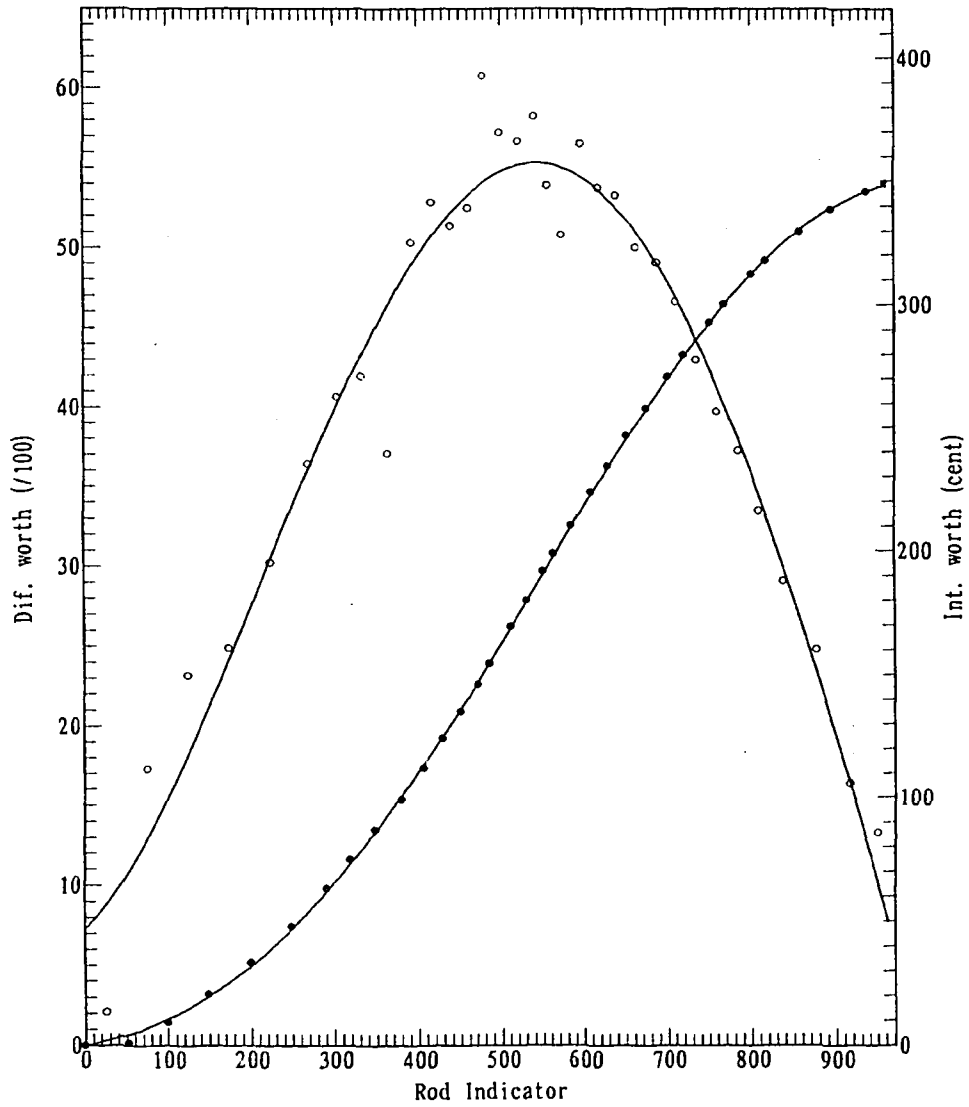


그림 2.3-1. 연구로-1호 Safety Rod의 미적분 반응도가

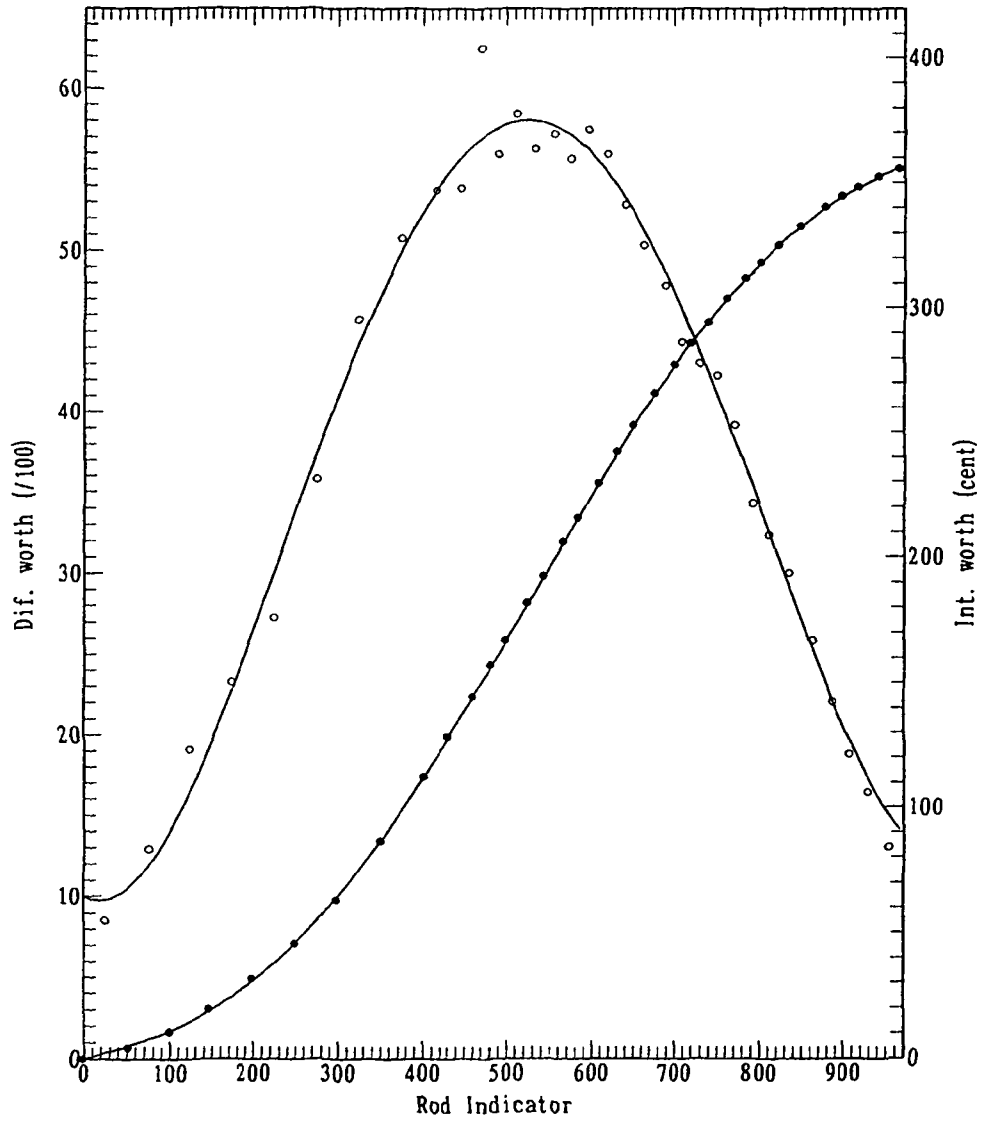


그림 2.3-2. 연구로-1호 Shim Rod의 미적분 반응도가

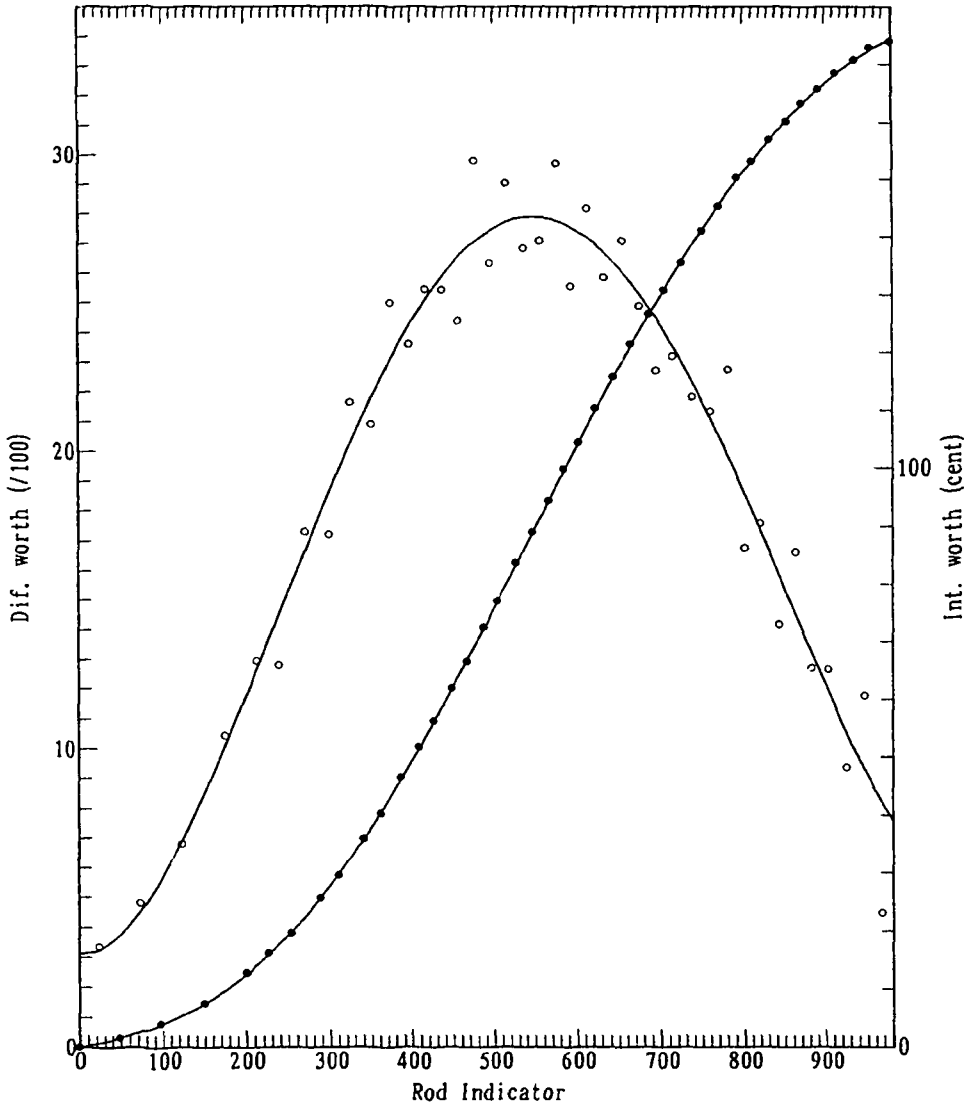


그림 2.3-3. 연구로-1호 Regulating Rod의 미적분 반응도가

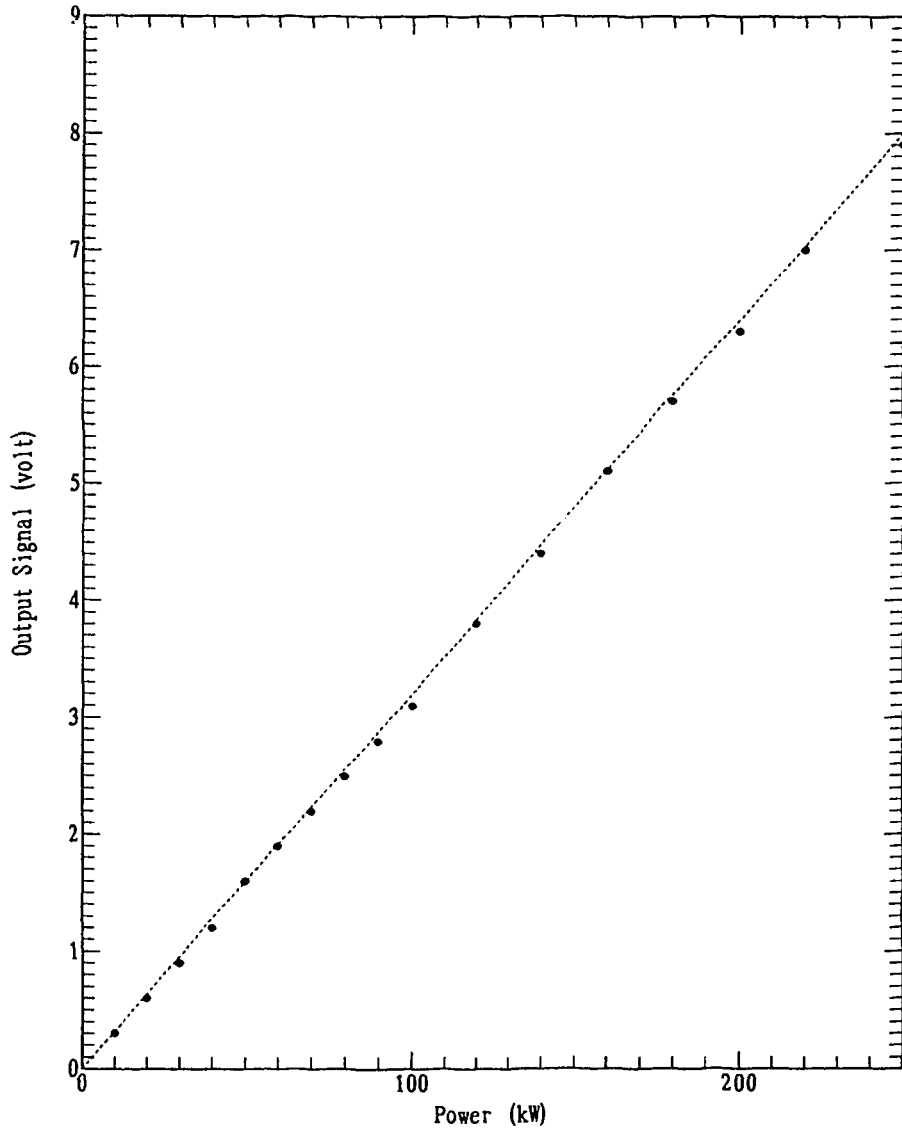


그림 2.3-4. 연구로-1호 출력영역감시기의 선형도

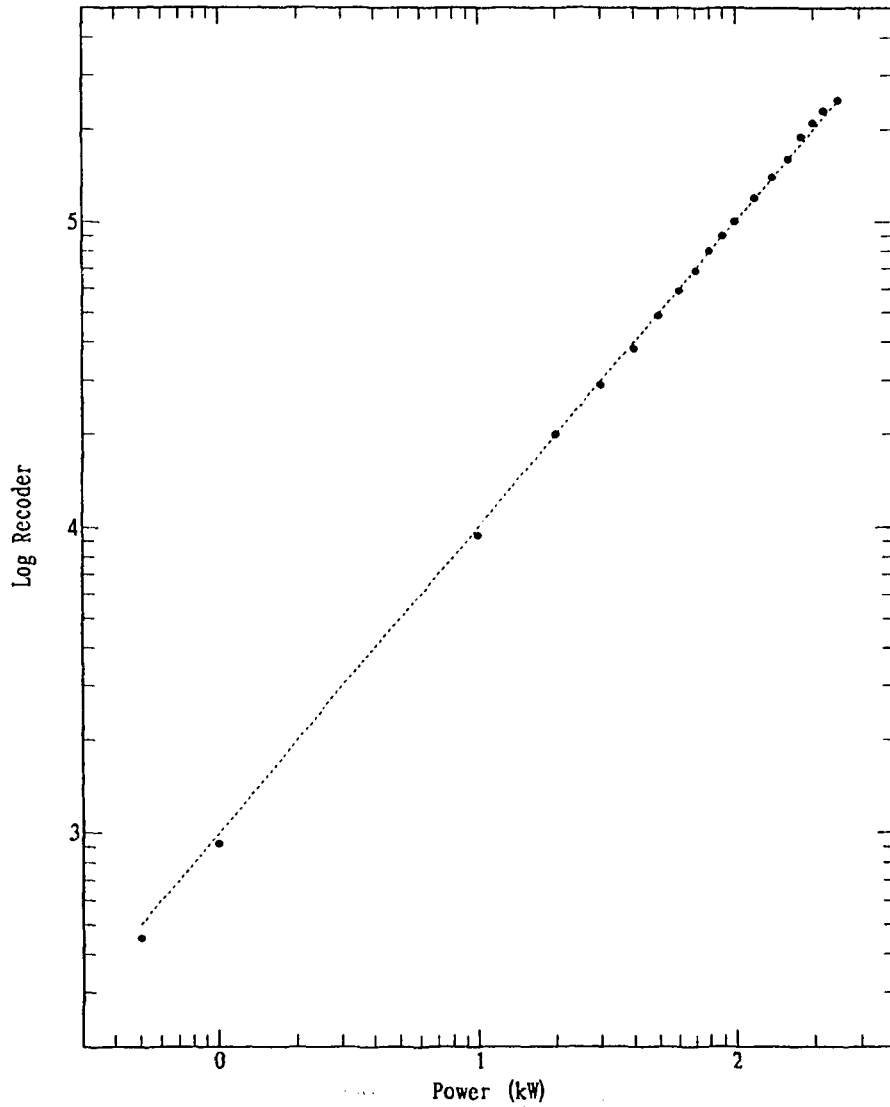


그림 2.3-5. 연구로-1호 대수출력계의 선형도



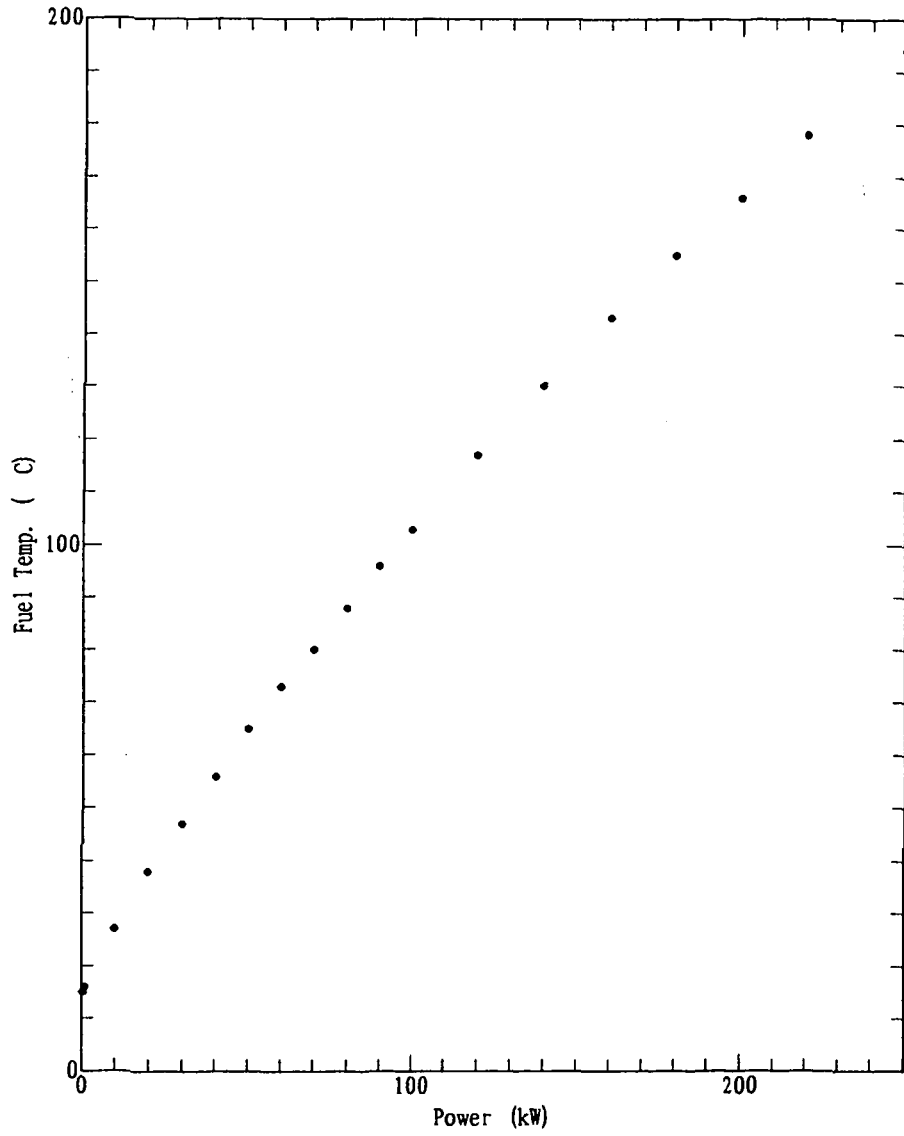


그림 2.3-6. 연구로-1호의 출력에 따른 핵연료 온도 변화

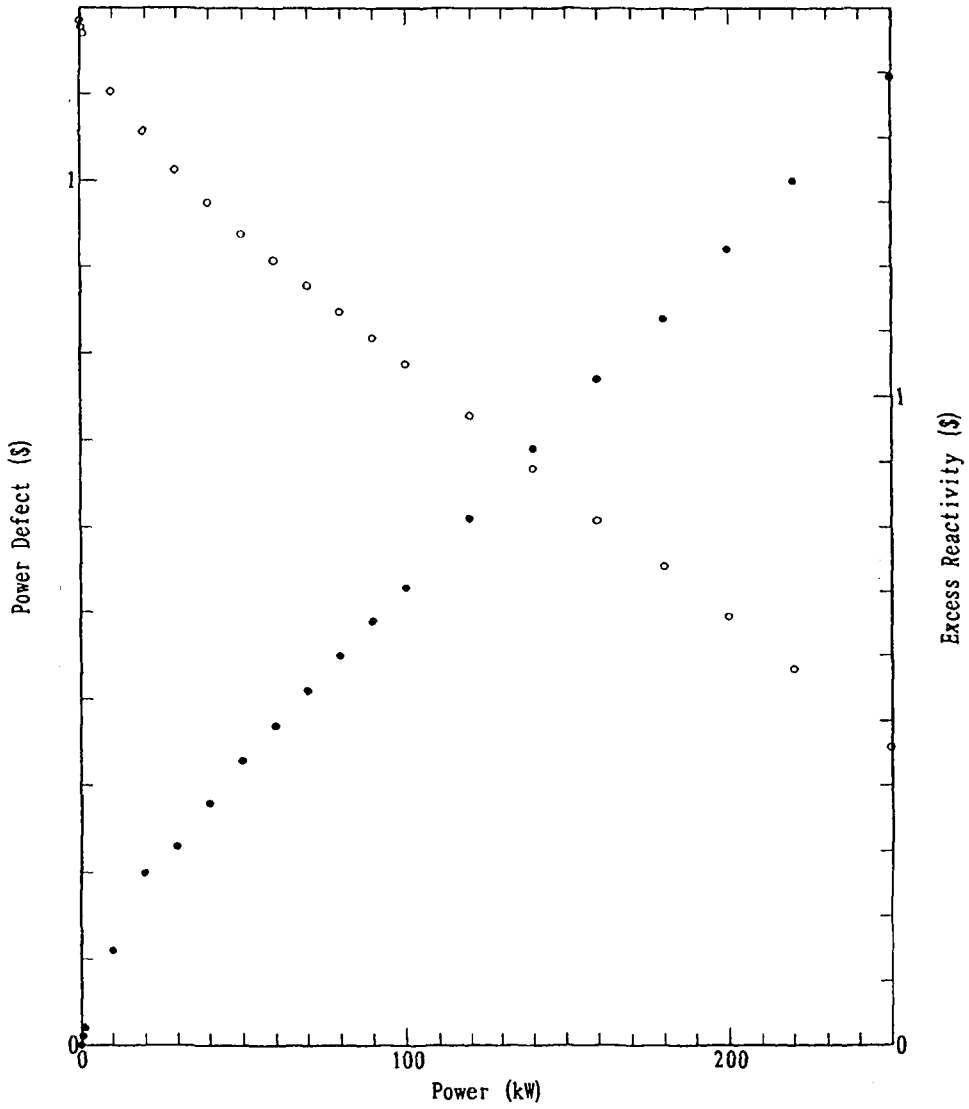


그림 2.3-7. 연구로-1호의 출력에 따른 초과반응도가 변화

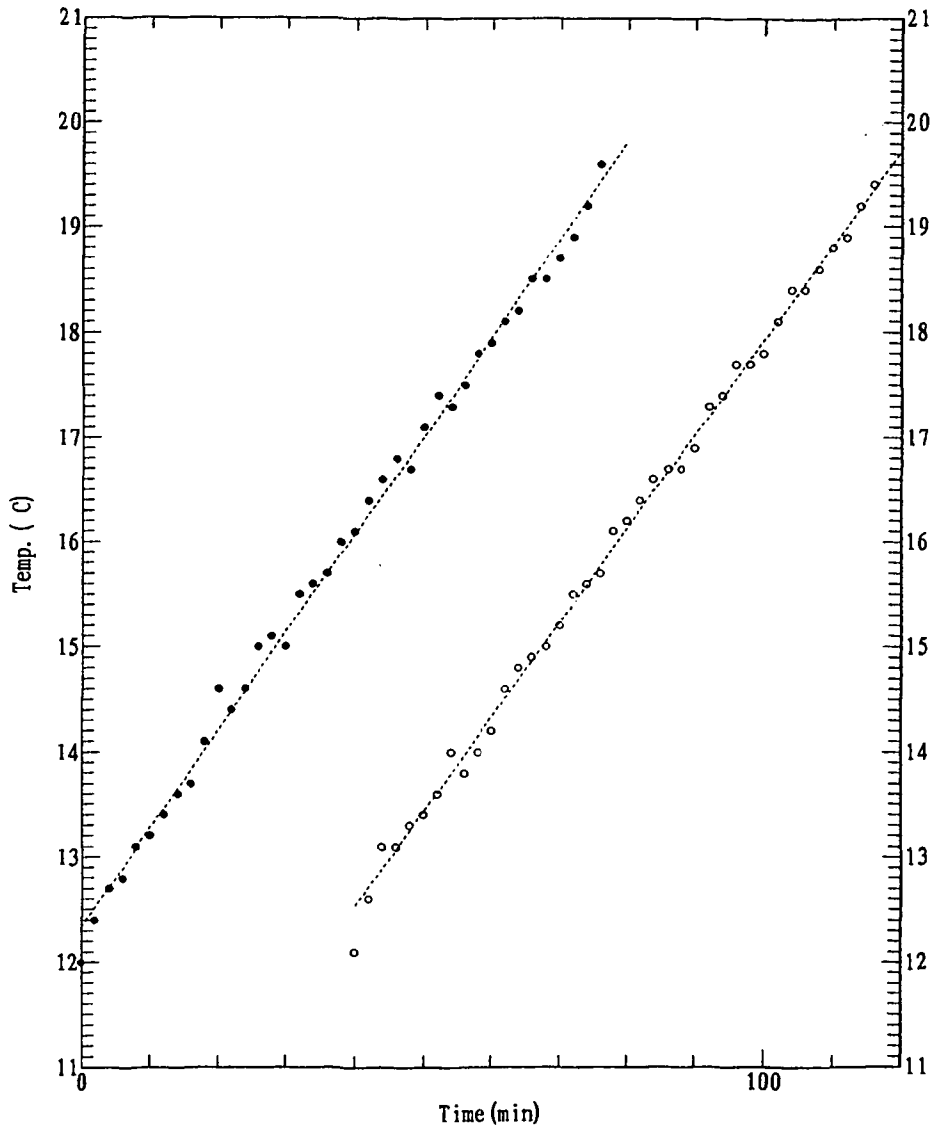


그림 2.3-8. 연구로-1호 출력고정 실험시 수조 온도 상승(100 kW)

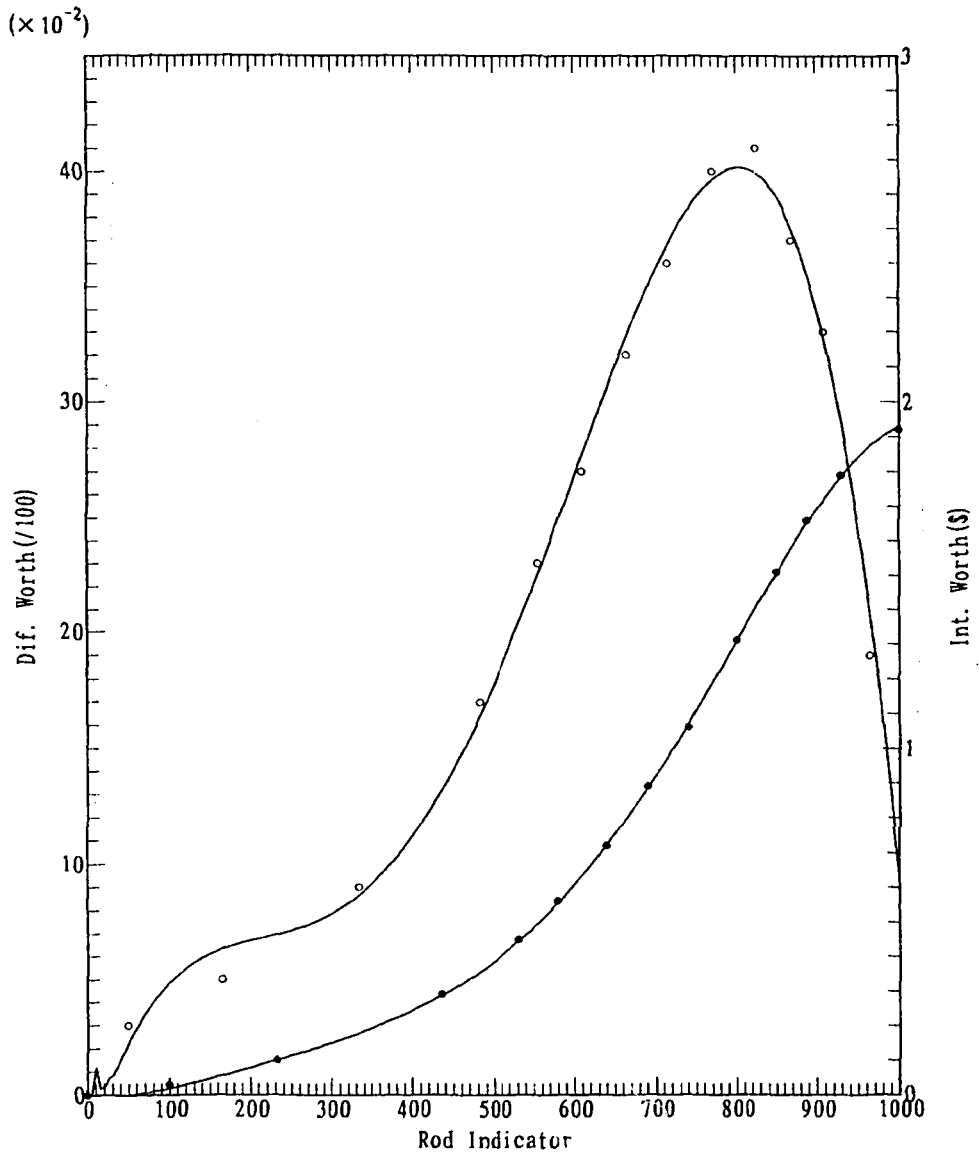


그림 2.3-9. 연구로-2호 Transient Rod의 미적분 반응도가

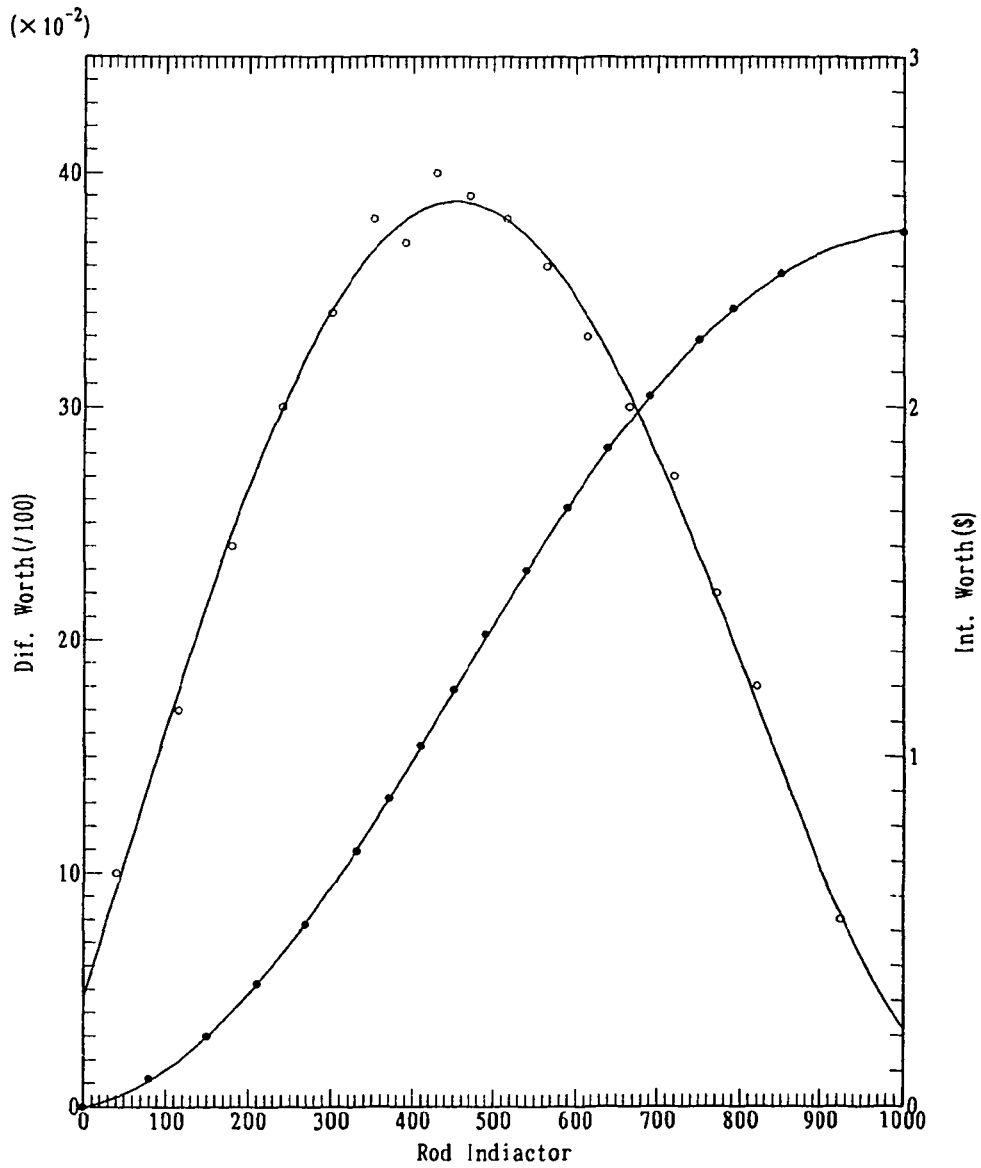


그림 2.3-10. 연구로-2호 Safety Rod의 미적분 반응도가

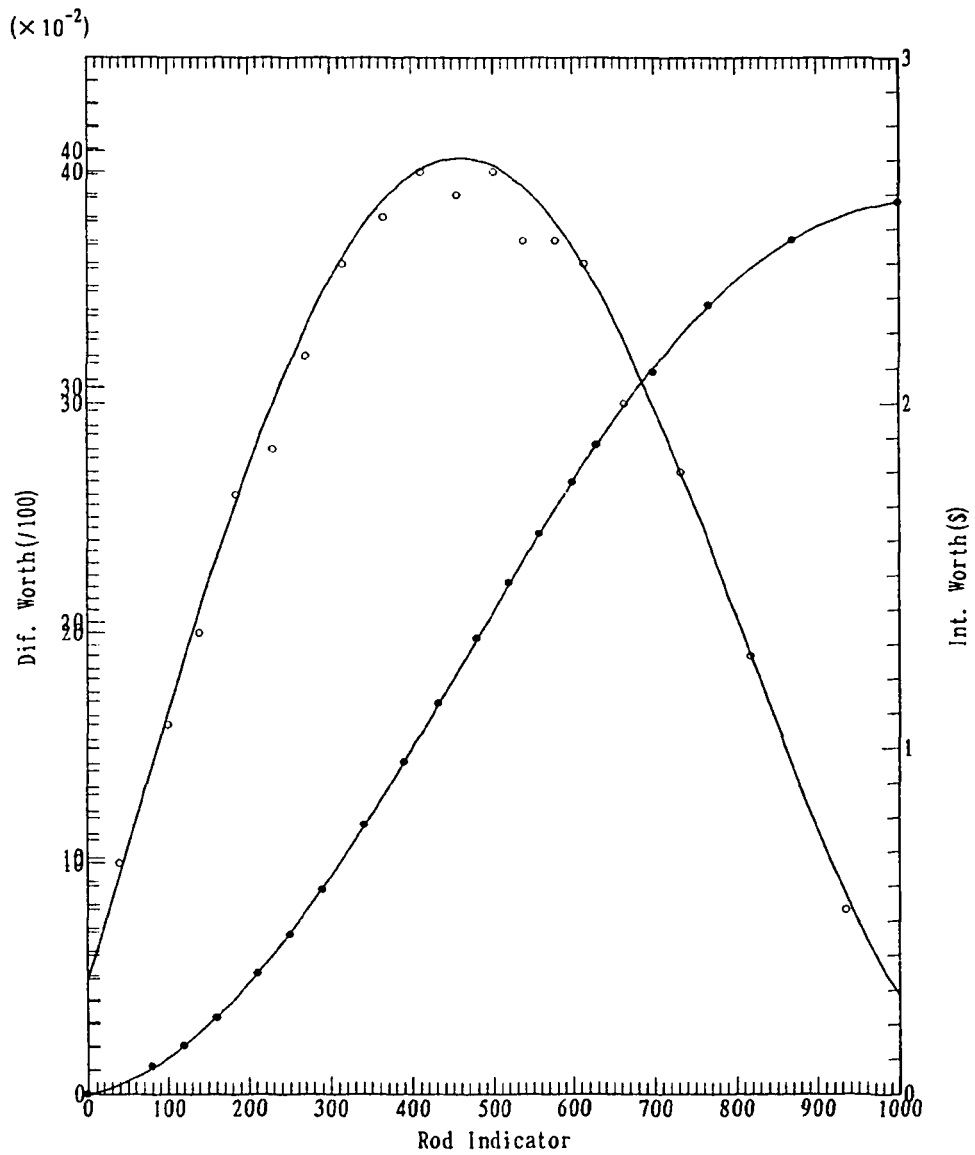


그림 2.3-11. 연구로-2호 Shim-1 Rod의 미적분 반응도가

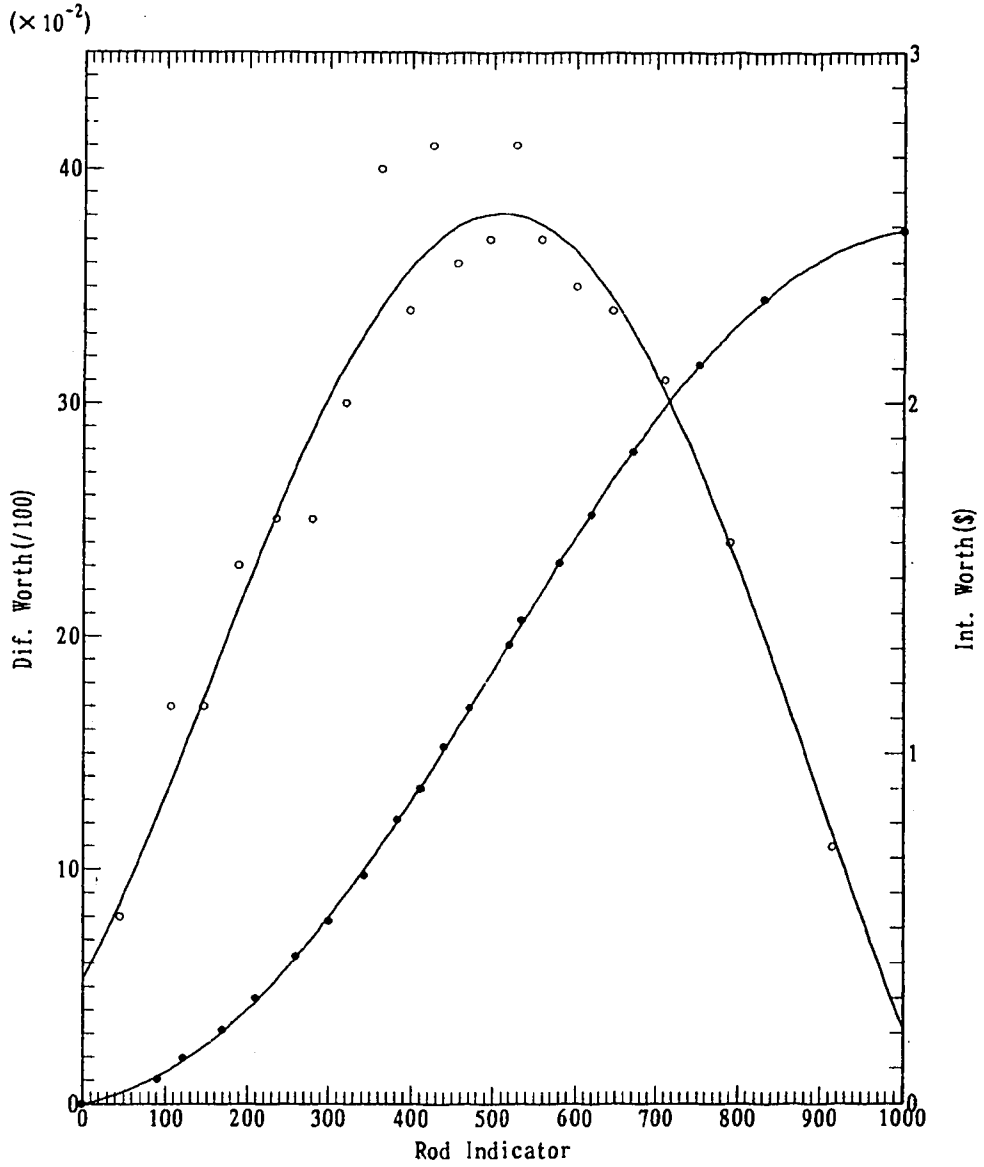


그림 2.3-12. 연구로-2호 Shim-2 Rod의 미적분 반응도가

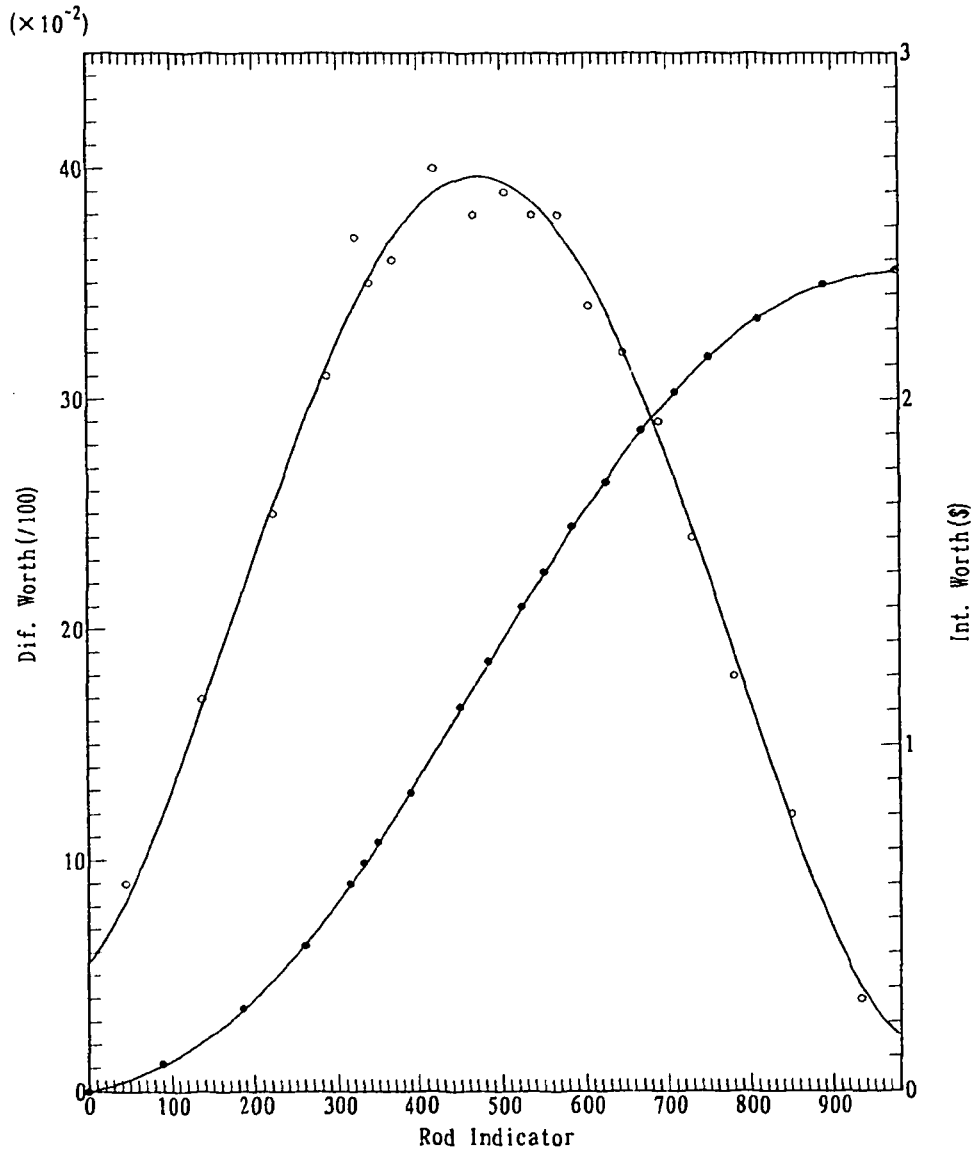


그림 2.3-13. 연구로-2호 Regulating Rod의 미적분 반응도가



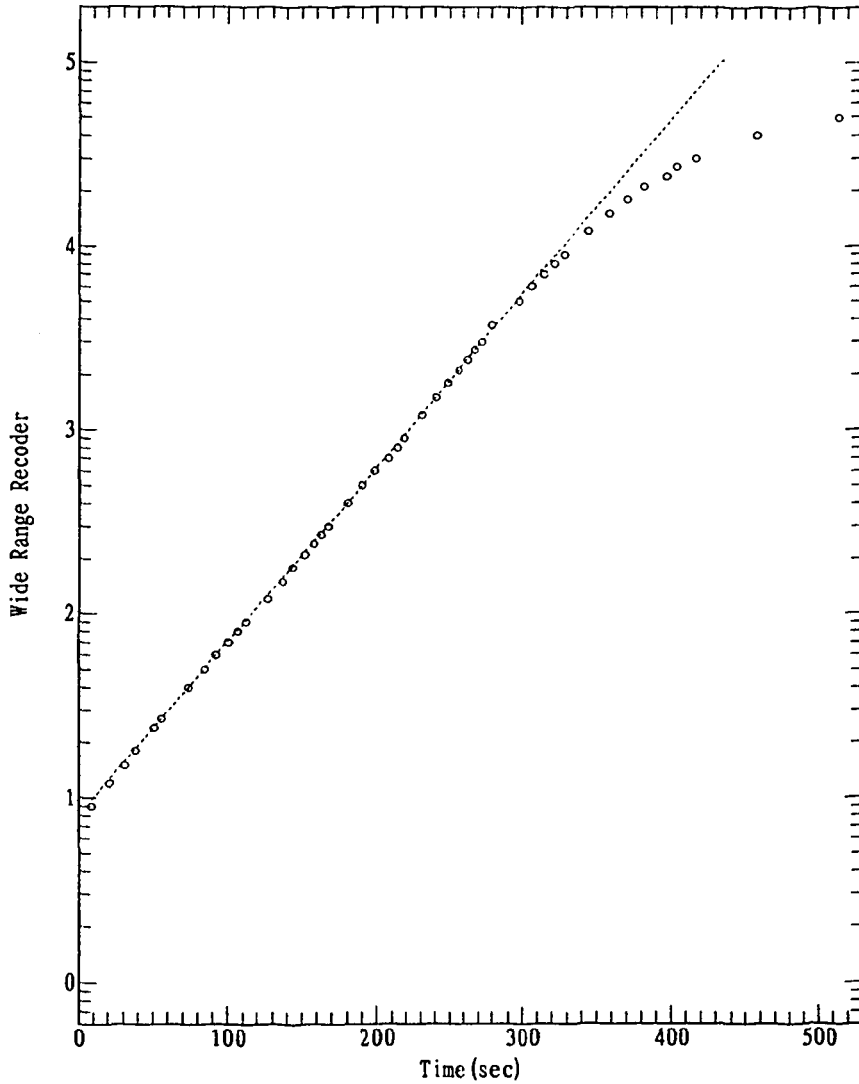


그림 2.3-14. 연구로-2호의 시간에 따른 광대역 출력계(wide range linear power recoder)의 출력 지시(반응도 15 cent)

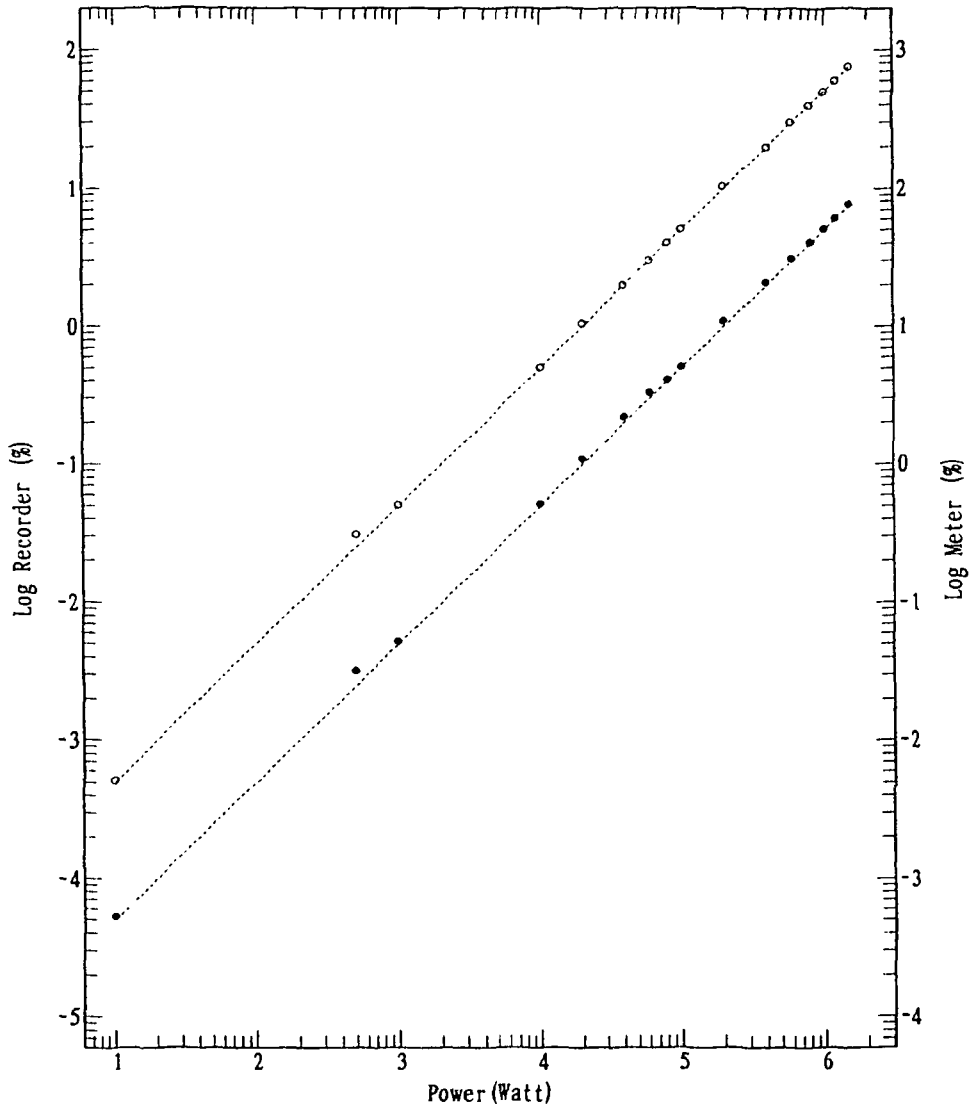


그림 2.3-15. 연구로-2호 대수출력계와 선형계의 선형도

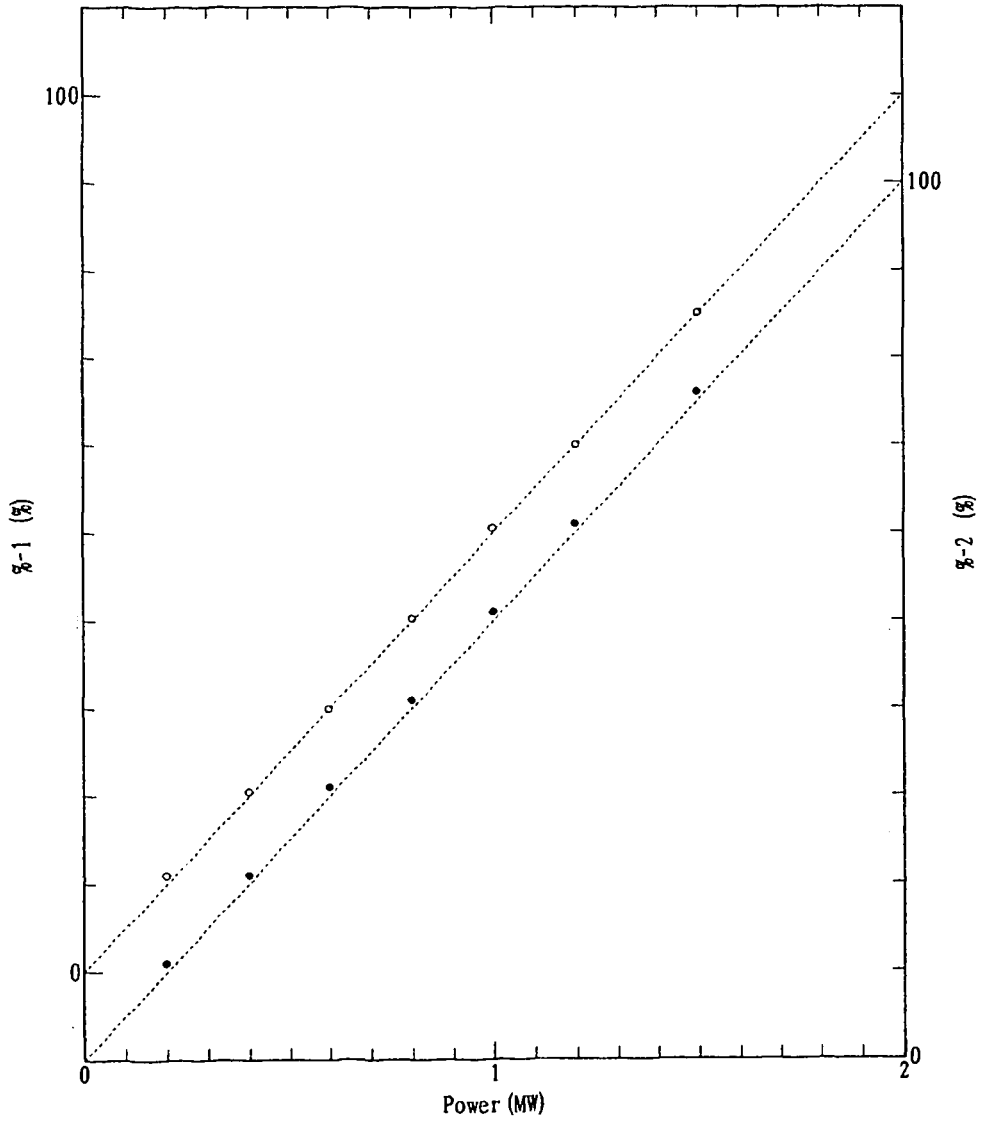


그림 2.3-16. 연구로-2호 백분율계의 선형도

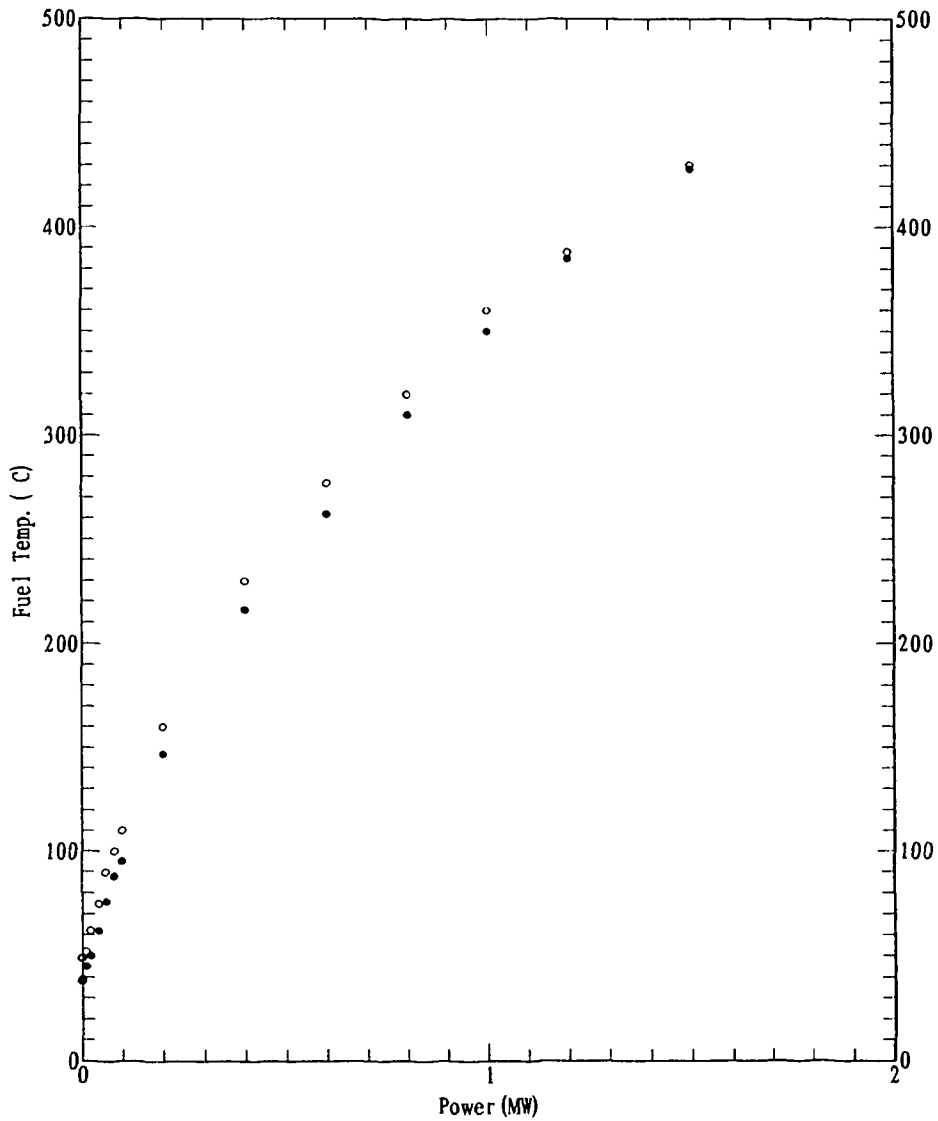


그림 2.3-17. 연구로-2호의 출력에 따른 핵연료 온도 변화

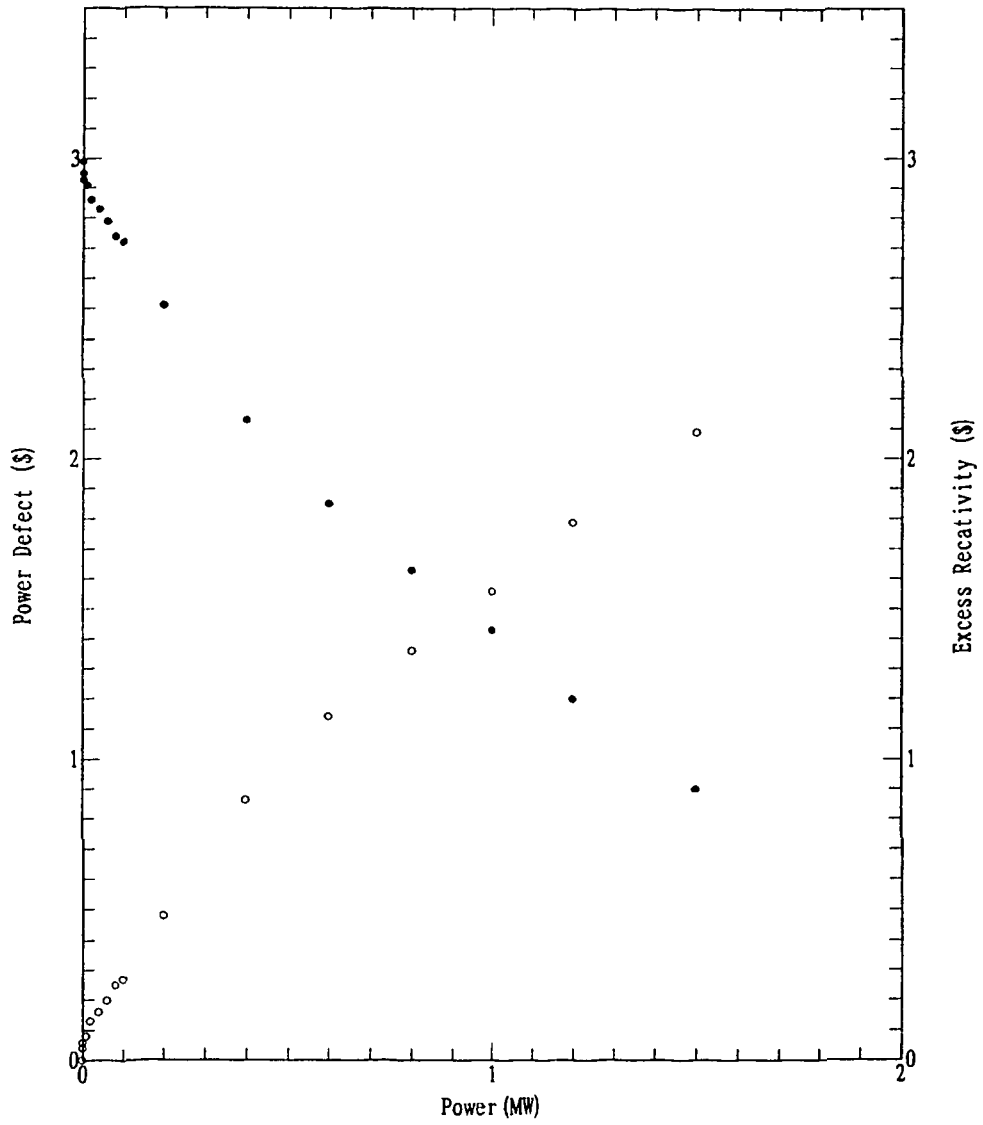


그림 2.3-18. 연구로-2호의 출력에 따른 초과반응도가 변화

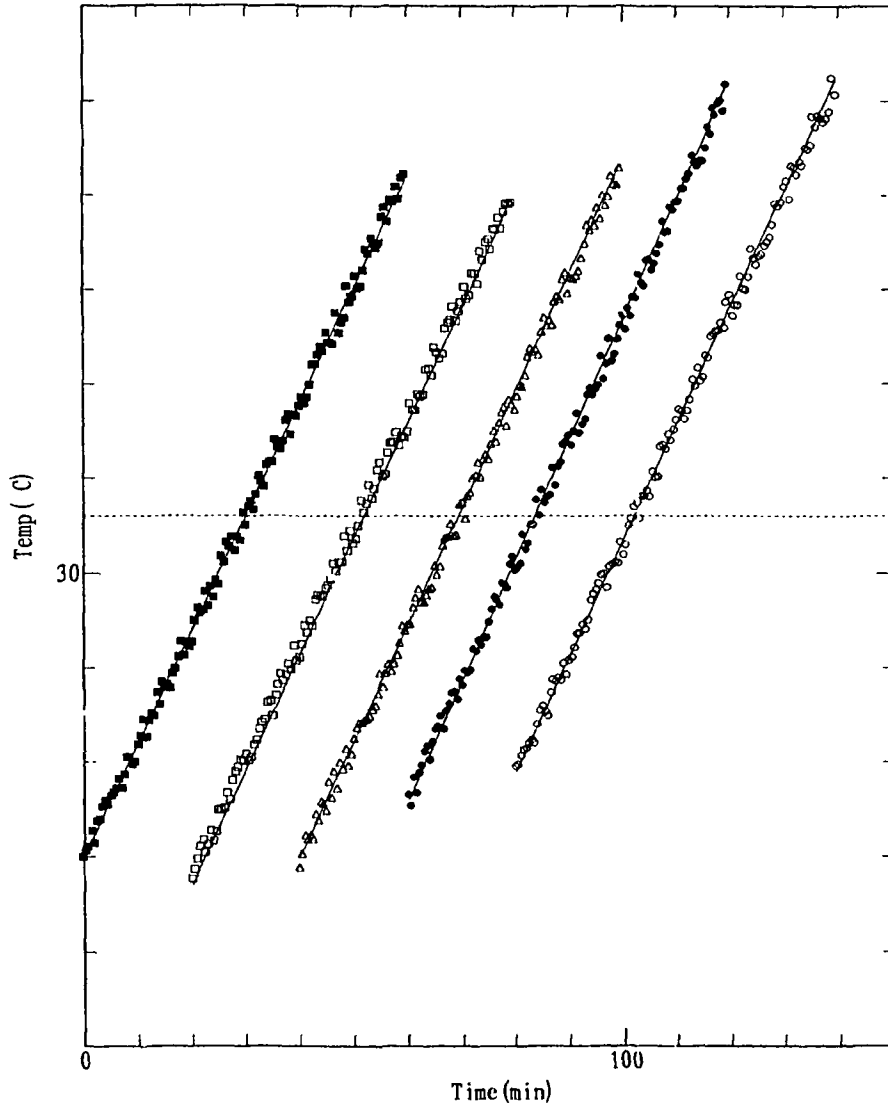


그림 2.3-19. 연구로-2호의 출력고정 실험시 수조 온도 상승(1.5 MW)

## 제 3 장 결론 및 건의 사항

'94년도 연구로 1호의 운전 실적은 총 206 시간의 운전에서 874 kWh의 열출력을 생산하였다. 그동안 연구로 1호는 학생 실험실습에 주로 이용되어 왔으며, 금년도 서울대와 한양대 원자핵(력)공학과 4학년 학생들을 대상으로 실시되었다. 예년과는 달리 실험과 관련한 비용 부담을 학교측이 지게 됨으로서 방학중 지방 대학의 실험 신청은 한 건도 없었다. 한양대의 경우에도 이 비용 문제로 2학기에만 실험에 참가하였다. 총 실험 학생수는 77 명, 실험 시간은 420 시간으로 예년에 비해 크게 줄어들었다. '95년도 중에 연구로 1, 2호의 가동 중지 방침에 따라 금번 실험을 마지막으로 연구로 1호를 이용한 학생 실험을 폐지하였으며, 이에 대한 대응책으로 방학 기간을 이용한 새로운 형태의 교육 방안이 연수원과 「하나로」를 중심으로 구상되고 있다.

연구로 2호의 총 운전 시간은 2,539 시간으로 전년도와 거의 비슷하나, 총 열출력량은 3,266 MWh로 약 10 % 정도 감소했다. 금년에는 정기 검사 기간을 제외하고는 특별히 장기간 운전 중지된 사례는 없었으나, 여름철의 이상 기온 현상으로 인하여 3개월 이상 정상 출력(1.5 MW)보다 낮은 1 MW 또는 1.2 MW로 운전 할 수 밖에 없었던 것이 주요 원인이다. 그럼에도 불구하고 원자로의 이용 실적은 지난 몇해 동안의 감소 추세에서 약간의 회복세를 보여 금년에는 동위원소 생산이 140여 건이 증가한 371 건의 조사 실적을 나타냈고, 방사화 분석 및 기타 실험을 위한 조사 건수도 증가하였다. 여러가지 개·보수 및 부품 교환 등의 요지가 많음에도 불구하고 각 계통의 성능 및 원자로 특성은 양호한 상태이다.

'95년 하반기에는 연구로의 운전을 중지하고 현재 보유중인 모든 핵연료봉을 대전 본소로 옮겨 보관한 후 두 연구로의 폐지를 신청할 계획이다. 그 후 연구로 1호는 기념관으로, 그리고 2호는 해체 기술 개발을 위하여 각각 활용될 계획이다. 따라서, '95년도에는 핵연료 수송, 폐지 신고 등과 관련한 준비가 이루어져야 한다. 현재 핵연료 수송과 관련한 각종 절차서 등을 작성하고 있으나, 수송 용기의 사용 허가, 연구로 1호 천정 크레인의 교체 타당성 논란 등 선결해야 할 문제들이 많다. 특히 수송 용기 문제는 보유하고 있는 용기들이 모두 80년대 초반에 제작

된 것이기 때문에 새로 제정된 원자력법에 따라 재사용 검사를 받아야 하는 부담이 있다. 또한 연구로 1호 크레인도 '93년 이후 사용 중지 조치된 상태이므로 수송 용기에 핵연료 장전을 위해서는 크레인 교체가 필요한 실정이나 소요 예산에 비해 활용의 여지가 작다는 점을 고려하여 이를 대응할 수 있는 방법을 구상중이다.

이제 연구로 1, 2호의 수명이 얼마 남지않은 시점에서 지난 30여년 동안의 연구로 운영 및 이용 결과에 대한 냉철한 분석을 통하여, 이것이 새롭게 탄생하는 「하나로」의 발전에 밑거름이 될 수 있어야 하겠다.



서 지 정 보 양 식						
수행 기관 보고서 번호	위탁 기관 보고서 번호	표준 보고서 번호	INIS 주제 코드			
KAERI/MR-	/94					
제목 / 부제	연구용 원자로 1호 및 2호 운영					
연구 책임자 및 부서명	서두환(원자로관리실)					
연구자 및 부서명	박상준(원자로관리실), 이재풍(*), 오삼용(*), 김영주(*), 김종국(*), 강태진(*), 염기홍(*), 구정민(*), 송병선(*), 신호철(*)					
발행지	서울	발행 기관	한국원자력연구소		발행 일	1995. 1
페이지	57 P.		도표	유(*), 무( )	크기	26 cm
참고사항	'94 특수 사업 과제					
비밀여부	공개(*), 대외비( ),	___급 비밀	보고서 종류	운영 보고서		
연구 위탁 기관				계약 번호		
초록 (300 단어 내외)	<p>'94년도 연구로-1호의 총 운전 시간과 열출력 생산량은 207 시간 및 874 kWh이며, 대부분 학생들의 실험실습에만 사용되었다. 전체 교육 인원은 서울대 30명 그리고 한양대가 47명이며, 총 교육 시간은 420 시간이다.</p> <p>연구로-2호는 동위원소 생산과 방사화분석 등을 위한 시료 조사에 이용되었으며, 총 2,539 시간 운전에서 3,266 MHW의 열출력을 생산하였다. 시료 조사 건수는 모두 1,118 건으로 동위원소 생산이 371 건, 방사화분석이 648 건, 기타가 99 건을 차지한다.</p> <p>연구로 1호 및 2호는 '95년 중으로 운전을 중지하고 신형 원자로인 「하나로」가 그 임무를 대신하게 된다. 이에 따라 '95년 부터는 연구로-1호를 이용한 학생 실험실습을 중지하기로 결정하였으며, 원자로 정지와 함께 현재 보유중인 모든 핵연료를 본소로 이송한 후 두 원자로는 폐지 신고할 계획이다. 현재 이에 대한 사전 준비 작업이 진행중이며, '95년도의 원자로 운영 과제도 여기에 쫓점이 마무리될 것이다.</p>					
주제명 키워드 (10 단어 내외)	연구용 원자로, TRIGA 원자로, 동위원소 생산, 방사화분석, 중성자공 실험, 원자로 실험					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.	Spensoring Org. Report No.	Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/MR- /94					
Title / Subtitle	Research Reactor No.-1 & No.-2 Operation				
Project Manager and Dep.	Doo Whan Suh (Reactor Operation Div.)				
Researcher and Dep.	S.J. Park(Reactor Operation Div.), J.P. Lee ("), S.Y. Oh(") Y.J. Kin("), J.K. Kim("), T.J. Kang("), G.H. Youm(") J.M. Goo("), B.S. Song("), H.C. Shin(")				
Pub. Place	Seoul	Pub. Org.	KAERI	Pub. Date	Jan, 1993
Page	57 P.	Fig. and Tab.	Yes(*), No( )	Size	26 cm
Note	'94 National Project				
Classified	Open(*), Outside( ), ____Class		Report Type	Management Reportr	
Sponsoring Org.			Contract No.		
Abstract (About 300 Words)	<p>The annual operation time and thermal output of Research Reactor No.1 were 207 hours and 874kWh in 1994, and the bulk of opration was for reactor training for university students.</p> <p>Research Reactor No.2 was used for sample irradiation for radioisotope production, activation analysis, etc., having 2,593 hours of annual opration time and 3,266 MWh of gross thermal output in this year. Number of samples irradiated was 1,118: 371 samples for radioisotope production, 648 samples for activation analysis and 99 for other purpose.</p> <p>It was plained Research Reactor No.1 and No.2 to be stopped sometime during next year, then a new reactor [HANARO] will take all misssions of these two reactors. Acoording to this policy, the reactor training course using reactor No.1 was decide to be called off from 1995, and all spent fuels will be transported to the storage pool of [HANARO]. Currently, preliminary arrangements for fuel transporting and disuse reporting for these two reactors are under operation, and reactor opertion project will place the pocus on this matter.</p>				
Subject Keywords (About 10 Words)	<p>Research reactor, TRIGA reactor, Raioisotope production, Activation analysis, Beamport experiment, Reactor training</p>				

연구용 원자로 1호 및 2호 운영

Research Reactor No. 1 & No. 2 Operation

1995 年 月 日 印刷

1995 年 月 日 發行

發行人 申 載 仁

發行處 韓國原子力研究所

大田 直隸市 備城區 德津洞 150

印刷人 大田 忠南 印刷工業協同組合

믿는마음 지킨약속 다져지는 신뢰사회