

개량형 노심보호연산기계통 개발
Development of Advanced Core Protection Calculator System

실시간 노심열수력모델 개선
On-Line Core Thermal-Hydraulic Model Improvement

KAERI
2007. 2

연구수행기관
한국원자력연구소

두산중공업(주)

비명



제 출 문

두산중공업(주)사장 귀하

본 보고서를 2004-2006년도 “개량형 노심보호연산기계통 개발” 과제의 위탁과제
“실시간 노심열수력모델 개선”의 최종(1단계) 보고서로 제출합니다.



2007. 2. 28

과 제 명 : 실시간 노심열수력모델 개선
과제책임자 : 인 왕 기
참 여 자 : 전 태 현
오 동 석
신 창 환
황 대 현
서 경 원

요 약 문

I. 제 목

실시간 노심열수력모델 개선

II. 연구의 목적 및 중요성

본 과제 목적은 4-개 수로 모델을 기반으로 하는 소수로(그룹수로) 해석코드인 CETOP-D를 개량형 노심보호연산기 계통(RCOPS)에 적용하는 것이다. CETOP-D 코드는 다양한 운전조건에서 DNBR을 빠르게 계산하기 위해 개발된 코드로 국내 표준원전에서 운용중인 노심보호계통(CPCS) DNBR 계산모듈(STATIC)의 참조용으로 활용된다. RCOPS 개발은 CPCS 국산화를 위한 것이므로 CPCS 핵심 알고리즘인 DNBR 계산모듈의 개선은 필수적이다.

III. 연구의 내용 및 범위

본 과제에서는 RCOPS의 최적 DNBR 계산방법을 선정하기 위하여 부수로 해석방법과 소수로(그룹수로) 해석방법을 비교하였다. 각각의 DNBR 계산방법을 이용하여 영광 3-4호기 초기노심의 다양한 CPC 운전조건에서 DNBR 계산을 수행하였으며 각 경우의 DNBR 계산 불확실도와 DNBR 여유도를 평가하였다. CETOP-D 코드의 RCOPS 적용을 위해서 코드 소스를 분석하여 실시간 DNBR 계산에 필요한 부분을 추출하였다. RCOPS DNBR 모듈의 입력변수와 출력변수는 CPC의 DNBR 모듈과 동일하도록 CETOP-D 코드를 수정하였다. DNBR 모듈은 복잡한 계산을 수행하므로 주요 계산내용에 따라 서브모듈로 나누었다. DNBR 모듈에 대한 기능설계요건서(Functional Design Requirements)를 작성하고 필요한 Database(DB) 상수(Constants)를 결정하였다. RCOPS 모의 전산코드의 FORTRAN DNBR 모듈(BEST)과 RCOPS DNBR 모듈을 이용하여 독립적인 DNBR 계산이 가능한 전산코드(RCOPS-SDNBR)도 각각 개발하였다. RCOPS에서의 실시간 DNBR 계산에 필요한 열수력모듈의 기능설계 및 DB 검증을 위해 검증시험을 수행하였다.

한편, RCOPS 알고리즘 개발은 KNFC, KAERI, KOPEC이 콘소시움을 구성하여 수

행하였다. 본 과제에서는 타 기관 주도의 알고리즘 개선내용을 독립적으로 검토하고 보완하였다. 각각의 알고리즘 개선내용을 통합하여 RCOPS의 기능설계요건서와 DB 문서를 생산하였다.

IV. 연구결과 및 활용계획

CETOP-D를 이용하여 RCOPS DNBR을 계산할 경우 DNBR 여유도는 약 2% ~3% 증가하는 것으로 예측되었으나 최종 DNBR 여유도 증가는 향후 RCOPS 계통의 전체불확실도 해석을 수행하여 결정될 것이다. RCOPS DNBR 모듈은 아홉(9) 개의 서브모듈로 구분하여 RCOPS 기능설계요건서를 작성하였다. RCOPS DNBR 모듈의 DB 상수를 각 서브모듈별로 각각 정의하였으며 관련 설계자료를 이용하여 DB 파일을 생성하였다. 한편, CETOP-D 코드를 수정하여 RCOPS DNBR 모듈의 FORTRAN 전산모듈을 개발하였다. RCOPS DNBR 모듈의 기능설계 검증시험을 위해 독립적인 DNBR 전산코드(RCOPS-SDNBR)도 개발하였다. CETOP-D와 RCOPS 열수력모듈 모사코드인 RCOPS-SDNBR의 DNBR 계산결과를 96개의 시험조건에서 비교한 결과 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 알고리즘의 오류정정과 모듈 최적화를 반영하여 RCOPS 기능설계요건서와 DB 문서의 수정본(ICPC-TR-06001 Rev. 02, ICPC-TR-06003 Rev. 02)을 발행하였다.

실시간 DNBR 계산방법은 원자로 노심보호계통의 핵심기술로 이 분야에 대한 기술 축적은 원자로 개발기술의 핵심기술 자립과 국제경쟁력 확보를 의미한다. 즉, 노심보호계통 핵심기술의 자립은 핵심 원전 안전계통인 노심보호계통의 국산화에 활용가능하다. 2단계 연구개발에서 RCOPS 계통 및 알고리즘에 대한 검증시험과 인허가 절차를 완료하면 신울진 1,2호기 등의 국내원전 후속호기에 RCOPS의 공급이 가능할 것으로 예상되며 가동중인 국내 표준원전 CPCS의 전면교체 또는 개량에도 활용할 수 있다. RCOPS를 위해 개선된 알고리즘은 독립적인 적용이 가능하므로 표준원전 CPCS 알고리즘을 대체할 수 있다.

SUMMARY

I . Project Title

On-Line Core Thermal-Hydraulic Model Improvement

II. Objective and Importance of the Project

The objective of this project is to implement a fast-running 4-channel based code CETOP-D in an advanced reactor core protection calculator system(RCOPS). The CETOP-D code was developed to quickly calculate a departure from nucleate boiling ratio(DNBR) at various operating conditions. It has been used as a reference DNBR calculation for a DNBR module(STATIC) in a Core Protection Calculator System(CPCS) which is operating at Korean Standard Nuclear Plants(KSNP). It is important to improve the DNBR module which is a core CPCS algorithm because the purpose of the RCOPS development is the localization of CPCS.

III. Scope and Contents of Project

This project compares the subchannel analysis and the 4-channel analysis in order to select an optimal DNBR module for RCOPS. The DNBR values were calculated at various CPC operating conditions using different analysis methods and their uncertainties and DNBR margins were estimated. The part required for the on-line calculation of DNBR were extracted from the source of the CETOP-D code based on analysis of the CETOP-D code. The CETOP-D code was revised to maintain the input and output variables which are the same as in CPC DNBR module. Since the DNBR module performs a complex calculation, it is divided into sub-modules per major calculation step. The functional design requirements for the DNBR module is documented and the values of the database(DB) constants were decided. This project also developed a Fortran module(BEST) of the RCOPS Fortran Simulator and a computer code RCOPS-SDNBR to independently calculate DNBR. A test was also conducted to verify the functional design and DB of thermal-hydraulic model which is necessary to calculate the DNBR on-line in RCOPS.

In addition, a consortium of KNFC, KAERI and KOPEC was formed to develop the RCOPS algorithm. This project performed an independent review of the algorithm improvements initiated by other groups. The functional design requirements and DB document for RCOPS were prepared by compiling all of the algorithm improvements.

IV. Result and Proposal for Applications

The DNBR margin is expected to increase by 2%-3% once the CETOP-D code is used to calculate the RCOPS DNBR. It should be noted that the final DNBR margin improvement could be determined in the future based on overall uncertainty analysis of the RCOPS. The DNBR module of the RCOPS functional design requirements is divided into nine(9) sub-modules. The DB constants of the RCOPS DNBR module are defined in each sub-module and the DB file was created using a design data. A Fortran module of the RCOPS DNBR module was developed by revising the CETOP-D code. An independent DNBR code(RCOPS-SDNBR) was also developed to verify the functional design of the RCOPS DNBR module. The comparisons of CETOP-D and RCOPS-SDNBR for the 96 test conditions showed a good agreement. The revisions of the functional design requirements and DB document for the RCOPS were issued to correct the typos and optimize the algorithm module.

Since the on-line calculation method of DNBR is a core technology of reactor protection system, the technology accumulation in this field means the localization of core technology in a reactor development and the establishment of international competence. In other words, the self-reliance of core technology in reactor development could be used to localize the core protection system which is a main safety system of nuclear power plant. Once the verification/validation and license for the RCOPS system and algorithm is completed in the second phase of this R&D project, the RCOPS could be supplied to the new Ulchin units 1 and 2, and replace or improve the CPCS in KSNPs in operation. Since the algorithm improvements in the RCOPS is possible to implement independent of hardware configuration, they could replace the CPCS algorithm in KSNPs.

목 차

요약문	iii
SUMMARY	v
목차	vii
표 목차	viii
그림 목차	viii
1. 과제개요	1
2. 연구개발의 필요성	1
3. 국내외 기술개발 현황	2
4. 연구개발 목표 및 달성도	4
5. 연구개발결과 활용방안	22
6. 연구성과	23
7. 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보	26
8. 본 과제 평가시 고려사항 또는 기타의견	26
부록 A: 최적 실시간 열수력모델 선정	27
부록 B: RCOPS DNBR 모듈(BEST) 기능설계요건서	42
부록 C: RCOPS DNBR 모듈(BEST) Database	88
부록 D: RCOPS DNBR 모듈 및 DB 검증시험 입력자료	94

표 목차

표 1 RCOPS DNBR 모듈의 입력변수 및 출력변수 정의	15
표 2 RCOPS DNBR 모듈의 서브루틴 목록 및 목적	15

그림 목차

그림 1. 개량형 노심보호계통(RCOPS) 알고리즘 흐름도	11
그림 2. RCOPS 계통 구성도(최종)	11
그림 3. RCOPS 계통 후보모형(통합형)	12
그림 4. RCOPS 계통 후보모형(분산형)	12
그림 5. RCOPS DNBR 모듈 기능설계 흐름도	16
그림 6. RCOPS DNBR 모듈의 FORTRAN 모듈 구조	16
그림 7. RCOPS DNBR 모듈의 핵심 서브모듈 6의 흐름도	17
그림 8. RCOPS DNBR 모듈의 검증시험 결과	20
그림 9. 노심 축방향 출력분포 예(RCOPS DNBR 모듈 검증시험)	20
그림 A1. TORC 코드 1단계 부수로 해석모델	36
그림 A2. TORC 코드 2단계 부수로 해석모델(핵연료다발 8번)	36
그림 A3. TORC 코드 3단계 부수로 해석모델	36
그림 A4. TORC 및 MATRA 단순 통합수로 해석모델	37
그림 A5. CETOP-D 4-그룹수로 해석모델	37
그림 A6. CE형 원자로 DNBR 계산방법의 검증절차	38
그림 A7. DNBR 계산방법에 따른 주요 연소도에서의 노심 최소 DNBR 비교	39
그림 A8. DNBR 오차 확률분포(MOC)	40
그림 A9. 노심 축방향 출력분포(ASI)에 따른 DNBR 오차 변화	40
그림 A10. CETOP-D 대비 CPC DNBR 오차 분포	41

평가용 최종보고서(위탁과제용)

1. 과제개요

사 업 명	원자력연구개발 중·장기계획사업	기 술 분 야	원전혁신분과	
단위과제명	개량형 노심보호연산기계통 개발			
위탁과제명	실시간 노심열수력모델 개선			
위탁 연구기관	한국원자력연구소	위탁연구책임자	인왕기	
총 연구기간 (단계, 년차)	2004.7.15 - 2007.2.28		연 참여인력	
	1단계 1-3년차			
1단계 연도별 신청연구비 (백만원)	2004	2005	2006	계
	70	65	63	198
특기사항	없음			

2. 연구개발의 필요성

가압경수로 사용하는 원자로보호계통의 유형에 따라 아나로그 발전소와 디지털 발전소로 구분된다. 국내원전의 경우 고리 1-4호기와 영광 1-2호기 등이 아나로그 발전소이며 영광 3-6호기, 울진 3-6호기 및 신고리 1-2호기 등이 디지털 발전소이다. 아나로그 발전소는 원자로보호계통으로 과출력(Overpower)/과온도(Overtemperature) $\Delta T(OP\Delta T/OT\Delta T)$ 보호계통을 사용하고 있으며 디지털 발전소의 경우 컴퓨터를 이용한 실시간 노심보호연산기계통(Core Protection Calculator System, CPCS)을 채택하고 있다. $OP\Delta T/OT\Delta T$ 와 CPCS는 모두 핵연료용융과 핵비등이탈(Departure from Nucleate Boiling, DNB) 현상으로부터 원자로를 안전하게 유지하기 위한 필수적인 노심보호계통이다. 아나로그 노심보호계통인 $OP\Delta T/OT\Delta T$ 는 측정된 노심압력, 노심 평균온도와 온도차(ΔT) 및 노심 상하부 출력편차로부터 각각 과출력 ΔT 와 과온도 ΔT 의 트립 설정치를 아나로그 회로를 이용하여 계산하여 원자로정지 여부를 판정한다. CPCS는 디지털 컴퓨터인 네(4)대의 노심보호연산기(Core Protection Calculator, CPC)와 두(2)대의 제어봉연산기(Control Element Assembly Calculator, CEAC)를 이용한 독립적인 네(4)개 채널로 구성되어 있다. 각 채널은 노심 운전조건에 대한 계측신호를 이용하여 핵비등이탈률(DNBR)과 선출력밀도(Local Power Density, LPD)를 실시간으로 계산하여 각각의 설계제한치를 위반시 원자로정지 신호를 발생시킨다. 4개의 CPCS 채널 중 2개 이상의 채널에서 원자로

정지신호가 발생하면 원자로가 정지된다. CPCS가 운용중인 국내 발전소는 영광 3-6호기와 울진 3-6호기의 8개 발전소이며 건설 계획 중인 한국표준형 경수로(KSNP)와 차세대 경수로(APR1400) 등에도 적용 예정이다.

현재 미국 및 국내 디지털 원자력발전소에 운용중인 디지털 노심보호계통인 CPCS에 대한 지금까지의 운전경험을 바탕으로 개선의 필요성이 제기되고 있으며 관련 핵심기술자립의 중요성도 증가하였다. 영광 3-4호기의 시운전 시험과 정상운전 중 발생한 다수의 CPC 채널트립 또는 원자로 정지원인을 살펴보면 제어봉 위치 검출기(Reed Switch Position Transmitter, RSPT)와 CEAC의 송/수신기 불량으로 인한 것으로 나타났다. 이것은 2채널의 RSPT/CEAC중 한 개의 채널에서 부품고장으로 인한 거짓신호가 발생하는 경우 CPC 채널트립 또는 원자로 정지가 발생할 가능성이 높기 때문이다. 이러한 CPCS 계통의 단점을 보완하여 불필요한 CPC 채널트립과 원자로 정지를 방지하기 위한 연구가 필수적이다. 더욱이 디지털 노심보호연산기는 1970년대 초에 당시 컴버스천 엔지니어링(CE)사에 의해 개발된 실시간 노심보호계통으로 DNBR과 LPD의 실시간 계산방법이 단순하고 지나치게 보수적이므로 노심 열적여유도를 감소시키는 요인으로 지적되고 있다. 원자로에 장전되는 핵연료 손상관련 주요인자인 DNBR의 실시간 계산은 가장 단순화된 보수적인 그룹수로 해석방법을 사용하고 있다. 따라서 노심보호연산기의 기능과 성능을 향상시켜 노심 열적여유도의 극대화를 꾀하고 원자로 운전원 감시업무의 부담도 최소화시키기 위한 CPC 알고리즘 개선, 특히 최적 계산모델을 이용한 실시간 DNBR 계산은 매우 중요하다.

3. 국내의 기술개발 현황

최근 미국의 웨스팅하우스는 CPCS를 개량한 Common Q CPCS를 개발하여 미국의 Palo Verde 발전소와 국내의 신고리/신월성 1,2호기에 적용하기 위해 인허가 심사를 받고 있다. Common Q CPCS의 주요내용은 제어봉연산기(CEAC)를 8개 채널로 늘리고 하드웨어를 Concurrent 3205 모델에서 Advant AC 160으로 변경한 것이다. 8개 채널의 CEAC을 사용함으로써 CEAC 단일고장에 의한 원자로정지 가능성을 줄였지만 제어봉위치신호 채널격리장치의 개수가 4배로 증가하는 문제점을 줄이기 위해 별도로 8개의 제어봉위치신호 프로세서(CEA Position Processor, CPP)를 추가하였다. 그러나 개발기간과 인허가 부담을 줄이기 위해 노심보호연산기의 기능향상을 위한 CPCS 알고리즘의 개선은 이루어지지 않았다.

원전계측제어시스템개발사업의 일환으로 수행된 노심보호연산기 개발 타당성검토 및 전략수립 과제(2002. 7 - 2003. 6)에서는 국내외 가동원전에 운용중인 CPCS의 교체와 신규원전의 적용을 위한 새로운 디지털 노심보호계통의 국산화 타당성과 가능성을 검토하고 개발방안과 실용화 전략을 수립하였다. 노심보호계통의 단일고장으로 인한 불

시 원자로정지의 방지와 원자력발전소의 이용률 향상을 위해 실시간 디지털 노심보호 계통의 하드웨어와 알고리즘의 개선이 필수적이다. 국내원전 8개 호기에 운용중인 CPCS의 주요부품은 단종되고 부품의 노후화와 예비부품의 부족으로 향후 하드웨어의 전면적인 교체가 필요한 실정이다. 그러나 현재 국내는 물론 세계적으로도 CPCS를 대체 공급할 수 있는 능력을 갖고 있지 못한 실정이다.

노심 DNBR 계산방법은 부수로(Subchannel) 해석방법과 그룹수로 해석방법으로 구별된다. 현재 가동원전에 운용중인 노심보호연산기(CPC)는 빠른 DNBR 계산을 위해 매우 단순하고 보수적인 그룹수로 해석방법을 사용하고 있다. CPC 개발시(1970년대 초)에 비해 컴퓨터의 성능이 매우 발달하였으므로 보다 상세한 계산방법을 이용한 최적 DNBR 계산이 가능하다. 따라서 상세 그룹수로 해석방법 또는 개선된 부수로 해석방법을 이용하여 계산도 빠르고 보다 정확한 DNBR 값을 얻기 위한 노력이 필요하다. 새로운 노심 DNBR 계산방법의 실용화를 위해서는 상세 그룹수로 해석방법과 부수로 해석방법을 비교-평가하여 그 적용성을 판단해야 한다. 원전설계사업 및 원자력연구개발사업을 통해 상용화된 노심 DNBR 해석방법 및 전산코드에 대한 기술력이 향상되어 관련 기술 선진국인 미국, 독일 및 프랑스 등과 대등한 기술수준을 갖고 있는 것으로 판단된다. 개선된 DNBR 계산모델의 실용화와 인허가를 위해서는 다양한 검증과정을 거쳐야 하므로 검증시험 자료의 생산과 철저한 시험결과 분석이 필수적이다. 새로운 검증시험 자료의 설계와 시험결과 분석을 위해서는 관련 원천기술에 대한 보다 깊은 이해와 인허가 경험이 요구된다. 그러나 국내 기술수준은 원천기술에 대한 종합적인 이해가 다소 부족하고, 특히 새로운 기술적용을 위한 인허가 경험이 많지 않은 것으로 사료된다. 더욱이 원전설계사업의 산업체 이관으로 국내 기술인력이 분산되어 과제목표를 달성하기 위해서는 효율적인 협동연구체제가 필요하다.

CPCS는 계측계통과 컴퓨터를 이용한 디지털 실시간 노심보호계통으로 원자로 안전을 위해서는 물론이고 불시 원자로정지를 방지하고 원자로 운전원에게 유용한 노심정보를 제공하여 발전소 이용률도 향상시키는 핵심 원자로 안전계통이다. 그러나 웨스팅하우스에 의한 CPCS 독점공급은 해외 기술 의존도를 심화시킬 뿐만 아니라 구매 및 유지보수 비용이 크게 증가하는 문제점을 안고 있다. 따라서 디지털 노심보호계통의 기능개선과 해외기술 수입대체를 위해 국내개발은 필수적이다. 원자력발전소 적용을 위해서는 엄격한 검증시험과 인허가 획득을 위해 많은 노력이 필요할 것으로 예상되지만 축적된 CPCS 설계경험과 원자로안전계통개발기술을 활용하고 웨스팅하우스의 Common Q CPCS 개발사례를 참조하면 디지털 노심보호계통의 국내개발이 가능할 것으로 판단된다. CPCS 관련 특허권 및 전산코드 저작권으로 인한 국산화 연구개발의 제약도 없음을 확인하였다. 노심보호연산기 개발 타당성검토 및 전략수립 과제에서 국산화 모델로

제한한 통합형 원자로열적보호계통(Integrated Thermal On-line Protection System, ITOPS)은 계통형상과 주요 알고리즘을 변경하여 계통의 단순화 및 기능개선에 의한 발전소 성능향상과 더불어 기술소유권(특허권)의 확보도 꾀할 수 있는 연구개발 방안으로 평가된다.

기술적으로는 향후 계측신호 처리계통과 컴퓨터 성능의 개선을 활용한 연구개발이 필요할 것으로 예상된다. 아날로그 방식의 계측계통의 일부는 이미 디지털 방식으로 개선되었으며 현재는 모든 계측계통의 디지털화 연구가 활발히 진행되고 있다. 디지털 계측계통은 아날로그 방식에 비해 보다 빠르고 신뢰성이 높으며 계통이 단순하여 유지보수도 편리한 장점이 있다. 한편으로 노심보호연산기능을 위한 컴퓨터 중앙연산처리장치(CPU)의 발달은 보다 정확한 계산모델의 적용과 운전원 연계기능의 개선을 가능케 하였다. 따라서 최적 계산모델을 이용하여 노심보호계통의 원자로 정지여유도를 증가시키고 운전원 지원기능 향상을 위한 연구개발이 필요할 것으로 전망된다.

국내 표준원전에 운용중인 CPCS의 설비는 일부 주요부품의 생산중단과 예비부품의 부족 및 노후화에 따른 고장 발생률의 증가 등으로 인해 향후 하드웨어의 교체가 필수불가결하다. 이에 웨스팅하우스는 개량형 CPCS인 Common Q CPCS를 신고리/신월성 1,2호기에 공급할 예정이다. CPCS 국산화 타당성 평가결과 웨스팅하우스로부터 Common Q CPCS를 도입하는 경우에 비해 국산화된 개량형 CPCS를 공급하는 경우 기기 공급비용을 절반 이하로 낮추어 국내원전 2개호기에 설치하면 연구개발 비용의 회수가 가능한 것으로 나타났다. 더욱이 CPCS의 국산화는 안정적인 부품공급과 용이한 유지보수가 가능한 이점도 있다.

본 과제는 국내원전에 운용중인 CPCS의 기능설계 및 해석을 담당하고 있는 한전원자력연료주식회사(KNFC)와 공동으로 개량형 CPCS(RCOPS)의 알고리즘 개선을 목표로 하고 있다. 즉, 원자력연구소(KAERI)는 RCOPS의 DNBR 계산모델을 개선하여 KNFC에 제공하고 KNFC는 다른 개선 알고리즘(RSPT 신호검증 추가, 가변과출력정지 설정치 개선 등)과 통합하여 RCOPS의 알고리즘을 완성한다. KAERI는 KNFC의 알고리즘 개선내용을 독립적으로 검증하고 통합 알고리즘의 작성과 검증시험을 지원한다.

4. 연구개발 목표 및 달성도

가. 최종 목표

- 개량형 노심보호계통(RCOPS)의 열수력모델(DNBR 계산) 개선
- 개량형 노심보호계통 알고리즘 개발(알고리즘 개발 콘소시움)

나. 당해 단계목표 및 달성도

세부연구목표	주요 연구개발 실적 ¹⁾	가중치 (%) ²⁾	연구목표 달성도 ³⁾ (%)	비고 ⁴⁾
○ 최적 실시간 열수력모델 선정 ○ RCOPS 알고리즘 체계 수립	- 노심 열수력 해석방법 검토 및 비교 평가(DNBR 여유도 약 2% 증가 예상)	15	100	DNBR 여유도 예측 계통 구성도 및 기능설계 연계도
	- RCOPS 구성 및 알고리즘 개선방안 수립	15		
○ 노심 열수력모델 기능설계 및 DB 생산 ○ 노심 열수력모델 모의전산코드 개발 ○ RCOPS 통합 기능설계 및 DB 생산 지원	- RCOPS DNBR 모듈 기능설계요건서 및 Database(DB) 문서 생산	20	100	RCOPS 기능설계요건서(ICPC-TR-06001) 및 DB 문서(ICPC-TR-06003)
	- 독립적인 DNBR 계산을 위한 Fortran 전산코드(RCOPS-SDNBR)	10		
	- RCOPS 기능설계요건서 및 DB	5		
○ 열수력모델 기능설계 및 DB 검증 ○ 통합 기능설계 및 DB 검증	- 검증시험 자료 생산 및 검증시험 완료(96 Test Cases)	25	100	검증시험 입력자료 및 시험결과 DNBR 계산 Fortran 모듈
	- RCOPS-SDNBR 검증시험 및 RCOPS 모의전산코드의 DNBR 모듈 생산	10		
	- 통합 기능설계요건서 및 DB 검증			
총계 ⁵⁾		100	100	

- 주1) 연구개발실적은 연구목표 대비 구체적이고, 정량적으로 작성
 2) 전체연구목표 대비 세부연구목표의 중요도를 표기
 3) 목표달성도는 실적/목표의 백분율로 표기
 4) 목표달성도에 대한 근거 및 사유를 간략히 작성
 5) 총괄적으로 종합하여 단계목표달성도를 기재

다. 세부연구목표별 주요연구내용 및 결과

1) 최적 실시간 열수력모델 선정(부록 A 참조)

- 주요 연구내용

경수로 노심 열수력 설계에 사용되고 있는 상세 부수로 해석코드는 웨스팅하우스사의 THINC-IV와 CE사의 TORC이다. TORC 코드는 COBRA-IIIC를 근간으로 개발되었으며 3단계의 노심 부수로 해석모델을 사용하여 3차원 상세 노심 열수력 분석을 수행할 수 있다. THINC-IV 코드는

COBRA 계열의 코드와는 달리 횡방향에 대해서 섭동 방법론을 적용하여 지배 방정식을 단순화시키고 횡방향 유속에 대하여 보다 정확한 계산능력이 있는 것으로 알려져 있다. 한국원자력연구소는 COBRA-IIIC를 개량한 COBRA-IV-I를 기반으로 부수로 해석코드인 MATRA(Multichannel Analyzer for Steady States and Transients in Rod Arrays)를 개발하였다. MATRA는 정상상태 및 과도상태에서의 노심 엔탈피(온도)와 유동분포를 계산하기 위한 부수로 해석코드이다. 이 코드는 유동 해석모델을 개선하여 정확성을 높이고 다양한 기능과 보다 편리한 사용자 환경을 구성하였다.

CE(현재 웨스팅하우스)는 앞에서 언급한 바와 같이 상세 부수로 해석코드인 TORC를 개발하였으나 3단계에 걸친 노심 최소 DNBR(MDNBR) 계산방법은 계산시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 노심 열수력 설계에 필요한 많은 양의 MDNBR 계산을 신속하게 수행하기 위해 1단계의 단순화된 부수로 해석코드인 S-TORC를 개발하였다. S-TORC는 TORC 코드에 비해 단순화된 해석모형을 사용하므로 TORC 코드로 계산된 MDNBR과의 차이를 보상해주기 위해 페널티가 이용된다. 한편, CE는 디지털 노심감시계통(COLSS)과 노심보호연산기(CPC)에서의 실시간 노심 MDNBR 계산을 위해 단순 그룹수로 해석모형을 이용한 CETOP(CE Thermal Online Program)을 개발하였다. CETOP 코드는 노심을 4개의 그룹수로 모델링하고 인접한 그룹수 사이의 횡류와 난류혼합 효과를 고려하기 위해 유체속도와 압력 및 엔탈피에 대한 전달계수(Transport Coefficient)를 사용한다. 지배 방정식의 해를 얻기 위해 반복 수치해법이 아닌 'Prediction-Correction' 수치해법을 이용한다. 인접 그룹수 사이의 전달계수는 모두 상세 부수로 해석코드인 TORC 계산결과를 이용하여 미리 결정할 수 있다. 그러나 엔탈피 전달계수는 노심 운전조건에 매우 민감한 것으로 나타났으므로 이의 계산을 위해 그룹수를 추가한 노심해석모형을 이용한 CETOP-D 코드가 개발되었다. CETOP-D는 노심 열수력 설계에 사용하기 위해 개발한 단순화된 부수로 해석코드인 S-TORC만큼 정확하고 보다 빠른 MDNBR 계산이 가능하여 현재는 S-TORC 코드를 대체하여 설계에 이용되고 있다. CETOP-D 코드의 MDNBR 계산은 고온 다발 수로의 입구유량 조정인자를 사용하여 TORC 코드에 비해 보수적이 되도록 한다. COLSS와 CPC에 이용되는 CETOP은 빠른 MDNBR 계산을 위해 미리 계산된 전달계수를 사용해야 하므로 엔탈피 전달계수를 활용한 CETOP-D 코드와의 조정(Tuning) 작업이 선행되어야 한다.

CETOP은 넓은 범위의 COLSS와 CPC 운전조건에서 상세 부수로 해석코드인 TORC에 비해 보수성이 확보되도록 조정된다. 따라서 정상 운전조건에서 CETOP을 이용한 실시간 MDNBR 계산은 지나치게 보수적으로 이루어져 DNBR 여유도(Margin)를 감소시키는 요인이 된다. DNBR 여유도의 증가는 원자로 정지여유도와 운전여유도의 증가를 뜻하며 나아가서 안전해석을 포함한 노심설계의 여유도를 증가시키고 설계절차의 단순화와 설계일정을 단축시킬 수 있는 이점이 있다. 따라서 노심 DNBR 여유도 향상을 위해 노심 장전모형의 최적화와 노심입구 온도 강하, 노심 출력분포 계산 모델과 DNBR 계산방법의 개선 등 다각적인 노력이 경주되고 있다.

본 과제에서는 개량형 노심보호계통(RCOPS)의 최적 DNBR 계산방법을 선정하기 위하여 부수로 해석방법과 그룹수로 해석방법을 비교하였다. 부수로 해석은 제어체적인 부수로내의 속도와 온도분포 등의 미세한 유동구조를 무시하고 부수로의 평균유량과 유체온도를 계산하는 방식이다. 그룹수로 해석방법은 노심을 4개의 그룹수로 정의하여 빠르고 보수적인 DNBR 계산을 수행한다. 본 연구에서 사용한 부수로 해석코드는 단순 통합수로 모형(Lumping Model)을 이용한 TORC와 MATRA이고, 그룹수로 해석코드는 최적 노심열수력 설계코드인 CETOP-D와 CPC에서 이용하고 있는 단순화된 그룹수로 해석코드인 CETOP2이다. 기존 DNBR 계산을 위해 3단계 상세 노심 부수로 해석모형을 이용

한 TORC 계산도 수행하였다. 각각의 DNBR 계산방법을 이용하여 영광 3-4호기 초기노심의 다양한 CPC 운전조건에서 DNBR 계산을 수행하였으며 각 경우의 DNBR 계산 불확실도와 DNBR 여유도를 평가하였다.

- 추진전략

본 과제에서는 RCOPS의 최적 DNBR 계산방법을 결정하기 위하여 단순화된 간이 통합 부수로 해석방법과 그룹수로 해석방법을 비교하였다. 3단계 노심 부수로 해석모형을 이용한 상세 DNBR 대비 DNBR 계산방법의 정확도를 평가하고 소요 계산시간도 조사하였다. 이를 바탕으로 RCOPS를 위한 최적 DNBR 계산방법을 선택하고 DNBR 여유도의 증가량도 예측하였다.

최적 DNBR 계산방법의 특성을 조사하고 평가하기 위해 관련 국내 전문가를 초청하여 세미나 및 기술 협의회를 개최하였으며 개선 알고리즘의 인허가성 검토를 위한 기술자문도 실시하였다.

- 연구결과

부수로 해석코드와 그룹수로 해석코드를 이용하여 영광 3/4호기 초기노심의 다양한 운전조건에서 DNBR 계산을 수행하였으며 각 경우의 DNBR 계산 불확실도와 DNBR 여유도를 평가하였다. 단순화된 간이 부수로 해석모형을 이용한 TORC 계산 DNBR(TORC-S)은 평균오차(μ)가 약 $\pm 0.5\%$ 이며 표준편차(σ)는 약 2%로 비교적 정확한 계산결과를 나타냈다. 동일한 간이 부수로 해석모형을 이용한 MATRA 계산 DNBR(MATRA)의 경우 평균오차가 약 $-5\% \sim -2\%$ 이며 표준편차는 약 2% ~ 4%로 다소 큰 오차를 보이고 있다. 이것은 MATRA 코드가 해석대상인 노심 특성(특히 핵연료집합체 형상)에 알맞게 최적화되지 않았기 때문이다. 한편, DNBR 설계코드인 CETOP-D의 DNBR은 평균오차가 약 -3% 로 기존 DNBR에 비해 다소 작은(보수적인) 값을 보이고 있으나 표준편차는 1.5% 이하로 가장 작게 나타났다. 기존 CPC DNBR 모듈(STATIC)을 이용한 경우 평균 오차는 약 $-3\% \sim -2\%$ 이며 표준편차는 약 1% ~ 2%로 CETOP-D와 비슷한 수준으로 나타났다. 이는 CETOP-D와의 오차를 최소화시키기 위해 CPC STATIC 모듈(DNBR 계산모듈)의 엔탈피 전달계수를 조정하였기 때문이다.

DNBR 계산에 소요되는 시간은 인텔 펜티엄 PC(2.8GHz CPU)에서 CETOP-D와 CPC의 경우 0.001초 미만이었으며 간이 통합부수로 해석모형을 이용한 TORC-S와 MATRA의 경우 약 0.1초로 나타났다. 참고로 3단계 노심 해석모형을 이용한 TORC 계산은 약 3초 정도 소요되었다. 국내 원전에 운용중인 CPC의 DNBR 계산간격은 2초이다. 그러나 CPC DNBR 계산모듈의 실행시간이 Common-Q CPC(AC-160, MC68360 CPU, 33MHz)에서 0.5초 이하인 것을 고려하면 펜티엄 PC(2.8GHz CPU)에서는 0.05초 이하이어야 할 것으로 추정된다. 따라서 현재의 하드웨어 성능을 기반으로 CPC 계통을 구성하는 경우 CETOP-D만이 CPC의 실시간 DNBR 계산요건을 만족시킬 수 있는 것으로 판단된다. 간이 통합부수로 해석모형을 이용한 부수로 해석코드 TORC 또는 MATRA의 실시간 적용을 위해서는 계산시간의 단축을 위한 수치해법의 개선과 발전소 컴퓨터의 성능향상이 필요하다. 나아가서 TORC 또는 MATRA의 노심 해석모형은 일반적으로 핵설계를 통해 얻어진 특정한 반경방향 출력분포를 이용하여 구성된다. 그러나 실제 노심에서는 축방향 출력분포뿐만 아니라 반경방향 출력분포도 실시간으로 변하므로 TORC 또는 MATRA를 CPC에 적용하기 위해서는 출력분포 변화를 고려한 간이 부수로 해석모형의 개발이 필수적이다.

CPC DNBR 모듈을 CETOP-D로 대체하는 경우 DNBR 여유도 변화를 평가하였다. DNBR 여유도 평가를 위한 노심 운전조건은 다음과 같은 공칭조건을 사용하였다; 노심출력=100%, 노심 입

구온도=564.5 °F, 노심압력=2250 psia, 노심유량=105%, 고온봉 출력 첨두인자(Fr)=1.55. 한편, 노심 축방향 출력분포는 각 연소도의 대표적인 설계 출력분포를 사용하였다. CPC DNBR 페널티 인자(CPC PF)는 CPC DNBR 오차 확률분포로부터 구하였다. CETOP-D를 이용하여 CPC DNBR 을 계산할 경우 DNBR 여유도는 최적계산을 통한 증가량(Base DNBR margin)이 2% ~ 3%이며 DNBR 모델 불확실도를 포함한 유효 증가량(Net DNBR margin)이 약 4%로 나타났다. 따라서 CPC DNBR 모델을 CETOP-D로 대체하는 경우 DNBR 여유도는 약 2% ~ 4% 증가할 것으로 예상된다. 그러나 CETOP-D의 적용에 따른 RCOPS의 DNBR 여유도 증가는 향후 RCOPS 계통의 전체불확실도 해석을 수행하여 결정될 것이다.

현재 검토되고 있는 RCOPS의 하드웨어(PLC) 성능은 Common-Q 하드웨어(AC-160) 보다 다소 개량된 것으로 평가되고 있으나 계산속도의 차이는 크지 않을 것으로 예상된다. 따라서 현재로서는 CPC DNBR 계산모델의 개선을 위한 유일한 방안은 CETOP-D의 적용이다. CETOP-D는 CPC DNBR 여유도의 증가뿐만 아니라 앞에서 언급한 에너지 전달계수의 별도 결정과정이 불필요하므로 노심설계 절차를 단순화시키는 장점이 있다.

2) RCOPS 알고리즘 체계 수립

- 주요 연구내용

가동원전에 운용중인 CPCS의 국내 특이운전 사례분석을 바탕으로 다양한 CPCS 개선사항이 도출되었다. 현재까지 논의된 CPCS 개선항목은 운전여유도 증가 방안, 발전소 성능향상 방안 및 운전원 지원기능 개선 방안 등으로 구별할 수 있다. 운전여유도 증가방안으로는 DNBR 계산방법의 최적화 및 노심 축방향 출력분포 합성법의 개선을 검토하였는데 이들은 모두 하드웨어의 변경이 요구되지 않는다. 발전소 성능향상 방안은 제어봉집합체연산기(CEAC) 제거, 예비정지 경보 기능, 계측기 신호검증 개선 및 RCP 센서 변경 등이다. 한편, 원자로출력급감발(Reactor Power Cutback)이 동작된 후 일정시간이 지나면 CPC에서 RPC Flag가 초기상태로 재설정 되면서 중성자속 출력이 급격히 증가하여 VOPT에 의해 원자로가 불시정지되는 문제점을 해결하기 위한 알고리즘 개선도 검토하였다. CEAC 제거와 RCP 센서 변경은 하드웨어와 알고리즘 변경이 모두 필요하며, 예비정지 경보 기능과 신호검증 개선은 하드웨어의 변경이 불필요하다. 운전원 지원기능 개선방안(하드웨어 변경 불필요)인 노심감시기능 자동화 및 노심 출력/유량 교정 자동화도 개선항목으로 검토하였다. RCOPS 계통의 최적화를 위한 RCOPS 계통 구성방안도 제안하였다.

- 추진전략

국내외 CPCS 운전사례를 바탕으로 도출된 항목별 알고리즘 개선내용과 범위 등을 검토하여 노심 운전여유도 증가, 발전소 성능향상 및 운전원 지원기능 개선을 위한 알고리즘 개선안을 확정하였다. RCOPS 알고리즘 개선안의 최종결정에 앞서 웨스팅하우스 전문가의 자문을 실시하였다.

- 연구결과

상기 개선항목 각각의 필요성(경제성), 구현성(적용성), 개발기간 및 인허가성 등을 고려하여 RCOPS 알고리즘의 개발항목을 선정하였으며 계통 구성의 최적화 방안도 수립하였다. RCOPS에서 개선된 알고리즘 항목은 다음과 같다.

- o 제어봉위치 신호(RSPT) 처리방법 개선
- o 원자로출력급감발 시 가변과출력정지(VOPT) 설정치 개선
- o 보조정지 인자에 대한 예비정지 경보 기능 추가

o 실시간 DNBR 모듈 개선

그림 1은 RCOPS의 알고리즘 블록 구성도를 보여주는 것으로 개선된 알고리즘의 사용과 기존 CPCS와의 차별화를 위해 주요 알고리즘 모듈(COOL, HEAD, HEAT, BEST, TRIGGER, DEVI)의 이름을 변경하였다. 즉, 모듈 COOL은 노심유량을 계산하는 블록으로 CPCS의 FLOW 모듈과 동일하다. 모듈 HEAD는 제어봉편차 페널티 처리, 보조정지 알고리즘, 원자로 출력의 계산 및 DNBR 갱신 등을 수행하는 CPCS의 UPDATE 모듈과 유사하다. RCOPS의 HEAD 모듈에는 보조정지 인자에 대한 예비정지 경고 기능이 추가되었으며 RPC 작동중 가변과출력정지(VOPT) 설정치 개선 알고리즘이 포함되어 있다. 모듈 HEAT는 노심출력분포를 계산하는 CPCS의 POWER 모듈과 유사하며 RPC 작동중 VOPT 설정치 개선 알고리즘이 추가되었다. 모듈 BEST는 DNBR 계산기능을 수행하는 CPCS의 STATIC 모듈에 해당되지만 CETOP-D 방법론으로 개선하였다. 모듈 TRIGGER는 원자로정지 신호와 경고 신호 등을 발생시키는 CPCS의 TRIPSEQ 모듈을 변경한 것이며 보조정지 인자에 대한 예비정지 경고 알고리즘의 개선내용이 반영되었다. 한편, 모듈 DEVI는 제어봉편차를 확인하기 위해 별도의 프로세서에서 실행되는 CPCS의 CEAC을 변경한 것으로 RSPT 오신호 검증 알고리즘을 개선하였다.

제어봉의 인출률과 삽입률 제한치가 상이하여 발생하는 제어봉위치신호(RSPT)의 Latching 문제를 해결하기 위한 RSPT 신호검증 알고리즘을 개선하였다. 즉, 신호 잡음(Noise)으로 인해 RSPT 오신호가 발생한 경우 Latching 문제로 인해 제어봉위치 편차가 발생하여 원자로가 불시정지되는 문제점을 개선하기 위한 RSPT 신호 검증 알고리즘을 추가하였다. 제어봉의 자유낙하 여부를 먼저 판단하고 정상적인 움직임인 경우 인출률과 삽입률 제한치가 동일한 추가적인 검증논리를 사용하여 오신호 여부를 판단하도록 DEVI 모듈의 알고리즘을 개선하였다.

RPC가 작동하여 RPC Flag가 1로 설정되면 HEAT 모듈에서 제어봉 서브그룹 편차 페널티, 반경 방향출력 첨두인자 및 제어봉 그림자(Rod Shadowing) 효과가 무시된다. 그러나 일정시간이 지나면 RPC Flag가 0으로 바뀌면서 일시적으로 무시되었던 상기 인자들이 적용되어 중성자속 출력이 급격히 증가하여 VOPT에 의해 원자로정지 신호가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 RPC가 작동중에도 상기 보정인자가 반영된 중성자속 출력을 추가적으로 계산하는 알고리즘을 추가하였다.

보조정지 인자에 의한 갑작스런 원자로정지 신호의 발생을 방지하고 필요시 운전원이 적절한 조치를 취할 수 있도록 예비정지 경고 기능을 추가하기 위해 알고리즘을 개선하였다. 즉, RCOPS의 모든 보조정지 인자(저온관 온도, 원자로계통 압력, 노심 축방향출력분포 편차(ASI), 고온봉 출력 첨두치, ASGT, VOPT, 고온관 포화온도 등)에 대해 예비정지 설정치를 추가하였다. 특히 ASI에 대한 예비정지 경고 기능은 원자로 출력상승중 발생할 수 있는 ASI에 의한 원자로정지를 방지할 수 있는 이점이 큰 것으로 판단된다.

실시간 DNBR 계산 모듈은 원자로의 열적여유도에 큰 영향을 주는 노심보호계통의 핵심 알고리즘 모듈이다. 실시간 DNBR 계산을 위해 앞에서 이미 기술한 바와 같이 소수로(그룹수로) 해석방법을 사용한다. 기존 CPC에 적용된 소수로 해석방법은 CETOP-D 코드를 보다 단순화 시킨 것이므로 보정작업이 필요하다. CPC의 소수로 해석방법과 CETOP-D 코드는 모두 기본적으로 4개 수로(노심평균 수로, 고온다발 수로, 버퍼수로, 고온수로) 모델을 바탕으로 열유동 지배방정식의 해를 구한다. 그러나 지배방정식의 해를 구하기 위해서는 엔탈피 전달계수에 대한 정보가 필요한

바, CPC는 미리 계산된 일정한 값을 사용하지만 CETOP-D는 고온다발 수로와 버퍼수로 사이의 경계수로를 추가로 모델링하여 엔탈피 전달계수를 실시간으로 계산한다. CETOP-D 코드의 노심 보호계통 적용은 DNBR 계산의 불확실도를 줄여 노심 열적여유도를 증가시킬 뿐만이 아니라 CPC DNBR 모듈의 보정과정이 불필요하므로 설계절차를 단순화 시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 CPC DNBR 모듈의 개선을 위해 CETOP-D 코드를 활용하여 RCOPS DNBR 모듈(BEST)을 구성하였다.

RCOPS 계통 구성을 최적화하기 위해 통합형과 분산형을 제안하였으며 이를 바탕으로 RCOPS 계통을 RCOPS 개발팀 공동으로 그림 2와 같이 결정하였다. CEAC을 제거하고 제어봉위치지시기(RSPT) 신호를 CPC에 직접적으로 연결시키는 CPC와 CEAC 통합방안은 기존 CPCS와 Common-Q CPCS에 비해 계통을 단순화시킨다. 통합형(그림 3)은 제어봉위치 신호처리 하드웨어의 단일고장에 의한 원자로정지를 방지하고 하드웨어 고장 발생률도 줄일 수 있는 장점이 있다. 한 개의 CPC 주 프로세서(Main CPU)에서 CPC 기능과 CEAC 기능을 동시에 수행하기 위해서는 빠른 계산성과 통신기능이 요구된다. 그러나 현재 RCOPS 하드웨어 후보모델들은 CEAC과 CPC 통합으로 인한 부하(Load) 증가를 수용하기 어려운 것으로 CPC 계통 설계자들은 판단하고 있다. 따라서 통합형 CPCS를 적용하기 위해서는 고성능 주 프로세서의 개발과 부하 감소 방안(계산간격 조정, 기능모듈 통합/분리 등)이 강구되어야 할 것이다. 통합형 CPCS의 부하감소와 Common-Q 대비 계통 간소화를 위해 본 과제에서는 그림 4와 같이 분산형 CPCS를 고안하였다. 분산형은 CEAC을 CPC 채널과 동일한 4개로 구성하고 타 채널과의 RSPT 신호 연계를 위해 CPP(CEA Position Processor)를 별도로 4채널로 구성한 것이다. 각각의 CEAC은 2개의 CPC에 제어봉 관련 정보를 제공한다. 그러나 분산형은 한 개 CEAC의 고장으로 인해 두 개의 CPC 채널이 동시에 영향을 받게 되는 단점이 있다. 따라서 CEAC(CEAP)의 다중성 확보를 위해 분산형을 보완하여 각 CPC(COPP) 채널에 CPP(CCP)를 두 개씩 설치하는 방안을 최종 RCOPS 계통구성 방안으로 결정하였다. CCP는 RSPT 신호뿐만이 아니라 제어봉 편차 페널티 인자도 통신을 통해 다른 채널과 주고 받는다. 이 방안은 CEAP를 COPP와 동일하게 4개로 구성하는 대신 각 COPP 채널에 2개씩 모두 8개의 CCP를 구비하여 기존 CPCS 대비 CEAC의 다중성을 높이고 Common-Q CPCS에 비해서는 계통 단순화를 꾀할 수 있는 것으로 평가된다.

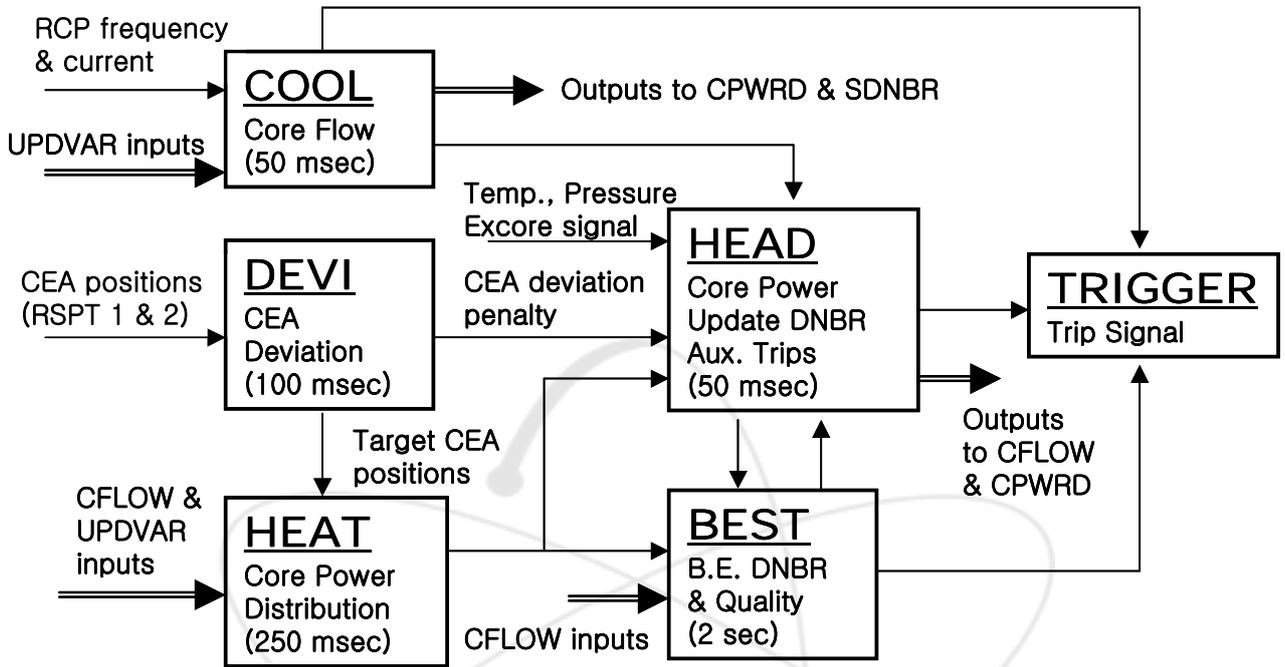


그림 1. 개량형 노심보호계통(RCOPS) 알고리즘 흐름도

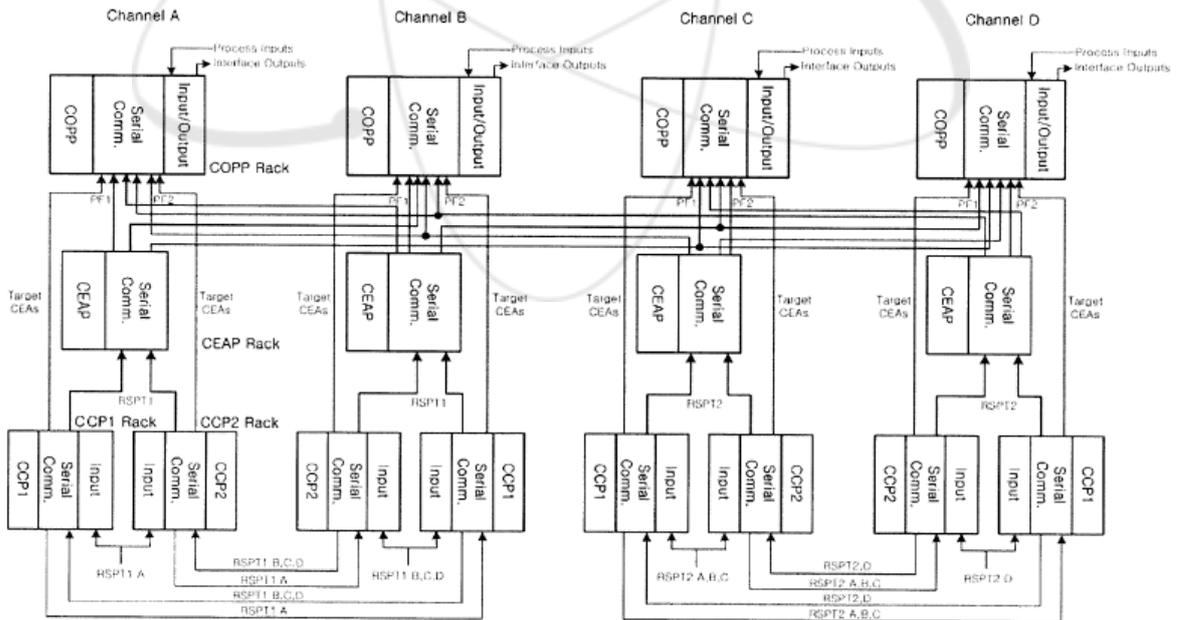


그림 2. RCOPS 계통 구성도(최종)

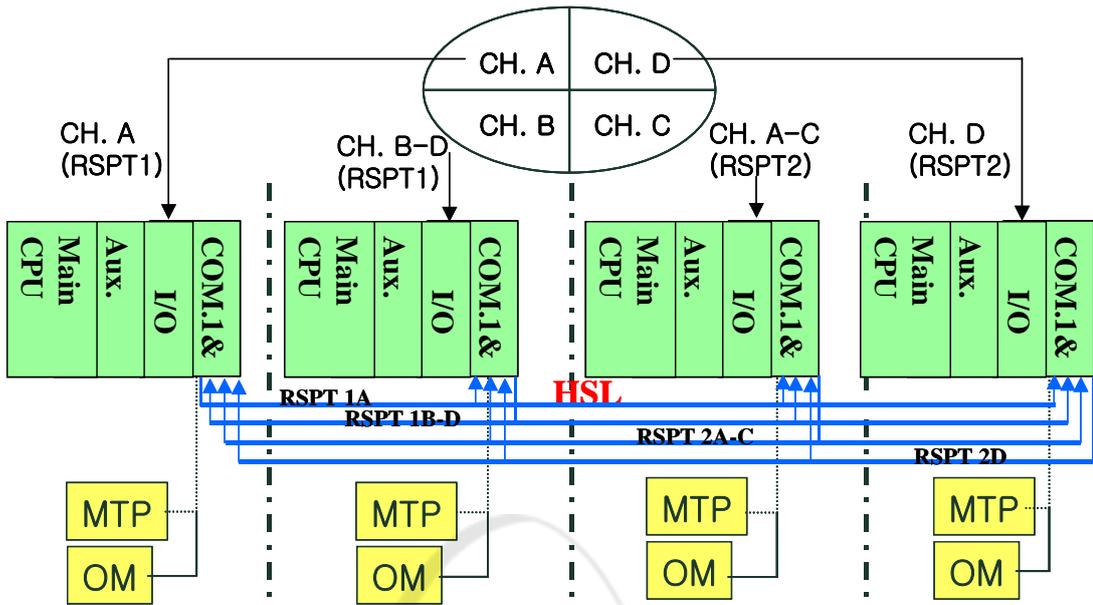


그림 3. RCOPS 계통 후보모형(통합형)

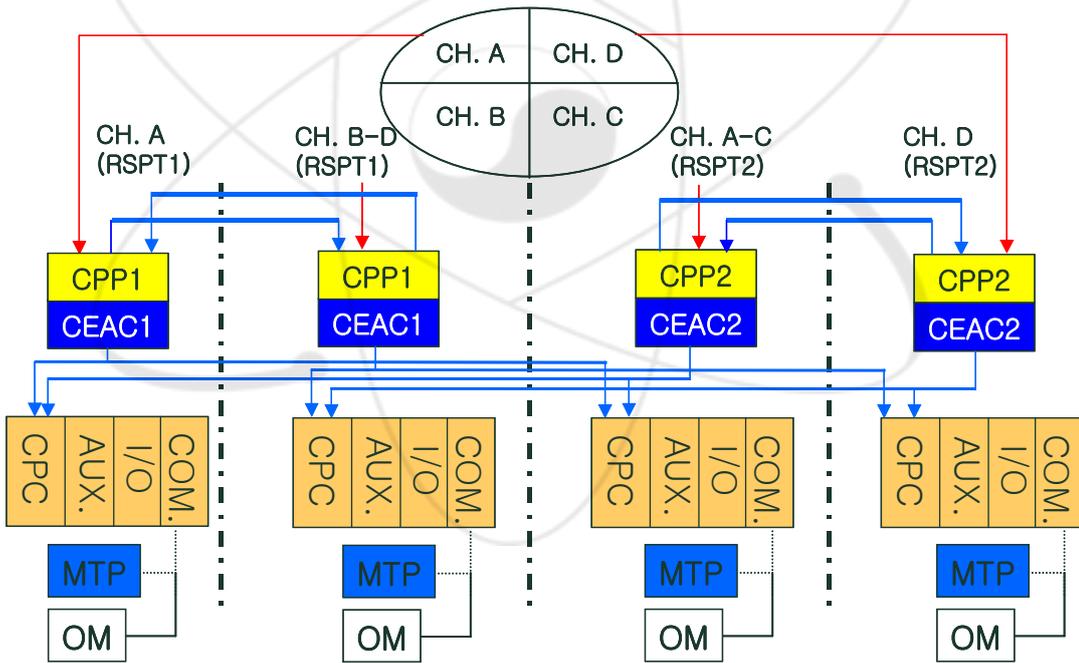


그림 4. RCOPS 계통 후보모형(분산형)

3) 노심 열수력모듈 기능설계 및 DB 생산(부록 B & C 참조)

- 주요 연구내용

CETOP-D 코드의 RCOPS 적용을 위해서 코드 소스를 분석하여 실시간 DNBR 계산에 필요한 부분을 추출하였다. RCOPS DNBR 모듈의 입력변수와 출력변수는 CPC의 DNBR 모듈과 동일하도록 CETOP-D 코드를 수정하였다. DNBR 모듈은 복잡한 계산을 수행하므로 주요 계산내용에 따라 서브모듈로 나누었다. DNBR 모듈을 RCOPS 프로세서(COPP)에 탑재하기 위해서는 실시간 응용 소프트웨어(S/W)의 프로그래밍이 필요하다. 즉 실시간 응용 S/W의 작성을 위해서는 DNBR 모듈에 대한 기능설계요건서(Functional Design Requirements)와 Database(DB)가 필요하다. 따라서 DNBR 모듈에 대한 FDR을 작성하고 필요한 DB 상수(Constants)를 결정하였다. DNBR 모듈의 DB 상수는 재장전블록(Reload Data Block) 상수, 비재장전블록(Non-Reload Data Block) 상수 및 가변상수(Addressables)로 구분하였으며 관련 설계자료를 이용하여 상수 각각의 값을 결정하였다. 참고로 RDB 상수는 재장전 노심설계에 따라 그 값이 변할 수 있으며, Non-RDB 상수는 재장전 노심설계의 영향을 받지 않는 특정 원전의 고유설계 관련 인자 또는 범용으로 사용할 수 있는 물리적 상관식의 상수 등을 의미한다. 가변상수는 노심운전중 필요시 값을 변경할 수 있는 상수를 의미한다.

- 추진전략

실시간 응용 S/W 작성에 필요한 기능설계요건서는 H/W 플랫폼(Platform)의 성능요건을 고려하여 적절하게 서브모듈화 되어야 한다. 특히 DNBR 모듈은 복잡한 계산과정을 포함하고 있으므로 서브모듈화는 필수적이다. 응용 S/W 작성의 오류 방지와 향후 모듈시험의 편의를 위해서도 서브모듈화는 필요하다. 따라서 DNBR 모듈의 주요 계산과정을 구분하여 서브모듈을 정의하고 각 서브모듈별 입력 및 출력 변수를 정의하였다. RCOPS DNBR 모듈의 DB 상수도 각 서브모듈별로 각각 정의하였으며 관련 설계자료를 이용하여 값 들을 결정하였다.

- 연구결과

RCOPS DNBR 모듈은 아홉(9) 개의 서브모듈로 구분하여 RCOPS 기능설계요건서를 작성하였다. RCOPS DNBR 모듈의 기능설계요건은 RCOPS 기능설계요건서의 4.4절에 기술되며 부록 B에 수록되어 있다. 그림 5는 DNBR 모듈의 기능설계 흐름도를 나타낸 것으로 모듈 입력자료를 정의하는 서브모듈에서부터 모듈의 주요 계산결과를 출력하는 서브모듈까지를 보여주고 있다. “모듈 입력자료 정의” 서브모듈(4.4.1)은 RCOPS의 다른 모듈(COOL, HEAD, HEAT)로부터 전달되는 변수를 정의한다. 서브모듈 4.4.2는 고온봉 출력분포($\phi_C(20)$)를 합성하고 및 운전영역별 노심운전 인자(FSPLIT, PFRGN)를 결정하여 노심평균 열유속(QAVG)을 계산한다. 서브모듈 4.4.3은 20개 노드의 고온봉 출력분포를 이용하여 21개 노드 경계점에서의 출력분포(ZFLUX(21))를 계산한다. 서브모듈 4.4.4는 삭제되었으며 서브모듈 4.4.5는 노심 유량 및 엔탈피 계산을 위한 초기조건을 결정한다. 서브모듈 4.4.6은 DNBR 모듈의 핵심모듈로 Prediction-Correction 해법을 적용하여 노심 유량 및 엔탈피 분포를 계산하고 임계열유속(CHF) 상관식을 이용하여 최소 DNBR(FDNB)을 결정한다. 이때 유량 및 엔탈피 계산에 필요한 보조계산은 별도의 서브루틴을 이용한다. 서브모듈 4.4.7은 삭제되었으며 서브모듈 4.4.8은 최소 DNBR 위치에서의 주요인자(XST, GPRFST, FKST 등)를 계산한다. 서브모듈 4.4.9는 HEAD 모듈에서 변경된 노심 측정자료를 이용하여 DNBR 값을 갱신하기 위해 필요한 정보를 계산한다. 서브모듈 4.4.10은 서브모듈 4.4.6에서 사용되는 서브루틴으로 구성되어 있으며 서브모듈 4.4.11은 다른 모듈(HEAD, TRIGGER)에서 필요한 DNBR 모듈의 출력변수를 정의하였다. 부록 B에 나타난 바와 같이 DNBR 모듈 내부 각 서브모듈의 입력 및 출력 변수의 종류와 개수는 표 1에 정리하였다. 서브모듈 4.4.6에 사용된 서브루틴의 목록과 목적은 표 2와 같다.

RCOPS DNBR 모듈의 DB 상수를 각 서브모듈별로 각각 정의하였으며 관련 설계자료를 이용하여 DB 파일을 생성하였다. DB 상수의 개수는 모두 183개이며 서브모듈별로는 각각 19(서브모듈 4.4.2), 11(서브모듈 4.4.3), 48(서브모듈 4.4.5), 56(서브모듈 4.4.6), 6(서브모듈 4.4.8), 11(서브모듈 4.4.9), 32(서브모듈 4.4.10) 개이다. 상수 유형별로는 Non-RDB 상수가 17개, 가변상수(Addressables)가 1개 및 RDB 상수가 165개이다. 부록 C는 신고리 1, 2호기 설계자료를 바탕으로 생산된 DNBR 모듈의 DB 파일을 보여주고 있다.

4) 노심 열수력모듈 모의 전산코드 개발

- 주요 연구내용

RCOPS의 설계와 검증 및 설계기준 사고해석 등에 활용하기 위하여 FORTRAN 모의 전산코드의 개발이 필수적이다. RCOPS 모의 전산코드는 다섯(5)개의 주요 알고리즘 모듈(제어봉위치 편차 계산, 노심 유량계산, 노심 운전인자 Update, 노심 출력분포 합성 및 노심 DNBR 계산)과 입출력 자료 처리 모듈로 구성된다. 본 과제에서는 노심 DNBR 계산모듈을 CETOP-D 코드로 대체하기 위해 CETOP-D 코드를 수정하였다. 즉, CETOP-D 코드중 실시간 DNBR 계산에 필요하지 않은 부분을 삭제하고 입출력 변수와 노심 축방향 계산 노드의 개수도 변경하였다.

CETOP-D 코드를 수정하여 작성한 기능설계를 바탕으로 RCOPS 모의 전산코드의 FORTRAN DNBR 모듈(BEST)과 RCOPS DNBR 모듈을 이용하여 독립적인 DNBR 계산이 가능한 전산코드(RCOPS-SDNBR)를 각각 개발하였다.

- 추진전략

RCOPS DNBR 모듈을 수정된 CETOP-D로 변경하여도 모듈의 입력변수와 출력변수는 변화가 없도록 하였다. 즉, RCOPS의 다른 모듈(COOL, HEAD, HEAT)로부터 전달되는 입력변수와 다른 모듈(HEAD, TRIGGER)로 출력되는 변수를 기존의 CPCS와 동일하게 유지하였다.

RCOPS DNBR 모듈은 2초 간격으로 실시간으로 최소 DNBR을 계산해야 하므로 효율적인 코딩이 필요하다. 따라서 CETOP-D 코드를 분석하여 불필요한 부분을 삭제하고 향후 검증시험의 편의성을 제고하기 위해 실시간 응용 S/W와 유사하게 다수의 서브모듈로 구성하였다.

- 연구결과

CETOP-D 코드를 수정하여 RCOPS DNBR 모듈의 FORTRAN 전산모듈을 개발하였다. 그림 6은 RCOPS DNBR 전산모듈의 구조를 나타낸 것으로 4개의 블록으로 구분할 수 있다. 첫 번째 블록(DATABASE INPUT)은 DB 상수를 할당하기 위한 부분이며, 두 번째 블록(MAIN BODY)은 DNBR 계산에 필요한 다양한 연산을 실행하는 부분이다. 세 번째 블록(INITIALIZATION)은 DNBR 모듈의 실행 초기에 필요한 변수들을 초기화하기 위한 것이며, 네 번째 블록(EDIT RESULT)에서는 다른 모듈로 전송하기 위한 DNBR 모듈의 계산결과를 정의한다. RCOPS DNBR 전산모듈의 MAIN BODY는 11개의 서브모듈과 8개의 서브루틴(SAT, PROP, CIJMIX, DIFFER, DIVERT, CHF, MODMN, TRANS)으로 구성되어 있다. 그림 7은 DNBR 모듈의 핵심 서브모듈 6의 흐름도를 보여준다.

RCOPS DNBR 모듈의 기능설계 검증시험을 위해 독립적인 DNBR 전산코드(RCOPS-SDNBR)를 개발하였다. RCOPS-SDNBR 코드의 주요부분은 RCOPS 모의 FORTRAN 전산코드의 DNBR 모듈과 유사하며 입출력 변수의 종류와 형식(Format)은 CETOP-D 코드와 동일하다.

표 1. RCOPS DNBR 모듈의 입력변수 및 출력변수 정의

서브모듈	입력변수	개수	출력변수	개수
4.4.1	Mc, P, Tcmax, ϕ_{CALC} , PF, Tc1, Tc2, Thavg, Th1, Th2, Hin, HF, HFG, PDavg, PD(20)	34	Mc, P, Tcmax, ϕ_{CALC} , PF, Tc1, Tc2, Thavg, Th1, Th2, Hin, HF, HFG, PDavg, PD(20)	34
4.4.2	P, PF, PDavg, PD(20), Tcmax, ϕ_{CALC}	25	$\phi_c(20)$, QAVG, QHOT, TIN, PREF, P1ST, FSPLIT	26
4.4.3	$\phi_c(20)$, QHOT	21	DX, JSTAR, ZFLUX(21), NDXP1	24
4.4.5	Mc, PREF, TIN, FSPLIT	4	A32, A42, CHH(1), CH2, CH(2), HECO(5), DHYD(4), F(4), H(4), H2P(1), H22(1)	24
4.4.6	A32, A42, NDXP1, QAVG, PREF, $\phi_c(20)$, JSTAR, DX, ZFLUX(21), F(4), H(4), CH2, CH(2), HECO(5), DHYD(4), H2P(1), H22(1), P1ST, HF, HFG	72	FDNB, FDNBF, FDNBFS, FDNBQLOC, FDNBX, TF	6
4.4.8	FDNB, FDNBF, FDNBFS, FDNBQLOC, FDNBX, Hin, HF, HFG, Mc, ϕ_{CALC} , PF, PREF	12	DNBRST, XST, GPRFST, DhST, FKST, QLOCST, XY, XXY, LNX, MCST, PFST, ϕ_{CALCST} , PRST	13
4.4.9	Tc1, Tc2, Thavg, Th1, Th2, TF, PRST	7	CPIN1, CPIN2, CPOUT1, CPOUT2, Thmax, T _{sat}	6
4.4.11	DNBRST, XST, GPRFST, FKST, QLOCST, XY, XXY, LNX, MCST, PFST, ϕ_{CALCST} , PRST, P1ST, CPIN1, CPIN2, CPOUT1, CPOUT2, Thmax, T _{sat} , DhST	20	DNBRST, XST, GPRFST, FKST, QLOCST, XY, XXY, LNX, MCST, PFST, ϕ_{CALCST} , PRST, P1ST, CPIN1, CPIN2, CPOUT1, CPOUT2, Thmax, T _{sat} , DhST	20

표 2. RCOPS DNBR 모듈의 서브루틴 목록 및 목적

목록	목적
SAT & PROP	포화상태 열역학 물성치 계산
MODMN	2상유동 마찰계수의 증배계수(Multiplier) 계산
CIJMIX	냉각재 혼합 및 교차류(Crossflow) 저항 인자 계산
DIFFER	압력, 유량 및 엔탈피의 기울기 계산
TRANS	엔탈피 전달계수 계산
DIVERT	횡방향 운동량방정식으로부터 교차류 계산
CHF	임계열유속비(CHFR) 및 비균일 출력분포 수정인자(FS) 계산

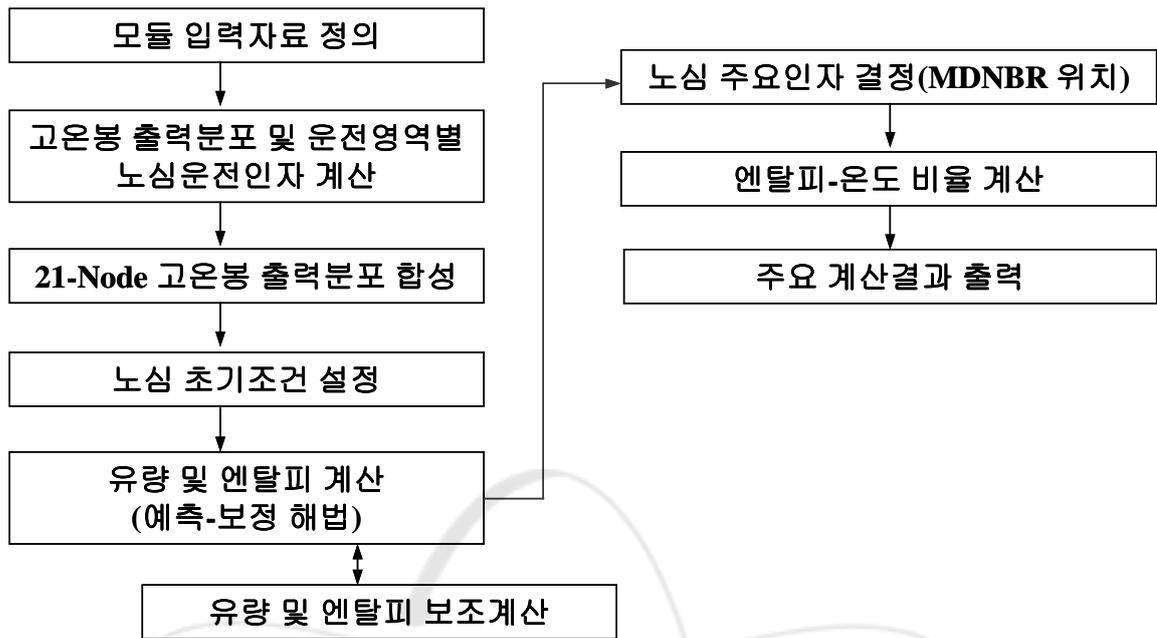


그림 5. RCOPS DNBR 모듈 기능설계 흐름도

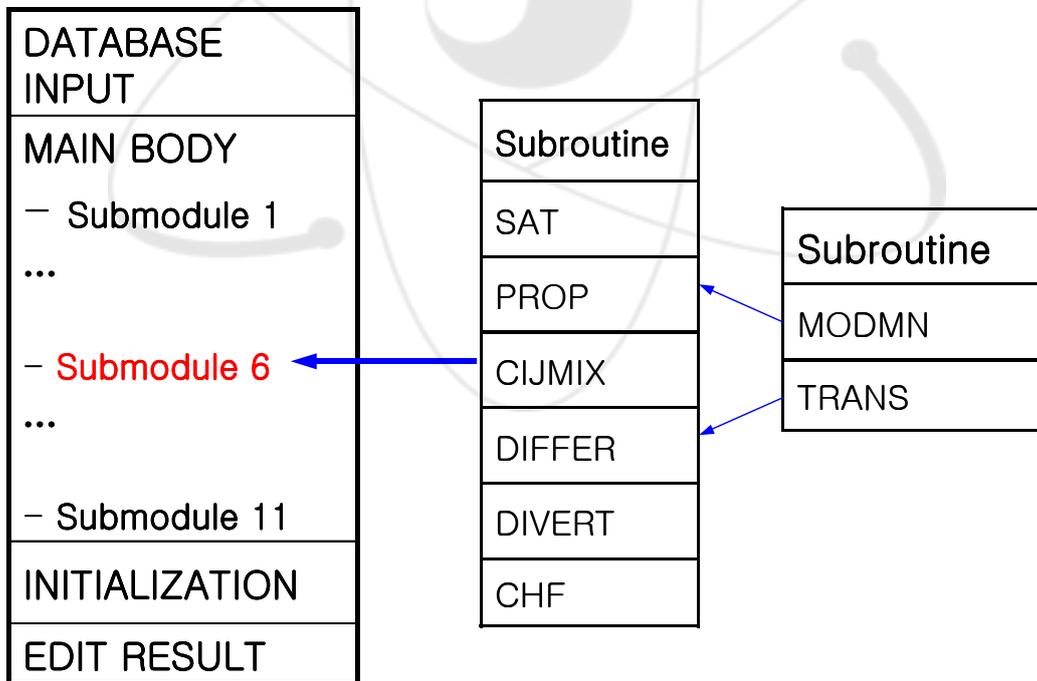


그림 6. RCOPS DNBR 모듈의 FORTRAN 모듈 구조

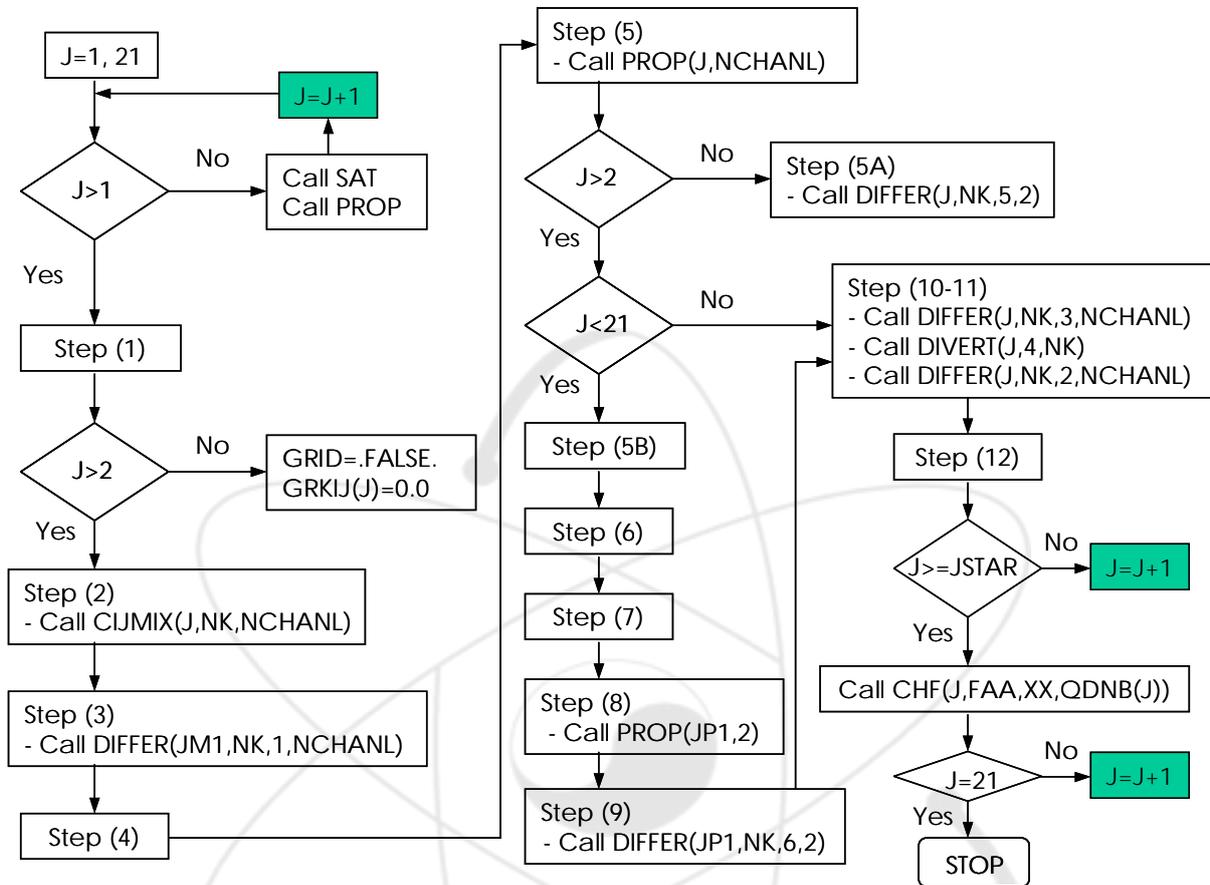


그림 7. RCOPS DNBR 모듈의 핵심 서브모듈 6의 흐름도

5) RCOPS 통합 기능설계 및 DB 생산 지원

- 주요 연구내용

RCOPS 알고리즘 개발은 KNFC, KAERI, KOPEC이 콘소시움을 구성하여 수행하였다. KOPEC은 COOL 모듈의 개선, 보조정지 인자에 대한 예비정지 경보기능 추가 및 운전원 연계성 향상을 주도적으로 수행하였다. KAERI는 CPC의 DNBR 모듈(STATIC)을 CETOP-D 코드로 대체하여 RCOPS의 BEST 모듈을 주도적으로 개발하였으며 KNFC는 RSPT 오신호 검증 알고리즘의 개선과 원자로출력급감발계통(RPCS)의 작동중 가변과출력트립(VOPT) 설정치 알고리즘을 개선하였다. 본 과제에서는 타 기관 주도의 알고리즘 개선내용을 독립적으로 검토하고 보완하였다. 각각의 알고리즘 개선내용을 통합하여 RCOPS의 기능설계요건서와 DB를 생산하였다.

- 추진전략

알고리즘 개발 콘소시움 참여기관의 전문성에 적합한 과제를 분담하여 수행하고 타기관의 연구결과를 독립검토 하였으며 웨스팅하우스 전문가의 자문도 실시하였다.

- 연구결과

RCOPS 알고리즘 개발 콘소시움에서 개발된 알고리즘 개발내용을 모두 반영하여 RCOPS 기능설계요건서(ICPC-TR-06001, Rev. 01) 및 DB 문서(ICPC-TR-06003, Rev. 01)를 발행하였다. 이 두 개의 문서는 RCOPS 실시간 응용 S/W 개발에 활용된다.

6) 열수력모듈 기능설계 및 DB 검증(부록 D 참조)

- 주요 연구내용

RCOPS에서의 실시간 DNBR 계산에 필요한 열수력모듈의 기능설계 및 DB 검증을 위해 검증시험을 수행하였다. 검증시험에 필요한 96 개의 시험 입력자료(부록 D)를 이용하여 RCOPS(RCOPS-SDNBR) 및 CETOP-D의 DNBR을 계산하여 비교하였다. 본 검증시험에 사용된 시험조건은 다음과 같다.

- o 노심출력(%): 100
- o 노심유량(fraction): 0.8 - 1.25
- o 노심 입구온도(°F): 500, 550, 572, 595
- o 노심압력(psia): 1785, 2000, 2325, 2415
- o 노심 축방향 출력분포(ASI): -0.6 ~ +0.6
- o 고온봉 출력 첨두 인자(Fr): 1.4

- 추진전략

RCOPS 열수력모듈의 기능설계 및 DB를 검증하기 위해 다양한 운전조건에서 참조 코드인 CETOP-D와 RCOPS-SDNBR를 이용하여 각각의 최소 DNBR 값을 비교하였다.

- 연구결과

그림 8은 참조코드인 CETOP-D와 RCOPS 열수력모듈 모사코드인 RCOPS-SDNBR의 DNBR 계산결과를 비교한 것이다. 96개의 시험조건에서 계산된 RCOPS DNBR 값은 CETOP-D의 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. RCOPS DNBR은 CETOP-D DNBR 대비 +1.13%의 평균오차와 1.12%의 표준편차를 나타내고 있다. 한편, RCOPS DNBR의 최대오차는 +6.31%이며 최소오차는 -1.03%로 CETOP-D DNBR에 비해 평균적으로 다소 높은 값을 보이고 있다. 이와 같은 차이는 노심 축방향 DNBR 계산 노드의 개수가 다른 것이 주 원인으로 판단된다. 즉, CETOP-D는

40-50개의 노심 축방향 계산노드를 사용하지만 RCOPS DNBR 모듈은 20개의 노드만을 사용하기 때문이다(그림 9 참조). RCOPS 열수력모듈의 기능설계와 DB의 적절성이 본 검증시험을 통해 1차적으로 확인되었으며 향후 2단계 인허가 검증시험(모듈 및 Unit 시험)을 통해 최종 검증이 이루어질 예정이다.

7) 통합 기능설계 및 DB 검증

- 주요 연구내용

RCOPS 알고리즘의 통합기능설계 및 DB 검증을 위해 RCOPS 기능설계요건서(ICPC-TR-06001, Rev. 01)와 DB 문서(ICPC-TR-06003, Rev. 01)를 검토하였다. RCOPS를 위해 개선된 알고리즘 부분의 정확성 및 다른 알고리즘 부분과의 연계성 등을 먼저 확인하고 해당 알고리즘 모듈의 정확성을 검증하였다. 개선된 알고리즘을 모두 반영한 기능설계요건서와 DB 문서를 독립검토하고 RCOPS 모의 전산코드(FORTRAN)를 이용하여 시험계산을 수행하였다.

- 추진전략

개선된 알고리즘의 부분 검증과 모듈별 검증시험 및 통합모듈 검증시험 등을 통해 RCOPS의 통합 기능설계 및 DB를 검증하였다.

- 연구결과

알고리즘 모듈별 검증시험과 통합모듈에 대한 검증시험을 통해 개선 알고리즘의 오류를 정정하고 최적화된 알고리즘을 구성하였다. RCOPS Platform의 응용 S/W 코딩 요건을 충족시키기 위해 각 모듈의 입출력 변수와 내부변수를 최적화하고 서브모듈(특히 DNBR 모듈)의 구성도 개선하였다. 알고리즘의 오류정정과 모듈 최적화를 반영하여 RCOPS 기능설계요건서와 DB 문서의 수정본(ICPC-TR-06001 Rev. 02, ICPC-TR-06003 Rev. 02)을 발행하였다.

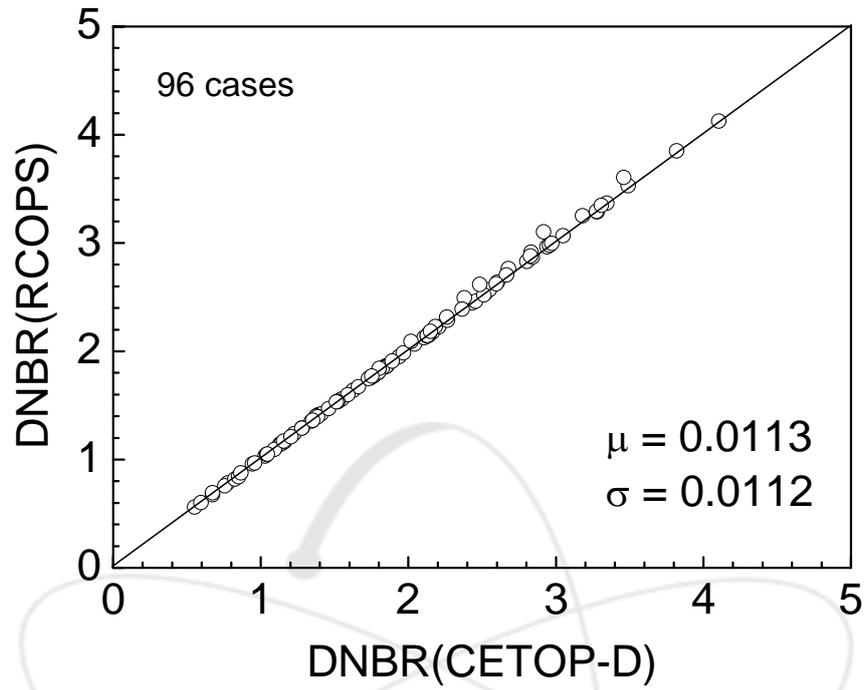


그림 8. RCOPS DNBR 모듈의 검증시험 결과

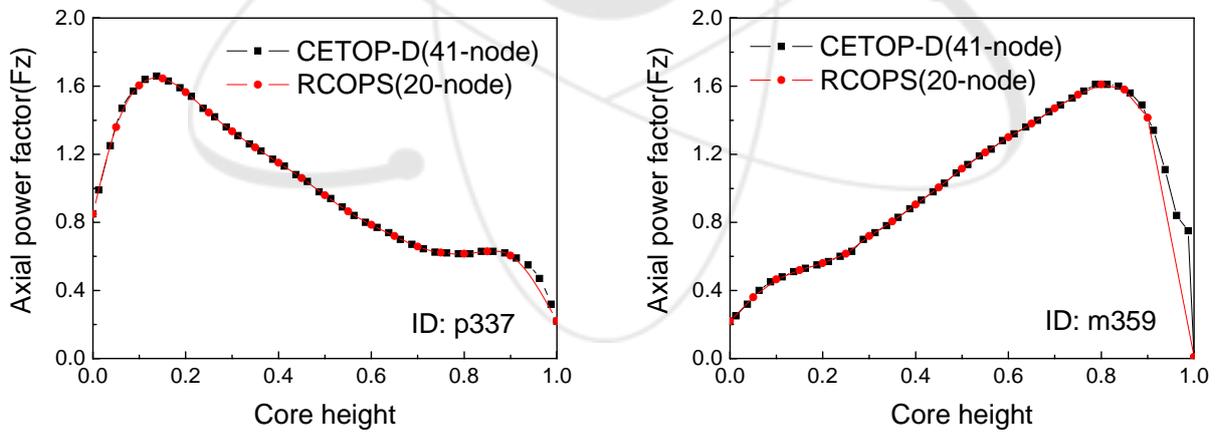


그림 9. 노심 축방향 출력분포 예(RCOPS DNBR 모듈 검증시험)

라. 참여연구원별 연구활동 및 주요연구실적

연구원	연구활동	주요 연구실적
인왕기	<ul style="list-style-type: none"> - 위탁과제 총괄 - RCOPS 구성 및 알고리즘 개선방안 수립 - RCOPS DNBR 모듈 기능설계 - RCOPS DNBR 모듈 DB 생산 - RCOPS 모의 전산코드(FORTRAN) 개발 - RCOPS 알고리즘 개발 지원(KNFC 지원) 	<ul style="list-style-type: none"> - RCOPS 계통 구성 최적화 - RCOPS DNBR 모듈의 기능 설계요건서 및 DB - RCOPS 모의 FORTRAN 코드(PC Version)
전태현	<ul style="list-style-type: none"> - 노심 열수력 해석방법 비교 검토 - 임계열유속 상관식 검토 - RCOPS DNBR 모듈 기능설계 검증 	RCOPS DNBR 계산방법론 수립 및 기능설계 연계도
오동석	<ul style="list-style-type: none"> - RCOPS 통합 기능설계 및 DB 생산 지원 - RCOPS DNBR 모듈 검증시험 	RCOPS 통합 기능설계요건서 및 DB 문서
신창환	<ul style="list-style-type: none"> - 노심 열수력모델 평가 - RCOPS DNBR 계산코드 개발 및 검증 - RCOPS DNBR 모듈 DB 문서 생산 및 검증 	RCOPS DNBR 계산코드 (RCOPS-SDNBR) 및 DB 문서
황대현	<ul style="list-style-type: none"> - 노심 부수로 해석방법 비교 분석 - RCOPS DNBR 모듈 기능설계요건서 검증 	DNBR 여유도 예측 및 RCOPS DNBR 모듈의 기능설계 최적화
서경원	<ul style="list-style-type: none"> - RCOPS 모의 전산코드의 DNBR 모듈 생산 - RCOPS DNBR 모듈 DB 검증 	RCOPS DNBR 모듈의 전산모듈 및 DB(수정본)

마. 자체평가의견서

- CPCS의 국내의 운전경험 자료와 현재까지 제안되었던 알고리즘 개선항목을 종합적으로 분석하여 4가지의 주요 알고리즘 개선내용을 RCOPS 개발에 적용하기로 결정하였다. RCOPS 알고리즘 개선은 운전여유도의 향상과 더불어 원자로 불시정지를 줄일 수 있는 방안으로 판단된다.
- 본 과제에서 제안한 통합형 및 분산형 계통구성 모델을 기반으로 RCOPS Platform의 특성을 고려하여 RCOPS 계통 구성을 최적화하였다. RCOPS 계통은 Common Q CPCS 대비 상대적으로 단순한 구성이지만 계통의 다중화 유지 및 비가용도의 감소가 가능한 효율적인 계통으로 평가된다.
- RCOPS의 최적 DNBR 계산방법을 선정하기 위하여 부수로 해석방법과 소수로(그룹수로) 해석방법을 비교하였다. 부수로 해석방법과 소수로 해석방법을 이용한 DNBR 계산을 수행하여 계산시간 및 DNBR 여유도를 평가하였다. 계산시간, DNBR 여유도 증가량 및 RCOPS Platform의 수용성 등을 고려하여 소수로 해석코드인 CETOP-D를 RCOPS DNBR 계산방법으로 선정하였는바, 이는 RCOPS DNBR 모듈과 기존 CPCS 알고리즘의 차별화와 설계절차

의 간소화는 물론이고 노심 열적여유도(DNBR 여유도)의 증가를 기대할 수 있다.

- RCOPS 적용을 위해 CETOP-D 코드를 최적화하여 효율적인 실시간 DNBR 계산이 가능하도록 하였다. 아울러 RCOPS DNBR 모듈의 입력변수와 출력변수의 변화는 없도록 하여 다른 모듈과의 연계성 문제를 해소하였다.
- RCOPS 응용 S/W 작성 및 향후 모듈시험의 효율성을 증진시키기 위해 DNBR 모듈의 기능설계요건서에는 각 서브모듈별 입력/출력 변수를 정의하였다.
- RCOPS DNBR 모듈을 모의한 전산코드(RCOPS-SDNBR)를 개발하여 DNBR 모듈의 기능설계와 DB의 검증 및 실시간 응용 S/W의 오류교정에 활용하였다.
- RCOPS 알고리즘 개발은 관련 3개 기관이 컨소시엄으로 참여하여 전문 분야별로 과제를 분담하여 수행하고 공동으로 협력하여 통합 알고리즘과 DB 체계를 성공적으로 구성하였다. RCOPS 응용 S/W 개발팀과의 협력도 원활하게 이루어져 개선 알고리즘에 대한 이해도의 증진과 더불어 실시간 S/W의 작성도 순조롭게 진행되었으며 RCOPS 모의 단일 채널에서의 예비 시험계산 결과도 만족스럽게 나타났다.

5. 연구개발결과 활용방안

가. RCOPS 열수력모델 개선

RCOPS 열수력모델은 노심 운전 제한인자인 DNBR을 실시간으로 계산하기 위해 필수적인 알고리즘으로 노심의 열적여유도(DNBR 여유도)를 결정한다. 실시간 노심보호계통의 열수력 모델 개선은 DNBR 여유도를 증가시키므로써 원자로의 출력증강 및 고연소도 운전시 활용 가능하다. 원자로 열적여유도의 증가는 과도상태시 원자로 출력감소나 불시정지 가능성을 감소시키는 등의 원자로 운전여유도를 증대시켜 원전의 이용률 향상을 기대할 수 있다. 따라서 실시간 노심보호계통의 DNBR 계산을 위한 열수력모델의 개선은 궁극적으로 원전의 경제성을 향상시켜 다른 발전방식에 비해 우월한 경쟁력을 확보할 수 있는 기반을 마련하는 의의가 크다.

실시간 DNBR 계산방법은 원자로 노심보호계통의 핵심기술로 이 분야에 대한 기술축적은 원자로 개발기술의 핵심기술 자립과 국제경쟁력 확보를 의미한다. 즉, 노심보호계통 핵심기술의 자립은 핵심 원전 안전계통인 노심보호계통의 국산화에 활용가능하다.

나. RCOPS 알고리즘 개발

RCOPS는 국내원전 8개 호기(영광 3-6/울진 3-6) 및 미국원전 7개 호기(ANO2, SONGS2-3, WSES-3, PVNGS 1-3)에서 운용중인 실시간 노심보호계통(CPCS)을 국산화하기 위해 개발중인 개량형 노심보호계통이다. 노심보호계통은 CPU(또는 PLC 프로세서)와

입출력모듈 등을 포함한 하드웨어, 계통 S/W와 응용 S/W로 구분된다. 응용 S/W는 노심보호계통에서 요구되는 주요 노심 운전조건을 계산하기 위한 알고리즘으로 구성되어 있다. 알고리즘 부분은 원자로의 운전에 큰 영향을 미치므로 계측기 오신호, 운전원 실수 또는 예상하지 못한 운전조건 등의 이유로 원자로가 불시정지 되지 않도록 알고리즘의 개선이 중요하다. 더욱이 실시간 노심보호계통의 알고리즘은 노심보호계통의 국산화를 위해 반드시 자체 개발해야할 원전 핵심기술이다.

실시간 노심보호계통 국산화의 1단계로 추진된 RCOPS 개발과제에서는 국내 신규원전에서의 적용과 가동원전 노심보호계통의 교체를 목표로 하드웨어와 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서는 원자로 불시정지의 감소와 열적여유도 향상을 위해 필요한 주요 알고리즘을 개선하였다. 2단계 연구개발에서 RCOPS 계통 및 알고리즘에 대한 검증시험과 인허가 절차를 완료하면 신울진 1,2호기 등의 국내원전 후속호기에 RCOPS의 공급이 가능할 것으로 예상되며 가동중인 국내 표준원전 CPCS의 전면교체 또는 개량에도 활용할 수 있다. 한편, RCOPS를 위해 개선된 알고리즘은 독립적인 적용이 가능하므로 표준원전 CPCS 알고리즘을 대체할 수 있는 특징이 있다. 국산화된 노심보호계통의 국내원전 공급은 기기공급 비용의 인하는 물론이고 유지보수가 편리한 장점이 있다. 또한 노심보호계통 기술의 해외 의존도를 탈피하고 국내기술의 국제경쟁력을 강화하는 계기가 될 것으로 판단된다.

6. 연구성과

가. 총괄표

구 분	1차년도 (‘04.7.15~’05.2.28)		2차년도 (‘05.3.1~’06.2.28)		3차년도 (‘06.3.1~’07.2.28)		합계(단위:건수)	
	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외
논문게재								
논문발표								
특허출원								
특허등록								
프로그램등록								
기술이전								

※ 해당 과제와 관련있는 연구성과만 기재

나. 세부목록

1) 논문게재 및 발표

구분	연 번	논문제목	학술지(회의)	연도/권 /호	주관단체	연 구 (발표)자	
국내	게재	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	발표	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
국외	게재	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	발표	1					
		2					
		3					
		4					
		5					

※ 발간 및 학술회의 개최 확정시만 기재하고, 게재예정 및 발표예정 논문은 제외

2) 지적재산권 출원·등록

구분	연번	명칭	국명	출원/등록일	출원/등록번호	발명(연구)자	
발명특허	출원	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	등록	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
프로그램	출원	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
	등록	1					
		2					
		3					
		4					
		5					

※ 지적재산권 등록시 출원일을 아울러 기재하기 바람

3) 기술이전 실적

이전기술내용	업체명	방법 (용역/자문/수탁)	경비(기술료)	기간	비고

7. 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보

특이 정보 없음.

8. 본 과제 평가시 고려사항 또는 기타의견

본 과제는 새로운 기술개발이 아닌 기 개발된 기술을 응용하여 국내원전에의 적용을 목표로 하는 실용화 연구의 1단계로 논문과 특허 등의 정량적 연구성과는 미미하다. 그러나 2 단계 연구에서 검증시험 및 인허가 절차를 완료하면 핵심 원자로 안전계통의 국산화 달성 및 국내원전에의 적용이 실현될 전망이다.

부록 A: 최적 실시간 열수력모델 선정(노심 열수력 해석방법 검토 및 비교 평가)

가. 개요

원자로에 장전되는 핵연료 다발은 대부분 삼각형 또는 사각형 배열의 연료봉과 냉각수가 흐르는 부수로(Subchannel)로 구성된다. 핵연료 다발에 대한 열수력 특성 분석은 대부분 부수로 해석을 통해 이루어지고 있다. 부수로 해석은 제어체적인 부수로내의 속도와 온도분포 등의 미세한 유동구조를 무시하고 부수로의 평균 유량과 유체온도를 계산하는 방법이다. 부수로 해석모델에 따라 상세 부수로 해석방법과 단순 부수로 해석방법이 있다. 상세 부수로 해석방법은 원자로 입구 유량분포와 노심 반경방향 출력분포를 이용하여 최소 핵비등이탈률(DNBR)이 발생 가능한 고온 부수로의 위치를 찾고 그 주변 부수로를 상세하게 모델링하여 지배방정식(질량보존방정식, 운동량보존방정식, 에너지보존방정식)을 반복해법을 이용하여 푸는 방법이다. 반면에 단순 부수로 해석 방법은 가상 고온 부수로를 보수적으로 설정하고 여러 개의 부수로를 통합한 그룹 부수로와 운동량과 에너지 전달계수 모델을 이용하여 단순화된 지배방정식의 해를 구하는 방법이다.

경수로 노심 열수력 설계에 사용되고 있는 상세 부수로 해석코드는 웨스팅하우스사의 THINC-IV[1]와 CE사의 TORC[2]이다. TORC 코드는 COBRA-IIIC[3]를 근간으로 개발되었으며 3단계의 노심 부수로 해석모델을 사용하여 3차원 상세 노심 열수력 분석을 수행할 수 있다. THINC-IV 코드는 COBRA 계열의 코드와는 달리 횡방향에 대해서 섭동 방법론을 적용하여 지배방정식을 단순화시키고 횡방향 유속에 대하여 보다 정확한 계산능력이 있는 것으로 알려져 있다. 한국원자력연구소는 COBRA-IIIC를 개량한 COBRA-IV-I를 기반으로 부수로 해석코드인 MATRA(Multichannel Analyzer for Steady States and Transients in Rod Arrays)를 개발하였다. MATRA[4]는 정상상태 및 과도상태에서의 노심 엔탈피(온도)와 유동분포를 계산하기 위한 부수로 해석코드이다. 이 코드는 유동 해석모델을 개선하여 정확성을 높이고 다양한 기능과 보다 편리한 사용자 환경을 구성하였다.

CE(현재 웨스팅하우스)는 위에서 언급한 바와 같이 상세 부수로 해석코드인 TORC를 개발하였으나 3단계에 걸친 노심 최소 DNBR(MDNBR) 계산방법은 계산시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 노심 열수력 설계에 필요한 많은 양의 MDNBR 계산을 신속하게 수행하기 위해 1단계의 단순화된 부수로 해석코드인 S-TORC[5]를 개발하였다. S-TORC는 TORC 코드에 비해 단순화된 해석모형을 사용하므로 TORC 코드로 계산된 MDNBR과의 차이를 보상해주기 위해 페널티가 이용된다. 한편, CE는 디지털 노심감시계통(COLSS)과 노심보호연산기(CPC)에서의 실시간 노심 MDNBR 계산을 위해 단순 그룹수로 해석모형을 이용한 CETOP(CE Thermal Online Program)[6]을 개발하였다. CETOP 코드는 노심을 4개의 그룹수로 모델링하고 인접한 그룹수로 사이의 횡류와 난류혼합 효과를 고려하기 위해 유체속도와 압력 및 엔탈피에 대한 전달계수(Transport coefficient)를 사용한다. 지배 방정식의 해를 얻기 위해 반복 수치해법이 아닌 'Prediction-Correction' 수치해법을 이용한다. 인접 그룹수로 사이의 전달계수는 모두 상세 부수로 해석코드인 TORC 계산결과를 이용하여 미리 결정할 수 있다. 그러나 엔탈피 전달계수는 노심 운전조건에 매우 민감한 것으로 나타났으므로 이의 계산을 위해 그룹수로를 추가한 노심해석모형을 이용한 CETOP-D 코드[7]가 개발되었다. CETOP-D는 노심 열수력 설계에 사용하기 위해 개발한 단순화된 부수로 해석코드인 S-TORC만큼 정확하고 보다 빠른 MDNBR 계산이 가능하여 현재는 S-TORC 코드를 대체하여 설계에 이용되고 있다. CETOP-D 코드의 MDNBR 계산은 고온다발 수로의 입구유량 조정인자를 사용하여 TORC 코드에 비해 보수적이 되도록 한다. COLSS와 CPC에 이용되는 CETOP은 빠른 MDNBR 계산을 위해 미리 계산된 전달계수를 사용해야 하므

로 엔탈피 전달계수를 활용한 CETOP-D 코드와의 조정(Tuning) 작업이 선행되어야 한다.

CETOP은 넓은 범위의 COLSS와 CPC 운전조건에서 상세 부수로 해석코드인 TORC에 비해 보수성이 확보되도록 조정된다. 따라서 정상 운전조건에서 CETOP을 이용한 실시간 MDNBR 계산은 지나치게 보수적으로 이루어져 DNBR 여유도(Margin)를 감소시키는 요인이 된다. DNBR 여유도의 증가는 원자로 정지여유도와 운전여유도의 증가를 뜻하며 나아가서 안전해석을 포함한 노심설계의 여유도를 증가시키고 설계절차의 단순화와 설계일정을 단축시킬 수 있는 이점이 있다. 따라서 노심 DNBR 여유도 향상을 위해 노심 장전모형의 최적화와 노심입구 온도 강하, 노심 출력분포 계산 모델과 DNBR 계산방법의 개선 등 다각적인 노력이 경주되고 있다. 인왕기 등[8]은 다수로 해석 모델의 COLSS 적용 가능성을 고찰하기 위해 단순(통합) 부수로 해석 모델과의 비교-분석을 수행하였다. 영광3호기 1주기 정상운전 허용범위 이내의 다양한 운전조건에서 단순 그룹수로 해석코드인 CETOP-D와 다수로 해석코드인 MATRA를 비교하였다. DNBR 계산의 정확성과 보수성을 확보하기 위해 CETOP-D 코드는 상세 부수로 해석코드와의 사전 조정과정이 필요하지만 MATRA 코드는 이 과정이 생략된다. MATRA는 CETOP-D에 비해 DNBR 과출력 여유도를 2.5%~6% 증가시키는 것으로 평가되었으며 DNBR 계산시간은 워크스테이션 HP9000(PA8000 CPU, 180 MHz)에서 약 1초로 나타났다.

본 과제에서는 개량형 디지털 노심보호계통(CPCS)의 최적 DNBR 계산방법을 선정하기 위하여 부수로 해석방법과 그룹수로 해석방법을 비교하였다. 부수로 해석은 제어체적인 부수로내의 속도와 온도분포 등의 미세한 유동구조를 무시하고 부수로의 평균유량과 유체온도를 계산하는 방식이다. 그룹수로 해석방법은 노심을 4개의 그룹수로 정의하여 빠르고 보수적인 DNBR 계산을 수행한다. 본 연구에서 사용한 부수로 해석코드는 단순 통합수로 모형(Lumping model)을 이용한 TORC와 MATRA이고, 그룹수로 해석코드는 최적 노심열수력 설계코드인 CETOP-D와 CPCS에서 이용하고 있는 단순화된 그룹수로 해석코드인 CETOP2[6]이다. 기준 DNBR 계산을 위해 3단계 상세 노심 부수로 해석모형을 이용한 TORC 계산도 수행하였다. 각각의 DNBR 계산방법을 이용하여 영광 3-4호기 초기노심의 다양한 CPC 운전조건에서 DNBR 계산을 수행하였으며 각 경우의 DNBR 계산 불확실도와 DNBR 여유도를 평가하였다.

나. 노심 DNBR 계산방법

가압경수로 노심에 대한 다수로 해석 체계로서 가장 널리 사용되고 있는 부수로 해석코드(Subchannel analysis code)는 원자로 노심 열수력장 해석에 적용되는 핵심적인 코드이며, 현재 국내에서는 웨스팅하우스의 THINC-IV와 CE의 TORC 등이 노심 열수력 설계에 사용되고 있다. 현재 경수로 노심 열수력 설계에 사용되고 있는 부수로 해석코드들은 대부분 2상유동(Two-phase flow) 해석을 위해 Homogeneous Equilibrium Model(HEM) 혹은 Slip Equilibrium Model(SEM) 모델을 사용하고 있으며, 수로에 대한 축방향 유속에 비하여 횡방향 유속이 상대적으로 작은 경우에 적용되는 일차원적 접근법을 사용하고 있다. 여러가지 부수로 해석코드들 가운데 2상유동 상태에서 기체와 액체의 온도가 서로 평형을 이룬다고 가정하는 코드들은 대부분이 COBRA 계열 코드이다. 이들은 그 수치 해법(운동량 보존식을 풀때 미지수를 교차류로 두느냐, 축방향 압력구배로 두느냐에 따라서 달라짐)이나 횡방향 운동량 방정식에 대한 모형의 차이 등에 따라서 약간의 차이는 있으나 근본적으로 코드 예측 성능은 서로 비슷하다. THINC 코드는 COBRA 계열 코드와는 달리 3차원 지배 방정식을 풀지만 횡방향에 대해서 섭동 방법론을 적용하여 방정식을 단순화시키므로 기본적으로 COBRA 계열 코드와 성능이 비슷하다고 볼 수 있다. 다만 이 코드는 횡방향 유속에 대하여 보다 정확한 계산 능력이 있고 노심에서의 유량 순환

(Recirculation)을 예측할 수 있는 능력이 있는 것으로 알려져 있다.

HEM이나 SEM 그리고 일차원적 접근 방법이 갖는 여러가지 제약들을 해결하기 위하여 비교적 최근에 개발되는 코드들은 열적인 비평형 혹은 부분적인 비평형(액체에 대해서만 비평형 상태를 고려함) 모형을 사용하고 있으며, 액체와 기체의 속도 차이를 고려하기 위하여 Drift-flux 혹은 Two-fluid 모형을 사용하는 추세에 있다. 이러한 모형을 적용할 경우 풀어야할 방정식의 개수가 늘어나므로 계산 시간이나 필요한 기억 용량이 기하급수적으로 증가한다. 그러나 최근 전산기의 용량 및 계산 속도가 상당히 향상되고 있기 때문에 향후 원자로 노심설계에 적용이 가능할 것으로 전망된다. 또한 열적 비평형 모형은 보다 정확한 부수로 해석을 위하여 개발해 나가야 할 방향이지만 이를 위해서는 액체와 기체간의 경계면에 대한 여러가지 전달 모형들의 정확도 향상 등이 우선 해결되어야 한다. 이러한 열적 비평형 부수로 해석코드들은 아직 원자로와 같은 복잡한 구조에 적용하기 어렵지만 국부적인 열수력 조건에 대한 기준해(Reference solution)를 제공하는 의의가 있다.

부수로 해석방법의 지배방정식은 질량보존방정식, 에너지보존방정식, 축방향 및 횡방향 운동량보존방정식이며 각 방정식은 아래와 같이 표현된다. 각 지배방정식에 나타나는 체적 및 표면에 대한 적분 평균은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$\langle\langle F \rangle\rangle = \frac{1}{V} \int_V F dV, \quad \langle f \rangle = \frac{1}{A} \int_A f dA$$

질량 보존방정식:

$$A \frac{\partial}{\partial t} \langle\langle \rho_m \rangle\rangle + \frac{\partial \dot{m}_i}{\partial x} + \sum_j W_{ij} = 0 \quad (1)$$

에너지 보존방정식:

$$A \frac{\partial}{\partial t} \langle\langle \rho_m \rangle\rangle_i \langle\langle h_m \rangle\rangle_i + \frac{\partial}{\partial x} (\dot{m}_i \langle \hat{h} \rangle_i) + \sum_j W_{ij} \langle \hat{h}^* \rangle_i = Q \quad (2)$$

여기서, $Q = \frac{\partial}{\partial x} \left(\left\langle k \frac{\partial T}{\partial x} \right\rangle_i A_i \right) - \sum_j C_{ij} (T_i - T_j) - \sum_j w_{ij}' (h_i - h_j) + \sum_n \xi_n \langle q_n'' \rangle$ (3)

축방향운동량 보존방정식:

$$\frac{\partial}{\partial t} \dot{m}_i + \frac{\partial}{\partial x} \left(\left\langle \sum_k \alpha_k \rho_k u_k^2 \right\rangle_i A_i \right) + \sum_j W_{ij} \langle u^* \rangle_i = - \bar{A} \frac{\partial P}{\partial x} - F_x \quad (4)$$

여기서

$$F_x = \frac{1}{2} \left\{ \frac{f \Psi^2}{D_h \rho_m} + \frac{K}{\rho' \Delta x} \right\}_i \frac{\dot{m}_i^2}{A_i} + f_T \sum_j w_{ij}' (u_i - u_j) + A_i \langle\langle \rho_m \rangle\rangle_i g \cos \Theta \quad (5)$$

횡방향운동량 보존방정식:

$$\frac{\partial}{\partial t} W_{ij} + \frac{\partial}{\partial x} (w_{ij} \langle \bar{u} \rangle_i) + \frac{1}{l} \sum_j w_{ij} \langle \bar{v} \rangle_i = \frac{s_{ij}}{l} (P_i - P_j) - F_{ij} \quad (6)$$

여기서, $F_{ij} = \frac{1}{2} K_G \frac{w_{ij} |w_{ij}|}{\rho^* s l} + s \langle\langle \rho_m \rangle\rangle_i g \sin \Theta$ (7)

위와 같은 지배방정식의 계산은 각 축방향 평면에서의 유체의 엔탈피(h), 밀도(ρ), 교차류(w), 축방향 유량(m) 및 압력(p)을 계산 영역의 입구로부터 출구까지 계산하는 과정을 교차류와 축방향 유량에 대해 주어진 수렴 조건을 만족할 때까지 반복하게 된다. 이 과정 중에 수행되는 교차류 방정식에 대한 수치 해법으로는 일반적으로 SOR(Successive Over-Relaxation) 방법을 사용하고 있으나 저유속 조건과 같은 특정 조건에서 코드의 수렴성을 향상시키기 위하여 MATRA와 같은 부수로 해석코드에서는 가우스 소거법(Gaussian elimination)을 추가하여 선택적으로 사용할 수 있도록 하였다.

TORC 코드는 MDNBR이 발생 가능한 고온 부수로의 위치를 다음과 같은 기준을 이용하여 찾고 MDNBR 계산을 위해 세(3) 단계의 부수로 해석모델을 사용한다.

- 고온 핵연료다발의 노심입구 유량 인자가 낮음
- 고온 핵연료다발 주변의 노심입구 유량 인자가 낮음
- 고온 부수로 주변의 연료봉 출력분포가 편평함
- 고온 부수로 근처에 가연성 독봉이 없음

그림 A1은 TORC 코드의 1단계 1/4 노심해석 모델이며 노심 핵설계 코드로 계산된 핵연료 다발의 반경방향 출력분포를 보여주고 있다. 고온 핵연료다발을 결정하기 위한 노심입구 유량분포는 원자로 유동모델 시험결과를 이용한다. 위와 같은 고온 부수로 선정기준을 적용하여 핵연료다발 8번을 주어진 원자로에서의 고온 부수로가 있는 봉다발로 결정한다. 그림 A2는 TORC 코드의 2단계 부수로 해석모델로 고온다발 8번과 주변 봉다발을 나타낸다. 그림 A3은 3단계 TORC 부수로 모델로 1/4 고온다발 8에 대한 상세 부수로 모델을 나타낸다. 반경방향 봉 출력분포도 함께 나타나 있으며 부수로 31번이 노심 MDNBR이 발생하는 고온 부수로일 가능성이 가장 높다.

한편, 부수로 해석코드(TORC, MATRA)를 이용하여 빠르고 정확한 DNBR 계산을 위해 본 연구에서 개발한 단순화된 통합수로 해석모델은 그림 A4와 같다. 노심 입구 유량분포와 반경방향 출력분포를 고려하여 9개의 통합수로 모델을 구성하였다. 전체 노심의 1/4를 고온다발 수로 3과 인접한 두개의 통합수로 1과 2를 설정하였으며 고온다발 수로는 두개의 통합수로(3, 4)와 다섯개의 단일 부수로(5-9)로 구분하였다. 단일 부수로 9는 고온수로이며 수로 5-8은 고온수로와 인접한 단일 부수로이다.

CE사는 다양한 운전조건에서 노심 DNBR을 보다 빠르게 계산하기 위해 네(4) 개의 그룹수로 모델을 이용한 단순화된 DNBR 계산코드 CETOP-D를 개발하였다. 그림 A5는 CETOP-D 코드의 4-그룹수로 해석모델을 나타내는 것으로 통합수로인 노심평균 수로와 고온다발 수로를 정의하고 고온다발 수로 내부는 최소 DNBR의 발생을 가정한 고온수로 4와 주변의 그룹수로 3으로 구분한다. 고온다발 내부의 그룹수로 2와 3 사이에는 경계 부수로인 2' 과 2''를 추가로 모델링하여 다음에서 정의한 각 전달계수를 계산한다. CETOP-D 코드는 인접한 부수로 사이의 횡류와 난류혼합 효과를 고려하기 위해 유체속도와 압력 및 엔탈피에 대한 전달계수(Transport coefficient)를 사용한다. 각 지배 방정식의 해를 빠르게 얻기 위해 부수로 해석코드의 반복해법이 아닌 'Prediction-Correction' 수치해법을 이용한다. 3단계 상세 부수로 해석모델을 이용한 TORC의 계산결과와 비교하여 결정된 고온수로 유량조정 인자를 이용하여 CETOP-D 계산 DNBR의 보수성을 보장한다.

'Prediction-Correction' 해법의 특징은 하류 노드에서 예측된 교차류를 이용하여 계산된 현재 노드에서의 횡방향 압력차이가 매우 정확한 근사해라는 것이다. 상세 부수로 해석코드인 TORC는 각 축방향 위치에서 횡방향 압력차이를 초기에는 0으로 가정하여 노심 입구에서 출구까지 지배방정식을 풀고 다음 반복계산에서 결정하는 과정을 거친다. 각 축방향 위치에서 축방향 유

동의 변화가 허용오차 이내가 될 때까지 반복계산을 수행한다. 그러나 CETOP-D 코드에 적용한 'Prediction-Correction' 해법은 일회성 해법이지만 TORC의 수치해석 결과와 매우 유사한 것으로 나타났다. 일반적으로 'Prediction-Correction' 해법과 동일한 정확도의 결과를 얻기 위해서 TORC 코드는 3회 이상의 반복계산이 필요하다. 다양한 정상운전 노심조건에서 CETOP과 TORC의 계산결과를 통계적으로 비교한 결과 95%/95% 확률과 신뢰수준에서 0.77%의 페널티(평균오차 0.12%, 표준오차 0.38%)가 필요한 것으로 보고 되었다(참고문헌 [6]). CETOP-D의 계산시간은 4개 수로모델과 'Prediction-Correction' 해법을 사용하므로 TORC 코드 계산시간의 약 1/800이다.

디지털 노심보호연산기(CPC)는 실시간 DNBR 계산을 위해 CETOP-D 보다 더욱 단순화된 그룹수로 해석코드인 CETOP2를 이용한다. CETOP-D는 운전조건에 따라 각 인자에 대한 전달계수를 계산하지만 CETOP2는 미리 계산된 일정한 전달계수를 사용한다. 즉, CETOP-D는 고온수로 유량 조정인자를 사용하여 TORC 코드에 비해 보수적으로 조정되며 CETOP2는 엔탈피 전달계수를 조정하여 CETOP-D DNBR과의 오차를 최소화한다. 기존 CPC에 사용중인 CETOP2 코드의 경우 미리 결정된 전달계수를 사용하므로 별도의 경계 부수로를 정의하지 않는다.

4-그룹수로 해석방법의 각 전달계수는 다음과 같이 정의된다.

$$N_H = \frac{H_I - H_J}{h_I - h_J}, N_U = \frac{U_I - U_J}{u_I - u_J}, N_P = \frac{P_I - P_J}{p_I - p_J} \quad (8)$$

여기서 N_H , N_U 와 N_P 는 각각 엔탈피, 축방향 유속과 압력에 대한 전달계수를 뜻한다. 기호 H, U, P는 통합수로 I, J의 엔탈피, 유속, 압력을 나타내고 기호 h, u, p는 통합수로 사이의 경계 부수로(Boundary subchannel)의 엔탈피, 유속, 압력을 각각 나타낸다. 3단계 상세 부수로 해석방법을 이용한 TORC와 비교결과 계산된 노심 유동 인자들(엔탈피, 유속, 압력 등)이 N_U 와 N_P 에 따라 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 N_H 는 노심 운전조건, 특히 반경방향 출력분포의 영향을 크게 받는 것으로 평가되었다. 따라서 N_U 와 N_P 값들은 주어진 노심의 모든 운전조건에서 상세 부수로 해석코드인 TORC를 사용하여 결정되며, N_H 값은 CETOP-D의 경우 노심 운전조건에 따라 계산되고 CETOP2의 경우에는 조정인자로 사용된다.

정확한 N_H 값은 상세 부수로 해석을 수행하여 개별 부수로의 엔탈피를 계산해야만 식(8)에 의해 얻어질 수 있다. 그러나 단순 부수로 해석의 경우 근사적으로 그 값을 계산할 수 있다. 즉, 그림 A5에서 보는바와 같이 고온다발 수로 2와 수로 3 사이에 추가한 버퍼수로 2' 과 2''에 대한 근사적인 에너지 평형식을 적용하여 축방향 각 노드에서 엔탈피를 계산하고 최종적으로 N_H 값을 구한다. 이 방법은 MDNBR 계산시간을 다소 증가시키지만 노심조건에 따른 통합수로 해석을 비교적 정확하게 할 수 있는 것으로 평가된다. 한편, 노심 평균 수로 1과 고온다발 수로 2 사이와 고온 부수로 4와 인접수로 3 사이에서는 N_H 값이 1이다. 이는 수로 1과 수로 2사이의 횡방향 에너지 교환은 축방향 에너지 변화에 비해 크지 않고, 수로 3과 수로 4의 경계는 단층(Single layer)으로 구성되어 있어 버퍼수로가 필요하지 않기 때문이다. 축방향속도 전달계수도 수로 2와 수로 3 사이에서만 사용되며, 압력 전달계수의 경우 수로 2와 수로 3 사이 및 수로 3과 수로 4 사이에서 사용된다. 표 1은 4개 그룹수로 해석방법의 전달계수 값을 요약하여 보여준다.

4개의 통합수로와 전달계수 모델을 이용한 CETOP과 같은 단순 부수로 해석방법의 보수성과 정확성을 높이기 위해 조정(Tuning) 작업이 필요하다. 다양한 운전조건에서 많은 노심 DNBR 계산에 사용되는 CETOP-D 코드는 상세 부수로 해석코드인 TORC에 비해 보수성이 보장되도록

한다. 즉, 허용 노심 운전조건에서 CETOP-D의 MDNBR이 TORC MDNBR에 비해 작게 되도록 고온수로 입구유량을 감소시키는 조정인자(FSPLIT)를 결정한다. 한편, COLSS/CPC MDNBR 계산의 불확실도를 최소화하기 위해 CETOP-D와 조정 작업을 각각 수행한다. COLSS/CPC DNBR 계산모델 상수인 엔탈피 전달계수의 값을 조정하여 CETOP-D DNBR과의 오차를 최소화시킨다. 그림 A6은 엔탈피 전달계수를 이용한 단순(통합) 부수로 해석 방법(CETOP-D, COLSS/CPC DNBR 계산모델)의 검증절차를 보여준다.

표 1. 4개 그룹수로 해석방법의 전달계수 값

수로 구분	속도 전달계수(N_U)	압력 전달계수(N_p)	엔탈피 전달계수(N_H)
수로 1-2	1.0	1.0	1.0
수로 2-3	3.3	0.33	CH22*
수로 3-4	1.0	1.5	1.0

* CETOP-D에서는 버퍼수로를 이용하여 자체 계산하며 COLSS/CPC에서는 Tuning 인자로 사용

상세 부수로 해석방법을 적용한 TORC 코드의 주요 입력자료는 핵연료집합체 반경방향 출력 분포, 노심입구 유량분포와 노심출구 압력분포 및 고온 수로 다발의 봉 출력분포이다. 전달계수 모델을 이용한 단순(통합) 부수로 해석코드의 주요 입력자료는 다음과 같다.

- 정상운전조건에서의 상태변수: 계통압력, 노심입구 온도, 노심유량, 노심평균 출력
- 각 수로에 대한 기하학적 인자: 유로면적, Wetted/Heated Perimeters, 유효 봉 직경, 봉 간격, 수력직경, 축방향 수로 길이
- 노심 반경방향 고온봉 출력분포 및 수로 유효 출력인자
- 노심 평균 축방향 출력분포

CETOP 코드는 4개 수로(CETOP-D의 경우 6개 수로)를 이용하므로 위에서 열거한 CETOP 코드의 입력자료중 고온봉 출력분포와 각 수로의 유효 출력인자는 고온수로 다발의 반경방향 봉 출력분포와 기하학적 인자를 이용하여 계산한다. 즉, 고온봉의 반경방향 출력 첨두치를 찾고 1/4 고온수로 다발의 평균 출력 첨두치를 계산한다. 각 수로를 감싸고 있는 연료봉의 출력 첨두치와 수로에 접한 봉 표면의 분율을 이용하여 각 수로의 출력 첨두 인자를 1/4 고온다발 수로(수로 2)의 평균 출력 첨두치의 상대값으로 계산한다.

다. DNBR 계산결과 및 평가

부수로 해석코드와 그룹수로 해석코드를 이용하여 영광 3/4호기 초기노심의 다양한 운전조건에서 DNBR 계산을 수행하였으며 각 경우의 DNBR 계산 불확실도와 DNBR 여유도를 평가하였다. 즉, 9개의 간이 부수로 해석모델을 이용한 TORC(TORC-S)와 MATRA 계산과 4-그룹수로 해석코드인 CETOP-D와 CETOP2(CPC DNBR 모듈)를 이용하여 DNBR 계산을 각각 수행하였다. 각 DNBR 계산방법의 정확도를 평가하기 위해 3단계 상세 부수로 해석모델을 이용한 TORC(TORC-D) 계산도 수행하였다. DNBR 계산에 사용된 노심 운전조건은 영광 3/4호기 디지털 노심보호계통(CPCS)의 허용 운전범위이다. 노심 축방향 출력분포는 영광 3/4호기 초기노심의

주요 연소도(BOC, MOC, EOC)에서 생산된 다양한 형태의 분포를 사용하였으며 반경방향 출력분포는 특정 설계 출력분포(고온봉 출력 첨두인자(Fr)=1.29)를 이용하였다. DNBR 계산오차는 다음과 같이 정의하였다.

$$E_{DNBR} = \frac{DNBR - DNBR(TORC - D)}{DNBR(TORC - D)} \quad (9)$$

그림 A7은 주요 연소도(BOC, MOC, EOC)에서 계산된 각 DNBR 계산방법에 따른 노심 최소 DNBR 값을 기준 계산치인 DNBR(TORC-D)에 대비하여 도시한 것이다. 단순화된 간이 부수로 해석모델을 이용한 TORC 계산 DNBR(TORC-S)은 평균오차(μ)가 약 $\pm 0.5\%$ 이며 표준편차(σ)는 약 2%로 비교적 정확한 계산결과를 나타냈다. 동일한 간이 부수로 해석모델을 이용한 MATRA 계산 DNBR(MATRA)의 경우 평균오차가 약 $-5\% \sim -2\%$ 이며 표준편차는 약 2% ~ 4%로 다소 큰 오차를 보이고 있다. 이것은 MATRA 코드가 해석대상인 노심 특성(특히 핵연료집합체 형상)에 알맞게 최적화되지 않았기 때문이다. 한편, DNBR 설계코드인 CETOP-D의 DNBR은 평균오차가 약 -3% 로 기준 DNBR에 비해 다소 작은(보수적인) 값을 보이고 있으나 표준편차는 1.5% 이하로 가장 작게 나타났다. 기존 CPC DNBR 모듈(STATIC)을 이용한 경우 평균오차는 약 $-3\% \sim -2\%$ 이며 표준편차는 약 1% ~ 2%로 CETOP-D와 비슷한 수준으로 나타났다. 이는 CETOP-D와의 오차를 최소화시키기 위해 CPC STATIC 모듈의 엔탈피 전달계수를 조정하였기 때문이다. 표 2는 각각의 경우에 대한 DNBR 오차의 평균과 표준편차를 정리한 것이다.

표 2. DNBR 계산오차(TORC-D 기준, 반경방향 출력분포 고정, Fr=1.29)

구분	BOC(0 GWD/MTU)		MOC(8 GWD/MTU)		EOC(13.6 GWD/MTU)	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
TORC-S	+ 0.002	0.015	+ 0.005	0.021	+ 0.005	0.020
MATRA	-0.053	0.023	-0.023	0.041	-0.019	0.042
CETOP-D	-0.034	0.010	-0.029	0.013	-0.029	0.015
CPC	-0.031	0.011	-0.021	0.017	-0.023	0.021

그림 A8은 MOC에서 CETOP-D와 CPC DNBR 오차의 확률분포를 나타낸 것으로 정규분포(Normal distribution)에 가까운 특성을 보이고 있다. 위에서 이미 언급한 바와 같이 CETOP-D와 CPC DNBR 오차가 평균적으로 음(Negative)의 값을 갖는 것을 확인할 수 있으며 이는 기준코드인 TORC에 비해 대부분의 운전조건에서 보수성을 확보하기 위해 CETOP-D와 CPC의 고온수로 유량인자를 조정했기 때문이다. 그림 A9는 MOC에서 축방향 출력분포 인자(Axial shape index, ASI)에 따른 DNBR 오차의 변화를 나타낸 것으로 CETOP-D와 CPC의 보수성을 다시 한번 확인할 수 있다. 특히 ASI가 약 0.2 이상인 경우(출력분포가 노심 아래쪽으로 상당히 기울어져 있는 경우) 모든 간이 DNBR 계산결과가 보수적인 것으로 나타났다.

DNBR 계산에 소요되는 시간은 인텔 펜티엄 PC(2.8GHz CPU)에서 CETOP-D와 CPC의 경우 0.001초 미만이었으며 간이 통합부수로 해석모델을 이용한 TORC-S와 MATRA의 경우 약 0.1초로 나타났다. 참고로 3단계 노심 해석모델을 이용한 TORC 계산은 약 3초 정도 소요되었다. 국내원전에 운용중인 CPC의 DNBR 계산간격은 2초이다. 그러나 CPC DNBR 계산모델의 실행시간이 Common-Q CPC(AC-160, MC68360 CPU, 33MHz)에서 0.5초 이하인 것을 고려하면 펜티

업 PC(2.8GHz CPU)에서는 0.05초 이하이어야 할 것으로 추정된다. 따라서 현재의 하드웨어 성능을 기반으로 CPC 계통을 구성하는 경우 CETOP-D만이 CPC의 실시간 DNBR 계산요건을 만족시킬 수 있는 것으로 판단된다. 간이 통합수로모델을 이용한 부수로 해석코드 TORC 또는 MATRA의 실시간 적용을 위해서는 계산시간의 단축을 위한 수치해법의 개선과 발전소 컴퓨터의 성능향상이 필요하다. 나아가서 TORC 또는 MATRA의 노심 해석모델은 일반적으로 핵설계를 통해 얻어진 특정한 반경방향 출력분포를 이용하여 구성된다. 그러나 실제 노심에서는 축방향 출력분포뿐만 아니라 반경방향 출력분포도 실시간으로 변하므로 TORC 또는 MATRA를 CPC에 적용하기 위해서는 출력분포 변화를 고려한 간이 부수로 해석모델의 개발이 필수적이다.

현재 검토되고 있는 개량형 CPC의 하드웨어(CPU) 성능은 Common-Q 하드웨어(AC-160)보다 다소 개량된 것으로 평가되고 있으나 계산속도의 차이는 크지 않을 것으로 예상된다. 따라서 현재로서는 CPC DNBR 계산모델의 개선을 위한 유일한 방안은 CETOP-D의 적용이다. CETOP-D는 CPC DNBR 여유도의 증가뿐만 아니라 앞에서 언급한 에너지 전달계수의 별도 결정과정이 불필요하므로 노심설계 절차를 단순화시키는 장점이 있다.

CPC DNBR 모듈(STATIC)을 CETOP-D로 대체하는 경우 DNBR 여유도 변화를 평가하였다. 통상적인 CE형 노심설계 절차에 의하면 CPC STATIC 모듈은 CETOP-D 코드를 이용하여 검증된다. 또한 CETOP-D 코드의 검증은 상세 부수로 해석코드인 TORC를 이용한다. 따라서 기존 CPC DNBR 모듈과 CETOP-D의 DNBR 계산결과를 비교하기 위해서는 CETOP-D 대비 CPC의 불확실도 계산이 필요하다. 이를 위해서 앞에서 기술한 CPC 운전범위의 다양한 운전조건을 사용하여 통상적인 설계절차에 따라 CETOP-D에 대한 CPC DNBR의 불확실도를 계산하였다. 이때 노심 반경방향 출력분포는 고정되지 않고 실제 운전조건을 모의한 출력분포를 사용하였다. 그림 A10은 반경방향 출력분포에 따른 CPC DNBR 오차 분포를 나타낸 것이다. CETOP-D 대비 CPC DNBR 평균오차는 2%~3%로 다소 크게 나타났으나 표준편차는 1% 이하이다. CPC DNBR 오차 확률분포로부터 CPC DNBR 페널티 인자(CPC PF)를 계산하였다.

DNBR 여유도 평가를 위한 노심 운전조건은 다음과 같은 공칭조건을 사용하였다; 노심출력=100%, 노심 입구온도=564.5 F, 노심압력=2250 psia, 노심유량=105%, 고온봉 출력 첨두인자(Fr)=1.55. 한편, 노심 축방향 출력분포는 각 연소도의 대표적인 설계 출력분포를 사용하였다. 표 3은 공칭 운전조건에서 기존 CPC와 CETOP-D를 사용하여 계산된 최소 DNBR, CPC DNBR 페널티 인자(CPC PF) 및 페널티를 포함한 CPC DNBR(CPCadj.)을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이 CETOP-D를 이용하여 CPC DNBR을 계산할 경우 DNBR 여유도는 최적계산을 통한 증가량(Base DNBR margin)이 2%~3%이며 DNBR 모델 불확실도를 포함한 유효 증가량(Net DNBR margin)이 약 4%로 나타났다. 따라서 CPC DNBR 모듈을 CETOP-D로 대체하는 경우 DNBR 여유도는 약 2%~4% 증가할 것으로 예상된다.

표 3. CPC와 CETOP-D DNBR 비교

연소도	CPC	CPC PF*	CPCadj.	CETOP-D	Base DNBR Margin(%)	Net DNBR Margin(%)
BOC	2.230	1.0128	2.202	2.292	+ 2.8	+ 4.1
MOC	2.073	1.0178	2.037	2.112	+ 1.9	+ 3.7
EOC	2.245	1.0150	2.212	2.313	+ 3.0	+ 4.5

* Minimum($\mu + k_{95/95}\sigma$, 2σ)

참고문헌

- [1] Chelemer, H., Chu, P. T. and Hochreiter, L. E., "THINC-IV-An Improved Program for Thermal Hydraulic Analysis of Rod Bundle Cores," WCAP-7956-A, February 1989.
- [2] Combustion Engineering Inc., "TORC Code, A Computer Code for Determining the Thermal Margin of a Reactor Core," CENPD-161-P, 1975.
- [3] D. S. Rowe, COBRA IIC: A Digital Computer Program for Steady State and Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Rod Bundle Nuclear Fuel Elements, BNWL-1695, 1973.
- [4] 유연중, 황대현, "부수로 해석코드 MATRA 개발," KAERI/TR-1033/98, 1998.
- [5] Combustion Engineering Inc., "TORC Code, Verification and Simplification Methods," CENPD-206-P, 1977.
- [6] Chong Chiu, "Three-Dimensional Transport Coefficient Model and Prediction-Correction Numerical Method for Thermal Margin Analysis of PWR Cores," Nuclear Engineering and Design, 64, 103-115, 1981.
- [7] Combustion Engineering Inc., "CETOP-D Code Structure and Modeling Methods for Arkansas Nuclear One - Unit 2," CEN-214(A), 1982.
- [8] 인왕기, 유연중, 황대현, 전태현, "다수로 해석 모델의 실시간 노심감시계통 적용 가능성 연구," '98 추계학술대회, 한국원자력학회, 1998.

ϕ

				24	16	8	
				0.8736	1.1237	1.1734	
		37	31	23	15	7	
		0.7252	1.0676	1.1592	1.2056	1.2470	
	41	36	30	22	14	6	
	0.6704	0.8274	1.0757	1.0296	1.2052	1.0447	
	43	40	35	29	21	13	5
	0.7252	0.8245	0.6465	0.8348	1.2389	0.9651	1.0816
	42	39	34	28	20	12	4
	1.0713	1.0757	0.8383	0.8081	0.9062	0.9278	0.9186
0.8680	1.1591	38	33	27	19	11	3
		1.0270	1.2387	0.9046	1.2315	0.9420	1.2414
1.1215	Ⓞ44		32	26	18	10	2
	1.2054	1.2026	0.9661	0.9262	0.9445	1.0006	0.8244
1.1715	1.2455	1.0414		25	17	9	1
				1.0803	0.9162	1.2425	0.8241
							⊕

NOTE: CIRCLED NUMBER DENOTES "LUMPED" CHANNEL

그림 A1. TORC 코드 1단계 부수로 해석모델

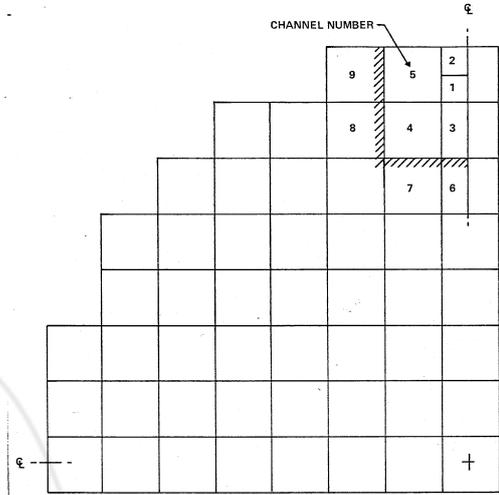


그림 A2. TORC 코드 2단계 부수로 해석모델(핵연료다발 8번)

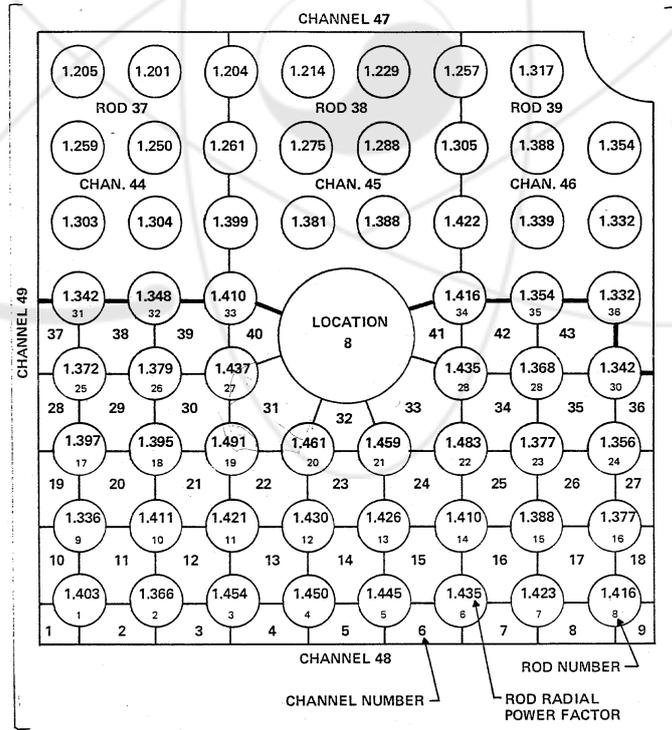


그림 A3. TORC 코드 3단계 부수로 해석모델 (1/4 핵연료다발 8번)

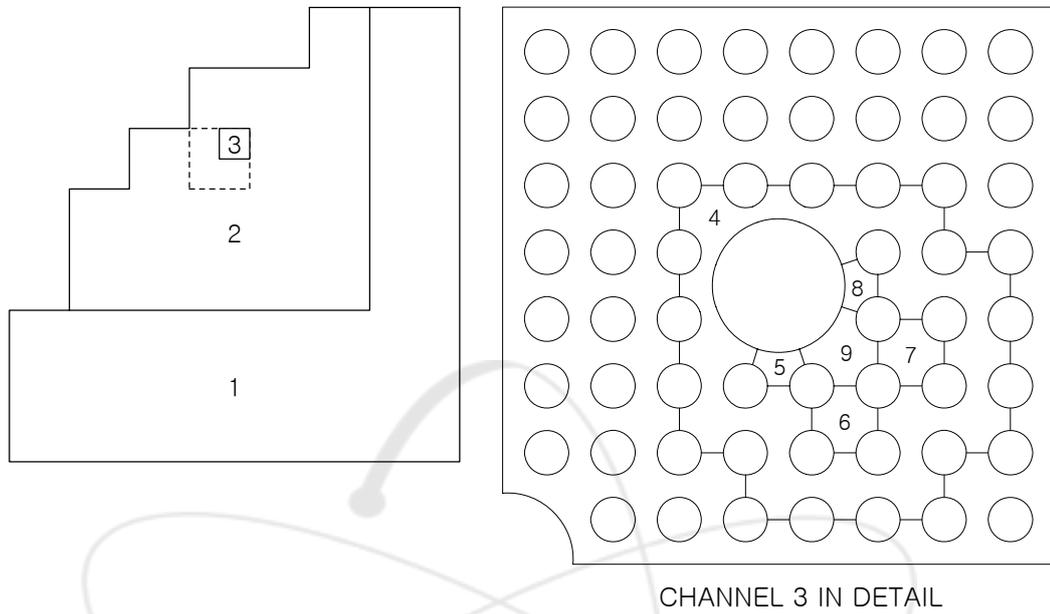


그림 A4. TORC 및 MATRA 단순 통합수로 해석모델

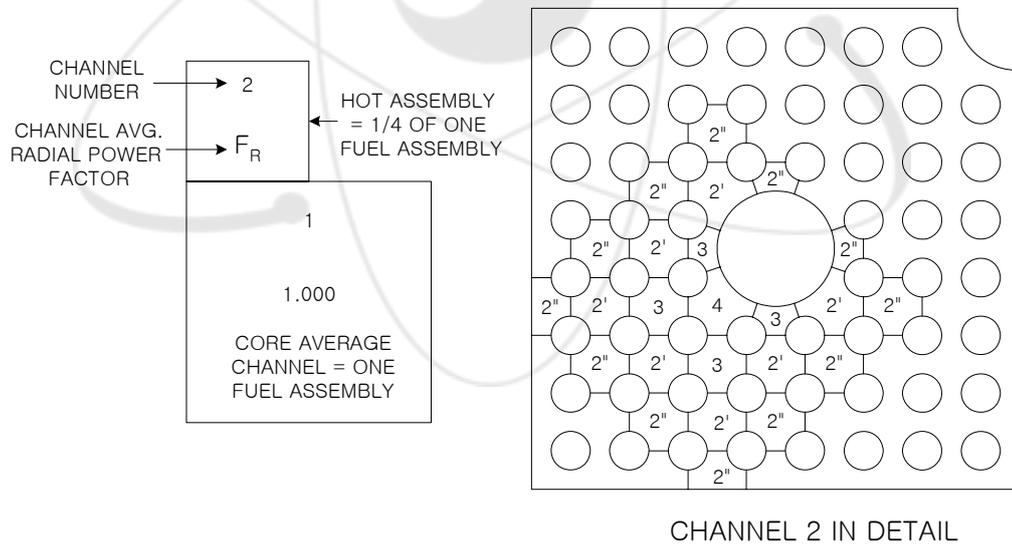


그림 A5. CETOP-D 4-그룹수로 해석모델

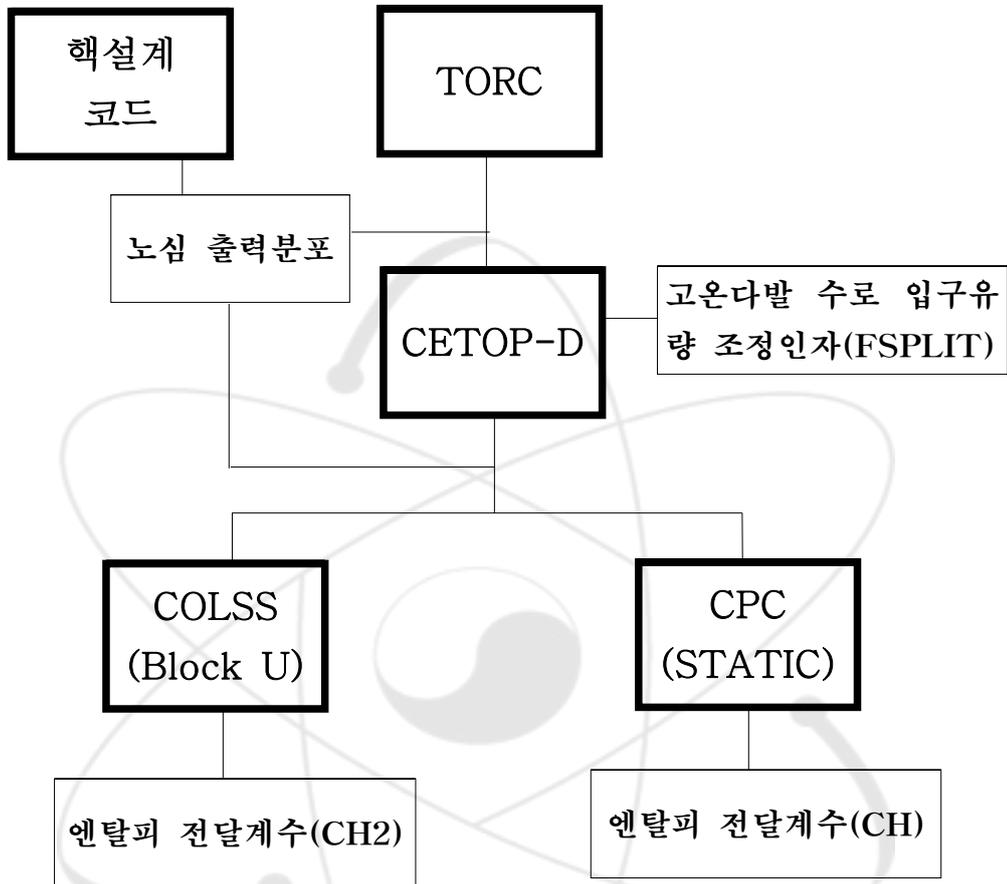


그림 A6. CE형 원자로 DNBR 계산방법의 검증절차

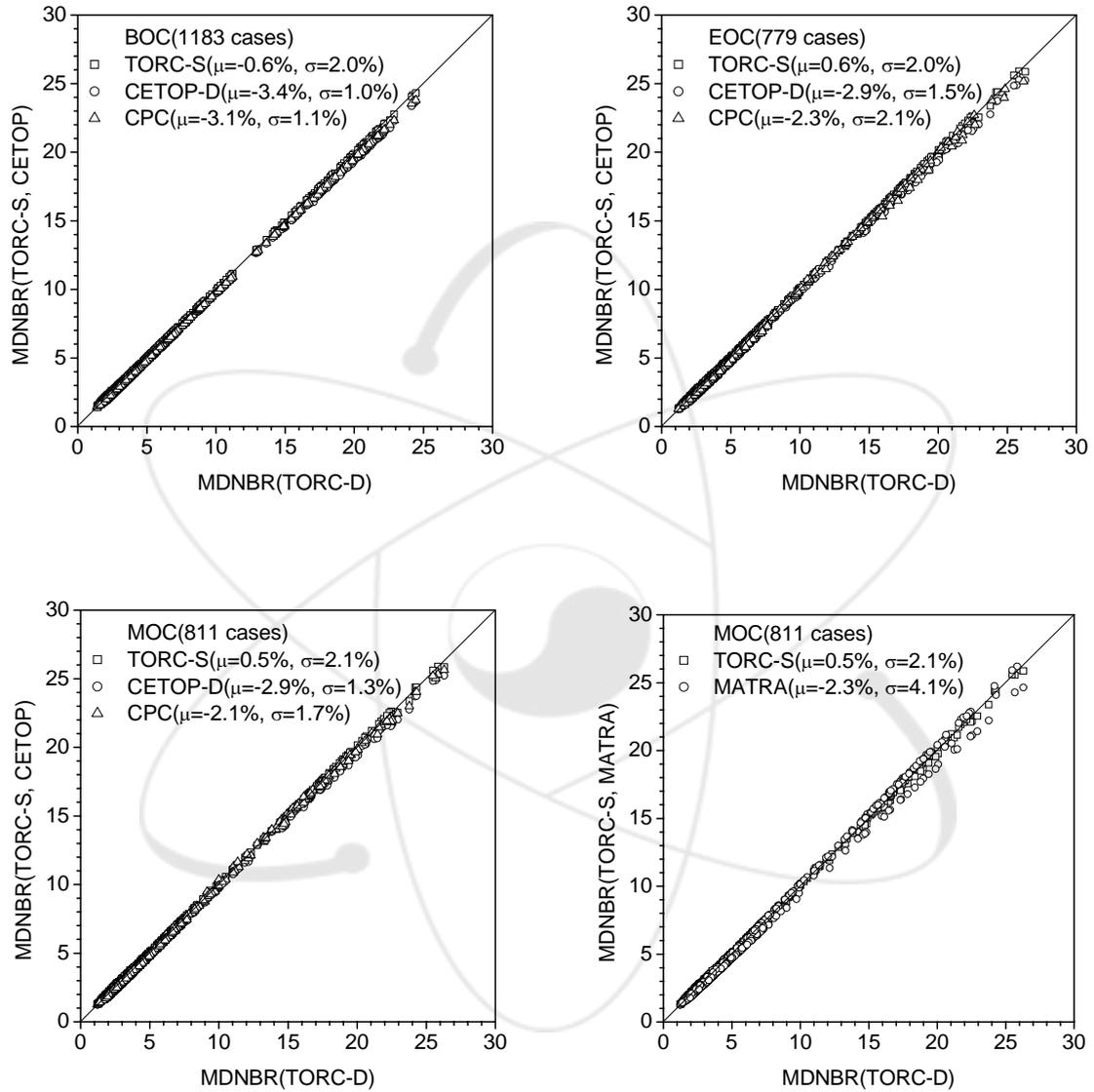


그림 A7. DNBR 계산방법에 따른 주요 연소도에서의 노심 최소 DNBR 비교

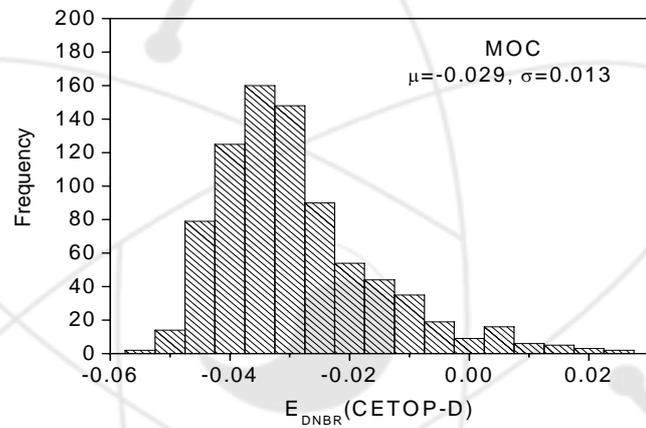
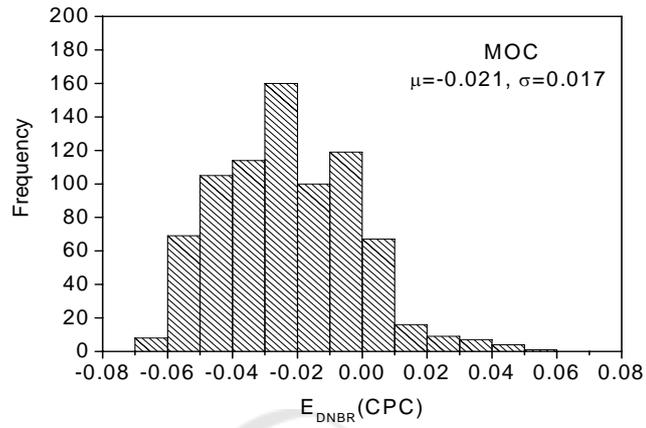


그림 A8. DNBR 오차 확률분포(MOC)

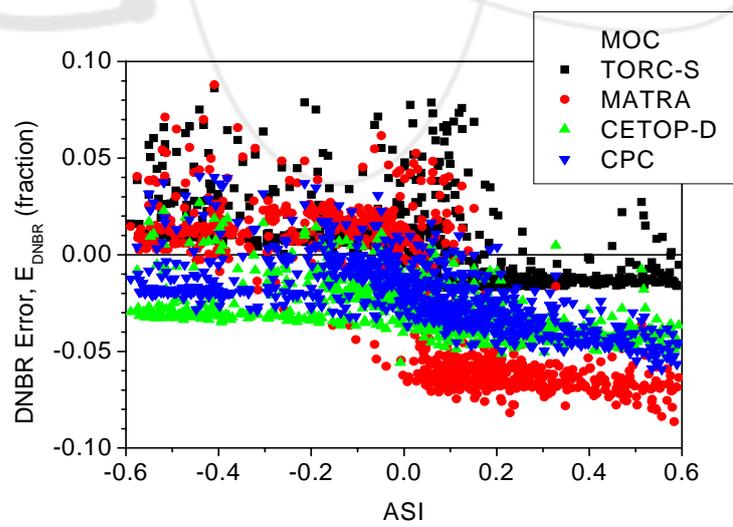


그림 A9. 노심 축방향 출력분포(ASI)에 따른 DNBR 오차 변화

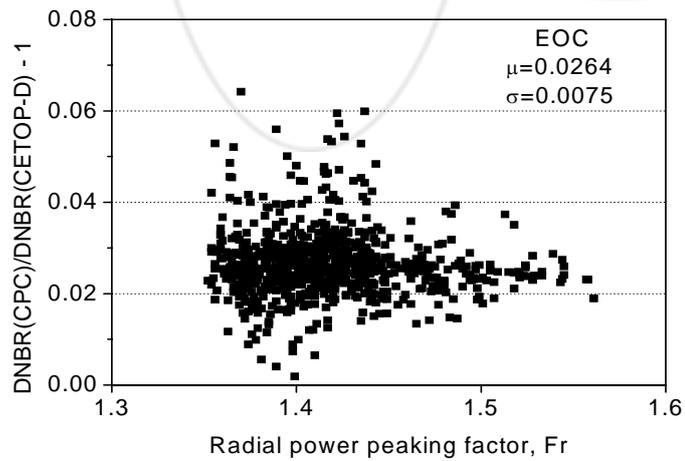
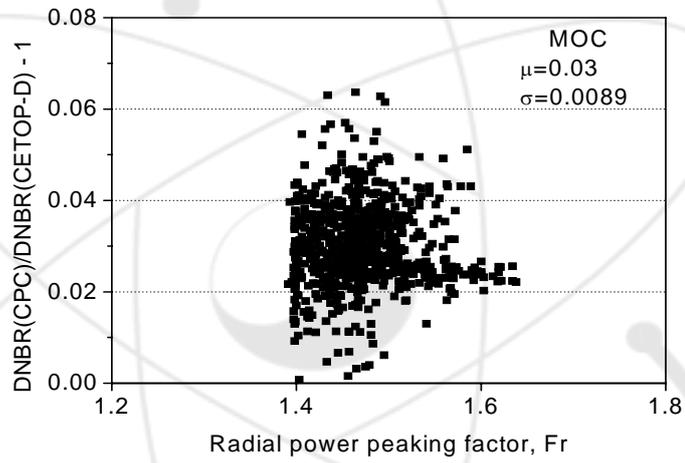
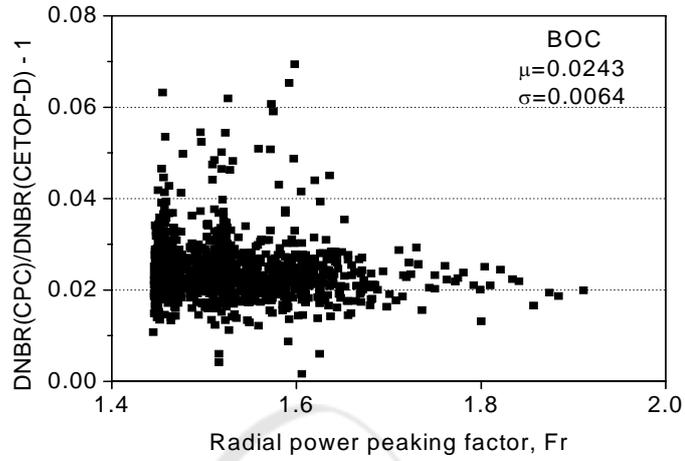


그림 A10. CETOP-D 대비 CPC DNBR 오차 분포

부록 B: RCOPS DNBR 모듈(BEST) 기능설계요건서

4.4 STATIC DNBR AND POWER DENSITY

The purpose of the Static DNBR and Power Density Program ("BEST") is to compute the static values of DNBR, hot channel quality, primary thermal power and maximum hot leg temperature. In addition, this program establishes static values of the process variables that, in turn, constitute the baseline conditions for the DNBR update.

4.4.1 BEST Algorithm Inputs

This program requires the following process parameters:

From COOL:

MC = calibrated, normalized core coolant mass flow rate

From HEAD:

P = corrected primary coolant system pressure, psia

Tcmax = maximum compensated cold leg temperature, °F

ϕ CALC = maximum compensated core average heat flux,
% of rated power

PF = CEA deviation penalty factor for DNBR

Thavg = average hot leg temperature, °F

Tc1,Tc2 = scaled cold leg temperatures, °F

Th1,Th2 = scaled hot leg temperatures, °F

Hin = inlet core coolant specific enthalpy, Btu/lbm

HF = saturated liquid specific enthalpy,
Btu/lbm

HFG = latent heat of vaporization, Btu/lbm

From HEAT:

PDAVG = average of the hot pin power distribution

PDi = relative power in axial node i of the pseudo hot pin

(i=1 to 20)

4.4.2 Upgrade Power Distribution Data And Determine the Region Dependent Allowances

Module Inputs (from Module 1):

P = corrected primary coolant system pressure
PF = CEA deviation penalty factor for DNBR
PDAVG = average of the hot pin power distribution
PDi = relative power in axial node i of the pseudo hot pin (i=1 to 20)
TCMAX = maximum compensated cold leg temperature
 ϕ CALC = maximum compensated core average heat flux,
% of rated power

Module Outputs:

ϕ c(i) = hot pin heat flux at axial node i, i=1 to 20
(to Modules 3 & 6)
QAVG = core average heat flux with penalty, Btu/sec-ft²
(to Module 6)
QHOT = heat flux generated in the fuel plus the cladding, Btu/sec-ft²
(to Module 3)
TIN = core inlet temperature (to Module 5)
PREF = system pressure, psia, (to Modules 8, 5, and
6(subroutines SAT, PROP and CHF))
P1_{ST} = integrated one pin radial peak (to Modules 6 and 11)
FSPLIT = hot assembly flow split factor (to Module 5)

Due to the order of execution of the core protection calculator subroutines, the hot pin heat flux distribution, axial shape index, and integral power and the integrated radial peaking factor are re-computed to ensure the most current values are available for the static DNBR calculation.

$$\phi c(i) = TR \cdot PF \cdot PDi \quad i=1 \text{ to } 20 \quad (4.4-1)$$

$$P1ST = PDAVG \cdot TR \quad (4.4-2)$$

$$\text{AHP} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \phi_c(i) - \sum_{i=11}^{20} \phi_c(i)}{\sum_{i=1}^{20} \phi_c(i)} \quad (4.4-3)$$

where ϕ_{CALC} = core average heat flux
 TR = azimuthal tilt allowance
 PF = CEA deviation penalty factor for DNBR
 PDi = pseudo hot pin power distribution calculated in the
Power Distribution program, $i=1$ to 20
 $\phi_c(i)$ = hot pin heat flux at axial node i , $i=1$ to 20
 PDAVG = average of the hot pin power distribution
 P1ST = integrated one pin radial peak
 AHP = hot pin axial shape index

Process basic input parameters:

$$\begin{aligned} \text{TIN} &= \text{TCMAX} & (4.4.4) \\ \text{PREF} &= \text{P} \end{aligned}$$

Determine the region-dependent algorithm uncertainty allowances:

If $\text{P1B2} \leq \text{P1ST} < \text{P1B3}$
and $\text{ASIB2} \leq \text{AHP} < \text{ASIB3}$
and $\text{TB2} \leq \text{TCMAX} < \text{TB3}$
and $\text{PPB2} \leq \text{PREF} < \text{PPB3}$

$$\text{then FSPLIT} = \text{FSPLIT1} \quad (4.4-5)$$

$$\text{and PFRGN} = \text{E1} \quad (4.4-6)$$

$$\text{Otherwise FSPLIT} = \text{FSPLIT2} \quad (4.4-7)$$

$$\text{and PFRGN} = \text{E2} \quad (4.4-8)$$

$$\text{QAVG} = (0.01 * \phi_{\text{CALC}}) * (\text{FLUX0} / 0.0036) * \text{BERR1} * \text{PFRGN} \quad (4.4-9)$$

$$\text{QHOT} = \text{QFPC} * \text{QAVG} \quad (4.4-10)$$

where

- AHP = hot pin axial shape index
 FLUX0 = core average heat flux at rated power, Mbtu/hr-ft², constant
 QAVG = core average heat flux, Btu/sec-ft²
 QHOT = heat flux generated in the fuel plus the cladding, Btu/sec-ft²

4.4.3 Construct 21-Point Power Distributions

Module Inputs:

- $\phi_c(i)$ = hot pin heat flux at axial node I, i=1 to 20 (from Module 2)
 QHOT = heat flux generated in the fuel plus the cladding, Btu/sec-ft²
 (from Module 2)

Module Outputs:

- DX = axial node length (to Module 6)
 NDXP1 = number of axial nodes (to Module 6)
 JSTAR = node number to start searching minimum DNBR, (to Module 6)
 ZFLUX(i) = 21-point hot-pin power distribution, i=1 to 21, Btu/sec-ft²,
 (to Module 6(subroutine CHF))

The twenty-one point normalized local power distribution is calculated from the twenty node power distribution, $\phi_c(i)$. The first two nodes are determined with Newton's forward difference formula:

$$\text{PHIC21}(1) = ((\phi_c(1) - \phi_c(2)) * \text{FZCOF}(1) + \text{FZCOF}(2) * \phi_c(3) + \text{FZCOF}(3) * \phi_c(4)) * \text{FZCOF}(4) \quad (4.4-11)$$

$$\text{PHIC21}(2) = (\text{FZCOF}(5) * \phi_c(1) + \text{FZCOF}(6) * \phi_c(2) + \text{FZCOF}(7) * \phi_c(3) + \phi_c(4)) * \text{FZCOF}(4) \quad (4.4-12)$$

The next seventeen nodes are determined with Bessel's formula for interpolating to halves for i from one to seventeen:

$$\text{PHIC21}(i+2) = (\text{FZCOF}(8) * \phi_c(i+2) + \text{FZCOF}(9) * \phi_c(i+1) - \phi_c(i+3) - \phi_c(i)) * \text{FZCOF}(4) \quad (4.4-13)$$

The last two nodes are determined with Newton's backward difference formula:

$$\text{PHIC21}(20) = (\text{FZCOF}(5) * \phi_c(20) + \text{FZCOF}(6) * \phi_c(19) + \text{FZCOF}(7) * \phi_c(18) + \phi_c(17)) * \text{FZCOF}(4) \quad (4.4-14)$$

$$\text{PHIC21}(21) = ((\phi_c(20) - \phi_c(19)) * \text{FZCOF}(1) + \text{FZCOF}(2) * \phi_c(18) + \text{FZCOF}(3) * \phi_c(17)) * \text{FZCOF}(4) \quad (4.4-15)$$

The PHIC21(i) should be restricted to positive values:

$$\text{If PHIC21}(i) \text{ is less than } 0.01, \text{ then PHIC21}(i) = 0.01 \quad (4.4-16)$$

$$\text{otherwise PHIC21}(i) = \text{PHIC21}(i). \quad (4.4-17)$$

The PHIC21(i) distributions are adjusted so that the area under each PHIC21(i) distribution equals the sum of $\phi_c(i)$.

$$\text{SUM20} = 0.0 \quad (4.4-18)$$

For i=1 to 20 (Beginnings of “i-loop-3A”)

$$\text{SUM20} = \text{SUM20} + \phi_c(i) \quad (4.4-19)$$

Increment index i

End of “i-loop-3A”.

The area under each PHIC21(i) is approximated using Simpson’s rule as follows:

$$\text{SUM1} = \text{PHIC21}(1) + \text{PHIC21}(21) \quad (4.4-20)$$

For the even numbered nodes,

$$\text{SUM2} = \text{SUM2} + \text{PHIC21}(i), \quad i=2,4,6,\dots,20 \quad (4.4-21)$$

For the odd numbered nodes,

$$\text{SUM3} = \text{SUM3} + \text{PHIC21}(i), \quad i=3,5,7,\dots,19 \quad (4.4-22)$$

The total area under the curve is:

$$\text{SUM21} = (\text{SUM1} + 4.0 * \text{SUM2} + 2.0 * \text{SUM3}) / 3.0 \quad (4.4-23)$$

The PHIC21(i) distributions are adjusted to integrate to twenty as follows:

$$\text{RATIO} = \text{SUM20} / \text{SUM21} \quad (4.4-24)$$

$$\text{PHIC21}(i) = \text{RATIO} * \text{PHIC21}(i), i=1,2,\dots,21 \quad (4.4-25)$$

Construct 21-point hot-pin power distribution, ZFLUX using the 21-point relative hot-pin heat flux distribution, PHIC21 and heat flux generated in the fuel, QHOT:

$$\text{DX} = \text{ZFUEL} / \text{NDX} \quad (4.4-26)$$

$$\text{NDXP1} = \text{NDX} + 1 \quad (4.4-27)$$

where, NDX = number of nodal sections, constant

For $j=1,2,\dots,\text{NDXP1}$ (Beginnings of "j-loop-3B")

$$\text{ZFLUX}(j) = \text{QHOT} * \text{PHIC21}(j) \quad (4.4-28)$$

Increment index j
End of "j-loop-3B".

Determine the axial point JSTAR to start search for critical heat flux(CHF):

For $j=2,\dots,\text{NDXP1}$ (Beginnings of "j-loop-3C")
If ZFLUX(j) is less than or equal to ZFLUX(j-1),
Then, JSTAR = j and skip to the section 4.4.5.
Otherwise, increment index j
End of "j-loop-3C"

$$\text{JSTAR} = \text{NDXP1} \quad (4.4-29)$$

where

PHIC21(i) = 21-point relative hot-pin heat flux distribution, i=1 to 21
ZFLUX(i) = 21-point hot-pin power distribution, i=1 to 21, Btu/sec-ft²

4.4.4 Deleted

4.4.5 Set Initial Values for Flow and Enthalpy

Module Inputs:

MC = calibrated, normalized core coolant mass flow rate (from Module 1)
PREF = system pressure, psia (from Module 2)

TIN = core inlet temperature (from Module 2)
 FSPLIT= hot assembly flow split factor (from Module 2)

Module Outputs:

A32 = ratio of the flow area for channels 3 and 4 with respect to channel 2 (to Module 6)
 A42 = ratio of the flow area for channel 4 with respect to channel 2 (to Module 6)
 CHH(1) = enthalpy transport coefficient at the core inlet(first node) (to Module 7)
 CH2, = initial value of average enthalpy transport coefficient (to Module 6(subroutine DIFFER))
 HECO(j) = product of conductivity and Prandtl number to the 0.4 power, i.e., $k*Pr^{0.4}$, j=1 to 5, (to Module 6(subroutine PROP))
 DHYD(i) = hydraulic diameter of channel i, i=1 to 4 (to Module 6(subroutines DIFFER and PROP))
 F(i) = inlet flow rate in channel i, i=1 to 4, lbm/s (to Module 6)
 H(i) = inlet enthalpy in channel i, i=1 to 4, (to Module 6)
 H2P(1) = enthalpy in boundary channel between channels 2 and 3 at node 1 (to Module 6(subroutine TRANS))
 H22(1) = enthalpy in boundary channel between channels 2 and 3 at node 1 (to Module 6(subroutine TRANS))

Calculate the initial enthalpy transport coefficient, CH22:

$$CH2 = 0.0 \quad (4.4-31)$$

$$CH22 = \frac{RADIAL(2)*D(2)/A(2) - RADIAL(3)*D(3)/A(3)}{(RAA2*DD2P/A2P - RADIAL(3)*D(3)/A(3))} \quad (4.4-32)$$

$$CZ = CH22 \quad (4.4-33)$$

$$\text{If } CH2 \text{ is equal to } 0.0, \text{ then } CH(2) = CH22. \quad (4.4-34)$$

Calculate intermediate array, HECO(j) to estimate the product of conductivity and Prandtl number to the 0.4 power:

$$COE = 0.0 \quad (4.4-35)$$

$$\text{If } PREF \leq PDI(1), \text{ then, } IL = 1 \quad (4.4-36)$$

If $PREF \geq PDI(5)$, then, $IL = 5$ (4.4-37)

If $PREF \geq PDI(5)$ or $PREF \leq PDI(1)$, (4.4-38)

then, go to the beginnings of "j-loop-5A" below.

For $i=1,4$ (Beginnings of "i-loop-5A")

If $PREF > PDI(i)$ and $PREF \leq PDI(i+1)$, $IL = i$ I(4.4-39)

Increment index i

End of "i-loop-5A".

$COE = (PREF - PDI(IL)) / (PDI(IL+1) - PDI(IL))$ (4.4-40)

For $j=1,2,\dots,5$ (Beginnings of "j-loop-5A")

$HECO(j) = HECL(j + (IL-1)*5) + COE * (HECL(j + IL*5) - HECL(j + (IL-1)*5))$ (4.4-41)

Increment index j

End of "j-loop-5A".

Calculate initial conditions:

$A32 = (A(3) + A(4)) / A(2)$ (4.4-42)

$A42 = A(4) / A(2)$ (4.4-43)

If TIN is greater than 580.0,

then,

$CHPT1 = 526.9277 + (-1.123889 + .211111 * 10^{-2} * TIN) * TIN$ (4.4-44)

$CHPT2 = 752.7324 + (-1.941278 + .28556 * 10^{-2} * TIN) * TIN$ (4.4-45)

otherwise,

$CHPT1 = -342.0027 + (3.018067 + (-0.4411612 * 10^{-2} + .3386983 * 10^{-5} * TIN) * TIN) * TIN$ (4.4-46)

$CHPT2 = -449.7013 + (3.678274 + (-.5785913 * 10^{-2} + .4356901 * 10^{-5} * TIN) * TIN) * TIN$ (4.4-47)

and

$CHPT = (PREF - 2400.0) / (-650.0) * (CHPT2 - CHPT1) + CHPT1$ (4.4-48)

$$\text{VIN} = ((.18084 * 10^{-9} * \text{CHPT} - .23942 * 10^{-6}) * \text{CHPT} + .12276 * 10^{-3}) * \text{CHPT} - .00379 \quad (4.4-49)$$

Calculate the flow and enthalpy related parameters:

$$\text{GIN} = \text{MC} * \text{GINREF} / 0.0036 * \text{VIN} / \text{VINREF} \quad (4.4-50)$$

$$\text{GINFS} = \text{GIN} * \text{FSPLIT} \quad (4.4-51)$$

For $i=1$, NCHANL (Beginnings of “i-loop-5B”)

$$\text{DHYD}(i) = 4. * \text{A}(i) / \text{PERIM}(i) \quad (4.4-52)$$

$$\text{F}(i) = \text{GINFS} * \text{A}(i) \quad (4.4-53)$$

$$\text{H}(i) = \text{CHPT} \quad (4.4-54)$$

Increment index i
End of “i-loop-5B”.

Set the initial values for the calculations of flow and enthalpy.

$$\text{F}(1) = \text{GIN} * \text{A}(1) \quad (4.4-55)$$

$$\text{H2P}(1) = \text{CHPT} \quad (4.4-56)$$

$$\text{H22}(1) = \text{CHPT} \quad (4.4-57)$$

$$\text{If CH2 is equal to 0.0, CH}(2) = \text{CZ} \quad (4.4-58)$$

$$\text{CHH}(1) = \text{CH}(2) \quad (4.4-59)$$

where

$\text{A}(i)$ = flow area for channel i , $i=1$ to 4, ft^2

GINFS = hot assembly inlet mass velocity, lbm/s-ft^2

$\text{PERIM}(i)$ = wetted perimeter for channel i , $i=1$ to 4, ft

4.4.6 Predict/Correct the Channel Flows and Enthalpies

Module Inputs:

A32 = ratio of the flow area for channels 3 and 4
with respect to channel 2 (from Module 5)

A42 = ratio of the flow area for channel 4 with

respect to channel 2 (from Module 5)

NDXP1 = number of axial nodes (from Module 3)

QAVG = core average heat flux, Btu/sec-ft²(from Module 2)

PREF = system pressure, psia, (from Module 2)

$\phi c(i)$ = hot pin heat flux at axial node i, i=1 to 20 (from Module 2)

JSTAR = node number to start searching minimum DNBR,
(from Module 3)

DX = axial node length (from Module 3)

ZFLUX(i) = 21-point hot-pin power distribution, i=1 to 21,
Btu/sec-ft² (from Module 3)

F(i) = inlet flow rate in channel i, i=1 to 4, lbm/s (from Module 5)

H(i) = inlet enthalpy in channel i, i=1 to 4, (from Module 5)

CH2, = initial value of average enthalpy transport coefficient for use in
CH(2) subroutine DIFFER (from Module 5)

HECO(j) = product of conductivity and Prandtl number
to the 0.4 power, i.e., $k*Pr^{0.4}$ for use in
subroutine PROP, j=1 to 5 (from Module 5)

DHYD(i) = hydraulic diameter of channel i, i=1 to 4 (from Module 5)

H2P(1) = enthalpy in boundary channel between channels 2 and 3
at node 1 for use in subroutine TRANS (from Module 5)

H22(1) = enthalpy in boundary channel between channels 2 and 3
at node 1 for use in subroutine TRANS (from Module 5)

P1_{ST} = integrated one pin radial peak (from Module 2)

HFG = latent heat (from Module 1)

HF = enthalpy of saturated liquid (from Module 1)

Module Outputs:

FDNB = minimum DNBR (to Module 8)

FDNBF = flow rate at location of min. DNBR (to Module 8)

FDNBFS = correction factor for a non-uniform heat flux distribution
at location of min. DNBR (to Module 8)

FDNBQLOC = local heat flux at location of min. DNBR (to Module 8)

FDNBX = quality at the location of min. DNBR (to Module 8)

TF = saturation temperature (to Module 9)

CHFMIN=200.0

(4.4-61)

```

WP(1)=0.0
WL(1)=0.0
WL(2)=0.0
DFDX(3)=0.0
DFDX(4)=0.0
W(1)=0.0
W(2)=0.0
W(3)=0.0
W(4)=0.0
W(5)=0.0
W(6)=0.0
KMN1 = 0
KMN2 = 0
NK=NCHANL-1

```

(4.4-62)

where

```

CHFMIN = initial values of critical heat flux ratio
WP(1)   = initial value of turbulent mixing parameter
WL(1),  = initial values of crossflow rate per unit length
WL(2)
DFDX(3),= initial values of flow gradient,
DFDX(4)
W(1-6)  = initial values of flow area-weighted crossflow rate
KMN1,   = initialized intermediate variables
KMN2

```

For $j=1,2,\dots,NDXP1(=21)$ (Beginnings of "j-loop-6A")

```

JP1=j+1

```

(4.4-63)

```

JM1=j-1
JML=(JM1-1)*NCHANL
L=JM1*NCHANL
JPL=j*NCHANL
M=JM1*NK
JPM=j*NK

```

If j is greater than 1, go to step (1) below.

otherwise, call a thermodynamic property routine 'SAT' to calculate saturation properties, i.e.,

$$\text{CALL SAT(PREF, VF,VFG,TF,VISS)} \quad (4.4-64)$$

$$\text{TDI(5)=TF} \quad (4.4-65)$$

$$\text{VG=VF+VFG} \quad (4.4-66)$$

and call a thermodynamic property routine 'PROP' to calculate subcooled and two-phase properties at j=1, i.e.,

$$\text{CALL PROP(1,NCHANL)} \quad (4.4-67)$$

Go back to the beginnings of "j-loop-6A" above and increment index j.

Step (1): Calculate the channel flows at node j (j.ge.2) for the four channels, F(1-4+L)

$$\text{F(1+L)=F(1+JML)-DX*WL(j)} \quad (4.4-68)$$

$$\text{F(2+L)= F(2+JML)+ DX*WL(j)} \quad (4.4-69)$$

$$\text{F(3+L)= F(3+JML)+DX*DFDX(3)} \quad (4.4-70)$$

$$\text{F(4+L)= F(4+JML)+DX*DFDX(4)} \quad (4.4-71)$$

$$\text{If } j > 2, \text{ GRID=GRIDSS} \quad (4.4-72)$$

If j > 2, go to step (2) below.

$$\text{GRID=.FALSE.} \quad (4.4-73)$$

$$\text{GRKIJ(j)=0.0} \quad (4.4-74)$$

For i=1,2,...,NGRID (Beginnings of "i-loop-6A")

$$\text{ZG=GRIDXL(I)*ZFUEL} \quad (4.4-74a)$$

If ZG > X(JM1) and ZG ≤ X(j),

then, GRID=.TRUE.

$$\text{and GRKIJ(j) = GRIDKIJ(i)} \quad (4.4-74b)$$

otherwise, increment index i

End of "i-loop-6A".

where NGRID = number of spacer grids, constant

Calculate linear heat distributions of four channels:

For $i=2,\dots,NCHANL$ (Beginnings of "i-loop-6B")

$$QPRIM(i) = QAVG * \phi_c(JM1) / P1PB * RADIAL(i) * 3.14159 * D(i) \quad (4.4-75)$$

Increment index i

End of "i-loop-6B"

$$QPRIM(1) = QAVG * (\phi_c(JM1) / P1_{ST}) * 3.14159 * D(1) * RADIM1 \quad (4.4-76)$$

$$QPRI2P = QAVG * \phi_c(JM1) / P1PB * RAA2 * 3.14159 * DD2P \quad (4.4-77)$$

$$QPRI22 = QAVG * \phi_c(JM1) / P1PB * RAA22 * 3.14159 * DD22 \quad (4.4-78)$$

Step (2): Calculate mixing and cross flow resistance parameters based on the flows at $j-1$, CIJ(1-3) and WP(1-3).

Call a subroutine, CIJMIX as follows:

$$CALL CIJMIX(j, NK, NCHANL) \quad (4.4-79)$$

Calculate the flows and turbulent mixing at node j for the buffer channels(2P and 22), F22 and F2P.

$$WP2P = WP(2) * GAP2P / GAP(2) \quad (4.4-80)$$

$$WP22 = WP(2) * GAP22 / GAP(2) \quad (4.4-81)$$

$$WP2 = WP(2) \quad (4.4-82)$$

$$F22 = ((F(3+L) + F(3+JML)) / 2.) * (A22 / A(3)) \quad (4.4-83)$$

$$F2P = ((F(3+L) + F(3+JML)) / 2.) * (A2P / A(3)) \quad (4.4-84)$$

$$QP1 = QPRIM(3) \quad (4.4-85)$$

Step (3): Calculate enthalpy gradients for each channel, DHDX(1-4) by using a subroutine DIFFER.

$$CALL DIFFER(JM1, NK, 1, NCHANL) \quad (4.4-86)$$

Step (4): Calculate enthalpy for each channel, H(1-4) at j .

$$H(1+L)=H(1+JML)+DX*DHDX(1) \quad (4.4-87)$$

$$H(2+L)=H(2+JML)+DX*DHDX(2) \quad (4.4-88)$$

$$H(3+L)=H(3+JML)+DX*DHDX(3) \quad (4.4-89)$$

$$H(4+L)=H(4+JML)+DX*DHDX(4) \quad (4.4-90)$$

$$CHH(j)=CH(2) \quad (4.4-91)$$

Step (5): Calculate subcooled and two-phase properties at j, using a subroutine PROP, i.e., RHO, VFRIC, FSP, and FMULT(PHII).

$$\text{CALL PROP}(j,NCHANL) \quad (4.4-92)$$

If $j > 2$, then go to step (5B) below,
otherwise, go to step (5A).

Step (5A): Calculate pressure gradients DPDX(1-2) and update flows at $j=2$ for channels 1 & 2 using a subroutine DIFFER.

$$\text{CALL DIFFER}(j,NK,5,2) \quad (4.4-93)$$

$$W(2+M)=WL(j)*A32 \quad (4.4-94)$$

$$W(3+M)=WL(j)*A42 \quad (4.4-95)$$

$$XLL1=(-DX)*WL(2)/F(1)+1.0 \quad (4.4-96)$$

$$U(5)=XLL1*U(1) \quad (4.4-97)$$

$$F(5)=XLL1*F(1) \quad (4.4-98)$$

$$XLL2=DX*WL(2)/F(2)+1.0 \quad (4.4-99)$$

For $i=2,4$ (Beginnings of "i-loop-6C")

$$F(i+4)=XLL2*F(i) \quad (4.4-100)$$

$$U(i+4)=XLL2*U(i) \quad (4.4-101)$$

Increment index i

End of "i-loop-6C".

Step (5B): Check the location of spacer grid.

If j is greater than or equal to NDXP1,
then, go to step (10-11),
otherwise, check the location of spacer grid,

GRID=.TRUE. or .FALSE.:

GRIDSV=GRID (4.4-102)

GRID=.FALSE. (4.4-103)

GRKIJ(JP1)=0.0 (4.4-104)

For i=1, NGRID (Beginnings of "i-loop-6D")

ZG=GRIDXL(i)*ZFUEL (4.4-105)

If $ZG > X(j)$ and $ZG \leq X(j)+DX$, then GRID=.TRUE.

and, GRKIJ(JP1)= GRIDKIJ(i) (4.4-106)

Increment index i

End of "i-loop-6D"

GRIDSS=GRID (4.4-107)

where NGRID = number of spacer grids, constant

Step (6): Predict the flows for channels 1 & 2 at j+1.

$XLL4 = \phi_c(j) / \phi_c(JM1)$ (4.4-108)

$F(1+JPL) = F(1+L) - DX * WL(j)$ (4.4-109)

$F(2+JPL) = F(2+L) + DX * WL(j)$ (4.4-110)

$QPRI2P = QPRI2P * XLL4$ (4.4-111)

$QPRI22 = QPRI22 * XLL4$ (4.4-112)

Step (7): Predict the enthalpies for channels 1 & 2 at j+1.

For i=1, 4 (Beginnings of "i-loop-6E")

$QPRIM(i) = QPRIM(i) * XLL4$ (4.4-113)

If $i > 2$, then increment index i,

otherwise, $H(i+JPL) = H(i+L) + DX * DHDX(i) * XLL4 * (F(i+JML)$

$+ F(i+L)) / (F(i+L) + F(i+JPL))$ (4.4-114)

Increment index i

End of "i-loop-6E" here.

Step (8): Calculate subcooled and two-phase properties at j+1, using a subroutine PROP, i.e., RHO, VFRIC, FSP, and FMULT(PHII).

CALL PROP(JP1,2) (4.4-115)

Step (9): Obtain predicted cross flows between channels at j+1 by solving axial and transverse momentum equations, $W12(j+1)=WL(JP1)$.

Call a subroutine DIFFER to calculate pressure gradients for channels 1 & 2, DPDX(1-2). A subroutine DIVERT is called upon by DIFFER to calculate the cross flow.

CALL DIFFER(JP1,NK,6,2) (4.4-116)

$W(2+JPM)=WL(JP1)*A32$ (4.4-117)

$W(3+JPM)=WL(JP1)*A42$ (4.4-118)

GRID=GRIDSV (4.4-119)

Step (10-11): Calculate the cross flows at j by using the subroutines DIFFER and DIVERT. DIFFER is used to calculate the pressure and flow gradients. DIVERT is used to calculate the diversion cross flow.

CALL DIFFER(j,NK,3,NCHANL) (4.4-120)

CALL DIVERT(j,4,NK) (4.4-121)

CALL DIFFER(j,NK,2,NCHANL) (4.4-122)

Step (12): Correct the channel flows at j.

$F(1+L)=F(1+JML)+DX*DFDX(1)$ (4.4-123)

$F(2+L)=F(2+JML)+DX*DFDX(2)$ (4.4-124)

$F(3+L)=F(3+JML)+DX*DFDX(3)$ (4.4-125)

$F(4+L)=F(4+JML)+DX*DFDX(4)$ (4.4-126)

If $j < JSTAR$,

then, go back to the beginnings of "j-loop-6A" above and increment index j
otherwise, search for CHF in channel 4 as described below.

$XX=(H(4+L)-HF)/HFG$ (4.4-127)

Limit the quality to 0.995:

If $XX > 0.995$, $XX=0.995$. (4.4-128)

$QUALN(j) = XX$ (4.4-129)

$FAA = F(4+L)/A(4)*0.0036$ (4.4-130)

Calculate the critical heat flux ratio in a subroutine CHF.

$CALL CHF(j,FAA,XX,FSJ,CHFRJ)$ (4.4-132)

$CHFMIN = MIN[CHFRJ,CHFMIN]$ (4.4-133)

If CHFMIN is equal to CHFRJ, then $JL=j$ (4.4-134)

and, $CQUAL = (H(4+L)-HF)/HFG$ (4.4-135)

and, $FDNBFS = FSJ$ (4.4-136)

and, $FDNBF = FAA$ (4.4-137)

End of "j-loop-6A" here.

Determine the minimum DNBR and the associated parameters:

$FDNB = CHFMIN$ (4.4-138)

$FDNBX = CQUAL$ (4.4-139)

$FDNBQLOC = ZFLUX(JL)$ (4.4-140)

Calculate the core average enthalpy transport coefficient:

$ATR = 0.0$ (4.4-141)

For $j=1$, NDXP1 (Beginnings of "j-loop-6F")

$ATR = ATR + CHH(j)$ (4.4-142)

Increment index j

End of "j-loop-6F" here.

$ATR = ATR / NDXP1$ (4.4-143)

where

$U(i+L)$ = axial velocity for channel i ($i=1$ to 4)
at axial node L ($= (j-1)*NCHANL$), ft/sec

$F(i+L)$ = flow rate for channel i ($i=1$ to 4) at
axial node L ($= (j-1)*NCHANL$), lbm/sec

$H(i+L)$ = enthalpy for channel i ($i=1$ to 4) at axial node L ($= (j-1)*NCHANL$), Btu/lbm
 $X(j)$ = axial location, $j=1$ to $NDXP1$, ft
 $GRIDXL(j)$ = relative grid location, $j=1$ to $NGRID$
 $QPRIM(i)$ = local heat flux distribution for channel i ($i=1$ to 4), Btu/sec-ft
 $W(j)$ = crossflow rate between channels at node j ($j=1$ to $NDXP1$), lbm/sec-ft
 ATR = average enthalpy transport coefficient
 $FDNB$ = minimum DNB ratio
 $FDNBF$ = flow rate at location of min. DNBR, Mlbm/hr-ft²
 $FDNBQLOC$ = local heat flux at location of min. DNBR
 $FDNBX$ = quality at the location of min. DNBR

4.4.8 Calculate the Parameters at the Location of Minimum DNBR

Module Inputs:

$FDNB$ = minimum DNB ratio (from Module 6)
 $FDNBF$ = flow rate at location of min. DNBR (from Module 6)
 $FDNBFS$ = correction factor for a non-uniform heat flux distribution at location of min. DNBR (from Module 6)
 $FDNBQLOC$ = local heat flux at location of min. DNBR (from Module 6)
 $FDNBX$ = quality at location of min. DNBR (from Module 6)
 HFG = latent heat (from Module 1)
 HF = enthalpy of saturated liquid (from Module 1)
 Hin = inlet core coolant specific enthalpy, Btu/lbm, (from Module 1)
 MC = calibrated, normalized core coolant mass flow rate (from Module 1)
 ϕ_{CALC} = maximum compensated core average heat flux, % of rated power (from Module 1)
 PF = CEA deviation penalty factor for DNBR (from Module 1)
 $PREF$ = system pressure, psia, (from Module 2)

Module Outputs (to Module 11):

$DNBRST$ = minimum static DNBR
 XST = quality at the node of minimum DNBR
 $GPRFST$ = hot channel mass flux at node of min. DNBR, Mlbm/hr-ft²

Dh _{ST}	= hot channel enthalpy rise to node of min. DNBR
FK _{ST}	= f-correction factor at min. DNBR
QLOC _{ST}	= hot channel heat flux at node of min. DNBR, Btu/sec-ft ²
XY	= intermediate variable for DNBR update
XXY	= intermediate variable for DNBR update
LN _X	= intermediate variable for DNBR update
MC _{ST}	= BEST core coolant mass flow rate
PF _{ST}	= CEA deviation penalty factor for DNBR
φCALC _{ST}	= BEST compensated core average power, % of rated power
PR _{ST}	= primary coolant system pressure (to Modules 9 and 11)

The parameters at the location of minimum DNBR are determined:

$$X_{ST} = F_{DNB}X \quad (4.4-150)$$

$$G_{PRF}ST = F_{DNB}F \quad (4.4-151)$$

$$Dh_{ST} = X_{ST} * HFG + HF - Hin \quad (4.4-152)$$

$$FK_{ST} = F_{DNB}F_S \quad (4.4-153)$$

$$Q_{LOC}ST = F_{DNB}Q_{LOC} \quad (4.4-154)$$

$$\begin{aligned} \text{If } G_{PRF}ST \leq 10^{-10}, \\ \text{then } G_{PRF}ST = 10^{-10} \text{ and } FK_{ST} = 0.0 \end{aligned} \quad (4.4-155)$$

$$\begin{aligned} \text{If } G_{PRF}ST > 100., \\ \text{then } G_{PRF}ST = 100. \text{ and } FK_{ST} = 0.0 \end{aligned} \quad (4.4-156)$$

$$CHF1C = CCHF5 + CCHF6 * PR_{ST} \quad (4.4-157)$$

$$CHF1D = CCHF7 * PR_{ST} \quad (4.4-158)$$

$$CHF1E = CCHF8 \quad (4.4-159)$$

$$XY = G_{PRF}ST^{(CHF1C)} \quad (4.4-160)$$

$$XXY = G_{PRF}ST^{(CHF1D + CHF1E * G_{PRF}ST)} \quad (4.4-161)$$

$$LN_X = \ln(G_{PRF}ST) \quad (4.4-162)$$

Finally, the static DNBR is limited to a range of 0.0 and 10.0.

$$\text{DNBRST} = \text{EDNB1} * (\text{FDNB} + \text{EDNB2}) \quad (4.4-163)$$

$$\text{If DNBRST} \leq 0.0, \text{ then DNBRST} = 0.0 \quad (4.4-164)$$

$$\text{If DNBRST} \geq 10.0, \text{ then DNBRST} = 10.0 \quad (4.4-165)$$

The following parameters are saved for the DNBR update algorithm.

$$\text{PFST} = \text{PF} \quad (4.4-166)$$

$$\phi\text{CALCST} = \phi\text{CALC} \quad (4.4-167)$$

$$\text{PR}_{\text{ST}} = \text{PREF} \quad (4.4-168)$$

$$\text{MCST} = \text{MC} \quad (4.4-169)$$

Where

DNBRST = minimum static DNBR

XST = quality at the node of minimum DNBR

GPRFST = hot channel mass flux at node of min. DNBR, Mlbm/hr-ft²

DhST = hot channel enthalpy rise to node of min. DNBR

FKST = f-correction factor at min. DNBR

QLOCST = hot channel heat flux at node of min. DNBR, Btu/sec-ft²

XY = intermediate variable for DNBR update

XXY = intermediate variable for DNBR update

LNX = intermediate variable for DNBR update

4.4.9 Calculate Average Core Enthalpy Rise for Static Delta T Power Calculation

Module Inputs:

Thavg = average hot leg temperature, °F (from Module 1)
Tc1, Tc2 = scaled cold leg temperatures, °F (from Module 1)
Th1, Th2 = scaled hot leg temperatures, °F (from Module 1)
TF = saturation temperature (from Module 6(subroutine SAT))
PR_{ST} = primary coolant system pressure (from Module 8)

Module Outputs (to Module 11):

CPIN1 = enthalpy-temperature ratio of water in pump legs 1 and 2, Btu/lbm-°F
CPIN2 = enthalpy-temperature ratio of water in pump legs 3 and 4, Btu/lbm-°F
CPOUT1 = enthalpy-temperature ratio of water feeding

steam generator 1, Btu/lbm-°F
 CPOUT2 = enthalpy-temperature ratio of water feeding steam generator 2,
 Btu/lbm-°F
 Thmax = maximum hot leg temperature including uncertainties, °F
 TSAT = saturation temperature of water, °F

The enthalpy in both hot legs and both cold legs is computed from the measured temperatures and pressures. If the average hot leg temperature is at its lower range limit, the cold leg temperatures are limited to a value somewhat above their lower range limit to preclude calculation of artificially high thermal powers. That is,

$$\text{If } Th_{avg} \leq Th_{lim} \quad (4.4-170)$$

$$\text{and } \text{Max}(TC1, TC2) \leq Tin_{lim} \quad (4.4-171)$$

$$\text{then } Tin1 = Tin_{lim} \quad (4.4-172)$$

$$\text{and } Tin2 = Tin_{lim} \quad (4.4-173)$$

$$\text{Otherwise } Tin1 = TC1 \quad (4.4-174)$$

$$\text{and } Tin2 = TC2 \quad (4.4-175)$$

where

Thavg = average hot leg temperature, °F

Thlim = lower range limit on hot leg temperature, °F

TC1 = cold leg 1 temperature, °F

TC2 = cold leg 2 temperature, °F

Tinlim = lower limit on cold leg temperature for thermal power calculation, °F

Tin1 = cold leg 1 temperature to be used in thermal power calculation, °F

Tin2 = cold leg 2 temperature to be used in thermal power calculation, °F

Calculate pressure dependent coefficients used to determine the enthalpy-temperature ratios:

$$HTR0 = HTR00 + HTR01 \cdot PRST \quad (4.4-176)$$

$$HTR1 = HTR10 + HTR11 \cdot PRST \quad (4.4-177)$$

$$\text{HTR2} = \text{HTR20} + \text{HTR21} \cdot \text{PRST} \quad (4.4-178)$$

$$\text{HTR3} = \text{HTR30} + \text{HTR31} \cdot \text{PRST} \quad (4.4-179)$$

Calculate the enthalpy-temperature ratios for the cold legs:

$$\begin{aligned} \text{CPIN1} = & \text{HTR0} + \text{HTR1} \cdot \text{Tin1} + \text{HTR2} \cdot \text{Tin12} \\ & + \text{HTR3} \cdot \text{Tin13} \end{aligned} \quad (4.4-180)$$

$$\begin{aligned} \text{CPIN2} = & \text{HTR0} + \text{HTR1} \cdot \text{Tin2} + \text{HTR2} \cdot \text{Tin22} \\ & + \text{HTR3} \cdot \text{Tin23} \end{aligned} \quad (4.4-181)$$

Calculate the enthalpy-temperature ratios for the hot legs:

$$\begin{aligned} \text{CPOUT1} = & \text{HTR0} + \text{HTR1} \cdot \text{Th1} + \text{HTR2} \cdot \text{Th12} \\ & + \text{HTR3} \cdot \text{Th13} \end{aligned} \quad (4.4-182)$$

$$\begin{aligned} \text{CPOUT2} = & \text{HTR0} + \text{HTR1} \cdot \text{Th2} + \text{HTR2} \cdot \text{Th22} \\ & + \text{HTR3} \cdot \text{Th23} \end{aligned} \quad (4.4-183)$$

where

PRST = static value of pressurizer pressure, psia

Th1, Th2 = hot leg temperatures feeding steam generators 1 and 2, °F

CPIN1 = enthalpy-temperature ratio of water in pump legs 1 and 2,
Btu/lbm-°F

CPIN2 = enthalpy-temperature ratio of water in pump legs 3 and 4,
Btu/lbm-°F

CPOUT1 = enthalpy-temperature ratio of water feeding steam generator 1,
Btu/lbm-°F

CPOUT2 = enthalpy-temperature ratio of water feeding steam generator 2,
Btu/lbm-°F.

HTR00, HTR01

HTR10, HTR11 = Pressure dependent coefficients

HTR20, HTR21 used to determine enthalpy-

HTR30, HTR31 temperature ratios

The maximum value of hot leg temperature is selected for use in the hot leg saturation trip.

$$TSAT = TF \quad (4.4-184)$$

$$Th_{max} = \text{MAX}(Th1, Th2) + Th_{err} \quad (4.4-185)$$

where

Th_{max} = maximum hot leg temperature including uncertainties, °F

$Th1, Th2$ = hot leg temperatures, °F

Th_{err} = hot leg temperature measurement uncertainty bias, °F

$TSAT, TF$ = saturation temperature of water, °F

4.4.10 BEST Subroutines

4.4.10.1 Thermodynamic property subroutines: SAT and PROP

The subroutine SAT is used to calculate saturated properties at pressure $P=PREF$:

SUBROUTINE SAT(P, VF,VFG,TSAT,VISS)

Subroutine Inputs:

$PREF$ = system pressure, psia, (from Module 6)

Subroutine Outputs:

VF = specific volume of saturated water (to Module 6 and subroutines PROP, MODMN)

VFG = relative specific volume (to Module 6)

$T_{SAT}(=TF)$ = saturation temperature (to Module 6 and subroutines PROP, MODMN)

$VISS$ = viscosity (to subroutine PROP)

$$DVF(1) = 0.02565 \quad (4.4S-1)$$

$$DVF(2) = 0.02517$$

$$DVF(3) = 0.02472$$

$$DVF(4) = 0.02428$$

$$DVFG(1) = 0.16266$$

$$DVFG(2) = 0.17761$$

$$DVFG(3) = 0.19390$$

$$DVFG(4) = 0.21178$$

$$\begin{aligned} DP(1) &= 2000. & (4.4S-2) \\ DP(2) &= 1900. \\ DP(3) &= 1800. \\ DP(4) &= 1700. \end{aligned}$$

$$P = PREF \quad (4.4S-3)$$

$$T_{SAT} = 439.2708 + P * (.1253656 - .135545 * 10^{-4} * P) \quad (4.4S-4)$$

$$\begin{aligned} VISS &= .29269 + P * (-.80743 * 10^{-4} \\ &+ P * (.22452 * 10^{-7} - .39861 * 10^{-11} * P)) \end{aligned} \quad (4.4S-5)$$

$$IL = 3$$

If $P > 2000.$,

$$\text{then, } VF = .01318 + P * (.11733 * 10^{-4} + P * (-.4829 * 10^{-8} + .10399 * 10^{-11} * P))$$

$$\text{and } VFG = .88599 + P * (-.68186 * 10^{-3} + P * (.21118 * 10^{-6} - .25543 * 10^{-10} * P))$$

Otherwise,

If $P > 1900.$, then $IL = 1$

If $P > 1800.$ and $P \leq 1900.$, then $IL = 2$

If $P > 1700.$ and $P \leq 1800.$, then $IL = 3$

$$IL1 = IL + 1$$

$$XR = (P - DP(IL1)) / (DP(IL) - DP(IL1))$$

$$VF = DVF(IL1) + (DVF(IL) - DVF(IL1)) * XR$$

$$VFG = DVFG(IL1) + (DVFG(IL) - DVFG(IL1)) * XR$$

The subroutine PROP is used to calculate subcooled and two-phase properties:

SUBROUTINE PROP(j, NCHANL)

Subroutine PROP Inputs:

ALPHA(i) = void fraction for channel i, $i=1$ to 4
(from subroutine MODMN)

j = axial node number (from Module 6)

QPRIM(i) = linear heat distribution of channel i, $i=1$ to 4,
(from Module 6)

H(i,j) = enthalpy of channel i at axial node j (from Module 6)

F(i,j) = flow rate of channel i at axial node j (from Module 6)

HF = enthalpy of saturated water (from Module 1)
 HFG = latent heat of water (from Module 1)
 VF = specific volume of saturated water (from subroutine SAT)
 TSAT = saturation temperature (from subroutine SAT)
 VISS = viscosity (from subroutine SAT)
 HECO(j) = product of conductivity and Prandtl number to the 0.4 power,
 i.e., $k \cdot Pr^{0.4}$ (from Module 6)
 DHYD(i) = hydraulic diameter of channel i, i=1 to 4 (from Module 6)
 KMN1, = initialized intermediate variables (from Module 6)
 KMN2
 TDI(5) = temperature breakpoint for the Dittus-Boelter Correlation
 (from Module 6)
 PHII = friction factor multiplier
 (as PHI from subroutine MODMN)

Subroutine PROP Outputs:

DTF = film temperature drop by the Dittus-Boelter
 correlation (to subroutine MODMN)
 DTJL = film temperature drop by the Jens-Lottes
 correlation (to subroutine MODMN)
 KMN1, = intermediate variables (to subroutine MODMN)
 KMN2
 RHO(i,j) = water density at axial node j for channel i
 (to subroutines DIFFER and CIJMIX)
 VFRIC(i,j) = specific volume for friction at axial node j for channel i
 (to subroutines DIFFER)
 FSP(i, j) = single phase friction factor at axial node j for channel i
 (to subroutines DIFFER)
 U(i, j) = coolant velocity at axial node j for channel i (to Module 6)
 VP(i,j) = coolant specific volume at axial node j for
 channel i (to subroutine DIFFER)
 FMULT(i,j) = two-phase friction factor multiplier at axial node j for
 channel i (to subroutine DIFFER)
 RE(i) = Reynolds number for channel i (to subroutine DIFFER)
 T(i) = coolant temperature of channel i (to subroutine MODMN)
 QUAL(i) = coolant quality of channel i (to subroutine MODMN)
 GF = coolant mass flux (to subroutine MODMN)

For M=1, NCHANL (Beginnings of "M-loop" here)

If NCHANL = 4 and j > 2 and M ≤ 2, increment index M

$$\text{ALPHA}(M)=0.0 \quad (4.4S-6)$$

$$\text{HAVG}=\text{H}(M,j) \quad (4.4S-7)$$

$$\text{GF}=\text{F}(M,j)/\text{A}(M)*0.0036 \quad (4.4S-8)$$

If $\text{HAVG} \leq \text{HF}$,

then, compute the specific volume for channel M using average enthalpy:

$$\begin{aligned} \text{V}(M) &= ((.18084*10^{-9}*\text{HAVG}-.23942*10^{-6})*\text{HAVG} \\ &+ .12276*10^{-3})*\text{HAVG}-.00379 \end{aligned} \quad (4.4S-9)$$

$$\text{T}(M)=-106.03064+\text{HAVG}*(1.6093-0.74856*10^{-3}*\text{HAVG})$$

$$\begin{aligned} \text{VISC}(M) &= 1.0934+\text{HAVG}*(-.36963*10^{-2}+\text{HAVG}* \\ & (.55342*10^{-5}-.30288*10^{-8}*\text{HAVG})) \end{aligned} \quad (4.4S-9a)$$

and, calculate the subcooled properties:

$$\text{VP}(M,j)=\text{V}(M) \quad (4.4S-10a)$$

$$\text{QUAL}(M)=(\text{HAVG}-\text{HF})/\text{HFG} \quad (4.4S-10b)$$

$$\text{VFRIC}(M,j)=\text{V}(M) \quad (4.4S-11)$$

$$\text{RHO}(M,j)=1./\text{V}(M) \quad (4.4S-12)$$

$$\text{U}(M,j)=\text{F}(M,j)/\text{A}(M)*\text{VP}(M,j) \quad (4.4S-13)$$

If j=1, then increment index M

Skip the calculation of two-phase properties and go to the calculation of grid loss factor FSP, i.e., eq.(4.4S-24).

Otherwise(i.e., If $\text{HAVG} > \text{HF}$), compute two-phase properties below.

$$\text{QUAL}(M)=(\text{HAVG}-\text{HF})/\text{HFG} \quad (4.4S-14)$$

$$\text{KMN1}=\text{KMN1}+1 \quad (4.4S-15)$$

CALL MODMN(ALPHA(M),PHII,1,GF,T(M),QUAL(M))

$$V(M) = VG * VF / (ALPHA(M) * VF + VG * (1 - ALPHA(M))) \quad (4.4S-16)$$

$$VP(M,j) = VF * (1 - QUAL(M)) ** 2 / (1 - ALPHA(M)) + VG * QUAL(M) ** 2 / ALPHA(M) \quad (4.4S-17)$$

$$VFRIC(M,j) = VF \quad (4.4S-18)$$

$$T(M) = TF \quad (4.4S-19)$$

$$VISC(M) = VISS \quad (4.4S-20)$$

$$RHO(M,j) = 1 / V(M) \quad (4.4S-21)$$

$$U(M,j) = F(M,j) / A(M) * VP(M,j) \quad (4.4S-22)$$

$$HEIN = HECO(5) \quad (4.4S-23)$$

The grid loss factor FSP is also calculated here:

$$RE(M) = F(M,j) / A(M) * DHYD(M) / VISC(M) * 3600. \quad (4.4S-24)$$

$$FSP(M,j) = 0.184 * RE(M) ** (-0.2) \quad (4.4S-25)$$

If $HAVG > HF$, go to eq.(4.4S-27) to calculate heat transfer coefficient.

For $i=1,4$ (Beginnings of "i-loop" here)

If $T(M) \geq TDI(i)$ and $T(M) < TDI(i+1)$, $IL=i$

Increment index i

End of "i-loop" here.

$$HEIN = HECO(IL) + (T(M) - TDI(IL)) / (TDI(IL+1) - TDI(IL)) * (HECO(IL+1) - HECO(IL)) \quad (4.4S-26)$$

Calculate heat transfer coefficient by the Dittus-Boelter correlation for the forced convection.

$$HE = 0.023 / DHYD(M) / 3600. * RE(M) ** 0.8 * HEIN \quad (4.4S-27)$$

The film temperature drop DTF across the thermal boundary layer adjacent to the surface of the fuel cladding for the non-boiling regime is calculated.

$$DTF = QPRIM(M) * QFPC / HE / HPERIM(M) \quad (4.4S-28)$$

For the nucleate boiling regime, the film temperature drop is determined from the Jens-Lottes correlation:

$$DTJL = (QPRIM(M)*QFPC/HPERIM(M)*.0036)**0.25*60. /e^{PREF/900} + TF-T(M) \quad (4.4S-29)$$

Determine the two-phase friction multiplier FMULT using a subroutine MODMN.

$$KMN2=KMN2+1 \quad (4.4S-30)$$

CALL MODMN(ALPHA(M),PHII,0,GF,T(M),QUAL(M))

$$FMULT(M,j)=PHII \quad (4.4S-31)$$

Increment index M
End of "M-loop" here.

4.4.10.2 Subroutine MODMN

SUBROUTINE MODMN(ALPHA,PHI,IA,GF,T,X)

Subroutine MODMN Inputs:

- IA = 0 or 1 (from subroutine PROP)
- GF = coolant mass flux (from subroutine PROP)
- T = temperature of channel i (as T(i) from subroutine PROP)
- X = coolant quality of channel i (as QUAL(i) from subroutine PROP)
- P(=PREF) = coolant system pressure (from Module 6)
- DTF = film temperature drop by the Dittus-Boelter correlation (from subroutine PROP)
- DTJL = film temperature drop by the Jens-Lottes correlation (from subroutine PROP)
- KMN1, KMN2 = intermediate variables (from subroutine PROP)

Subroutine MODMN Outputs:

- ALPHA = void fraction for channel i, i=1 to 4 (to subroutine PROP)
- PHI = friction factor multiplier (to subroutine PROP)

This is used to determine the two-phase friction factor multiplier. For local boiling conditions, the correlation by Sher and Green is used. For bulk boiling conditions, the two-phase friction factor multiplier is determined from the modified Martinelli-Nelson correlation.

For pressures below 1850 psia, the void fraction is given by the Martinelli-Nelson model. At pressures equal to or greater than 1850 psia, the void fraction is given by the homogeneous flow relationship with slip ratio of 1.0.

P = PREF

If IA = 0, go to eq.(4.4S-37)

Else if KMN1 > 1, then go to eq.(4.4S-32)

Otherwise,

$$A1L = .5973 - 1.275 \times 10^{-3} * P + 9.019 \times 10^{-7} * P^{**2} - 2.065 \times 10^{-10} * P^{**3}$$

$$A2L = 4.746 + 4.156 \times 10^{-2} * P - 4.011 \times 10^{-5} * P^{**2} + 9.867 \times 10^{-9} * P^{**3}$$

$$A3L = -31.27 - .5599 * P + 5.580 \times 10^{-4} * P^{**2} - 1.378 \times 10^{-7} * P^{**3}$$

$$A4L = 89.07 + 2.408 * P - 2.367 \times 10^{-3} * P^{**2} + 5.694 \times 10^{-7} * P^{**3}$$

$$A1H = .7847 - 3.9 \times 10^{-4} * P + 1.145 \times 10^{-7} * P^{**2} - 2.771 \times 10^{-11} * P^{**3}$$

$$A2H = .7707 + 9.619 \times 10^{-4} * P - 2.010 \times 10^{-7} * P^{**2} + 2.012 \times 10^{-11} * P^{**3}$$

$$A3H = -1.060 - 1.194 \times 10^{-3} * P + 2.618 \times 10^{-7} * P^{**2} - 6.893 \times 10^{-12} * P^{**3}$$

$$A4H = .5157 + 6.506 \times 10^{-4} * P - 1.938 \times 10^{-7} * P^{**2} + 1.925 \times 10^{-11} * P^{**3}$$

If P > 1850., then go to eq.(4.4S-34) (4.4S-32)

If X < 0.01, then go to eq.(4.4S-34)

If X > 0.1, then go to eq.(4.4S-35)

otherwise, ALPHA = A1L + A2L * X + A3L * X**2 + A4L * X**3 (4.4S-33)

END OF THIS ROUTINE

VGDVL = 1 (4.4S-34)

Go to eq.(4.4S-36)

ALPHA = A1H + A2H * X + A3H * X**2 + A4H * X**3 (4.4S-35)

END OF THIS ROUTINE

$$\text{ALPHA} = 1. / (1. + (1. - X) * \text{VF} * \text{VGDVL} / (X * \text{VG})) \quad (4.4\text{S-36})$$

END OF THIS ROUTINE

The two-phase friction factor multiplier PHI is set equal to 1.0 for isothermal and non-boiling conditions. For local boiling conditions, the correlation by Sher and Green is used for determining PHI. The Sher-Green correlation accounts implicitly for the change in pressure drop due to subcooled void effects. For bulk boiling condition, PHI is determined from the modified Martinelli-Nelson correlation to account for mass velocity and pressure level dependencies.

If $\text{KMN2} > 1$, then go to eq.(4.4S-38) (4.4S-37)

Otherwise,

$$\text{B1} = 0.9325 - 0.2263 * 10^{-3} * \text{P}$$

$$\text{B2} = 1.65 * 10^{-3} + 2.988 * 10^{-5} * \text{P} - 2.528 * 10^{-9} * \text{P}^2 + 1.14 * 10^{-11} * \text{P}^3$$

$$\text{B3} = 1.0205 - 0.2053 * 10^{-3} * \text{P}$$

$$\text{B4} = 7.876 * 10^{-4} + 3.177 * 10^{-5} * \text{P} - 8.728 * 10^{-9} * \text{P}^2 + 1.073 * 10^{-11} * \text{P}^3$$

$$\text{PHISQ} = 0. \quad (4.4\text{S-38})$$

If $X < 0.$, then go to eq.(4.4S-46)

If $\text{P} \leq 2000.$ and $X \leq 0.02$, $\text{FMN} = 1.0$ and go to eq.(4.4S-39)

If $\text{P} \leq 2000.$ and $0.02 < X \leq 0.2$, $\text{FMN} = X * \text{B1} / \text{B2}$ and go to eq.(4.4S-39)

If $\text{P} \leq 2000.$ and $X > 0.2$, $\text{FMN} = X * \text{B3} / \text{B4}$ and go to eq.(4.4S-39)

If $\text{P} > 2000.$, $\text{FMN} = (-0.0103166 * X + 0.005333 * X^2) * (\text{P} - 3206.) + 1.$ and go to eq.(4.4S-40)

If $\text{P} < 1850.$, then (4.4S-39)

If $\text{GF} \leq 0.7$, then $\text{PHISQ} = \text{FMN} * (1.36 + 0.0005 * \text{P} + 0.1 * \text{GF} - 0.000714 * \text{P} * \text{GF})$ and go to eq.(4.4S-45)

otherwise, $\text{PHISQ} = \text{FMN} * (1.26 - 0.0004 * \text{P} + 0.119 / \text{GF} + 0.00028 * \text{P} / \text{GF})$ and go to eq.(4.4S-45)

otherwise(i.e., $P \geq 1850.$), go to eq.(4.4S-40)

If $P > 2000.$, (4.4S-40)

Then, $FMNP = (-0.0103166*X+0.005333*X**2)*(-1206.)+1.$

Go to eq.(4.4S-42)

Else if $P \leq 2000.$ and if $X \leq 0.02$, $FMNP = 1.0$

Go to eq.(4.4S-42)

Else if $P \leq 2000.$ and if $X > 0.02$, go to eq.(4.4S-41)

If $X \leq 0.2$, (4.4S-41)

then, $FMNP=X**.4800/1.425$ and go to eq.(4.4S-42)

else if $X > 0.2$, then $FMNP=X**.6099/115.26*10^{-3}$

If $X \leq 0.4$, then (4.4S-42)

If $GF \leq 0.7$, then $FAM=(1.+(7.*X**.75)/(7**(1.0+X)))*(1.0+0.93*(0.7-GF))$ and go to eq.(4.4S-44)

otherwisw, $FAM=1.+7.*X**.75/GF**(1.+X)$ and go to eq.(4.4S-44)

Otherwise (i.e., $X > 0.4$), (4.4S-43)

If $GF \leq 0.7$, then

$FAM= 7.0*(1.0+0.93*(.7-GF))*FMNP/4.75$

and go to eq.(4.4S-44)

otherwise, $FAM = (1.+ 3.521 / (GF) ** 1.4)$

$*FMNP / 4.75$ and go to eq.(4.4S-44)

$PHISQ=FAM*FMN/FMNP$ (4.4S-44)

If $PHISQ < 1.0$, then $PHISQ = 1.0$ (4.4S-45)

If $P > 1850.$, then go to eq.(4.4S-51) (4.4S-46)

If $DTF \geq DTJL$, then go to eq.(4.4S-48)

Otherwise, $PHI = 1.0$ and go to eq.(4.4S-61) (4.4S-47)

$TSTAR=DTJL+T-DTF$ (4.4S-48)

$PHX=(T-TSTAR)/(TF-TSTAR)$ (4.4S-49)

If PHISQ = 0.0 and PHX > 1.0, PHX = 1.0
 PHI=1.0+(0.042**B1/B2-1.0)*PHX (4.4S-50)
 Go to eq.(4.4S-60)

If DTF > DTJL, then go to eq.(4.4S-53) (4.4S-51)

Otherwise, TSTAR = DTF and go to eq.(4.4S-57) (4.4S-52)

TSTAR = DTJL (4.4S-53)

C1=1.05*(1.-0.0025*TSTAR) (4.4S-57)

If C1 > 1.0, C1 = 1.0

If DTF > 0.0, then go to eq.(4.4S-58)

otherwise, PHI = 1.0 and go to eq.(4.4S-60)

PHI=1.-(TSTAR/DTF) (4.4S-58)

If GF ≤ 0.0, go to (4.4S-60)

PHI=C1*(1.+(.76*(3500.-P)/1500.*(PHI/GF**.667))) (4.4S-59)

If PHI < 1.0, PHI = 1.0 (4.4S-60)

If PHISQ > PHI, PHI = PHISQ (4.4S-61)

END OF THIS ROUTINE

4.4.10.3 Subroutine CIJMIX

This routine is called to calculate mixing and crossflow resistance parameters, CIJ and WP. The variable CIJ accounts for the large inertial effects encountered when the predominantly axial flow is diverted in the lateral direction. Hetsroni expanded the definition of CIJ to include the effects of shear drag and contraction-expansion losses on the lateral pressure difference. Turbulent interchange WP, which refers to the turbulent eddies caused by spacer grids, is calculated at channel boundary using the correlation.

SUBROUTINE CIJMIX(j,NK,NCHANL)

Subroutine CIJMIX Inputs:

j = axial node index (from Module 6)
 NK = intermediate parameter, $NCHANL-1$ (from Module 6)
 $NCHANL$ = number of channels, (from Module 6)
 $F(i,j)$ = flow rate of channel i at node j (from Module 6)
 $RHO(i,j)$ = coolant density of channel i at node j (from subroutine PROP)
 $W(k,j)$ = crossflow rate between channels at node j
for $k=1$ to 3, (from Module 6)

Subroutine CIJMIX Outputs:

$WP(k)$ = turbulent mixing parameter between channels for $k=1$ to 3,
(to the step 2 of Module 6)

$CIJ(k)$ = crossflow parameter for $k=1$ to 3, (to the step 2 of Module 6)

$$JM1 = j - 1 \quad (4.4S-62)$$

For $k = 1, NK$ (Beginnings of "k-loop" here)

$$KP1 = k + 1 \quad (4.4S-63)$$

If $k > 1$ and $j > 3$, then go to eq.(4.4S-68)

$$\text{otherwise, } I = KP1 \quad (4.4S-64)$$

and if $W(k,j) \geq 0.$, $I=k$

$$AXFLO=F(I,JM1) \quad (4.4S-65)$$

$$RSTAR=RHO(I,JM1) \quad (4.4S-66)$$

$$WMIN = |W(k,j)| \quad (4.4S-67)$$

If $WMIN < 0.001$, $WMIN = 0.001$

$$XL = 0.0$$

If $k = 1$, then $XL=4.2*(AXFLO*GAP(k)/A(I)/WMIN)**2$

$$AKLAT = .5*KIJ + (.25*KIJ**2 + XL)**0.5$$

$$CIJ(k) = AKLAT*WMIN/(2.*GC*RSTAR*GAP(k)*GAP(k))$$

If $k = 1$, go back to the beginnings of "k-loop" and

increment index k (4.4S-68)

$$GAVG = (F(k,JM1)/A(K) + F(KP1,JM1)/A(KP1))/2. \quad (4.4S-69)$$

$$DAVG = 2.*(A(k)/PERIM(k) + A(KP1)/PERIM(KP1)) \quad (4.4S-70)$$

$$WP(k) = GAP(k)*GAVG*ABETA*DAVG*COMIX \quad (4.4S-71)$$

Increment index k

End of "k-loop" here.

4.4.10.4 Subroutine DIFFER

This routine is used to calculate the gradients of pressure, flow and enthalpy.

SUBROUTINE DIFFER(j,NK,IPART,NCHANL)

Subroutine DIFFER Inputs:

j = axial node index (from Module 6)
NK = intermediate parameter, NCHANL-1 (from Module 6)
IPART = constant (from Module 6)
NCHANL = number of channels, (from Module 6)
QPRIM(i) = linear heat for channel i, i=1 to 4 (from Module 6)
F(i,j) = flow rate of channel i at node j (from Module 6)
H(i,j) = enthalpy of channel i at node j (from Module 6)
W(k,j) = crossflow rate between channels at node j
for k=1 to 3 (from Module 6)
WP(k) = turbulent mixing parameter between
channels for k=1 to 3, (from Module 6)
U(i,j) = axial velocity of channel i at node j (from Module 6)
FSP(i,j) = single phase friction factor of channel i at node j
(from subroutine PROP)
FMULT(i,j) = two phase friction factor multiplier of channel i at
node j (from subroutine PROP)
VFRIC(i,j) = specific volume for frictional loss for channel i at
node j (from subroutine PROP)
VP(i,j) = specific volume for channel i at node j
(from subroutine PROP)
RHO(i,j) = coolant density for channel i at node j
(from subroutine PROP)
RE(i) = Reynolds number for channel i,
(from subroutine PROP)
GRKIJ(j) = grid loss coefficient at node j (from Module 6)
CH2, = initial value of average enthalpy
CH(2) = transport coefficient (from Module 6)
DHYD(i) = hydraulic diameter of channel i, i=1 to 4 (from Module 6)

CH22 = enthalpy transport coefficient (from subroutine TRANS)

Subroutine DIFFER Outputs:

DPDX(i) = pressure gradient of channel i (to Module 6)

DFDX(i) = flow gradient of channel i (to Module 6)

DHDX(i) = enthalpy gradient of channel i
(to Module 6 and subroutine TRANS)

DPK(i) = pressure drop of channel i (to Module 6)

CH(2) = enthalpy transport coefficient between channels 2 and 3
(to Module 6)

$$JM1 = j - 1 \quad (4.4S-73)$$

$$\text{If } IPART = 1, \quad (4.4S-74)$$

$$S1 = 0.5$$

$$S2 = 0.5$$

$$S3 = 0.5$$

$$JP1 = j + 1$$

$$\text{If } W(1,j) < 0.0, S1 = -0.5$$

$$\text{If } W(2,j) < 0.0, S2 = -0.5$$

$$\text{If } W(3,j) < 0.0, S3 = -0.5$$

$$H1 = H(1,j) - H(2,j) \quad (4.4S-75)$$

$$H2 = (H(2,j) - H(3,j)) / CH(2)$$

$$H3 = H(3,j) - H(4,j)$$

$$DHDX(1) = (H1 * W(1,j) * (0.5 - S1) - H1 * WP(1) + QPRIM(1)) / (F(1,JP1) + F(1,J)) * 2.0 \quad (4.4S-76)$$

$$DHDX(2) = (H1 * W(1,J) * (0.5 + S1) + H1 * WP(1) + QPRIM(2)) / (F(2,JP1) + F(2,J)) * 2.0$$

$$DHDX(3) = (H2 * W(2,J) * (0.5 + S2) + H2 * WP(2) + H3 * W(3,J) * (0.5 - S3) - H3 * WP(3) + QPRIM(3)) / (F(3,JP1) + F(3,J)) * 2.0$$

$$DHDX(4) = (H3 * W(3,J) * (0.5 + S3) + H3 * WP(3) + QPRIM(4)) / (F(4,JP1) + F(4,J)) * 2.0$$

If CH2 is not equal to 0.0,
then, END OF THIS ROUTINE
otherwise,

CALL TRANS(JP1,DHDX)
CH(2)=CH22 (4.4S-77)

H2=(H(2,j)-H(3,j))/CH(2) (4.4S-78)

DHDX(3)=(H2*W(2,j)*(0.5+S2)+H2*WP(2)+H3*W(3,j)
*(0.5-S3)-H3*WP(3)+QPRIM(3))
/(F(3,JP1)+F(3,j))*2.0 (4.4S-79)

DHDX(4)=(H3*W(3,j)*(0.5+S3)+H3*WP(3)+QPRIM(4))
/(F(4,JP1)+F(4,j))*2.0 (4.4S-80)

END OF THIS ROUTINE

If IPART = 2,
DFDX(1)=-W(1,j) (4.4S-81)

DFDX(2)=W(1,j)

DFDX(3)=W(2,j)-W(3,j)

DFDX(4)=W(3,j)

END OF THIS ROUTINE

If IPART ≥ 3,
DPDX(1)=0.0 (4.4S-82)

DPDX(2)=0.0

If IPART ≥ 5, go to beginnings of "i-loop" below.

DPDX(3)=(U(3,j)-U(4,j))*WP(3)-(U(2,j)
-U(3,j))/CU(2)*WP(2) (4.4S-83)

DPDX(4)=- (U(3,j)-U(4,j))*WP(3)

For i = 1, NCHANL (Beginnings of "i-loop" here)

SAVE=.5*FSP(i,j)*FMULT(i,j)*VFRIC(i,j)/DHYD(i)
+(VP(i,j)-VP(i,JM1))/DX (4.4S-84)

If GRID is not .TRUE., then go to eq.(4.4S-87a)

N1=GRKI(J) (4.4S-85)

If N1 is not equal to 0,

then, GRCOE=CAA(N1)+CBB(N1)*RE(i)**CCC(N1)

If N1 = 0, GRCOE=0.45

SAVE=SAVE+0.5*GRCOE/DX/RHO(i,j) (4.4S-86)

DPK(i)=SAVE/A(i)/A(i) (4.4S-87a)

$$\text{FLOWSQ}=\text{F}(\text{i},\text{JM1})^{**2} \quad (4.4\text{S-87b})$$

$$\begin{aligned} \text{DPDX}(\text{i}) &= -\text{DPK}(\text{i}) * \text{FLOWSQ} / \text{GC} - \text{RHO}(\text{i}, \text{j}) \\ & - \text{DPDX}(\text{i}) / \text{A}(\text{i}) / \text{GC} \end{aligned} \quad (4.4\text{S-88})$$

Increment index i

End of "i-loop" here.

If IPART \geq 5, CALL DIVERT(j,IPART,1)

4.4.10.5 Subroutine TRANS

This routine is to calculate the enthalpy transport coefficient, CH22.

SUBROUTINE TRANS(j,DHDX)

Subroutine TRANS Inputs:

- j = axial node index (from subroutine DIFFER)
- DHDX(i) = enthalpy gradient of channel i (from subroutine DIFFER)
- H(i,j) = enthalpy of channel i at node j, (from Module 6)
- H2P(1) = enthalpy of boundary channel 2' at node 1, (from Module 5 through Module 6)
- H22(1) = enthalpy of boundary channel 2'' at node 1, (from Module 5 through Module 6)
- QPRI2P = linear heat in boundary channel 2', (from Module 6)
- QPRI22 = linear heat in boundary channel 2'', (from Module 6)
- F2P = flow rate in boundary channel 2', (from Module 6)
- F22 = flow rate in boundary channel 2'', (from Module 6)
- WP2 = turbulent mixing parameter in channel 2, (from Module 6)
- WP2P = turbulent mixing parameter in boundary channel 2', (from Module 6)
- WP22 = turbulent mixing parameter in boundary channel 2'', (from Module 6)
- DX = axial node length (from Module 6)

Subroutine TRANS Outputs:

- CH22 = enthalpy transport coefficient (to subroutine DIFFER)

$$H(2,j)=H(2,j-1)+DX*DHDX(2) \quad (4.4S-90)$$

$$H(3,j)=H(3,j-1)+DX*DHDX(3) \quad (4.4S-91)$$

$$H22(j)=H22(j-1)+DX/F22*((H(2,j-1)-H22(j-1))*WP22 \\ + (H2P(j-1)-H22(j-1))*WP2P+QPRI22) \quad (4.4S-92)$$

$$H2P(j)=(H2P(j-1)+DX/F2P*(H22(j)*WP2P+H(3,j)*WP2+QPRI2P)) \\ /(1.+DX/F2P*(WP2P+WP2)) \quad (4.4S-93)$$

If H2P(j) is not equal to H(3,j),
then CH22 = (H(2,j)-H(3,j))/(H2P(j)-H(3,j))

$$RMULT = 1.0 \quad (4.4S-94)$$

If CH22 < 0.0, RMULT = -1.0

Narrow the limits for the transport coefficient:

If |CH22| < 0.1, then CH22 = 0.1 * RMULT

If |CH22| > 10., then CH22 = 10. * RMULT

4.4.10.6 Subroutine DIVERT

This routine is used to calculate diversion crossflow, W from the lateral momentum balance.

SUBROUTINE DIVERT(j,IPART,NK)

Subroutine DIVERT Inputs:

- j = axial node index (from subroutine DIFFER)
- NK = intermediate parameter, NCHANL-1 (from Module 6)
- IPART = constant (from Module 6)
- U(k+L) = axial velocity of channel k at node L(=(j-1)*4)
(from Module 6)
- DPDX = pressure gradient of channel (from Module 6)
- DPK = pressure drop of channel (from Module 6)
- F(k+L) = flow rate of channel k at node L
- CIJ = crossflow parameter, (from Module 6)

DX = axial node length (from Module 6)

Subroutine DIVERT Outputs:

W(1+M) = crossflow rate between channels 1 and 2 (to Module 6)

W(2+M) = crossflow rate between channels 2 and 3 (to Module 6)

W(3+M) = crossflow rate between channels 3 and 4 (to Module 6)

WL(j) = crossflow rate at node j (to Module 6)

JM1 = j - 1 (4.4S-95)

DXGC=DX*GC

L=JM1*4

JML=(JM1-1)*4

M=JM1*3

JMM=(JM1-1)*3

For k = 1, 3, 5, ..., NK (Beginnings of "k-loop-A" here)

USAVE(k)=(U(k+JML)+U(k+1+JML))*0.5 (4.4S-96)

USTAR(k)=(U(k+L)+U(k+1+L))*0.5 (4.4S-97)

Increment index k

End of "k-loop-A" here.

If IPAPRT ≥ 5, then go to eq.(4.4S-100)

USAVE(2)=((U(2+JML)-U(3+JML))/CU(2)
+2.*U(3+JML))*0.5 (4.4S-98)

USTAR(2)=((U(2+L)-U(3+L))/CU(2)+U(3+L)+U(3+L))*0.5 (4.4S-99)

For k = 1, NK (Beginnings of "k-loop-B" here) (4.4S-100)

SL = 0.5 (4.4S-101)

If k = 1, then SL = 1.E+20

SLDX = SL * DX (4.4S-102)

SP = 0.0 (4.4S-103)

If IPART < 5 and k=1 and j < NDXP1,

then, SP=WL(j+1)*CIJ(k)

otherwise, IJ = k + 1

and B(k)=(SP-(DPDX(k)-DPDX(IJ))*DX)*SL*CNPC(k)
+USAVE(k)*W(k+JMM)/DXGC

If $k = 2$, then $CK = 0.0$

If k is not equal to 2, then $CK = (2.*U(k+L) - USTAR(k))/A(k) + DPK(k)*(F(k+L) + F(k+JML))*DX$

$$\begin{aligned} AAA(k) &= (CK + (2.*U(IJ+L) - USTAR(k))/A(IJ) \\ &+ DPK(IJ)*(F(IJ+L) + F(IJ+JML))*DX)*SLDX/GC*CNPC(k) \\ &+ SL*CIJ(k) + USTAR(k)/DXGC \end{aligned} \quad (4.4S-104)$$

Increment index k

End of "k-loop-B" here.

If $IPART \geq 5$, then $WL(j) = B(1)/AAA(1)$

and $W(1+M) = WL(j)$

and END OF THIS ROUTINE.

Solve the matrix equation $AAA(3,3)*W(3) = B(3)$:

$$SX = SLDX/GC*(-1.0) \quad (4.4S-105)$$

$$\begin{aligned} A21 &= ((2.*U(2+L) - USTAR(1))/A(2) + DPK(2)*(F(2+L) \\ &+ F(2+JML))*DX)*SX*CNPC(2) \end{aligned} \quad (4.4S-106)$$

$$\begin{aligned} A23 &= ((2.*U(3+L) - USTAR(3))/A(3) + DPK(3)*(F(3+L) \\ &+ F(3+JML))*DX)*SX*CNPC(2) \end{aligned} \quad (4.4S-107)$$

$$\begin{aligned} A32 &= ((2.*U(3+L) - USTAR(2))/A(3) + DPK(3)*(F(3+L) \\ &+ F(3+JML))*DX)*SX*CNPC(3) \end{aligned} \quad (4.4S-108)$$

$$W(1+M) = B(1)/AAA(1) \quad (4.4S-109)$$

$$B(2) = B(2) - A21*W(1+M) - B(3)*A23/AAA(3) \quad (4.4S-110)$$

$$W(2+M) = B(2)/(AAA(2) - A32*A23/AAA(3)) \quad (4.4S-111)$$

$$W(3+M) = (B(3) - A32*W(2+M))/AAA(3) \quad (4.4S-112)$$

4.4.10.7 Subroutine CHF

The DNB ratio $CHFR(j)$ and the correction factor for non-uniform heating $FS(j)$ at each hot channel node j are calculated in this routine.

SUBROUTINE CHF(j,FAA,XX,FSJ,CHFRJ)

Subroutine CHF Inputs:

j = axial node index (from Module 6)
FAA = coolant mass flux (from Module 6)
XX = coolant quality (from Module 6)
X(j) = axial location of node j (from Module 6)
ZFLUX = hot-pin power distribution (from Module 6)
HFG = latent heat (from Module 1)
PREF = reference pressure (from Module 6)

Subroutine CHF Outputs:

FSJ = correction factor for non-uniform heating (to Module 6)
CHFRJ = critical heat flux ratio (to Module 6)

$$CCE4 = CCHF3 + CCHF4 * PREF \quad (4.4S-113b)$$

$$CCE5 = CCHF5 + CCHF6 * PREF \quad (4.4S-113c)$$

$$DX = X(2) - X(1) \quad (4.4S-113)$$

$$CHF1 = CCE0 * (CCE4 * FAA ** CCE5 - FAA * XX * HFG) / (FAA ** (CCHF7 * PREF + CCHF8 * FAA)) \quad (4.4S-114)$$

If j = 1, then go to eq.(4.4S-121)

otherwise, $C = 1.8 * (1 - XX) ** 4.31 / FAA ** 0.478$

and $AXC = e^{DX * C}$

and $AXCC(1) = -1.0$

and $AX(1) = 1.0$

and $SUM = 0.0$

For jj = 2, j (Beginnings of "jj-loop" here)

$$JJM1 = jj - 1 \quad (4.4S-115)$$

$$ZCE1 = ZFLUX(JJM1) - X(JJM1) * (ZFLUX(jj) - ZFLUX(JJM1)) / DX \quad (4.4S-115a)$$

$$ZCE2 = (ZFLUX(jj) - ZFLUX(JJM1)) / DX \quad (4.4S-115b)$$

$$AX(jj) = AX(JJM1) * AXC \quad (4.4S-116)$$

$$AXCC(jj) = AX(jj) * (C * X(jj) - 1.0) \quad (4.4S-117)$$

$$SUM = SUM + ZCE1 * (AX(jj) - AX(JJM1))$$

$$+ZCE2*(AXCC(jj)-AXCC(JJM1))/C \quad (4.4S-118)$$

Increment index jj

End of "jj-loop" here.

$$CHFRJ=CHF1/SUM*(AX(j)-1.0)*SKECDK \quad (4.4S-119)$$

$$FSJ=CHF1/(CHFRJ*ZFLUX(j)) \quad (4.4S-120)$$

END OF THIS ROUTINE

$$CHFRJ=CHF1/SUM*(AX(NDXP1-1)-1.0)*SKECDK \\ *ZFLUX(NDXP1-1)/ZFLUX(NDXP1) \quad (4.4S-121)$$

where

CCE0,4-5 = CHF correlation parameters

ZCE1-2 = intermediate variable to compute a correction factor for a non-uniform axial heat flux distribution

X(j) = location of the axial power factor, ft, constant

4.4.11 BEST Outputs

The following variables are written to the Static DNBR and Power Density Program output buffer for use by other programs:

<u>Variable Name</u>	<u>Definition</u>	<u>Destination</u>
MCST	BEST core coolant mass flow rate	HEAD
PRST	BEST primary coolant system pressure, psia	HEAD
P1ST	Integrated one pin radial peak	HEAD
ϕ CALCST	BEST compensated core average power, % of rated power	HEAD
XST	Hot channel quality at node of minimum DNBR	HEAD
CPIN1	Enthalpy-temperature ratio for loop 1 cold leg (pump legs 1 and 2), Btu/lbm-°F	HEAD

CPIN2	Enthalpy-temperature ratio for loop 2 cold leg (pump legs 3 and 4), Btu/lbm-°F	HEAD
CPOUT1	Enthalpy-temperature ratio for loop 1 hot leg, Btu/lbm-°F	HEAD
CPOUT2	Enthalpy-temperature ratio for loop 2 hot leg, Btu/lbm-°F	HEAD
TSAT	Saturation temperature of water, °F	TRIGGER
Thmax	Maximum hot Leg Temperature including uncertainties, °F	TRIGGER
QLOCST (= $q_{LOCALST}$)	Hot pin heat flux at node of minimum DNBR, Btu/sec-ft ²	HEAD
FKST	F-correction factor at node of minimum DNBR	HEAD
GPRFST	Hot channel mass flux at node of minimum DNBR, Mlbm/hr-ft ²	HEAD
DhST	Hot channel enthalpy rise at node of minimum DNBR	HEAD
PFST	CEA deviation penalty factor for DNBR	HEAD
XY	Intermediate variable for DNBR	HEAD
XXY	Intermediate variable for DNBR	HEAD
LNx	Intermediate variable for DNBR	HEAD
DNBRST	Minimum DNBR for HEAD	HEAD

4.4.12 BEST Constants

Section 4.4.2:

FLUX0 = Core average heat flux at rated power, Mbtu/hr-ft²

QFPC = Fraction of power generated in the fuel rod plus cladding
 DNBR calculation (Addressable)
 P1B2-3 = Integrated one-pin radial peak break points for selection of region-
 dependent flow starvation and uncertainty factors dependent inlet
 factors
 ASIB2-3 = ASI break points for selection of region-
 TB2-3 = Maximum cold leg temperature break points for selection of region
 -dependent flow starvation and uncertainty factors, °F
 PPB2-3 = RCS pressure break points for selection of region-dependent flow
 starvation and uncertainty factors, psia
 E1,E2 = Region-dependent algorithm uncertainty allowances
 FSPLIT1-2 = Region-dependent flow starvation factors for narrow and wide
 band operation
 BERR1 = Multiplicative power adjustment factor for
 RADIAL(1-4) = Effective normalized radial peaking factor for channels 1 to 4
 (normalized to the channel 2 average radial factor)

Section 4.4.3:

NDX = Number of nodal sections
 ZFUEL = Total channel axial length, ft
 FZCOF(1-9) = Constants for Newton's difference formulas and Bessel's
 formula for interpolating to halves

Section 4.4.4: Deleted

Section 4.4.5:

NCHANL = Number of channels (always 4)
 PDI(5) = Pressure range, psia (Non-RDB)
 HECL(25) = Constants to calculate the intermediate array HECO(j) (Non-RDB)
 A(I) = Flow area for channel I(I=1,4), ft²
 PERIM(I) = Wetted perimeter for channel I(I=1,4), ft
 D(1-4) = Effective rod diameter for channels 1 to 4, ft
 RAA2 = Effective normalized radial peaking factor for the artificial
 channel 2'
 DD2P = Effective rod diameter for channel 2', ft
 A2P = Flow area for channel 2', ft²
 GINREF = Core average inlet mass velocity, Mlbm/hr-ft²

VINREF = Specific volume at which the core average inlet mass velocity is specified, ft³/lbm

Section 4.4.6:

P1PB = Ratio of the maximum rod radial peaking factor of channel 2(hot assembly channel) to the channel 2 average radial peaking factor
A22 = Flow area for channel 2'', ft²
NGRID = Number of spacer grids
GRIDKIJ(j) = Option to input different spacer grid types with the corresponding loss coefficient equations for j=1, NGRID
GRIDXL(j) = relative grid location, j=1 to NGRID
RADIM1 = Effective radial peaking factor for channel 1
RAA22 = Effective normalized radial peaking factor for the artificial channel 2''
DD22 = Effective rod diameter for channel 2'', ft
GAP2P = Gap width between subchannel 2' and 2'', ft
GAP22 = Gap width between subchannel 2'' and 2, ft
GAP(I) = Gap width available for cross flow between channel I and channel I+1, ft
X(1-21) = Locations of the axial power factors, ft

Section 4.4.7: Deleted

Section 4.4.8:

CCHF5-8 = Constants for CHF correlation
EDNB1 = DNBR adjustment factor
EDNB2 = DNBR adjustment offset

Section 4.4.9:

Thlim = Lower range limit on hot leg temperature, °F. (Non-RDB)
Tinlim = Lower limit on cold leg temperature for thermal power calculation, °F. (Non-RDB)
HTRi,j(i=0,3;j=0,1) = Pressure dependent coefficients used to determine enthalpy-temperature ratios. (Non-RDB)
Therr = Hot leg temperature measurement uncertainty bias, °F.

Section 4.4.10(Subroutines):

- TDI(1-4) = Temperature breakpoints for Dittus-Boelter heat transfer coefficient (subroutine PROP) (Non-RDB)
- HPERIM(I) = Heated perimeter for channel I(I=1,4), ft (subroutine PROP)
- KIJ = Hetsroni crossflow resistance (subroutine CIJMIX)
- ABETA = Turbulent mixing coefficient (subroutine CIJMIX)
- GC = Unit conversion factor (=32.2) (Non-RDB),
(subroutines DIFFER, CIJMIX and DIVERT)
- COMIX = Parameter used in the turbulent mixing correlation
(subroutine CIJMIX)
- CU(1-3) = Transport coefficients array for velocity,
(subroutines DIFFER and DIVERT)
- CAA(1-3),
CBB(1-3), = Grid loss coefficient (subroutine DIFFER)
- CCC(1-3)
- CNPC(1-3)= Transport coefficients array for pressure (subroutine DIVERT)
- SKECDK = Engineering heat flux factor (subroutine CHF)
- CCE0, = Constants for CHF correlation (subroutine CHF)
- CCHF3-4

부록 C: RCOPS DNBR 모듈(BEST) Database

신고리 1,2호기 설계자료(CE1 임계열유속상관식)를 이용하여 아래와 같이 RCOPS DNBR 모듈(BEST)의 DB를 생산하였다.

```

CONSTANTS FOR RCOPSD (BEST) SUBPROGRAM
-----

MODULE 2 -----

CONSTANTS FOR POWER DISTRIBUTION UPGRADE

RELOAD DATA BLOCK
CORE AVERAGE HEAT FLUX : MBTU/FT**2/HR
FLUX0 1 1 1900 .184356

RELOAD DATA BLOCK
FRACTION OF POWER GENERATED IN THE FUEL : DIMENSIONLESS
QFPC 1 1 1901 0.975

RELOAD DATA BLOCK
NARROW BAND INTEGRATED ONE PIN RADIAL : DIMENSIONLESS
BREAK POINTS
P1B2,3 1 2 1902 1.28 4.28

RELOAD DATA BLOCK
NARROW BAND ASI BREAK POINTS : DIMENSIONLESS
ASIB2,3 1 2 1904 -0.3 0.3

RELOAD DATA BLOCK
NARROW BAND MAXIMUM COLD LEG TEMPERATURE : DEGREE F
BREAK POINTS
TB2,3 1 2 1906 550.0 572.0

RELOAD DATA BLOCK
NARROW BAND RCS PRESSURE BREAK POINTS : PSIA
PPB2,3 1 2 1908 2000.0 2325.0

REGION-DEPENDENT ALGORITHM UNCERTAINTY : DIMENSIONLESS
ALLOWANCES(was E2=1.02 by wki)
E1,E2 1 2 1910 1.0 1.0

RELOAD DATA BLOCK
ASI DEPENDENT FLOW SPLITS : DIMENSIONLESS
FSPLT1-2 1 2 1912 0.679 0.679

DNBR UNCERTAINTY FACTOR : DIMENSIONLESS
(ADDRESSABLE CONSTANT)
BERR1 1 1 1914 1.0

RELOAD DATA BLOCK
EFFECTIVE NORMALIZED RADIAL PEAKING FACTOR : DIMENSIONLESS
RADIAL(4) 1 4 1915 1.0 1.0 1.047402 1.046792

```

MODULE 3 -----

CONSTANTS FOR POWER DISTRIBUTION

RELOAD DATA BLOCK
I NUMBER OF NODAL SECTIONS : DIMENSIONLESS
NDX 1 1 1940 20.

RELOAD DATA BLOCK
ACTIVE FUEL LENGTH : FT
ZFUEL 1 1 1941 12.475

RELOAD DATA BLOCK
INTERPOLATION COEFFICIENTS : DIMENSIONLESS
FZCOF(1-4) 1 4 1942 35.0 21.0 -5.0 0.0625
FZCOF(5-8) 1 4 1946 5.0 15.0 -5.0 9.0
FZCOF(9) 1 1 1950 9.0

MODULE 5 -----

CONSTANTS FOR FLOW AND ENTHALPY INITIALIZATION

RELOAD DATA BLOCK
I NUMBER OF CHANNELS : DIMENSIONLESS
NCHANL 1 1 2000 4.

RELOAD DATA BLOCK
RCS PRESSURE BREAK POINTS : PSIA
PDI(1-4) 1 4 2001 1800. 2100.0 2200.0 2300.
PDI(5) 1 1 2005 2500.

RELOAD DATA BLOCK
CONSTANTS TO CALCULATE THE ARRAY HECO : DIMENSIONLESS
HECL(1-4) 1 4 2006 0.34468 0.32361 0.30664 0.29504
HECL(5-8) 1 4 2010 0.30025 0.34557 0.32457 0.30156
HECL(9-12) 1 4 2014 0.29981 0.30095 0.34588 0.32489
HECL(-16) 1 4 2018 0.30745 0.29815 0.30246 0.34610
HECL(-20) 1 4 2022 0.32519 0.30769 0.29680 0.30495
HECL(-24) 1 4 2026 0.34674 0.32584 0.30833 0.29515
HECL(25) 1 1 2030 0.31927

RELOAD DATA BLOCK
FLOW AREA FOR CHANNEL 1-4 : FT²
A(1-4) 1 4 2031 .25065 .06266 .002925 .001216

RELOAD DATA BLOCK
WETTED PERIMETER FOR CHANNEL 1-4 : FT
PERIM(1-4) 1 4 2035 24.8846 6.2211 .33209 .12311

RELOAD DATA BLOCK
EFFECTIVE ROD DIAMETER FOR CHANNEL 1-4 : FT
D(1-4) 1 4 2039 7.5127 1.8782 0.08898 0.02714

RELOAD DATA BLOCK
EFFECTIVE NORMALIZED RADIAL PEAK FOR CH. 2P : DIMENSIONLESS

RAA2	1	1	2043	1.010916		
				RELOAD DATA BLOCK		
				EFFECTIVE ROD DIAMETER FOR CH. 2P	: FT	
DD2P	1	1	2044	0.213437		
				RELOAD DATA BLOCK		
				FLOW AREA FOR CH. 2P	: FT2	
A2P	1	1	2045	0.007342		
				RELOAD DATA BLOCK		
				CORE AVERAGE INLET MASS VELOCITY	: MLBM/FT**2/HR	
GINREF	1	1	2046	2.629		
				RELOAD DATA BLOCK		
				SPECIFIC VOLUME AT WHICH GINREF IS SPECIFIED	: FT**3/LBM	
VINREF	1	1	2047	0.02177		
MODULE	6					

				CONSTANTS FOR PREDICTION-CORRECTION OF FLOW AND ENTHALPY		
				RELOAD DATA BLOCK		
				RATIO OF MAX. ROD RADIAL PEAK OF CH.2	: DIMENSIONLESS	
P1PB	1	1	2060	1.08		
				RELOAD DATA BLOCK		
				FLOW AREA FOR CH. 22	: FT2	
A22	1	1	2061	.0098		
				RELOAD DATA BLOCK		
				NUMBER OF SPACER GRIDS	: DIMENSIONLESS	
NGRID	I	1	2062	9.		
				RELOAD DATA BLOCK		
				OPTION TO INPUT DIFFERENT SPACER GRID TYPES	: DIMENSIONLESS	
GRIDKIJ(4)1	4	2063	1.	1.	1.	1.
GRIDKIJ(4)1	4	2067	1.	1.	1.	1.
GRIDKIJ(4)1	4	2071	1.	0.	0.	0.
				RELOAD DATA BLOCK		
				RELATIVE GRID LOCATION	: DIMENSIONLESS	
GRIDXL(4) 1	4	2075	.1064	.2114	.3164	.4214
GRIDXL(4) 1	4	2079	.5264	.6314	.7364	.8414
GRIDXL(4) 1	4	2083	.9464	.0000	.0000	.0000
				RELOAD DATA BLOCK		
				EFFECTIVE RADIAL PEAKING FACTOR FOR CH. 1	: DIMENSIONLESS	
RADIM1	1	1	2087	1.0		
				RELOAD DATA BLOCK		
				EFFECTIVE NORMALIZED RADIAL PEAKING FACTOR	: DIMENSIONLESS	
				FOR CH. 2"		
RAA22	1	1	2088	0.995881		

RELOAD DATA BLOCK
EFFECTIVE ROD DIAMETER FOR CH. 2" : FT

DD22 1 1 2089 .311813

RELOAD DATA BLOCK
GAP BETWEEN CH. 2' AND 2" : FT

GAP2P 1 1 2090 .18518

RELOAD DATA BLOCK
GAP BETWEEN CH. 2" AND 3 : FT

GAP22 1 1 2091 .26118

RELOAD DATA BLOCK
GAP BETWEEN CH. I AND I+ 1 : FT

GAP(1-3) 1 3 2092 .08617 .10251 .04051

RELOAD DATA BLOCK
LOCATIONS OF THE AXIAL POWER FACTORS : FT

X(1-4) 1 4 2095 0.0 0.62375 1.24750 1.87125
X(5-8) 1 4 2099 2.4950 3.11875 3.74250 4.36625
X(9-12) 1 4 2103 4.9900 5.61375 6.23750 6.86125
X(13-16) 1 4 2107 7.4850 8.10875 8.73250 9.35625
X(17-20) 1 4 2111 9.9800 10.60375 11.22750 11.85125
X(21) 1 4 2115 12.4750

MODULE 8 -----

CONSTANTS FOR PARAMETERS AT MIN. DNBR.

RELOAD DATA BLOCK
CONSTANTS FOR CHF CORRELATION(CE-1) : DIMENSIONLESS

CCHF5-8 1 4 2120 -0.67757 6.8235E-4 3.124E-4 -0.083245

RELOAD DATA BLOCK
DNBR ADJUSTMENT FACTORS : DIMENSIONLESS

EDNB1-2 1 2 2124 1.0 0.0

MODULE 9 -----

CONSTANTS FOR CALCULATEING AVERAGE CORE ENTHALPY RISE

LOWER RANGE LIMIT ON HOT LEG TEMPERATURE : DEGREE F

THLIM 1 1 2130 482.0

LOWER LIMIT ON COLD LEG TEMPERATURE FOR THERMAL :DEG F
PWR CALCULATED HOT LEG IS .LT. THLIM

TINLIM 1 1 2131 472.0

PRESSURE DEPENDENT COEFFICIENTS USED TO : X=BTU/LBM
DETERMINE ENTHALPY-TEMPERATURE RATIOS Y=DEG F
Z=PSIA

X/Y,X/Y/Z,X/Y**2,X/Y**2/Z,X/Y**3,X/Y**3/Z,
X/Y**4,X/Y**4/Z

HTR00-01 2 2 2132 1.40389 -8.95646E-04
HTR10-11 2 2 2134 -2.24636E-03 4.94459E-06

HTR20-21 2 2 2136 2.93975E-06 -8.93325E-09
HTR30-31 2 2 2138 -3.32787E-10 5.25863E-12

RELOAD DATA BLOCK
HOT LEG TEMPERATURE UNCERTAINTY (ADDITIVE) : DEGREE F
THERR 1 1 2140 13.0

SUBROUTINE
PROP

TEMPERATURE BREAK POINTS : DEGREE F
TDI(1-4) 1 4 2150 460.0 520.0 580.0 640.0
TDI(5) 1 1 2154 700.0

RELOAD DATA BLOCK
HEATED PERIMETER FOR CH. I : FT
HPERIM(4) 1 4 2155 23.6017 5.9004 .27954 .08525

SUBROUTINE
CIJMIX

RELOAD DATA BLOCK
HETSRONI CROSSFLOW RESISTANCE : DIMENSIONLESS
KIJ 1 1 2170 1.4

RELOAD DATA BLOCK
TURBULENT MIXING COEFFICIENT : DIMENSIONLESS
ABETA 1 1 2171 0.0035

GRAVITATIONAL CONVERSION CONSTANT : FT/SEC**2
GC 1 1 2172 32.2

RELOAD DATA BLOCK
TURBULENT MIXING COEFFICIENT : FT^-1
COMIX 1 1 2173 92.843

SUBROUTINE
DIFFER

RELOAD DATA BLOCK
VELOCITY TRANSPORT COEFFICIENTS : DIMENSIONLESS
CU(1-3) 1 3 2180 1.0 3.3 1.0

RELOAD DATA BLOCK
GRID LOSS COEFFICIENTS : DIMENSIONLESS
CAA(1-3) 1 3 2183 .234 .0 0.0
CBB(1-3) 1 3 2186 6.46 .0 0.0
CCC(1-3) 1 3 2189 -0.20 .0 0.0

SUBROUTINE
DIVERT

RELOAD DATA BLOCK

CNPC(1-3) 1 3 2200 1.0 0.33 1.5 : DIMENSIONLESS

SUBROUTINE
CHF

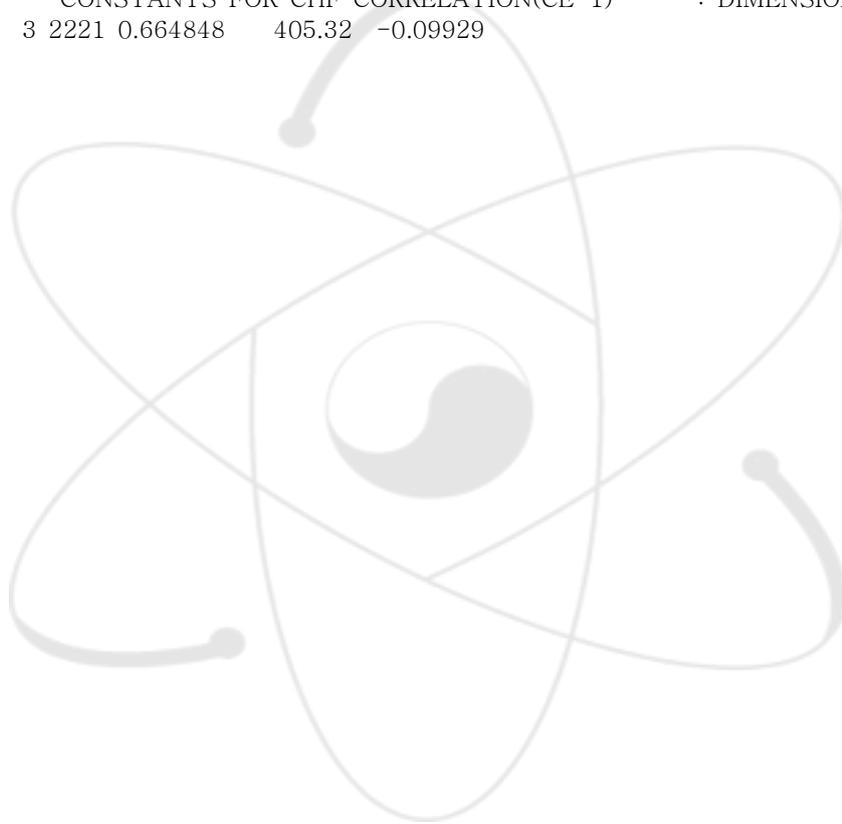
RELOAD DATA BLOCK

SKECDK 1 1 2220 1.0 : DIMENSIONLESS

CONSTANTS FOR CE-1 CORRELATION PARAMETERS

RELOAD DATA BLOCK

CCE0,CCHF 1 3 2221 0.664848 405.32 -0.09929 : DIMENSIONLESS



부록 D: RCOPS DNBR 모듈 및 DB 검증시험 입력자료

RCOPS DNBR 모듈의 기능설계와 DB를 검증하기 위해 아래와 같은 시험자료를 사용하였다. 이 시험자료의 양식은 참조코드인 CETOP-D의 DB 입력자료와 동일하며 첫 번째 시험자료는 기본 DB이며 본 검증시험에 사용된 시험자료는 두 번째부터 마지막까지 모두 96개(Cases no. 2 - no. 97)이다.

1 Test Cases for RCOPS DNBR Module based on UCN5C2					
1	42.6343	.184356	563.03	2250.00	
26	29	.1064	.2114	.3164	.4214
30	33	.5264	.6314	.7364	.8414
34	36	.9464	.0000	.0000	
46	49	.25065	.06266	.002925	.001216
50	53	24.8846	6.2211	.33209	.12311
54	57	23.6017	5.9004	.27954	.08525
58	61	1.4123	1.0444	1.0000	1.0000
62	63	1.038230	1.043705		
64	67	7.5127	1.8782	.08898	.02714
68	70	.08617	.10251	.04051	
71	74	40.	4.	9.	0.
75	76	0.	0.0		
77	80	12.4750	.0392825	.975	1.000
81	84	.760	.0000000	.05704	92.843
85	88	1.273	-.4	.0005	.195
89	92	5.0	.005	1162.47	1.0005
93	93	10.			
94	97	.0000	.00000	.00000	.0000
98	101	1.000	0.0	1.	0.0
102	105	.184356	0.	0.	0.
106	109	1.	1.	1.	1.
110	113	1.	1.	1.	1.
114	116	1.	0.	0.	
118	120	.234	6.460	-.200	
129	132	1.034120	1.023272	.18518	.26118
133	136	.007342	.010096	.213437	.311813
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	1811.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
231	231.5700				
1	93	10.			
	2	Case_CPCN1	m317		
1	4	2.2728	.184356	550.00	2000.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1	231	231.2900			

	3	Case_CPCN1	m070			
1	4	2.2728	.184356	550.00	2000.0	
140	14041.					
141	1440.000	.0375	.0625	.0875		
145	148.1125	.1375	.1625	.1875		
149	152.2125	.2375	.2625	.2875		
153	156.3125	.3375	.3625	.3875		
157	160.4125	.4375	.4625	.4875		
161	164.5125	.5375	.5625	.5875		
165	168.6125	.6375	.6625	.6875		
169	172.7125	.7375	.7625	.7875		
173	176.8125	.8375	.8625	.8875		
177	180.9125	.9375	.9625	.9875		
181	1811.000					
191	194.3900	.7200	.8750	.9600		
195	1981.005	1.030	1.030	1.025		
199	2021.020	1.005	.9950	.9750		
203	206.9600	.9450	.9350	.9300		
207	210.9300	.9300	.9300	.9350		
211	214.9500	.9650	.9850	1.005		
215	2181.025	1.050	1.080	1.110		
219	2221.140	1.175	1.205	1.235		
223	2261.255	1.260	1.240	1.185		
227	2301.110	.9950	.8250	.5700		
1 231	231.5700					
	4	Case_CPCN1	p000			
1	4	2.2728	.184356	550.00	2000.0	
140	14042.					
141	1440.000	.0125	.0375	.0625		
145	148.0875	.1125	.1375	.1625		
149	152.1875	.2125	.2375	.2625		
153	156.2875	.3125	.3375	.3625		
157	160.3875	.4125	.4375	.4625		
161	164.4875	.5125	.5375	.5625		
165	168.5875	.6125	.6375	.6625		
169	172.6875	.7125	.7375	.7625		
173	176.7875	.8125	.8375	.8625		
177	180.8875	.9125	.9375	.9625		
181	182.9875	1.000				
191	194.2200	.2610	.3420	.4280		
195	198.5200	.6200	.7150	.8100		
199	202.8940	.9780	1.054	1.126		
203	2061.193	1.251	1.300	1.346		
207	2101.382	1.415	1.439	1.457		
211	2141.469	1.469	1.457	1.439		
215	2181.415	1.382	1.346	1.300		
219	2221.251	1.193	1.126	1.054		
223	226.9780	.8940	.8100	.7150		
227	230.6200	.5200	.4280	.3420		
1 231	232.2610	.2200				
	5	Case_CPCN1	p317			
1	4	2.2728	.184356	550.00	2000.0	
140	14041.					
141	1440.000	.0250	.0500	.0750		
145	148.1000	.1250	.1500	.1750		
149	152.2000	.2250	.2500	.2750		
153	156.3000	.3250	.3500	.3750		
157	160.4000	.4250	.4500	.4750		
161	164.5000	.5250	.5500	.5750		
165	168.6000	.6250	.6500	.6750		
169	172.7000	.7250	.7500	.7750		
173	176.8000	.8250	.8500	.8750		
177	180.9000	.9250	.9500	.9750		
181	1811.000					
191	194.2900	.4300	.5700	.7300		
195	198.8700	1.020	1.150	1.270		
199	2021.380	1.470	1.550	1.610		
203	2061.650	1.680	1.700	1.700		
207	2101.690	1.660	1.620	1.570		
211	2141.510	1.450	1.380	1.300		
215	2181.210	1.120	1.010	.9000		
219	222.8000	.7100	.6200	.5400		
223	226.4700	.3800	.3200	.2600		
227	230.2000	.1600	.1100	.0700		
1 231	231.0400					
	6	Case_CPCN3	m317			
1	4	2.1982	.184356	572.00	2000.0	
140	14041.					
141	1440.000	.0250	.0500	.0750		
145	148.1000	.1250	.1500	.1750		
149	152.2000	.2250	.2500	.2750		
153	156.3000	.3250	.3500	.3750		
157	160.4000	.4250	.4500	.4750		
161	164.5000	.5250	.5500	.5750		
165	168.6000	.6250	.6500	.6750		
169	172.7000	.7250	.7500	.7750		
173	176.8000	.8250	.8500	.8750		
177	180.9000	.9250	.9500	.9750		
181	1811.000					
191	194.0400	.0700	.1100	.1600		
195	198.2000	.2600	.3200	.3800		
199	202.4700	.5400	.6200	.7100		
203	206.8000	.9000	1.010	1.120		

207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
	7 Case_CPCN3 m070				
1	4	2.1982	.184356	572.00	2000.0
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	1811.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
	8 Case_CPCN3 p000				
1	4	2.1982	.184356	572.00	2000.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2610	.3420	.4280	
195	198.5200	.6200	.7150	.8100	
199	202.8940	.9780	1.054	1.126	
203	2061.193	1.251	1.300	1.346	
207	2101.382	1.415	1.439	1.457	
211	2141.469	1.469	1.457	1.439	
215	2181.415	1.382	1.346	1.300	
219	2221.251	1.193	1.126	1.054	
223	226.9780	.8940	.8100	.7150	
227	230.6200	.5200	.4280	.3420	
1 231	232.2610	.2200			
	9 Case_CPCN3 p317				
1	4	2.1982	.184356	572.00	2000.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.2900	.4300	.5700	.7300	
195	198.8700	1.020	1.150	1.270	
199	2021.380	1.470	1.550	1.610	
203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	
227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	10 Case_CPCN5 m317				
1	4	2.2838	.184356	550.00	2325.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	

173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
	11 Case_CPCN5 m070				
1	4	2.2838	.184356	550.00	2325.0
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	1811.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
	12 Case_CPCN5 p000				
1	4	2.2838	.184356	550.00	2325.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2610	.3420	.4280	
195	198.5200	.6200	.7150	.8100	
199	202.8940	.9780	1.054	1.126	
203	2061.193	1.251	1.300	1.346	
207	2101.382	1.415	1.439	1.457	
211	2141.469	1.469	1.457	1.439	
215	2181.415	1.382	1.346	1.300	
219	2221.251	1.193	1.126	1.054	
223	226.9780	.8940	.8100	.7150	
227	230.6200	.5200	.4280	.3420	
1 231	232.2610	.2200			
	13 Case_CPCN5 p317				
1	4	2.2838	.184356	550.00	2325.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.2900	.4300	.5700	.7300	
195	198.8700	1.020	1.150	1.270	
199	2021.380	1.470	1.550	1.610	
203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	
227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	14 Case_CPCN7 m317				
1	4	2.2115	.184356	572.00	2325.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	

145	148.1000	.1250	.1500	.1750
149	152.2000	.2250	.2500	.2750
153	156.3000	.3250	.3500	.3750
157	160.4000	.4250	.4500	.4750
161	164.5000	.5250	.5500	.5750
165	168.6000	.6250	.6500	.6750
169	172.7000	.7250	.7500	.7750
173	176.8000	.8250	.8500	.8750
177	180.9000	.9250	.9500	.9750
181	1811.000			
191	194.0400	.0700	.1100	.1600
195	198.2000	.2600	.3200	.3800
199	202.4700	.5400	.6200	.7100
203	206.8000	.9000	1.010	1.120
207	2101.210	1.300	1.380	1.450
211	2141.510	1.570	1.620	1.660
215	2181.690	1.700	1.700	1.680
219	2221.650	1.610	1.550	1.470
223	2261.380	1.270	1.150	1.020
227	230.8700	.7300	.5700	.4300
1 231	231.2900			
15	Case_CPCN7 m070			
1 4	2.2115	.184356	572.00	2325.0
140	14041.			
141	1440.000	.0375	.0625	.0875
145	148.1125	.1375	.1625	.1875
149	152.2125	.2375	.2625	.2875
153	156.3125	.3375	.3625	.3875
157	160.4125	.4375	.4625	.4875
161	164.5125	.5375	.5625	.5875
165	168.6125	.6375	.6625	.6875
169	172.7125	.7375	.7625	.7875
173	176.8125	.8375	.8625	.8875
177	180.9125	.9375	.9625	.9875
181	1811.000			
191	194.3900	.7200	.8750	.9600
195	1981.005	1.030	1.030	1.025
199	2021.020	1.005	.9950	.9750
203	206.9600	.9450	.9350	.9300
207	210.9300	.9300	.9300	.9350
211	214.9500	.9650	.9850	1.005
215	2181.025	1.050	1.080	1.110
219	2221.140	1.175	1.205	1.235
223	2261.255	1.260	1.240	1.185
227	2301.110	.9950	.8250	.5700
1 231	231.5700			
16	Case_CPCN7 p000			
1 4	2.2115	.184356	572.00	2325.0
140	14042.			
141	1440.000	.0125	.0375	.0625
145	148.0875	.1125	.1375	.1625
149	152.1875	.2125	.2375	.2625
153	156.2875	.3125	.3375	.3625
157	160.3875	.4125	.4375	.4625
161	164.4875	.5125	.5375	.5625
165	168.5875	.6125	.6375	.6625
169	172.6875	.7125	.7375	.7625
173	176.7875	.8125	.8375	.8625
177	180.8875	.9125	.9375	.9625
181	182.9875	1.000		
191	194.2200	.2610	.3420	.4280
195	198.5200	.6200	.7150	.8100
199	202.8940	.9780	1.054	1.126
203	2061.193	1.251	1.300	1.346
207	2101.382	1.415	1.439	1.457
211	2141.469	1.469	1.457	1.439
215	2181.415	1.382	1.346	1.300
219	2221.251	1.193	1.126	1.054
223	226.9780	.8940	.8100	.7150
227	230.6200	.5200	.4280	.3420
1 231	232.2610	.2200		
17	Case_CPCN7 p317			
1 4	2.2115	.184356	572.00	2325.0
140	14041.			
141	1440.000	.0250	.0500	.0750
145	148.1000	.1250	.1500	.1750
149	152.2000	.2250	.2500	.2750
153	156.3000	.3250	.3500	.3750
157	160.4000	.4250	.4500	.4750
161	164.5000	.5250	.5500	.5750
165	168.6000	.6250	.6500	.6750
169	172.7000	.7250	.7500	.7750
173	176.8000	.8250	.8500	.8750
177	180.9000	.9250	.9500	.9750
181	1811.000			
191	194.2900	.4300	.5700	.7300
195	198.8700	1.020	1.150	1.270
199	2021.380	1.470	1.550	1.610
203	2061.650	1.680	1.700	1.700
207	2101.690	1.660	1.620	1.570
211	2141.510	1.450	1.380	1.300
215	2181.210	1.120	1.010	.9000
219	222.8000	.7100	.6200	.5400

223	226.4700	.3800	.3200	.2600
227	230.2000	.1600	.1100	.0700
1 231	231.0400			
	18 Case_CPCW1 m527			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14041.			
141	1440.000	.0250	.0500	.0750
145	148.1000	.1250	.1500	.1750
149	152.2000	.2250	.2500	.2750
153	156.3000	.3250	.3500	.3750
157	160.4000	.4250	.4500	.4750
161	164.5000	.5250	.5500	.5750
165	168.6000	.6250	.6500	.6750
169	172.7000	.7250	.7500	.7750
173	176.8000	.8250	.8500	.8750
177	180.9000	.9250	.9500	.9750
181	1811.000			
191	194.1100	.1300	.1600	.1900
195	198.2300	.2500	.2800	.3100
199	202.3500	.3800	.4100	.4500
203	206.4900	.5400	.6000	.6600
207	210.7400	.8200	.9100	1.000
211	2141.100	1.200	1.290	1.390
215	2181.490	1.580	1.670	1.720
219	2221.810	1.870	1.890	1.910
223	2261.900	1.870	1.810	1.690
227	2301.530	1.330	1.080	.7400
1 231	231.3500			
	19 Case_CPCW1 m359			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14042.			
141	1440.0	.0125	.0375	.0625
145	148.0875	.1125	.1375	.1625
149	152.1875	.2125	.2375	.2625
153	156.2875	.3125	.3375	.3625
157	160.3875	.4125	.4375	.4625
161	164.4875	.5125	.5375	.5625
165	168.5875	.6125	.6375	.6625
169	172.6875	.7125	.7375	.7625
173	176.7875	.8125	.8375	.8625
177	180.8875	.9125	.9375	.9625
181	182.9875	1.000		
191	194.2200	.2500	.3200	.4000
195	198.4500	.4800	.5100	.5300
199	202.5500	.5700	.6000	.6300
203	206.7000	.7400	.7800	.8300
207	210.8800	.9300	.9800	1.030
211	2141.090	1.140	1.190	1.230
215	2181.280	1.320	1.360	1.400
219	2221.450	1.490	1.530	1.570
223	2261.610	1.610	1.600	1.560
227	2301.490	1.340	1.110	.8400
1 231	232.7500	0.000		
	20 Case_CPCW1 m317			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14041.			
141	1440.000	.0250	.0500	.0750
145	148.1000	.1250	.1500	.1750
149	152.2000	.2250	.2500	.2750
153	156.3000	.3250	.3500	.3750
157	160.4000	.4250	.4500	.4750
161	164.5000	.5250	.5500	.5750
165	168.6000	.6250	.6500	.6750
169	172.7000	.7250	.7500	.7750
173	176.8000	.8250	.8500	.8750
177	180.9000	.9250	.9500	.9750
181	1811.000			
191	194.0400	.0700	.1100	.1600
195	198.2000	.2600	.3200	.3800
199	202.4700	.5400	.6200	.7100
203	206.8000	.9000	1.010	1.120
207	2101.210	1.300	1.380	1.450
211	2141.510	1.570	1.620	1.660
215	2181.690	1.700	1.700	1.680
219	2221.650	1.610	1.550	1.470
223	2261.380	1.270	1.150	1.020
227	230.8700	.7300	.5700	.4300
1 231	231.2900			
	21 Case_CPCW1 m070			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14041.			
141	1440.000	.0375	.0625	.0875
145	148.1125	.1375	.1625	.1875
149	152.2125	.2375	.2625	.2875
153	156.3125	.3375	.3625	.3875
157	160.4125	.4375	.4625	.4875
161	164.5125	.5375	.5625	.5875
165	168.6125	.6375	.6625	.6875
169	172.7125	.7375	.7625	.7875
173	176.8125	.8375	.8625	.8875
177	180.9125	.9375	.9625	.9875
181	1811.000			
191	194.3900	.7200	.8750	.9600

195	1981.005	1.030	1.030	1.025
199	2021.020	1.005	.9950	.9750
203	206.9600	.9450	.9350	.9300
207	210.9300	.9300	.9300	.9350
211	214.9500	.9650	.9850	1.005
215	2181.025	1.050	1.080	1.110
219	2221.140	1.175	1.205	1.235
223	2261.255	1.260	1.240	1.185
227	2301.110	.9950	.8250	.5700
1 231	231.5700			
	22 Case_CPCW1 p000			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14042.			
141	1440.000	.0125	.0375	.0625
145	148.0875	.1125	.1375	.1625
149	152.1875	.2125	.2375	.2625
153	156.2875	.3125	.3375	.3625
157	160.3875	.4125	.4375	.4625
161	164.4875	.5125	.5375	.5625
165	168.5875	.6125	.6375	.6625
169	172.6875	.7125	.7375	.7625
173	176.7875	.8125	.8375	.8625
177	180.8875	.9125	.9375	.9625
181	182.9875	1.000		
191	194.2200	.2610	.3420	.4280
195	198.5200	.6200	.7150	.8100
199	202.8940	.9780	1.054	1.126
203	2061.193	1.251	1.300	1.346
207	2101.382	1.415	1.439	1.457
211	2141.469	1.469	1.457	1.439
215	2181.415	1.382	1.346	1.300
219	2221.251	1.193	1.126	1.054
223	226.9780	.8940	.8100	.7150
227	230.6200	.5200	.4280	.3420
1 231	232.2610	.2200		
	23 Case_CPCW1 p317			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14041.			
141	1440.000	.0250	.0500	.0750
145	148.1000	.1250	.1500	.1750
149	152.2000	.2250	.2500	.2750
153	156.3000	.3250	.3500	.3750
157	160.4000	.4250	.4500	.4750
161	164.5000	.5250	.5500	.5750
165	168.6000	.6250	.6500	.6750
169	172.7000	.7250	.7500	.7750
173	176.8000	.8250	.8500	.8750
177	180.9000	.9250	.9500	.9750
181	1811.000			
191	194.2900	.4300	.5700	.7300
195	198.8700	1.020	1.150	1.270
199	2021.380	1.470	1.550	1.610
203	2061.650	1.680	1.700	1.700
207	2101.690	1.660	1.620	1.570
211	2141.510	1.450	1.380	1.300
215	2181.210	1.120	1.010	.9000
219	222.8000	.7100	.6200	.5400
223	226.4700	.3800	.3200	.2600
227	230.2000	.1600	.1100	.0700
1 231	231.0400			
	24 Case_CPCW1 p337			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14042.			
141	1440.000	.0125	.0375	.0625
145	148.0875	.1125	.1375	.1625
149	152.1875	.2125	.2375	.2625
153	156.2875	.3125	.3375	.3625
157	160.3875	.4125	.4375	.4625
161	164.4875	.5125	.5375	.5625
165	168.5875	.6125	.6375	.6625
169	172.6875	.7125	.7375	.7625
173	176.7875	.8125	.8375	.8625
177	180.8875	.9125	.9375	.9625
181	182.9875	1.0		
191	194.8500	.9900	1.250	1.470
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630
199	2021.590	1.540	1.470	1.420
203	2061.360	1.310	1.260	1.220
207	2101.170	1.130	1.080	1.040
211	214.9800	.9400	.8900	.8400
215	218.8000	.7700	.7400	.7000
219	222.6700	.6450	.6250	.6200
223	226.6150	.6150	.6300	.6300
227	230.6200	.5900	.5500	.4700
1 231	232.3200	.22		
	25 Case_CPCW1 p444			
1	4 2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14042.			
141	1440.0	.0125	.0375	.0625
145	148.0875	.1125	.1375	.1625
149	152.1875	.2125	.2375	.2625
153	156.2875	.3125	.3375	.3625
157	160.3875	.4125	.4375	.4625

161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.00			
191	194.90	1.150	1.500	1.750	
195	1981.890	1.940	1.950	1.900	
199	2021.820	1.730	1.630	1.530	
203	2061.410	1.320	1.250	1.190	
207	2101.140	1.070	1.000	.9200	
211	214.8600	.8000	.7500	.7100	
215	218.6700	.6300	.6000	.5700	
219	222.5600	.5500	.5450	.5400	
223	226.5400	.5400	.5350	.5350	
227	230.5200	.4900	.4300	.3600	
1 231	232.2500	.200			
26	Case_CPCW1 p527				
1	4	2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
27	Case_CPCW1 p601				
1	4	2.4113	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	
199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				
28	Case_CPCW2 m527				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.1100	.1300	.1600	.1900	
195	198.2300	.2500	.2800	.3100	
199	202.3500	.3800	.4100	.4500	
203	206.4900	.5400	.6000	.6600	
207	210.7400	.8200	.9100	1.000	
211	2141.100	1.200	1.290	1.390	
215	2181.490	1.580	1.670	1.720	
219	2221.810	1.870	1.890	1.910	
223	2261.900	1.870	1.810	1.690	
227	2301.530	1.330	1.080	.7400	
1 231	231.3500				
29	Case_CPCW2 m359				

1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2500	.3200	.4000	
195	198.4500	.4800	.5100	.5300	
199	202.5500	.5700	.6000	.6300	
203	206.7000	.7400	.7800	.8300	
207	210.8800	.9300	.9800	1.030	
211	2141.090	1.140	1.190	1.230	
215	2181.280	1.320	1.360	1.400	
219	2221.450	1.490	1.530	1.570	
223	2261.610	1.610	1.600	1.560	
227	2301.490	1.340	1.110	.8400	
1 231	232.7500	0.000			
30	Case_CPCW2 m317				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
31	Case_CPCW2 m070				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	1811.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
32	Case_CPCW2 p000				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2610	.3420	.4280	
195	198.5200	.6200	.7150	.8100	
199	202.8940	.9780	1.054	1.126	
203	2061.193	1.251	1.300	1.346	
207	2101.382	1.415	1.439	1.457	

211	2141.469	1.469	1.457	1.439	
215	2181.415	1.382	1.346	1.300	
219	2221.251	1.193	1.126	1.054	
223	226.9780	.8940	.8100	.7150	
227	230.6200	.5200	.4280	.3420	
1 231	232.2610	.2200			
	33 Case_CPCW2 p317				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.2900	.4300	.5700	.7300	
195	198.8700	1.020	1.150	1.270	
199	2021.380	1.470	1.550	1.610	
203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	
227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	34 Case_CPCW2 p337				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.0			
191	194.8500	.9900	1.250	1.470	
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630	
199	2021.590	1.540	1.470	1.420	
203	2061.360	1.310	1.260	1.220	
207	2101.170	1.130	1.080	1.040	
211	214.9800	.9400	.8900	.8400	
215	218.8000	.7700	.7400	.7000	
219	222.6700	.6450	.6250	.6200	
223	226.6150	.6150	.6300	.6300	
227	230.6200	.5900	.5500	.4700	
1 231	232.3200	.22			
	35 Case_CPCW2 p444				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.00			
191	194.90	1.150	1.500	1.750	
195	1981.890	1.940	1.950	1.900	
199	2021.820	1.730	1.630	1.530	
203	2061.410	1.320	1.250	1.190	
207	2101.140	1.070	1.000	.9200	
211	214.8600	.8000	.7500	.7100	
215	218.6700	.6300	.6000	.5700	
219	222.5600	.5500	.5450	.5400	
223	226.5400	.5400	.5350	.5350	
227	230.5200	.4900	.4300	.3600	
1 231	232.2500	.200			
	36 Case_CPCW2 p527				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	

177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
	37 Case_CPCW2 p601				
1	4	3.2623	.184356	500.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	
199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				
	38 Case_CPCW3 m527				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.1100	.1300	.1600	.1900	
195	198.2300	.2500	.2800	.3100	
199	202.3500	.3800	.4100	.4500	
203	206.4900	.5400	.6000	.6600	
207	210.7400	.8200	.9100	1.000	
211	2141.100	1.200	1.290	1.390	
215	2181.490	1.580	1.670	1.720	
219	2221.810	1.870	1.890	1.910	
223	2261.900	1.870	1.810	1.690	
227	2301.530	1.330	1.080	.7400	
1 231	231.3500				
	39 Case_CPCW3 m359				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2500	.3200	.4000	
195	198.4500	.4800	.5100	.5300	
199	202.5500	.5700	.6000	.6300	
203	206.7000	.7400	.7800	.8300	
207	210.8800	.9300	.9800	1.030	
211	2141.090	1.140	1.190	1.230	
215	2181.280	1.320	1.360	1.400	
219	2221.450	1.490	1.530	1.570	
223	2261.610	1.610	1.600	1.560	
227	2301.490	1.340	1.110	.8400	
1 231	232.7500	0.000			
	40 Case_CPCW3 m317				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	

149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
41	Case_CPCW3 m070				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	1811.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
42	Case_CPCW3 p000				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2610	.3420	.4280	
195	198.5200	.6200	.7150	.8100	
199	202.8940	.9780	1.054	1.126	
203	2061.193	1.251	1.300	1.346	
207	2101.382	1.415	1.439	1.457	
211	2141.469	1.469	1.457	1.439	
215	2181.415	1.382	1.346	1.300	
219	2221.251	1.193	1.126	1.054	
223	226.9780	.8940	.8100	.7150	
227	230.6200	.5200	.4280	.3420	
1 231	232.2610	.2200			
43	Case_CPCW3 p317				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.2900	.4300	.5700	.7300	
195	198.8700	1.020	1.150	1.270	
199	2021.380	1.470	1.550	1.610	
203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	

227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	44 Case_CPCW3 p337				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.0			
191	194.8500	.9900	1.250	1.470	
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630	
199	2021.590	1.540	1.470	1.420	
203	2061.360	1.310	1.260	1.220	
207	2101.170	1.130	1.080	1.040	
211	214.9800	.9400	.8900	.8400	
215	218.8000	.7700	.7400	.7000	
219	222.6700	.6450	.6250	.6200	
223	226.6150	.6150	.6300	.6300	
227	230.6200	.5900	.5500	.4700	
1 231	232.3200	.22			
	45 Case_CPCW3 p444				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.0			
191	194.90	1.150	1.500	1.750	
195	1981.890	1.940	1.950	1.900	
199	2021.820	1.730	1.630	1.530	
203	2061.410	1.320	1.250	1.190	
207	2101.140	1.070	1.000	.9200	
211	214.8600	.8000	.7500	.7100	
215	218.6700	.6300	.6000	.5700	
219	222.5600	.5500	.5450	.5400	
223	226.5400	.5400	.5350	.5350	
227	230.5200	.4900	.4300	.3600	
1 231	232.2500	.200			
	46 Case_CPCW3 p527				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
	47 Case_CPCW3 p601				
1	4	2.0970	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	

199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				
	48 Case_CPCW4 m527				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.1100	.1300	.1600	.1900	
195	198.2300	.2500	.2800	.3100	
199	202.3500	.3800	.4100	.4500	
203	206.4900	.5400	.6000	.6600	
207	210.7400	.8200	.9100	1.000	
211	2141.100	1.200	1.290	1.390	
215	2181.490	1.580	1.670	1.720	
219	2221.810	1.870	1.890	1.910	
223	2261.900	1.870	1.810	1.690	
227	2301.530	1.330	1.080	.7400	
1 231	231.3500				
	49 Case_CPCW4 m359				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2500	.3200	.4000	
195	198.4500	.4800	.5100	.5300	
199	202.5500	.5700	.6000	.6300	
203	206.7000	.7400	.7800	.8300	
207	210.8800	.9300	.9800	1.030	
211	2141.090	1.140	1.190	1.230	
215	2181.280	1.320	1.360	1.400	
219	2221.450	1.490	1.530	1.570	
223	2261.610	1.610	1.600	1.560	
227	2301.490	1.340	1.110	.8400	
1 231	232.7500	0.000			
	50 Case_CPCW4 m317				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
	51 Case_CPCW4 m070				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	

165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	181.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
	52 Case_CPCW4 p000				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2610	.3420	.4280	
195	198.5200	.6200	.7150	.8100	
199	202.8940	.9780	1.054	1.126	
203	2061.193	1.251	1.300	1.346	
207	2101.382	1.415	1.439	1.457	
211	2141.469	1.469	1.457	1.439	
215	2181.415	1.382	1.346	1.300	
219	2221.251	1.193	1.126	1.054	
223	226.9780	.8940	.8100	.7150	
227	230.6200	.5200	.4280	.3420	
1 231	232.2610	.2200			
	53 Case_CPCW4 p317				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	181.000				
191	194.2900	.4300	.5700	.7300	
195	198.8700	1.020	1.150	1.270	
199	2021.380	1.470	1.550	1.610	
203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	
227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	54 Case_CPCW4 p337				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.0			
191	194.8500	.9900	1.250	1.470	
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630	
199	2021.590	1.540	1.470	1.420	
203	2061.360	1.310	1.260	1.220	
207	2101.170	1.130	1.080	1.040	
211	214.9800	.9400	.8900	.8400	
215	218.8000	.7700	.7400	.7000	
219	222.6700	.6450	.6250	.6200	
223	226.6150	.6150	.6300	.6300	
227	230.6200	.5900	.5500	.4700	
1 231	232.3200	.22			
	55 Case_CPCW4 p444				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0

140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.00			
191	194.90	1.150	1.500	1.750	
195	1981.890	1.940	1.950	1.900	
199	2021.820	1.730	1.630	1.530	
203	2061.410	1.320	1.250	1.190	
207	2101.140	1.070	1.000	.9200	
211	214.8600	.8000	.7500	.7100	
215	218.6700	.6300	.6000	.5700	
219	222.5600	.5500	.5450	.5400	
223	226.5400	.5400	.5350	.5350	
227	230.5200	.4900	.4300	.3600	
1 231	232.2500	.200			
	56 Case_CPCW4 p527				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
	57 Case_CPCW4 p601				
1	4	2.8372	.184356	595.00	1785.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	
199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				
	58 Case_CPCW5 m527				
1	4	2.4266	.184356	500.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.1100	.1300	.1600	.1900	
195	198.2300	.2500	.2800	.3100	
199	202.3500	.3800	.4100	.4500	
203	206.4900	.5400	.6000	.6600	
207	210.7400	.8200	.9100	1.000	
211	2141.100	1.200	1.290	1.390	

215	2181.490	1.580	1.670	1.720	
219	2221.810	1.870	1.890	1.910	
223	2261.900	1.870	1.810	1.690	
227	2301.530	1.330	1.080	.7400	
1 231	231.3500				
	59 Case_CPCW5 m359				
1	4	2.4266	.184356	500.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2500	.3200	.4000	
195	198.4500	.4800	.5100	.5300	
199	202.5500	.5700	.6000	.6300	
203	206.7000	.7400	.7800	.8300	
207	210.8800	.9300	.9800	1.030	
211	2141.090	1.140	1.190	1.230	
215	2181.280	1.320	1.360	1.400	
219	2221.450	1.490	1.530	1.570	
223	2261.610	1.610	1.600	1.560	
227	2301.490	1.340	1.110	.8400	
1 231	232.7500	0.000			
	60 Case_CPCW5 m317				
1	4	2.4266	.184356	500.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
	61 Case_CPCW5 m070				
1	4	2.4266	.184356	500.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	1811.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
	62 Case_CPCW5 p000				
1	4	2.4266	.184356	500.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	

181	182.9875	1.000		
191	194.2200	.2610	.3420	.4280
195	198.5200	.6200	.7150	.8100
199	202.8940	.9780	1.054	1.126
203	2061.193	1.251	1.300	1.346
207	2101.382	1.415	1.439	1.457
211	2141.469	1.469	1.457	1.439
215	2181.415	1.382	1.346	1.300
219	2221.251	1.193	1.126	1.054
223	226.9780	.8940	.8100	.7150
227	230.6200	.5200	.4280	.3420
1 231	232.2610	.2200		
	63 Case_CPCW5 p317			
1	4	2.4266	.184356	500.00
				2415.0
140	14041.			
141	1440.000	.0250	.0500	.0750
145	148.1000	.1250	.1500	.1750
149	152.2000	.2250	.2500	.2750
153	156.3000	.3250	.3500	.3750
157	160.4000	.4250	.4500	.4750
161	164.5000	.5250	.5500	.5750
165	168.6000	.6250	.6500	.6750
169	172.7000	.7250	.7500	.7750
173	176.8000	.8250	.8500	.8750
177	180.9000	.9250	.9500	.9750
181	1811.000			
191	194.2900	.4300	.5700	.7300
195	198.8700	1.020	1.150	1.270
199	2021.380	1.470	1.550	1.610
203	2061.650	1.680	1.700	1.700
207	2101.690	1.660	1.620	1.570
211	2141.510	1.450	1.380	1.300
215	2181.210	1.120	1.010	.9000
219	222.8000	.7100	.6200	.5400
223	226.4700	.3800	.3200	.2600
227	230.2000	.1600	.1100	.0700
1 231	231.0400			
	64 Case_CPCW5 p337			
1	4	2.4266	.184356	500.00
				2415.0
140	14042.			
141	1440.000	.0125	.0375	.0625
145	148.0875	.1125	.1375	.1625
149	152.1875	.2125	.2375	.2625
153	156.2875	.3125	.3375	.3625
157	160.3875	.4125	.4375	.4625
161	164.4875	.5125	.5375	.5625
165	168.5875	.6125	.6375	.6625
169	172.6875	.7125	.7375	.7625
173	176.7875	.8125	.8375	.8625
177	180.8875	.9125	.9375	.9625
181	182.9875	1.0		
191	194.8500	.9900	1.250	1.470
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630
199	2021.590	1.540	1.470	1.420
203	2061.360	1.310	1.260	1.220
207	2101.170	1.130	1.080	1.040
211	214.9800	.9400	.8900	.8400
215	218.8000	.7700	.7400	.7000
219	222.6700	.6450	.6250	.6200
223	226.6150	.6150	.6300	.6300
227	230.6200	.5900	.5500	.4700
1 231	232.3200	.22		
	65 Case_CPCW5 p444			
1	4	2.4266	.184356	500.00
				2415.0
140	14042.			
141	1440.0	.0125	.0375	.0625
145	148.0875	.1125	.1375	.1625
149	152.1875	.2125	.2375	.2625
153	156.2875	.3125	.3375	.3625
157	160.3875	.4125	.4375	.4625
161	164.4875	.5125	.5375	.5625
165	168.5875	.6125	.6375	.6625
169	172.6875	.7125	.7375	.7625
173	176.7875	.8125	.8375	.8625
177	180.8875	.9125	.9375	.9625
181	182.9875	1.00		
191	194.90	1.150	1.500	1.750
195	1981.890	1.940	1.950	1.900
199	2021.820	1.730	1.630	1.530
203	2061.410	1.320	1.250	1.190
207	2101.140	1.070	1.000	.9200
211	214.8600	.8000	.7500	.7100
215	218.6700	.6300	.6000	.5700
219	222.5600	.5500	.5450	.5400
223	226.5400	.5400	.5350	.5350
227	230.5200	.4900	.4300	.3600
1 231	232.2500	.200		
	66 Case_CPCW5 p527			
1	4	2.4266	.184356	500.00
				2415.0
140	14041.			
141	1440.000	.0250	.0500	.0750
145	148.1000	.1250	.1500	.1750
149	152.2000	.2250	.2500	.2750

153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
	67 Case_CPCW5 p601				
1	4	2.4266	.184356	500.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	
199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				
	68 Case_CPCW6 m527				
1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.1100	.1300	.1600	.1900	
195	198.2300	.2500	.2800	.3100	
199	202.3500	.3800	.4100	.4500	
203	206.4900	.5400	.6000	.6600	
207	210.7400	.8200	.9100	1.000	
211	2141.100	1.200	1.290	1.390	
215	2181.490	1.580	1.670	1.720	
219	2221.810	1.870	1.890	1.910	
223	2261.900	1.870	1.810	1.690	
227	2301.530	1.330	1.080	.7400	
1 231	231.3500				
	69 Case_CPCW6 m359				
1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2500	.3200	.4000	
195	198.4500	.4800	.5100	.5300	
199	202.5500	.5700	.6000	.6300	
203	206.7000	.7400	.7800	.8300	
207	210.8800	.9300	.9800	1.030	
211	2141.090	1.140	1.190	1.230	
215	2181.280	1.320	1.360	1.400	
219	2221.450	1.490	1.530	1.570	
223	2261.610	1.610	1.600	1.560	
227	2301.490	1.340	1.110	.8400	

1	231	232.7500	0.000			
		70 Case_CPCW6 m317				
	1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140		14041.				
141		1440.000	.0250	.0500	.0750	
145		148.1000	.1250	.1500	.1750	
149		152.2000	.2250	.2500	.2750	
153		156.3000	.3250	.3500	.3750	
157		160.4000	.4250	.4500	.4750	
161		164.5000	.5250	.5500	.5750	
165		168.6000	.6250	.6500	.6750	
169		172.7000	.7250	.7500	.7750	
173		176.8000	.8250	.8500	.8750	
177		180.9000	.9250	.9500	.9750	
181		1811.000				
191		194.0400	.0700	.1100	.1600	
195		198.2000	.2600	.3200	.3800	
199		202.4700	.5400	.6200	.7100	
203		206.8000	.9000	1.010	1.120	
207		2101.210	1.300	1.380	1.450	
211		2141.510	1.570	1.620	1.660	
215		2181.690	1.700	1.700	1.680	
219		2221.650	1.610	1.550	1.470	
223		2261.380	1.270	1.150	1.020	
227		230.8700	.7300	.5700	.4300	
1	231	231.2900				
		71 Case_CPCW6 m070				
	1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140		14041.				
141		1440.000	.0375	.0625	.0875	
145		148.1125	.1375	.1625	.1875	
149		152.2125	.2375	.2625	.2875	
153		156.3125	.3375	.3625	.3875	
157		160.4125	.4375	.4625	.4875	
161		164.5125	.5375	.5625	.5875	
165		168.6125	.6375	.6625	.6875	
169		172.7125	.7375	.7625	.7875	
173		176.8125	.8375	.8625	.8875	
177		180.9125	.9375	.9625	.9875	
181		1811.000				
191		194.3900	.7200	.8750	.9600	
195		1981.005	1.030	1.030	1.025	
199		2021.020	1.005	.9950	.9750	
203		206.9600	.9450	.9350	.9300	
207		210.9300	.9300	.9300	.9350	
211		214.9500	.9650	.9850	1.005	
215		2181.025	1.050	1.080	1.110	
219		2221.140	1.175	1.205	1.235	
223		2261.255	1.260	1.240	1.185	
227		2301.110	.9950	.8250	.5700	
1	231	231.5700				
		72 Case_CPCW6 p000				
	1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140		14042.				
141		1440.000	.0125	.0375	.0625	
145		148.0875	.1125	.1375	.1625	
149		152.1875	.2125	.2375	.2625	
153		156.2875	.3125	.3375	.3625	
157		160.3875	.4125	.4375	.4625	
161		164.4875	.5125	.5375	.5625	
165		168.5875	.6125	.6375	.6625	
169		172.6875	.7125	.7375	.7625	
173		176.7875	.8125	.8375	.8625	
177		180.8875	.9125	.9375	.9625	
181		182.9875	1.000			
191		194.2200	.2610	.3420	.4280	
195		198.5200	.6200	.7150	.8100	
199		202.8940	.9780	1.054	1.126	
203		2061.193	1.251	1.300	1.346	
207		2101.382	1.415	1.439	1.457	
211		2141.469	1.469	1.457	1.439	
215		2181.415	1.382	1.346	1.300	
219		2221.251	1.193	1.126	1.054	
223		226.9780	.8940	.8100	.7150	
227		230.6200	.5200	.4280	.3420	
1	231	232.2610	.2200			
		73 Case_CPCW6 p317				
	1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140		14041.				
141		1440.000	.0250	.0500	.0750	
145		148.1000	.1250	.1500	.1750	
149		152.2000	.2250	.2500	.2750	
153		156.3000	.3250	.3500	.3750	
157		160.4000	.4250	.4500	.4750	
161		164.5000	.5250	.5500	.5750	
165		168.6000	.6250	.6500	.6750	
169		172.7000	.7250	.7500	.7750	
173		176.8000	.8250	.8500	.8750	
177		180.9000	.9250	.9500	.9750	
181		1811.000				
191		194.2900	.4300	.5700	.7300	
195		198.8700	1.020	1.150	1.270	
199		2021.380	1.470	1.550	1.610	

203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	
227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	74 Case_CPCW6 p337				
1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.0			
191	194.8500	.9900	1.250	1.470	
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630	
199	2021.590	1.540	1.470	1.420	
203	2061.360	1.310	1.260	1.220	
207	2101.170	1.130	1.080	1.040	
211	214.9800	.9400	.8900	.8400	
215	218.8000	.7700	.7400	.7000	
219	222.6700	.6450	.6250	.6200	
223	226.6150	.6150	.6300	.6300	
227	230.6200	.5900	.5500	.4700	
1 231	232.3200	.22			
	75 Case_CPCW6 p444				
1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.00			
191	194.90	1.150	1.500	1.750	
195	1981.890	1.940	1.950	1.900	
199	2021.820	1.730	1.630	1.530	
203	2061.410	1.320	1.250	1.190	
207	2101.140	1.070	1.000	.9200	
211	214.8600	.8000	.7500	.7100	
215	218.6700	.6300	.6000	.5700	
219	222.5600	.5500	.5450	.5400	
223	226.5400	.5400	.5350	.5350	
227	230.5200	.4900	.4300	.3600	
1 231	232.2500	.200			
	76 Case_CPCW6 p527				
1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
	77 Case_CPCW6 p601				
1	4	3.2830	.184356	500.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	

169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	
199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				
	78 Case_CPCW7 m527				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.1100	.1300	.1600	.1900	
195	198.2300	.2500	.2800	.3100	
199	202.3500	.3800	.4100	.4500	
203	206.4900	.5400	.6000	.6600	
207	210.7400	.8200	.9100	1.000	
211	2141.100	1.200	1.290	1.390	
215	2181.490	1.580	1.670	1.720	
219	2221.810	1.870	1.890	1.910	
223	2261.900	1.870	1.810	1.690	
227	2301.530	1.330	1.080	.7400	
1 231	231.3500				
	79 Case_CPCW7 m359				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2500	.3200	.4000	
195	198.4500	.4800	.5100	.5300	
199	202.5500	.5700	.6000	.6300	
203	206.7000	.7400	.7800	.8300	
207	210.8800	.9300	.9800	1.030	
211	2141.090	1.140	1.190	1.230	
215	2181.280	1.320	1.360	1.400	
219	2221.450	1.490	1.530	1.570	
223	2261.610	1.610	1.600	1.560	
227	2301.490	1.340	1.110	.8400	
1 231	232.7500	0.000			
	80 Case_CPCW7 m317				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	2101.210	1.300	1.380	1.450	
211	2141.510	1.570	1.620	1.660	
215	2181.690	1.700	1.700	1.680	
219	2221.650	1.610	1.550	1.470	
223	2261.380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
	81 Case_CPCW7 m070				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				

141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	181.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	1981.005	1.030	1.030	1.025	
199	2021.020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	2181.025	1.050	1.080	1.110	
219	2221.140	1.175	1.205	1.235	
223	2261.255	1.260	1.240	1.185	
227	2301.110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
	82 Case_CPCW7 p000				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2610	.3420	.4280	
195	198.5200	.6200	.7150	.8100	
199	202.8940	.9780	1.054	1.126	
203	2061.193	1.251	1.300	1.346	
207	2101.382	1.415	1.439	1.457	
211	2141.469	1.469	1.457	1.439	
215	2181.415	1.382	1.346	1.300	
219	2221.251	1.193	1.126	1.054	
223	226.9780	.8940	.8100	.7150	
227	230.6200	.5200	.4280	.3420	
1 231	232.2610	.2200			
	83 Case_CPCW7 p317				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	181.000				
191	194.2900	.4300	.5700	.7300	
195	198.8700	1.020	1.150	1.270	
199	2021.380	1.470	1.550	1.610	
203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	
227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	84 Case_CPCW7 p337				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.0			
191	194.8500	.9900	1.250	1.470	
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630	
199	2021.590	1.540	1.470	1.420	
203	2061.360	1.310	1.260	1.220	
207	2101.170	1.130	1.080	1.040	
211	214.9800	.9400	.8900	.8400	
215	218.8000	.7700	.7400	.7000	

219	222.6700	.6450	.6250	.6200	
223	226.6150	.6150	.6300	.6300	
227	230.6200	.5900	.5500	.4700	
1 231	232.3200	.22			
	85 Case_CPCW7 p444				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.00			
191	194.90	1.150	1.500	1.750	
195	1981.890	1.940	1.950	1.900	
199	2021.820	1.730	1.630	1.530	
203	2061.410	1.320	1.250	1.190	
207	2101.140	1.070	1.000	.9200	
211	214.8600	.8000	.7500	.7100	
215	218.6700	.6300	.6000	.5700	
219	222.5600	.5500	.5450	.5400	
223	226.5400	.5400	.5350	.5350	
227	230.5200	.4900	.4300	.3600	
1 231	232.2500	.200			
	86 Case_CPCW7 p527				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
	87 Case_CPCW7 p601				
1	4	2.1303	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	
199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				
	88 Case_CPCW8 m527				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				

191	194.1100	.1300	.1600	.1900	
195	198.2300	.2500	.2800	.3100	
199	202.3500	.3800	.4100	.4500	
203	206.4900	.5400	.6000	.6600	
207	210.7400	.8200	.9100	1.000	
211	214.1100	1.200	1.290	1.390	
215	218.1490	1.580	1.670	1.720	
219	222.810	1.870	1.890	1.910	
223	226.1900	1.870	1.810	1.690	
227	230.1530	1.330	1.080	.7400	
1 231	231.3500				
	89 Case_CPCW8 m359				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2500	.3200	.4000	
195	198.4500	.4800	.5100	.5300	
199	202.5500	.5700	.6000	.6300	
203	206.7000	.7400	.7800	.8300	
207	210.8800	.9300	.9800	1.030	
211	214.090	1.140	1.190	1.230	
215	218.1280	1.320	1.360	1.400	
219	222.1450	1.490	1.530	1.570	
223	226.1610	1.610	1.600	1.560	
227	230.1490	1.340	1.110	.8400	
1 231	232.7500	0.000			
	90 Case_CPCW8 m317				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	181.000				
191	194.0400	.0700	.1100	.1600	
195	198.2000	.2600	.3200	.3800	
199	202.4700	.5400	.6200	.7100	
203	206.8000	.9000	1.010	1.120	
207	210.1210	1.300	1.380	1.450	
211	214.1510	1.570	1.620	1.660	
215	218.1690	1.700	1.700	1.680	
219	222.1650	1.610	1.550	1.470	
223	226.1380	1.270	1.150	1.020	
227	230.8700	.7300	.5700	.4300	
1 231	231.2900				
	91 Case_CPCW8 m070				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0375	.0625	.0875	
145	148.1125	.1375	.1625	.1875	
149	152.2125	.2375	.2625	.2875	
153	156.3125	.3375	.3625	.3875	
157	160.4125	.4375	.4625	.4875	
161	164.5125	.5375	.5625	.5875	
165	168.6125	.6375	.6625	.6875	
169	172.7125	.7375	.7625	.7875	
173	176.8125	.8375	.8625	.8875	
177	180.9125	.9375	.9625	.9875	
181	181.000				
191	194.3900	.7200	.8750	.9600	
195	198.1005	1.030	1.030	1.025	
199	202.1020	1.005	.9950	.9750	
203	206.9600	.9450	.9350	.9300	
207	210.9300	.9300	.9300	.9350	
211	214.9500	.9650	.9850	1.005	
215	218.1025	1.050	1.080	1.110	
219	222.1140	1.175	1.205	1.235	
223	226.1255	1.260	1.240	1.185	
227	230.1110	.9950	.8250	.5700	
1 231	231.5700				
	92 Case_CPCW8 p000				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	

157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.000			
191	194.2200	.2610	.3420	.4280	
195	198.5200	.6200	.7150	.8100	
199	202.8940	.9780	1.054	1.126	
203	2061.193	1.251	1.300	1.346	
207	2101.382	1.415	1.439	1.457	
211	2141.469	1.469	1.457	1.439	
215	2181.415	1.382	1.346	1.300	
219	2221.251	1.193	1.126	1.054	
223	226.9780	.8940	.8100	.7150	
227	230.6200	.5200	.4280	.3420	
1 231	232.2610	.2200			
	93 Case_CPCW8 p317				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.2900	.4300	.5700	.7300	
195	198.8700	1.020	1.150	1.270	
199	2021.380	1.470	1.550	1.610	
203	2061.650	1.680	1.700	1.700	
207	2101.690	1.660	1.620	1.570	
211	2141.510	1.450	1.380	1.300	
215	2181.210	1.120	1.010	.9000	
219	222.8000	.7100	.6200	.5400	
223	226.4700	.3800	.3200	.2600	
227	230.2000	.1600	.1100	.0700	
1 231	231.0400				
	94 Case_CPCW8 p337				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.000	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.0			
191	194.8500	.9900	1.250	1.470	
195	1981.5700	1.640	1.660	1.630	
199	2021.590	1.540	1.470	1.420	
203	2061.360	1.310	1.260	1.220	
207	2101.170	1.130	1.080	1.040	
211	214.9800	.9400	.8900	.8400	
215	218.8000	.7700	.7400	.7000	
219	222.6700	.6450	.6250	.6200	
223	226.6150	.6150	.6300	.6300	
227	230.6200	.5900	.5500	.4700	
1 231	232.3200	.22			
	95 Case_CPCW8 p444				
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14042.				
141	1440.0	.0125	.0375	.0625	
145	148.0875	.1125	.1375	.1625	
149	152.1875	.2125	.2375	.2625	
153	156.2875	.3125	.3375	.3625	
157	160.3875	.4125	.4375	.4625	
161	164.4875	.5125	.5375	.5625	
165	168.5875	.6125	.6375	.6625	
169	172.6875	.7125	.7375	.7625	
173	176.7875	.8125	.8375	.8625	
177	180.8875	.9125	.9375	.9625	
181	182.9875	1.00			
191	194.90	1.150	1.500	1.750	
195	1981.890	1.940	1.950	1.900	
199	2021.820	1.730	1.630	1.530	
203	2061.410	1.320	1.250	1.190	
207	2101.140	1.070	1.000	.9200	
211	214.8600	.8000	.7500	.7100	
215	218.6700	.6300	.6000	.5700	
219	222.5600	.5500	.5450	.5400	
223	226.5400	.5400	.5350	.5350	
227	230.5200	.4900	.4300	.3600	
1 231	232.2500	.200			

96 Case_CPCW8 p527					
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	194.3500	.7400	1.080	1.330	
195	1981.530	1.690	1.810	1.870	
199	2021.900	1.910	1.890	1.870	
203	2061.810	1.720	1.670	1.580	
207	2101.490	1.390	1.290	1.200	
211	2141.100	1.000	.9100	.8200	
215	218.7400	.6600	.6000	.5400	
219	222.4900	.4500	.4100	.3800	
223	226.3500	.3100	.2800	.2500	
227	230.2300	.1900	.1600	.1300	
1 231	231.1100				
97 Case_CPCW8 p601					
1	4	2.8821	.184356	595.00	2415.0
140	14041.				
141	1440.000	.0250	.0500	.0750	
145	148.1000	.1250	.1500	.1750	
149	152.2000	.2250	.2500	.2750	
153	156.3000	.3250	.3500	.3750	
157	160.4000	.4250	.4500	.4750	
161	164.5000	.5250	.5500	.5750	
165	168.6000	.6250	.6500	.6750	
169	172.7000	.7250	.7500	.7750	
173	176.8000	.8250	.8500	.8750	
177	180.9000	.9250	.9500	.9750	
181	1811.000				
191	1941.210	1.600	1.880	2.120	
195	1982.230	2.270	2.230	2.180	
199	2022.050	1.930	1.800	1.660	
203	2061.530	1.420	1.310	1.190	
207	2101.090	0.990	0.910	0.820	
211	2140.750	0.680	0.630	0.570	
215	2180.530	0.480	0.450	0.410	
219	2220.390	0.370	0.360	0.350	
223	2260.340	0.330	0.320	0.310	
227	2300.300	0.270	0.230	0.200	
1 231	231.1300				

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/CR-264/2006			
제목 / 부제	실시간 노심열수력모델 개선		
연구책임자 및 부서명	인왕기(경수로연료개발부)		
연구자 및 부서명	전태현, 오동석, 신창환(경수로연료개발부) 황대현, 서경원(원자로공학연구부)		
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소
페이지	120 p.	도표	있음(o), 없음()
참고사항			
공개여부	공개(o), 비공개()	보고서종류	수탁보고서
비밀여부	대외비(), ___ 급비밀		
연구위탁기관	(주)두산중공업	계약번호	
초록 (15-20줄내외)	<p>본 과제의 목적은 4-개 수로 모델을 기반으로 하는 소수로(그룹수로) 해석코드인 CETOP-D를 개량형 노심보호연산기 계통(RCOPS)에 적용하는 것이다. CETOP-D 코드의 RCOPS 적용을 위해서 코드 소스를 분석하여 실시간 DNBR 계산에 필요한 부분을 추출하였다. RCOPS DNBR 모듈의 입력변수와 출력변수는 CPC의 DNBR 모듈과 동일하도록 CETOP-D 코드를 수정하였다. DNBR 모듈은 복잡한 계산을 수행하므로 주요 계산내용에 따라 서브모듈로 나누었다. DNBR 모듈에 대한 기능설계요건서(Functional Design Requirements)를 작성하고 필요한 데이터베이스 상수(Constants)를 결정하였다. RCOPS 모의 전산코드의 FORTRAN DNBR 모듈(BEST)과 RCOPS DNBR 모듈을 이용하여 독립적인 DNBR 계산이 가능한 전산코드(RCOPS-SDNBR)도 각각 개발하였다. RCOPS에서의 실시간 DNBR 계산에 필요한 열수력모듈의 기능설계 및 DB 검증에 대해 검증시험을 수행하였다. CETOP-D를 이용하여 RCOPS DNBR을 계산할 경우 DNBR 여유도는 약 2% ~ 3%증가하는 것으로 예측되었으나 최종 DNBR 여유도 증가는 향후 RCOPS 계통의 전체불확실도 해석을 수행하여 결정될 것이다.</p>		
주제명키워드 (10단어내외)	개량형 노심보호연산기계통, 소수로 해석코드, DNBR 모듈, 기능설계요건서, 데이터베이스, 열수력모델, 검증시험		

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/CR-264/2006			
Title / Subtitle	On-Line Core Thermal-Hydraulic Model Improvement		
Project Manager and Department	Wang Kee In (LWR Fuel Division)		
Researcher and Department	Tae Hyun Chun, Dong Seok Oh, Chang Hwan Shin (LWR Fuel Division) Dae Hyun Hwang, Kyung Won Seo (Reactor Engineering Division)		
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI
Page	120 p.	Ill. & Tab.	Yes(o), No ()
Publication Date	2007. 2		
Size	21x29 Cm.		
Note			
Open	Open(o), Closed()	Report Type	CR
Classified	Restricted(), ___Class Document		
Sponsoring Org.	Doosan Heavy Industry Inc.	Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)	<p>The objective of this project is to implement a fast-running 4-channel based code CETOP-D in an advanced reactor core protection calculator system(RCOPS). The part required for the on-line calculation of DNBR were extracted from the source of the CETOP-D code based on analysis of the CETOP-D code. The CETOP-D code was revised to maintain the input and output variables which are the same as in CPC DNBR module. Since the DNBR module performs a complex calculation, it is divided into sub-modules per major calculation step. The functional design requirements for the DNBR module is documented and the values of the database(DB) constants were decided. This project also developed a Fortran module(BEST) of the RCOPS Fortran Simulator and a computer code RCOPS-SDNBR to independently calculate DNBR. A test was also conducted to verify the functional design and DB of thermal-hydraulic model which is necessary to calculate the DNBR on-line in RCOPS. The DNBR margin is expected to increase by 2%-3% once the CETOP-D code is used to calculate the RCOPS DNBR. It should be noted that the final DNBR margin improvement could be determined in the future based on overall uncertainty analysis of the RCOPS.</p>		
Subject Keywords (About 10 words)	RCOPS, CETOP-D, DNBR Module, Functional Design Requirements, Database, Thermal-Hydraulic Model, (Verification) Test		