

KNFC의 RELAP5/MOD3.2 PC Version 설치 및 활용

조창석, 박병서, 이재훈, 최동수  
한국원전연료주식회사

요 약

INEL에서 가압 경수로에서 일어날 수 있는 가상 사고 해석을 위해 개발된 Relap5/Mod3.2를 PC Version으로 변환 설치하였다. CPU Time 비교 및 검증 계산을 수행했으며 중요 변수 비교를 통해 변환의 적절함을 확인했다. Accumulator 주입에 의한 Numerical Oscillation이 일어나는 부분에서 서로 다른 시간 간격 제어를 함으로써 HP Version 결과와 차이가 있는 것을 제외하고 대체적으로 유사한 결과를 보임을 알 수 있었다. 경제적 측면과 Microprocessor의 발전 속도 측면에서 볼 때 PC Version 사용이 매우 유리한 선택이 될 수 있을 것이다.

1. 서 론

Relap5/Mod3은 대형 냉각재 상실사고, 소형 냉각재 상실사고, 그리고 운전 중에 일어날 수 있는 모든 종류의 과도 사고 해석을 포함하여 경수로에서 일어날 수 있는 가상사고 및 과도사고를 해석하기 위한 목적으로 개발되었다. 그러나 복잡한 계통을 모사해야 하므로 주로 CRAY, CDC Cyber 그리고 IBM 기계 같은 대형 Computer나 HP 9000 Series 700, IBM RS6000, 또는 DECstation 5000같은 Workstation에서 작업을 수행하도록 개발되어 왔다.

그러나 Intel Microprocessor를 사용한 개인용 Computer의 속도나 용량이 비약적으로 발전을 거듭함에 따라 점점 PC에서 Relap을 작동시키기 위한 작업들이 여러 사람들에 의해 시도되었으며 관련 문헌을 정리하면 다음과 같다.

1993년 국제 CAMP(Code Applications and Maintenance Program) Meeting에서 Slovakia 의 NPPRI(Nuclear Power Plants Research Institute)의 Frantisek Kolman에 의해 발표된 논문[1]에서 DOS를 사용하는 32-bit PC에 RELAP5/MOD3/5M5의 설치 과정 및 코드 수정에 관해 기술했다. 그리고 INEL에서 1994년에 발행된 RELAP5 News[2]에 보면 "INEL User Runs R5 on PC 386"이라는 부분이 13쪽에 있으며 7쪽에 있는 RELAP5 Benchmark CPU Times 비교표에 보면 INEL 외부에서 생성된 실행 File이라는 설명과 함께 RELAP5/MOD3/5M5를 PC Clone 33Mhz 486과 50Mhz 486에 실행한 CPU 시간을 보여 주고 있다. 또한 1994년 미국 Baltimore에서 열린 RELAP5 International Users Seminar에서 Akhil Gantayat와 Mushtaque Habib에 의해 발표된 논문[3]에 보면 Piping System의 열수력 해석을 Risk Management Associates, Inc.라는 회사에서 만든 RELAP5M2/RMA라는 PC Version RELAP5 Code를 사용하여 수행했음을 밝히고 있다.

국내에는 KINS주도의 CAMP Meeting에 참가하는 국내 Relap5 User Group Member들에게 배포된 자료[4]에 의해 Relap5 PC Version이 처음 소개되었다. 이 자료에 있는 내용을 살펴보면 Carolina Power & Light Company의 Steve Thomasson이 80386 - 80486 PC에 설치한 RELAP5/MOD3/5M5의 Source Code와 설치 방법, 그리고 속도 비교표를 기술한 Transmittal Package[5]를 INEL에 보내는 메모가 있다.

그는 RELAP을 PC에 설치하기 위해서는 32-bit Protected-mode code를 지원하는 Software System이 필요하며 Microway Incorporated의 NDP-486 Fortran Compiler와 Phar-Lap 386:DOS-Extender Software Development Kit가 가장 좋은 Tool임을 밝히고 있다.

KNFC에서는 1995년 11월에 개최된 제 5차 국내 CAMP Working Group 회의에서 공식 배포된 Relap5/Mod3.2를 IBM PC Clone에 Lahey Fortran Compiler를 사용하여 설치하였으며 이를 사고해석에 활용하고 있다.

## 2. Relap5/Mod3.2 PC Version 설치

Relap5/Mod3.2 PC Version에 대해서 언급하기 전에 지금까지 공개된 자료에서 찾을 수 있는 NPPRI의 F. Kolman과 CP&L의 S. Thomasson의 수정 부분에 대해서 정리를 하면 다음과 같다. 앞의 두 경우의 PC Version 설치는 모두 Relap5/Mod3/5M5 Version을 사용한 것으로 주요 Code 수정 부분을 정리하면 표 1과 같다. 표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 사용하는 Compiler의 종류에 따라 수정 내용이 많이 다를 수 있음을 알 수 있다. Relap5/Mod3.2를 IBM PC Clone에 설치하기 위하여 일단 CP&L의 수정을 기본으로 하여 Matrix Inversion에 관계되는 부분은 NPPRI의 수정을 받아들이고 Lahey Fortran Compiler를 사용할 경우 수정하여야 하는 주요 부분을 HP Unix Version과 비교하여 보면 표 2에 있는 것과 같다. PC Version설치에는 Lahey Fortran F77L-EM/32 Compiler와 Phar-Lap Dos Extender가 사용되었으며 ENVRL Directory의 Files와 SELAP Directory의 Files를 서로 다른 Directory 아래 두며 각각의 Makefile을 사용하여 Compilation과 Linking을 수행했다. Steam Table인 TPFH20는 Unix 환경에서와 같은 과정을 거쳐 PC에서 생성시켰으며 Windows 95 환경 하에서 작업을 실행했다.

## 3. 검증 계산

Relap5/Mod3.2-PC Version 변환 적합성 여부를 확인하기 위한 검증 계산을 세 가지 입력을 사용하여 수행하였다. 사용 입력은 단지 HP Version을 사용했을 때와 PC Version을 사용했을 때의 결과를 비교하기 위한 것이다.

먼저 CPU Time Benchmark 계산을 겸한 검증 계산을 위하여 Relap5 Transmittal Package에 포함된 Typpwr Sample 문제를 사용했다. 이 입력은 139 개의 Volumes, Pumps, Heat Structures, 그리고 Pressurizer로 구성된 4-Loop Generic PWR에서 소형 냉각제 상실사고를 사고 시간 100초 동안 모사한다.

두 번째 입력은 LOFT L9-1/L3-3 입력으로 Loss of Feedwater 사고(LOFA)로 시작되는 다중실패 과도사고가 결국은 소형 냉각제 상실사고까지 유발시키며 증기 발생기가 건조화한 경우에도 PORV가 1차측 압력을 조절할 수 있는 지 보이는 실험의 입력이다.

세 번째 입력은 LOFT L2-5 실험을 해석하기 위한 것으로 상업용 가압 경수로 발전소에서 Offsite Power 손실과 함께 저온관의 200 % 파손을 모사한다. LOFT L2-5는 초기 노심 Rewet 현상을 막는 Pump의 빠른 Coastdown을 만들기 위해 Pump를 Flywheel에서 분리시켜 초기 Rewet 없이 Appendix K 가정이 보수적인 PCT를 만들어 냄을 보이도록 설계된 실험이다.

Typpwr 입력을 사용한 CPU Time Benchmark는 표 3에 있다.

#### 4. 결과 및 토론

첫 번째 경우인 Typpwr 소형 냉각재 상실사고 계산으로부터 얻어진 Upper Plenum에서의 압력과 노심 상부에서의 Void Fraction이 각각 그림 1과 2에 나타나 있다. 그림에서 HP 또는 PC라는 Legend는 각각 HP Version과 PC Version을 사용한 결과를 나타낸다. 그림에서 보이는 바와 같이 두 version사이의 결과 차이는 거의 없는 것으로 보인다.

LOFT L9-1/L3-3을 모사하는 두 번째 Test에서 얻어진 Intact Loop Hot Leg에서의 압력과 냉각재 온도가 각각 그림 3과 4에 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 200초 후 PC Version의 온도와 압력이 약간 일찍 상승하는 것을 제외하고는 전체적인 경향에 있어 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

마지막으로 LOFT L2-5 대형 냉각재 상실사고를 모사하는 경우의 가압기 압력과 Peak Cladding Temperature(PCT)가 각각 그림 5와 6에 나타나 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 가압기 압력은 두 Version사이에 큰 차이가 없음을 볼 수 있으나 PCT의 경우는 약 20초 이후 온도 예측에 차이가 남을 알 수 있다. 이 차이는 Accumulator 주입이후 발생하는 Numerical Oscillation에 기인한 것으로 개선되어야 할 부분이다.

전체적으로 볼 때 PC Version의 결과가 HP Version의 결과와 크게 차이가 나지 않으므로 경제적 측면과 Microprocessor의 발전 속도를 볼 때 PC Version을 사용하는 것이 매우 유리한 선택이 될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. Frantisek Kolman, "Modifications done in NPPRI during RELAP5/MOD3/5M5 Code Installation on PC with DOS Based Operational System," 1993 CAMP Meeting, Brussels, Belgium, May 1993.
2. NUREG-EAST-9365, "RELAP5 NEWS," Quarterly Information, January - March 1994.
3. Akhil Gantayat and Mushtaque Habib, "Application of RELAP5 to Steam-Hammer Analysis of Piping Systems in Fossil Plants," 1994 RELAP5 International Users Seminar, Baltimore, MD, August 29 - September 1, 1994.
4. NSL-136-94, "Transmittal of R5force and RELAP5/MOD3 Version 5M5 for PC Use," Letter from Nancy Larson(INEL) to Y. S. Bang(KINS), October 21, 1994.
5. Letter from Steve Thomasson(CP&L) to Nancy Larson(INEL), "Transmittal of PC-RELAP Source Code," January 5, 1993.

표 1. NPPRI과 CP&L의 수정 부분 비교

NPPRI		CP&L	
Routine Name	Corrections	Routine Name	Corrections
FTBMEM	lcm=300000+loc(fa(1))	FABEND	replacing abort with stop
FTBFTB	szz(i)=lfsz for i=3,7	TIMSET	use of the NDP function sec_100() instead of HP etime
FTBINT	include (fast) minz(i)=szz(8)+1 for i=3,7	DATE	use of the NDP idate function
GNINIT	replacing locfi4 with locf4	CLOCK	use of the NDP time function
PMINVD, PMINV4, PMINVF, PMINVR, PMINVM, & PMINV1	corrections for extracting an exponent part of a real*8 variable	LOCF, LOCFI, LOCF4, & LOCFI4	use of jishft instead of ishft
ICONVR	k=cvnnpa(2,i)		
STH2X6	replacing real*4 with real*8		

표 2. Relap5/Mod3.2 PC Version을 위한 수정 부분 비교

Routine Name	HP Version	IBM/PC Version
LOCF	i=%loc(arg)	i=offset(arg)
LOCF4	i=%loc(arg)	i=offset(arg)
LOCFI	i=%loc(arg)	i=offset(arg)
LOCFI4	i=%loc(arg)	i=offset(arg)
ECLOCK	call timehp(chtime)	external time call time(chtime)
EDATE	call datehp(chdate)	call date(chdate)
FABEND	external abort call abort	external exit call exit(5)
PMINV1	u=int(ishft(iiu(1),-20))-1023	u=int(ishft(iiu(2),-20))-1023
PMINVD	iw(2,j,13)=ishft(imaxx(1),-20)-1023 ig=max(ig,ishft(imaxx(1),-20)-1023- iw(2,ji,13))	iw(2,j,13)=ishft(imaxx(1),-20)-1023 ig=max(ig,ishft(imaxx(2),-20)-1023- iw(2,ji,13))
PMINVF	ia0=max(ia0,ishft(imaxx(1),-20)-1023+ ip(2,irn(2,j1),3)) iag=max(iag,ishft(imaxx(1),-20)-1023+ ip(2,irn(2,l1),3)-ia0	ia0=max(ia0,ishft(imaxx(2),-20)-1023+ ip(2,irn(2,j1),3)) iag=max(iag,ishft(imaxx(2),-20)-1023+ ip(2,irn(2,l1),3)-ia0
TIMSET	entry timer(x) 10 xn=etime()	integer iticks entry timerrbc(x) 10 call timer(iticks) xn=iticks/100.0d0 if (xn.lt.x2) xn=xn+86400.d0
DTSTEP	call timer(safel)	call timerrbc(safel)

표 3. CPU Time Benchmark

Machine	Speed(CPU Seconds)
PC Clone 100 Mhz Pentium/16 MByte	130.7
PC Clone 75 Mhz Pentium/16 MByte	197.8
HP 715	205.6
PC Clone 33 Mhz 486/8 Mbyte	690.1

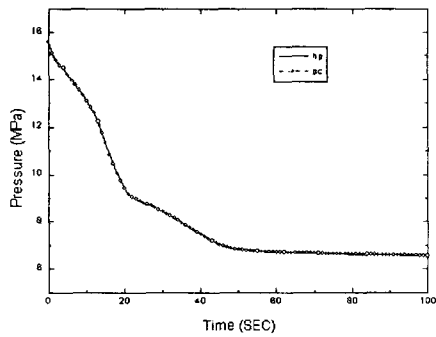


그림 1. Pressure in Upper Plenum

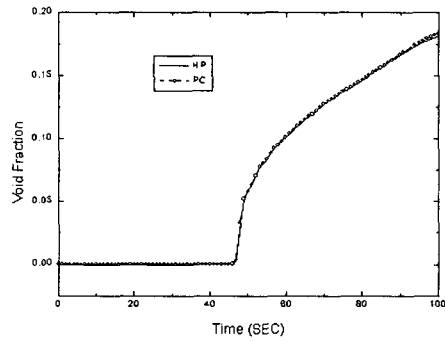


그림 2. Void Fraction in Core

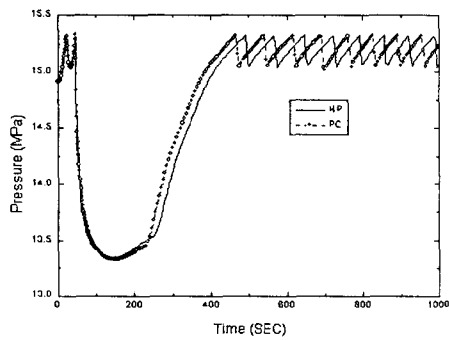


그림 3. Press. in Intact Loop Hot Leg

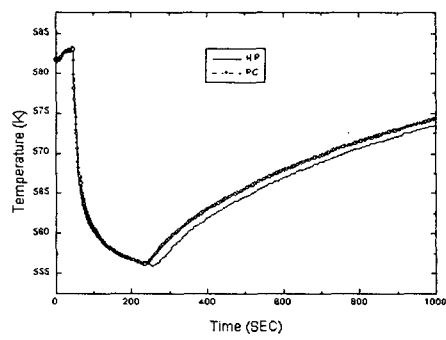


그림 4. Coolant Temp. in Intact Loop Hot Leg

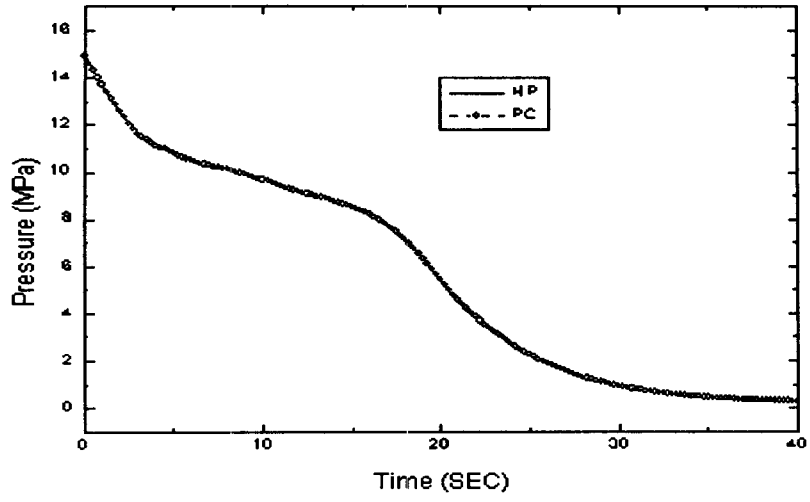


그림 5. Pressure in the Pressurizer

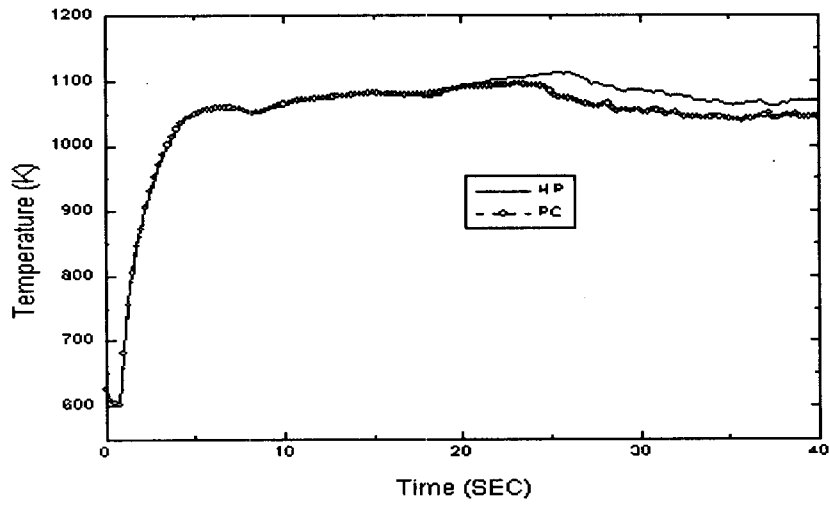


그림 6. Peak Cladding Temperature