

원자로 운전 및 제어의 컴퓨터 응용

1. 서 론

1939年 핵분열이 발견된 후 인류는 원자핵 내부의 에너지를 이용하는 새로운 에너지원 개발에 노력해 왔었다.

이러한 결과로 핵에너지를 이용한 원자력발전소가 선진국에서는 이미 50년대 후반기부터 건설되기 시작하였으며 현재에 이르러서는 전세계적으로 많은 원자력발전소가 가동되고 있는 실정이다.

우리나라에서도 1978年 7월 역사상 최초로 고리원자력발전소 1호기를 가동시켰으며 현재 60萬 KWe급 3기와 90萬KWe급 3기가 가동되고 있으며 90萬KWe급 3기는 건설되고 있어 우리나라도 선진국 여러나라와 같이 본격적인 원자력발전시대로 접어들게 되었다.

원자력발전소는 원리적으로는 종래의 화력발전소 보일러를 원자로로 대체한 것에 불과하지만 막대한 에너지를 발생 할 수 있는 강력한 핵반응물질에 의한 반응열 및 방사성물질이 동시에 생성되고 있으므로 여하한 일이 있어도 이러한 방사성물질이 외부로 방출되어 공중 및 환경에 영향을 미치는 일이 없도록 안전성의 확보를 최우선으로 고려하고 있으며 이를 위하여 각종 원자로보호장치 및 공학적안전설비를 설치하고 이를 엄격히 운영하고 있다.

이 모든 설비를 효율적으로 잘 운영하기 위해서는 모든설비에서 발생하는 정보를 주기적 및 비주기적으로 입수하여 신속정확하게 처리하여 설비의 상태 및 변화추세를 파악하여야 하는데 이문제를 해결키 위해서는 필연적으로 컴퓨터를 이용할 수 밖에 없다.

본 고에서는 우리나라에서도 원자력발전 이용에 대한 관심이 높아짐에 따라 원자로 운전 및 제어에 이용되는 컴퓨터의 이용 현황을 좀 더 깊게 살펴 봄으로써 관심있는 여러분에게 도움이 되었으면 한다.

백 용 명
(한국전력공사 고리원자력본부)

2. 원자력발전소 소내컴퓨터의 일반적인 기능

원자력발전소 1호기, 2호기, 5호기, 6호기, 7호기, 8호기, 9호기, 10호기의 소내컴퓨터는 감시용 컴퓨터로써 현장에서 입력되는 모든 자료를 신속, 정확하게 처리하여 운전원이 요구하는 즉시 모든 자료를 제공한다. 그러나 원자력발전소 3호기의 소내컴퓨터는 제어기능이 있는 컴퓨터 시스템이므로 자동제어가 된다. 일반적인 시스템 구성은 그림 2-1과 같다. 소내컴퓨터의 일반적인 기능은 크게 3가지로 나눈다.

2.1. 아나로그 및 점점 입력감시기능

○ 아나로그 입력수집 및 변환

아나로그 수집 프로그램은 기억장치속에 저장되어 있는 자료에서 각 아나로그-디지털 변환기의 아나로그 입력용 하드웨어 주소를 찾아내어 입력을 받아 들이도록 한다.

아나로그 입력계통에 의해 받아 들여진 입력은 아나로그-디지털 변환기에 의해 입력전압과 동등한 디지털 자료로 바꾸어 진다.

센서로 부터 들어온 입력전압은 그 센서의 출력범위와 비교되어 그 범위를 벗어났는지를 판별한다.

입력 보상되어진 입력은 다음 4가지형의 다항식에 의하여 공학단위로 변환된다.

- (1) 상수계수로 된 다항식
- (2) 상수계수로 된 스케어루트 다항식

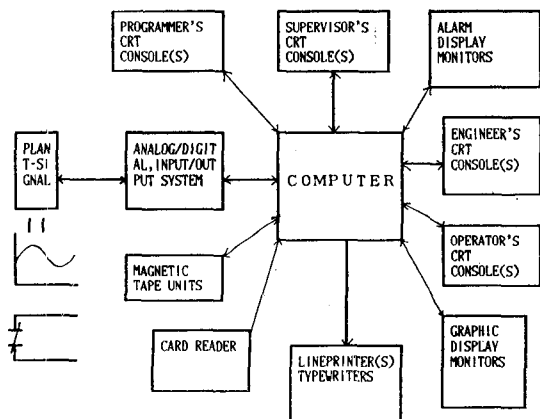


그림 2-1. 컴퓨터시스템구성

- (3) 계산에 의해 결정되는 계수를 가진 다항식
- (4) 계산에 의해 결정되는 계수를 가진 스케어루트 다항식

○ 경 보

아나로그 입력이나 계산결과가 비정상상태에 도달하면 다음 3가지중에 어느 한가지 경보를 발하게 된다.

(1) 동시경보(IMMEDIATE ALARMING)

입력자료나 계산결과가 비정상 상태에 도달하자마자 즉시 경보를 발한다.

(2) REREAD ALARMING

입력자료나 계산결과가 두번 연속해서 비정상 상태이면 경보를 발한다.

(3) RESCAN ALARMING

입력자료나 계산결과가 비정상 상태에 도달하면 즉시 그 입력자료를 다시 읽어서 비정상 상태인지를 다시 확인 한후 경보를 발한다.

○ 펜레코더에 프로세스 입력의 추세를 기록
—아나로그 입력, 디지털입력 및 프로그램에서 계산된 값을 선택하여서 주기적으로 변화추세를 펜레코더에 기록할 수 있도록 한다.

○ 프린터에 프로세스 입력의 추세를 인쇄
—아나로그 입력, 디지털입력 및 프로그램에서 계산된 값을 선택하여서 주기적으로 변화추세를 프린터에 인쇄할 수 있도록 한다.

○ CRT에 프로세스 입력의 추세를 DISPLAY (DATA TREND)

—아나로그 입력, 디지털입력 및 프로그램에서 계산된 값을 선택하여서 주기적으로 변화추세를 CRT에 나타낼 수 있게 한다. 그러나 출력 형태는 스트립차트 레코더와 비슷한 형태로 나타난다.

○ CRT에 BAR CHART를 DISPLAY

—CRT에 최대 일곱개까지 아나로그 입력 및 프로그램에 계산된 값을 선택하여서 현재의 값을 수평막대로서 표현 하게 한다(그림 2-2 참조).

○ GRAPHIC DISPLAY

—P&I (PIPING AND INSTRUMENTATION) 다이어그램표로 만든 자료수집수평 막대그래프등을 혼합하여 미리 지정된 이름으로 저장되어 있으므로 콘솔에서 조작하여 사용 할

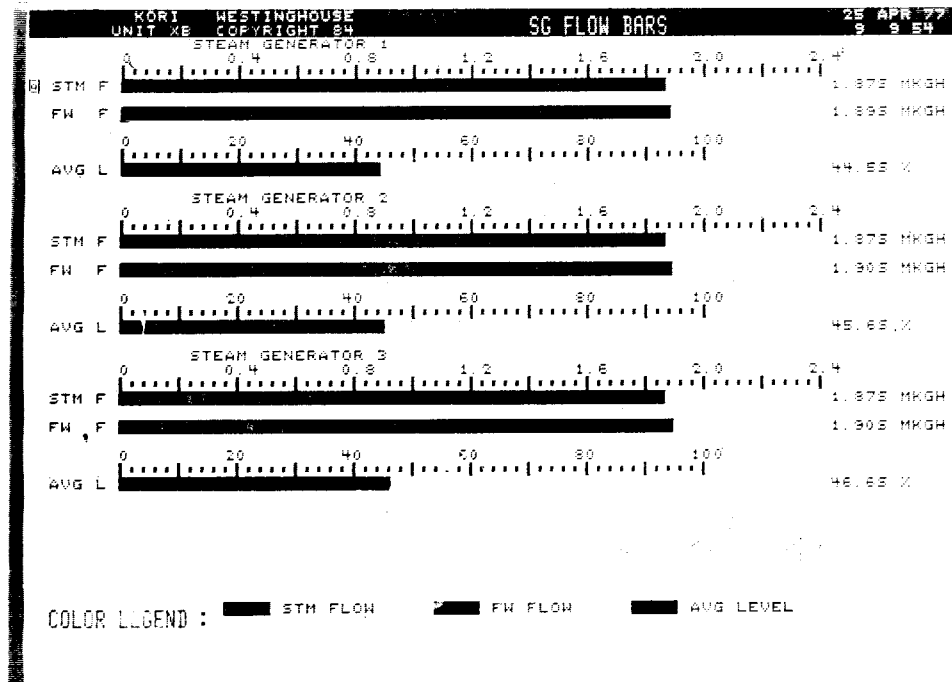


그림 2-2. BAR CHART

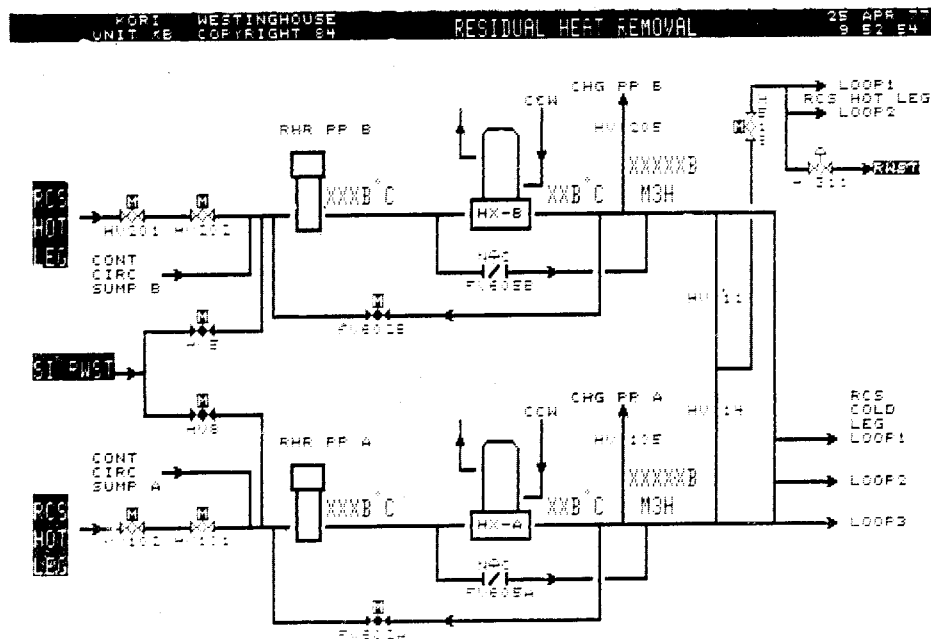


그림 2-3. GRAPHIC DISPLAY

수 있다(그림 2-3 참조).

○ 입력점검 (POINT REVIEWS)

—데이터 베이스에 포함된 포인트를 점검하는데 이것을 CRT 또는 프린터에 출력 할 수 있다.

- (1) 포인트의 값
- (2) 포인트의 정보 한계치
- (3) 공학적 정보상태
- (4) 센서 정보상태
- (5) 운전원에 의해서 자료수집 금지상태여부
- (6) 운전원에 의해서 한계치 점검 금지 상태 여부

(7) 자료수집 주기상태

(8) 고정값의 입력상태

(9) 자릿수의 표현상태

○ 입력신호에 관련된 데이터 베이스 자료를 DISPLAY

—데이터 베이스에 있는 특정된 포인트에 관하여 상세한 정보를 제공하는 것이다. 이것은 4 페이지로 구성되는데 각 페이지는 아래와 같다.

(1) 첫째 페이지는 출력값의 소숫점위치, 포인트가 소속된 시스템코우드, 포인트가 연관된 다이어그램이름, 정상적인 자료수집주기, 현재 자료수집주기, 자료수집 또는 한계치점검 기능이 금지된 상태 및 포인트의 상태를 나타낸다.

(2) 둘째 페이지는 포인트에 대하여 공학적 정보에 관한 정보 즉, 한계치 및 DEADBAND 뿐만 아니라 만약 한계치가 계산되어져야 한다면 계산되는 포인트명칭과 정보를 억제시키는 제어디지털 신호가 있다면 제어신호 명칭을 나타낸다.

(3) 세째 페이지는 정보 우선순위 코우드, 센서한계치, 포인트의 GAIN, 하드웨어주소, 카드 형태, 변환상수, 보상주소등을 나타낸다.

(4) 네째 페이지는 SYMBOL표에서 이 포인트와 연계를 가지고 있는 모든 자료명을 나타낸다.

○ CRT에 입력신호 그룹별 DISPLAY

—어떤 시스템을 주기적으로 감시하고자 할때 그 시스템에 포함되어 있는 포인트를 최대 13 개 까지 선택하여 하나의 그룹을 형성하여 주기적으로 현재의 값을 DISPLAY하게 하는 것

이다.

형성 할 수 있는 그룹은 최대 120개 까지 할 수 있다.

○ 사건발생 순서기록

—발전소 운전에 관련하여 주요한 디지털 포인트를 선정하여 일반적인 디지털 입력과 다르게 받아들여서 처리한다.

지정된 발전소 점검 (디지털) 입력들의 상태 변화의 순서를 기록한다. 입력을 받아들이는 하드웨어는 두가지 형태가 있다.

(1) VIDAR-BASED PROCESS 1/10

SUBSYSTEM

(2) Q-LINE PROCESS 1/10 SUBSYSTEM

○ 트립로그

트립상태 전후의 일정한 시간동안 어떤 정해진 아나로그값 및 프로그램에서 계산된 값의 "SNAPSHOTS" 를 제시해 준다.

PRE-TRIP LOG에 의해 미리 정해진 아나로그 포인트 및 계산값들을 정해진 시간 간격으로 디스크버퍼에 저장한다. 트립상태가 일어나면 POST-TRIP LOG에 의해 계속해서 자료 들을 정해진 시간동안 수집한다.

정해진 시간동안 자료가 수집되면 자료수집은 정지된다. 자료수집이 끝난후 PRE-TRIP 자료와 POST-TRIP 자료를 프린터에 인쇄하고 인쇄가 완료되면 다시 PRE-TRIP LOG에 의해 PRE-TRIP자료수집을 계속한다.

○ 센서교정

컴퓨터 입력중 스캔으로 받아들여지는 아나로그 형태의 입력에 대한 정밀도를 알아볼 수 있도록 한다.

현장에서 컴퓨터로 입력되는 계산값(MV, 등)은 그 값에 알맞는 공학적 단위 값으로 변환되는데 이것은 현장 신호 입력에 알맞는 다항식에 따라 결과가 나온다.

정밀도를 측정하여 오차가 허용치를 벗어나면 다항식의 계수를 수정하여야 한다.

○ 주기적 로그 및 로그요구 기능

로그 패키지는 주기적으로 자료수집을 할 수 있도록 하였으며 또 조작탁에서 요구하였을 때 선택된 입력들을 스캔하여 가장 최근의 자료를 요구된 출력장치로 출력한다.

2.2 원자로 제어 및 보호시스템 감시기능

- 원자로 냉각재 유로 평균온도 설정치 감시
 - (1) 원자로 냉각재 온도 제어기에 대한 예상 설정치를 계산
 - (2) 아나로그 제어기에 실제 설정치와 예상설정치를 비교
 - (3) 예상과 실제의 차가 한계치를 초과하면 정보
 - 가압기 수위제어기 설정치 감시
 - (1) 가압기 수위제어기에 대한 예상 설정치를 계산
 - (2) 아나로그 제어기의 실제 설정치와 예상 설정치를 비교
 - (3) 예상과 실제의 차가 한계치를 초과하면 정보
 - 제어봉 뮈치 편차 감시 (RPS)
 - 다중 계측의 편차감시(RMP)
- 2.3. 핵증기 공급계통 감시
 - 과출력 및 과온도 트립 설정치 감시
 - 출력영역 채널 신호들의 보정점검
 - 원자로 동적 열출력
 - 증기발생기 수위 설정치 감시
 - 증기발생기 총 열출력
 - 원자로 열출력
 - 효율
 - 편이요소(증기발생기 열출력편이, 원자로 냉각재 유로 ΔT 의 편이, 수직수평 중성자속편이)
 - 원자로 부하추종계산
 - 보론 추종계산
 - 노내열전대 자료수집 및 분석
 - 이동형 중성자속 검출기에 의한 자료수집 및 분석
 - 상하부 출력편차 계산
 - 제논 추종계산
 - 수평편차

3. 원자력 응용프로그램 패키지

여기서는 앞의 2.2절 원자로 제어 및 보호 시스템감시 및 2.3절 핵증기 공급계통감시에서 언급한 일반적기능을 수행하기 위한 소프트웨어패

키지에 대해서 살펴 본다.

3.1. 다중계측 프로그램 패키지

3.1.1 패키지의 기능

이 패키지는 신뢰도를 높이기 위해 설치된 다중 계측장비들의 현장입력값들이 서로 비슷한지 점검하며 이들 평균값과 프로그램에서 계산된 값의 편차가 한계치의 범위내에 있는지 확인 하는 것이다.

편차가 한계치를 벗어나면 적당한 경보메세지가 출력장치에 인쇄된다.

RMP DATA 그룹은 47개의 그룹으로 되어 있다.

1) 용어정의

가) UNRELIABLE—주어진 범위를 벗어난 입력이나 스캔에서 제외된 입력을 말한다.

만일 입력이 스캔에서 제외 되었으나 그 값이 범위내에 들어 갔을 때 그 입력은 UNRELIABLE 이 아니다.

나) GOOD—UNRELIABLE하지 않은 모든 입력을 GOOD 입력이라고 한다.

다) QUESTIONABLE—UNRELIABLE 한 값은 모두 QUESTIONABLE 그룹편차 CLUSTER 한계치의 0.5배보다 큰 값과 한주기전의 스캔에서 QUESTIONABLE이었던 값은 그룹편차 CLUSTER 한계치의 0.4배 보다 클때 QUESTIONABLE이라고 한다.

3.2. 원자로 보호계통 감시 프로그램 패키지 (RPSM)

3.2.1. 패키지의 기능

이 패키지는 원자로 보호계통의 운전상태를 감시하고 트립논리 회로중 적어도 어느한 회로가 경보상태에 도달하거나 부분 트립 상태로 들어갈때 그룹에 속하는 모든 입력상태를 운전원에게 알리는 것이 목적이다.

RPSM DATA 그룹은 25개의 그룹으로 되어 있다.

3.3. 제어봉 감시 프로그램 패키지(RPS)

3.3.1. 패키지의 기능

1) ROD대 ROD 비교

같은 BANK 안에 있는 모든 ROD 들의 위치는 정상상태에서는 같아야 한다는 원칙아래 비교

2) ROD대 BANK STEP COUNTER 비교

3) ROD BANK 순서점검

4) REACTOR 트립

원자로 트립후에 BANK STEP COUNTER를 모두 0으로 한다.

5) BANK STEP COUNTS UPDATING & PULSE ACCUMULATING

6) ROD ANNUNCIATOR LIGHT STATUS KEEPER

3.4. SET-POINT SUPERVISION 프로그램 패키지

3.4.1. 패키지의 기능

이 패키지는 과출력 ΔT SETPOINT, 예상 ΔT , 가압기수위 SETPOINT 증기발생기 수위 설정치 및 표준온도를 1분 평균을 이용하여 매 60초 마다 계산한다. 이 계산된 값과 이에 대응되는 실제계기로 부터의 입력의 차이는 주기적인 한계치 점검프로그램에 포함되어 있어 그 차이가 규정된 한계치 값을 초과하면 경보용 출력 장치에 경보메시지가 인쇄된다.

1) 과온도 ΔT 설정치 계산

이 계산은 입구온도, 계통압력, 입구유량상수, 열출력프로그램에서 계산된 노심출력들에 기초

를 두고 ΔT 를 계산한다. 냉각수 비중이나 질량유량은 COLD LEG 온도에 따라 변한다.

2) 과출력 ΔT 설정치를 계산

3) 온도 REFERENCE를 계산

TREF는 터빈 제일단 압력의 함수있다. TREF와 터빈 제일단 압력사이의 관계를 규정짓는 함수식은 설계치나 시험 자료로 부터 구하여진다.

4) 가압기 수위 설정치를 계산

가압기 수위는 TAVG의 함수있다. 가압기 수위와 TAVG의 관계는 설정치 또는 실험식에 의해 구해진다.

3.5. 노심 열전대 계산 프로그램 패키지

3.5.1. 패키지의 기능

1) 각 노심 열전대의 신뢰성을 검토

2) 노심 열전대의 평균계산, 가장높은 노심열전대 선택

3) 각 열전대의 위치에서 상대연료 출력을 계산

4) 상대연료출력의 평균계산

5) 노심수평기울기 인자계산을 이용하여 그림 3-1과 같이 CRT 또는 프린터로 출력된다.

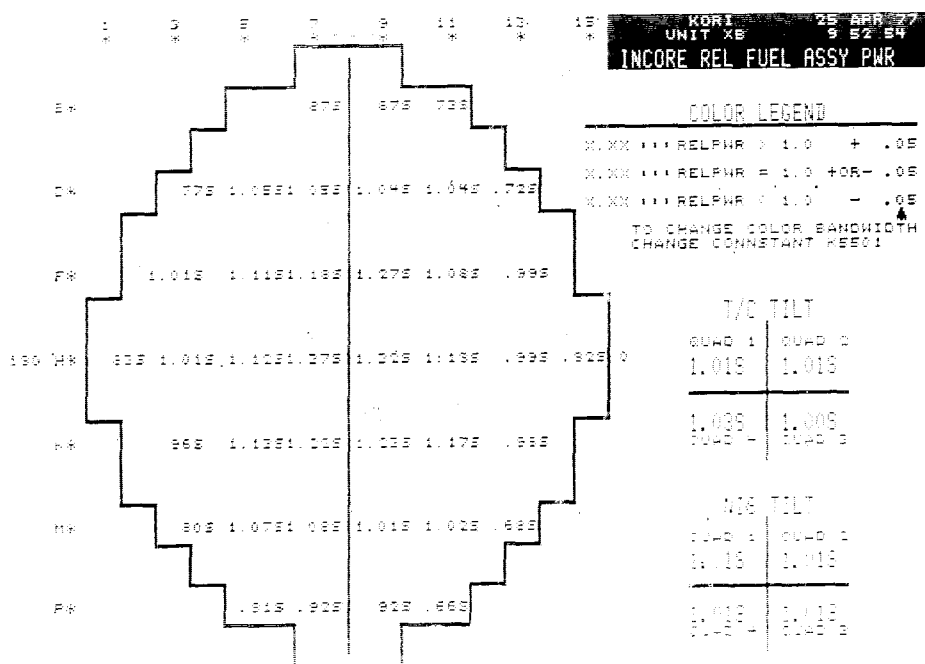


그림 3-1 (a).

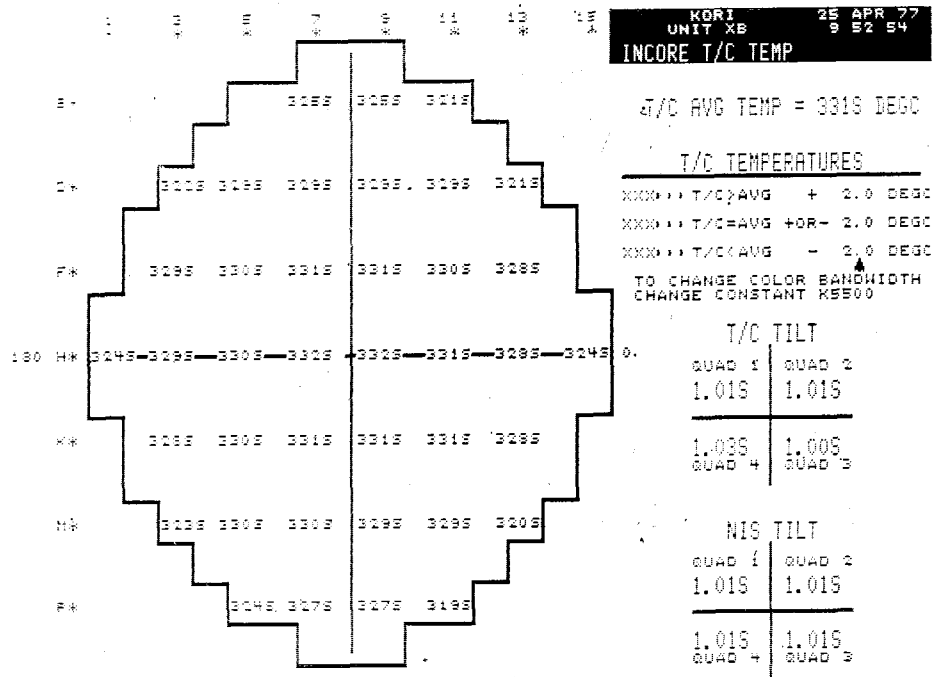


그림 3-1 (b).

3. 6. 일차계통 성능계산 프로그램 패키지

3. 6. 1. 패키지의 기능

그림 3-2의 계통도에서 여러가지 입력을 받아

들어서 COLD LEG의 온도를 기준으로 하여 아래의 기능을 수행한다.

1) 원자로 열출력계산

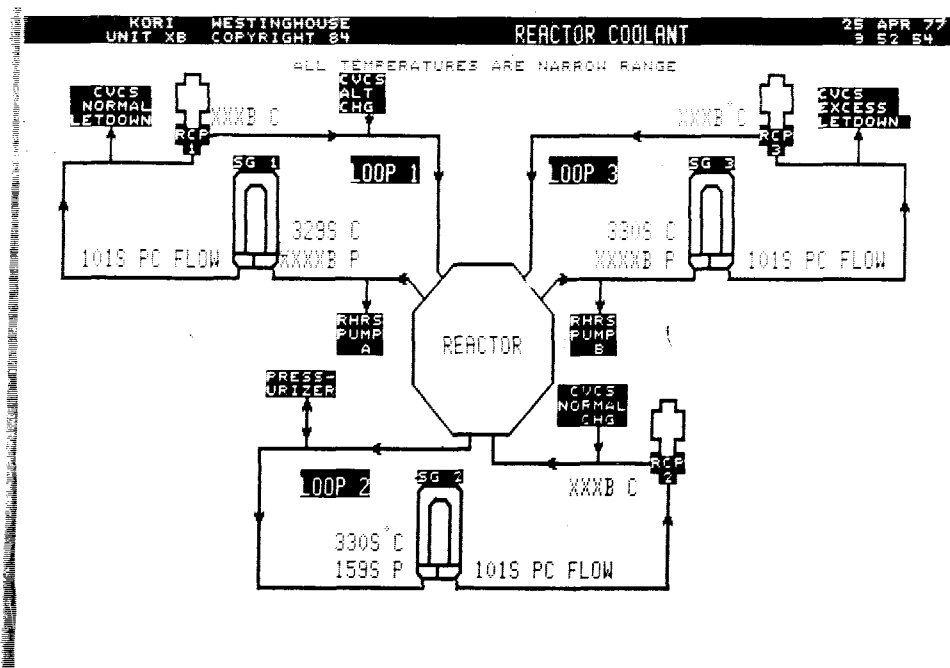


그림 3-2.

- 2) 증기발생기 총열출력계산
- 3) 유량 보정치계산
- 4) 원자로 동적열출력계산
- 5) 증기발생기 총열출력 기울기
- 6) 총효율
- 7) 순효율
- 8) 출력영역 원자력계기 보정
- 9) 기울기 인자계산

3.7. BORON FOLLOW 계산 프로그램 패키지

3.7.1. 패키지의 기능

- 1) 노냉각재 유로, 가압기, 체적제어탱크 간의 BORON과 LITHIUM 농도의 변화과정을 계산하여 보존하며 BCMS자료를 취득비교
- 2) 노냉각재의 PH를 계산
- 3) 붕소 회수 탱크로 들어가는 유량과 계통의 유출량을 포함해서 1차계통에서 흘러나가는 전체유량을 계산
- 4) BORIC ACID와 일차보충수 계통감시
- 5) WATCH 패키지에서 사용하는 입력자료 계산(그림 3-3 참조).

3.8. XENON FOLLOW 계산 프로그램 패키지

3.8.1. 패키지의 기능

- 1) 코어 전역에 대한 I-135와 XE-135의 평균 농도를 계산
- 2) 코어의 상반부와 하반부 각각에 대한 I-135와 XE-135의 OFFSET를 계산
- 3) FISSION PRODUCTS의 코어 축방향분포를 나타내는 I-135와 XE-135의 축방향분포를 계산
- 4) 선택된 REACTOR STATE-POINT에 따라 IODINE과 XENON의 지난 HISTORY를 추적하여 이것들에 의해 억제되는 REACTIVITY를 계산
- 5) WATCH와 XENON PREDICT AND BORATION 패키지에서 사용하는 입력자료계산

3.9. XENON PREDICT AND BORATION 패키지

3.9.1. 패키지의 기능

- 1) 현재의 XENON-IODINE의 농도를 이용하여 미리 선정된 부하 변동에 따른 제논, IODINE의 농도계산
- 2) XENON FOLLOW에서 계산된 XENON농도에 의해 변화된 REACTIVITY에 부응하기 위해 1차 계통에 주입해야 할 BORIC ACID와 보

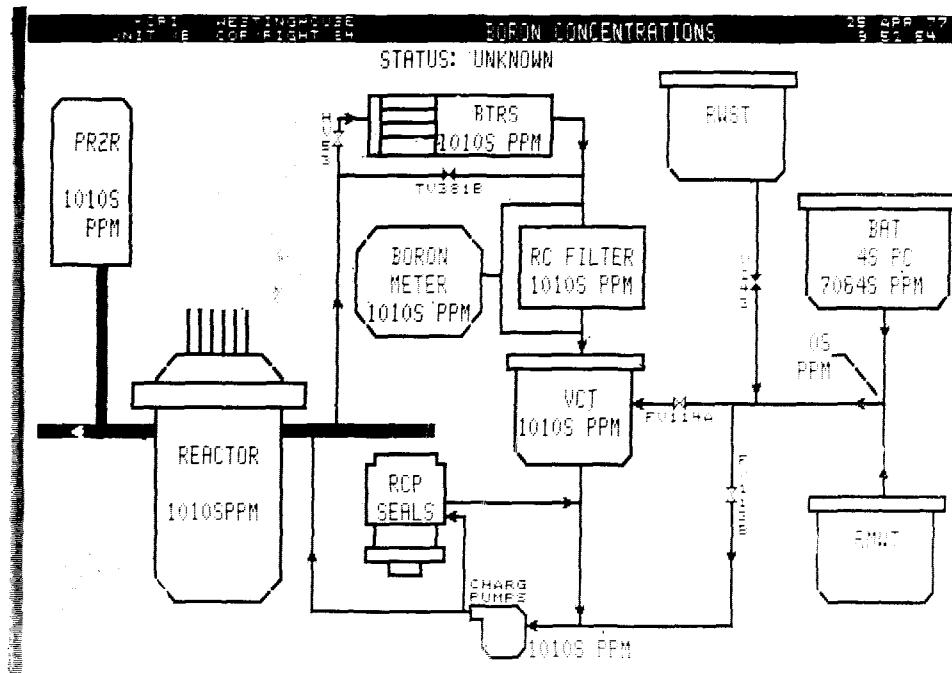


그림 3-3.

충수의 양을 매시간 예상한다. 즉 SHUTDOWN과 RETURN-TO-POWER CAPABILITY를 유지하기 위해 요구되는 BORATION DILUTION의 현재와 미래의 양과 비율을 결정한다.

3.10. WATCH 패키지

3.10.1. 패키지의 기능

1) SHUTDOWN MARGIN, POWER DISTRIBUTION, RESERVE CAPABILITY, 예상입계 위치 및 원자로노심에 대한 REACTIVITY INVENTORY를 계산

2) RETURN-CAPABILITY와 100%출력이 아닐때 제어봉을 뽑으므로써 급히 도달할 수 있는 최대 출력을 계산

3) 경과된 시간과 평균출력을 근거로 연료연소도 계산

3.11. DELTA FLUX 패키지

3.11.1. 패키지의 기능

1) 각 QUADRANT의 수직편차계산

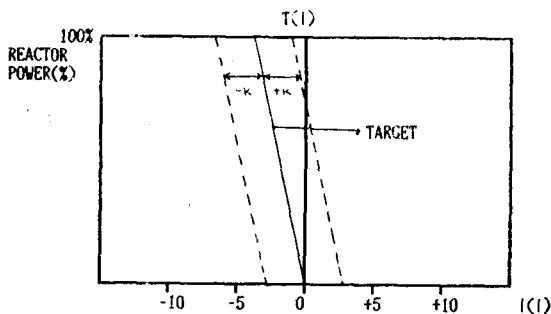
$$AXOFF(I) = A(I) \cdot (U(I) - L(I)) / (U(I) + L(I)) \cdot 100\%$$

2) 각 QUADRANT의 DELTA FLUX 계산

$$DELFLX(I) = AXOFF(I) \cdot REPWR / 100 = \Delta I(I)$$

3) 각 QUADRANT의 목표치 계산

$$T(I) = REPWR \cdot SLOPE(I)$$



$$SLOPE(I) = \Delta I(I) / 100$$

A(I) : INCORE/EXCORE OFFSET RATIO
 FOR QUADRANT 1, 2, 3, 4

U(I) : UPPER DETECTOR SIGNAL

L(I) : LOWER DETECTOR SIGNAL

3.12. FLUX MAPPING시스템 패키지

3.12.1. 패키지의 기능

1) 현재의 원자로노심 성능 및 노심내 안전성 관련변수를 정확하게 파악할 수 있도록 자료수집

2) 단독으로 수행할 수 있는 DIGITAL FLUX MAPPING 시스템은 이동형 검출기를 안내관을 따라 움직이면서 자료를 수집하여 소내컴퓨터로 보내면 소내컴퓨터에서 자료를 받아 디스크버퍼에서 저장한다.

3) 저장된 자료에서 검토하여 NOISE EFFECT를 제거 GRID ALIGNMENT를 수행한다.

3.13. ONSITE INCORE 패키지

3.13.1. 패키지의 기능

1) DIGITAL FLUX MAPPING 시스템에서 검출된 자료를 이용하여 출력분포를 계산.

2) 첨두계수를 계산(F_0^T , F_{2H}^N , F_z 등).

3) 수평방향 출력편차(TILT)계산

4) F_{2H}^N 를 이용하여 노심열전대 FLOW MIXING FACTOR를 계산하여 INCORE THERMOCOUPLE 패키지의 상수로 입력시킨다.

5) AO를 이용하여 NIS 계통 교정에 사용한다.

3.14. 이차측 성능 계산 프로그램 패키지

3.14.1. 패키지의 기능

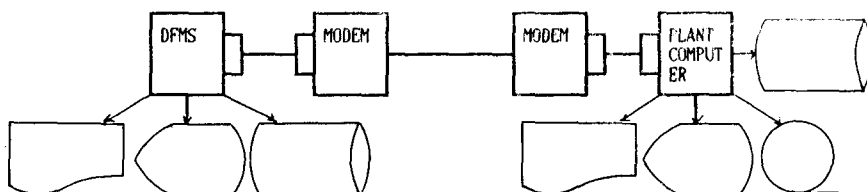
1) 1차측에서 증기발생기로 들어가는 물의 온도, 압력 및 터빈으로 들어가는 스팀의 온도, 압력 등을 이용하여 2차측 성능 및 열출력 계산

2) 내장된 BOGIE CURVE를 이용하여

—터빈의 HEATRATE 및 효율계산

—HEATER의 성능계산

—각종 펌프의 효율계산



결 론

노심의 중성자 분포나 압력, 열등 원자로의 상태에 관한 정보 뿐만아니라 기기의 정상동작 확인, 고장원인규명 및 사고분석을 컴퓨터를 이용하여한다. 컴퓨터를 통한 자료를 가지고 사람이 최종판단을 할 수 있게끔 하는 것이 컴퓨터의 최대의 기능인데 이것을 최대한으로 이용하려면

컴퓨터로 입력 되는 정보가 정확하여야 한다. 원자로 감시는 원자력발전소 운전에 가장 중요한 것이며 따라서 원자로의 더높은 안전성, 신뢰성, 경제성을 높이기 위한 방법으로 컴퓨터로 입력되는 고성능의 계기를 개발하여 원자로 계측기술을 향상시키는 것과 동시에 컴퓨터 프로그램도 국산화하여 한글로 모든 정보가 출력되도록 하는 것이 앞으로의 과제라 하겠다.