

單純化한 日本型 PWR (MS-600/300)

미쓰비시의 새로운 소형 PWR 노형(Mitsubishi Simplified PWR)은 복합안전시스템(능동형/수동형 안전시스템 조합)과 수평형 증기발생기란 혁신적인 특성을 지니고 있다. 이 PWR는 3루프 또는 4루프형으로 확대해 용량을 늘릴 수 있기 때문에 세계 어디에서도 적용이 가능하다.

미쓰비시는 같은 설계개념으로 300MWe (MS-300), 600MWe (MS-600)의 2가지 용량의 2-루프형의 단순화된 새로운 PWR의 개념설계를 끝냈다. 그러나 지금은 MS-600의 설계작업을 중점적으로 하고 있다. 이 개념설계는 안전성과 경제성 및 신뢰성을 고루 개선한 원자로를 완성하는데 그 목적이 있었으며 이를 달성하기 위해 미쓰비시는 “단순한 것이 최고”라는 기본개념을 적용했다.

원자로냉각재 시스템

노심설계 : MS-600은 노심의 출력밀도가 낮기 때문에 고농축연료를 사용하지 않고 24개월 사이클로 운전할 수 있다. 노심주위에 중성자 반사체를 둬으로써 중성자의 경제성이 개선되고 연료비도 낮아졌다.

노심계장 : 노심계장설비를 원자로 상부에 설치함으로써 격납용기 하부의 콘크리트 구조물의 크기가 줄어들었고 계장설비 보수도 간편하게 되었다.

제어봉구동장치(CRDM) Coil : CRDM 코일

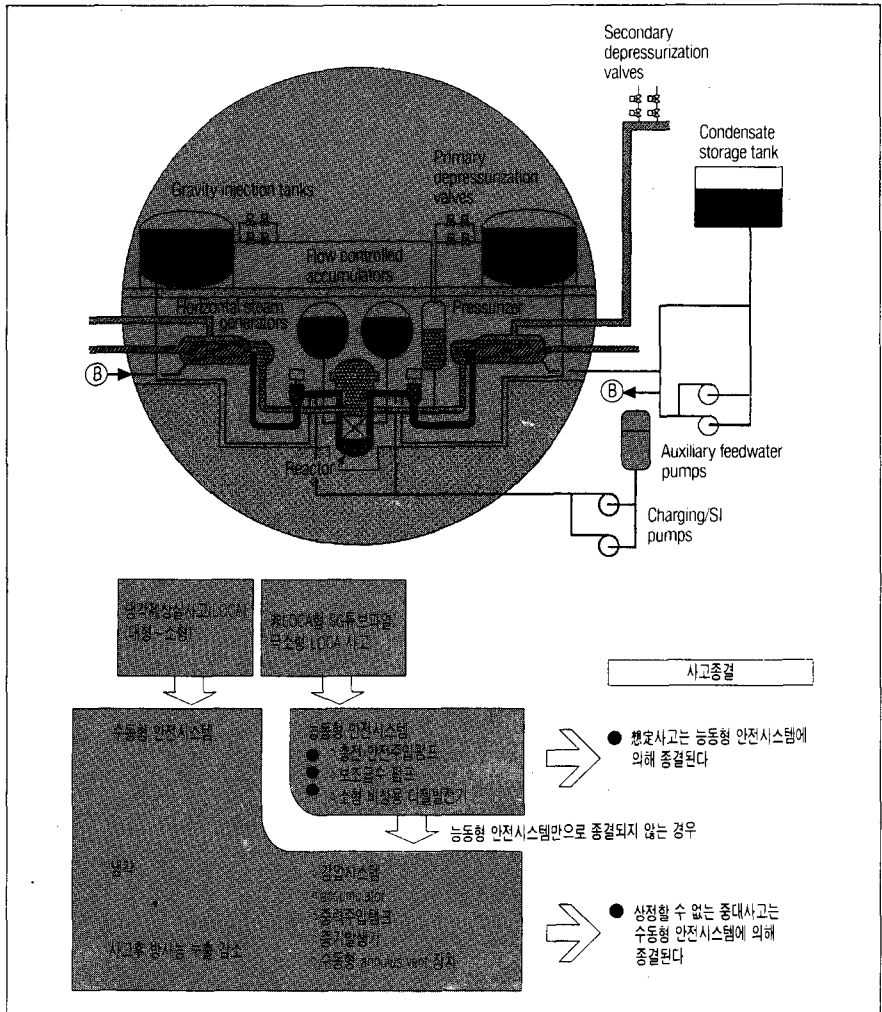
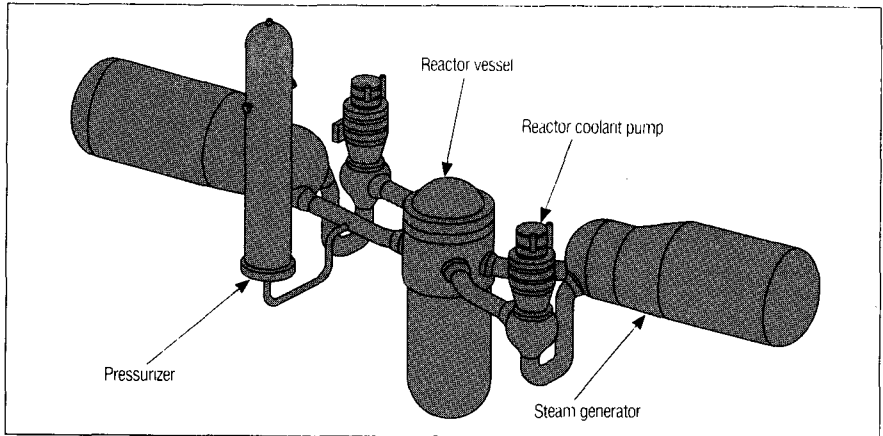
에 고온용 전선을 사용하는 새로운 방법을 적용함으로써 CRDM의 강제냉각이 필요없게 되어 압력용기의 헷더구조가 간단해졌다.

증기발생기 : 수평형 증기발생기를 사용했는데 이는 수동형 안전시스템의 일부가 된다. 수평형 증기발생기는 여러가지 장점을 갖고 있는데 예를 들어 튜브 플레이트에 슬릿지가 누적되지 않고 지진에 대한 내구성도 좋은 점들을 들 수 있다.

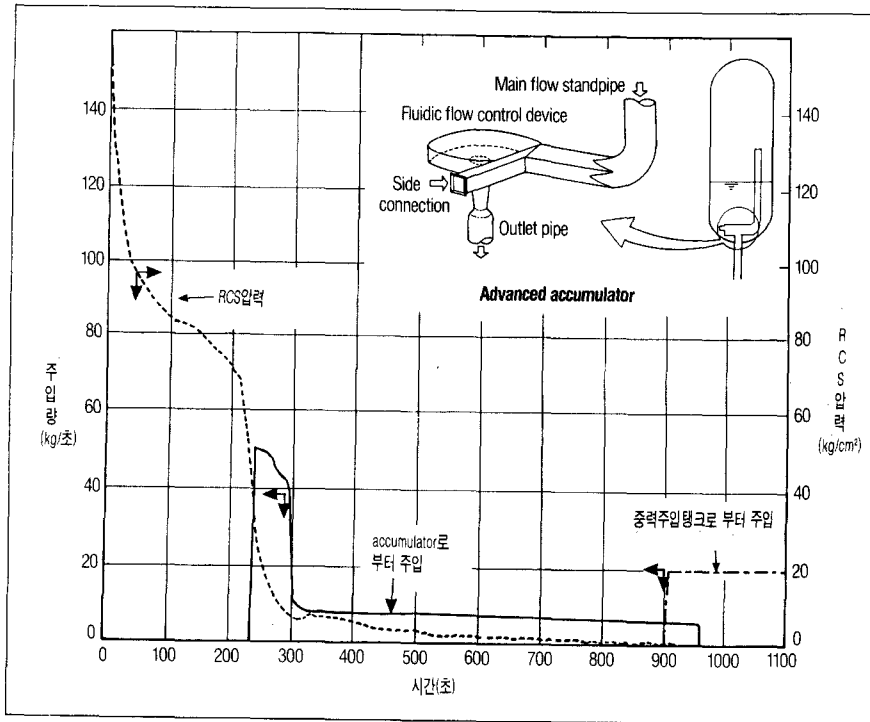
원자로냉각재 펌프 : 효율이 높은 냉각재펌프가 사용된다. Monoblock Ceramic No.1 seal이 사용되고 고온용 2차 seal이 개발되고 있다. 이것은 seal의 기능과 수명을 높이고 AC 전원 상실로 seal냉각이 안되는 동안 지탱할 수 있게 하기 위한 것이다.

안전시스템 : MS-600의 안전시스템은 기존 원자로의 경험을 살려 설계된 것이지만 신뢰성과 안전성을 높이기 위해 단순화했다. 능동형과 수동형이 가장 적절하게 조합된 안전시스템(복합안전시스템)이 사용되었다. 재래식의 능동형 안전시스템은 과거의 운전경험을 살려 많은 과도현상과 사고시에 효과적으로 동작하도록

MS-600의 원자로냉각재 시스템. 수평형 증기발생기가 사용된다.



능동형과 수동형 안전시스템이 조합된 안전시스템 (복합안전시스템)이 MS-600에 사용된다.



가압기에서 파열이 일어났을 때의 안전주입. 개량형 accumulator는 유량제어기를 갖추고 있다. Accumulator가 채워지면 물은 standpipe를 통해 유량제어기로 유입된 다음 출구밸브로 보내진다. 수위가 stand pipe 높이 이하로 떨어지면 물이 측면연결부(side connection)로 부터 유량제어기에 유입된다. 이 때 유입되는 물은 渦流를 일으켜 유량을 제한하게 된다. 이같이 처음에는 유량이 많아졌다가 그 다음에는 유량이 줄어들면서 서서히 주입하게 된다. 이러한 유량변화는 큰 LOCA사고시에 필요한 유량변화와 잘 맞는다. (RCS: 원자로냉각제 시스템)

록 설계되었다.

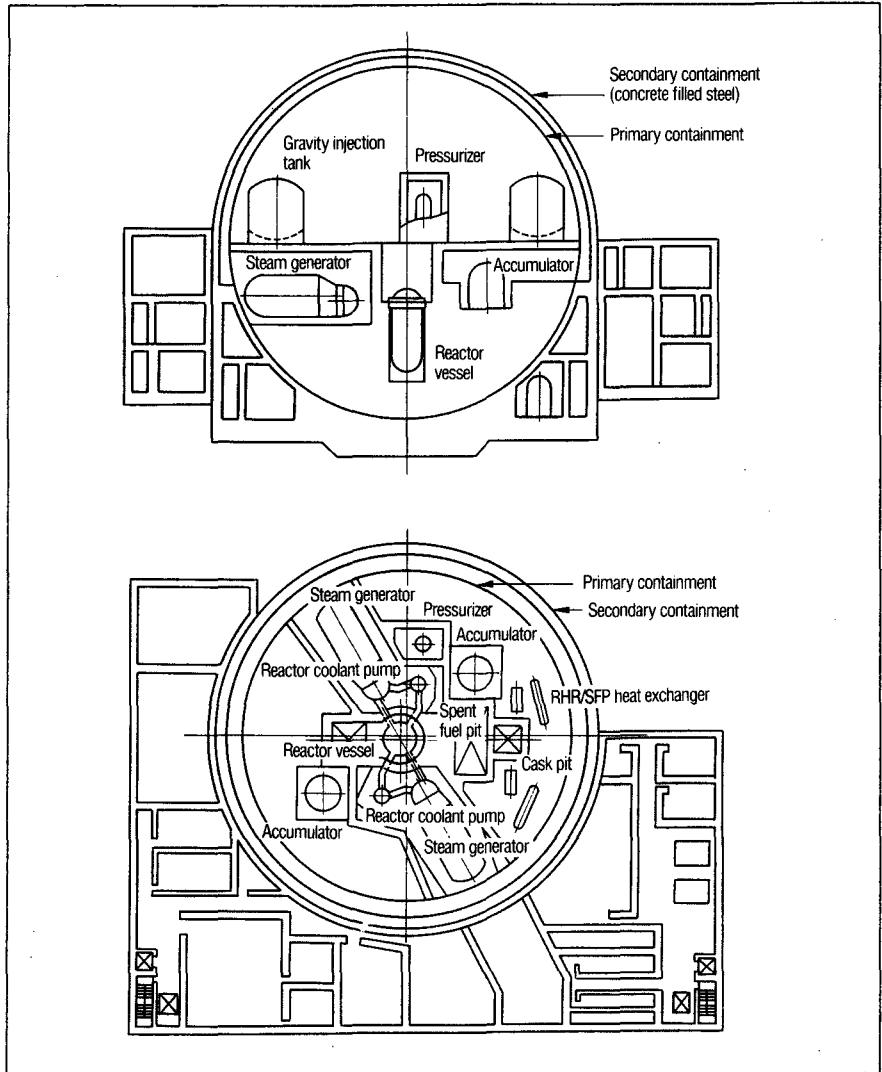
TMI 사고로 인적과실에 대한 우려가 높아졌다. 최선의 보호책은 간단하고 확고한 안전 시스템을 마련하는 것이기 때문에 위 수동형 안전시스템을 채택했다. 수동형 안전시스템은 많은 장점을 가지고 있는데 예를 들어 구조가 간단하고 운전원의 과실을 줄일 수 있고 동력이 불필요하다는 점 등을 들 수 있다. 반면에 단점은 사고발생시의 사후처리에 탄력성이 없고 노심붕괴열을 제거하기 위해 격납용기내에 물을 채워 놓아야 한다는 것이다. 따라서 MS-600의 기본개념은 능동형 시스템을 기본으로 사용하지만 운전원의 조작이 필요없어 운전원의 과실을 예방할 수 있는 확고한 수동형 안전시스템으로 이를 보완한다는 것이다.

능동형 안전시스템: 능동형 안전시스템은 급수/안전주입 겸용 펌프, 증기터빈 구동 및 모터 구동 보조급수펌프, 소형의 비상용 디젤발전기로 구성돼있다. 이 시스템은 경미한 파열로 인한 냉각재상실사고(LOCA), 증기발생기

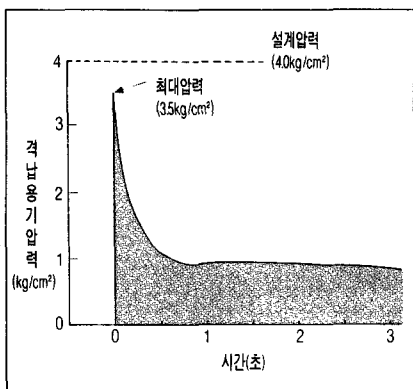
튜브파열, 非LOCA형 과도현상 등은 제어할 수 있다.

수동형 안전시스템: MS-600의 수동형 안전시스템은 자연현상(자연순환, 중력, 가스압력 등)을 최대한으로 이용하도록 설계돼있다. 이 시스템은 자동減壓시스템, 개량형 accumulator, 중력 주입탱크, 수평형 증기발생기 등으로 구성돼있다. LOCA 사고시(경미한 사고는 제외)에 원자로냉각제 시스템(RCS)의 압력을 급속히 내리기 위해 자동감압시스템이 마련돼있다. MS-600에서는 증기발생기의 냉각이 감압과정의 일부로 이용되고 있다. 따라서 이 시스템은 1차 및 2차 감압밸브와 수평형 증기발생기로 구성돼 있는 것이다. 1차밸브는 가압기증기를 중력주입탱크로 배출하고 2차밸브는 주증기관의 압력완화밸브를 통해 가압기증기를 외부에 배출한다.

개량형 accumulator는 유량제어기(fluidic flow control device)를 가지고 있다. Accumulator가 채워지면 물은 main flow stand-



MS-600은 2중의 격납용기를 가지고 있는데 1차 격납용기는 강철제, 2차 격납용기는 콘크리트를 충전한 강철제로 되었다.



큰 파열로 인한 LOCA 사고시의 격납용기 압력변화. 최대압력은 blowdown과 노심을 급냉시킬 때 일어난다. 파열장소가 물로 덮여지면 증기배출은 멎고 열이 건물구조물에 흡수되면서 압력이 떨어진다.

pipe를 거쳐 유량제어기로 유입되고 여기서 출구파이프로 보내진다. Accumulator의 수위가 standpipe 높이 이하로 떨어지면 물은 측면연결부(side connection)을 통해 유량제어기로 들어가는데 이때 渦流를 일으켜 유량을 제한하게 된다. 이와 같이 처음에는 유량이 많아졌다가 그 다음에는 유량이 훨씬 줄어들면서 서서

히 주입된다. 이같은 유량변화는 대형 LOCA 사고 발생시 필요한 유량변화와 잘 맞는다.

중력주입 탱크는 RCS의 압력이 격납용기 압력 가까이 내려갔을 때 물을 주입하기 위해 마련된 것이다.

수평형 증기발생기는 사고시의 자연순환 냉각을 위해 채택되었다. 또한 수평으로 설치함으로써 자연순환에 장애가 되고 있는 U-튜브에서 거품이 생기는 것도 방지할 수 있다.

증기발생기의 2차측은 복수저장탱크로부터 중력으로 공급된다. 3일 동안 운전원의 조작이 필요하다. 3일후에 운전원은 계속적인 붕괴열 제거를 위해 복수 저장탱크를 다시 채우고 능동형 시스템을 살리면 된다.

안전성 검토

자연순환 : LOCA 사고후의 자연순환상태를 분석해본 결과 원자로냉각시스템에서 자연순환이 이루어져 안정되는 것으로 나타났다.

증기발생기에 가까운 hot leg 부분에서 파열이 일어났을 경우 손상된 루프에서의 자연순환은 처음에는 적게 일어난다. 그러나 pool의 수온이 높아짐에 따라 유량이 증가하고 나중에는 열제거량이 손상되지 않은 루프의 것 만큼 높아진다.

경미한 파손으로 인한 LOCA 사고시의 blowdown 및 중력주입 : 가압기에서의 파손은 원자로냉각제 시스템의 압력저하를 가져오는 가장 심한 경우다. RCS의 압력이 급속히 떨어지고 90kg/cm²에서 자동강압시스템이 동작해 압력이 계속 떨어진다. 그후 2차측 자동감압시스템이 동작해 1, 2차측의 압력이 급속히 떨어진다. 50kg/cm²에서 accumulator는 배출을 시작하고 약 900초후에 중력주입탱크로부터 RCS에 물이 주입된다.

이같은 분석결과 1, 2차 자동감압시스템이 모든 상황에서 적합한 것으로 결론이 내렸다.

격납용기 압력 과도현상 : 큰 파열로 인한 LOCA 사고에서는 재래식 PWR와 마찬가지로 최대압력은 blowdown과 노심이 급냉될 때 일

MS-300/ 600 사양

항목	MS-300 /	MS-600
· 전기출력(MWe)	300	630
· 열출력(MWt)	854	1,825
· 노형	PWR	
· 노심	低출력밀도	
· 연료집합체		
형식	14×14	15×15
개수	121	157
· 터빈	TC2F40	TC4F40
· 격납용기	1차용기(강철재)와 2차용기(콘크리트) 충전 강철재의 2중구조	
· 원자로내각제시스템		
루프수	2	
운전압력(kg/cm ²)	157	
· 온도		
원자로출구(℃)	325.0	325.0
원자로입구(℃)	302.5	290.6
· 증기발생기		
대수	2	
형식	수평형, U-튜브형	
증기압력(kg/cm ² a)	62	58
· 원자로냉각재펌프		
대수	2	
형식	고성능형 (개량된 seal 사용)	

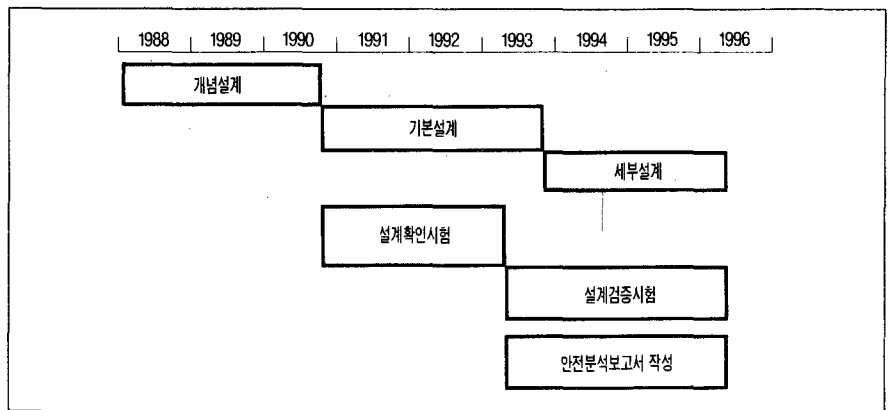
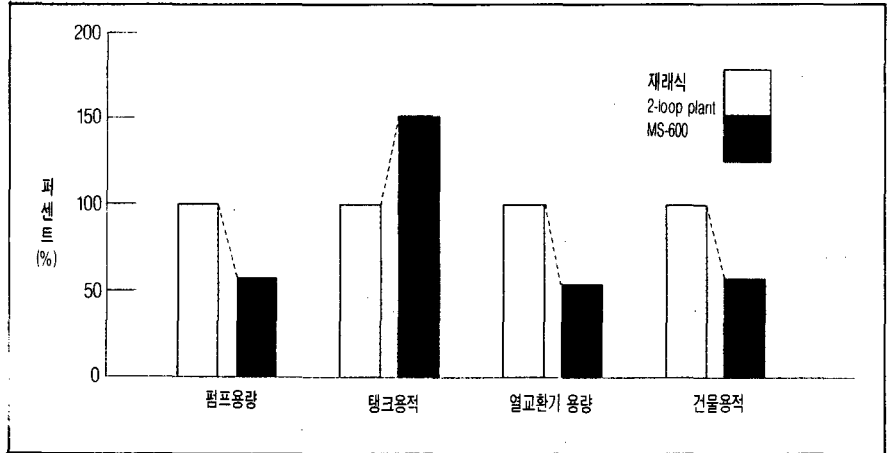
어난다. 파열장소가 물로 덮여지면 증기배출이 멎고 열이 건물구조물에 흡수되면서 압력이 떨어진다.

격납용기

MS-600의 격납용기는 1차용기(강철재) 및 2차용기(콘크리트 충전 강철재)로 2중으로 돼 있다. 1차격납용기는 지름 51m의 강철재 球刑으로 운전면적이 크다. 사용후연료 pit와 그 냉각시스템은 중력주입탱크와 함께 격납용기내에 있는데 이것은 연료장전용 용수저장탱크로도 사용된다. 넓은 운전면적은 보수작업시에 매우 편리해 정지시간도 단축돼 작업원의 피폭선량도 줄일 수 있는 큰 이점이 있다.

2차격납용기(또는 차폐건물)는 콘크리트를

MS-600과 재래식 2-루프형 원자로의 비교. MS-600의 단순화된 정도를 알 수 있다.



S-600의 설계/ R&D 일정표

충전한 강판 구조물로 건설기간이 짧고 氣密度가 높다. 이 기밀한 구조물의 내부 둘레에는 charcoal 필터(방사능누출 방지용)가 설치되어 이를 통해 외부로 배출된다. 이 격납용기 둘레의 배출설비는 모두 수동형 기기로 구성되어 있다.

이같은 형식의 2차격납용기는 외부의 비행체에 대해서도 좋은 방어책이 된다.

계장·제어계통

MS-600은 디지털형 계장·제어시스템 및 보호시스템을 가지고 있다. 중앙제어실에는 display 및 접촉감지형 screen을 위한 최신형의 콤팩트한 console이 갖추어져 있다.

이러한 장치를 통해 최신형 정보 display를 사용할 수 있고 발전소운전을 컴퓨터에 의해 자동제어할 수 있기 때문에 발전소 운전이 용이해진다.

노형 단순화

MS-600에서는 LOCA사고시에 대비해 수동형 안전시스템이 사용되고 있기 때문에 전형적인 2-루프 발전소에 비해 펌프용량을 줄일 수 있다. 또한 수동형 열제거시스템이 사용되고 있기 때문에 보다 적은 용량의 기기냉각수 펌프와 작업용 급수펌프를 사용할 수 있게 되고 이에 따라 보조설비와 디젤발전기의 용량도 줄일 수 있다. 열교환기의 전체용량도 같은 이

유로 줄일 수 있는데 특히 증기발생기를 비상
 노심냉각장치로 이용할 수 있다는 것은 큰 이
 점이다.

수동형 안전시스템을 사용하고 또한 3일간의
 증발과정을 통해 노심과 사용후연료의 붕괴열
 을 제거해야 하기 때문에 탱크 용량은 당연히
 커진다.

그러나 건물 크기는 더 작아진다. 왜냐하면
 사용후연료 pit가 격납용기안에 있기 때문에
 연료취급용 건물이 필요없기 때문이다.

또한 잔류열제거/사용후연료 pit 펌프, 열교
 환기 등이 격납용기내에 설치되고 그외의 기기
 들의 크기도 작아지기 때문에 다른 건물들도

작아진다.

설계작업현황

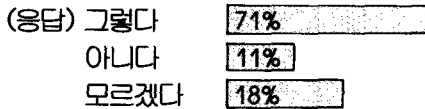
개념설계는 이미 끝났고 MS-600의 기본설
 계가 현재 진행중이다. 이 작업을 통해 세부적
 인 설계가 나올 것이다. 기본설계 단계에서는
 설계를 더 단순화하기 위한 노력이 기울여질
 것이고 안전성 검토는 PRA(확률론적 위험도
 평가)가 나올 때까지 계속될 것이다. 중요한
 설계특성을 확인하기 위해 현재 시험을 실시하
 고 있다.

시사 뉴스

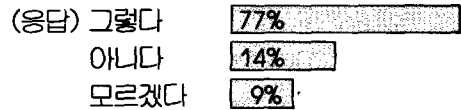
미국 原子力에 대한 設問調査

금년 3월 미 Cambridge Reports/Re-
 search International 여론조사소에서는 미
 국의 지도급 인사를 대상으로 원자력에너지
 에 대한 그들의 의견을 물었다. 조사대상자
 는 국회의원, 연방정부관리, 주의회의원, 주
 정부관리, 기업체 간부, 금융기관 간부, 언론
 계/학계/정계의 전문가들중에서 50명을 무
 작위로 선정한 것이다.

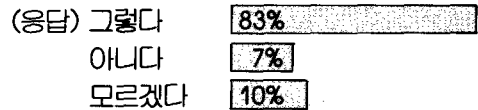
(설문) 미국은 원자력을 기저부하전력용
 으로 확보해야 한다고 보는가?



(설문) 미국은 원자력발전소 설계에 관한
 R&D를 촉진해야 한다고 보는가?



(설문) 미국은 영구적인 방사성폐기물처
 분시설의 입지선정과 건설을 촉진해야 한다
 고 보는가?



(설문) 미국이 안전하고 신뢰할 수 있는
 방사성폐기물처분시설을 건설할 수 있는 과
 학·기술적인 능력을 갖추고 있다고 보는
 가?

