

노심에서 장비가 오작동하면 공학적 안전설비가 자동적으로 작동하여 핵분열반응을 조절하기 위해서 제어봉을 노심으로 넣어 원자로를 정지시킨다. 또한 원자로 냉각재는 핵연료와 노심이 열손상되는 것을 막기 위하여 계속 순환된다. 만약 1차냉각재회로가 손상되었으면, 그 보완으로서 비상냉각수계통이 자동적으로 작동하여 냉각수를 공급한다. 만약 공학적 안전설비가 안전성 장비의 보호에 실패하고, 사고조건이 설계에서 고려한 조건을 초과하면 다음 단계의 보호는 발전소로부터 심각한 방사능 방출을 제한하는 사고관리 (Accident Management)이다.

4단계 : 사고관리전략은 운전원이 신속하게 확실시 정조치를 취할 수 있도록 명확히 정의되고 잘 훈련된 비상운전절차서, 개량된 진단장비

및 기타 계측설비들을 포함한다. 또한 격납구조물의 건전성을 보호하기 위하여 압력감소와 건물내 기체로 부터 방사능을 흡수하는 배기장치 및 샌드필터와 같은 특수설계도 있다. 중앙제어실을 사용할 수 없을 경우에는 원격으로 발전소를 조정할 수 있도록 설계시에 고려하여야 한다. 심층방어의 최종단계는 비상시 발전소 외부에서의 방사선방어이다.

5단계 : 비상계획은 발전소 및 규제당국이 원자력발전소의 중대사고로 인한 방사능사고로부터 발전소 요원, 일반대중 및 환경을 보호하기 위한 조치를 신속하게 효율적으로 수행할 수 있도록 한다. 이러한 조치들에는 사고의 조기통보, 방사선감시, 제염 및 지역주민의 피난 및 대피 등을 포함한다.

## 敷地選定에서 부터 運轉까지의 安全性

원자력발전소가 전출력으로 운전되기까지는 오랜 기간이 소요되며, 국가마다 그 절차가 다르다. 간단히 그 절차를 살펴보면 초기단계에서는 예비설계 및 분석에 기준하여 적절한 부지를 선택한다. 설계과정은 기본설계에서 부터 시작하여 전출력 운전까지의 안전성 검토, 분석 등에 따른 변경사항을 모두 반영한 최종상세설계에서 끝난다. 정의에 의하면 건설(Construction)은 발전소 기기와 설비들의 제작(Manufacturing), 조립(Assembling) 및 이들의 성능시험을 포함하며, 시운전과정(Commissioning Process)은 완공된 발전소가 안전하게 운전될 수 있는가를 검증하는 것이다. 이상의 과정이 수행되면 발전소는 보수, 핵연료 재장전, 가동중검사 등을 포함한 정상운전단계로 넘어간다.

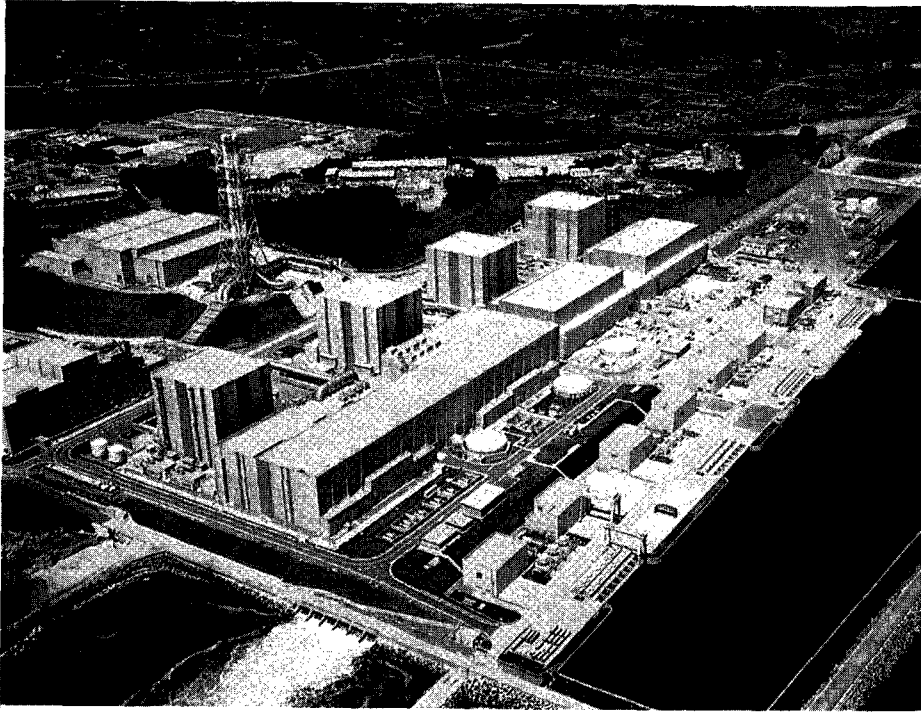
지금까지의 검토에서와 같이 안전성 전략은 사고를 방지하는 수준을 넘어서 사고를 관리하고 이들의 영향을 완화시키는 것을 포함하여야 한다. 이러한 이유에서 운전중 안전성에 대한 검토에 사고관리 및 비상대응능력의 원칙을 포함시키고자 한다.

### 理想的인 敷地選定

원자력발전소는 그 입지에 따라 안전성에 영향을 받으며, 궁극적으로 주위환경의 생태학적 균형과 일반대중의 건강에 영향을 미친다. 부지가 선정되기 전에 발전소와 부지가 서로 조화되는지, 혹은 허용할 수 없는 위험이 있는지 등을 결정하기 위하여 가능한 많은 요인들을 세밀하게 검토한다.

지진 및 기타 극심한 자연현상은 어느 정도의 영향을 미치는가? 비행기 충돌이나 사람으로 인한 재해의 가능성은 어떠한가? 비록 많은 잠정적 안전성 사고를 감당할 수 있도록 설계하지만, 감당할 수 없는 사고도 많다. 이 경우에는 다른 부지를 선정함으로써 이러한 사고를 피할 수 있다.

또한 제안된 부지는 인구밀도, 물의 형태, 토지이용 및 기타 특성들이 정상운전중 및 사고시 발전소의 방사선 방위에 어떤 영향을 주는가 하는 관점에서 검토되며, 마지막으로 수송 및 통신망의 가용성과 같은 비상계획의 타당성도 검토



◀ 日本 Fukushima Daiichi 原電 전경.

토된다.

“原子力発電所の敷地選定時에는 발전소의 안전성에 悪影響을 줄 수 있는 그 지역의 특성을 조사한 결과가 반영된다”

### 安全設計：共通目標

원자력발전소 설계자들의 목표는 성능 및 안전요건을 모두 만족하는 좋은 설계이다. 이를 위하여 설계자는 승인된 원자력산업의 안전규격과 기준에 반영된 입증된 기술과 경험에 따르고 있다. 이들은 사고조건에서도 품질을 확보할 수 있으며, 또한 계속적으로 가동중 안전하게 검사될 수 있는 안전성 관련 설비를 선정한다.

원자력발전소는 광역에 걸쳐 운전을 감당하도록 설계된다. 안전설계의 대부분은 심층방어개념에 따라 정의된 방어대책 및 물리적 장벽과 밀접하게 연관되어 있다.

즉, 발생 가능성이 높으리라고 예상되는 사소

한 사고들에 대하여는 보수적으로 설정된 안전제한한치에 의해서 안전운전범위에서 발전소를 관리할 수 있도록 하며, 또한 설계에 잠정적인 사고에 대비한 자동안전계통을 고려하여 사고시 원자로를 정지시키고 냉각상태를 유지시키며 방사능 방출을 원자로 내부에 국한시키도록 한다. 그밖에 구조물은 발전소로부터 방사능이 방출되는 것을 막도록 특수설계되어 있다. 예를 들어 격납건물의 배기설비와 샌드필터는 과압을 감소시키고 건물내 기체의 방사능을 제거한다. 또한 전원상실 혹은 화재 등과 같은 이유로 많은 기기와 계통이 동시에 작동불능인 경우에도 안전기능이 보장되도록 설계되어 있다.

방사능 방출을 제한치 이내로 유지시키는 목표와 함께 운전원 및 보수요원들이 직접 방사선 피폭과 방사성물질로부터 보호받도록 설계되어 있다.

방사성물질을 포함하고 있는 모든 발전소 기기는 적절히 차폐되어, 방사성물질들은 밀봉된다. 특히, 방사화되는 물질의 사용을 피하고, 쉽게

## 建設

“原子力發電所는 정상운전상태, 운전중에 발생 가능성이 예상되는 이상상태, 극단적인 외부영향, 사고조건 등 모든 경우를 상정하여 이에 대처하도록 설계된다”

제거될 수 없는 곳에 방사성물질이 축적되지 않도록 설계를 한다. 발전소 요원들에 대한 방사선피폭은 감시되며, 발전소에서 사용되는 장비와 의류를 제염처리할 수 있도록 부대설비가 준비되어 있다.

“運轉條件이 미리 정해 놓은 설정치를 넘어서면 自動安全系統이 원자로를 즉각 정지시키고 냉각상태를 유지토록 하며, 또한 만일의 경우 核分裂生成物의 방출을 제한한다”

발전소 신경의 중심이라고 할 수 있는 제어실은 설계자가 경험이 풍부한 운전원 및 안전전문가와 긴밀히 토의하여 발전소의 상황과 원자로의 상태에 관한 정보가 운전원에게 신속하고 신뢰성있게 항상 제공될 수 있도록 설계하고 있다. 이것은 특히 자동안전계통 작동후 짧은 기간 동안 중요하다. 이때 운전원은 중대사고로 인한 발전소 손상을 막기 위한 추가조치가 필요한 지를 결정하기 위하여 진단보조설비나 기타 계측설비를 전적으로 믿어야 하는 시기이다. 중앙제어실이 사용불능시 원격으로 발전소를 제어할 수 있도록 가장 심각한 사고조건하에서도 거주할 수 있는 제어실이 설계되어야 한다.

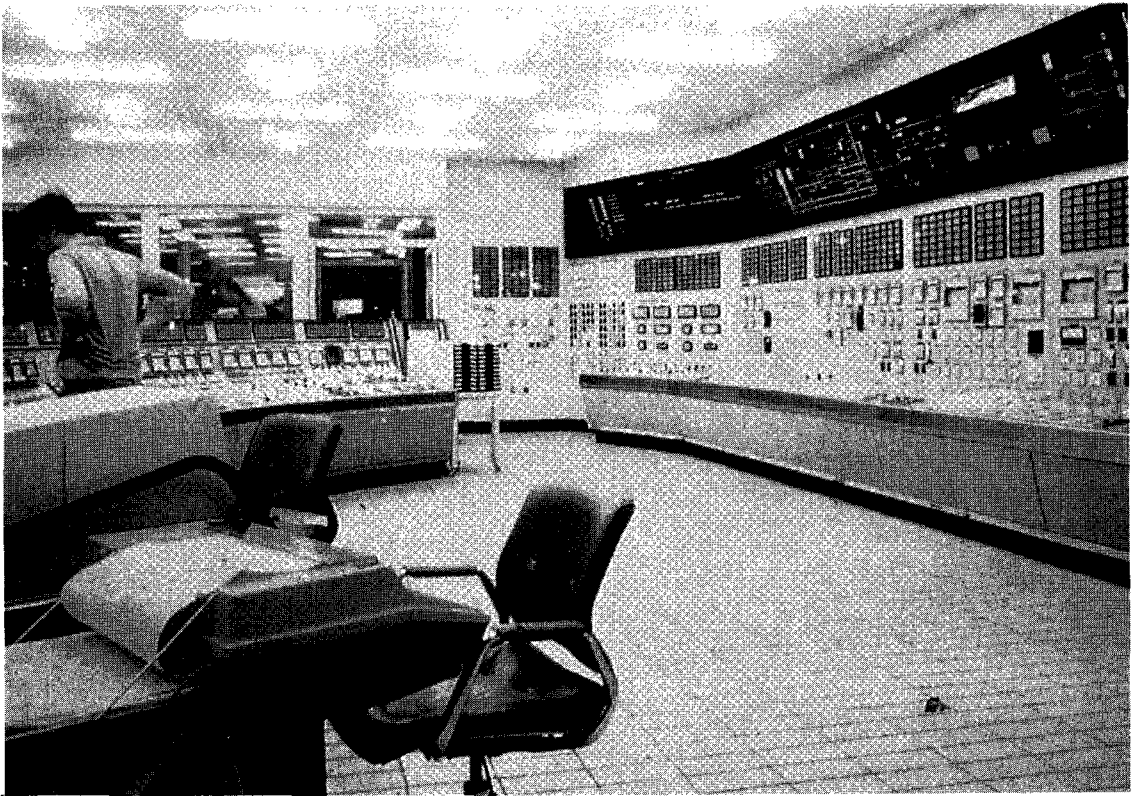
“制御室은 정상운전조건과 예상되는 이상상태 및 설계에서 고려된 사고상황 하에서 계속 운영이 지속되도록 설계되며, 또한 中央制御室이 손상을 받아 제어실내에서의 운영이 불가능한 상황에 처하게 되더라도 원자로 정지 및 냉각 유지 등 필수적인 제어능력과 독립된 방사선감시기능은 원격으로 통제할 수 있다”

원자력발전소는 입증된 기술과 경험을 통하여 보증된 품질로 설계사양에 따라 제작 및 건설된다. 건설작업이 실제로 시작되기 전에 발전소 운전자측과 규제기관은 요구사항이 충족되었거나 또는 건설기간 동안 그에 대한 해결이 가능하다는 안전분석의 보증을 필요로 한다.

기기제작업체는 여러 차례 원자력산업계의 규격, 기준 및 요건을 만족시킨 능력있는 업체중에서 선정되며, 가끔 발전소 운전자측은 안전성과 관련된 주요기기의 공급업체에 대해서 그 능력을 독립적인 제3기관을 통하여 점검한다.

“原子力發電所의 建設은 주요한 안전성 문제가 만족스럽게 해결되고, 또한 그렇지 못한 문제도 運轉에 들어가기 전까지는 해결될 수 있다는 安全評價를 運轉者와 規制者 양측이 모두 확인한 다음에 시작된다”





▲ 중앙제어실의 설계는 중요하다.

## 運轉을 위한引受

안전성은 입증되어야 한다. 따라서 건설이 최종설계와 운전계획단계에 들어서면 시운전프로그램이 활기를 띠게 된다. 발전소의 모든 기기와 계통의 성능이 시험되고, 운전절차서가 확인되며, 앞으로 발전소 운전시 검사를 위하여 안전성과 관련된 설비들의 성능 및 데이터가 기록된다.

전출력 운전을 위하여 운전자측은 발전소의 안전성에 이상이 없도록 모든 설비, 인원, 절차서 및 관리가 가용한지를 확인한다. 때때로 안전성의 강조가 높은 이용률 달성 목표 및 증가되는 전력공급과 모순이 되는 듯하나, 이러한 모순은 겉보기에 불과하다. 안전성을 향상시키는 설계, 건설 및 운전관리는 일반적으로 신뢰성있는 운전에 기여하는 것들과 병행한다. 단기

적으로 안전성을 저하시키면 장기적으로 신뢰도가 향상되지 않음이 일반적으로 인식되고 있다.

---

“試運轉프로그램은 발전소 전체, 특히 안전성 및 방사선방어와 관련된 중요계통이 설계대로 건설되어 제 기능을 발휘하는 지를 확인할 수 있도록 수립되어 시행되며, 또한 취약점을 찾아내어 시정할 수 있다”

---

운전원을 포함한 발전소 운전자측은 시운전프로그램에 참여하며, 발전소 각 계통들의 설치와 시험이 완료되는 대로 각 계통들은 운전원들에게 넘겨진다. 이러한 업무는 운전원들에게 필수적인 준비와 훈련, 계통의 위치와 반응, 상호작용 등에 익숙하도록 한다.

시운전프로그램과 그 결과는 규제기관의 검사와 검토를 받는다.

## 安全運轉

운전중 안전성 향상의 주요 관건은 인간의 오류와 기기 고장을 줄이는 것이다. 따라서 발전소에서는 잘 훈련되고 자격을 갖춘 적정 수의 운전원들이 발전소를 운전하고 있다. 이 운전원들은 자신의 업무와 안전성과의 연관성, 오류의 영향을 잘 인식하고 있으며, 또한 이들은 엄격한 행정관리에 의해 방사선방어 및 정상·비정상운전절차서에 따라 발전소를 안전하게 운전한다.

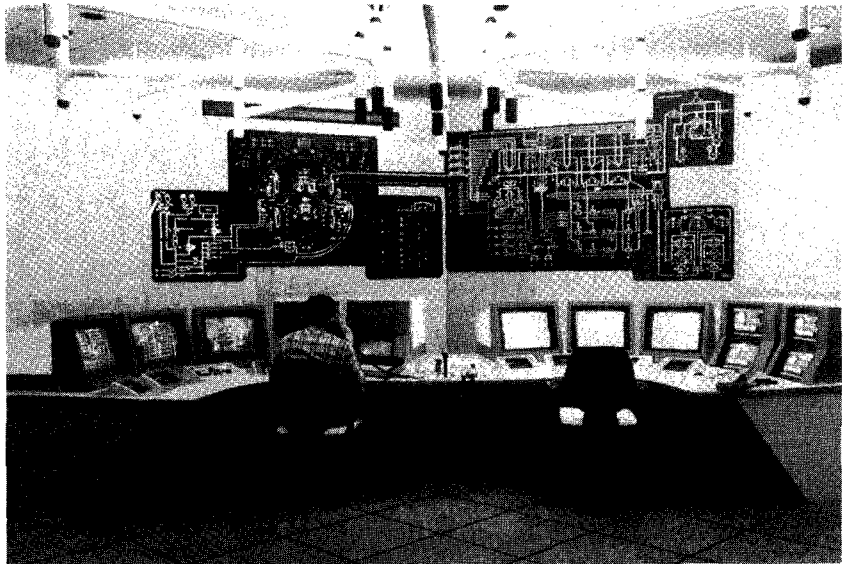
운전원들이 공식적으로 면허를 취득하기 전에 운전원들은 계통과 운전절차서에 대한 엄격한 훈련을 받는다. 이 훈련은 실제의 제어실계장설비를 복제한 컴퓨터시뮬레이터에 의한 훈련을 포함하고 있어 중대사고과정과 시정조치진단에 있어 실제적인 경험을 제공한다.

발전소 관리자와 운전원은 발전소 개조, 수리 및 특수시험수행과 발전소의 안전성에 필요한 모든 분석을 수행하는데 필요한 기술에 접근할 수 있는데, 이러한 기술지원은 운전기관 내에서 제공되거나 혹은 발전소 공급업체 및 전문가그룹으로부터 얻을 수 있다.

**“運轉員과 補修要員들에 대한 교육훈련프로그램이 수립되어 그들이 임무를 안전하고 효율적으로 수행할 수 있도록 능력을 배양시킨다”**

다른 발전소에서 보수, 정기검사 혹은 운전관리에서 경험한 유사한 문제들을 어떻게 예방하고 해결하였는가를 교훈삼아 안전성을 향상시킬 수 있다. 정보교환을 넓게 하면 할수록 그 경험의 활용 가능성이 더욱 커진다. 따라서 발전소 운영자들은 발전소 내부에서의 정보교환은 물론 해외의 원자력발전소 요원들 및 안전성 분석가와 원자력발전 전문가들과 직접 정보교환을 촉진시키는 피드백(Feed Back)체계를 구축하고 있다.

방사선관리요원들은 개인선량감시, 발전소 주요구역에서의 방사능준위 측정, 발전소에서의 방사능 방출량 측정, 방사선지역으로의 인원 출입 감시와 감독 등을 포함하는 포괄적인 업무를 수행한다. 또한 어떤 경우에는 보수 및 검사작업을 수행하는 인원을 보호하기 위하여 특수장비가 사용되는데, 높은 선량률 조건하에서 작업을 수행하는 작업원은 특수장비와 계통의 모형(Mock Up)으로 잘 훈련된다.



▶ 운전원들은 시뮬레이터를 포함한 훈련을 받는다.

---

---

“정상운전은 공식적으로認可받은 상세한  
운전절차서에 의해 制御되며, 또한 이상사태시  
운전원이 적절히 대응할 수 있도록  
비상운전절차서도 작성되어 승인을 받는다”

---

---

원자력발전소가 운전해 들어가면 구조물, 기기, 계통들이 의도된 수준의 안전성 및 운전성을 유지하면서 계속 운영될 수 있도록 정기적으로 계획된 예방보수와 검사를 실시한다. 원자로와 특히 1차냉각재회로의 물리적 안전장벽의 검사에 특별한 주의가 주어진다. 원자로 운전 전 과정에서 처럼 발전소의 유지보수에도 품질보증이 수반된다.

---

---

“안전성과 관련된 구조물, 기기 및 계통들은  
발전소 전수명기간 동안, 설계의 요구수준을  
충족시키도록 필요시 예방보수, 검사, 테스트 및  
가동시험을 한다”

---

---

## 事故管理

원자력발전소가 최초로 운전을 시작한지 30년 이상이 되었지만 단지 몇건의 중대한 사고만이 발생하였는데, 이로 인해서 원자력발전소에 대한 국가차원의 공정한 안전분석 및 안전성 향상을 위한 국제적 평가를 자극하였으며, 이러한 분석들로 부터 얻은 교훈이 기존 발전소의 높은 안전성 수준과 개량된 원자로설계에 반영되었다. 그 결과 중대사고의 발생 가능성이 극히 낮아졌다.

---

---

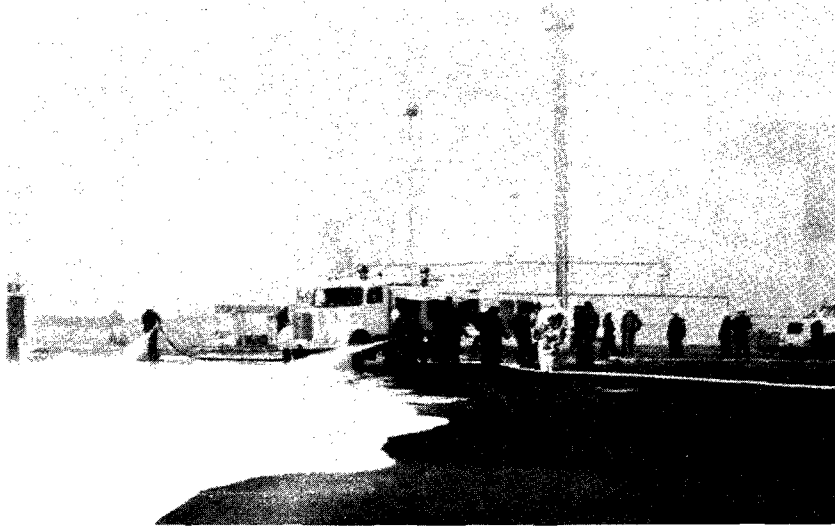
“原子力發電所の 要員들은 설계를 초과하는  
사고가 발생하면 어떻게 대응조치를 취할  
것인가에 대해 훈련받는다”

---

---

“방사선재해를 효과적으로 축소시키기 위하여  
원자력사고를 어떻게 관리할 것인가?”에 대한  
해답없이 안전성 원칙에 대한 논의를 마무리질





▲ 비상계획에 따른 실제 소화진화작업 연습광경.

수는 없다. 즉, 사고관리 및 기술대책의 역할이 요구된다.

운전조건이 설계에서 설정한 안전제한치를 넘어서면 운전원은 비상운전절차서에 따라 더이상의 손상을 방지하기 위한 조치가 필요한지, 만약 필요하다면 어떤 조치를 취하여야 하는지 등을 신속하고 정확하게 결정하여야 하며, 이때 격납건물 고압감시기와 1차냉각재회로의 방사능 감시기 등과 같은 진단설비와 계장을 이용하게 된다. 또한 격납구조물의 건전성을 확보함으로써 외부로의 방사능 방출을 막기 위한 기술대책도 있다.

한단계 더 높혀 “만약 모든 방어대책이 실패하여 발전소가 상당한 방사능을 방출하게 되면 어떻게 될 것인가?” 발전소와 인근의 지역사회는 이러한 비상사태시 어떻게 대응할 수 있는가?

## 非常對應

비상대응능력을 개발하기위 하여 비상계획은 발전소가 운전을 개시하기 이전에 수립되며, 주기적으로 훈련을 한다. 비상계획에는 발전소 내외의 생태계와 주위 인근주민을 보호하기 위한

조치들로 구성되며, 이 계획에는 대기, 물 및 토양의 방사선 감시와 음식, 식수 및 의료품 공급에 대한 규정과 제염방법, 필요시 피난 및 대피프로그램 등이 포함되어 있다.

이 비상계획의 중요한 요소는 사고에 대한 정보를 적시에 신뢰성있게 전달할 수 있는 체제의 구축이다. 발전소 내부 및 외부의 비상센터는 필요한 조치를 수행하는데 있어 상호협조하고 있다. 예를 들면, 외부센터는 경찰서, 소방소와 같이 비상대응에 중요한 기관과 통신채널을 갖추고 있다. 상업전화망은 비상시 신뢰할 수 없으므로 전용전화나 무선통신과 같이 다른 형태의 통신망을 사용할 수 있도록 하고 있다. 또한 발전소내 센터는 발전소 상황에 대한 데이터를 수집하여 일반대중을 보호하기 위한 소외 조치를 책임맡고 있는 당국에 이 정보를 전달할 수 있는 시설을 갖추고 있다.

---

“非常計劃은 발전소가 운전에 들어가기 전에 이미 작성되며, 또한 발전소내 또는 부지주변의 환경으로 방사성물질을 방출시키는 중대한 사고가 발생하였을 경우 방어대책을 有效하게 수행할 수 있도록 주기적으로 실제연습을 실시한다”

---