

## 일본의 원자력산업 현황

山崎 吉秀

일본 전원개발(주) 부사장

**작**년 말, 일본의 「원자력의 연구, 개발 및 이용에 관한 장기 계획」에 대한 검토가 1년 반에 걸친 수많은 토의 끝에 종료되었다. 이 검토 작업은 원자력이 국가 정책으로서 자원이 빈곤한 일본의 안정적인 전력 공급을 위한 주요 역할을 지속해야 함을 재확인했다.

미국에서 원전의 이용률 향상은 발전 비용을 석탄 화력에 견줄만 하게 했으며, 캘리포니아에서의 전력 부족 사태는 원전의 필요성을 재인식하도록 만들었다. 이러한 사실들과 부시 행정부의 원자력 장려 정책은 1974년 이래 중지되어 온 신규 원전 건설이 현실이 될 수 있도록 기대감을 갖게 했다. 기존 원전에서 많은 전력 사업자들이 20년 수명 연장 및 출력 상향을 이미 신청했거나 신청할 의사를 갖고 있다.

영국에서는 블레어 행정부가 CO<sub>2</sub> 배출 감축 차원에서 장래 원자력을 검토하기 위하여 장기 에너지 정책을 수립하기 위한 연구에 착수

했다. 이들 모든 사실들은 세계가 원자력에 대한 새로운 시각을 갖고 있음을 암시한다.

### 원전 개발 동향

일본에서는 원전이 가동된 지 35년만에 현재 설비 용량 44,917MW에 달하는 총 51기의 상업용 원전(BWR 28기, PWR 23기)이 운영되고 있다. 2000 회계 연도에 81.7%의 평균 이용률을 기록하면서 일본 원전은 우수한 운영 실적을 달성해왔다. 1999 회계 연도에 원자력은 3,160억kWh의 전력을 생산하여 총 발전량의 34.5%를 차지했다. 원자력은 8,084만kL의 석유에 해당하는 전력을 생산했으며, 1998 회계 연도에 일본 1차 에너지의 13.7%를 공급했다.

4기의 원전이 건설중에 있는데, 이는 오나가와(女川) 3호기(동북전력), 히가시도리(東通) 1호기(동북전력), 하마오카(浜岡) 5호기(중부전력) 및 시카(志賀) 2호기(북북전

력) 등이며, 총설비 용량 4,663MW에 이른다. 오나가와 3호기는 건설 최종 단계에 있으며, 내년 1월에 상업 운전을 개시할 예정이다.

한편 3기의 원전이 건설 허가 신청중에 있는데, 이는 도마리(泊) 3호기(북해도 전력), 오마(大間)(EPDC) 및 시마네(島根) 3호기(중부전력) 등으로 총설비 용량은 3,668MW이다.

추가로 6기의 원전이 건설 준비 초기 단계에 있다. 이들은 가미노세키(上關) 1·2호기(중부전력), 쓰루가(敦賀) 3·4호기(JAPCO) 및 후쿠시마(福島) 제1원전 7·8호기(동경전력)이며, 가미노세키 원전을 위한 첫 번째 공청회가 작년 말에 개최되었다.

### ABWR-I

작년 3월에 시행된 전력 산업의 시장 개방 및 민영화는 전력 공급 가격의 하락을 가져왔다. 국가의 귀중한 미래 전력 공급원의 하나로서



원자력 발전을 유지하기 위하여 안전성 확보뿐만 아니라 경제성 향상이 필수적이다.

이러한 목적을 위하여 일본의 전력 회사들은 차세대 경수로로서 ABWR-II 및 APWR을 개발하고 있다. BWR 전력 회사들은 차세대 원자로로서 1,700MW의 출력을 갖는 ABWR-II를 개발하고 있다.

그 설계 특성들은 출력 상향에 따른 규모의 장점뿐만 아니라 핵연료 재장전 시간 단축, 대용량 연료 집합체 사용에 따른 제어봉 구동 계통의 감축 및 정적 안전 계통 도입에 의한 개선된 종합 안전 계통을 포함한다.

이는 ABWR과 유사한 수준까지 건설비를 줄이는 것, 즉 건설 단가의 약 20% 및 발전 단가의 20~25%의 감소를 의미한다. 이는 또한 투자 회수 기간의 단축을 가져와 원자력을 개발된 전력 시장에서 매력적인 선택으로 만든다.

ABWR-II의 연구 개발이 2000년부터 시작되었으며, 2010년대 하반기에 첫 번째 원전이 가동에 들어갈 예정이다.

**플루토늄 이용 계획**

일본에서 핵연료 주기의 완성은 자원의 효율적인 이용 및 폐기물의 합리적인 처분 차원에서 필수적이다. FBR에서 플루토늄의 이용이

장래 실현되기 전에, 경수로에서의 MOX 연료 이용은 자원의 효율적인 이용을 허용하고, 비확산 정책에 따라 요구되는 플루토늄 균형을 유지하는 데 기여할 뿐만 아니라 전면적인 핵연료 재순환 시대를 지지하는 산업적 토대와 사회적 환경의 확립에 기여한다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 일본은 기초 연구 결과와 1980년대 후반부터 상업 원전에서 시행된 실증 시험에 토대하여 2010년까지 16~18기의 경수로에서 MOX 연료를 장전할 계획이다. 그러나 이 계획은 어려움에 직면하고 있다.

2001년 5월 27일, 플루토늄 이용 계획 수용에 관한 주민 투표가 니가타현 가리와촌에서 시행되었는데, 결과는 총투표자 3,605명 중 찬성 1,533, 반대 1,925로 부결되었다. 니카타지사, 가시와자키시장 및 가리와촌장의 요청에 따라 동경 전력 가시와자키 가리와(柏崎刈羽) 원전의 MOX 연료 장전 계획은 연기되었다.

동경전력은 다카하마(高浜) 3·4호기, 후쿠시마 제1발전소 3호기 및 가시와자키 가리와 3호기에서 플루토늄 이용 계획을 위한 준비를 시작해 왔다. 동경전력은 영국에서 제작된 연료가 불법적인 결함이 포함하고 있는 것으로 발견되어 다카하마 3호기에 대한 MOX 연료 장전을 연기해야만 했다.

후쿠시마 발전소에서는 동경전력이 후쿠시마현 정부로부터 장전에 대한 동의를 얻을 수 없었기 때문에 계획 예방 정비 기간중 MOX 연료 장전을 개시할 수 없었다. 결과적으로 모든 플루토늄 이용 계획이 올해 실현될 수 없다.

주민 투표 결과를 심각하게 받아들여, 중앙 정부는 관련 정부 부처 및 청의 과장급 위원으로 구성된 플루토늄이용연락위원회를 설치했다. 이 위원회는 위원들 간의 원활한 의사 소통을 진작시킬 것이며, 지역 주민들로부터 플루토늄 이용 계획에 대한 이해를 얻는 전략을 준비하는데 있어서 필수적인 것으로 여겨진다.

전력 회사들은 또한 전기연합회 내의 9개의 전력 회사, 일본원자력 발전(주), 전원개발(주) 및 일본핵연료(주)의 사장으로 구성된 그들 자신의 위원회를 설립했다. 각 전력 회사들은 사장이 이끄는 플루토늄 이용 장려 특별 기구를 설치했다.

일본원자력산업회의는 지난 총회에서 MOX 연료 이용을 위한 국민적 합의를 얻기 위한 리더십을 취하는데 있어서 새로운 결의를 다졌다.

**핵연료 주기 사업**

핵연료 주기 사업은 국민적 합의와 함께 꾸준히 추진될 필요가 있

다. 일본의 정책은 핵연료 주기가 민간 사업 차원에서 추진되어야 한다는 것이다. 이 정책에 따라, 아오모리현 룩카쇼촌의 일본핵연료(주) 사업은 계획보다 약간 지연되어 추진되고 있다.

### 1. 방사성 폐기물 처리 및 처분

원전에서 발생하는 저준위 방사성 폐기물의 일부는 이미 지질학적으로 처분되고 있다. 나머지 방사성 폐기물은 방사능 준위 및 보유 핵종의 종류에 따라 여러 그룹으로 구분될 것이며, 폐기물이 원래 발생된 원항에 관계없이 각 그룹에 가장 적합한 방법으로 처리될 것이다.

#### 가. 고준위 방사성 폐기물

사용후 연료로부터 플루토늄이나 우라늄 같은 유용한 물질의 분리 후 남은 고준위 방사성 폐기물은 안정한 상태로 고화되어 30~50년간 냉각을 위하여 저장된다. 그들은 최종적으로 지질학적 방법을 이용하여 처분된다.

폐기물은 잠재적인 누설에 대비하기 위한 인공 장벽에 포함된 안정된 암반 속의 지하 수백 미터에 놓여질 것이다. 1995년에 고준위 방사성 폐기물 저장센터가 룩카쇼촌에 운영되기 시작한 이래 464 캐니스터의 유리화 고준위 방사성 폐기물이 접수되었다. 향후 약 3천개 이상의 캐니스터가 저장될 예정이다.

2000년 5월, 「지정 방사성 폐기

물 최종 처분에 관한 법」이 고준위 방사성 폐기물 최종 처분을 위한 장치로서 만들어졌다. 이 법에 따라 2000년 10월, 「일본 핵폐기물관리 기구(NUMO)」가 처분 사업의 중심 운영체로서 구성되었고, 이어 중심 재정 관리 기구로서 「방사성폐기물관리기금 연구센터」가 설치되었다.

고준위 방사성 폐기물은 안전 우선 정책하에 처분되어야 하는 매우 오랜 기간 동안 지속적으로 강력한 방사능을 갖게 된다.

2030년대 후반기에 가동될 계획인 고준위 방사성 폐기물의 최종 처분 설비는 부지 확보, 시설 설계 및 정부에 의한 안전성 검토를 포함하여 향후 추진될 것이다.

#### 나. 저준위 방사성 폐기물

룩카쇼촌에 「저준위방사성폐기물 처분센터」가 1992년에 운영되기 시작했다. 이 센터에서는 고화된 액체 폐기물 및 탈염제가 제1처분장의 균질한 상태에서 처분되어 왔으며, 고화된 콘크리트 및 금속 잡고체는 제2처분장에서 처분되어 왔다. 지금까지 약 200ℓ 드럼의 13만 개가 이미 처분되었다.

한편 폐제어봉 및 원자로 내장품으로부터 상대적으로 높은 방사능을 띤 저준위 방사성 폐기물의 처분을 위한 기준이 준비되고 있다. 제1 및 제2 처분 시설은 약 40만개의 200ℓ 드럼을 처분할 수 용량을 갖고 있지만, 저준위 방사성폐기물 처

분센터는 궁극적으로 총3백만 드럼을 수납할 예정이다.

### 2. 핵연료 재처리

일본에서 경수로에서의 사용후 연료는 일본핵주기개발기구(JNC)의 도카이 처분장으로 보내지는 연료를 제외하고, 재처리를 위하여 해외 사업자에게 위탁되어 왔다.

그러나 민간 기업인 JNFL이 국내 시장의 추이를 연구했으며, JNC의 도카이 재처리 시설에 대한 운영 경험의 이용과 해외 선진국으로부터 지식과 기술을 도입하여, 2005년에 운영을 개시할 연간 최대 800톤의 우라늄 처리 용량을 가진 재처리 공장을 룩카쇼촌에 건설하기 시작했다. 현재 작업은 가장 활발한 단계에 돌입하여 약 70%의 공정에 이르렀다.

장래 재처리 공장에 관한 연구에 따르면, 현행 룩카쇼촌 시설을 위해 설계된 사용후 우라늄 연료뿐만 아니라 고연소 및 MOX 연료의 재처리 능력을 갖추는 것이 바람직하다.

새로운 시설이 룩카쇼 시설의 건설 및 운영 기록과 장래 연구 개발 같은 정보와 함께 설계되어야 하기 때문에 약 2010년에 그 시설을 위한 실제 계획을 시작하는 것이 적절할 것으로 보인다.

주로 JNC에 의한 Purex법에 토대한 재처리 기술의 연구 개발의 노력은 고연소 및 MOX 연료의 용해



성을 개선하고, 단순 정제 과정에 의한 경제성을 제고하며, 핵비확산 요구에 가장 적합한 개선된 Purex 처리법에 초점을 맞추고 있다.

### 3. 우리늄 농축

언급할 필요도 없이, 국가가 확실하고 안정적인 농축 우리늄을 확보하고 핵주기의 독립 수준을 제고하는 것이 중요하다.

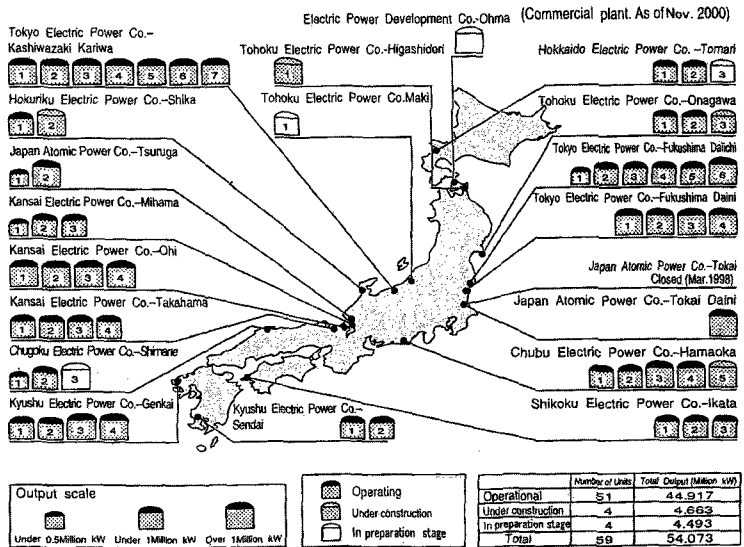
이러한 목적에 부합하도록, 룩카쇼 농축 공장의 용량은 미래에 개발될 개선되고 더욱 경제적인 원심 분리기를 이용하여 현행 연간 1,050톤 SWU에서 연간 1,500톤 SWU로 점차 증가할 것이다. 안정적인 운전 유지 및 감소된 농축 비용 또한 그 과정중에 추구될 것이다.

### 4. 사용후 연료 중간 저장

사용후 연료의 중간 저장은 사용후 연료가 재처리될 때까지의 기간을 조정할 수 있기 때문에 핵연료 주기의 신축성을 주기 위하여 중요하다. 일본에서는 중간 저장에 관한 법이 1999년에 만들어졌으며, 한 민간 회사가 일련의 룩카쇼 사업과 별도로 2010년까지 운영을 개시하기 위하여 준비하고 있다.

#### 몬주 사업

일본에서 장기 안정적인 에너지 공급 목표를 달성하기 위하여 FBR



일본의 원자력발전소

기술을 마무리하는 것이 필수적이다. 개발중인 원형 FBR인 몬주(전기출력 280MW, 후쿠이현)는 1995년 12월의 나트륨 누설 사고 이래 정지중에 있다. 그 이래 나트륨 누설의 예방 대책을 수립하기 위하여 사고 원인에 대하여 포괄적으로 분석되어 왔다.

후속 작업에 병행하여 FBR 개발 방법, 그 존재의 중요성 및 몬주의 장래 역할에 관한 국민적 합의를 얻기 위하여 여론이 수렴되어 왔다.

장기 계획에 따르면, 발전소로서 신뢰성의 입증과 운전 경험을 통한 나트륨 취급 기술의 확립의 몬주의 당초 목표는 미래 기술 개발을 위하여 우선되어야 한다. 그러므로 몬주는 조기 운영 재개를 위한 FBR 주기 기술의 연구 개발에서 기본 요소여야 한다.

이러한 결정에 따라, JNC는 나트륨 누설 측정에 관련된 건설 계획

을 준비했고, 2000년 12월 현지 후쿠이현 및 쓰루가시와의 안전 협정에 따른 사전 양해 요청서를 제출했다. 2001년 6월, 후쿠이현 및 쓰루가시로부터 예비 승인을 받을 때, JNC는 건설 변경을 위한 원전 변경 신청서를 제출했다. 몬주는 안전 검사 및 변경 건설이 완료된 후 운영을 재개할 예정이다.

#### 원자력 재해 완화

1997년 7월, 정부는 재해대책기본법에 따른 재해 완화 기본 계획의 원자력 재해 대책을 수정했다. 이 수정 대책은 원전 지역의 주민들이 원자력 사고 후 입을 수 있는 위험을 완화하도록 관련 당사자의 역할을 명확히 하고, 기타 변경 사항을 포함했다.

도카이촌의 JCO 임계 사고는 원자력 재해에 대비한 다음 세 가지

분야의 중요성을 명확히 인식했다.

① 즉각적인 완화 조치 및 중앙 정부, 현 및 지역 사회와의 협력 강화 필요

② 원자력 재해의 특성에 대비한 중앙 정부의 대응 체계 강화

③ 원자력 사고 후 위협을 완화하는데 있어서 원자력 기관의 명확히 정의된 역할.

원자력 재해 특별조치법이 상기 분야를 반영하여 1999년 12월 만들어졌고 2000년 6월부터 시행되었다. 이 법은 원자력 재해의 특별성을 고려하여 원자력 기관의 책임, 원자력 비상 발령 관련 사항, 비상 조직 구성 및 재해 대비 조치 같은 항목들을 명확히 정의함으로써 원자력 재해로부터 주민 및 재산을 보호하는 것이 목적이다. 특별히 이 법은 다음 사항을 규정하고 있다.

- 원자력 기관의 원자력 비상 발생 고지 의무
- 고지 접수시 담당 장관이 즉각 수상에게 보고
- 수상은 사고시 비상 발령 및 비상 조직 구성
- 중앙 정부는 발전소에 가까운 동일 조직을 구성하고, 사전 지정된 소외 센터에 긴급한 의사 교환하에 필요 조치를 강구하도록 지역 사회와의 합동 특별 위원회를 구성
- 수상은 비상 조직 수반으로서 관련 장관들에게 지침을 시달

하고, 원자력 기관에 대해 비상 대응 조치를 취하도록 하며, 필요하다면 자위대를 파견할 권한 보유

- 수상의 요청시 원자력위원회는 기술적인 자문
- 원자력 기관은 방사선 감시 계측기 및 기타 필요한 장치 설치, 비상대응 계획의 준비, 원자력 비상 대비 조직 구성, 원자력 비상 담당 임명 같은 항목의 이행 의무

**정부 부처 및 청의 구조 개편**

중앙 정부의 부처 및 청의 구조 개편이 올해 1월 6일 시행되었다. 이 구조 개편은 경제·무역산업성 및 교육·문화·스포츠·과학기술성이 정책 수립과 안전 규제 및 시행의 별도 역할을 수행하면서, 원자력 관련 정책의 집행에 있어서 각료 회의의 관리하에 원자력위원회 및 원자력안전위원회에 제고된 역할을 부여했다.

특히 우라늄 채굴 및 제조, 원자력발전소, 재처리 또는 방사성 폐기물 관리를 포함하는 에너지 이용에 관한 관리는 경제·무역산업성의 천연자원에너지국이 전적으로 수행한다. 시험 및 연구로와 환경 감시 등의 원자력 과학 기술 관리는 교육·문화·스포츠·과학기술성이 수행한다.

경험이 많고 학술적으로 뛰어난 사람중에 선정되는 의장이 원자력위원회를 이끌며, 각료 회의는 사무국 역할을 한다. 원자력안전위원회는 독립성 및 기능성을 제고하도록 각료 회의에 독립 사무국을 갖는다. 원자력의 상업적 이용에 관한 안전 규제를 통일하고, 안전 규제 체계를 제고하도록 경제·무역산업성 내에 원자력 및 산업안전국이 설치되었다.

**결 어**

앞서 소개한 대로, 플루토늄 이용 계획에서 보여진 대로 일본의 원자력산업에 대한 강력한 반대가 있어 왔다. 그러나 기대만큼 순조롭지 않지만, 신규 부지 확보 계획이 점차적으로 허가되고 있고, 사고 후 오래동안 정지 상태에 있는 FBR 원형로인 문주는 운전 재개를 준비하고 있다. 원자력 핵주기 사업은 늦지만 꾸준히 진척되고 있다.

일본에서 원자력은 안정된 전력 공급과 지구 환경 보존 차원에서 필수적이다. 우리는 JCO 임계 사고 후 전적으로 상실했던 원자력에 대한 국민들의 신뢰도를 회복하기 위하여 산업계·정부 및 학계가 공동의 노력을 지속적으로 유지할 것이다. 또한 기존 원전의 안정적이고 신뢰적인 운영을 유지하고, 장래 사업을 위한 신규 부지를 확보하기 위한 모든 노력을 다할 것이다. ☞