



일본 원자력산업의 현황

마스모토 시게이코
규슈전력(주) 부사장

일 본은 섬나라라는 지정학적 제약과 에너지 자원의 부족을 극복하기 위해 기저 부하의 핵심으로 원자력 전원 개발을 적극적으로 추진해왔다. 원자력은 신뢰할 만한 에너지를 안정적으로 공급하고, 세계적 환경 이슈에 대처하는 수단이 된다.

2003년 10월 내각의 결정에 따라 수립된 에너지 기본 계획은 원전 연료 주기를 포함한 원자력 발전이 안전을 확보하는 주요 수단으로 핵심 에너지원으로 추진될 것을 정책으로 천명하였다.

이러한 긍정적인 발전의 결과로 원자력 발전은 일본 전력 소비의 1/3을 공급하고 있으며, 아오모리 현의 로카쇼무라의 재처리 공장은 원자로 연료 주기의 핵심을 수행하는 역할에 거의 근접해 있다.

그러나 여전히 해결해야 할 많은 문제가 남아있는 것은 사실이다. 지금까지 원자력 발전과 관련되어 제

기된 주제들을 요약하고자 한다.

원자력 발전소 현황

1. 상업용 원자로의 운전 및 건설 현황

일본에 원자력 발전소가 활발하게 추진되기 시작한 것은, 지금으로부터 38년 전인 1966년 일본원자력에너지회사(Japan Atomic Power Company, Ltd.)가 일본 최초의 상업용 원자로인 도카이 발전소 운전을 시작하면서부터이다.

일본에는 현재 29기의 비등경수로(BWR)과 23기의 가압경수로(PWR) 등 총 52기의 원자로가 운전중이다. 이는 전력 설비 용량 19.6%를 차지하는 것으로, 2002년에는 31.2%의 전력을 생산하였다.

2004년 9월 현재 설비 용량은 45,742 MW, 건설 중인 4기 4,750MW, 건설 준비중인 6기는

8,578MW이다.

Maki와 Suzu에 원자력 발전소를 건설하려던 계획은 지역 사회가 수용하지 않기로 했기 때문에 무산되었다.

일본 최초의 상업용 원자로인 도카이 발전소는 1998년 상업 운전을 중지하고 현재는 해체가 이루어지고 있다.

2. 이용률 추이

일본의 원자력 발전소는 근본적인 기술적 문제를 극복하여 주기적 검사 기간을 단축함으로써 이용률을 개선하기 위해 노력해왔다.

이러한 노력을 통해 1995년 이래 이용률이 향상되어 상대적으로 높은 80%에까지 이르렀다. 그러나 2002년과 2003년의 이용률은 전년도 결과에 비하여 감소한 78.4%, 57.4%에 그쳤다.

이용률이 급격히 감소한 주요 원인은 2002년 8월 검사 기록 위·

변조가 발견되면서 비등경수로(BWR)의 주기 검사 기간이 연장되었기 때문이다.

이러한 문제들은 대부분 해소되어 현재 비등경수로의 운전은 정상으로 회복되었다. 그러나 올해 8월 미하마 3호기에서 발생한 2차측 배관 파단 사고로 다섯 명이 목숨을 잃었고, 이 사고의 여파로 간사이 전력은 원자력 발전소를 순차적으로 정지하고 사고가 발생할 우려가 있는 유사 지점에 대하여 검사를 수행하였다.

다른 전력사들 또한 유사 지점의 조사에 착수하였다. 때문에 2004년의 이용률도 낮을 것으로 보인다.

한국은 일본에 비하여 매우 높은 이용률을 보인다. 특히, 2000년 이래로 이용률은 90%를 상회하는 매우 높은 수준이다. 일본은 안전성을 유지하면서 이용률을 향상시키기 위한 유용한 수단을 빠른 시일 안에 도입하여야 한다.

3. 새로운 검사 시스템

검사 기록 위조의 재발을 막기 위해서, 전원개발법(Electric Enterprise Law)과 핵연료물질, 핵연료물질 및 원자로 규제법(Law for the Regulations of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors)이 2002년 12월 개정되었고, 2003년 10월

〈표 1〉 일본의 상업용 원자로 현황

| | | |
|--------|------|--|
| 운전중 | 52 기 | 45,742 MW |
| 건설중 | 4 기 | 4,750MW Higashidori-1(BWR), Hamaoka-5(ABWR), Shika-2(ABWR), Tomari-3(PWR) |
| 건설 준비중 | 6 기 | 8,578MW Ohma(ABWR), Shimane-3(ABWR), Kaminoseki-1 and 2(ABWR), Tsuruga-3 and 4(APWR) |
| 해체중 | 1 기 | 166MW |

〈표 2〉 원전 연료 주기의 국내 현황 - 1

| | |
|---|---|
| 우라늄 농축 공장(아오모리현, 로카소무라) | |
| 용량 | 1,050 톤 SWU/yr(최종적으로 1,500 톤 SWU/yr) |
| 누적 | 1,373 톤 UF ₆ (2004년 1월 말) |
| 재처리 공장(아오모리현, 로카소무라) | |
| 최대 처리 용량 | 800 톤/yr(2006년 7월 운전 개시 예정) |
| 사용후연료 수용량 | 약 900 톤(2004년 1월 말) |
| 중간 저장 시설(동경 전력은 시설 부지로 아오모리 현과 Mutsu시에 협력을 요청하였다) | |
| 최종 저장 능력 | 5,000톤(2010년 운영 개시 예정인 일차 건물은 3000톤 용량) |
| 저장 방법 | 건식 저장 |

부터 새로운 검사 시스템이 발효되었다.

검사 시스템을 수용하기 위해, 각 전력사는 품질 보증 조직을 강화했고, 다음에 따라 내부 문서를 검토하였다.

① 일본에서는 원자력 발전 시설의 안전을 위해 전기 사업자가 행하는 조치들은 각 사무소의 안전 관련 규제 조항에 기술된다.

정부는 안전 보존 상태 검사(safety preservation inspection)로써 이러한 안전 관련 규제가 적합한지 그 현황을 보증하여야 한다.

이 시점부터 각 전력사는 이러한 안전 관련 규제에 대하여 ISO 9000 계열에 근거한 유지 관리 조치뿐 아니라 품질 보증 시스템을 추가적으로 갖추어야 한다. 이는 결과적으로 안전 보존상태 검사의 확장을 야기한다.

② 이번 변경에서, 자발적인 검사를 포함하여 일단 전력사에 의해 수행된 주요 기기 검사는 전력사가 주기적으로 수행하는 검사로 법적 요건화되었다.

사업자의 검사 수행 현황은 2003년 10월 설립된 합동 행정 기구인 일본 원자력에너지 안전 조직



〈표 3〉 원전 연료 주기의 국내 현황 - 2

| 저준위 방사성 폐기물 처분 센터(아오모리 현, 로카쇼무라) | |
|---|---|
| 용량 | 대략 400,000 200리터 드럼(최종적으로 대략 3,000,000드럼) |
| 매장량 | 대략 170,000 200리터 드럼(2004년 1월 말) |
| 고준위 방사성 폐기물 저장 센터(아오모리 현, 로카쇼무라) | |
| 용량 | 유리화된 폐기물 1,440 드럼(최종적으로 2,880 드럼) |
| 드럼량 | 892(2004년 1월 말) |
| 고준위 방사성 폐기물의 최종 처분 | |
| 일본의 원자력 폐기물 관리 조직은 부지 유용성 연구에 지방 정부가 참여할 것을 요청하였다. 최종 처분 시설 건설용 부지 선정은 2023 ~ 2027년 경 이루어질 것으로 예상된다. | |

(Japan Nuclear Energy Safety Organization)에 의해 검토된다.

정부는 검토 결과를 평가하고 사업자에 통지하며, 그러한 평가 결과는 다음 검토시 반영된다. 안전 조직은 또한 정부가 지금까지 수행해 왔던 사용 전 검사와 주기 검사를 수행한다.

원전 연료 주기 현황

1. 우라늄 농축과 사용후연료 재처리 공장

일본원전연료사(Japan Nuclear Fuel Ltd. : JNFL)은 아오모리현 로카쇼무라 우라늄 농축 공장을 운영하고 있다. 성능이 개선된 원심분리기가 2010년 도입을 목표로 개발중에 있다.

일본원전 연료 주기개발그룹(Japan Nuclear Fuel Cycle Development Institute : JNC)은 도카이에 사용후연료 재처리 시범 공장을 운영하고 있고, JNFL은 로카쇼무라에 상업용 사용후 연료

재처리 공장을 건설하고 있다.

로카쇼무라의 재처리 공장이 사용후연료를 수용하는 것은 사용후연료 저장용 수조의 부족으로 지연되었으나, 2004년 6월 수조 수리를 완료한 후에 재개되었다.

사용후연료 재처리 공장의 시범 운영은 10월에 시작될 것이고, 모든 다른 준비는 2006년 운전 개시를 예상하고 진행되고 있다.

JNFL은 사용후연료 재처리를 통해 얻어진 플루토늄을 연료로 가공하기 위한 MOX 연료 제작 공장 부지를 위해 지방 정부의 협력을 요청하고 있다.

2. 중간 저장 시설

일본은 모든 사용후연료를 재처리할 계획이기 때문에, 발전소에서 제거한 사용후연료를 재처리 전까지 저장하기 위한 중간 저장 설비의 준비가 진행되고 있다.

동경전력은 아오모리현 Mutsu 시의 요청에 따라 그러한 설비의 입지에 대한 유용성 연구를 수행했고,

그 결과에 따라 2004년 2월 해당 시설의 부지 선정을 위해 지방 정부의 협력을 요청하였다. 저장 용량 3,000톤의 시설이 2010년 운영을 시작하는 것으로 계획되어 있다.

또한 간사이 전력은 2004년 7월 유사한 시설의 부지를 후쿠이현의 미하마에 요청하였다.

3. 방사성 폐기물 처분

JNFL은 로카쇼무라에 저준위 방사성 폐기물 처분 센터를 운영하고 있다. 이 곳은 원자력 발전소로부터 발생하는 저준위 방사성 폐기물의 최종 처분장으로 대략 170,000드럼이 매장되어 있다.

영국과 프랑스에서 재처리된 고준위 방사성 폐기물은 JNFL의 고준위 방사성 폐기물 저장 센터에 저장되었다가 최종 처분될 계획이다.

저장센터의 저장 용량은 1,440드럼이고, 현재 892드럼이 저장되어 있다. 센터의 증설이 2004년 6월부터 진행되고 있어 2009년 2월이면 2,880드럼을 수용할 수 있게 된다.

최종 처분 시설을 위한 계획은 일본의 원자력 폐기물 관리조직(Nuclear Waste Management Organization)이 담당하고 있고, 이 조직은 지방 정부에 부지 적절성 연구에 참여할 것을 요청하였다. 최종 처분 시설 부지는 적절성 연구와 상세 조사가 완료된 2023 ~ 2027

년경 선정될 것이다.

4. 플루토늄의 이용

일본은 우라늄 자원의 효율적인 이용을 위해 사용후연료의 재처리를 통한 플루토늄 재활용을 기본 정책으로 삼고 있다. 현재 계획은 재활용 플루토늄을 MOX 연료 형태로 경수로에 사용하는 것이다.

일본의 플루토늄 사용 계획은 2004년 3월 MOX 연료 제조를 위한 주계약에 간사이전력이 서명함으로써 분명하게 진전되고 있다.

시코쿠전력과 규슈전력 또한 2004년 5월 자신들의 지역에 이카타 발전소 3호기와 겐카이 발전소 3호기에 관하여 제안서를 제출하였다.

원자력 에너지를 둘러싼 환경

1. 장기 에너지 수급 전망

경제/통상/산업 장관의 자문 조직인 천연자원 및 에너지자문위원회는 2004년 6월 「2030년의 에너지 수급 전망」에 대한 잠정 보고서를 제시하였다.

보고서는 2030년의 에너지 수급 비율을 정량적으로 예측하고, 현재 기술 시스템과 수단을 근거로 다양한 상황에 대한 민감도 분석 결과를 담고 있다. 특히, 다음 네 가지 경우에 대한 분석이 수행되었다.〈표 4〉

〈표 4〉 장기 에너지 수급 전망

| |
|---|
| a. 참조 케이스 |
| - 비교용 참조 |
| b. 에너지 기술이 발전된 경우 |
| - 에너지 절약과 신에너지 기술의 개발 |
| c. 원자력 에너지 |
| - 원자력 에너지 비중이 높거나/낮은 경우(새로운 원자로가 17기인 경우와 8기인 경우) |
| d. 외부의 대형 요인이 작용하는 경우 |
| - 경제 성장률이 높거나/낮은 경우(2030 1.6%인 경우, 0.4%인 경우) |
| - 기름값이 높거나/낮은 경우(배럴당 35\$인 경우 15\$인 경우) |

〈천연자원 및 에너지자문위원회(Advisory Committee for Natural Resources and Energy), 2004년 6월〉
보고서는 2030년까지 에너지 수요와 공급 구성을 정량적으로 예측하고, 다양한 경우에 민감도 분석을 수행하였다.

가. 참조 케이스
다양한 케이스 스터디와 비교하기 위해 참조로 제공된 케이스

나. 에너지 기술이 발전된 경우
참조 케이스에서 가정한 것보다 에너지 절약 기술 및 새로운 에너지 자원이 더 획기적으로 발전한 경우, 잠재력의 최대치를 이루었다고 보는 경우

다. 원자력 에너지
참조 케이스에 비하여 원자력 발전소의 도입 숫자가 다양한 경우. 참조 케이스는 2030년까지 추가로 운전을 개시하는 상업용 원자로를 10개로 가정하였으나, 이 경우는 최대 17개, 최소 8개를 가정함.

라. 외부의 대형 요인이 작용하는 경우

경제 성장률이 1.6%, 0.4%인 경우. 원유값이 배럴당 35\$, 15\$인 경우

〈표 4〉의 참조 케이스에 대하여 더 상세히 서술하면 다음과 같다.

① 수요 측 예측

총에너지 수요는 과거 30년 동안 꾸준히 증가해왔다. 그러나 미래 에너지 수요는 구조적으로 둔화될 것이고 2021년 정점에 도달한 이후 감소할 것으로 예측되었다.

이 현상의 원인은 인구 감소, 경제 상황의 성숙으로 인한 낮은 경제 성장률, 산업 구조의 개선과 에너지 절약 신기술의 개발로 인한 에너지 수요 감소 등이다.

전기 수요는 꾸준히 증가하고 있으나, 수송가의 감소, 상업적 사용의 한계 도달, 고효율 기기의 보급으로 인해 증가율은 2020년경에 낮아질 것이다.

② 공급측 예측

일차 에너지 공급 구성은 석탄이 현재의 수준을 유지하는 것에 비해,



천연 가스가 현재보다 더 높은 비중을 차지할 것으로 예측되었다. 석유는 비중이 줄었다고는 하나, 여전히 약 40%를 차지하는 주요한 에너지 원으로 남아 있을 것이다.

전력 생산의 구성을 살펴보면, 원자력과 LNG의 비중이 꾸준히 증가하는 것으로 예측되었다. 석탄은 약간 감소할 것이고, 석유와 다른 전원은 급격히 감소할 것으로 보인다.

2. 원자력 에너지의 연구/개발/활용을 고려한 장기 계획

일본의 원자력 에너지 장기 계획은 원자력 에너지의 연구/개발/활용에 대한 기본 정책에 포함되며, 이는 원자력 기본법(Atomic Energy Basic Law)에 따라 원자력 위원회(Atomic Energy Commission of Japan)에 의해 마련되었다.

현행 계획은 2000년에 작성된 것으로 원자력 에너지를 둘러싼 환경이 변화했기 때문에, 2004년 초부터 원자력위원회는 새로운 계획을 수립하기 위해 일반 대중을 포함하여 다양한 분야와 계층의 사람으로부터 제안과 의견을 청취해왔다.

그러한 조사에 이어, 2004년 6월 새로운 계획을 준비하기 시작하

여 2005년 완료하는 것으로 결정하였다.

위원회의 신계획 수립 준비중에 「모든 사용후연료의 재처리」, 「부분적 재처리」, 「전량 직접 처분」, 「중간 저장」의 네 가지 기본 시나리오가 설정되었다.

이러한 시나리오들에 근거하여, 원전 연료 주기를 수행하는 수단이 경제적 효율성, 에너지 안보, 환경적합성 등 다양한 관점에서 포괄적으로 평가되었다.

위원회의 요청에 따라, 2004년 6월 설립된 기술평가분과위원회(Technology Examination Subcommittee)가 직접 처분에 대한 비용 평가를 수행하였다. 앞으로 원전 연료 주기 각각의 시나리오에 대한 비용 평가가 이루어질 것이다.

3. 종말 처리를 위한 자원

일본은 전력 시장 자유화를 추진하고 있고, 50kW 이상 고객은 2005년부터 자유화의 영향을 받을 것이다.

전력 시장 자유화 범위가 확장됨에 따라, 경제/통상/산업 장관의 자문단인 전업위원회(Electricity Industry Committee)가 향후 40년간의 재처리를 위한 총 종말 처리 비용을 18조 8천억 엔으로 추정하

였다.

위원회는 또한 2004년 6월 종말 처리를 위한 재원을 보고서에 집계하였고, 이는 8월에 승인되었다.

보고서는 생산자와 소비자 간의 정당성의 관점에서 연료 주기 비용의 재원을 마련할 것과 계획의 초장기적인 전망과 계획의 불확실성 등을 고려하여 원자력 발전과 종말 처리 계획을 추진할 것을 제안하였다.

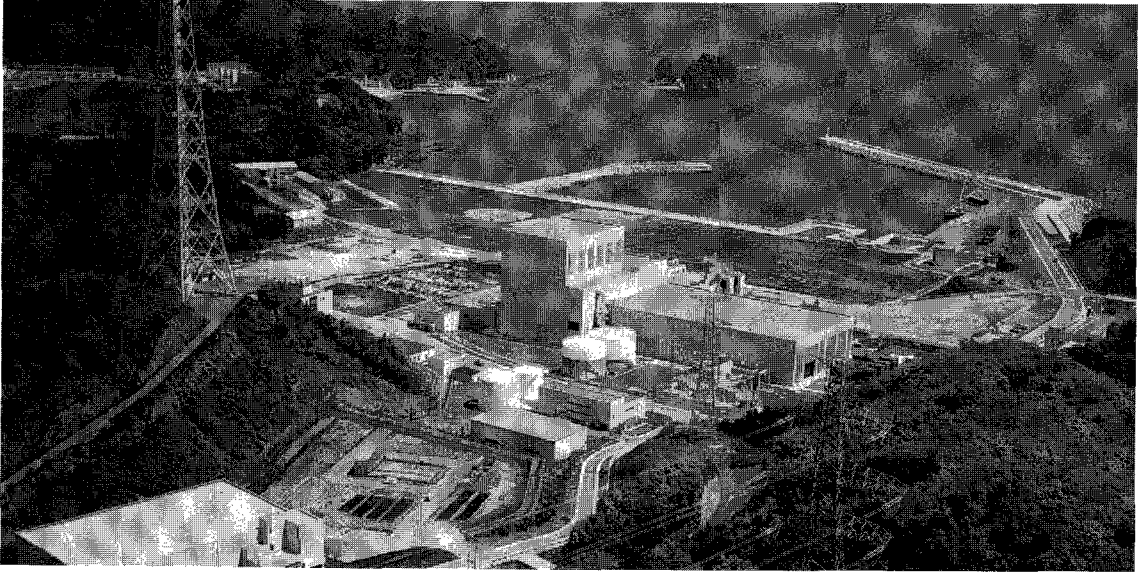
고준위 방사성 폐기물의 처분 비용 2조 6천억 엔은 전력사의 고객으로부터 비축된 재원으로 충당된다. 지금까지 생산된 전기에 대한 재처리 비용인 3조3천억엔도 재처리 분담금으로 지불되어 왔고, 전력사¹⁾는 외부에 적립하여야 한다. 그러나 앞으로 생산할 전력량을 고려하면 4조2천억엔²⁾을 외부에 적립하여야 한다.

현재 8조 7천억 엔에 대한 적립 시스템은 없다. 이 보고서에 따르면, 재처리시설의 해체 비용으로 대략 5조천억엔이 새로이 조성되어 외부 기관에 적립될 것이다.

비용 중 2조7천억엔은 이미 전력 생산에 사용되었으나 적립되지 않은 것에 대한 비용으로 자유화 이후에 전력사 고객뿐 아니라 wheeling 시스템을 통해 PPS로부터 전

1) 내부 적립의 투명성과 안전성을 보증하기 위해 15년마다 외부 적립 기관에 위탁하는 것이 적절하다고 여겨지고 있다

2) 이 비용은 재처리가 필요한 사용후연료의 양을 고려하여 향후 40년간 전기 수요자로부터 수집될 것이다.



오나가와(女川) 원전

기를 받는 수용가들이 부담하도록 하는 것이 적절할 것으로 보인다.

이는 공정한 경쟁과 수혜자를 분명히 하기 위한 것이다. 비용은 다음 15년 안에 외부 기관에 적립될 것이다.

2조4천억엔은 앞으로 생산될 전력에 대한 부분으로 재처리가 필요한 연료의 양을 고려해서 다음 40년간 전력사의 고객들이 부담하게 되며, 외부에 적립될 것이다.

반면, MOX 연료 제작과 관련된 3조7천억엔의 비용은 선불 비용을 포함하는 것이 적절하며, 현재의 재원에서 제외되었다.

이 보고서의 이슈에 대하여 구체화 작업은 2004 회계 연도 말까지 완료하는 것을 목표로 삼고 있다.

결론

최근 풍력이나 태양광 등의 새로운 에너지원을 이용한 전력 생산이 사람들 사이에 희망으로 대두되고 있다. 그러나 그러한 에너지원은 생산량이나 공급 신뢰도를 고려했을 때 핵심 에너지원이 되기는 어려울 것이다.

원자력 관련자뿐 아니라 정부 조직도 원자력 에너지가 미래에도 핵심 에너지원의 역할을 담당할 것이라는 데 충분히 동의하고 있다.

원전 연료 주기는 원자력 에너지 장기 계획을 준비하는 동안 논의될 것이다.

그러나 우라늄 자원의 이용 효율 측면에서 원전 연료 주기의 구축은

의무 사항으로 여겨지고 있다.

또한 전력 시장 자유화 흐름 속에서 원자력 에너지가 어떤 위치를 가질지는 전력 회사가 반드시 대답해야 하는 중요한 문제이다.

종말 처리 계획을 위한 재원 마련 정책이 있음에도 불구하고, 이용률은 증가해야만 하고, 시장 경쟁 체제에서 원자력 발전이 살아남기 위해서는 장주기 운전을 통한 비용 절감을 이루어야 한다.

당면한 문제를 다양한 분야의 숙고를 통해 해결하는 것이 우리의 희망이다. 이는 원자력 에너지를 더욱 더 이용하고 개발을 가능하게 할 것이다. ☞