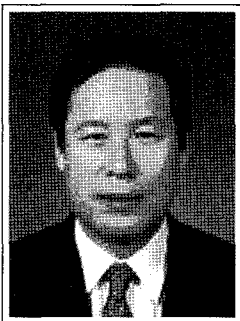


해외 주요국의 사용후핵연료 관리 정책 현황

윤 호 택

한국방사성폐기물관리공단 사업본부장



개요

원전의 운영 과정에서 발생하는 사용후핵연료를 어떻게 관리할 것인가의 문제는 전 세계 원전 운영 국가들의 공통된 주요 문제이다. 더욱이 전 세계적으로 원자력 발전 비중 확대 정책과 더불어 사용후핵연료 발생량도 급증하면서 이 문제는 더욱 크게 부각되고 있다.

국제원자력기구(IAEA)와 세계원자력협회(WNA)의 자료를 종합해 보면, 전 세계 사용후핵연료 누적 발생량은 약 290,000톤에 이르고 있다[1, 2]. 연간 발생량은 약 12,000톤이고 이 중 25%인 약 3,000톤이 재처리되고 있다[3]. 향후 사용후핵연료 누적 발생량은 2010년 340,000톤을 넘어서고, 2020년에는 445,000톤에 이를 것으로 추정된다[1].

각국의 사용후핵연료 관리 정

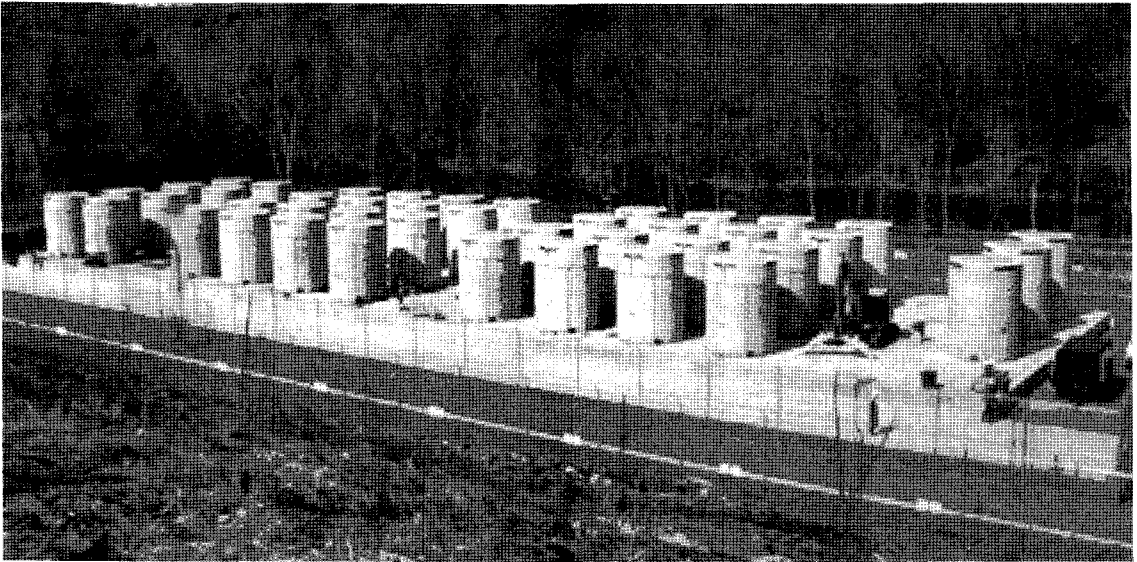
책은 재처리/재활용에서부터 직접 처분에 이르기까지 다양하다. 이는 사용후핵연료에 대한 인식이 국가별로 다르다는 것을 의미하는 것으로, 어떤 나라는 사용후핵연료를 자원으로 인식하는가 하면, 또 어떤 나라는 사용후핵연료를 폐기물로 간주한다는 것을 의미한다.

일부 국가는 수십 년 동안 사용후핵연료를 저장 관리하는 이른바 ‘관망 정책(Wait and See Policy)’을 채택하고 있다.

전략적 및 경제적 관점과 안전성 및 안보상의 관점에서 볼 때 사용후핵연료 관리 문제는 원자력 발전의 미래를 결정짓는 주요 이슈지만, 아직 많은 나라들이 여러 가지 이유로 이에 대한 정책을 결정짓지 못하고 있다. 우리나라도 아직까지 사용후핵연료 관리 정책을 결정하지 못하고 있다.

본고에서는 세계 주요국의 사용후핵연료 관리 정책 현황 및 동

한양대 전기공학과 졸업
한국전력 입사(1975)
미국 웨스팅하우스사 해외 연수
울진원자력건설소 공정관리부장, 캐나다
터론토사무소 기술담당부장, 사업처
신월성1,2 사업관리실장, 신고리건설소
장, 방폐물기술처장 역임



미국 Connecticut Yankee 원전의 사용후핵연료 저장 시설

향을 살펴봄으로써 향후 우리나라의 사용후핵연료 정책 결정시 기초 자료로 활용될 수 있도록 하였다.

미국

미국은 2009년 3월 현재 104기의 원전을 운영하면서 전체 전력의 19.4%를 공급하고 있다. 설비 용량은 1억606만kW로, 세계에서 가장 많은 원전 설비를 보유하고 있다.

미국의 경우 1979년 TMI 사고 이후 30년 동안 신규 원전 건설이 이루어지지 않고 있다. 그러나 운전중인 원전의 출력 증강으로 500만kW의 설비 증강 효과를 보았으며, 2007년 후반부터 2008년 말까지의 기간 중에 26기의 신규 원전이 건설/운영 통합인허가(COL)를 신청한 상태에 있다. 또한 2016년경까지 4~6기의 신규 원전 운영을 목표로 하고 있다 [4].

1. 사용후핵연료 관리 정책

미국은 1974년 인도의 핵무기 실험에 따른 핵확산 문제로 1977년 카터 대통령이 미국 내 모든 상업용 재처리 활동을 중단한다는 선언으로 사용후핵연료를 직접 처분하는 비순환 핵연료주기 정책을 추진하고 있다.

사용후핵연료 직접 처분 사업 주체는 에너지부(DOE)의 민간 폐기물관리국(OCRWM)이며, 원자력 발전 회사들은 사용후핵연료 처분비로 1mill(0.1cent)/kWh의 기금을 DOE에 납부할 의무를 지고 있다. 매년 적립되는 기금 액수는 약 7억 5,000만 달러인 것으로 알려지고 있다.

한편 DOE가 처분을 위해 사용후핵연료를 인도받을 때까지 이를 관리하는 일은 발전 회사의 책임으로 하고 있다.

2. 사용후핵연료 저장

현재 미국에는 104기의 원자가 운영 허가를 받은 상태이다.

여기에서 발생하는 사용후핵연료는 원전 부지 내의 저장 수조나 독립된 저장 시설(ISFSI)에서 저장 관리되고 있다.

발전 사업자들은 당초 고준위 폐기물 처분 사업 책임자인 DOE와 1998년부터 사용후핵연료를 DOE에 인도하기로 계약을 맺었다. 그러나 DOE가 이행을 하지 못함에 따라 발전 사업자들은 저장 시설 확충 등 별도의 대책을 강구하고 있는 중이다.

2008년 현재 상업용 원전에서 발생한 사용후핵연료 누적 발생량은 58,000톤에 이르고 있으며, 매년 2,500톤이 발생되고 있다[3].

현재 건설 저장 시설(ISFSI)을 40개 부지에서 운영하면서 10,500톤을 저장 중에 있다. 저장 캐스크 수는 877개에 이른다. 또한 향후 2017년까지 66개 부지에서 22,300톤을 추가로 저장해야 할 것으로 예상되고 있다. 저장 캐스크 수는 2,000개에 이른다[5].

8개 전력회사들로 구성된 컨소시엄인 Private Fuel Storage



LLC (PFS)는 유타주에 40,000톤 규모의 중앙 집중 독립 저장 시설 건설을 추진하여 2006년 1월에 원자력규제위원회(NRC)로부터 건설 인허가를 받았으나 유타주의 반대로 중단되었다.

3. 사용후핵연료 처분

네바다 주의 유타마운틴은 1987년 개정 방사성폐기물정책법에 고준위폐기물 처분장 후보지로 지정된 후 2002년 대통령 및 의회의 승인을 통해 최종 처분부지로 선정되었다.

2008년 6월에 NRC에 건설 인허가를 신청하였으나, 2009년 오바마 행정부가 들어서면서 건설 추진에 필요한 예산을 삭감함으로써 사실상 유타마운틴 프로젝트는 백지화 수준으로 들어갔다 고 볼 수 있다.

한편 유타마운틴의 처분 용량은 제2처분장이 운영될 때까지 70,000톤으로 한정하는 것으로 법에 규정되어 있다. DOE는 제2처분장의 필요성에 대하여 2007년부터 2010년 사이에 의회에 보고서를 제출해야 한다.

유타마운틴에 처분될 폐기물은 상업용 원전에서 발생된 사용후핵연료 63,000톤, 국방 및 DOE 시설에서 발생된 사용후핵연료 2,333톤과 고준위폐기물 4,667톤이다. 그러나 2008년 기준으로 약 58,000톤의 민간 사용후핵연료와 약 12,800톤의 정부 소유의 사용후핵연료 및 고준위폐기물이 처분을 기다리고 있다. 즉,

지금까지 발생된 사용후핵연료 및 고준위폐기물만 해도 벌써 유타마운틴 처분장의 법적 용량을 초과한 상태이다[3].

DOE의 Steven Chu 장관은 Blue Ribbon 위원회를 구성하여 저장·처분·재처리 등 사용후핵연료 관리 방안 전반에 대해 심층 검토를 추진하여 내년에 최종 정책을 결정지를 계획이라고 말했다[6].

4. 재처리 / 재순환

미국은 지난 1970년대에 핵확산 문제로 인해 상업용 재처리 및 재활용 정책을 포기한 바 있다. 1960년대 및 1970년대 초반까지 여러 기업이 재처리 사업을 계획했고 일부는 실제로 부분적인 조업에 들어간 상태였으나, 1977년에 카터 정부의 국내 재처리 금지정책에 따라 사업은 중단되었다. 1981년 레이건 대통령이 재처리 금지 정책을 철회했으나 아직까지 상업용 재처리는 재개되지 않고 있다.

부시 행정부는 2006년 초 GNEP (Global Nuclear Energy Partnership) 프로그램을 통해서 재활용 정책으로 선회하려 했으나, 오바마 행정부가 예산을 삭감함에 따라 사업 추진은 사실상 중단되었고 지금은 관련 연구 개발 활동만 수행되고 있다.

한편 2007년 8월에 군사용 잉여 플루토늄을 이용하여 미국의 상업용 원자로에 사용할 수 있는 혼합핵연료(MOX) 제조 시설인

MOX Fuel Fabrication Facility (MFFF)를 건설하기 시작했다. 이 시설의 건설은 DOE의 National Nuclear Security Administration (NNSA)가 추진하고 있는데, 시설 용량은 최소 34톤의 플루토늄을 처리할 수 있는 규모이다.

프랑스

프랑스는 2009년 3월 현재 58기의 경수로(PWR)와 1기의 고속중식로(FBR) 등 총 59기의 원전을 운영하면서 전체 전력의 76.9%를 공급하고 있다. 운전중인 원전의 설비 용량은 6,602만 kW로, 세계 제2위의 원전 설비 보유국이다.

프랑스는 2020년경에 모든 원전을 제3세대 원전인 EPR 체제로, 그리고 2030/2040년대에는 제4세대(Gen-IV) 원전 체제로 이행한다는 야심찬 계획을 갖고 있다[4].

1. 사용후핵연료 관리 정책

프랑스는 원자력 사업 초기부터 재처리/재순환, 즉 순환 핵연료주기 정책을 추진하고 있다. 현재 상용 규모의 재처리 시설과 혼합(MOX) 핵연료 제조 시설을 운영하면서 국내는 물론 해외에까지 물량을 공급하고 있다.

2006년 말 현재 약 22,700톤의 경수로 사용후핵연료와 약 18,000톤의 가스냉각로 사용후핵연료를 재처리한 실적을 갖고 있다. 유럽 지역에서 생산된 총 2,200톤의



프랑스의 라하그(La Hague) 재처리시설 단지

MOX 연료 중에서 약 2/3가 프랑스에서 제조된 것이다.

2. 재처리 및 재활용

전력 회사인 EdF는 원전에서 발생하는 연간 1,200톤의 사용후 핵연료 중에서 850톤을 재처리 시설로 보내고, 나머지는 향후 제 4세대(Gen-IV) 원자로에 필요한 플루토늄 공급에 대비하여 저장하고 있다.

프랑스의 핵연료주기 회사인 아레바(Areva NP)는 매년 850톤의 사용후핵연료를 재처리하여 약 8.5톤의 플루토늄과 810톤의 우라늄을 회수하고 있다.

플루토늄은 곧바로 Marcoule 인근에 있는 연간 195톤 처리 규모의 Melox 시설로 옮겨져 100톤의 혼합핵연료(MOX)를 만드는데 이용되고 있다. 이 MOX 연료는 EdF 소유의 900MWe급 원자로 22기에 공급되고 있다.

사용후핵연료를 재처리해서 회수한 우라늄은 Pierrelatte에 있는 Comurhex 시설로 보내진다.

이 시설은 농축을 위해 UF₆ 형태로 만드는 변환 시설로 이 시설에서 농축된 UF₆는 Areva NP가 소유하고 있는 FBFC Romans 시설(처리 용량: 150톤/년)로 옮겨져 UO₂ 연료로 만들어진다.

이렇게 만들어진 회수 우라늄 연료는 1980년대 중반부터 900MWe급의 Cruas 원전 2기에서 이용되고 있다. 이 회수 우라늄은 일종의 전략적 에너지 자원으로서 천연 우라늄 시장 가격이 어떻게 변하느냐에 따라 활용 여부를 결정할 계획이다.

한편 1990년대에 운영을 시작한 La Hague 시설은 최소 40년을 운영할 수 있도록 설계된 시설로서 그동안 지속적인 개량 및 보수 작업으로 Gen-IV 도입 예상 시기인 2040년까지 운영이 가능할 것으로 예상되고 있다.

방사성폐기물과 관련된 연구 개발에는 핵종 분리 및 변환에 관한 내용을 포함하고 있다. 핵종 변환의 타당성 확인을 위해 실험실 규모의 평가 작업이 이루어져 왔으며, 산업적 규모의 평가 작업

은 현재 진행중에 있다.

3. 고준위폐기물 처분

1991년 12월 관련법에 의해 3가지의 고준위폐기물 관리 대안, 즉 장수명 핵종의 분리 및 소멸 처리(P&T), 장기 지표 저장, 그리고 심지층 처분에 대한 연구가 15년 동안 수행되었으며, 연구 결과를 반영한 고준위폐기물 관리 방안이 2006년 6월 28일에 발효된 「방사성 물질/폐기물의 지속 가능한 관리에 관한 법」에 규정되었다.

법률에는 3가지 관리 방안에 대한 로드맵(National Plan for the Management of Radioactive Materials and Waste)이 포함되어 있다[3, 7].

로드맵은 첫째, 차세대 원자로를 이용한 장수명 핵종의 분리 및 소멸처리에 관한 조사 연구를 수행하여 2012년까지 산업화 전망 평가 및 가능할 경우 2020년까지 원형설비를 가동하고, 둘째, 회수 가능한 심지층 처분장 건설을 추

진하여 2015년 인허가 신청 및 2025년 운영 목표로 추진하며, 셋째, 장기 지표 저장을 위한 시설을 2015년까지 건설한다는 것이다. 이 계획은 매 3년마다 재검토(updating)하도록 되어 있다.

일본

일본은 1973년 이래 원자력 발전을 국가 전략 차원에서 적극적으로 추진하고 있다. 현재 55기의 원전을 운영하면서 전체 전력의 27.5%를 공급하고 있다. 운영 중인 원전의 설비 용량은 4,958만kW로, 세계 3위의 원전 설비 보유국이다. 현재 3기가 건설 중에 있고, 10기가 건설 준비 중에 있다[4].

1. 사용후핵연료 관리 정책

일본은 모든 사용후핵연료를 재처리하는 순환 핵연료주기 정책을 추진하고 있으며, 완전한 핵연료주기 기술 자립을 추구하고 있다.

일본은 1956년 이래 수입 우라늄의 이용도를 최대화한다는 정책하에 재처리를 통해 얻어진 우라늄과 플루토늄을 MOX 연료로 순환함으로써 우라늄 자원을 25~30% 절감하는 전략을 추진하고 있다.

일본은 2005년 10월 후행 핵연료주기에 관한 법률에 의거하여 '방사성폐기물관리기금 및 연구센터(RWMC)'가 사용후핵연료 기금 관리를 위한 독립 기구로

발족되었다. 이에 따라 원자력 발전 회사들은 사용후핵연료에 관한 모든 권한을 RWMC에 이양하고, 재처리에 필요한 비용을 납부해야 한다.

또한 일본의 원자력 규제 요건에 따르면 원자력 발전 회사들은 원자로에 핵연료를 장전하기 전에 발생될 사용후핵연료를 재처리한다는 확약서를 제출하도록 되어 있다. 아울러 원자로에서 발생된 사용후핵연료가 원자로 부지에서 재처리시설로 운반될 것이라는 사실을 지자체에 알려야 한다.

따라서 원자력 발전 회사에게는 재처리 계약서에 서명을 하는 방법 외에는 달리 선택의 길이 없도록 하고 있다.

2. 재처리 및 재순환

일본은 1970년대부터 프랑스의 COGEMA(현 AREVA) 및 영국의 BNFL과 장기 계약을 맺어 최근까지 약 7,000톤의 사용후핵연료를 La Hague(UP3) 및 Sellafield(THORP)에서 재처리해 왔다.

1980년대에 일본의 원자력 발전 회사들은 '일본핵연료주식회사(JNFL)'를 공동 설립하여 로카쇼 지역에 연 800톤 처리 규모의 재처리시설을 건설하기로 결정했다.

2006년 3월 31일에 로카쇼 재처리시설의 액티브 테스트가 시작되었으며, 2008년 2월부터 운영을 시작할 계획이었으나 문제

점 발생으로 현재까지 지연되고 있다. 최근의 발표로는 2010년 10월경 본격 가동을 시작할 계획이다[8].

일본의 원자력 발전 회사들은 유럽에 남아 있는 37.9톤을 포함하여 모든 플루토늄을 재순환할 계획을 갖고 있다.

공식적으로는 전력회사연합(FEPCO)이 2010년까지 16개 원전에 MOX 연료를 이용하는 계획을 추진하고 있다. MOX 프로그램은 장려하기 위하여 경제산업성(METI)은 MOX 프로그램을 수용하는 지방정부에 대하여 재정적 인센티브를 제공하기로 결정했다. 그러나 아직까지 MOX 연료 이용에 대한 우려의 소리가 높아지면서 '플루서멀' 프로그램의 이행이 늦어지고 있다.

일본은 2005년 말 현재 42.5톤의 플루토늄을 보유하고 있는데 4.6톤은 일본에, 나머지는 프랑스와 영국에 있다. 일본에 있는 플루토늄의 대부분은 도카이(Tokai)에 있는 파일럿 규모의 재처리시설에서 생산된 것이다.

설계 용량 연 90톤 처리 규모의 도카이 재처리시설은 1977년부터 매년 평균 40톤의 사용후핵연료를 재처리하면서 지금까지 약 1,100톤을 처리하여 왔다. 현재는 주로 연구 개발 목적으로 활용되고 있다.

일본의 JNFL은 로카쇼 재처리시설에서 생산되는 Pu-U 혼합물을 MOX 연료로 만들기 위한 연 130톤 처리 규모의 MOX 연료 제조 시설을 건설중에 있다. 프랑스

AREVA의 기술에 의해 건설되고 있는 이 시설의 건설 비용은 12억 달러로 예상되고 있으며, 2012년 경 조업에 들어갈 예정이다.

3. 고준위폐기물 처분

1995년에 1,440개의 캐니스터를 저장할 수 있는 고준위폐기물 저장센터가 로카쇼에서 운영을 시작했다. 그 해에 프랑스에서 위탁 재처리 반환 폐기물이 처음으로 도착하여 저장에 들어갔다. 프랑스에서 반환되는 고준위폐기물의 마지막 분은 2007년에 들어왔다. 영국에서 발생된 폐기물은 총 850개의 캐니스터로 2009년부터 반환될 예정이다. 2008년 말 현재 프랑스에서 반환된 1,310개의 캐니스터가 저장되어 있다 [9].

2000년 5월에 일본 의회는 '특정 방사성폐기물의 최종처분에 관한 법'을 통과시켰다. 이 법은 사용후핵연료 재처리 과정에서 발생하는 고준위폐기물을 유리화하여 심지층 처분을 하도록 규정하고 있다. 2020년까지 약 40,000 캐니스터의 고준위 유리화 폐기물이 만들어질 것으로 예상되고 있다.

2000년 10월에 '방사성폐기물 관리기구(NUMO)'가 설립되어 일본의 고준위폐기물 처분 사업을 추진하고 있다. NUMO는 부지 선정, 기술실증, 인허가, 처분장 건설 및 운영 등을 수행하도록 되어 있다.

처분장은 폐쇄하기 전까지 50

년 동안 회수 가능한 저장 시설(monitored retrievable storage)의 개념으로 설계 및 운영된다. 처분장 건설 및 운영에 들어가는 총소요 비용은 약 3조엔(약 280억 달러)으로 추정되고 있는데, 이 비용은 원자력 전력회사들로부터 0.2엔/kWh을 징수하여 조성되는 기금으로 충당되고 있다.

현재 Horonobe 및 Mizunami 두 지역에서 지하시험시설(URL)이 건설되고 있다[9].

러시아

2009년 3월 현재 현재 러시아는 27기의 원전을 운영하면서 전체 전력의 16.0%를 담당하고 있다. 총설비 용량은 2,319만kW로, 세계 4위의 원전 설비 보유국이다.

운전 중인 원전은 가압경수로형(WWER-440, WWER-1000)과 비등경수로(RBMK-1000) 외에 1기의 고속증식로(BN-600)도 있다. 러시아 정부는 가스 화력의 비중을 줄이는 대신에 원자력 발전 비중을 현재의 16%에서 2020년에는 25~30%까지 높일 계획이다.

이러한 목표 달성을 위해서는 약 30기의 신규 원전 건설이 필요하다. 현재 8기의 원전이 건설 중에 있다[4]. 또한 중국, 이란, 인도, 불가리아에서 7기의 러시아형 원전을 건설 중에 있다.

1. 사용후핵연료 관리 정책

핵연료주기에 관한 국가 정책

은 우리나라를 재순환하고 궁극적으로는 플루토늄을 고속로에 이용하는 것이다.

현재 연간 400톤 처리 규모의 RT-1 재처리시설을 운영중에 있고, 연간 1,500톤 처리 규모의 재처리시설을 2020년부터 운영한다는 목표 하에 건설을 추진중에 있다.

RT-1은 러시아형 경수로인 WWER-440형 원자로에서 발생하는 사용후핵연료를 재처리하고 있고, RT-2는 WWER-1000형 원자로에서 발생하는 사용후핵연료를 재처리할 계획이다.

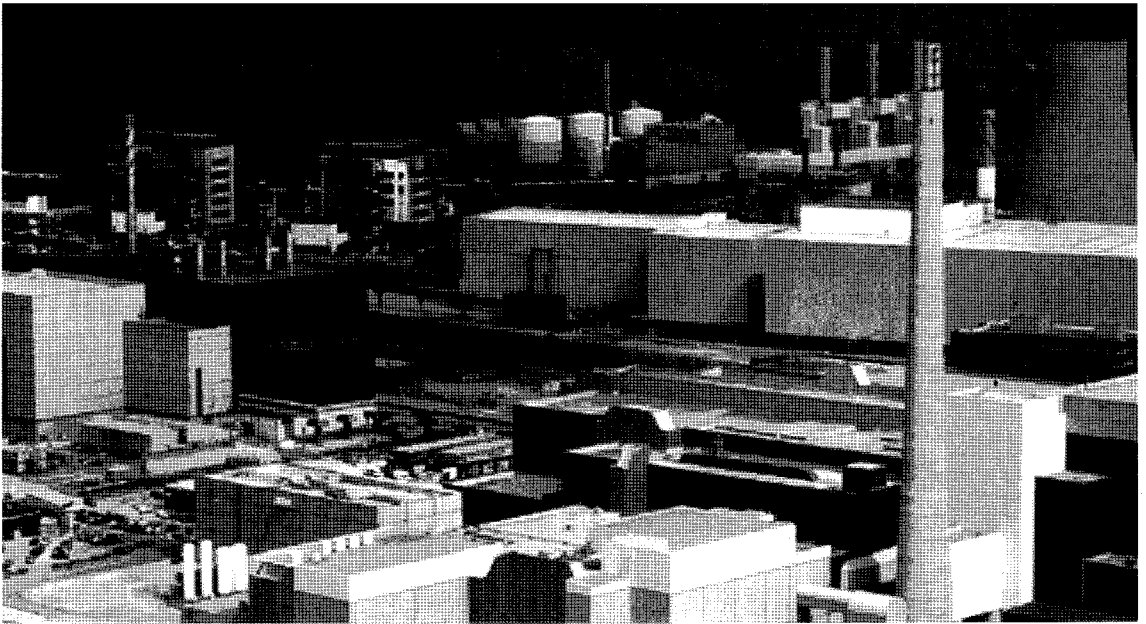
현재 흑연감속 비등경수로인 RBMK 및 러시아형 경수로인 WWER-1000 원자로에서 발생하는 사용후핵연료는 재처리하지 않고 중간 저장중에 있다.

2. 재처리 및 재순환

러시아형 경수로인 WWER-440 원자로와 고속로인 BN-600 원자로(고농축 우라늄을 연료로 사용), 그리고 군사용 원자로에서 발생하는 사용후핵연료는 현재 우랄 지역의 Ozersk에 있는 Mayak RT-1 시설에서 재처리되고 있다.

RT-1 시설은 1971년부터 운영을 시작했다. 공정은 Purex법이며, 현재 시설 용량의 1/3 정도만 가동되고 있다. 재처리 과정에서 발생하는 고준위폐기물은 유리화 후 저장 시설로 보내지고 있다.

경수로형인 WWER-1000 원자로에서 발생하는 사용후핵연료



영국의 혼합핵연료(MOX) 제조 공장

영국

는 원전부지 내에서 3~5년 저장 후 Zhelenzogorsk에 있는 Mining and Chemical Enterprise 부지 내의 습식 저장 시설(XOT-1)로 옮겨 관리되고 있다.

한편 외국 국가로는 현재 불가리아와 우크라이나 2개 국가만이 러시아에 재처리를 위탁하고 있다. 핀란드는 1996년에 중단했고 구 동독은 1990년에 중단했다. 헝가리는 1999년에 재처리 대신 저장을 국가 정책으로 결정한 후 재처리를 중단했다[10].

러시아는 최근 RT-1 재처리 시설을 업그레이드하여 WWER-1000 원자로에서 발생하는 사용후핵연료도 처리할 수 있도록 하였다. 또한 2020년 가동 목표로 연간 1,500톤 처리 규모의 RT-2 재처리시설 건설을 추진중이다.

재처리에서 추출된 우라늄은 흑연감속 비동경수로인 RBMK 원자로의 연료 제조에 이용되고 있으며, 플루토늄은 보관 관리하고 있다. 2007년 말 현재 44.9톤의 플루토늄이 생산되어 보관 중

에 있다[11].

이 플루토늄은 Gen-IV 원자로의 연료 제조에 이용한다는 것이 러시아의 정책이다. 파일럿 규모의 MOX 연료 제조 시설이 Mayak에서 운영 중에 있다.

3. 고준위폐기물 처분과 국제핵연료주기서비스센터(INFCC)

러시아는 Kola 반도에 고준위 폐기물 처분장 부지를 선정하기 위한 작업을 진행하고 있다.

한편 러시아는 2006년 1월 유라시아공동체 회의에서 푸틴 대통령이 핵확산 위험 저감과 원자력 에너지 혜택 제공을 목적으로 러시아 내에 국제핵연료주기서비스센터(International Nuclear Fuel Cycle Center; INFCC) 설립을 제안했다.

INFCC는 우라늄 농축, 핵연료 가공, 사용후핵연료 재처리 등 핵연료주기 전반에 대한 서비스 제공을 목표로 하고 있다. 그러나 고준위폐기물 처분까지 포함되는지에 대해서는 명확하지 않다[12].

영국은 2009년 3월 현재 19기의 원전을 운영하면서 전체 전력의 15.1%를 공급하고 있다. 운전 중인 원전의 설비 용량은 1,195만kW로, 세계 9위의 원전 설비 보유국이다.

유일한 경수로(PWR)인 Sizewell B 원전을 제외한 나머지 가스냉각로형 원전들이 2023년경 폐쇄될 예정이어서 운영 원전의 기수가 감소될 전망이다[4].

1. 사용후연료 관리 정책

영국은 사용후핵연료를 재처리할지 아니면 직접 처분할지에 대한 정책결정 권한이 사용후핵연료 소유자인 원자력 발전 사업자들에게 있다. 과거에는 Magnox 연료를 재처리하여 얻어진 회수 우라늄을 재농축한 후 AGR 원자로에 재순환한 바 있다.

그러나 플루토늄 재순환에 대한 경제성 문제로 현재 AGR 연료는 재활용하지 않고 저장 관리

하고 있다. 향후 신규 원자로에서 발생하는 사용후핵연료를 재처리 및 재활용할 것인지에 대해서는 아직 정책이 결정되지 않았다.

2. 사용후핵연료 재처리 및 재순환

사용후핵연료는 현재 재처리를 위해 셀라필드로 보내지고 있다. 재처리 업무는 영국원자력그룹(BNG)이 원자력폐지청(NDA)의 위탁을 받아 셀라필드에서 수행하고 있다.

셀라필드에는 1964년에 운영을 시작한 연 1,500톤 처리 규모의 마그녹스 연료 재처리시설인 B205가 운영되고 있다. 이 시설은 모든 마그녹스 연료의 재처리가 끝나는 2012~2015년에 폐쇄될 예정이다. 마지막 마그녹스 원전이 될 Wylfa 원전은 2010년에 수명이 종료될 예정이다.

또한 셀라필드에는 1994년에 운영을 시작한 연 850톤 처리 규모의 산화연료 재처리시설인 Thorp가 운영되고 있다. 이 시설에서 주로 해외 고객을 위한 재처리를 수행하고 있으며, British Energy의 AGR 연료 2,117톤을 재처리한 경험이 있다.

이 시설은 질산에 용해된 사용후핵연료의 이동을 위한 설비에 결함이 생긴 것이 발견되어 2005년 4월에 운영이 정지되었다. 2007년 초에 재가동을 위한 준비가 완료되어 2008년 3월 16일 재가동 승인을 받았다.

현재 영국에 있는 사용후핵연료는 주로 마그녹스, AGR, PWR

연료이며, 그 외에 시험용 원자로에서 발생한 사용후핵연료 등 종류가 다양하다. Thorp에는 외국에서 위탁 재처리를 주문해온 800~1,000톤의 경수로 사용후핵연료가 있다.

마그녹스 사용후핵연료는 특성상 오랜 기간을 저장할 수 없기 때문에 B205 시설에서 곧바로 재처리된다. AGR 사용후핵연료는 약 100일 동안 저장수조에 저장된 후 철도를 이용해 셀라필드 재처리시설로 운반되는데, 5,000톤의 계약 물량 중 2,200톤 정도가 재처리되었다.

Sizewell B 원전에서 발생하는 PWR 사용후핵연료는 현재 원전 저장수조에서 저장 관리되고 있다. 누적 발생량은 1,200톤에 이르고 있다.

한편, Thorp와 위탁 재처리 계약을 맺은 외국의 전력 회사들은 추출된 플루토늄을 셀라필드에 있는 MOX 연료 제조 시설인 SMP에서 MOX 연료로 제조할 계획을 갖고 있다.

2001년에 운영을 시작한 SMP는 설계 용량이 연 120톤 처리 규모이나 처리 실적은 매우 저조한 상태이다. 2007년의 경우 겨우 2.6톤만을 제조한 상태로, 시설 소유자인 NDA는 앞으로도 연간 수 톤 이상 대규모로 제조하지는 않을 계획이다.

3. 고준위폐기물 처분

1979년에 고준위폐기물 처분 부지를 찾기 위하여 스코틀랜드의

에어셔(Ayresshire) 지역에서 시추공 굴착 작업을 하던 중 지역 주민들의 심한 반대에 부딪혀 조사가 중단되었다. 그 후 수 차례에 걸쳐 부지 확보를 시도하였으나 지역 주민 반대에 부딪혀 사업은 계속 어려움에 처했다. 이런 어려움은 20년 가까이 계속되었다.

영국 상원의 과학기술위원회는 1997년 심도 있는 검토를 수행한 끝에 1999년 고준위폐기물 처분을 위해서는 국민 수용성이 필요하다는 요지의 연구 결론을 정부에 권고하였다.

이에 따라 영국 정부는 2001년 공론화 추진을 골자로 하는 '방사성폐기물의 안전관리(Managing Radioactive Waste Safely)'라는 정책백서를 발간했다. 2003년 11월에는 정책백서에 따라 공론화를 위한 독립기구인 '방사성폐기물관리위원회(Committee on Radioactive Waste Management, CoRWM)'가 발족되었다.

환경, 보건, 사회, 경제, 윤리 등 12명의 각 분야 전문가들로 구성된 공론화위원회는 2003년 11월부터 2006년 7월까지 30개월에 걸쳐 일반 국민, 지역 주민, 각계각층의 대표들을 대상으로 고준위폐기물의 처분 방식, 부지 선정 절차, 지역 지원, 적정한 사업 수행 기관 등에 대해서 광범위한 논의를 거쳤다.

공개성·대표성·투명성·공정성·효율성 등을 기본 원칙으로 하여 각종 포럼, 원탁회의, 시민패널, 공개회의, 인터뷰, 홈페이지 운영 등 다양한 참여 방법으로

국민들의 의견을 수렴해 나갔다.

총 14가지의 고준위폐기물 처분 방안에 대해 안전성, 실행 가능성, 환경, 미래 세대에 대한 부담 등 총 9가지 평가 기준을 적용하여 “장기적으로 고준위폐기물은 심지층 처분이 최선의 방법이다”, “부지 선정은 지역의 자발적 참여에 의한 방식으로 추진하고, 지역과의 협력적 파트너십을 구축하도록 한다”는 등의 결론을 도출하였다.

이와 같은 내용을 요지로 하는 권고보고서가 작성되어 정부에 전달되었고, 정부는 이를 받아들여 정책으로 확정했다. 현재 2개 이상의 지역에서 고준위폐기물 처분장 유치에 관심을 갖고 있는 것으로 알려지고 있다[13].

독 일

독일은 2009년 3월 현재 17기의 원전을 운영하면서 전체 전력의 27.3%를 공급하고 있다. 운영 중인 원전의 설비 용량은 2,137만kW로, 세계 5위의 원전 설비 보유국이다.

2002년 4월에 발효된 원자력법에 운영 중인 원전의 수명을 32년으로 제한하는 규정을 둠으로써 독일의 모든 원전은 2021년까지 단계적으로 폐쇄되어야 한다. 그러나 지난 9월 27일 실시된 독일 총선 결과 중도우파의 승리 및 보수연정 출범으로 원자력 정책 변화가 예상되고 있다[14].

1. 사용후연료 관리 정책

독일은 1994년까지는 모든 사용후핵연료를 재처리하도록 규정하고 있었다. 그 후 1994년부터 1998년까지는 재처리와 직접 처분 옵션 2가지 모두 선택 가능한 것으로 변경됐다.

그러나 1998년에 좌파 연립정권이 들어서면서 원자력의 단계적 폐지 정책이 채택되었고, 2005년부터는 사용후핵연료 재처리 금지 및 직접 처분 정책이 채택되었다.

2. 재처리 및 재활용

패전 국가의 입장에 있던 독일은 핵물리와 핵화학 등 원자력 개발에 필요한 기반이 구축되어 있어 핵연료주기 기술 자립을 통한 국가 부흥이라는 전략을 추진하였다[10].

이러한 전략에 따라 독일은 Karlsruhe에 연간 35톤 처리 규모의 WAK 재처리시설을 건설하여 1971년부터 운영을 시작하였다. 독일은 WAK 운영 경험을 바탕으로 대규모 재처리시설 건설을 추진하였다.

그러나 플루토늄을 연료로 하는 고속로의 도입 지연과 반핵 단체의 반대 등으로 재처리시설 건설을 포기하고, 대신 그 대안으로 영국과 프랑스에 위탁 재처리를 추진하였다.

그러나 2005년 사용후핵연료 직접처분 정책으로 전환함에 따라 재처리는 2005년 6월 30일까

지 프랑스 및 영국에 도착된 사용후핵연료로 한정하고 있다.

3. 고준위폐기물 처분

독일 정부는 2035년경 사용후핵연료를 포함한 모든 종류의 폐기물을 처분할 수 있는 심지층 처분장을 운영할 계획을 가지고 있다. 지난 2000년까지는 Gorleben 암염이 발열성 폐기물의 처분장으로서 적합하지 여부에 대하여 조사를 해왔다. 그러다가 이후 3~10년 동안 조사를 중단한다는 모라토리엄이 내려져 현재 조사가 중단된 상태에 있다. 그러나 최근 조사 재개에 대한 논의가 이루어지고 있다[15].

해외 위탁 재처리 과정에서 발생된 고준위 유리화 폐기물은 2022년까지 독일로 반환될 예정인데, 현재 프랑스에서 반환된 39개의 유리고화체가 Gorleben에 저장되어 있다.

한편, 현재 원전에서 발생하는 사용후핵연료는 발전소 부지 내 저장 시설이나 발전 회사들이 공동 투자로 건설한 Ahaus 및 Gorleben 소외 중간 저장 시설에서 관리되고 있다.

결 론

원전을 운영하고 있는 31개 국가 중 현재 재활용 정책을 채택한 국가는 9개, 직접 처분 정책을 채택한 국가는 14개, 아직까지 정책을 결정하지 못하고 발전소 부지 내 또는 발전소 부지 외의 지

장 시설에서 저장 관리하고 있는 국가는 8개국이다.

본고에서는 이 중 대규모 원전 설비를 운영하고 있는 미국, 프랑스, 일본, 러시아, 영국, 독일 등 6개국에 대해서 사용후핵연료 관리 정책을 살펴보았다.

이들 국가 중 프랑스, 영국, 일본, 러시아 4개국은 사용후핵연료를 재처리/재활용하는 정책을 채택하고 있고, 미국과 독일은 직접 처분 정책을 추진하고 있다.

미국은 직접 처분 정책을 채택하여 네바다 주 유카마운틴에 처분장 건설을 추진해 왔으나 2009년 오바마 행정부가 관련 예산을 삭감함으로써 사실상 백지화 수준으로 들어갔다고 보고 있다. DOE의 Steven Chu 장관은 Blue Ribbon 위원회를 구성하여 저장·처분·재처리 등 사용후핵연료 관리방안 전반에 대해 심층 검토를 추진하여 내년에 최종 정책을 결정하겠다는 계획이다.


독일은 9월 27일 실시된 독일 총선 결과 중도우파의 승리 및 보수연정 출범으로 원자력 정책 변화가 예상되고 있다. 원자력의 단계적 폐지 정책 철회 여부가 초미의 관심사로 대두되고 있다. 다만, 사용후핵연료 재처리 금지 정책 변화를 기대하는 것은 아직 시기상조인 것으로 보인다.

영국은 현재 사용후핵연료를 재처리하는 정책을 추진하고 있지만 신규 원전 건설이 이루어지지 않고 있을 뿐만 아니라 1994년에 운영을 시작한 Thorp 재처리시설의 안전성 문제로 인한 국

민적 논란으로 향후 재처리를 포기할 가능성이 예측되고 있다. 이는 사용후핵연료를 재처리할지 여부가 원자력 발전 사업자들의 상업적 판단에 따르도록 되어 있기 때문이다.

프랑스, 러시아, 일본은 현재의 사용후핵연료 재처리/재활용 정책을 계속 적극적으로 추진해 나갈 것으로 보인다.

우리나라는 아직까지 사용후핵연료 최종 관리 정책을 결정하지 못한 상태에 있다. 정부의 기본 방침은 국내외 기술 개발 추이를 고려하여 충분한 논의를 거쳐 국민적 공감대 하에 정책을 결정하겠다는 것이다.

사용후핵연료 문제가 고도의 기술적 및 전문적인 사안이라는 점을 감안하여 우선적으로 기술적 근거 자료 확보 및 전문가그룹 내 정책 방향의 공감대 형성이 시급한 과제이다. 

<참고 문헌>

1. IAEA, Operation and Maintenance of Spent Fuel Storage and Transportation Casks/Containers, IAEA-TECDOC-1532, 2007. 1.
2. World Nuclear News (<http://www.worldnuclear.org/info/inf69.html>).
3. World Nuclear News (<http://www.worldnuclear.org/info/inf04ap3.html>).
4. KAIF, “世界のの原子力発電の状況” (www.kaif.or.jp).
5. Marshall Cohen, Interim Storage of Used Fuel, 2008. 3.
6. NucNet, “US Commission To

Study Spent Fuel Management and Reprocessing”, 2009. 3. 13.

7. Marie-Claude Dupuis, “A first step towards the site selection is taken”, International conference on nuclear waste-experiences and challenges in eight countries, 2009. 5. 5.

8. World Nuclear News, “Rokkasho reprocessing plant delayed again”, 2009. 9. 8.

9. Harukuni Tanaka, “Nuclear Fuel Cycle Projects in Rokkasho for Sustainable Future”, ICAPP’09/2009. 5. 11, Tokyo.

10. Per Hogselius, Spent nuclear fuel policies in historical perspective: An international comparison, Energy Policy 37, 2009.

11. Pavel Podvig, Consolidating Fissile Materials in Russia’s Nuclear Complex, International Panel on Fissile Materials, 2009. 5.

12. 교육과학기술부, 제13차 한·러 원자력공동조정위원회(JCCAEC) 참가 자료, 2009. 9.

13. Defra, Managing Radioactive Waste Safely-A Framework for Implementing Geological Disposal, 2008. 6.

14. World Nuclear News, “Belgium postpones nuclear phase-out”, 2009.10.13

15. Enrique A. Biurrun, “Waste and nuclear power-now the issues have to be separated”, International conference on nuclear waste-Experiences and challenges in eight countries, 2009. 5.