

사용후 핵연료 정책의 분화의 국가별 특징

이은경, 박진희, 이정희, 김덕호

1. 들어가는 말

사용후 핵연료에서 플루토늄을 추출하는 재처리 기술은 제2차 세계대전 중 원자폭탄 원료를 확보하기 위해 개발되었다. 이후 1949년 미국 오크리지 국립연구소에서는 사용후 핵연료에서 우라늄과 플루토늄을 추출할 수 있는 습식재처리법인 퓨렉스(PUREX) 공법을 개발했다. 원자력 발전이 시작된 이래 사용후 핵연료 상업용 재처리에서는 주로 이 공법이 이용되고 있다.

미국, 영국, 프랑스, 독일은 원자력 발전 초기에는 유사하게 사용후 핵연료 재처리를 추진했으나 1970년대 이후 차이를 보이기 시작했고 1990년대를 지나면서 국가별로 다른 모습을 보였다. 퓨렉스 공법의 종주국인 미국에서는 카터 대통령 이후 상업 원자로에서 발생하는 사용후 핵연료 재처리를 금지하고 영구처분 정책으로 전환했다. 영국과 프랑스는 초기에는 독자적 핵무기 개발에 필요한 플루토늄 확보를 위해서, 그리고 상업 원자력 발전이 본격화한 이후에는 사용후 핵연료 처분과 장기적인 원자력 발전 연료 확보를 위해서 재처리 시설을 건설하고 운영해왔다. 프랑스는 사용후 핵연료의 재처리를 기본정책으로 유지하고 있고 영국은 재처리를 기본으로 하고 있으나 2020년대가 되면 중지될 전망이다. 독일에서는 시간이 지나면서 재처리 정책이 후퇴하여 1970년대에는 재처리와 영구처분의 병행, 2000년대에는 재처리 금지로 변화했다.

이 글에서는 위 4개 국가에서 사용후 핵연료 재처리 정책의 변화를 비교 관점에서 이해하고자 시도한다. 주요 거시적 배경에는 냉전과 탈냉전, 핵확산 금지조치와 같은 국제 정치, 환경운동, 국가별 특징을 보여주는 배경에는 에너지 수급 정책, 원자력 발전 산업 주체, 원자력 발전의 경제성 등이 포함된다. 다만 원자력 발전 레짐이나 사회문화적 맥락의 변화는 사용후 핵연료 정책 변화를 설명하기 위해 고려될 뿐 그 자체가 논의 대상은 아니다. 그러므로 불가피하게 각국 원자력 발전 레짐의 특성, 변화, 배경 요인들에 대한 논의가 단순화되는 한계를 가진다.

2. 1960년대 재처리 중심의 사용후 핵연료 정책 형성

1) 군사적 동기

제2차 세계대전 이후 영국과 프랑스는 핵무기 개발에 필요한 플루토늄을 확보하기 위해서 사용후 핵연료 재처리를 시작했다. 먼저 영국은 종전 후 맨해튼 프로젝트에 참여했던 과학자, 엔지니어들을 동원하여 원자력 에너지 연구조직을 만들었고 1947년에 원자무기 개발을 결정했다. 우라늄 농축시설이 없었던 영국에서는 원료로 플루토늄을 확보하기 위해서 윈드스케일 에 “[플루토늄] 생산용 원자로 production pile” 2기를 건설하고 인근 셀라필드에 우라늄 정제 시설과 사용후 핵연료 재처리 시설 B204를 빠른 속도로 건설했다. 플루토늄 생산을 위해 만들어진 윈드스케일의 원자로 2기는 감속재로 흑연, 냉각재로 기체를 사용하는 흑연가스였고 천연우라늄을 연료로 썼다. 영국은 윈드스케일 원자로를 통해 확보한 플루토늄으로 1952년

에 핵실험에 성공했다.

핵실험 성공 이후 영국은 플루토늄 생산과 전후 에너지 수요 증가를 충족할 전기 생산이라는 이중 목적을 가진 원자로를 개발했다. 전기 생산을 위해서는 기존 윈드스케일의 흑연가스로를 그대로 쓸 수 없고 효율을 높이기 위해 고온을 유지할 필요가 있었다. 이를 위해 개발된 것이 영국 고유 모델 마그녹스 원자로였다. 마그녹스 원자로는 천연우라늄을 연료로 쓸 수 있지만 연료캔을 마그네슘 합금으로 만들어 기존 영국 원자로와 달리 고온과 고압에 견딜 수 있도록 개량된 모델이었다. 마그녹스 원자로의 첫 모델은 최초의 상업 발전이라고 알려진 콜더홀 원자로였다. 콜더홀 원자로는 사용후 핵연료의 재처리를 원활하게 하기 위해서 재처리 설비가 있는 셸라필드 인근에 세워졌다. 이후에 잇달아 세워진 8개의 마그녹스 원자로는 모두 콜더홀 원자로와 마찬가지로 플루토늄-전기 생산의 이중 용도로 운전했다.

1958년에 미국과 영국은 상호방위조약을 맺었고 그 조약의 부가 협의사항(side agreement)에 따라 방사능 물질을 교환했다. 영국은 미국에 플루토늄을 공급하고 대신 미국에서 생산된 고농축 우라늄과 삼중수소를 받았다. 이 부가 협의사항 때문에 재처리를 통해 얻는 플루토늄은 한편으로는 영국의 독자적인 핵무기 제작의 원료, 다른 한편으로는 농축우라늄과 삼중수소를 확보하는 수단이 되었다. 따라서 플루토늄의 수요는 커졌고 그에 따라 재처리 설비에 대한 수요도 커졌다. 이를 충족하기 위해 셸라필드에 1964년에 B205를 신설했다. 이로써 셸라필드는 영국 내에서 소비되는 마그녹스 연료의 생산과 사용후 핵연료 재처리 시설을 갖추게 되었다.

프랑스는 1945년에 프랑스 원자력위원회(CEA)를 설립하고 원자력 기술 연구를 시작했다. 영국과 달리 프랑스에는 맨해튼 프로젝트에 참여했거나 원자력 연구에 경험을 가진 과학자가 많지 않았다. 프랑스 원자력위원회는 설립 다음해인 1946년에 사티용에 최초의 프랑스 원자로 조에(Zoé)를 건설하고 1948년에 운전을 시작했다. 조에는 천연우라늄을 원료로 사용하는 중수로인데 주로 핵반응 관련 연구를 진행하고 방사능 물질들을 생산했다. 조에는 연구용이었기 때문에 프랑스는 아프리카에서 공수한 우라늄을 정제하여 플루토늄을 얻었다.

프랑스는 소련과 영국이 잇달아 핵실험에 성공하자 냉전 체제에서 국가 위상에 위기감을 느껴 핵무기 개발에 박차를 가했다. 프랑스 정부는 원자력위원회의 국방 임무를 강조하면서 1957년 독일, 이탈리아와 협업으로 핵 프로젝트를 시작했다. 이듬해 6월 17일 프랑스는 핵반격 위협에 처한 수에즈 위기를 맞으면서 국가 핵 프로그램을 가속화했다. 핵무기 보유는 드골의 국가 독립을 위한 정책의 핵심이었다.

핵무기 개발이 본격화되기 시작했을 때 프랑스도 우라늄 농축과 플루토늄 추출을 위한 재처리 시설을 갖추었다. 1958년에 피에르라트(Pierrelatte)에 건설된 우라늄 농축공장에서는 2%, 6%, 25%, 90%의 다양한 비율의 농축우라늄을 생산했다. 그리고 같은 해 마르쿨의 플루토늄 추출 공장 UP1(Usine plutonium)이 가동을 시작했다. 이 공장은 마르쿨의 G1, G2, G3 원자로의 수요에 맞추어 1958년부터 가동했다. 시작 무렵 프랑스 원자력위원회는 UP1이 혹시 실패할 것에 대비하여 두 번째 플루토늄 추출 공장 프로젝트를 실시했다. 지질 기반이 안정적이고 지진이 없으며 바닷물이 흐르고 바람이 강하여 방사능 배출과 분산에 유리한 조건의 라아그가 건설 부지로 선정되었다. 1961년 8월 플루토늄 추출을 위한 사용후 연료 처리시설 건설 긴급 법령이 공포되었고 그에 따라 1962년에 착공되었다. 1966년에는 라아그 코탕탱에서 최초로 사용후 핵연료를 처리하는 공장 UP2가 가동을 시작했다.

한편 군사적 목적의 원자력 기술을 보유할 수 없었던 독일에서는 사용후 핵연료 정책에서 재처리에는 간접적으로만 관여할 수 있었다. 처음에 독일의 방사성 폐기물 정책은 심층지하

매립과 같은 영구처분 방식이었다. 독일 정부는 1959년 12월에 유럽경제협력기구(OEEC) 회원국들이 설립한 “유럽의 사용후 핵연료 화학처리사: Eurochemic”에 참여하면서 사용후 핵연료 재처리 기술개발, 인력양성 등에 관여하기 시작했다. Eurochemic은 재처리 시설을 실험적으로 가동하며 사용후 핵연료를 경제적으로 처리할 수 있는 방법을 개발하는 것을 목적으로 했다. 독일은 프랑스와 나란히 이 공동 주식회사 총 430주 중에 68주를 소유하여 대주주 역할을 하고 있었다. Eurochemic의 실험실과 재처리 설비는 1966년에 가동에 들어갔고 국제협업 형태로 운영되었다. 참여 기업들은 국가 재정 지원을 배경으로 적은 자본으로 관련 전문 인력을 양성하고 재처리 설비에 필요한 노하우를 축적할 수 있었다.

동시에 독일 내에서는 독일 원자력위원회를 중심으로 재처리 시범설비 개발과 운영을 시작했다. 1960년에 Hoechst사는 손실을 입지 않도록 정부가 보장하면 재처리 시설을 건설해서 운영할 의향이 있음을 독일 원자력위원회에 알렸다. 이에 독일 원자력위원회는 2차 원자력 프로그램의 사업에 재처리 설비를 포함하고 1963년에 연방연구부에서는 “원자력 공정기술 엔지니어회(Ingenieurgesellschaft Kernverfahrenstechnik)”에 천연우라늄과 농축우라늄 연료 재처리 시범 설비를 계획하도록 용역을 주었다. 이 과정이 알려지자 플루토늄 확산을 우려한 미국 원자력위원회는 서독의 핵주기 프로그램 전체를 자신들이 맡겠다고 제안했다. 그러나 독일 고유의 원자력 정책을 원했던 독일 정부는 이를 거절했다. 사용후 핵연료 재처리 시범설비는 칼스루헤 원자력센터 부지 밖에 세워지게 되었다.

2) 기술적, 경제적 동기

군사적 목적 외에 영국에서는 마그녹스 원자로의 특성 때문에 사용후 핵연료 재처리가 꼭 필요했다. 마그녹스 원자로에서 나오는 사용후 핵연료는 시작부터 건식 저장이 아니라 수조에 저장하는 습식저장이 표준이 되었다. 그런데 연료캔 재료물질 마그녹스는 물 속에서 부식하기 때문에 장기 저장이 불가능하다. 따라서 습식저장 방식을 선택하는 순간 영국의 모든 마그녹스 원자로에서 발생하는 사용후 핵연료는 재처리가 불가피해졌다. 그래서 1960년대에 셀라필드에 건설된 B205 재처리 플랜트는 마그녹스 프로그램을 지원하기 위한 것이었다. 사용후 핵연료는 원자력 발전소 부지에서 수조에 수개월 저장 후 식으면 셀라필드로 옮겨 1-2년 정도 수조 저장후 재처리를 거친다. 추출된 플루토늄은 필요한 곳에 공급되거나 초과 공급되는 플루토늄은 셀라필드의 처분장에 플루토늄과 재처리 부산물 형태로 저장된다.

또하나 영국에서는 마그녹스 원자로 수출을 위해서도 재처리 서비스가 필요했다. 실제로는 2기를 수출하는 데 그쳤지만, 처음에 마그녹스 원자로를 개발했을 때 영국에서는 경수로에 비해 안전하고 농축우라늄이 필요없다는 장점 때문에 수출을 기대했다. 그에 따라 재처리 서비스의 해외 수요에 대한 기대도 있었다. 비록 수출은 부진했지만, 이미 수출한 마그녹스 원자로에서 생산되는 사용후 핵연료에 대해서는 재처리 서비스 제공이 하나의 사업모델이 되었다. 그 결과 영국에서는 사용후 핵연료 재처리가 원자력 정책의 기본 사항으로 자리잡았다.

영국을 포함한 다른 나라들에서 1960년대에 사용후 핵연료 재처리 정책에 관심을 가진 것은 핵연료 전주기의 완성을 기대했기 때문이다. 첫째, 사용후 핵연료에서 추출된 플루토늄을 원료로 하는 고속증식로가 개발되면 연료 공급 및 사용후 핵연료의 처분 문제가 동시에 해결될 수 있고, 둘째, 재처리 시설에서 생산한 플루토늄과 우라늄 235를 산화물 형태로 결합하면 경수로에서 사용가능한 믹스 연료(Mixed Oxide Fuel)를 생산할 수 있다. 이 때문에 미국, 영국, 프랑스는 물론이고 농축우라늄의 미국 의존도를 낮추기를 원하는 독일에서도 고속증식로 연구개발이 이루어졌다. 고속증식로 개발의 역사는 이 글의 범위를 넘어서기 때문에 자세히

다루지 않지만, 핵연료 전주기에 대한 기대와 필요성은 사용후 핵연료 재처리의 필요성을 설득하는 중요한 논거로 오랫동안 사용되었다.

제2차 세계대전 이후 1960년대까지는 각국의 원자력 레짐과 주요 원자력 정책의 기초가 결정되는 시기였다. 먼저 구체적인 형태와 특징은 다르더라도 군사적인 관심에 따라 각국의 원자력 레짐의 기초를 결정하고 연구개발을 촉진했다는 공통점이 있다. 그리고 군사적 목적의 원자력 기술개발과 제도화는 원자력 발전 레짐과 기술의 특성과 궤적에 깊이 새겨져 있다. 또한 각 나라별로 대체로 원자력 발전의 에너지원으로서의 가능성, 기술개발을 통한 연료 문제 해결의 가능성, 독자적인 기술 등에 대한 긍정적인 기대를 가졌다는 공통점이 있다.

3. 사용후 핵연료 정책 분화

1) 미국: 핵 비확산 조치와 자국내 상업용 재처리 금지

사용후 핵연료 재처리 시설의 확대와 전세계의 플루토늄 생산과 국가간 이동에 제동을 건 것은 핵 비(非)확산 이슈의 부상이었다. 강대국들의 잇단 핵실험 성공에 이어 1974년에 인도가 핵실험에 성공한 것이 계기였다. 추가 핵 확산을 막기 위한 정책이 특히 미국을 중심으로 모색되었는데, 그 중 하나가 사용후 핵연료 재처리 금지였다.

재처리 금지 아이디어는 1976년 미국 대통령 선거전에서 처음 나타났다. 해군장교 출신으로 핵공학을 전공했던 지미 카터가 먼저 사용후 핵연료 재처리 문제를 제기했고 공화당 후보인 현직 대통령 제럴드 포드는 향후 사용후 핵연료 재처리 프로그램을 중단하겠다고 선언했다. 대통령이 된 카터는 사용후 핵연료를 상업적으로 재처리하는 비용이 사실상 더 들고, 재처리 기술이 나머지 핵보유국 혹은 핵발전소 운영국가에 핵기술과 핵물질을 포함한 핵확산을 초래할 위험이 있다고 주장했다. 게다가 미국이 사용후 핵연료를 재처리할 경우, 다른 국가들도 그렇게 해도 된다는 신호로 이해될 수 있기 때문에 사용후 핵연료 재처리를 영구히 금지한다고 선언했다.

카터 이후 미국의 사용후 핵연료 재처리에 대한 입장은 계속 변했지만 미국내 상업용 재처리 현황에는 별다른 변화가 없었다. 1981년 레이건은 취임 직후 “영구히 연기”한다는 카터의 사용후 핵연료 재처리 금지를 뒤집었다. 레이건 행정부는 핵폐기물정책법(Nuclear Waste Policy Act, NWPA)을 만들고, 에너지부에 고준위 핵폐기물 프로그램을 전담할 방사성 폐기물 관리국(Office of Civilian Radioactive Waste Management, OCRWM)을 신설했다. 정부는 한편으로는 유카산에 고준위 방폐장 건설을 추진하고 다른 한편으로 기존 입장을 바꾸어 민간 부문의 재처리를 허용했다. 그러나 사용후 핵연료 재처리 사업에 나서는 사업자는 없었다. 또 1993년 클린턴 행정부는 사용후 핵연료 재처리 반대를 분명히 했기 때문에 사실상 상업용 사용후 핵연료 재처리는 금지 상태라고 할 수 있다.

미국의 상업용 재처리는 정부의 금지 정책, 스리마일 섬 사고 이후 추가 원자력 발전소 추가 건설 중지와 민간 기업의 비용 부담 등의 이유로 1970년대 이후 거의 이루어지지 않고 있다.

2) 프랑스: 국가 주력산업으로서 사용후 핵연료 재처리 확대

프랑스의 지스카르 데스탱(Valéry Giscard d'Estaing)의 집권기인 1974-1981년 사이 프랑스 원자력 프로그램은 무기와 에너지원로서 국가 독립의 필수요건으로 간주되었다. 그래서 미

국이 주도하는 핵 비확산 조약이 실제 프랑스 국내 원자력 프로그램에 영향을 주지 않을 것이라는 점을 확인했지만 서명하지 않았고, 미국의 사용후 핵연료 재처리 기술 금지에 대해서도 동조하지 않았다. 특히 에너지 자원을 보유하지 못한 프랑스에서 원자력 에너지는 국가 경영의 기반 중 하나로 간주되었다. 프랑스에서는 석유 수입 의존도를 낮추기 위해 일찍이 고속증식로의 상업화 추구 및 재처리를 통한 부수적인 플루토늄 확보를 추진했다. 적극적으로 원자력 발전소를 확대하고 동시에 고속증식로 개발을 추진했다. Rapsodi 실험 원자로의 연장으로 최초의 시험용 고속원자로 페닉스가 1973년 마르쿨에서 운전을 시작했다. 이는 1984년에 프랑스가 주도하여 유럽 기업연합으로 크레이-말빌(Creys-Malville)에 건설한 1200MW의 거대 고속증식로 슈퍼페닉스로 이어졌다.¹⁾

원자력 발전소 증설에 따라 사용후 핵연료 재처리 국내 수요는 확대되었다. 1976년 원자력 위원회 원장이었던 지로(André Giraud)는 공기업 코제마를 창설하여 우라늄 광산에서 폐기물 재처리에 이르기까지 프랑스 핵연료 사이클을 총괄했다.²⁾ 프랑스 원자력위원회는 1976년에 완공된 라아그 코탕탱의 UP2-400 공장을 코제마에 양도했다. UP2-400은 1969년부터 도입한 경수로의 사용후 핵연료 재처리를 위한 시설이었다.

또한 원자력 발전의 연료 부문에서도 공격적으로 사업을 확장했다. 1970년대 초 프랑스와 유럽에서 원자력 발전이 증가하면서 기존의 피에르라트 농축우라늄 공장이 감당하기에 어려워졌다. 그래서 1973년 유럽에 공급할 농축우라늄 공장을 세우기 위해 프랑스 주도로 국제협회 유로디프(Eurodif)가 창설되었다. 유로디프 공장 건설은 1974년 트리카스탱에서 시작되어 1979년 3월 처음 작동을 시작했고 1981년부터는 농축 우라늄 공급을 미국에 더 이상 의존하지 않게 되었다.³⁾

카터의 금지 이후 미국에서는 상업용 재처리가 중지되었지만 프랑스는 국내 뿐 아니라 외국에서 발생하는 사용후 핵연료에 대해서도 재처리 서비스를 확대했다. 세계적으로 확대되고 있는 경수로의 연료 공급과 사후 서비스 산업에서 주도권을 행사하기 위함이었다. 1981년에 코제마는 2개의 재처리 시설 건설을 인가받았다. 하나는 외국의 경수로에서 발생하는 사용후 핵연료 재처리를 위한 재처리 시설, UP3이고 다른 하나는 같은 용량으로 국내에서 발생하는 사용후 핵연료 재처리를 위한 UP2-800 이었다. 두 시설은 1980년대 말에 완공되어 1990년부터 가동에 들어갔다. 이로써 1980년대 중반 이후 코제마는 핵연료 전주기를 가장 큰 규모로 완성했으며 프랑스는 현재까지 가장 강력하게 원자력 발전 확대와 핵연료 전주기를 구현하고 있다.

3) 영국: 재처리 정책 신념과 시장성의 산물로서 THORP

영국 역시 1970년대 이후에도 핵연료주기의 완성이라는 목적과 재처리의 시장성에 기반하여 사용후 핵연료 재처리 정책은 일관성있게 확대되었다. 특히 영국이 독자적으로 개발한 원자로 마그녹스와 다음 세대의 신행가스로(Advanced Gas Reactor)의 수출이 막히고 경수료가 대세가 됨에 따라 핵연료 전주기의 경제적 중요성은 더욱 증가했고 강조되었다. 그 움직임 중 하나가 새로운 재처리 시설 건설이었다.

1970년대 초반, 영국에서는 기존 마그녹스 원자로 외에 경수로, 신행가스로의 사용후 핵연

1) Mallevre, Alain, 2007, p. 23.

2) Taccon, Lionel, 2003, p. 163.

3) Taccon, Lionel, 2003, p. 163.

료로 재처리를 확대하자는 아이디어가 등장했다. 경수로와 신형가스로에서 사용하는 산화 농축우라늄의 재처리가 가능한 열산화재처리시설(THORP) 건설이 그것이다. THORP의 필요성의 근거는 두 가지였다. 첫째, 고속증식로가 개발되면 플루토늄의 수요가 증가할 것이기 때문에 이에 대비할 필요가 있다. 둘째, 세계적으로 가압경수로는 확산되는데 재처리 시설은 제한적이기 때문에 재처리 서비스 수요가 증가할 것이고, 영국의 재처리 산업은 이 시장에서 경쟁력을 가진다.

이러한 아이디어 실현을 본격화한 것은 1971년에 영국 원자력위원회(UKAEA)에서 분리된 영국핵연료공사(BNFL)였다. 영국 원자력위원회는 민간/군사 부문 원자력 기술개발과 연료부문을 모두 담당하는 가장 강력한 기구였다. 그러나 1971년 조직개편을 통해 군사 부문은 국방부로 이관되었고 연료 부문은 공사 형태로 분리되었기 때문에 영국 원자력위원회에는 민간 연구개발 부문만 남게 되었다. 반면 신설된 영국핵연료공사는 핵연료 전주기 관련 모든 업무를 관장하는 공기업으로서 독자 지위를 가지게 되었다. 그리고 사용후 핵연료 재처리 서비스는 영국핵연료공사가 수익을 창출할 수 있는 중요한 사업 영역이었다.

영국핵연료공사는 THORP 건설을 당연시하면서 업무를 추진했다. 쏘프는 영국에는 단 1기도 없는 경수로 사용후 핵연료 재처리가 가능하므로 처음부터 외국을 상대로 한 사업을 구상했다. 전체 재처리 용량의 절반은 일본, 나머지 절반은 영국과 외국, 주로 독일의 사용후 핵연료를 위한 것으로 계획되었다. 뿐만 아니라 영국 연료공사는 아직 건설이 결정되지도 않았던 1975년에 이미 일본과 건설비의 상당 부분 일본 부담과 완공 후 10년간 장기 계약을 추진했다. 건설 비용을 외국에서 조달하면 정부와 영국핵연료공사 입장에서는 큰 위험 요소없이 재처리를 통한 경제적 이득을 실현할 수 있으리라는 기대가 있었다.

그런데 이 사업은 결국 정부와 영국핵연료공사의 뜻대로 곧장 추진되지 못하고 공공조사(public inquiry)를 거치게 되었다. 1973년부터 시작된 일련의 사고들, 예를 들어 아일랜드 해안의 방사능 대규모 누출 문제 때문에 방사능 물질에 대한 사회의 인식이 높아졌기 때문이다. 이 조사는 1977년에 100일 이상 진행되었고 다양한 의견이 피력되었으나 최종 보고서는 건설에 찬성하는 결론을 내렸다. Brian Wynne에 따르면 이 조사는 이성적 논의보다는 THORP가 필요하다는 결론을 받게 하는 하나의 의식(ritual)이었다고 평가했다.

그러나 실제 영국 정부와 영국핵연료공사는 조사결과에 상관없이 THORP 건설을 기정사실화했다. 의회의 주된 논의는 방사능 위험같은 문제가 아니라 미국이 반대하는 재처리 시설을 강행할 경우 미국과의 외교 마찰 가능성과 장기 건설 도중 상황이 변하면 건설 결정을 번복할 수 있을지 여부였다. 그런데 최종 결정이 나기 이전에 이미 영국핵연료공사는 1978년에 일본, 스위스 발전소와 THORP 운전 첫 10년간의 주요 계획에 동의하는 협정을 체결했다. 영국핵연료공사와 정부는 현실적으로 건설을 포기하거나 건설 결정을 번복할 뜻이 없었던 것이다. 1983년에 1991년에 완공을 목표로 THORP 건설 총괄 계획이 승인되었다.

건설 추진 과정에서 제기되는 수많은 문제에도 불구하고 정부는 THORP 건설과 재처리 정책을 고수했다. 먼저 1980년대를 통해 THORP 건설 필요성이 줄어들었다. 독일과 영국 등 여러 국가에서 고속증식로 개발을 중단하거나 축소하기 시작했다. 1980년대 중반 이후 독일은

고속증식로 개발을 포기했고 영국 정부도 1990년에 고속증식로 프로그램을 끝내기로 했다. 실제 완공된 후 운전 승인 여부를 놓고 필요성, 안전성 논쟁이 벌어졌고, 그린피스의 반대운동이 있었다. 그럼에도 불구하고 1994년에 운전이 승인되었는데, 실제 운전은 기술적인 문제 때문에 1997년에야 시작되었다. THORP와 더불어 재처리 정책을 강화한 것은 추출한 플루토늄을 소비할 수 있는 목스 연료 공장(SMP) 건설이었다. 영국핵연료공사는 1994년에 독자적인 결정에 따라 목스 연료 공장 건설을 결정하고 추진했다. 이 공장은 1999년에 완공되었고 2001년에 운전이 승인되었다.

4) 독일: 경제와 환경의 압박으로 인한 재처리 정책의 후퇴

독일에서 사용후 핵연료 재처리 정책에 중요한 영향을 준 것은 환경운동과 관련 기업의 경제 논리였다. 독일 역시 1970년대에 경수로에서 발생하는 사용후 핵연료 재처리를 위한 시설 확보를 시도했다. 1971년 가동을 시작한 칼스루헤의 재처리 설비는 경험 축적을 위한 시범 설비였기 때문에 상업용 재처리 서비스를 제공하지는 않았다. 1976년에 UP2-400이 완공되기 전까지는 프랑스의 재처리 시설은 천연우라늄 연료를 위한 것이었기 때문에 독일 경수로의 사용후 핵연료 재처리를 프랑스에 위탁할 수도 없었다. 이에 1973년 독일 연방연구기술부는 사용후 핵연료를 비롯하여 모든 방사능 폐기물에 대한 “종합 폐기물 처리 계획”을 수립했는데 그 속에 재처리 시설 계획을 포함했다. 그러나 이 사업을 맡기로 한 화학산업계가 이윤이 낮다는 이유로 건설에 소극적인 상황에서 반원전 운동이 강화되어 사실상 사업 추진이 어렵게 되었다. 결국 정부가 전폭적인 지원을 약속한 후 에너지 기업들이 공동으로 설립한 “독일핵연료재처리 주식회사(DWK)”가 재처리 시설 건설을 맡게 되었다.

그러나 결국 독일에서는 독자 재처리 시설을 갖추지 못하고 위탁 방식으로 재처리가 추진되었다. 1985년 2월 독일핵연료재처리회사는 바커스도르프에 사용후 핵연료 재처리 공장 건설을 결정했다. 이 계획에는 재처리 시설과 함께 목스 연료 공장을 포함하고 있었다. 1996년 운전개시를 목표로 1985년에 공사가 시작되었으나 1989년에 건설이 중지되었다. 독일핵연료재처리 주식회사는 독자적인 시설 건설과 운영 대신 프랑스에 위탁하는 쪽을 선택했다. 예정보다 늘어난 공사기간과 건설 비용 때문에 완공되더라도 재처리 비용을 독일의 전력 회사들이 감당할 수 없을 정도가 되었기 때문이다. 이는 UP3 완공 후 첫 10년간의 계약이 끝난 뒤인 1999년 이후의 고객을 찾고 있던 코제마의 상황과도 맞아떨어졌다.

한편 1990년대 이후 독일의 사용후 핵연료 재처리 정책은 완화되기 시작했다. 독일의 원자력 발전 사업자들은 100% 재처리 의무 부담을 완화하여 사업자의 직접 처분을 허용할 것을 요구했다. 재처리에 따른 비용만 부담인 것은 아니었다. 위탁 재처리를 위한 사용후 핵연료와 재처리 후의 산물, 즉 플루토늄 및 고준위 방사성 폐기물의 이송 또한 부담이 되었기 때문이다. 1990년대 환경 운동과 반원전 운동이 커지면서 이송 과정에서 안전 규제가 강화되었고 이송하는 구간에서 반전 시위가 빈번하게 발생하는 등 사회적 부담이 커졌기 때문이다. 따라서 원자력 발전 사업자들은 부지 내 저장과 같은 직접 처분을 선호하게 되었고 이를 위해 지속적인 로비활동을 벌였다. 그리고 1994년에 개정원자력법이 통과되어 직접처분이 가능하게 되었다. 그리고 더 나아가 2000년에는 원자력 합의를 통해 최종적으로 사용후 핵연료 재처리 계획을 철회하기에 이르렀다.

4. 사용후 핵연료 정책의 분화와 원자력 발전 레짐의 관계

1) 독일: 연방정부-민간사업자-시민사회의 상호작용과 재처리 정책 포기

군사 분야 원자력 개발이 제한된 독일의 원자력 발전 정책은 연방정부, 주정부와 민간 사업자, 그리고 시민사회의 상호작용에 의해 결정되었다. 사용후 핵연료 재처리 정책의 기본 방침은 연방 정부에 의해 100% 재처리 의무화였다. 연방 정부는 핵무기에 대한 관심을 드러내지 않고 핵연료 전주기를 내세워 플루토늄을 확보하려 했다. 또한 재처리하여 플루토늄과 우라늄을 고속증식로의 연료 또는 목초 연료로 쓸 경우 고준위 방사성 폐기물의 비중이 재처리 이전에 비해 약 10% 수준으로 감소하므로 최종적인 방사성 폐기물 처분 정책에서도 유리했다. 그러나 연방정부의 방침에 따라 국내 처리든 위탁처리든 재처리에 들어가는 비용을 일차적으로 부담하는 것은 원자력 발전 사업자들, 궁극적으로는 소비자들이었다.

독일에서 사용후 핵연료 재처리 시설을 건설하고 운영할 주체 역시 민간 사업자들이었다. 바커스도르프 재처리 공장 취소 사례에서 보듯이 민간 사업자들에게 가장 중요한 고려사항은 경제성이었다. 군사적 활용가능성이 있는 플루토늄 확보나 언제 실현될지 알 수 없는 고속증식로의 연료 확보 같은 문제는 이들에게 중요하지 않았다. 그런데 연방정부는 이들에게 재처리 시설에 투자할 것을 강제하지는 못했기 때문에 경제성이 떨어진다고 판단되면 민간 사업자들은 재처리 시설에 투자하지 않는다.

정부가 국내 재처리를 위한 투자를 강제할 수 없는 조건에서 민간 사업자는 경제성 이외에도 압력으로 작용하는 다른 외부 조건의 영향을 강하게 받았다. 특히 사용후 핵연료 재처리를 위해서는 국내 재처리이든 외국 위탁 재처리이든 상당한 거리를 이송해야 하는데 이것은 민간 사업자들에게 사회적으로나 경제적으로 모두 부담이 되었다. 국내 재처리 시설 건설이 무산된 뒤 원자력 발전 사업자들이 정부에 직접 처분을 강력하게 요청한 것은 이 때문이다.

2) 영국: 전기 산업 민영화와 재처리 정책의 장기적 소멸

사용후 핵연료 정책과 관련해서 영국의 원자력 발전 레짐은 영국 원자력위원회의 설립, 1971년 영국 원자력위원회의 개편과 영국핵연료공사의 분리, 그리고 1990년대의 전기 민영화에 따라 의미있는 변화를 겪었다. 많은 연구들이 지적하듯 영국 정부는 형식적으로는 원자력 정책에서 의사결정의 최종 기구였으나 기술 측면의 의사결정은 대부분 영국 원자력위원회 등 전문가들에 의해 이루어졌고, 내각과 의회는 이를 승인하는 경향이 강했다. 영국에서는 처음부터 원자력 기술 개발이 군사적인 목적에서 시작했고, 상업발전이 시작된 후에도 오랫동안 군사부문과 민간부문이 기술개발과 폐기물 정책이 영국 원자력위원회의 소관이었다. 그래서 영국에서는 일찍부터 재처리 정책의 필요성에 대한 일종의 신념(commitment)이 형성되었다고 평가된다. 왜냐하면 군사용 플루토늄 추출과 기술 독자성을 상징하는 마그녹스 원자로의 사용후 핵연료 처분을 위해서 재처리는 선택 사항이 아니라 필수불가결한 사항이었기 때문이다.

이러한 인식은 실질적으로 최고의 의사결정 기구였던 영국 원자력위원회에서 지배적이었고 1971년 구조개편 이후에도 영국 원자력위원회에서 분리된 영국핵연료공사를 통해 이어졌다. 1960년대 후반에 또다시 독자적으로 개발한 신형가스로는 더 이상 마그녹스 캔을 연료에 사

용하지 않기 때문에 마그녹스 원자로와 달리 사용후 핵연료가 필수는 아니었다. 그럼에도 재처리하는 사용후 핵연료 처분의 표준처럼 작용하면서 산화 농축우라늄 연료에 대한 재처리 시설 추진해 나갔다. 마그녹스에 이어 핵연료 전주기 역시 수출에 실패하여 독자적 기술개발과 수출이라는 목표에서 멀어진 상태에서 사용후 핵연료 재처리는 영국의 기술로 국내의 수요를 충족할 수 있고 나아가 원자력 관련 기술로 해외 수익을 올릴 수 있는 사업으로 판단되었다. 그러나 수익성에 대한 주장은 THORP 건설의 동기였다기 보다 대외적으로 THORP 건설을 정당화하기 위한 레토릭에 더 가까웠다. 경제성을 위협하는 많은 요인들이 발생했을 때에도 THORP와 관련된 의사결정을 반복하거나 변경하지 않았기 때문이다. 또한 THORP는 핵연료 주기의 완성이라는 영국핵연료공사의 목적과도 부합했다.

1990년대를 통해 이루어진 전기 민영화는 사용후 핵연료 정책에서 전환점이 되었다. 신규 건설되었고 상대적으로 효율이 좋은 신형가스로와 경수로는 민영화되었는데 이 원자력 발전소들이 THORP의 중요한 국내 고객이기 때문이다. 원자력 발전소가 국영이었을 때 원자력 발전소의 운영주체와 영국핵연료공사는 긴밀하게 연결되어 있었으며 사용후 핵연료 전량 재처리나 재처리 비용에 대한 의사결정에 큰 문제가 없었다. 그러나 민영화된 이후 재처리 비용은 민감한 문제가 되었고 두 주체간 갈등이 발생했으며 특히 영국의 원자력 발전소에 대한 프랑스의 지분이 증가할수록 갈등의 소지는 더욱 커졌다. 이는 영국핵연료공사가 안정적인 재처리 시설 운영을 위해 외국 고객에 많은 관심을 기울여야 했던 이유이기도 하다.

실제 영국의 사용후 핵연료 재처리는 한시적이다. 일단 노후화된 마그녹스 원자로가 차례로 폐쇄됨에 따라 마그녹스 연료용 재처리 시설 B204와 B205는 자연스럽게 폐쇄 과정에 들어갈 것이다. THORP의 경우 주요 외국 고객인 독일이 재처리를 포기했고, 일본은 독자적인 재처리 시설을 갖추었으므로 재처리 수요가 감소할 것이기 때문이다. 또한 우라늄 가격이 낮게 유지되고 있어서 모스 연료의 수익성도 기대하기 어렵다. 그 결과 기존 체결된 계약이 모두 수행되는 2018년에는 THORP를 폐쇄하기로 결정되었다. 경제성을 내세워 건설된 THORP가 경제성 때문에 폐쇄되는 것이다.

전체로 볼 때 영국의 사용후 핵연료 정책 형성과 변화에서 정부나 시민사회의 영향은 그리 크지 않았다. 영국 원자력위원회나 영국핵연료공사와 같은 원자력 분야의 엘리트 전문가들이 정책 결정을 주도했고 정부나 의회의 영향은 크지 않았다. 이러한 경향은 전기 민영화 이후에야 약화되기 시작했다. 또한 독일과 달리 영국에서는 반원전 운동이 원자력 발전 정책이나 재처리 정책에 영향을 주지 못했다. 셀라필드나 윈드스케일 같은 원자력 설비가 집중된 지역을 중심으로 반대 운동이 있었지만 주로 사고 대책이나 안전을 위한 규제를 강화하는 방식으로 끝났다.

3) 프랑스: 강고한 원자력 발전 레짐의 구성 요소로서 재처리 기술

프랑스의 원자력 발전 레짐은 프랑스의 군사, 에너지 독립의 상징으로서의 원자력이라는 인식과 강력한 정부 주도를 특징으로 한다. 영국과 비슷하게 초기에는 무기개발과 상업 발전을 동시에 추구하는 정책을 폈고, 미국 기술에 의존하지 않고 독자적인 원자로를 개발하려고 했

으며, 원자력 발전 산업을 국가가 관장하고, 재처리를 사용후 핵연료 정책의 근간으로 삼았고, 소수의 기술 엘리트들이 원자력 정책을 주도했다. 그러나 영국의 기술 엘리트들이 정부에 대해 상당한 자율을 누린 데 비해 프랑스의 기술 엘리트들은 정부의 구성원 또는 정부 그 자체이다. 또한 전기 민영화를 추진한 영국과 달리 프랑스에서는 여전히 원자력 발전을 국가가 관장하고 있다. 뿐만 아니라 원자력 발전은 국가의 기술 상징이며 국가기반 산업이므로 프랑스 전기공사(EDF)는 외부 환경 변화나 재정 적자 같은 요인에 구애받지 않고 지속적으로 시설 운영과 기술개발을 추진할 수 있었다.

프랑스의 원자력 발전에서 라아그의 재처리 시설들은 핵연료 전주기 완성의 기술적 상징이었고 원자력 기술 수출의 중심지였다. 프랑스는 독자 모델 원자로를 포기하고 미국의 경수로를 도입한 이후 적극적으로 대외 판로 개척을 추구했다. 특히 경수호가 유럽에 확산되면서 재처리 산업의 중심으로 부상할 수 있었다. 독자적인 재처리 시설을 갖출 역량이 없는 유럽의 국가들 또는 미국의 핵 비확산 조치로 재처리 시설을 갖추기 어렵게 된 국가들과 재처리 서비스 계약을 맺었다. 예를 들어 서독, 일본, 스웨덴, 스위스, 네덜란드가 있다. 또한 재처리 산물인 플루토늄을 사용하는 고속증식로 연구개발도 계속 추진하고 있다. 현재 고속증식로 연구를 큰 규모로 추진하고 있는 대표적인 국가 중 하나가 프랑스다.

다른 나라와 비교해 보면 프랑스에서도 영국과 유사하게 반원전 운동이 원자력 발전 정책 전체에 별다른 영향을 주지 못했다. 원자력 발전소 사고가 발생하거나 반원전 운동이 일어나면 프랑스 정부는 적극적으로 안전 규제를 강화하고 오히려 다른 나라의 사고를 자국의 안전을 홍보하는 계기로 활용했다. 그 결과 프랑스의 원자력 발전 정책은 시작부터 현재까지 지속적으로 성장하고 사회적으로도 확고한 지위를 유지하고 있다. 사용후 핵연료 재처리 역시 세계적으로 가장 큰 규모로 이루어지고 있으며 점차 소멸 예정인 영국과 달리 지속될 전망이다. 다만 원자력 발전을 하는 외국에서 재처리를 점차 포기하는 경향이 나타나고 있기 때문에 장기적으로 고객을 확보하는 것이 숙제로 남아있다.

5. 맺음말

사용후 핵연료 정책에서 재처리는 오랫동안 가장 널리 선택된 방식이었다. 원자력 기술 개발의 초기 단계부터 미국, 영국, 프랑스, 독일은 유사하게 재처리를 사용후 핵연료 정책으로 채택했다. 특히 원자력 기술 개발 초기에 재처리 채택에는 군사적 동기가 강했던 것이 사실이다. 동시에 재처리는 핵연료 전주기 개념을 통해 원자력 에너지를 고갈 걱정이 없는 새로운 에너지원으로 부각시키는 효과를 가지고 있었다. 그리고 많은 국가들이 이 비전을 진지하게 받아들이고 이를 실현하기 위해 고속증식로 연구를 추진했다.

1970년대 이후 원자력 발전과 사용후 핵연료 재처리 정책은 여러 이유 때문에 국가별로 다른 정책 노선을 걷기 시작했다. 구체적인 모습에서는 차이를 보이지만 크게 보면 재처리 정책을 둘러싼 차이는 미국과의 외교관계, 원자력 발전 산업의 주체, 시민사회의 원자력 발전에

대한 태도, 원자력 발전에 부여하는 사회적, 정치적 가치 등에 영향을 받은 결과였다. 즉 원자력 발전 레짐의 국가별 특성에 따른 차이였다. 2000년 이후에는 각기 다른 이유에서 사용후 핵연료 재처리가 축소되고 있으나 가장 강력한 원자력 발전 레짐을 구축한 프랑스에서는 지속될 전망이다.