



‘사용후 원전 연료’와 ‘군·분리 기술’

주 승 환

고려공업검사(주) 연구소장

2003년 2월 4일, 정부는 방사성 쓰레기를 집중 관리할 4곳의 예비 후보 지역들을 발표하였다. 이보다 10일 앞선 1월 24일, 필자는 그들 4곳 중 한 곳의 군수에게 ‘지역 발전을 위한다면, 그 관리 시설을 유치하는 것이 군민을 위한 지혜’라는 요지의 e-메일을 보낸 적이 있었다.

정부가 발표한 예비 후보 지역은 처분이 시급한 중·저준위 방사성 쓰레기들을 관리할 시설을 우선 건설하고, 뒤이어 태운(사용후) 원전 연료봉들도 같은 부지 안에 보관, 관리할 시설이 들어설 예정인 것으로 알려진다.

공교롭게도, 사신으로 보내려던 것이 실수로 해당 군청의 공개 인터넷 사이트에 올려지는 바람에, 송신 후 불과 며칠 사이에 그 글에 수백 명의 네티즌들이 접속했다.

필자의 주소와 전화 번호가 거기에 적혀 있어 필자 자신도 당황해서

며칠 후 그 글을 사이트에서 지우긴 했어도, 네티즌들은 전화를 통해 필자를 공격했으며, 아울러 그 보다 훨씬 많은 수의 격려 전화 벨들도 울렸다.

본의 아니게 필자가 경험했던 것들 중, 공격 대상이 된 내용들로서는 ‘핵폐기장(필자는 ‘방사성 쓰레기장’으로 부름)이 안전한 까닭을 대라’는 것이고, 격려 쪽은 “지역 발전을 위해 그런 시설을 유치해야 한다”는 내용들로 나뉜다.

앞쪽 의견들 중에는 태운 원전 연료들의 경우, “핵폐기 물질의 반감기(수명을 가름할 기준)가 수 십만 년인데, 그 긴 세월 동안 그들을 안전하게 관리할 기술이 개발됐느냐?” 같은 필자의 가슴을 찌른, 비수 같은 내용들도 더러는 있었다.

필자가 느낀 것은 지역 주민들이 안고 있는 공포의 대상이 ‘중·저준위 방사성 쓰레기’ 쪽이 아닌, 태운 원전 연료들 쪽에 모아졌고, 이

들을 영구히 안전하게 처분할 수 있느냐에 큰 관심을 보였다는 것이다.

중·저준위의 경우, ‘님비(NIMBY)’ 현상이 두드러지게 나타나고 있다는 판단에 따라, 필자는 본지의 3월호에 이에 대한 이해를 돕는 글(주승환, 2003)을 실었다.

사용후 원전 연료와 ‘안전’

정부의 발표에는 아직도 그 부지들이 예비 후보로 지정된 곳이라, 해당 후보 지역들에 대하여 여러 방향으로 보다 자세한 조사가 진행중에 있으므로, 혹시 이 글이 해당 주민들에게 또 다른 오해를 가져오지 않을까하는 노파심이 앞선다.

하지만 온 나라가 관심을 가진 그 문제를 짚어보고, 해결의 실마리를 찾는 노력은 어느 누구에게나 활활 열려 있어야 한다.

이번 글은 위의 질문들에 대한, 정답이 아닌, 한 대안의 성격을 띤



것이며, 필자의 생각을 정리한 것이다. 그 질문들은 두 가지로 요약되는데, '안전하다' 와 고준위 방사성 쓰레기인 태운 원전 연료에 대한 주민들의 우려와 이에 막연한 공포심 등으로 나뉘진다.

결론부터 요약하면, 필자의 편지에서 쓴 '안전하다' 는 것에 대한 필자의 설명은, "문제 의식에서 '안전' 이란 개념은 상대적인 것이므로, 어떤 기준에 견줘 그것보다는 '안전하다' 고 말할 수 있다. 따라서 '안전' 이란 절대적인 값을 갖지 않는다."

필자는 다음과 같은 한 예도 들었다. "원자력발전소보다는 방사성 쓰레기장이 더 '안전' 하다. 예컨대, 한 화재 사건에서 불타오르는 현장이 원자력발전소라고 치면, 방사성 쓰레기의 폐기장은 불이 꺼진 재만 남은 곳이다. 어떤 쪽이 더 안전한지는 분명하다".

필자의 설명을 듣고 그들은 이를 받아들이는 듯 했다(본지의 3월호에서 '원자력발전소가 달리는 자동차라면 방사성 폐기물은 이미 폐차된 자동차(박 덕렬, 2003)' 란 예에서도 방사성 쓰레기의 안전은 잘 표 현돼 있다).

하지만 그 다음 질문에는 필자도 쉽게 답을 주지 못했다. 질문의 요지는, 고준위 쓰레기인 태운 원전 연료들에는 수명이 수 십만 년이나 되는 방사성 물질이 들어있는데, 그

것들에 대한 대책이 마련된 것이 있다면 설명해 달라는 질문에는 필자도 답이 궁했다.

필자뿐만 아니라 질문한 사람의 입장도 막연히 한번 던져본 질문인 듯한 느낌이 들 정도로 명확한 답을 기대하지 않는 듯 하여, 필자는 초-우라늄(우라늄보다 원자 번호가 큰) 원소들에 대한 몇 마디 설명으로 끝낸 적이 있었다. 질문한 그들도 잘 알고 있는 내용들이긴 해도, 좀 더 쉽게 이해해야 될 부분을 여기에 신는다.

우선 먼저 이해를 해야 할 부분은, 태운 원전 연료들이 원자로 속에서 타면서 새로 생겨난, 양으로는 다른 구성 물질들보다 그렇게 많지 않긴 하지만 초-우라늄(악틴족 원소: An로 표시됨) 원소들이 들어 있다.

그리고 초-우라늄 원소가 아닌 반감기가 아주 긴 요드-129(I-129)와 테크네튬-99(Tc-99)들도 원전 연료들이 탈 때 같이 생겨난다.

이들 외에도 수명이 짧은 여러 가지의 센 방사능을 띤 핵종들도 같이 생겨난다. 이들은 수명이 짧기 때문에 50~60 년이 지나고 나면 대부분은 없어지기 마련이다.

그런 초-우라늄 원소들 중에는 핵-폭탄의 원료 물질인 플루토늄 동위원소들(Pu-239와 Pu-241)도 있고, 스스로 쪼개지면서 열을 많이

뿜어내는 원소들과 그것들의 동위원소들도 들어 있다.

이들을 긴 세월 동안 관리할 일이 골치 아픈 것이며, 국제원자력기구(IAEA)는 핵연료 물질을 사찰하는 기관이라, 특별히 세계의 플루토늄 생산과 그의 행방을 빈틈없이 추적한다.

군 분리 와 핵 관련 법

태운 원전 연료들의 생김새를 살펴보면, 쪼개지지 않는 우라늄-238이 대부분을 차지하고, 골치 아픈 것들이 차지하는 몫이란 아주 적다.

이들을 분리하여 따로따로 취급할 수만 있다면, 태운 원전 연료라 할지라도 특별 관리를 해야 될 몫은 엄청나게 줄어든다.

태운 연료들에 포함된 상대적으로 수명이 아주 긴 핵종들은 화학적인 특성과 열역학적 특성이 비슷한 그룹들로 분리될 수 있는 기술이 개발됐다.

원소들이 가진 특성으로 그룹을 지워 그룹별로 분리하는 것이 '군-분리 기술' 이다. 1980년대에 그 기술과 관련된 일부 공정들이 개발됐다(유재형, 1999).

이런 기술을 써서 골치 아픈 그들을 분리시키고, 분리된 그들의 핵들을 파쇄·소멸 처리시킨다면, 긴 반감기의 핵종들은 거의 없어지고 그

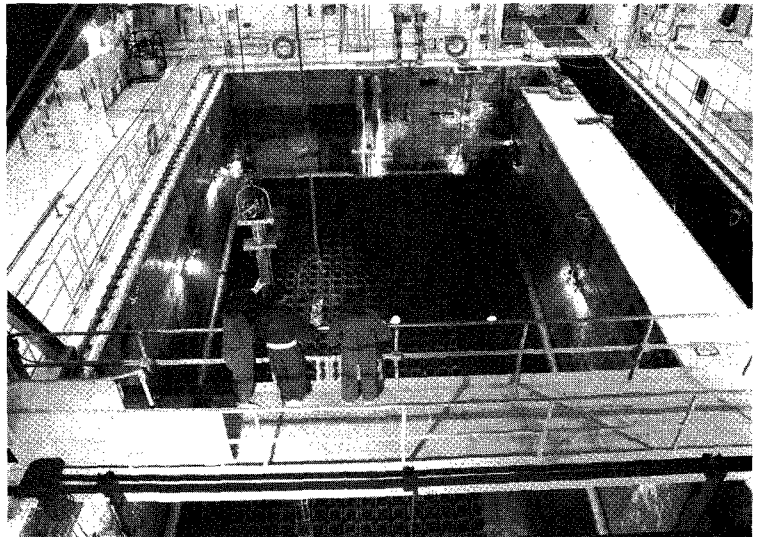
대신 짧은(약 300 년보다 짧은) 다 른 새로운 핵종들로 바꿔놓기(변환) 할 수 있다. 이런 일이 '핵변환 기술'이다.

반감기가 긴 원자핵들의 파쇄는 특수한 원자로 안에서만 이뤄질 수 있으므로, 이런 개념을 바탕으로 설계된 신형 원자로의 개발을 해야 한다. 신형 원자로에 관한 연구가 순조롭게 진행되고 있어, 아마도 2025년까지는 상용화가 이뤄질 것으로 기대된다(조만, 1996).

우리의 공포 대상인 수명이 긴 초우라늄 핵종들을 파쇄시킬 신형 원자로로는 개발 기간이 그 같이 길다 해도, 개발 이전이라도 군-분리 기술을 활용하여 태운 원전 연료들에서 군-분리가 이뤄진다면, 굳이 신형 원자로가 개발되기까지 군-분리를 유보시킬 필요가 없을 듯 하지만 그게 그렇게 간단치가 않다.

만일, 곧바로 군 분리부터 착수하게 되는 경우라면, 태운 원전 연료에서 적은 몫을 차지할 그들을 분리시켜 따로 수천 평 정도의 좁은 장소에 임시로 보관만 하면 될 일이다.

지금처럼, 정부의 발표인 60만 평(대부분이 중·저준위 방사성 쓰레기를 버릴 공간이긴 해도)이나 될 방사성 쓰레기장을 마련하려고 그 고생이나 주민들의 소동을 일으켜 사업자나 정부 당국자들이 해당 주민들의 눈치를 봐야 될 까닭은 더더



사용후 연료 저장조. 반감기가 긴 원자핵들의 파쇄는 특수한 원자로 안에서만 이뤄질 수 있으므로, 이런 개념을 바탕으로 설계된 신형 원자로의 개발을 해야 한다. 신형 원자로에 관한 연구가 순조롭게 진행되고 있어, 아마도 2025년까지는 상용화가 이뤄질 것으로 기대된다

욱 없을 것이다.

그런 연료들에서 이들을 분리하려면 예상되는 여러 가지 문제들을 살펴봐야 한다. 선진국의 여러 나라들은 군-분리 기술에 도전하여 성과가 있었다고 알려진다(유재형, 1999와 2002). 그리고 이들의 핵을 파쇄시킬 신개념의 원자로에 관한 연구가 한창 진행중이라 실용화 단계까지는 아직도 갈 길은 멀다.

우리에게는 그 일을 하는 데 군-분리 기술과는 거리가 먼, 또 다른 장애물이 앞을 가로막는다. 「핵확산금지조약」이란 국제법과, 1991년에 발표된 재처리 시설을 만들지 않겠다는 「한반도 비핵화선언」의 국내 법, 이 두 가지 걸림돌들이 그들이다.

즉, 국제법은 태운 원전 연료에 담긴 그놈의 플루토늄 때문에 「핵확산금지조약」에 걸리고, 우리 법에는 「비핵화선언」에 걸린다. 지금의 우리 사정은 이 두 개의 대외·대내 법들을 존중해야 한다.

한편 그런 법 정신을 살리면서 이를 피해가려면, 먼저 이런 법들을 자세히 연구해서 보완해야 될 부분이 있다면, 우선 이런 일들부터 해결해 놓고 일을 벌여야 할 것이다.

일본은 인류 역사에서 처음 핵폭탄의 피해를 경험했던 나라임을 우리는 잘 알고 있다. 그래서 그들은 국가 정책으로 세 가지 비핵 원칙, 즉 “핵무기 보유나, 생산이나, 그리고 영토 안에 수입도 않는다”는 정책을 지지해 왔다고 한다(山下新太郎, 1997).

하지만 그들은 태운 원전 연료들을 처음에는 프랑스에 보내 재처리를 해서 플루토늄을 일본 영토 안으로 가지고 왔다. 그 일부터 시작해서, 점진적으로 자체 기술로 자국 안에서 태운 원전 연료들을 재처리할 시설들을 확장하고 있다.

일본은 회수된 플루토늄을 MONJU와 같은 고속증식로(고속 증성자를 이용하여 연료의 핵을 쪼개는 방식을 택한 원자로)와 재래식



원자로에 쓸 MOX(우라늄과 플루토늄이 섞인) 연료로 쓴다는 명분이 있다.

원전 개발에서 가장 골치 아픈 것이 플루토늄 관리인데, 이들을 핵물질이 아닌 원전 연료로 소모시킬 기술이라는 점은 「핵확산금지조약」의 기본 정신에도 잘 어울린다.

우리도 이런 명분을 찾으려면, 미래의 플루토늄 광산이 될 지하 폐기장에 집중 처분하는 길보다는 다른 대안을 찾는 것이 국익에 도움이 될 것이다. 서울대 강창순(1995) 교수와 다른 전문가들은 우리도 태운 원전 연료의 재처리를 추진해야 될 필요성을 주장한다.

이런 문제가 해결되면, 그 다음 우리 땅의 어느 곳에 이 일을 할 부지를 지정만 한다면, 우리가 개발해 쓰고 있는 방사성-쓰레기들을 안전하게 다룰 기술로서도 법에 따라 안전하게, 그리고 자신 있게 이 일을 할 수 있을 것이다.

필자를 공격해온 네티즌들에게 이런 복잡한 과정들을 시원하게 한 말로 설명하지 못한 필자의 가슴은 답답했고 초조했다.

핵 개발과 '후행 주기'

요즘, '북핵 문제'란 낱말이 우리를 긴장시킨다. 현재도 포성이 울리고, 대량 살상 무기들이 연일 연기를 뿜어대는 '미국-이라크' 전장의

배후에도 이라크의 독자적인 핵-병기 개발('핵-개발')이 상대국을 자극했다. 핵-개발과 원자력 발전 개념의 바탕들은 서로가 아주 다른 것이라 알고는 있지만, 다른 생각으로 들여다보면 그들의 말에도 수궁이 간다.

원래 핵-개발은 우라늄 동위원소의 하나인 U-235로 시작됐다. 광물 속에 들어있는 천연 우라늄은 U-238(99.28%)과 -235(0.72%)의 구성비(존재비)로 된 것이다.

우라늄이 핵-개발의 바탕 물질로 쓰이려면 U-235의 구성비를 높여서 천연 우라늄의 구성비를 서로 맞바꾼 것과 같이, 95% 이상의 U-235로 농축시켜야 핵-병기의 등급 물질이 된다. 뒤따라 플루토늄도 핵-병기의 주된 연료 물질로 개발됐다.

지구를 이루고 있는 물질들 중에 플루토늄이 들어있는 광물은 존재하지 않는다. 있다면, 17억 년 전에 천연적인 핵폭발이 일어났던 아프리카 가봉의 우라늄 광산 주변에서 그의 흔적(오크릴 현상)을 발견할 수는 있을 것이다(오희필 옮김, 1993).

플루토늄은 원자로에서 원전 연료가 탈 때 거기에 같이 들어 있을 어떤 U-238의 핵이 중성자를 흡수하여 새로 생겨난 핵종이다.

잘 알려진 것처럼, 원자로 속은 중성자들이 활동하는 폐쇄된 공간

이다. 주된 원전 연료인 U-235의 원자핵들은 원자로 속에서 중성자들의 침입을 받아 두 동강이로 쪼개(붕괴)진다.

그들의 원자핵 하나가 쪼개질 때마다 쪼개진 틈으로 새로운 중성자들이 평균 2.5 개가 다시 생겨나므로, 연료봉에 든 U-235를 우리가 원하는 수준으로 공격하도록 중성자들을 잘 관리하는 것이 바로 원자로의 운전 기술이다.

중성자들의 활동 무대 속에 들어 있을 원전 연료(U-238: 96-98%, U-235: 2-4%)의 원자핵들이 중성자들의 공격을 받게 되지만, 연료 다발의 대부분을 차지할 U-238은 U-235처럼 두 동강이로 쪼개지는 것이 아니고, 들어온 중성자를 흡수하여 다른 원자(핵종)인 플루토늄으로 바뀐다(변환).

따라서 U-238이 포함된 원전 연료가 원자로에서 타면 반드시 플루토늄도 생겨나게 되고, U-235가 쪼개질 때 생겨난 대부분의 플루토늄들도 같이 쪼개져서 U-235와 함께 타서 없어지긴 해도, 태우고 난 원전 연료들에는 각각 1%(무게 비율) 정도의 쪼개질 수 있는 우라늄 동위원소들과 플루토늄 동위원소들이 남아있다.

잘 알다시피, '핵-개발'이란 핵-폭탄의 원료 물질들을 만들, 그리고 만든 원료 물질을 폭발시킬 폭발 장치 기술들의 개발이다.

앞쪽은 두 갈래의 길이 있다. 즉, 천연 우라늄에서 U-235의 구성비를 높일 우라늄 농축 기술과 원전 연료에 타다 남은 플루토늄을 뽑아 낼(재처리) 기술들로 나뉜다.

그리고 그런 물질들이 핵-폭탄으로서 역할을 할 폭파 기술은 핵을 가진 나라들만이 가진 것이므로 공개된 기술이 아니다. 북한의 핵-문제는 북한이 이미 핵-폭탄의 원료 물질들을 자체 기술로 제조할 수 있다고 알려진다.

태운 원전 연료를 방사성 쓰레기로 다루는 것은 ‘원전 연료의 후행 주기’에 해당된다. 여기에는 두 갈래의 처분 방식들이 있다.

그들 중 하나는, 미국·스웨덴 그리고 핀란드 나라들처럼 ‘비-순환(one-through)’ 개념인 지하 동굴을 파서 이들을 오래 보관하는 방식을 선택하고, 다른 하나는 프랑스·영국·일본 그리고 러시아 나라들처럼 이들을 재처리하여 플루토늄을 뽑아내어 새로운 원자로(앞의 예처럼, 일본의 경우 MONJU 고속증식로와 재래식 원자로)에 쓰일 연료(MOX)로 쓰고 있다.

「핵확산금지조약」에 걸리는 것은, 태운 원전 연료에서 플루토늄을 뽑는 것이 크게 문제되지 않지만, 뽑은 플루토늄을 핵-개발 쪽으로 전용하는 것이 문제가 된다.

우리의 경우, 태운 원전 연료들은 국제 사찰 기구인 IAEA가 모조

리 봉인해 뒀서 허가 없이는 봉인된 곳에 접근도 할 수 없다.

태운 원전 연료에는 타다 남은 우라늄과 플루토늄을 포함해서 60~75%의 쓸 수 있는 연료가 남아 있다(Domenici P. V., 1997). 우리는 이것을 자원으로 활용할 생각도 해본 것으로 알려진다(노윤래, 1996). 그는 재처리하여 얻게 될 이득과 재처리에 들 비용을 따져보고 나서, ‘연료 주기’에 미칠 이득이 불확실하다고 보고한다. 그도 필자처럼 국내외 걸리는 법 문제들을 지적한다.

원전 연료 처분에 대한 얘기가 엉뚱하게 북핵 문제로 비화됐다. 북한의 경제 사정이 어렵다는 얘기도 들린다. 게다가 우리처럼 반핵 단체나 환경 단체는 더욱 기대하기 어려운데, 태운 원전 연료까지 국제법을 무시하고 재처리를 한다고 선포할 까닭이 무엇인지 궁금하다.

어떤 이들은 남쪽에서 하지 못한 일을 북쪽에서 대신하게 된 것을 오히려 다행으로 생각하는 사람도 있다고 들린다. 정말로 한심한 착각에 빠진 것이다.

2차 세계 대전 때, 미국이 핵-폭탄을 개발하는 데 아무 생각 없이 부산물로 생겨난 방사성 물질들을 마구잡이로 버린 결과, 많은 지역을 오염시켜 이들 장소들이 안고 있는 환경 오염의 심각성은 아직까지 미국의 큰 부담으로 남아있다.

여건을 올바르게 갖추지 않은 마구잡이 핵-개발은 우리 후손들에게 엄청난 부담이 됨을 북한 당국은 알고 있는지(?) 묻고 싶다. ☹

〈참고 문헌〉

강창순(1995), “사용후원전연료의 재처리”. 원산 1995/1, PP10-11.

노윤래(1996), “우리나라의 원전 연료사업”. 원산 1996/5, PP15-24.

박덕렬(2003), “방사성 폐기물 관리 시설 건설”. 원산 2003/3, PP9-12.

오희필(1993), 「17억 년 전의 원자로」, 전파과학사 발행, P118.

유재형(1999), “장수명 핵종 분리 기술”. 원산 1999/8, PP27-34.

유재형(2002), “Pyroprocessing 기술의 현황과 전망”. 원산 2002/3, PP44-48.

조만(1996), “한국의 개량형 액체금속 개발 현황”. 원산 1996/11, PP34-47.

주승환(2003), “‘방사성 폐기물’과 ‘핵-폐기물’”. 원산 2003/3, PP31-34.

Domenici P.V., “새로운 원자력 패러다임”. 원산 1997/12, PP44-48.

山下新太郎(1997) “일본의 원자력정책과 아시아와의 협력”. 원산 1997/4, pp73-75.