

사용 후 원전연료의 재처리와 발전방안

전현호*, 박자록*, 이육*
대진대*

Used Nuclear Fuel Reprocessing and Expansion Plan

Hyun-ho Jun*, Ja-Rok Park*, Wook Rhee*
Daejin University*

Abstract - 원자력은 나라의 기저전력을 책임지는 대표적인 발전소다. 시간이 지남에 따라 에너지 수요는 증가하지만 원자력 에너지의 연료인 우라늄은 고갈이 되어가고 있다. 그 해결책으로 고속로 기술에는 소듐냉각 고속로, 건식처리 방법으로는 파이로프로세싱이 있다. 이 기술로 사용 후 원전연료를 재처리하여 불과 수 십년에 불가한 원전문제를 수 천년으로 늘릴 수 있다. 하지만 우리나라는 사용 후 원전연료에 대해 정책방향이 결정되지 않았으며, 지역단체, 환경단체 등의 단체에서의 반대도 만만치 않을 것이다. 원전연료 관리 정책이 결정되어 국가 에너지안보의 기틀을 마련해야 할 것이다.

1. 서 론

삶의 질 향상을 추구하는 인간의 욕구와 더불어 에너지수요의 증대를 촉진하는 원인이 되고 있다. 에너지수요의 증가는 발전에 의한 대량의 온실가스 배출로 환경파괴를 지속시키며, 과도한 자원 수입의존으로 인한 국가경제에 큰 부담 등 많은 문제를 초래하고 있다.

이러한 해결책으로 나온 것이 원자력 에너지였고 저렴한 연료 가격에 많은 에너지를 얻을 수 있었다. 많은 나라들이 '탈석유'를 목표로 신규원전건설추진에 주력하였다. 우리나라 역시 1979년 고리 1호기를 시작으로 원자력발전이 급격히 성장하여 현재 20기의 원자력 발전소가 운영되고 있으며, 우리나라 전력생산의 약 40%를 차지하고 있고 고유가시대가 도래하면서 앞으로도 계속 확대되고 있다.

하지만 원전연료인 우라늄은 50~60년 후면 고갈된다는 것이 전문가들의 분석이다. 고갈이 확실시 되는 석유나 가스 등과 같이 해마다 우라늄의 가격은 오르고 있다. 뿐만 아니라 더 큰 문제로 사용 후 원전연료의 처리문제이다. 그 해결 방안으로 고속로 기술과 건식처리 방식이 연구, 개발 되고 있다. 고속로 기술에는 소듐냉각 고속로라 불리는 방법으로 우리나라에서 연구 중이며, 파이로프로세싱이라 불리는 파이로 건식처리 방법의 건식처리 방식과 결합하여 60년에 불과한 원전연료가 수천 년으로 늘릴 수 있을 것이다.

아직까지 우리나라에서는 사용 후 원전연료에 대해 정책방향이 결정되지 않았으며 관련 일을 위한 부지설정에도 지역여론을 무시할 수 없으므로 시급한 결정과 의견수렴이 필요 된다.

2. 원전연료 관련 국내외 현황 및 전망

2.1) 원전현황

환경문제가 대두되면서 세계 원전이용 확대가 늘어나고 있다. 다음 표 2.1은 주요국 순위별 원전 현황이다.

〈표 2.1〉 *한국은 한국수력원자력(주) 2007년도발전연보('08.4)

순위	국명	운영중인 설비용량		건설중인 설비용량	
		용량(만kW)	기수	용량(만kW)	기수
1	미국	10,575	104	121.8	1
2	프랑스	6,602	59	165.0	1
3	일본	4,958	55	91.2	1
4	러시아	2,324	31	504.0	7
5	독일	2,150	17	-	-
6	한국	1,772	20	680.0	6
7	우크라이나	1,384	15	200.0	2
8	캐나다	1,343	18	-	-
9	영국	1,190	19	-	-
10	스웨덴	940	10	-	-

2.2) 원전연료 현황

원전연료의 매장량을 확인해보면 그리 많지 않다<표2.2>. 시급한 기술 개발의 필요하다 할 수 있다.

〈표2.2〉 OECD/NEA, Uranium 2007 : Resources, Production and Demand('08.6)

구 분 (생산가격 기준)	확인매장량	추정매장량	소 계
U\$ 40/kgU 미만 (U\$ 15/lbU ₃ O ₈)	297 (약 42년분)	-	297 (약 42년분)
U\$ 40 ~ 80/kgU (U\$ 15 ~ 31/lbU ₃ O ₈)	149 (약 21년분)	195 (약 28년분)	344 (약 49년분)
U\$ 80 ~ 130/kgU (U\$ 31 ~ 50/lbU ₃ O ₈)	101 (약 15년분)	562 (약 80년분)	663 (약 95년분)
생산가격 미정		297 (약 42년분)	297 (약 42년분)
합 계	547 (약 78년분)	1,054 (약 150년분)	1,601 (약 228년분)

2.3) 주요국 사용 후 원전연료 관리 정책

〈표2.3〉 원전연료 순환정책 추진방안 연구 표 2-5

국가명	발전호기	발전용량	연료주기정책
미 국	103	98254	직접처분에서 재처리정책으로 변경
프랑스	59	63473	재처리정책
일 본	55	47700	재처리정책
독 일	17	20303	직접처분 (탈원전)
러시아	31	21743	재처리정책
한 국	20	17533	정책 미결정
중 국	10	7587	재처리정책
인 도	16	3577	재처리정책

표2.3을 보면 주요 국가 중 우리나라만이 정책 미결정 상황이다. 국가의 빠른 정책결정으로 원전사업의 방향이 결정되어야 할 것이다.

2.4) 원전연료의 전망

〈표2.4〉 WNA, Global Nuclear Fuel Market (2005)

구 분	'07년	'08년	'10년	'15년	'20년	'25년
수요 전망	66,529	66,601	71,523	78,003	84,740	100,137
공급 전망	69,730	71,143	83,508	82,016	80,348	80,348

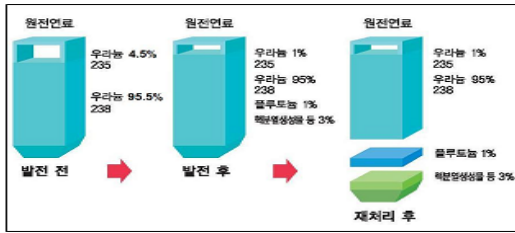
우라늄 소요량은 원전연료주기기술과 원자로 기술에 따라 결정되며, 우라늄 공급량은 시장 환경 및 우라늄광산의 탐사·개발·채광 기술에 따라 결정된다. 표2.4를 보면 20년에 들어서 공급이 수요를 따라가지 못한다. 고속증식로 기술이 상용화 될 경우 우라늄 이용 효율이 약 60배 이상 개선되는 효과가 있어 공급과 수요를 맞출 수 있을 것이다.

3. 사용 후 원전연료 관리 문제

3.1) 사용 후 원전연료의 정의

사용 후 원전연료는 원자력발전소 운영의 결과 배출되는 폐기물로서 원전연료 폐기물은 자연적으로 분해되는 데 수 십만년 또는 수 백만년이 걸리기 때문에 이를 안전하게, 영구적으로 처리하는 방법을 모색하는 것이 커다란 과제로서 제기되고 있다. 이미 선진 국가에서 만든 폐기물 저장소 중 낡은 것은 방사능이 유출되고 있는 것으로 확인되었으며, 원자력발전소의 불완전한

설비는 앞으로 방사성 폐기물이 점점하게 될 잠재적인 문제를 안고 있다. 최근에 화석연료의 사용에 따른 온실효과기체의 방출을 억제하기 위해 대체에너지로서 원자력발전소를 확대하려는 움직임이 있으나, 이를 확정 짓기 전에 먼저 해결되어야 할 것은 원자로에서 발생하는 폐기물의 처리 문제이다.



〈그림3.1〉

3.2) 사용 후 원전연료 단기 관리

사용 후 원전연료 임시저장소는 2016년이면 포화상태에 이를 것으로 전망되므로 시급한 관리가 필요하다.

가. 원전의 저장조 용량을 최대한 늘리는 방안

이 방안은 비용이 저렴하다는 장점이 있으나, 용량확장의 한계 때문에 궁극적인 해결책은 되지 못한다. 특히, 중수로 저장조의 경우에는 고밀도 저장으로 인하여 물리적으로 용량확장이 거의 불가능하다. 그러나, 비용이 저렴하기 때문에 다른 방안과 함께 사용되면 비용효과 측면에서 효율성을 극대화할 수 있을 것으로 보인다. 따라서, 본 방안은 다른 방안의 준비에 유연성을 확보하기 위한 비상수단으로서의 활용이 바람직하다.

나. 중간저장시설을 건설하는 방안

원전 부지 내 건식저장시설의 건설을 통하여 분산 저장하는 방안은 부지별로 주민과 갈등이 발생할 소지가 있다. 중앙집중식 저장시설을 건설하는 방안은 비용이 많이 소요될 뿐만 아니라 중간저장 후의 최종 국가관리정책 없이 추진하는 것은 주민들의 불만이 커질 수 있다.

다. 외국으로 이송하는 방안

외국으로 이송하는 방안 중에서 위탁처리 방안의 경우, 확산위협성을 내포하기 때문에 현실적으로 어려운 실정이다. 회수된 플루토늄을 외국에 판매하고 고준위폐기물만 들어오는 경우를 상정해 볼 수 있다. 그러나 이것 또한 자원빈국으로서 사용 후 원전연료를 중요한 자원으로 인식하고 있는 우리나라의 상황에서 현실화되기는 쉽지 않을 것이다.

국제적으로 공동관리하는 방안은 저장장소와 관련하여 국제적 마찰의 소지가 있다. 이 방안은 위탁 재처리하는 경우와 마찬가지로 사용 후 원전연료의 국제수송으로 인하여 많은 비용의 지출이 불가피할 것이다.

라. 국내에서 처리하는 방안

국내에서 파이로프로세싱에 의한 파이로 처리하여 고속로에 활용하는 것은 2025년부터 할 수 있지만, 이를 위하여 2016년에 과이로 실증시설의 건설을 추진한다면 실증시설 부지내의 임시 저장공간을 확충함으로써 2016년으로 예정된 소내저장용량 한계문제를 유연하게 대처할 수 있을 것으로 판단된다.

하지만 이 방법 또한 사용 후 원전연료의 처리에 대한 사회적 합의를 이끌어내야하는 부담감이 있다.

4. 사용 후 원전연료 발전방안

4.1) 파이로프로세싱(Pyroprocessing)

파이로프로세싱은 원자력발전소에서 연소된 뒤 수명이 다해 꺼낸 사용 후 원전연료에 포함된 우라늄 등 유효한 성분을 회수해서 차세대 원자로인 고속로의 연료로 재활용함으로써 우라늄 활용도를 획기적으로 높이고 고준위 방사성폐기물의 양과 독성, 발열량을 대폭 줄일 수 있는 기술로, 원자력 발전의 안전성과 경제성을 획기적으로 향상시킨 미래원자력시스템의 근간을 이룰 핵심 기술이다. 사용 후 원전연료에 포함된 플루토늄만을 단독으로 분리해낼 수 있는 기존의 재처리(reprocessing) 기술과 달리 파이로프로세싱은 공정상 플루토늄과 넵튠, 아메리슘, 큐리움 등 사용 후 원전연료에 포함된 초우라늄계 원소가 함께 추출될 수밖에 없어 핵확산 위험성이 없는 21세기형 사용 후 원전연료 재

활용 기술로 평가받고 있다.

파이로프로세싱 기술을 실용화하면 사용 후 원전연료의 부피를 20분의 1, 발열량은 100분의 1, 방사성 독성은 1,000분의 1로 줄여 사용 후 원전연료를 직접 처분할 때보다 고준위폐기물 처분장의 규모를 100분의 1로 줄이고, 고속로와 연계해 우라늄을 반복 재활용함으로써 우라늄 활용도를 현재보다 100배 정도 높일 것으로 기대된다.

현재 가동 중인 경수로에서 나오는 사용 후 원전연료의 방사성 독성이 천연우라늄의 독성 이하로 떨어지는데 약 30만년이 걸리는 반면 파이로프로세싱으로 추출한 고방사성 물질들을 고속로에 연소시키면 이 기간을 300년 이하로 줄일 수 있게 되며, 고준위 폐기물 처분장의 면적을 넓게 만드는 요인인 사용 후 원전연료의 높은 열을 제거함으로써 소규모의 고준위 방사성폐기물 처분장만으로 100년 이상 사용 후 원전연료 관리 문제를 해결할 수 있게 될 전망이다.

4.2) 소듐냉각 고속로(Sodium-cooled Fast Reactor)

소듐냉각 고속로는 액체금속인 소듐(Na)을 냉각제로 사용하며, 고속중성자(Fast Neutron)에 의한 핵분열 반응으로 생산된 열에너지를 소듐냉각제로 전달하여 증기를 발생시키고 이 증기로 터빈을 돌려 전기를 생산하게 된다. 고속중성자를 이용하므로 에너지 생산과 동시에 원전연료성 물질인 U238을 핵분열성 물질인 Pu239로 효과적으로 변환시킬 수 있어 소모된 것보다 더 많은 핵분열성 물질 생성, 즉 증식이 가능하다. 따라서 소듐냉각 고속로는 사용 후 원전연료의 자체 재순환을 통해 우라늄 자원의 활용률을 지금보다 100배 이상 향상시켜 미래의 우라늄자원 고갈에 대처할 수 있게 해준다. 또한 소듐냉각 고속로는 핵변환을 통해 사용 후 원전연료의 방사성 독성을 1/1000로 감소시키고 부피를 1/20로 감소시킬 뿐만 아니라 재순환에 의해 사용 후 원전연료 발생량을 줄여주므로 궁극적으로 영구처분장 활용률은 100배 이상 향상시킬 수 있다. 현재 국제공동연구로 개발 중인 제4세대 소듐냉각 고속로는 2030년경 상용화가 가능하며 지속성, 안전성, 경제성 그리고 핵확산저항성이 보다 향상되어 원자력의 지속적 이용을 위한 능동적 대안이 가능하므로, 자원부족 국가인 우리나라로서는 미래 무한 가능한 에너지 공급 체계를 구축할 수 있는 꿈의 원자로이다.

5. 결론

날로 증가되는 전력소비량과 온실가스 감축의무의 부담, 에너지 자원의 수입 증가, 에너지자원 수급의 불안 등에 에너지수입에 의존하는 우리나라의 경우 향후 국가 존립을 위협할 수 있는 요소가 있다. 자원에 의지한 에너지 자원은 점점 탈피할 때가 되었다. 기술주도에 의한 에너지 공급 체계로 전환하여 우리나라의 에너지 안보에 서둘러 해결책을 마련하고 또 다른 신재생 에너지를 준비해야 할 것이다. 이 해결책중 하나인 원자력은 온실가스의 배출감소로 친환경적인 발전과 안정적이고 저렴한 전력공급을 통하여 경제발전의 원동력이 될 것이다.

이 역시 한정한 천연우라늄 문제를 기술적인 측면으로 해결하고 사용 후 원전연료의 환경적인 문제가 효율적으로 관리되는 파이로프로세싱과 소듐 고속로 기술이 바람직하고 우리가 나아가야 할 기술적인 방향이라 생각된다. 이미 다른 강대국들은 정책이 결정되어 정부의 지원 아래 개발이 착수 되어있다.

우리나라 역시 서둘러 정책을 결정하여 에너지자원안보의 해결책을 마련해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] A Study on the Implementation Strategies of Closed Nuclear Fuel Cycle, 한국방사성폐기물학회, 2008
 [2] Nuclear Power Note, 한국수력원자력, 2008
 [3] Global Nuclear Energy Partnership Strategic Plan, 2007