

러시아

러시아 핵발전 분야의 연구개발현황

- 용융염 반응로를 중심으로 -

서길원<sup>1)</sup>

## 1. 서론

최근 미국, 러시아를 비롯한 선진국들에서는 범지구적인 통합에너지 시스템의 연구개발을 위한 노력이 한창이다. 이미 '96년 2월, 러시아 상트 페테르부르크 시에서는 이러한 범지구적인 에너지 시스템(Global Energy System) 구축에 필요한 과학기술적인 근거들을 제시하기 위한 제1회 "White Land" Chapter 국제 컨퍼런스가 개최된 바 있다. 여기서 white land라는 함은 철저한 국제감시하에 핵폐기물과 관련 처리설비들이 집결된 특수제한 구역들을 의미한다. 동 컨퍼런스에서는 현재의 과학기술적인 지식을 근거로 하여 다음의 여러 조건을 만족시키는 범지구적인 에너지 시스템 개발가능성이 논의되었다.

- 1) 설계 안전성
- 2) 용이한 자원조달의 보장성
- 3) 에너지 시스템의 통합성
- 4) 에너지 효율성
- 5) 재활용성
- 6) 무 폐기물 가능성
- 7) 운영 안전성
- 8) 생물학적 중성(Bio-neutrality)

동 컨퍼런스에서는 상기의 조건들을 만족시키는 에너지 시스템은 핵분열(nuclear fission)을 이용한 핵발전인 것으로 결론내렸다. 비록 그 동안에는 핵발전에 있어서 안전도 측면이 그 중요성에 비해 각국의 정치·군사적인 이해관계에 가려져 비중 있게 다루어지지 않았던 면도 없지 않았지만, 현재의 발달된 기술수준은 핵발전이 모든 에너지 문제를 안전하게 해결할 수 있을 것이라는 가능성을 제시하게 되었다. 물론 동 컨퍼런스에 참석하였던 각국의 전문가들은 이미 여러 나라에서 널리 쓰이고 있는 핵발전 방식이라 하더라도 환경에 조금이라도 악영향을 미칠 수 있는 여지가 있는 발전 방식들은(가압수냉방식, 수증기냉각방식, 소듐 냉각방식 고속증식로, 우라늄-흑연 증식로 등)은 범지구적 에너지 시스템에서 제외되어야 한다는 원칙을 전제하고 있다. 이러한 관점에서 상기에 명시한 조건들을 만족시키기 위해 가장 유망한 것으로 제시되었던 통합 에너지 시스템은 크게 다음의 2개 요소로 구성된 핵발전 방식이다.

### 1)외부 요소

고도로 안전하고 운전이 용이한 핵발전소들의 범지구적 네트워크

## 2) 내부 요소

범지구적 네트워크와는 별도로 모든 연료의 전처리와 후처리, 폐기물 등의 관리가 이루어지는 단계

이때 외부요소의 근간이 되는 것은 납-비스무트 합금 냉각방식의 반응로이고, 내부요소의 근간이 되는 것은 불화염기술에 입각한 용융염 반응로(MSR: Molten Salt burner Reactor)이다.

### 2. 납-비스무트 합금 냉각방식의 반응로

동 유형의 발전설비의 장점은 어떠한 조건하에서도 사고와 오염에 의한 재해의 가능성을 전적으로 배제한다는 데 있다. 즉 일차 냉각회로의 물리적인 특성 때문에 어떠한 사고 발생시에도 납-비스무트 합금의 냉각제 작용에 의해 사고가 차단된다는 것이다. 40여년에 이르는 동 시스템의 개발 역사는 그 안전성을 입증한다. 또한 동 발전설비는 그 유지에 특별한 조치가 필요치 않으며 운전이 간편하다는 이점도 있다. 뿐만 아니라 10~15년 가동분치의 연료가 장입된 상태에서 완전 조립된 형태 그대로 각 단위가 설치되기 때문에 설치 현장에서 관리문제가 거의 없으며 연료가 모두 소모된 후에도 반응로를 통채로 교체하도록 설계되어 있어 설치와 교체가 매우 용이하다. 따라서 사용자는 사용기간 중 에너지 가격의 변동에 의한 추가비용 발생 상황에 능동적으로 대처할 수 있게 되며, 소진된 반응로는 완전히 수거되어 재처리되기 때문에 폐기물처리에 대한 비용이나 불편 등에 대한 부담도 줄일 수 있게 된다.

동 발전설비의 크기는 필요 전력량과 규모에 따라 각 반응로 단위(1, 5 혹은 50MWe)를 병렬로 연결하여 출력의 조절이 가능하기 때문에 대형 중앙집중식 시스템에서처럼 장거리 동력선의 설치가 요구되지 않으며 외딴 지역이라도 운반이 용이하기 때문에 설치가 가능하다.

더욱이 동류의 발전설비에 장입되는 연료는 군수용 목적으로 사용할 수 없기 때문에 세계 어느 곳이라도 핵확산의 우려 없이 광범위하게 설치할 수 있다.

### 3. 용융염 반응로(MSR)

용융염 반응로는 1950년대 초기부터 개발되기 시작하여 실험용 반응로는 미국에서 시험되어 왔으며, 용융염 루프(loop)는 구 소련에서 개발되어 왔다. 불화염 기술의 발달은 반응로 가동정지(shut down) 후 최소 냉각기간 동안에도 연료의 재처리를 가능하게 한다. 이는 연료 사이클 중 액티나이드계 화합물의 양을 상당히 감축시켜 연료사이클 안으로 되돌려질 수 없는 핵생성물(nuclide)의 양을 궁극적으로 감축시킬 수 있게 한다. 불화염기술의 주 특징은 다음과 같다.

- 1) 핵연료의 종류에 관계없이 사용될 수 있다.
- 2) 단순 장비 내에서 신속하게 반응들이 진행된다.
- 3) 사용된 연료는 희석되지 않는다.
- 4) 플루토늄이 다른 핵부산물로부터 분리되지 않는다.
- 5) 헬륨이 포함된 매개체들이 사용되지 않는다.

6) 용융염조와 핵부산물들은 방사성 충격 하에서도 안정적이다.

또한 용융염 반응로는 연료조성을 유동적으로 조절할 수 있기 때문에 액티나이드계 화합물과 수명이 긴 핵부산물에 대한 연료싸이클을 닫힌(closed)계로 만들어 줄 수 있다. 즉 핵발전의 결과로 생성되는 폐기물을 다시 연료로 사용할 수 있어 최종 폐기물의 양을 최소화시킬 수 있다는 것이다. 동 방법은 수용액처리법(습식법)과 구분 짓기위해 건식법(dry method)라 일컬어진다. 용융염 반응로의 활용은 한때 상당한 국제적 관심을 불러 일으켜 러시아 내에서도 Kurchatov Center를 중심으로 프랑스, 체코, 독일 등지의 핵센터들과 긴밀한 협력관계가 유지되다가 1986년에 발생한 체르노빌 완전사고의 여파로 중단되었다.

#### 4. 용융염 기술개발의 최근 현황

최근 러시아의 Kurchatov 연구소와 쏘러시아 기술물리연구소(첼랴빈스크所在)를 위시하여 러시아 전역에 분포한 7개 연구소와 체코의 2개 연구소들의 참여 하에 용융염 반응로와 관련한 기술개발 컨소시엄이 형성된 바 있다.(<부록 1> 참조). 동 컨소시엄은 이후 미국의 Los Alamos 연구소와 일본의 Toshiba社의 참여와 더불어 지난 3~4개월간 그 활동이 신속하게 전개되고 있다. 지난 '97년 5월에는 美 Santa Monica 市에서 RAND corporation의 후원하에 제1회 용융염 기술에 관한 컨퍼런스가 이미 개최된 바 있는데, 이때 컨소시엄 회원국들간 양해각서가 체결되었다. 곧 이어 '97년 7월에는 제2회 컨퍼런스가 러시아의 첼랴빈스크-17 市(시베리아 所在)에서 개최되어 日 Toshiba社 주축으로 반응로의 안전성에 대한 논의가 집중적으로 이루어졌다. 제3회 컨퍼런스는 일본의 나리따에서 '97년 8월 15일에서 25일까지 개최될 예정이다. 동 컨소시엄의 협력형태는 가장 기초적인 실험실-실험실간 협력이 추가되고 있으며 현재의 계획은 첼랴빈스크-17市(시베리아 所在)에 15MWt급 시험용 용융염 반응로를 제작하는 것으로 되어 있다. 한편 Kurchatov원자력연구소는 용융염 반응로 관련 2개 과제에 대한 지원서를 현재 ISTC에 신청 중이다.

#### 5. 결론

원천적으로 에너지와 자원이 부족한 우리 나라에서는 일찌감치 원자력 에너지에 의존하여 전력과 에너지를 생산하고 있다. 그러나 환경보호에 관한 인식이 높아지면서 원자력 발전 폐기물의 처리에 관한 문제가 심각하게 대두되고 있는 가운데 zero 폐기물에 가까운 용융염 기술에 대한 관심이 가지 않을 수 없다.

이러한 가운데 러 Kurchatov 원자력 연구소에서는 동 컨소시엄에 한국이 참여하기를 강력히 희망하고 있으며 이와 관련하여 일본 나리따에서 개최될 예정인 제3회 용융염 기술에 관한 컨퍼런스에 한국측 대표들도 참여해 주길 희망하고 있다. 동 제안과 관련하여 한국 원자력계의 관심과 대응이 기대된다.

<부록 1>용융염 기술 컨소시엄 창단회원국과 연구소 명단('96년 현재)

Russia

-Russian Research Center. "Kurchatov Institute". Moscow

-All Russia Research Institute of Technical Physics. Chelyabinsk

-All Russia Institute of Chemical Technology. Moscow

-Radium Institute after V.G. Hlopin. St. Petersburg

-Design Office "Hydropress". Podolsk

-Research Institute of Nuclear Reactors. Dimitrovgrad

-Institute of Electrochemistry. Ural branch of the Russian Academy of Sciences.  
Ekaterinburg

Czech Republic

-Institute of Nuclear Physics. Academy of Sciences of the Czech Republic. Rez

-Institute of Nuclear Research. Rez

주석1) STEPI 모스크바 사무소장, 금속공학 박사(Tel: 7-095-124-0624)