

## 나트륨-콘크리트 반응특성연구

장기홍, 김민석, 민병훈, 배재훈, 김수만\*, 황성태\*\*  
수원대학교 화학공학과  
수원대학교 토목공학과\*  
한국원자력연구소\*\*

### A Study on Sodium - Concrete Reaction

Ki-Hong Jang, Min-Seok Kim, Byong-Hoon Min  
Jae-Heum Bae, Su-Man Kim\*, Sung-Tai Hwang\*\*  
Depart. of Chemical Eng., The University of Suwon  
Depart. of Civil Eng., The University of Suwon\*  
Korea Atomic Energy Research Institute\*\*

#### 1. 서론

현재 우리나라 및 전 세계적으로 주로 이용되고 있는 원자로는 경수로로서 원료인 우라늄 원소의 극히 제한된 양만 이용되고 있어 자연에 유한한 양 만큼 부존되어 있는 우라늄 자원을 효율적으로 이용하지 못하는 단점이 있다. 따라서, 석탄 화력발전이 환경문제를 안고 있고 기존의 경수로형을 이용한 원자력발전으로는 가까운 장래에 우라늄 부존자원의 고갈이라는 문제점을 안고 있어 차세대 에너지원으로서 액체 금속로는 유망한 원자로로 평가된다. 액체 금속로는 기존의 원자로와 달리 열 중성자를 사용하지 않고 고속 중성자를 사용하여 기존 원자로보다 열효율이 높고 우라늄 자원의 이용 효율을 60배 이상 제고시킬 수 있지만 냉각재로서 중성자 에너지를 감속시키는 기능이 적은 Na를 주로 사용하고 있다.

액체 금속로에서 냉각재로 이용되는 용융 나트륨은 경수로의 냉각재인 물보다 핵적, 물리화학적으로 많은 장점이 있지만 화학적으로 매우 활성이 커서 물이나 공기와 접촉하였을 때 격렬한 화학반응을 일으켜 열을 발생시키고 가연성 가스인 수소를 발생시킬 수 있는 단점이 있다. 따라서 나트륨의 반응을 방지하기 위하여 액체 금속로의 구조물 재료는 거의가 스테인레스강으로서 이루어져있고 Na냉각재의 누출을 최소화하고 만약의 누출에 대비하여 원자로 용기를 여러 겹으로 구성한다. 위와 같이 액체 금속로는 반응성이 큰 고온의 용융 Na의 누출에 대비하기 위한 여러 안전장치가 필요하다. 따라서, 액체 금속로 냉각 계통에서 용융 나트륨의 누설은 그 확률이 매우 적지만 액체 금속로 개발시 이에 대한 안전대책이 필수적이다. 나트륨이 누설될 경우 고온의 Na와 콘크리트와의 반응과 열효과로 인한 구조물의 파손과 이때 발생하는 수소에 의한 원자로 용기 압력 증가 혹은 수소폭발화재, 그리고 방사성오염 물질 누출등 액체 금속로 안전성에 심각한 위험을 초래할 경우를 고려하여 원자로를 설계하고 대비책을 세울 필요가 있다. 이에 따라 액체 금속로 개발의 선진국들은 일찍부터 액체금속로 개발의 기반기술의 하나로 Na누설방지와 누설시 일어날 수 있는 여러가지 현상들을 실험적으로 모사해보고 이를 분석하여 액체 금속로 설계에 반영하여 왔다.

나트륨-콘크리트 반응 연구는 주로 액체 금속로 개발의 선진국인 미국, 영국, 프랑스, 독일, 일본 등에서 80년대 중반까지 활발히 추진되어 왔다. 현재는 유럽 통합로( EFR ) 개발에 참여중인 프랑스를 중심으로 독일, 영국에서 이루어지고 있으며 일본에서도 21세기의 유망한 에너지원으로서 액체 금속로를 설정하고 이에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 나트륨-콘크리트 반응은 매우 복합적으

로 일어나기 때문에 이의 해석에 매우 어려움이 있다. 따라서 액체 금속로를 추진하고 있는 국가에서는 액체 금속로의 설계나 안전성 평가에 반영하기 위하여 현재도 보다 완벽한 나트륨-콘크리트 반응 모델을 개발하여 액체 금속로의 안전 설계에 반영하기 위하여 대규모 시험시설을 건설운전하여 용융 나트륨의 누설에 따른 여러 형태의 사고현상을 관찰하고 이의 결과를 모사하기 위하여 연구를 계속적으로 추진중에 있다.

따라서, 본 연구에서는 차세대의 에너지원으로 기대되는 액체 금속로의 개발에 따른 원자로의 안전성대책 확보의 일환으로 나트륨-콘크리트 반응특성 규명을 위한 소규모 나트륨-콘크리트 반응 시험시설을 제작 설치하여 실험을 추진중에 있다.

## 2. 실험장치 및 방법

그림 1은 나트륨-콘크리트 반응 실험을 하기 위하여 설계제작된 소형실험 장치이다. 실험장치의 주요 구성성분은 나트륨을 가열 용융시키는 나트륨 가열장치(Sodium Heating Tank), 콘크리트 시편과 나트륨을 반응시키는 시험용기(Test Chamber), 그리고 반응하여 발생된 수소가스를 퍼지시키기 위하여 만들어진 가스 세척탑(Scrubbing Tower), 시험용기 내의 콘크리트 시편, 그리고 나트륨 및 콘크리트 시편 그리고 배관부위를 가열 조절하고 온도등을 측정할 수 있는 제어판(Control Panel)과 컴퓨터 자료입력계통(Computer Data Acquisition System)이 있다.

실험순서는 일정량의 나트륨을 나트륨가열장치에 주입시키고 질소분위기하에서 나트륨을 일정온도(300-700℃)까지 가열하고 밸브를 열어 질소 분위기하에 있는 시험용기안의 콘크리트 시편에 주입시킨다. 주입직후 Data Acquisition System을 가동시켜 고온의 나트륨온도, 그리고 나트륨과 콘크리트시편과의 반응에 따른 시험용기내의 가스온도 및 수소농도 변화, 콘크리트 시편의 온도변화를 측정하였다. 이때 콘크리트 시편은 콘크리트 시공후 30일 이상 경과후에 사용하였다. 그리고 수소농도측정은 TCD detector를 사용한 가스크로마토그래프를 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2, 3은 400℃, 250g의 나트륨을 콘크리트시편에 주입시켰을 때의 콘크리트 시편의 온도변화와 시험용기내의 가스농도를 일차적으로 측정한 자료를 도시한 것이다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 시험용기내의 수소농도는 급격히 증가한 후에 서서히 감소하지만 콘크리트시편의 온도는 서서히 증가하였다가 감소함을 보여준다. 이는 비록 콘크리트 중의 수분과 나트륨과의 급격한 반응에 의하여 수소의 발생속도가 빠르지만 열전달속도가 느리기 때문인 것으로 평가된다. 그리고 수소의 농도가 감소하다가 갑자기 증가함을 보여주는 것은 콘크리트 시편 속의 수분이 간헐적으로 증발하여 이것이 나트륨과 반응함에 기인하는 것으로 추론된다. 그러나 나트륨-콘크리트 반응특성을 구명하기 위해선 많은 조건에서의 실험이 요구되며 현재 추진중에 있다.

### 참고문헌

1. A. K. Poatma et al. "A Review of Sodium-Concrete Reactions", HEDL-TME81-7(1987).
2. N. Soule, "Analysis of the Sodium-Concrete Interactions with the NABE code, IWGFR(1989).

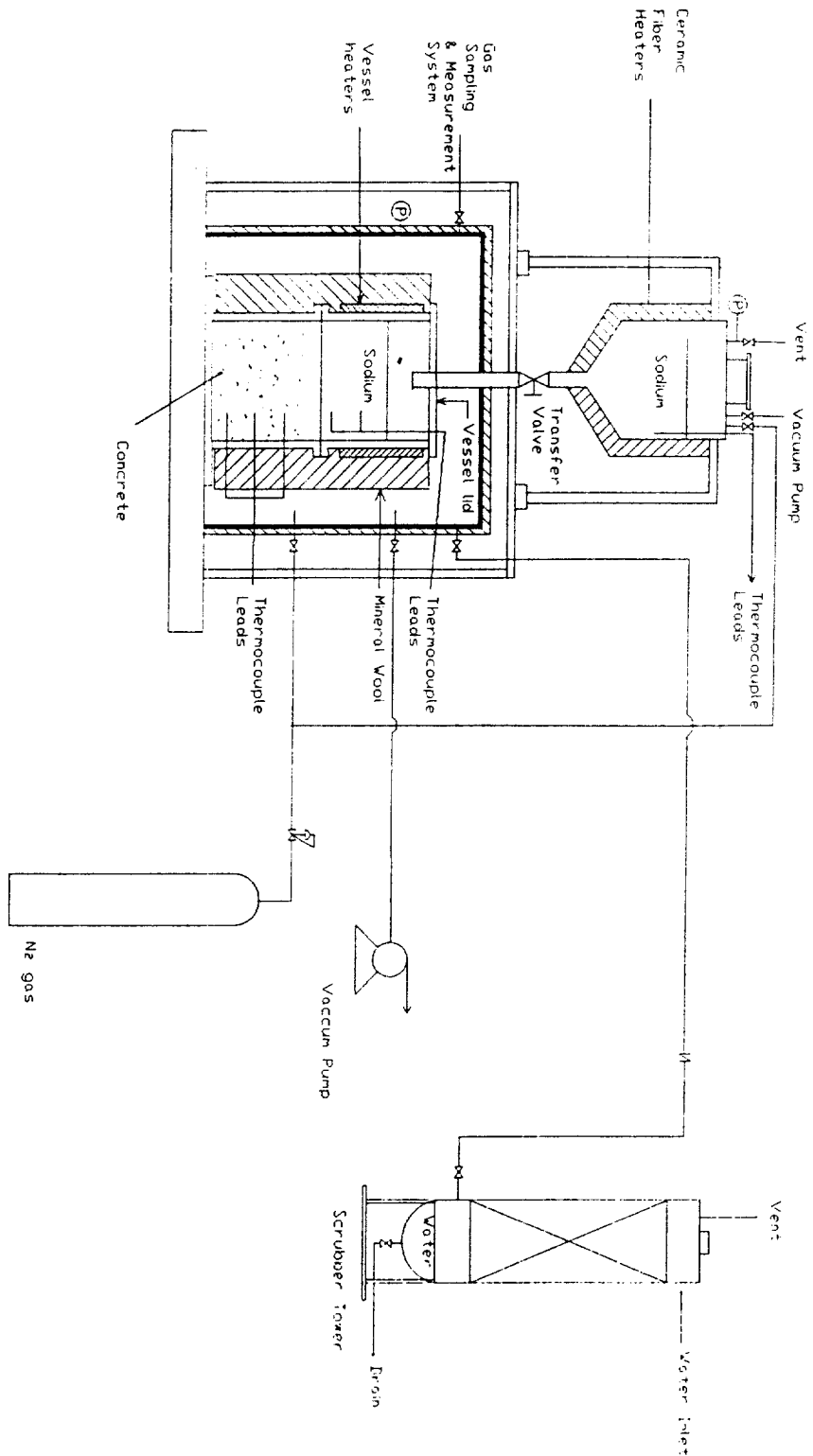


Figure 1. Sodium-Concrete Reaction Test Facility.

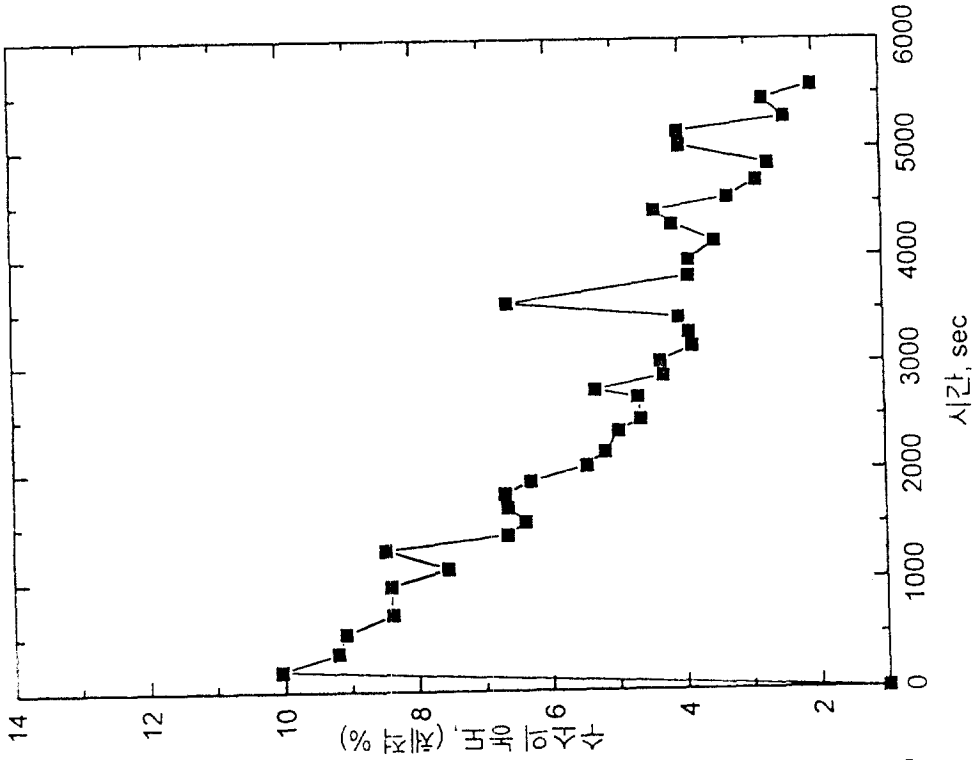


Figure 3. Hydrogen Concentration Profile in The Test Chamber

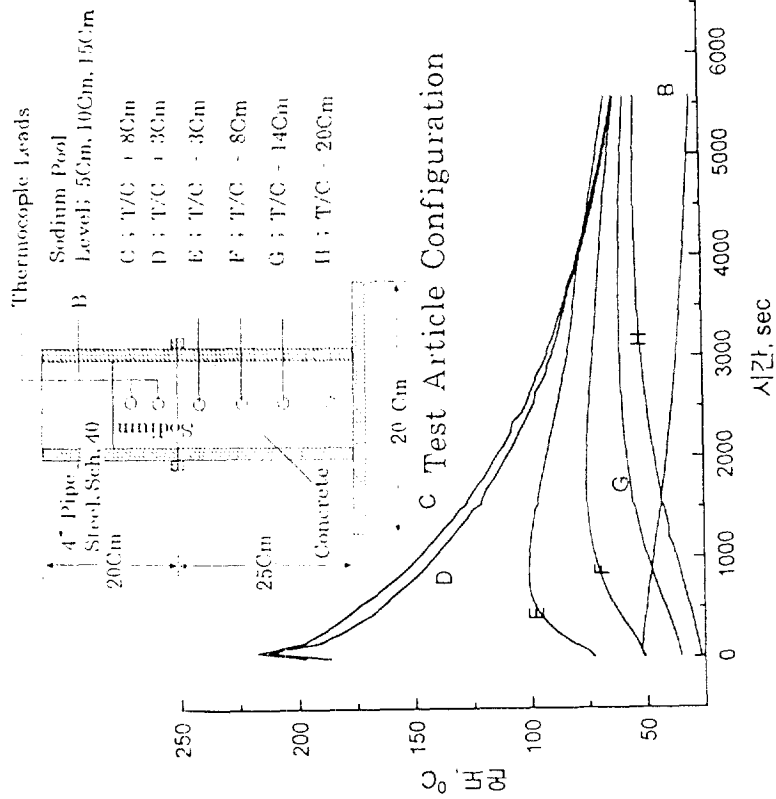


Figure 2. Temperature Profile of Concrete Article