

격납용기내 소격실에서의 수소혼합 연구

박군철, 최용석, 이운장
서울대학교

요 약

격납건물내 소격실에서의 수소혼합 정도를 파악하고 격실내 균일한 혼합을 좌우하는 인자의 영향을 분석하기 위하여 소규모 혼합실험을 수행했다. 본 연구에서는 해석적으로 수립된 3차원 혼합 모델의 검증을 위하여 3차원 모사가 가능하도록 실험 장치를 구성하였다. 격납용기 내에서 수소 생성의 주 원인이되는 노심으로부터의 수소거동을 분석하기 위한 기초 실험(실험 A)과 안전주입 탱크 격실에서의 수소거동을 분석하기 위해 원형 혼합 chamber를 구상했다. 기초실험 A에서는 혼합 chamber내 축 방향으로 대칭적인 오리피스형 장애물을 설치하고 실험했고 안전주입 탱크 격실을 모사한 실험 B는 영광 3&4호기를 바탕으로 축소시켜 안전주입탱크 격실내 존재하는 두층과 안전 주입 탱크 사이의 틈을 통한 혼합체의 거동을 분석했다. 실험결과 오리피스형 장애물을 설치한 기초실험에서는 원형 띠모양의 장애물이 혼합체의 거동에 큰 영향을 주지 않는 것이 관측됐지만 안전주입탱크격실 실험에서는 격실내 장애물로 존재하는 두층이 혼합체의 거동에 큰 영향을 주는 것이 관측됐다.

1. 서 론

원자력 발전소에서 중대사고시 수소에 의한 격납용기 건전성 위협은 TMI-2 사고에서도 그 가능성이 입증되었다. 즉, 손상된 노심 용융물로부터 다량의 수소가 발생되어 부분적으로 격납건물 내에서 수소연소가 일어남으로써 원자로 사고시 수소거동 현상의 중요성을 재인식시켰다. 중대사고시 노심 구성성분의 수증기/산소와의 산화반응과 노심 용융물이 원자로용기의 파손으로 원자로 공동내(cavity)에 떨어질 경우 콘크리트와의 반응에 의해 발생된 수소가 이송되어 격납용기 내에서 연소될 경우 발생하는 고온, 고압상태는 격납건물과 중대사고시 작동되어야 할 안전관련 설비의 건전성을 크게 위협할 수 있고 이로 인한 격납용기내의 급속한 압력증가는 격납건물의 대형과

손을 가져올 수 있다. 이를 위해 중대사고시 수소거동에 대하여 많은 연구가 수행되었으나 실험과 실제원전에서 일어나는 사고조건이 달라 많은 기술적 불확실성이 존재한다. 특히 연소분야에서는 다양한 초기조건에서의 수소연소 한계와 점화에너지에 대한 자료가 체계적으로 축적되어 있지 않아 실제 원전 작동조건에서의 수소점화와 연소상황을 적절하게 예측하는데 한계성을 가지고 있다. 따라서, 본 실험을 토대로 하여 개발될 정확한 해석 모델은 중대 사고시 수소거동과 관련하여 격납건물내 소격실에서의 현상 이해와 수소연소 한계 및 점화에너지에 대한 자료를 제공하여 원전 안전성 향상에 기여하는 데 목적을 두고 있다.

2. 실험

전반적인 실험장치의 구성도는 그림[1]이고 실험조건은 표 [1]과 같다. 그림 [2]는 기초실험 A와 안전주입탱크 격실을 모사한 실험 B의 단면도이다. 실험 A는 직경 1m, 높이 1.5m 인 원통형이고 내부에는 0.3m인 오리피스 형태의 장애물을 설치했다. 안전주입탱크 격실을 모사한 실험 B는 직경 1m, 높이 1.7m인 원통형 혼합chamber로 영광 3&4호기를 모델로 해서 11대의 비율로 축소시킨 실험장치로 안전주입탱크 격실내 140ft와 181ft에 존재하는 두층을 모사해서 1.5mm 두께의 판형 장애물과 안전주입탱크를 직경 0.25m, 높이 1.10m의 크기로 설치했다. 실험의 안전성을 위해 수소 대용으로 헬륨을 사용했다. 실험과정은 크게 네 개의 과정으로 구성된다. 혼합체 주입 과정, 예비 혼합과정, 확산과정, 계측과정으로 나눌 수 있다. 혼합체 주입과정에서는 증기와 헬륨 가스가 일정 온도로 유지되는 예열기(preheater)를 거쳐서 주입된다. 이는 헬륨과 섞이는 증기가 chamber내에서 응축되는 양을 줄이기 위한 과정이다. 공급된 증기와 헬륨은 chamber내로 주입되기 전에 혼합기를 거치면서 균질하게 혼합된다. 주입된 혼합체는 혼합 chamber내의 장애물을 거치면서 상부로 확산된다. 이때 혼합체의 거동에 영향을 주는 장애물의 주위에서 혼합체를 추출하여 수분을 제거한 후 헬륨의 농도를 계측기가 측정한다. 계측기가 측정한 헬륨은 수분이 제거된 상태에서 계측하기 때문에 실제 혼합탱크 내에서의 헬륨 농도는 증기 때문에 계측된 양보다 더 적다. 이를 위해 혼합체의 추출 지점에서의 포화온도에 따른 농도보정이 필요하다.

3. 결과 및 고찰

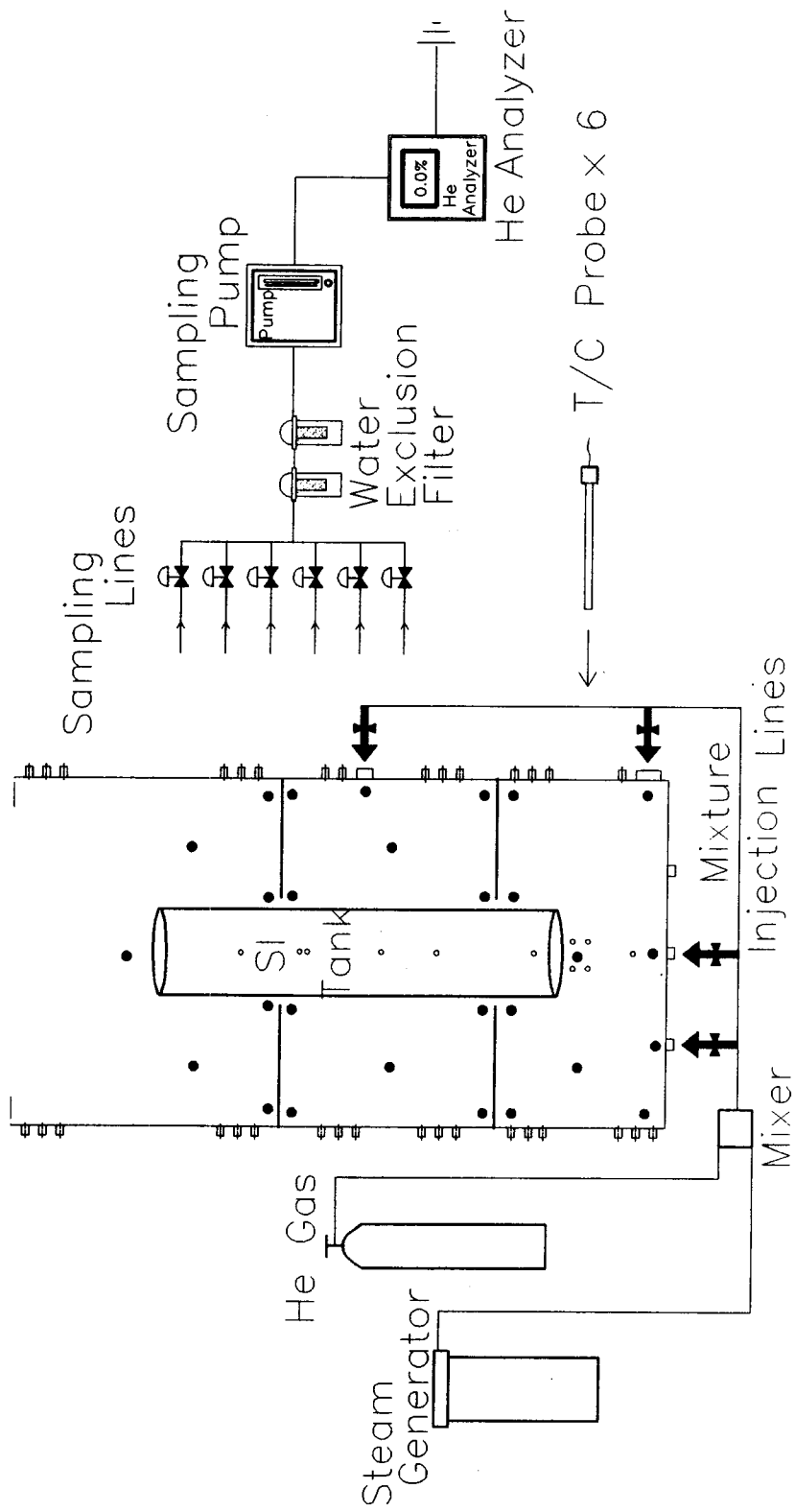
수소 거동에 대한 기초실험인 실험 A의 결과로부터 그림 [3]에서와 같은 장애물에 따른 혼합체의 거동을 알 수 있다. 장애물의 폭이 0.3m인 경우 실험 시작 후 혼합 chamber내가 균일한 상태에 도달한 후 장애물 주위에서의 혼합체의 분포는 큰 차이를 보이지 않는 것이 관측됐다. 이는 혼합 chamber의 규모에 비해 많은 양의 혼합체가 주입됐기 때문이라 예측된다. 주입되는 혼합체 내에서의 증기의 양에 따라 계측되는 헬륨의 농도가 차이가 있게 되는데 혼합 chamber 내의 온도가 낮게되면 증기의 응축 양이 많아져 계측되는 헬륨 농도는 상대적으로 커지지만 혼합 chamber의 온도가 높아서 증기의 응축이 줄어들면 헬륨의 상대적인 양은 적게되어 낮은 농도가 계측된

다.

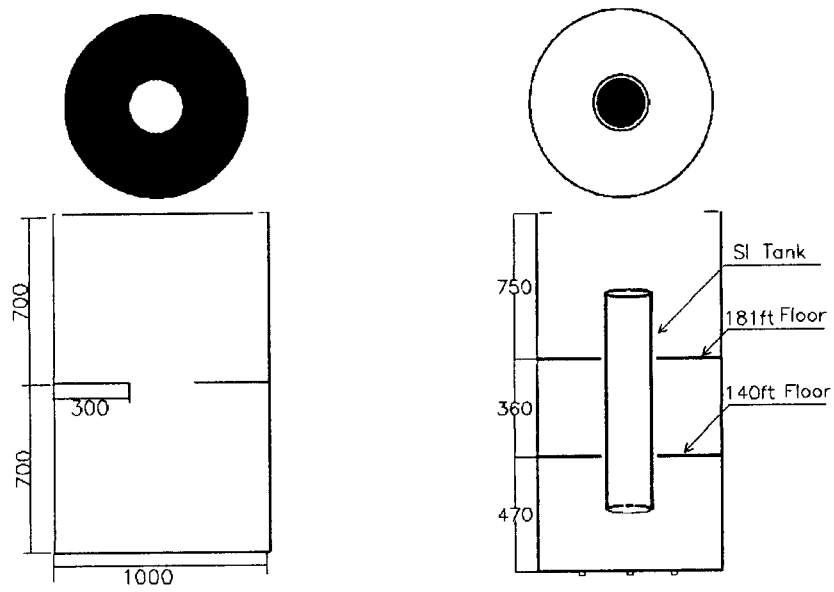
안전주입탱크 격실을 모사한 실험B에서의 결과는 그림 [4]에서와 같다. 앞선 기초 실험A에서 보다 층으로 구분되는 각 소격실 사이에서의 농도차이가 주입량과 비교해서 높게 관측된다. 이는 실험 A에서보다 혼합체가 이동하는 면적이 크게 줄어들었기 때문이라 할 수 있다. 또, 혼합탱크 가운데로 주입된 고온의 증기가 분사되는 입구에서 강한 모멘텀으로 상승하면서 안전주입탱크 밑면에 충돌하면 증기가 지닌 모멘텀은 크게 줄어들어 안전주입탱크 벽을 따라 많은 양의 증기가 상부 객실로 이동하는데 이때의 거동은 증기의 부력이 더 지배적이라 할 수 있다. 안전주입탱크와 층 사이의 틈을 통해 들어온 증기는 많은 양이 부력으로 상승해서 위 층 격실로 이동하므로 가운데 격실의 구석에서의 헬륨 농도가 낮게 나타난다. 다시 말해서 안전주입탱크 격실내 존재하는 두층이 혼합체의 거동에 영향을 준다는 것을 가리킨다. 또한 안전주입탱크 격실의 하부 소격실내 안전주입탱크 밑에서 헬륨 농도가 높게 관측됨을 알 수 있다. 이는 혼합 chamber내 중심으로 주입되는 혼합체내의 수증기의 모멘텀이 헬륨의 모멘텀보다 커서 헬륨의 거동을 수직 방향으로 유도하기 때문이라 예측된다.

참고문헌

- [1] Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Suhas V. Patankar
- [2] Incompressible Flow, Ronald L. Panton, JOHN WILEY & SONS
- [3] Elements of Transport Phenomena, L. E. Sissom, D. R. Pitts, McGRAW-HILL
- [4] Transport Phenomena, R. S. Brodkey, H. C. Hershey, McGRAW-HILL
- [5] A Model for Hydrogen Migration Studies In LWR Containments, J. R. Travis



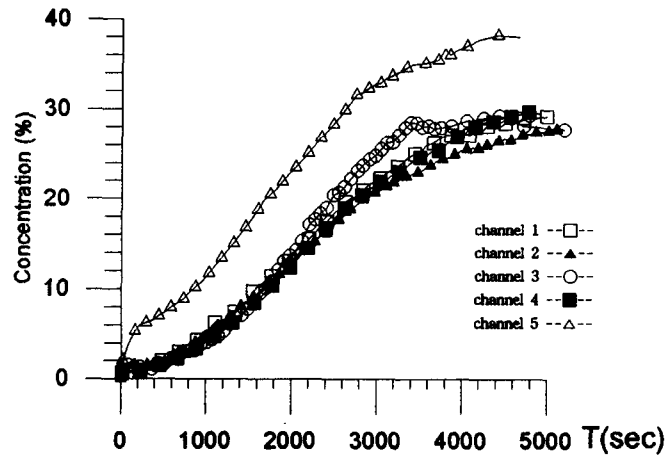
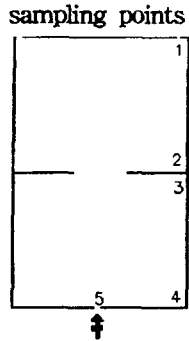
그림[1]. 헬륨 혼합 실험장치 구성도



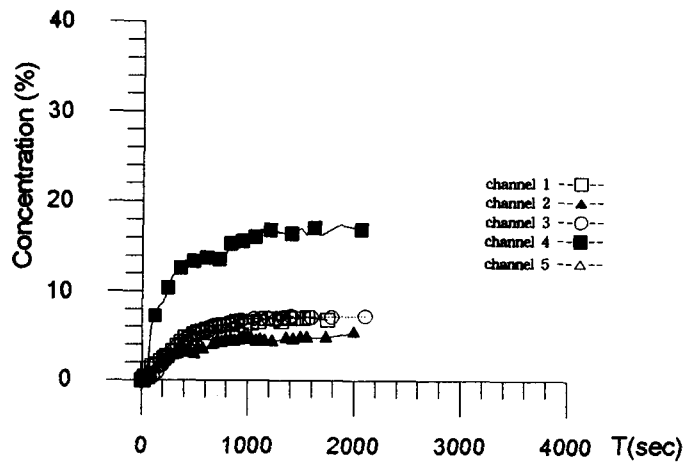
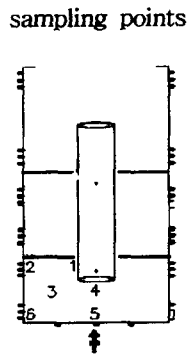
그림[2]. 실험 A , B 단면도

표 [1]. 실험조건

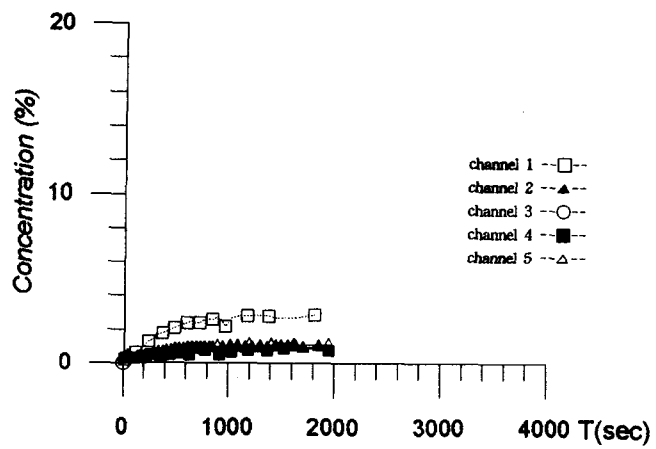
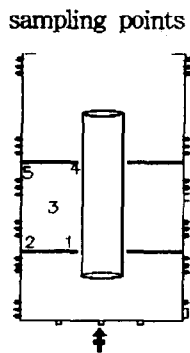
구 분	실 험 A	실 험 B
헬륨 주입량 (g/min)	0.657	0.663
증기 주입량 (g/min)	30	8
혼합체 질량유량(g/sec)	30.657	8.663
혼합탱크벽면온도(℃)	80	90



그림[3]. 실험 A에서 각 sampling point별 농도분포



그림[4-I]. 실험 B에서 각 sampling point별 농도분포



그림[4-II]. 실험 B에서 각 sampling point별 농도분포