

VISTA 피동잔열제거시스템의 특성에 관한 실험적 연구

Experimental Studies on the Characteristics of the VISTA Passive Residual Heat Removal System

박현식, 최기용, 조석, 박춘경, 이성재, 최남현, 민경호, 송철화, 정문기

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

고온고압 열수력 실험장치 VISTA의 피동잔열제거시스템(PRHRS)에 대한 특성을 파악하기 위한 실험이 수행되었다. PRHRS의 성능 관련 민감도 실험을 수행하기 위하여 기존의 VISTA 실험장치가 개조되었다. 개조된 VISTA PRHRS에는 하나의 체크 밸브가 추가되었으며, PRHRS 응축열교환기는 비상냉각탱크(ECT) 수조 내부에서 냉각이 이루어진다. 개조된 VISTA PRHRS를 이용하여 격리밸브 개폐 시간에 대한 시험이 수행되었으며, VISTA PRHRS의 각 구간별 차압 특성이 조사되었다. 또한 PRHRS 자연순환 예비실험이 수행되어 추가된 체크 밸브, 보상탱크, 및 비상냉각탱크의 특성이 파악되었다.

Abstract

Characterization tests are performed to investigate the functionality of the passive residual heat removal system (PRHRS) of the high temperature and high pressure thermal-hydraulic test facility, VISTA. The existing VISTA facility is revised to perform the performance-related sensitivity tests of the PRHRS. In the revised VISTA PRHRS a check valve is installed additionally, and the PRHRS condensing heat exchanger is cooled in the emergency cooldown tank (ECT) pool instead of the previous cooling by forced convection. The opening and closing times of four PRHRS isolation valves are measured, and the sectional differential pressure characteristics are investigated using the revised VISTA PRHRS. Also a pretest of PRHRS natural circulation is performed and the characteristics of the added check valve, the compensation tank, and the emergency cooldown tank are investigated.

1. 서론

본 연구는 SMART-P[1] 모의를 위한 고온고압 열수력 실험장치(VISTA)의 피동잔열제거 시스템(PRHRS, Passive Residual Heat Removal System)의 특성 실험에 관한 것이다.

기존의 고온고압 열수력 실험장치[2, 3]는 SMART-P[3]를 기준원전으로 하며, 높이비가

1/1, 면적비가 1/96, 체적비가 1/96인 열수력 종합효과 실험장치이며, 온도 및 압력은 SMART-P의 정상상태 및 과도사고 조건을 모의할 수 있도록 설계되었다. SMART-P에 대한 자세한 기술 사양 및 설계 기준은 참고문헌 [1, 4-5]에 자세히 나타나 있다.

PRHRS와 관련된 몇 가지 설계변수를 시험할 수 있도록 기존의 VISTA 장치가 개조되었다. VISTA 피동잔열제거계통에 관한 기존의 연구[6]에서 PRHRS 열교환기는 비상냉각탱크(ECT, Emergency Cooldown Tank)를 통한 냉각수의 강제대류 방식으로 냉각되었으며, 체크밸브는 PRHRS 열교환기의 출구 배관에 하나가 설치되어 PRHRS 자연순환 유로를 형성시켰다. 개조된 VISTA 피동잔열제거계통에서는 PRHRS 응축수배관 하부의 격리밸브 후단에 체크밸브 하나가 추가되었으며, PRHRS 열교환기는 비상냉각탱크에 잠긴 상태에서 수조(Pool) 냉각이 이루어진다. 또한 보상탱크가 작동되었다. 본 연구에서는 2단계 PRHRS 실험을 위해 개조된 VISTA 실험장치에 대한 몇 가지 특성 실험이 수행되었고, PRHRS 자연순환과 관련한 예비 실험이 수행되었다.

2. VISTA 피동잔열제거계통

피동잔열제거계통은 사고가 발생했을 경우 노심 및 압력용기가 과열 및 과압되는 것을 방지하는 계통이다. 그림 1은 개조된 VISTA 피동잔열제거계통의 개략도를 보여준다. 고온고압 열수력 실험장치의 피동잔열제거계통은 1 train의 냉각계통으로 이루어져 있고, 비상냉각탱크, 응축 열교환기, 보상탱크 및 밸브와 배관으로 구성된다.

자연순환에 의해 유입된 증기가 PRHRS 열교환기 내부에서 응축되면서 비상냉각탱크로 응축열을 전달하며, 응축열은 비상냉각탱크 내부의 냉각수에 의해 제거된다. 비상냉각탱크를 수조 형태로 만들기 위해 신규 ECT Barrel이 추가되었으며, 기존 및 신규 ECT에 1개의 수위계와 18개의 열전대가 추가되었다. 기존 및 신규 ECT Barrel의 개략도는 그림 2와 3에 나타나 있다. 이차계통의 증기 배관에서 분기된 배관은 비상냉각탱크 내부에 설치된 열교환기 상부 헤더로 연결된다. 과열 증기는 열교환기 튜브를 지나면서 응축되어 하부 헤더로 모였다가 계통 배관을 거쳐 이차계통의 급수 배관으로 다시 들어간다.

PRHRS 열교환기는 비상냉각탱크 내부에 수직으로 설치되며, 열교환기의 기울기가 변경될 경우에도 유지 및 보수가 용이하게 기기가 배치되었다. 열교환기는 6 개의 튜브와 상부 및 하부 헤더로 구성되었다. 각 열교환 튜브는 Inconel-600으로 제작되었으며, 길이는 1200 mm, 내경은 13 mm, 외경은 18 mm이다. 열교환기 튜브 벽에는 열전대가 부착되어 튜브 온도가 측정되며 상부와 하부 헤더에서의 압력 및 온도가 측정되도록 측정 포트가 설치되었다.

원자로 불시정지 후 노심 정지신호에 의하여 이차계통의 증기 및 급수 격리밸브(Isolation Valve)가 닫히고, 피동잔열제거계통의 우회밸브(Bypass Valve)가 열리면서 피동잔열제거계통이 작동된다. 그림 4는 피동잔열제거계통의 자연순환 회로를 보여주고 있다. 또한 그림 4에는 자연순환 회로 내의 압력, 온도 및 차압의 측정 위치가 나타나 있다. 이차계통의 증기관을 나온 증기는 비상냉각탱크 내부의 열교환기에서 냉각 및 응축되며, 이 물은 증기발생기의 급수관으로 재순환되어 증기발생기의 이차측을 통과하면서 일차계통을 냉각시킨다. 이차계통 및 피동잔열제거계통에서의 자연순환은 증기발생기 이차측, 이차계통 증기배관, 피동잔열제거계통 증기배관, 응축 열교환기, 피동잔열제거계통 응축수 배관 및 이차계통 급수배관의 순서로 진행된다.

3. Test Matrix

정상상태 운전 조건에서 노심 모의 히터의 전원공급이 중단되고 펌프가 정지되면 PRHRS 자연순환 실험이 시작된다. PRHRS 성능 관련 민감도 실험을 위한 2단계 PRHRS 자연순환 실험은 총 8회 수행될 예정이다. 표 1은 설계자에 의해 제공된 PRHRS 성능 관련 민감도 실험 Test Matrix[7]이다. PRHRS 자연순환 실험이 수행되기 전의 정상상태에서 노심 모의 히터의 전원 공급량은 정격 전원의 50%, 일차계통 내부의 유량은 정격 유량의 100%를 유지한다. 노심 붕괴열의 모의를 위해 ANS73 curve가 사용되고, 열손실은 10.25 kW로 주어졌으며, 정격 전원은 682.3 kW이다.

본 연구에서는 개조된 VISTA PRHRS의 특성을 파악하기 위한 실험이 우선적으로 수행되었다. PRHRS의 작동시 사용되는 이차계통 격리밸브 및 PRHRS 우회밸브의 개폐시간에 대한 시험이 이루어졌고, PRHRS Loop을 통해 정해진 유량의 냉각수를 강제 대류시켜 PRHRS 각 부분에서의 차압 특성이 파악되었다. 또한 2단계 PRHRS 자연순환 실험에 대한 예비실험이 수행되었다.

4. 계측 변수

PRHRS의 열교환기, 증기배관과 급수배관, 증기발생기 이차측과 이차계통의 증기배관과 급수배관, 일차계통의 압력용기, 배관, 및 증기발생기 일차측에 계측기가 설치되었다. 기존의 VISTA PRHRS 자연순환 실험[6]에서는 자연순환 유량, PRHRS와 이차계통의 압력, 온도와 차압, 응축 열교환기의 표면 온도, 비상냉각탱크 내부의 유체 온도, 냉각탑(Cooling Tower)의 입/출구 온도, 냉각수의 입/출구 온도와 유량, 일차계통의 압력과 유량, 및 증기발생기 일차측의 압력과 온도를 측정하기 위하여 전체 46 개의 계측기가 사용되었다.

개조된 VISTA PRHRS에서는 비상냉각탱크 내부에서의 온도 분포를 측정하기 위하여 18 개의 열전대가 추가되었고, 비상냉각탱크의 수위가 계측되었다. 추가된 계측기에 대한 자세한 사항은 표 2에 나타나 있고, 기존 ECT Barrel 및 신규 ECT Barrel의 개략도 및 계측기 부착 위치는 그림 2와 3에 나타나 있다.

5. 실험 결과

5.1 PRHRS 격리밸브의 개폐 성능

피동잔열제거계통의 작동은 주급수 저유량, 주증기 저압력, 전원상실사고, 이차측 방사능 누출 등의 조건에서 PRHRS 작동신호가 발생되면서 시작된다. PRHRS 작동신호에 의해 이차계통의 증기 및 급수 격리밸브 및 PRHRS 우회밸브가 동시에 개폐된다. 이들 격리밸브의 개폐 특성은 PRHRS 성능에 중요한 역할을 한다. 그림 5는 PRHRS 관련 4개 격리밸브의 시간에 따른 개도를 보여준다. PRHRS 우회밸브(OV-RHS-01, OV-RHS-03)가 열리는 시간은 약 2초 정도이고, 이차계통 격리밸브(OV-SND-02, OV-SND-04)가 닫히는 시간은 약 4초이다.

5.2 PRHRS의 차압 특성

VISTA PRHRS Loop에 대한 차압 특성 실험이 수행되었다. 시험은 PRHRS 응축수배관 상의 우회밸브(OV-RHS-03) 전단에 배출 배관을 설치하여 수행하였다. 주급수 탱크로부터 주급수 펌프에 의해 일정량의 냉각수가 주입되어 이차계통 급수배관, 증기발생기 이차측,

PRHRS 증기관, PRHRS 열교환기, 및 PRHRS 응축수 배관을 통해 흐른다. 이때 각 구간별로 유량에 따른 차압이 측정되었다.

그림 6과 7은 각각 PRHRS Loop의 이차계통 및 PRHRS 부분에서의 차압 특성을 보여주고 있다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 증기발생기 내부에서의 차압이 가장 크게 나타나고 있으며, 상대적으로 증기 배관에서의 차압은 크지 않다. 그림 7은 PRHRS에서 차압이 가장 많이 발생하는 곳은 응축수 배관임을 보여준다.

그림 8은 PRHRS에 사용중인 체크밸브(VC-RHS-02 및 VC-RHS-03)의 유량 데이터(Flow Data)에 대한 업체 제공치 및 실험치의 비교결과이다. VC-RHS-02와 VC-RHS-03는 동일한 사양으로 Swagelok 사에서 구입된 체크밸브이다. 이 체크밸브는 Nominal cracking pressure가 1 psi인 밸브(CV-CH8-1)이다. 체크밸브를 제외한 기타 배관의 저항계수(Resistance Coefficient) K 값은 약 25로 추정되었다. 그림 8은 밸브 회사에서 제공한 유량에 따른 차압 데이터와 시험에서 얻은 데이터는 서로 일치함을 보여주고 있다.

5.3 PRHRS 자연순환 예비 실험

피동잔열제거계통이 작동되면, 증기발생기 이차측에서의 비등과 피동잔열제거계통 응축 열교환기에서의 응축에 의한 온도차에 의하여 계통 내부 유체는 자연순환을 하게 된다. 수행된 예비 실험은 노심 붕괴열이 모의된 실험이다. 정상상태에서 노심 모의 히터에 공급되는 전원과 피동잔열제거계통이 작동되기 전의 이차계통의 급수 유량은 각각 정격 전원 및 유량의 50%이었고, 일차계통 내부의 유량은 정격 유량의 100%이었다. 기존의 실험결과[6]는 PRHRS 자연순환 성능이 초기 이차계통 급수 유량 및 초기 공급 전원량과는 큰 관련성이 없다는 것을 보여주었다.

본 예비실험에서는 PRHRS 우회밸브와 이차계통 격리밸브가 PRHRS 작동신호와 동시에 열리고 및 닫히고, VC-RHS-02와 VC-RHS-03의 두 체크밸브가 모두 설치되며, 보상탱크의 초기 수위는 80%이고, PRHRS의 초기 계통 압력은 대기압이며, 보상탱크 연결배관 격리밸브는 정상운전 중 개방된 조건에서 수행되었다. 또한 비상냉각탱크의 초기 수위 및 온도는 3.15 m와 약 11°C이었다. 기존 PRHRS 실험[6]과 비교하여 VC-RHS-03이 추가로 설치되었으며, 보상탱크가 사용되고, PRHRS 열교환기의 냉각은 비상냉각탱크에서의 풀 비등을 통해 이루어진다. 또한 가압기의 중앙공동과 Gas Cylinder를 연결하는 배관이 개방된 상태에서 실험이 수행되었다. 실험 결과는 전반적인 경향이 기존 실험결과[6]과 비슷하다는 것을 보여주고 있으나, 달라진 작동 조건에 의해 계측값에 약간의 변화가 나타났다.

그림 9는 피동잔열제거계통이 작동되었을 때의 피동잔열제거계통의 자연순환 유량을 보여준다. 최대 순환유량은 약 0.018 kg/s이었고, 자연순환 유량은 비교적 일정한 값을 유지하며, 서서히 감소하는 것을 보여준다. 이는 보상탱크가 압력을 일정하게 유지시키는 역할을 수행하기 때문으로 보인다. 그림 10과 11은 각각 PRHRS 자연순환에서의 PRHRS의 압력 및 온도 변화를 보여준다. PRHRS 작동 초기의 최대압력은 약 53 bar로써 기존 실험결과[6]의 값인 62 bar에 비해 낮았다. 또한 PRHRS 순환유량의 감소로 압력과 온도가 더디게 감소함을 보여주고 있다. 그림 12와 13은 PRHRS 자연순환에서의 이차계통의 압력 및 온도 변화를 보여준다. 결과는 초기상태를 제외하고는 PRHRS의 압력 및 온도 변화와 비슷한 경향을 보여준다.

그림 14는 피동잔열제거계통이 작동되었을 때의 피동잔열제거계통의 두 측정 위치에서의 과열도를 보여준다. TC-RHS-03과 TC-RHS-05는 각각 열교환기의 상부 헤더와 하부 헤더

에 위치한 열전대이고, 과열도 계산을 위한 기준 압력은 각각 PT-RHS-01과 PT-RHS-02에 의해 측정되었다. 유체의 상태가 상부 헤더에서는 약간 과열되었거나 포화상태의 증기임을 보여주고 있고, 하부 헤더에서는 과냉각된 상태의 응축수임을 보여 준다. 따라서 응축 열교환기 내부의 열이 비상냉각탱크를 통해 흐르는 기기냉각수에 의해 효과적으로 제거되고 있다. 그림 15는 피동잔열제거계통이 작동되었을 때의 일차계통의 두 측정 위치에서의 과열도를 보여준다. TC-SG2-22와 TC-SND-01은 각각 증기발생기의 일차측 출구와 일차계통의 증기 배관에 위치한 열전대이고, 과열도 계산을 위한 기준 압력은 각각 PT-SG2-06과 PT-SND-01에 의해 측정되었다. 초기에는 유체가 과열상태를 유지하고 있다. 피동잔열제거계통이 작동된 이후, 유체의 과열도가 약간 감소하고, 다시 일정한 값을 유지한다. PRHRS 작동이 계속되면서 약 3200 sec 부근에서 과열도가 하강하면서 포화상태로 천이한다.

그림 16은 피동잔열제거계통이 작동되었을 때의 피동잔열제거계통 열교환기 튜브 표면의 온도를 보여준다. TC-RHS-04(a), TC-RHS-04(b)와 TC-RHS-04(c)는 각각 응축 열교환기 튜브의 상부, 중간 및 하부 표면 온도이다. 열교환기 상부에서는 비등이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있고, 열교환기 중간과 하부의 표면온도는 꾸준히 상승하는 것을 보여준다. 그림 17부터 그림 20은 여러 측정 위치에서의 비상냉각탱크 내부의 온도 분포를 보여주며, 각각 열교환기 튜브 사이, 탱크 벽면, 벽면에서 0.1 m 떨어진 위치, 및 탱크 중앙에서의 유체 온도 분포를 보여준다. 열교환기 튜브 사이에 있는 유체 온도를 측정하기 위한 열전대 중에서 가장 상부에 있는 TC-RHS-02(a)와 TC-RHS-02(d)의 온도가 열교환기 표면에서의 비등으로 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다. 열교환기 튜브 사이에서 측정된 중간부분과 하부의 유체 온도는 열교환기 표면온도의 증가와 함께 상승한다. 또한 PRHRS 열교환기 상부에 있는 비상냉각탱크 상부 유체의 온도는 꾸준히 상승하여 100℃를 넘으면서 증기가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 21과 22는 각각 PRHRS 작동중의 보상탱크 및 비상냉각탱크의 수위 변화를 보여준다. 보상탱크의 수위는 초기 계통압력이 4.5 MPa 이상으로 상승함에 따라 일시적으로 수위가 상승했다가 이어서 수위는 점차적으로 감소한다. 비상냉각탱크의 냉각재량은 변화하지 않으나 탱크 수위는 유체 온도의 상승에 따른 부피 팽창으로 약간씩 상승하는 것을 보여준다.

그림 23은 피동잔열제거계통이 작동되었을 때의 일차계통의 압력을 보여준다. 일차계통의 압력은 피동잔열제거계통이 작동되는 초기에 급격히 하강한다. 이는 피동잔열제거계통의 작동과 함께 증기발생기를 통한 열전달이 급격히 상승하기 때문이다. 이후에는 안정적인 자연순환이 이루어지고, 자연순환량의 감소에 따라 압력강하의 속도는 점차 감소한다. 그림 24는 피동잔열제거계통이 작동되었을 때의 증기발생기 일차측의 온도변화를 보여준다. 피동잔열제거계통이 작동되면서 증기발생기를 통해 초기에 급격한 열전달이 이루어지기 때문에 증기발생기 일차측의 온도는 급격히 하강하고, 이후 일차측의 온도는 서서히 감소한다. 기존의 실험결과[6]와 비교하여 일차계통의 온도 하강률이 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 PRHRS 자연순환유량의 감소로 증기발생기를 통한 열전달이 감소하였기 때문으로 보인다. 그림 25는 피동잔열제거계통이 작동되었을 때의 일차계통의 유량변화를 보여준다. 초기 유량은 100%이었고, PRHRS 작동과 함께 일차계통 내부에서 초기에 약 0.3 kg/s의 유량이 형성되었고, 형성된 유량은 크게 변화하지 않으면서 계속 유지되었다.

6. 결론 및 향후 계획

PRHRS 성능 관련 민감도 실험을 수행하기 위하여 기존의 VISTA 장치가 개조되었다.

개조된 VISTA PRHRS에서는 응축수배관 격리밸브 후단에 체크밸브 하나가 추가되었으며, PRHRS 열교환기는 비상냉각탱크 내부에서 수조(Pool) 냉각이 이루어진다. 또한 보상탱크가 작동되었으며, 가압기의 중앙공동과 Gas Cylinder를 연결하는 밸브가 열린 상태에서 실험장치가 운전되었다. 본 연구에서는 2단계 PRHRS 실험을 위해 개조된 VISTA 실험장치에 대한 두 가지 특성 실험이 수행되었고, PRHRS 자연순환과 관련한 예비 실험이 수행되었다.

PRHRS의 작동시 사용되는 이차계통 격리밸브 및 PRHRS 우회밸브의 개폐시간에 대한 시험이 이루어졌다. VISTA 장치의 PRHRS 우회밸브가 열리는 시간은 약 2초 정도이고, 이차계통 격리밸브가 닫히는 시간은 약 4초로 나타났다. 또한 PRHRS Loop을 통해 정해진 유량의 냉각수를 강제 대류시켜 PRHRS 각 부분에서의 차압 특성이 파악되었다.

PRHRS 성능 관련 민감도 실험을 수행하기 위하여 개조된 VISTA PRHRS를 이용한 예비실험이 수행되었다. PRHRS이 작동되었을 때의 최대 순환유량은 약 0.018 kg/s이었고, 보상탱크의 영향으로 자연순환 유량은 비교적 일정한 값을 유지하며, 서서히 감소하는 것을 보여준다. 또한 PRHRS 작동 초기의 최대압력은 약 53 bar로써 기존 실험결과[6]의 값에 비해 낮았다. 보상탱크의 수위는 초기 계통압력이 4.5 MPa 이상으로 상승함에 따라 일시적으로 수위가 상승했다가 이어서 수위는 점차적으로 감소한다. 그리고 비상냉각탱크의 내부에서 계측된 유체 온도는 수조 내에서 응축 열교환기를 통해 열전달이 활발히 일어나는 것을 보여준다.

위의 예비실험 결과를 바탕으로 PRHRS 성능 관련 민감도 실험이 수행되어 PRHRS 격리밸브, 체크밸브, 보상탱크의 초기 수위, PRHRS의 초기 압력 및 보상탱크 연결배관 격리밸브의 작동 방식의 변화에 따른 PRHRS 성능이 검증될 예정이다.

참고 문헌

- [1] 장문희 외, “일체형원자로(SMART) 기본설계 보고서,” KAERI/TR-2142/2002, 2002.
- [2] 이성재 외, “고온고압 열수력 실험장치의 기본설계,” KAERI 내부문서, 2001.
- [3] K. Y. Choi, et al., “Overall Thermal-Hydraulic Test Facility for System-Integrated Modular Advanced Reactor,” NURETH-10, Seoul, Korea, October 5-9, 2003.
- [4] 이규형 외, “SMART 기본설계 성능평가,” KAERI/TR-2171/2002, 2002.
- [5] 양수형 외, “SMART 기본설계 안전성 평가,” KAERI/TR-2173/2002, 2002.
- [6] 박현식 외, “고온고압 열수력 실험장치(VISTA) 피동잔열제거계통의 열전달 특성 및 자연순환 성능에 관한 실험적 연구,” KAERI/TR-2656/2004, 2004.
- [7] 이태호, “피동잔열제거계통 성능검증 관련 민감도 실험 항목,” KAERI 내부서신, 2003.

표 1. PRHRS 성능 관련 민감도 실험 Test Matrix

Test ID	실험 변수	실험 조건의 변경
PRHRS-P-R1	기준 조건 (모두 1.)	-
PRHRS-P-R1-A2	A. PRHRS 격리밸브의 작동시간 (1. 동시 개방)	2. 10초 빨리 개방
PRHRS-P-R1-A3		3. 10초 늦게 개방
PRHRS-P-R1-B2	B. PRHRS 체크밸브의 설치 여부 (1. 2개 모두 설치)	2. VC-RHS-02만 설치
PRHRS-P-R1-B3		3. VC-RHS-03만 설치
PRHRS-P-R1-C2	C. 보상탱크의 초기 수위 (1. 80%)	2. 16%
PRHRS-P-R1-D2	D. PRHRS의 초기 압력 (1. 4.5 MPa)	2. 대기압
PRHRS-P-R1-E2	E. 보상탱크 연결배관 격리밸브의 작동 (1. 정상운전중 개방)	2. PRHRS 격리밸브와

표 2. PRHRS 자연순환 실험의 측정 변수와 계측기 (2단계 추가)

측정 변수	계측기 ID (위치)	개수
ECT 수위	LT-ECT-01 (Total 3.145 m)	1
ECT 유체 온도 (기존 Barrel)	TC-ECT-01a (내벽에서 0.0 m, 바닥에서 0.435 m)	9
	TC-ECT-01b (내벽에서 0.1 m, 바닥에서 0.435 m)	
	TC-ECT-02a (내벽에서 0.0 m, 바닥에서 1.028 m)	
	TC-ECT-02b (내벽에서 0.1 m, 바닥에서 1.028 m)	
	TC-ECT-03a (내벽에서 0.0 m, 바닥에서 1.475 m)	
	TC-ECT-03b (내벽에서 0.1 m, 바닥에서 1.475 m)	
	TC-ECT-04a (내벽에서 0.0 m, 바닥에서 1.815 m)	
	TC-ECT-04b (내벽에서 0.1 m, 바닥에서 1.815 m)	
	TC-ECT-04c (내벽에서 0.2 m, 바닥에서 1.815 m)	
ECT 유체 온도 (신규 Barrel)	TC-ECT-05a (내벽에서 0.0 m, 바닥에서 2.095 m)	9
	TC-ECT-05b (내벽에서 0.1 m, 바닥에서 2.095 m)	
	TC-ECT-05c (내벽에서 0.2 m, 바닥에서 2.095 m)	
	TC-ECT-06a (내벽에서 0.0 m, 바닥에서 2.665 m)	
	TC-ECT-06b (내벽에서 0.1 m, 바닥에서 2.665 m)	
	TC-ECT-06c (내벽에서 0.2 m, 바닥에서 2.665 m)	
	TC-ECT-07a (내벽에서 0.0 m, 바닥에서 3.235 m)	
	TC-ECT-07b (내벽에서 0.1 m, 바닥에서 3.235 m)	
	TC-ECT-07c (내벽에서 0.2 m, 바닥에서 3.235 m)	

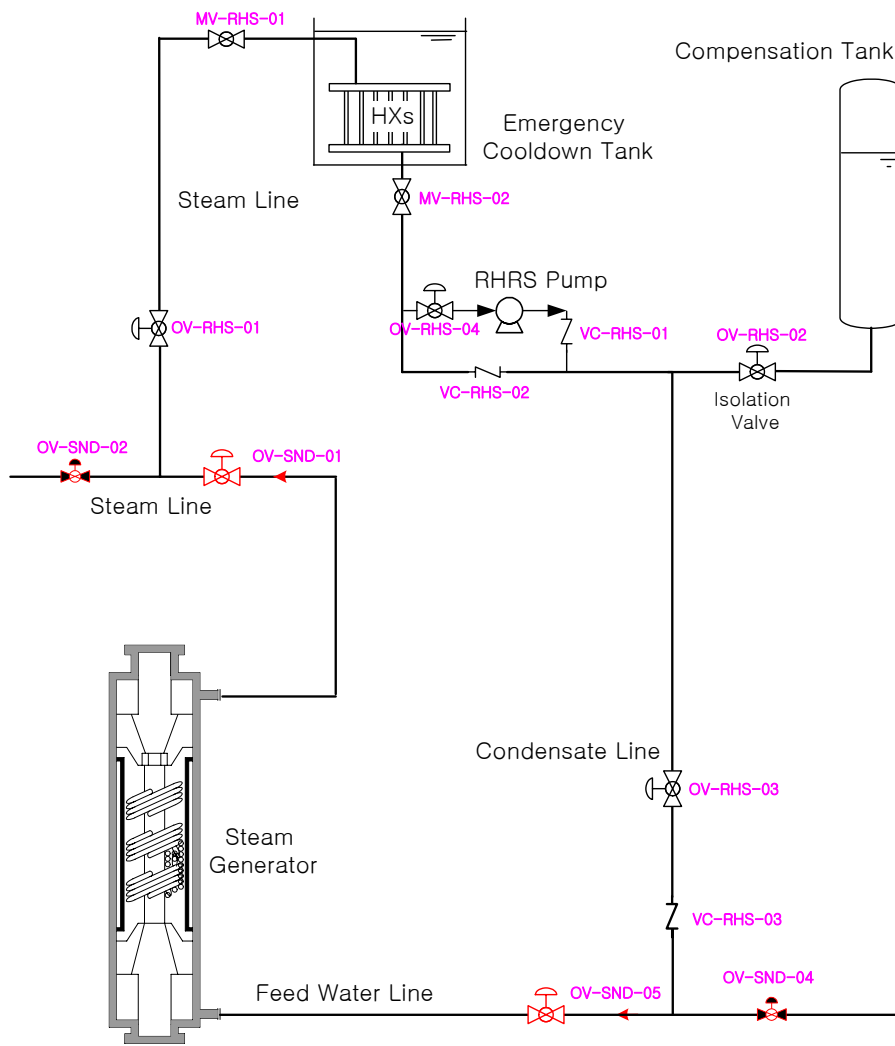


그림 1. 개조된 VISTA 피동잔열제거계통의 개략도

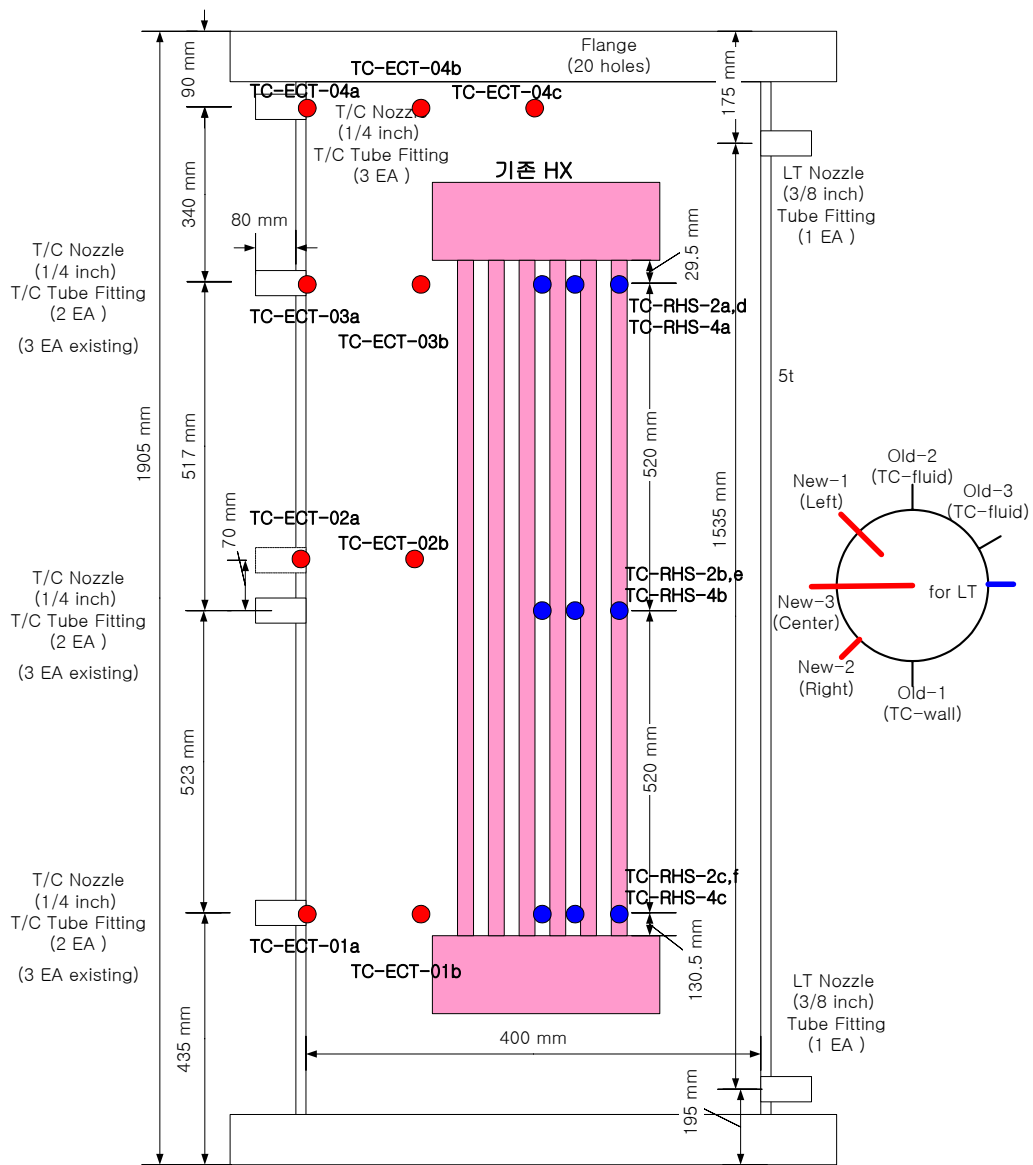


그림 2. 기존 ECT Barrel의 개략도 및 계측기 부착위치

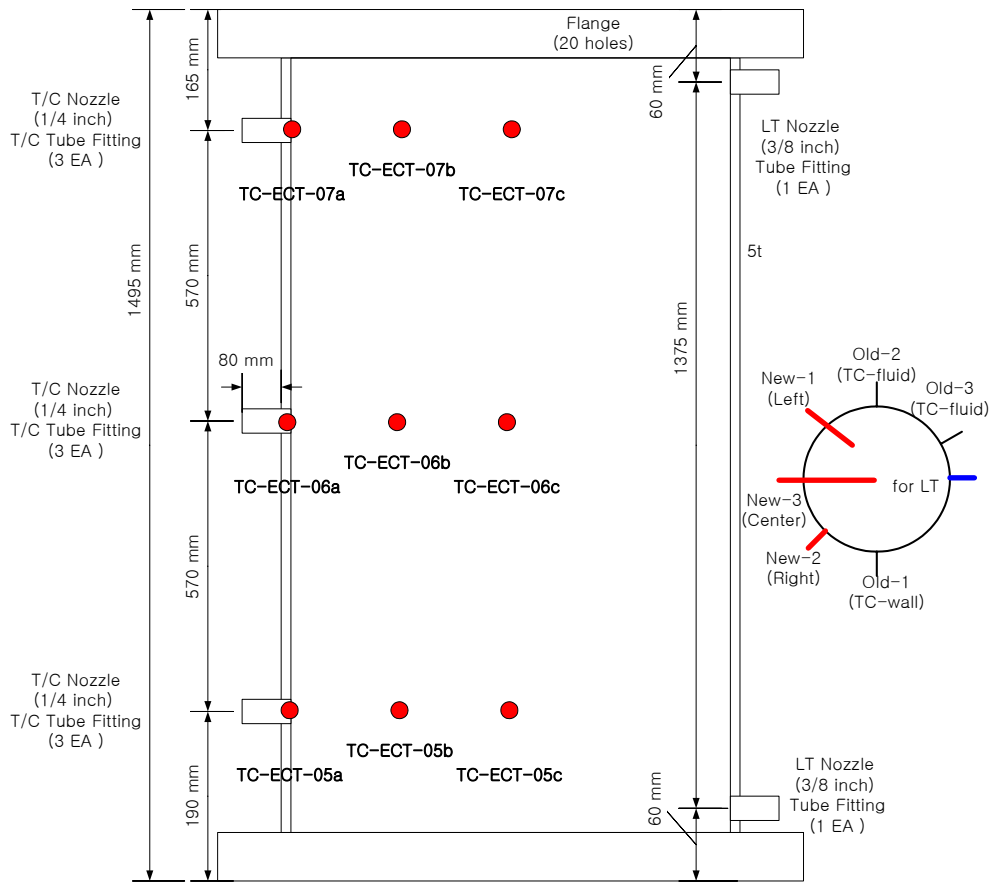


그림 3. 신규 ECT Barrel의 개략도 및 계측기 부착위치

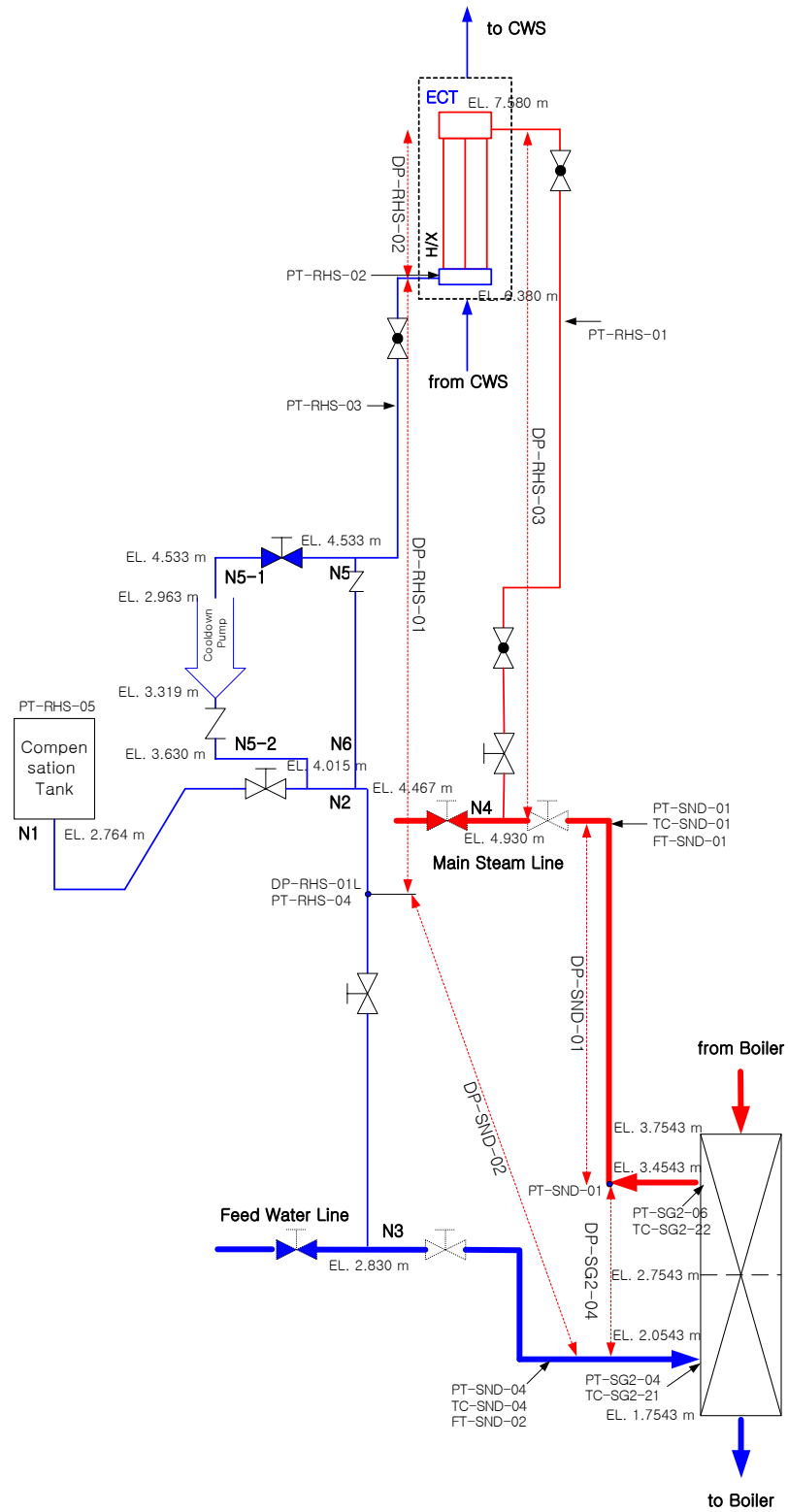


그림 4. 피동잔열제거시스템의 자연순환 회로

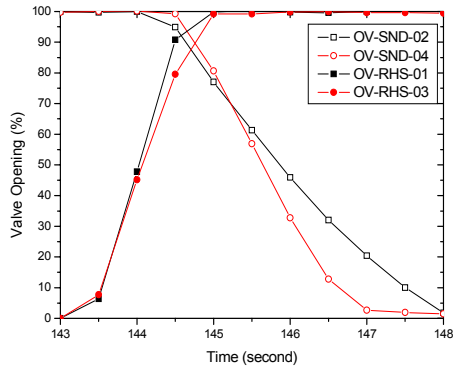


그림 5. PRHRS에 사용중인 격리밸브의 개폐 시간

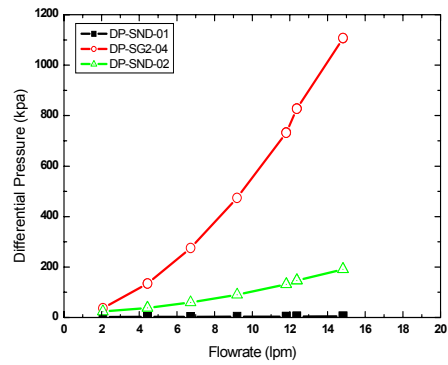


그림 6. PRHRS Loop의 유량에 따른 차압 분포 (이차계통)

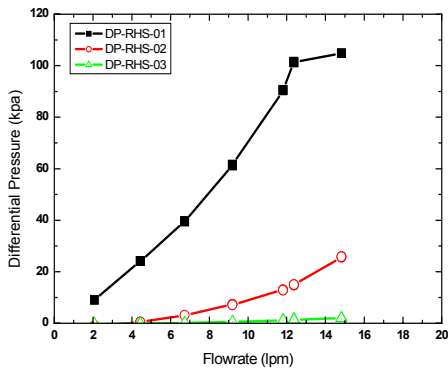


그림 7. PRHRS Loop의 유량에 따른 차압 분포 (PRHRS)

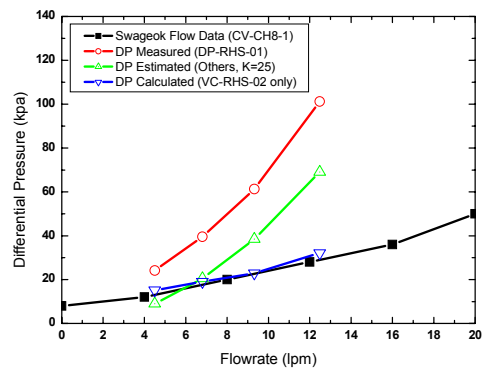


그림 8. PRHRS에 사용중인 체크밸브의 Flow Data 비교

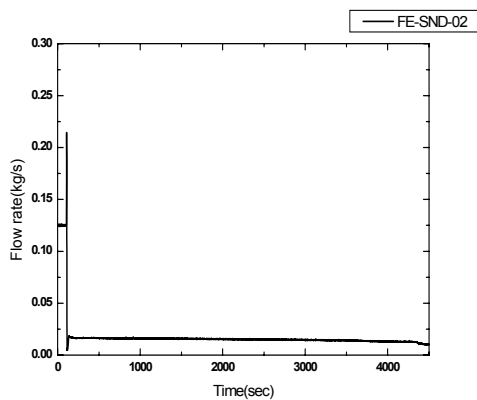


그림 9. PRHRS 자연순환에서의 자연순환 유량 변화

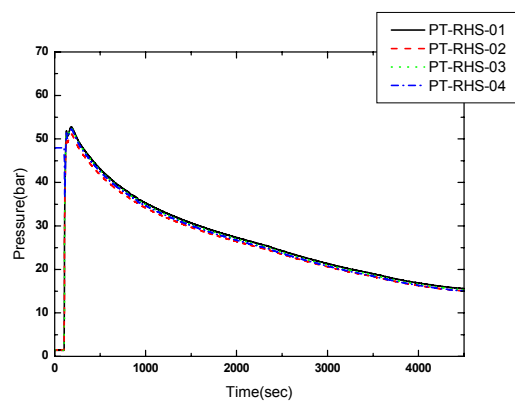


그림 10. PRHRS 자연순환에서의 압력 변화: PRHRS

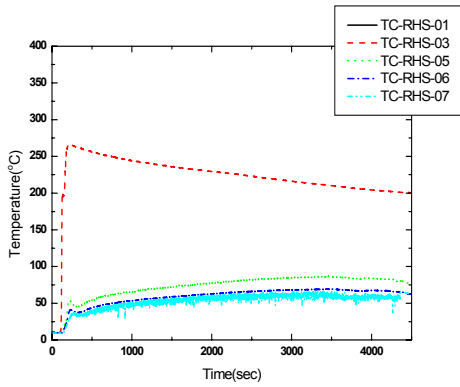


그림 11. PRHRS 자연순환에서의 온도 변화: PRHRS

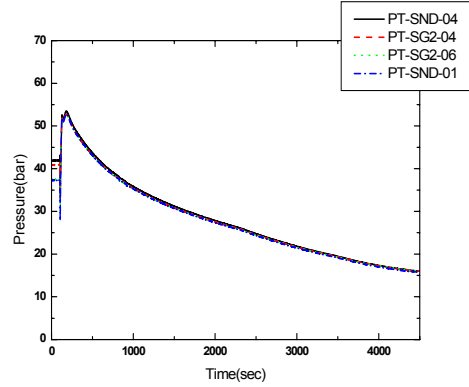


그림 12. PRHRS 자연순환에서의 압력 변화: 이차계통

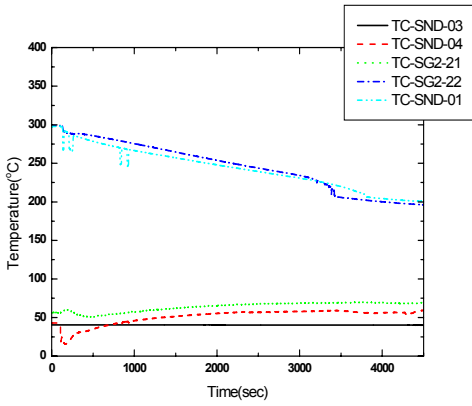


그림 13. PRHRS 자연순환에서의 온도 변화: 이차계통

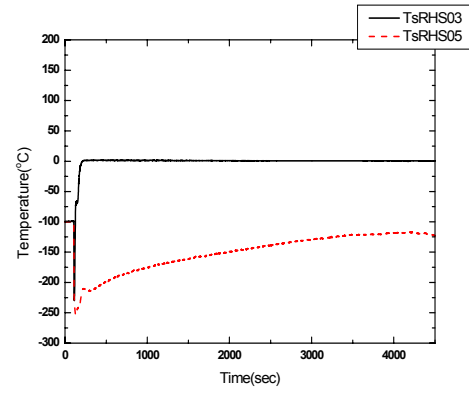


그림 14. PRHRS 자연순환에서의 과열도 변화: PRHRS

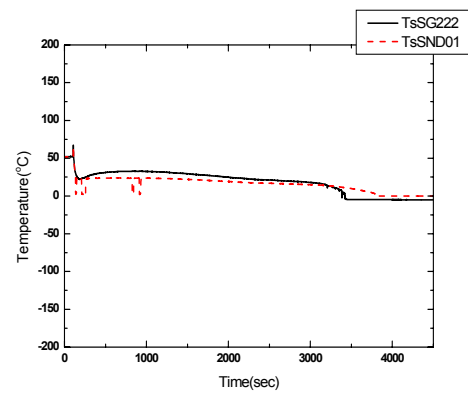


그림 15. PRHRS 자연순환에서의 과열도 변화: 이차계통

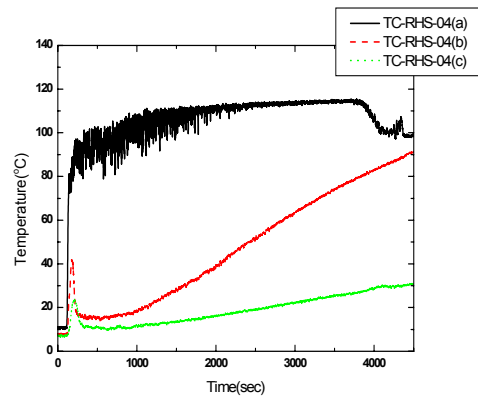


그림 16. 열교환기의 표면 온도 분포

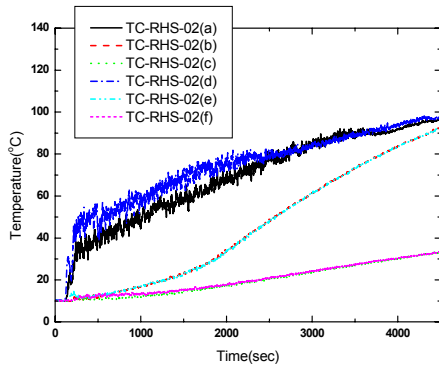


그림 17. 비상냉각탱크 내부의 온도 분포 (열교환기 튜브 사이)

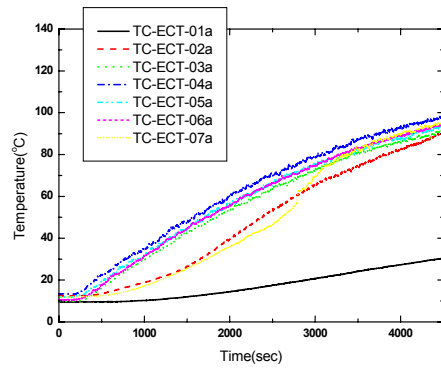


그림 18. 비상냉각탱크 내부의 온도 분포 (탱크 벽면)

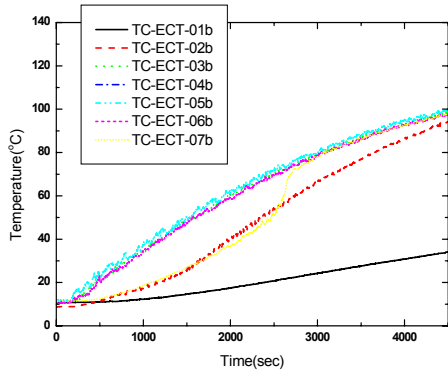


그림 19. 비상냉각탱크 내부의 온도 분포 (탱크 벽면에서 0.1 m)

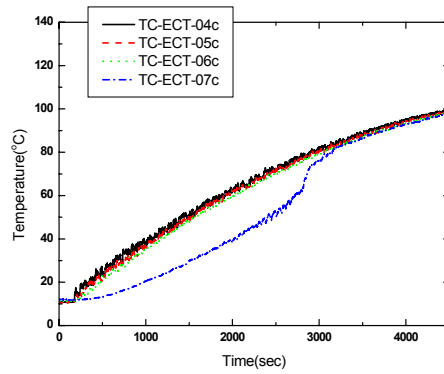


그림 20. 비상냉각탱크 내부의 온도 분포 (탱크 중앙)

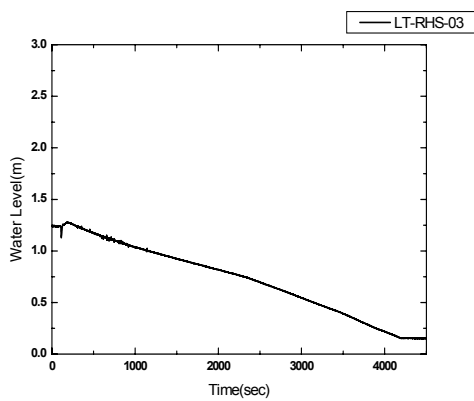


그림 21. PRHRS 작동중의 보상탱크 수위의 변화

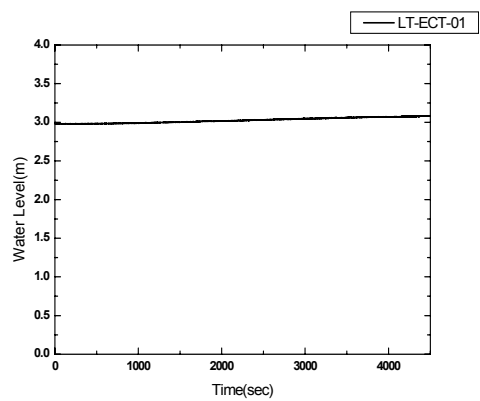


그림 22. PRHRS 작동중의 비상냉각탱크 수위의 변화

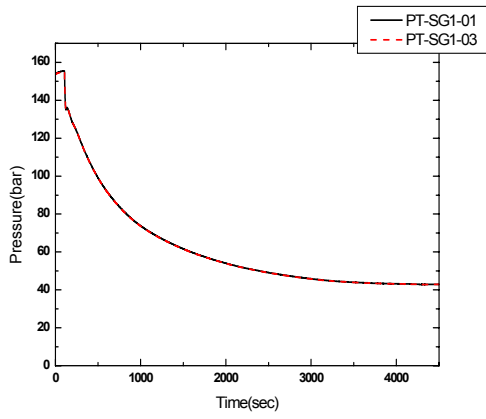


그림 23. PRHRS 자연순환에서의
압력 변화: 일차계통

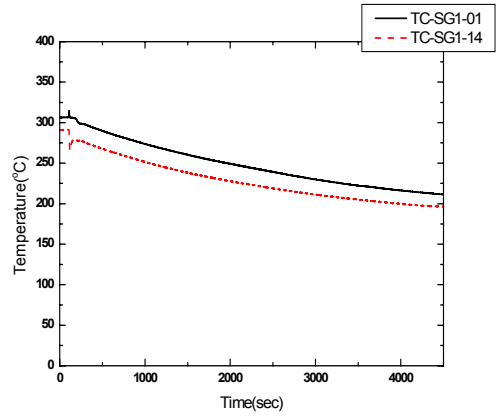


그림 24. PRHRS 자연순환에서의
온도 변화: SG 일차측

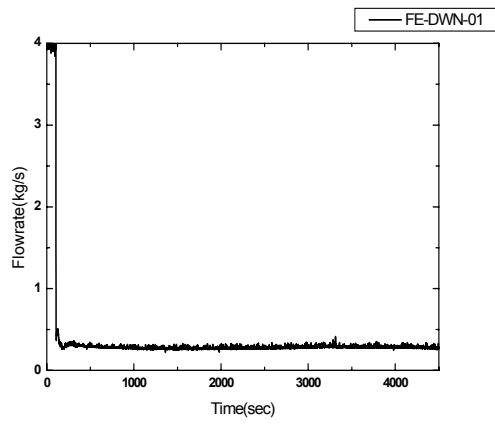


그림 25. PRHRS 자연순환에서의
유량 변화: 일차계통