2002 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

영광 5,6 호기 안전주입탱크 방출시험 시 압력 및 수위 변화 분석

An Analysis on Pressure and Level Change of Safety Injection Tank (SIT) during Blowdown Test for Yonggwang Nuclear Power Plants Units 5 and 6

김도현, 오종필, 이광원, 노태선

한국전력기술㈜
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

발전소 시운전 시 관련 규제요건에 따라 안전주입탱크(Safety Injection Tank; SIT)의 적절한 성능을 입증하기 위하여 방출시험(blowdown test)이 수행되며, 이를 통하여 안전주입탱크의 방출능력을 확인하게 된다. 시험은 네(4) 개의 탱크에 대하여 각 탱크 별로 순차적으로 수행되며, 탱크 내의 압력과 수위 변화를 측정하여 적절한 허용 기준을 만족하는지를 확인한다. 영광 5,6 호기 시험결과를 분석한 결과 각각의 탱크내의 질소 가스의 팽창은 폴리트로픽 지수 1.26 을 따르고 있었으며, 이를 관련 성능 해석용 코드인 TURTLE 코드를 격리밸브 모델링을 중심으로 적절히 수정하여 분석한 결과 수정된 TURTLE 코드가 안전주입탱크의 방출과정을 적절히 모사하고 있었다. 따라서 향후 안전주입탱크 방출 시험의 시험 허용 기준 작성과 시험결과 평가에 수정된 TURTLE 코드를 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

To meet the requirements of regulatory body, Safety Injection Tank (SIT) blowdown test is performed during plant startup test period to verify the performance of the tank. The test is sequentially conducted on each of four tanks and the pressure and level of SIT are measured to verify that the acceptance criteria are met. From the analysis of Yonggwang Units 5 and 6(YGN 5&6) test results, it is found that the polytropic index of the pressurized nitrogen gas expansion is 1.26. The TURTLE code, which has been modified in isolation valve model, simulates YGN 5&6 blowdown process adequately. Therefore, the modified TURTLE code will be used to generate a test acceptance criterion and evaluate test results for SIT blowdown tests.

1. 서론

원자력발전소의 대형냉각재상실사고를 대비하여 안전주입탱크가 원자로건물 내에 설치되며, 안전주입탱크는 저온관을 통하여 노심으로 고압의 냉각수를 공급하는 기능을 수행한다. 이러한 안전주입탱크는 관련[1, 2]된 요건에 따라 성능을 입증하여야 하며, 성능의 입증은 발전소 시운전 기간

중에 수행된다. 본 논문에서는 이러한 안전주입탱크의 성능시험의 결과를 분석하고 폴리트로픽 지수를 산정한 후 이들 결과를 수정된 TURTLE 코드를 통하여 분석한 결과와 비교함으로써 코드를 검증하여 추후 발전소 시험에서의 결과를 적절히 평가하고 적절한 허용 기준을 마련하는데 이용하고자 한다.

2. 안전주입탱크의 시운전 시험 및 분석 코드의 구조

2.1 안전주입탱크의 설계 및 시운전 시험

안전주입탱크는 원자로냉각재계통(RCS) 저온관과 연결된 원통형 가압탱크이며, 저온관 당 하나(1) 씩 총 네(4) 개가 설치된다(TK01A, B, C, D). 상/하반구가 각각 2:1 타원형 접시(elliptical dish) 형태로 되어있고, 내부 직경은 2.74 m(9 ft)이며, 광역 수위계측기가 측정하는 총 범위는 10.36 m(34 ft)이고, 총 내부 체적은 68.23 m^3(2400 ft^3)으로 되어있다(그림 1 참조). 발전소 정상운전 중에 안전주입탱크는 약 4.2 MPa(610 psig)의 압력으로 질소 가스에 의하여 가압되어 있으며, 이 압력은 정상 원자로냉각재계통의 압력인 15.5 MPa(2250 psia)보다 낮으므로 정상운전 중에는 주입은 이루어지지 않는다. 대형 냉각재상실사고(LBLOCA; Large Break LOCA) 시에 원자로냉각재계통의 압력이 순식간에 낮아져 안전주입탱크의 압력 이하로 떨어지면 안전주입탱크와 원자로냉각재계통간의 압력 차로 가압 냉각수를 방출하도록 설계되어있다. 정상운전 중에는 안전주입탱크 후단(즉, RCS)의 압력이 높으므로 격리밸브인 모터구동밸브(MOV; Motor Operated Valve)가 열려있어도 방출은 이루어지지 않으며, 완전한 피동탱크의 개념을 만족하기 위하여 격리밸브는 열린 채 전원이 제거되어있다. 격리밸브 전후의 두(2) 개의 역류방지밸브는 고압의 원자로냉각재계통으로부터 저압의 안전주입탱크를 격리하는 기능을 수행한다.

관련 규제요건[1, 2] 및 시운전 시험 절차서에 따르면, 안전주입탱크는 격리밸브 동작 시험, 방출시험, 질소 가스 배기 시험 등의 여러 가지 시험을 통하여 설계의 적절성을 확인하고 안전주입탱크의 성능을 확인하도록 되어있다. 특히 안전주입탱크 방출시험의 경우 탱크의 수력학적 성능(hydraulic performance)을 확인하는 시험으로서 실제로 안전주입탱크가 작동하여야 하는 상황에서의 성능을 가장 유사하게 확인할 수 있는 시험이다. 이 시험에 적용되는 수위는 정상운전 시의 수위이며, 압력의 경우 특별한 제약을 가하고 있지는 않다. 압력에 특별한 제한을 가하지 않는 것은 안전주입탱크가 작동되는 조건에서 후단과의 압력차 만으로 작동하므로 어느 압력에서 시험을 수행하더라도 그 경향은 같기 때문이다. 따라서 일반적인 발전소 현장에서의 시운전 시험은 1.38 MPa(200 psig) 정도로 가압하여 시험을 수행한다. 시운전 시험에서 실제 운전 조건과 다른 부분은 실제 발전소 운전 시 격리밸브는 열린 채 전원이 제거되어있으나, 시험 중에는 탱크의 토출측인 원자로냉각재계통이 대기압으로 유지되고 있으므로 격리밸브를 닫은 채 가압을 하고 시험 시작 시 밸브를 개방하면서 압력과 수위의 변화를 측정한다는 점이다.

안전주입탱크는 위에서 언급한 바와 마찬가지로 단 시간 내에 탱크 내의 가압 냉각수를 원자로냉각재계통으로 주입하는 기능을 수행하므로 그 가압 냉각수의 방출 유량과 압력이 성능 확인의 중요한 매개변수이다. 따라서 방출시험 시의 성능 확인을 위해서는 방출 유량 및 압력 변화를 측정하는 것이 가장 중요하다. 그런데 안전주입탱크의 기능은 대용량의 냉각수를 대형 사고 시에

순식간에 주입하는 것이기 때문에 적정 수위를 발전소 정상운전 중에 유지하고 있어야 하며, 압력도 또한 발전소 정상운전 중 감시되고 유지된다[3]. 따라서 안전주입탱크 후단의 설계가 결정되고, 정상 수위와 압력이 결정되면, 배관의 밸브가 부주의하게 닫히거나 이물질로 인하여 주입에 방해를 받지 않는 한 유량주입은 안전주입탱크와 원자로냉각재계통의 압력차 및 수위로 인하여 발생하게 되며, 이때 별도의 유량 측정 대신 안전주입탱크의 압력 변화와 수위 변화를 측정하여 성능을 확인하게 된다. 따라서 방출시험은 정상 수위인 70% 수위와 1.38 MPa(200 psig)로 가압된 상태에서 격리밸브를 개방하면서 개시되며, 이때 압력과 수위의 변화를 측정하여 설계의 적절성과 안전주입탱크의 성능을 확인한다.

2.2 분석 코드의 구조

안전주입탱크의 방출시험 모사를 위해서는 TURTLE 코드[4]를 사용한다. TURTLE 코드는 시간 Δt 동안 방출된 유량 Q 를 구하고, 방출된 유량을 통하여 가압 질소 가스의 체적 증가를 구함으로써 수위 변화를 계산하는 기본적인 방법을 따르고 있다. 또한 이 과정이 폴리트로픽 과정을 따르므로 지수를 적절히 선택하여 압력의 감소를 알 수 있다. 즉, 이 코드에서는 Bernoulli 방정식을 통하여 유량을 구하고, 이를 이상기체의 폴리트로픽 과정에 적용하여 질소가스의 체적 증가와 압력 감소를 구하는 것이다. TURTLE 코드의 주요 계산 알고리즘은 다음과 같다.

안전주입탱크 내부와 원자로냉각재계통 간에 Bernoulli 방정식을 적용하면(그림 2) 가정된 유량 Q_1에서의 수두 손실은 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta P = P_T - P_R + \frac{Z_T - Z_R - V_{loss}}{2.31} \qquad \text{----------} \qquad (1)$$

여기서 , ΔP 는 psi 로 표현되는 압력 강하이며, P , Z 는 각각 압력(psia)과 높이(elevation, ft)이다. 아래첨자 T 와 R 은 각각 안전주입탱크와 토출측인 원자로냉각재계통을 의미한다. V_{loss} 는 ft 로 표현되는 속도수두로서 안전주입탱크 내의 속도는 거의 무시할 만 하므로 주로 원자로냉각재계통으로 주입되는 속도(V_R)에 좌우된다. 2.31 은 60 °F의 물에 대한 환산인자이다.

식 (1)에 따르면 유량 Q_1 (gpm)이 방출될 때 계통에서의 총 압력 강하는 양측의 압력차($P_T - P_R$)와 높이차($Z_T - Z_R$), 그리고 속도 수두(V_{loss})에 따라 결정된다. 따라서 먼저 유량(Q_1)을 가정하고, 초기 값인 안전주입탱크내의 수위 및 압력, 그리고 방출측의 수위를 알면 이로부터 압력차와 높이차 그리고 속도 수두를 각각 구할 수 있다.

속도 수두는 가정된 유량으로부터 다음과 같이 속도를 구한 후 구할 수 있다.

$$V_d = \frac{Q_1}{A_d} = \frac{0.408 Q_1}{d^2}$$

$$\therefore V_{loss} = \frac{V_d^{\,2}}{2g} = \frac{0.166 Q_1^{\,2}}{2 d^4 g}$$

여기서, A_d 와 V_d 는 각각 가정 유량(Q_1)에 대해 참고직경 d (in)를 가진 배관의 단면적과

속도이다. 이때 V_{loss}는 ft로 표시되는 속도 수두가 된다.

위치수두는 탱크의 수위와 토출측의 수위 차로 쉽게 구할 수 있다. 따라서 위치 수두는 $(Z_T - Z_R)$로서 구할 수 있다.

이상의 계산을 통하여 참고유량 Q_1에 대하여 압력 강하를 구할 수 있다.

이러한 압력 강하는 배관의 형상이나, 저항 등으로부터 유량을 구할 수 있도록 한다. 즉, 가정된 유량(Q_1)으로부터 배관 자료 등을 통하여 압력강하를 구하고 이로부터 유량을 재계산할 수 있다. 즉,

$$h_L = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} = K\frac{V^2}{2g}$$

이므로 이를 통하여

$$Q = \sqrt{\frac{2.31(\Delta P)d^4}{0.00259K}} \qquad \text{----------} \qquad (2)$$

가 된다. (2)에서 구한 유량을 이전의 가정된 유량(Q_1)과 반복적으로 계산하여 오차범위내에 적절히 만족되는 유량을 구할 수 있다.

구해진 유량을 이용하여 질소 가스의 체적 변화를 구할 수 있으며, 이를 등온과정과 단열과정으로 나누어 $P_1 v_1^{\,n} = P_2 v_2^{\,n}$을 통하여 압력의 변화도 구할 수 있다(여기서 n 은 폴리트로픽 지수로서 등온과정일 경우는 1 이며, 질소가스의 단열팽창일 경우 1.4 이다.). 또한 가스 체적의 증가로부터 탱크 내 수위의 감소도 계산이 가능하다.

본 논문에서는 TURTLE 코드의 내용 중 격리밸브 관련 부분을 수정하여 방출 시험 초기의 격리밸브의 작동을 적절히 모사하도록 하였다.즉, 밸브 공급자가 제공하는 C_v 곡선을 바탕으로 밸브 모델을 변경하였다. 이는 현재 TURTLE 코드 내에 제공된 밸브의 모델링이 실제 공급되는 밸브의 특성 및 작동 초기의 밸브 특성을 정확히 모사하고 있지 못하기 때문이다. 밸브 공급자는 밸브의 개도를 밸브의 스템 이동에 따른 C_v 값으로 제공한다. 따라서 C_v 값으로부터 밸브의 K-factor를 다음의 식으로부터 구할 수 있다[5].

$$K = \frac{891d^4}{(C_v)^2}$$

여기서, d 는 inch로 표시되는 직경이며, C_v 는 밸브의 스템 이동에 대응하는 유동계수이다. 이와 같은 모델링 수정을 통해 격리밸브의 개방 특성을 정확히 예측하는 것이 가능하다.

또한 관련 시방서에 따르면, 밸브의 모터는 최소 전압(정격전압의 75%)에서도 3초 이내에 부하를 가속시킬 수 있어야 한다. 즉, 초기의 전압은 전 부하가 걸리더라도 75% 이하로는 하락하지 않으므로 이 최소 전압으로 모터는 3초 이내에 밸브를 정격 속도로 개방할 수 있어야 한다. 따라서 초기 3초간에는 밸브의 스템 이동이 정상적인 속도보다 떨어지게 되며, 서서히 증가하여 최대 3초 이내에 정상적인 이동 속도를 따르게 된다. 그러나 이는 최대 지연에 대한 요건일 뿐 정확한 거동을 예측하기는 어렵다. 따라서 본 논문에서는 초기의 3초 동안 정상적인 개도에 비하여 50% 정도 작게 개방되는 모델을 사용하였다. 즉, 초기 3초 동안은 밸브가 개방되더라도 정상 개방 시의 1.5초간 개방되는 정도 밖에는 개방되지 않는 것으로 모사하였다. 총 밸브의 개방 시간은 원 개방 시간 요건을 만족하여야 하므로 3초를 제외한 나머지 시간 동안 잔여 개방이 이루어지는 것으로 모사하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 시험 절차 및 시험 초기 조건

시험은 안전주입탱크의 격리밸브를 개방하면서 안전주입탱크 내의 수위와 압력 변화를 측정함으로써 수행된다. 탱크의 압력을 측정하기 위하여 탱크에는 압력지시계가 설치되어있고, 이 압력지시계는 안전주입탱크 상단의 질소가스가 가압된 구역에 설치되며, 0 ~ 5.17 MPa(750 psig)의 측정가능범위를 가지고 있다. 측정 오차는 최대 +/- 90 kPa(13 psi)이다. 측정된 압력은 변환기를 거쳐 주제어실로 전송된다. 또한 수위의 변화를 측정하기 위하여 수위지시계가 설치되어있고, 수위지시계는 차압형(differential pressure) 수위지시계로서 측정 범위는 안전주입탱크의 0 ~ 10.4 m(34 ft) 범위를 측정한다. 계측기의 오차는 최대 +/- 1.7 % 이다. 압력과 수위의 변화는 각각 변환기를 통하여 증폭기를 거쳐 기록계인 스트립 차트(strip chart)로 전달된다. 이 과정에서 격리밸브의 개방 신호에 따른 밸브의 작동이 또한 스트립 차트로 전송된다. 안전주입탱크는 시험 초기에 냉각수가 채워지지 않았으므로 격리밸브를 닫은 상태에서 충수 배관에 연결된 고압안전주입펌프를 이용하여 수위를 시험 수위인 70 %에 맞춘다. 또한 압력을 시험 압력까지 상승시키기 위하여 질소공급배관을 연결하여 압력을 시험 압력인 1.38 MPa(200 psig)까지 상승시킨다. 시험은 닫혀있던 격리밸브의 개방과 동시에 개시된다. 먼저 스트립 차트의 기록을 개시시킨 후 해당 탱크의 격리밸브를 개방하면, 밸브의 상태 및 안전주입탱크 내의 수위, 압력이 각각 한 차트에 나란히 기록되어 진다. 방출이 어느 정도 진행되어 수위가 0%에 이르거나 혹은 압력이 0.34 MPa(50 psig)에 이르면 격리밸브를 닫고 차트 기록을 중지하여 시험을 종료한다. 영광 5,6 호기의 요약된 초기 시험 조건은 표 1 에 나와 있다.

안전주입탱크의 방출 배관 상에는 하나(1)의 격리밸브와 두(2) 개의 역류방지밸브가 설치된다. 격리 밸브는 14 인치 배관에 설치되는 게이트 밸브이므로 참고문서 8 로부터 $K = 8 f_T$ 가 된다. 여기서 f_T 는 유동이 완전히 발달된(fully developed) 난류라고 가정할 때의 마찰계수(friction factor)이다. 배관의 크기가 14 인치이므로 f_T 는 약 0.013 이다. 따라서 게이트 밸브의 K-factor 는 0.104 이다. 중간에는 두(2) 개의 역류방지밸브가 설치된다. 이는 두(2) 개의 밸브를 이용하여 정상운전 중에 고압의 원자로냉각재계통과 격리를 하기 위함이다. 두(2) 개의 역류방지밸브 각각의 저항은

$K = 50 f_T$ [5]에서 격리밸브와 동일한 f_T 를 고려할 경우 K 는 0.65 이 된다. 따라서 역류방지밸브의 총 K-factor 는 1.3 이다. 네(4) 개의 안전주입탱크는 각각 다른 경로를 따라 원자로냉각재계통으로 주입된다. 따라서 네(4) 개의 주입 배관 각각에 대하여 배관 길이를 측정하고 각각의 배관 상에 설치되는 엘보우 등을 고려하여야 한다. 또한 안전주입탱크로 출구노즐과 원자로냉각재계통 입구노즐의 K-factor 를 각각 고려하여야 한다.

3.2 시험 결과 분석

가. 수위 변화 분석(그림 4)

모든 방출배관에서 수위의 변화는 동일한 경향을 보였다. 밸브가 개방되기 시작하는 초기의 과정에서 수위는 서서히 감소하다가 밸브가 어느 정도 개방된 후에는 완전 개방과 거의 유사한 경향을 보였다. 즉, 초기의 밸브가 거의 개방되지 않은 상태에서는 질소가스의 체적이 서서히 증가하나 어느 정도 밸브가 개방되어 밸브의 저항이 급격히 감소함에 따라 수위는 급격히 감소하게 되고 이는 질소가스의 급격한 팽창을 의미한다. 특히 주목할 점은 밸브가 어느 정도 개방된 후(약 10 초 이후)에는 수위의 감소는 거의 선형 변화를 한다는 것이다. 광역 수위지시계로 측정한 탱크의 수위는 안정적인 감소를 보이며, 그 기울기 또한 거의 일정한 양상을 보이고 있다.

나. 압력 변화 분석(그림 4)

압력변화는 수위와는 약간 다른 경향을 보인다. 수위가 밸브의 완전개방 이후에 선형의 변화를 보인 보인데 반하여 압력은 밸브 개방을 전후하여 상반된 감소 경향을 보였다. 그림 4 에서 보는 바와 마찬가지로 초기의 밸브가 개방이 시작되면, 압력은 서서히 떨어진다. 그 후 밸브가 완전개방에 이를수록 압력은 급격히 떨어진다. 그러나 어느 정도 개방이 완료되고 난 후에는 오히려 압력은 서서히 변화하는 양상을 보인다. 이는 밸브가 어느 정도 개방된 이후에는 질소가스의 체적 방출률이 거의 일정하므로 전체 질소 가스의 체적팽창률이 감소하게 된다. 즉, $P_2 = P_1 (v_1 / v_2)^n$ 에서 v_1 / v_2 값이 1 보다는 작으나 이전 보다 큰 값을 가지게 되어 압력 감소가 느리게 된다.

다. 수위와 압력 변화를 통해본 폴리트로픽 지수

기체가 열전달을 수반하는 가역과정을 따를 경우 $\log P$ 대 $\log v$ 의 관계는 직선으로 나타난다. 이런 과정에서 Pv^n 은 일정 값을 가지며, 이러한 과정을 폴리트로픽 과정(polytropic process)라고 하고, n 을 폴리트로픽 지수(polytropic index)라고 한다. 폴리트로픽 지수는 임의의 값을 가질 수 있으며, 특히 등온 과정에서는 본 값이 1 이며, 가역 단열 과정에서는 비열비($k = C_p / C_v$)와 같다. 특히 질소와 같은 이(2)원자분자의 경우 k 가 1.4 이므로 폴리트로픽 지수는 1.4 이다.

안전주입탱크의 방출과정 역시 폴리트로픽 과정을 따른다. 그러나 과정은 등온 과정일지 가역 단열 과정일지 정확히 예측이 어려우며, 일반적으로 방출 시간이 짧을 경우 가역 단열 과정으로, 방출 시간이 길 경우 등온 과정으로 가정한다. 영광 5,6 호기의 시험을 바탕으로 한 압력과 체적에 대한 관계는 그림 5 와 6 에서 보여주고 있다. 또한 이를 요약한 것이 표 2 에 주어져 있다. 이상에서 보여지는 바와 마찬가지로 안전주입탱크의 방출과정은 폴리트로픽 과정을 따르며, 폴리트로픽 지수는 분석결과 1.18 ~ 1.26 사이의 값을 가짐을 알 수 있다. 이는 일반적으로 가압 기체의 팽창

과정이 단열과정과 등온과정의 중간정도의 과정을 따른다는 예상과 일치하고 있음을 보여준다.

라. 코드 결과와의 비교분석

위의 논의를 바탕으로 영광 5 호기에서의 방출과정을 모사한 결과를 그림 7 부터 10 에 나타내었다. 3 절에서 시험 결과를 검토한 결과 영광 5 호기와 영광 6 호기의 시험 결과는 약간 다른 결과를 보여주고 있다. 그러나 이는 초기 조건의 차이에서 발생하는 것으로 따라서 대표적으로 영광 5 호기의 시험 결과와 비교를 하였다. 또한 3 절에서 언급한 바대로 폴리트로픽 지수가 밸브의 완전 개방 이후의 거동에 영향을 미치며, 단기간 방출에 따라 단열과정에 가까우리라고 예상되므로 시험 결과의 최대값인 1.26 을 사용하여 수정 코드의 입력으로 사용하였다.

예상과 마찬가지로 밸브가 열리는 초기에는 약간 다른 결과를 보이고 있으나, 밸브가 완전 개방되는 시점(30 초로 가정) 이후에는 모든 경우에 대하여 수위 및 압력의 변화를 적절히 보여주고 있다. 특히 압력 변화의 경우 밸브 개방 이후를 거의 정확히 예측하였다.

4.0 결론

안전주입탱크는 발전소 사고 완화를 위한 피동 주입의 수단으로서 그 수력학적 성능이 시운전 기간 중에 확인되어야 한다. 시운전에서의 압력 및 수위 변화를 예측하기 위하여 관련 코드를 개선하였고, 안전주입탱크 방출 시의 질소 가스의 폴리트로픽 지수를 고찰하였다. 이를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 안전주입탱크의 방출 시험 결과를 예측하기 위하여 밸브 모델링이 적절히 변경되었으며, 질소 가스 팽창 시의 폴리트로픽 지수가 적절히 사용되었다.

2) 수정된 코드는 수위 및 압력의 변화를 적절히 모사하고 있으며, 특히 압력 변화의 경우 밸브의 완전개방 이후 변화를 매우 적절히 보여주고 있다.

3) 수정된 코드를 바탕으로 시험 결과와 비교한 결과, 안전주입탱크의 방출은 폴리트로픽 지수 1.26 인 과정을 잘 따르고 있다.

이상의 연구를 통하여 코드의 수정은 적절한 것으로 판단되며, 추후 한국표준형원전의 안전주입방출시험 시 수정된 코드 및 분석된 폴리트로픽 지수 1.26 을 이용하여 수위 변화 및 압력 변화를 보다 정확히 예측함으로써 허용 기준 마련과 안전주입탱크 방출성능 평가에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

5.0 참고문헌

[1] Regulatory Guide 1.79, "Preoperational Testing of Emergency Core Cooling Systems for Pressurized Water Reactors", September 1975.

[2] Regulatory Guide 1.68, "Initial Test Programs for Water-Cooled Nuclear Power Plants", August 1978.

[3] Technical Specification for Yonggwang Nuclear Power Plant 5 and 6.

[4] Software Verification and Validation Report for TURTLE, May 1999.

[5] Flow of Fluid through Valves, Fittings and Pipes, Crane Technical Paper # 410, 1982.

표 1 SIT **방출시험 초기조건 요약**

		TK01A line	TK01B line	TK01C line	TK01D line
수위 (%)	Y6 Plant	69.8	69.82	69	69
	Y5 Plant	70.7	71	71.3	72
Pressure (psia)	Y6 Plant	218.4	216.7	216.7	216.7
	Y5 Plant	214.8	214.9	215.3	216.5
K-factor		9.32	9.83	9.78	9.32

표 2 **폴리트로픽 지수**(n) **요약**

	TK01A line	TK01B line	TK01C line	TK01D line
Y6 Plant	1.18	1.25	1.12	1.12
Y5 Plant	1.24	1.25	1.26	1.20

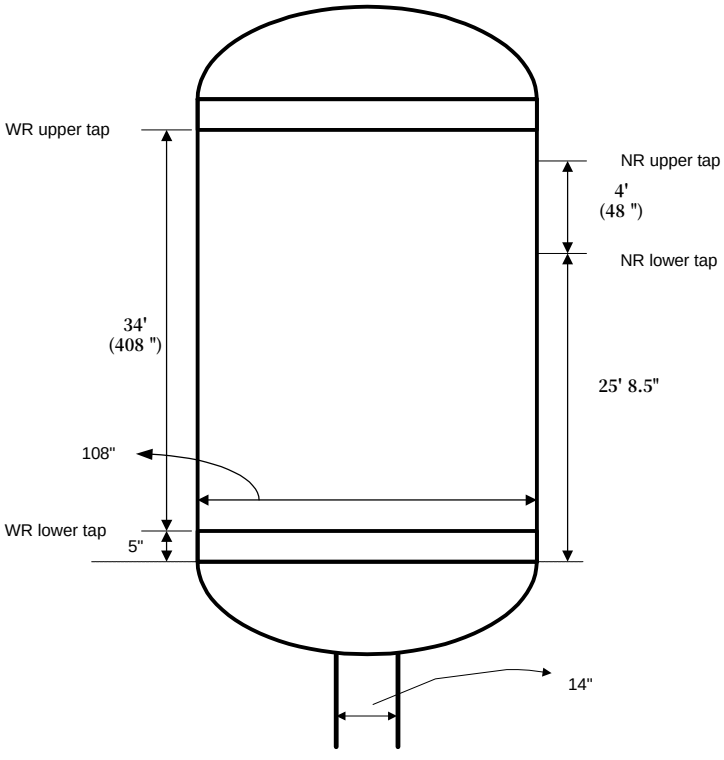


그림 1 SIT **개략도**

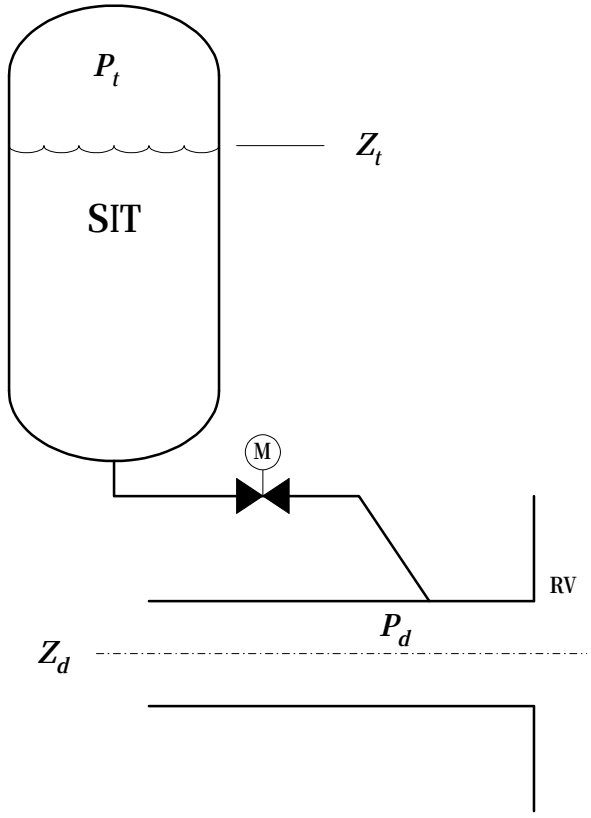


그림 2 SIT **와** RCS **저온관과의 개략도**

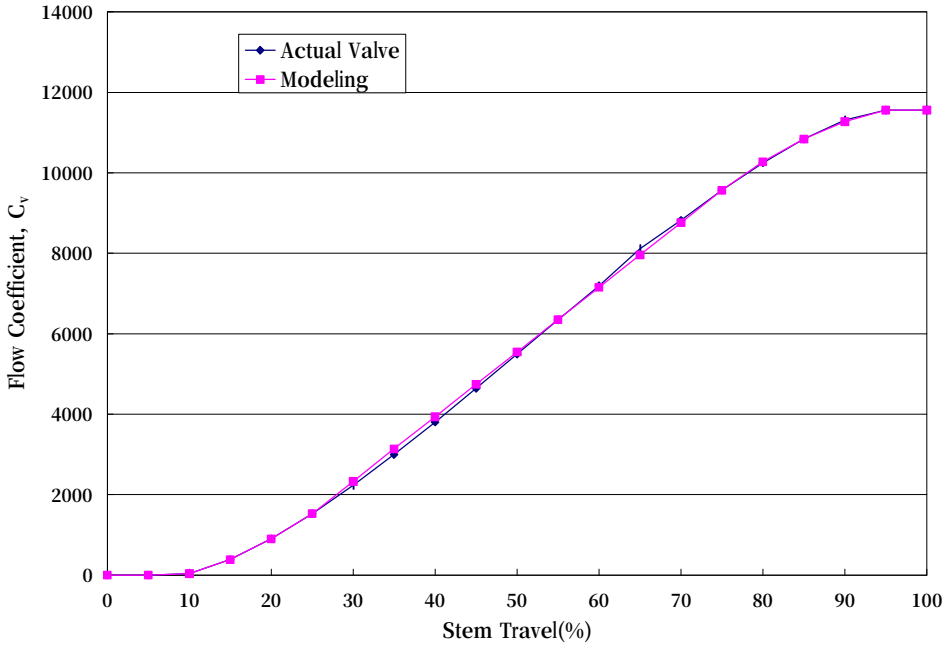


그림 3 수정된 밸브 모델

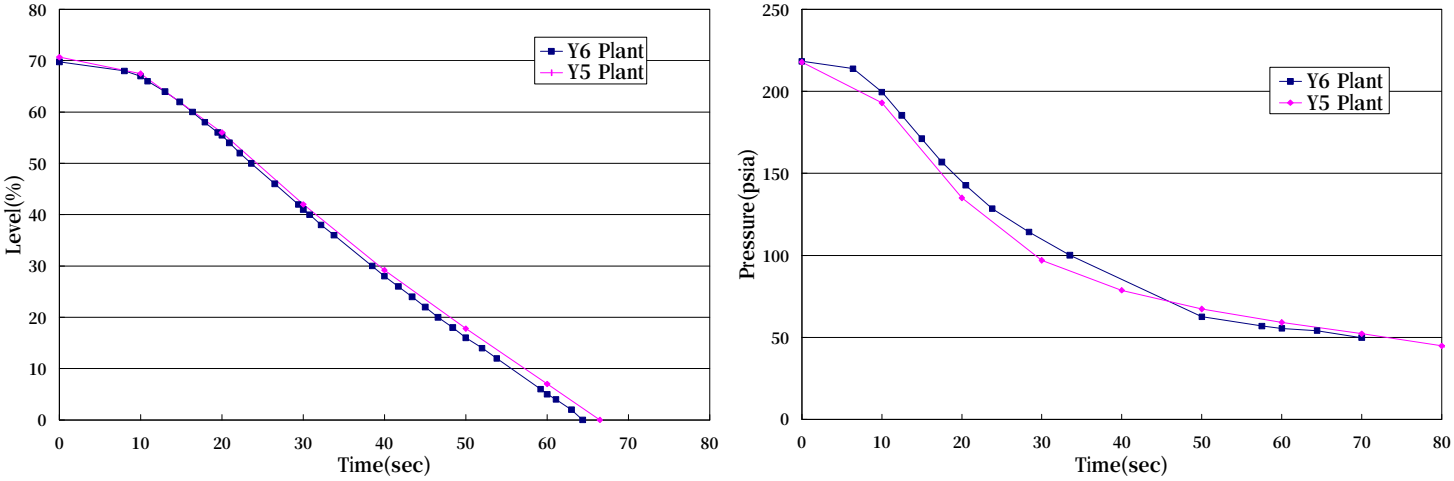


그림 4 방출 시험 중 TK01A 에서의 압력/수위 변화

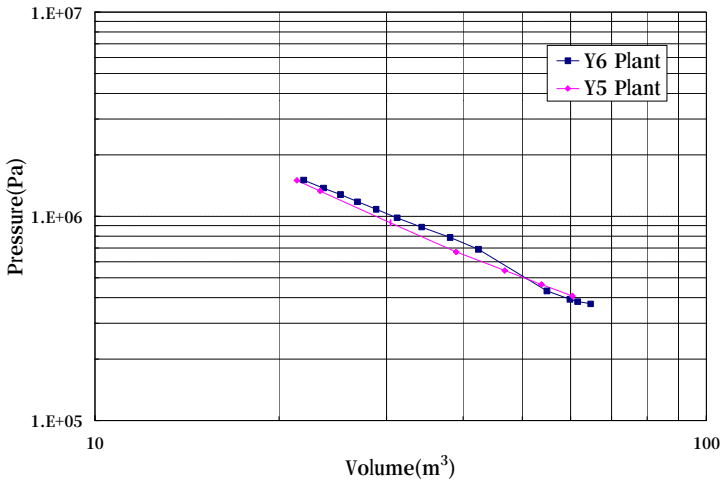


그림 5 TK01A 탱크의 P-v 선도

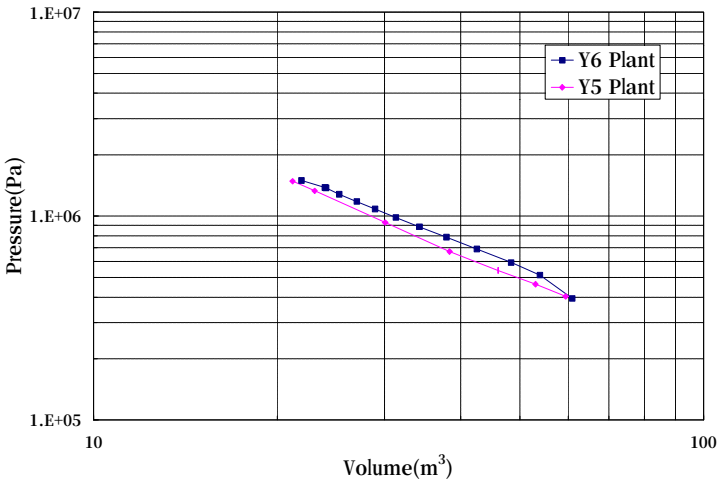
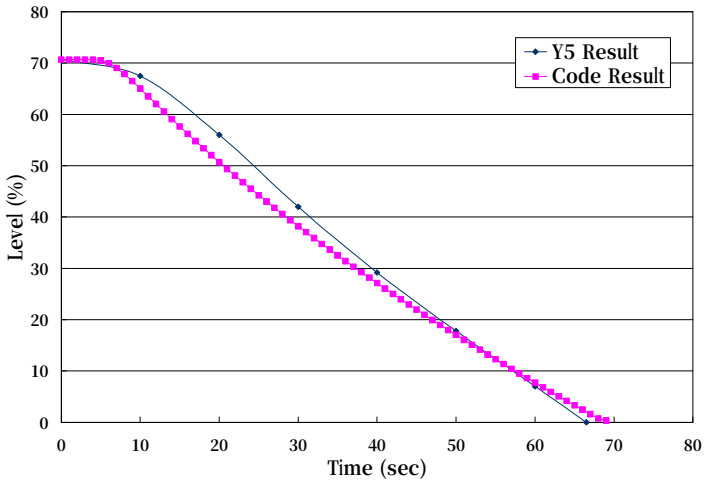


그림 6 TK01B 탱크의 P-v 선도



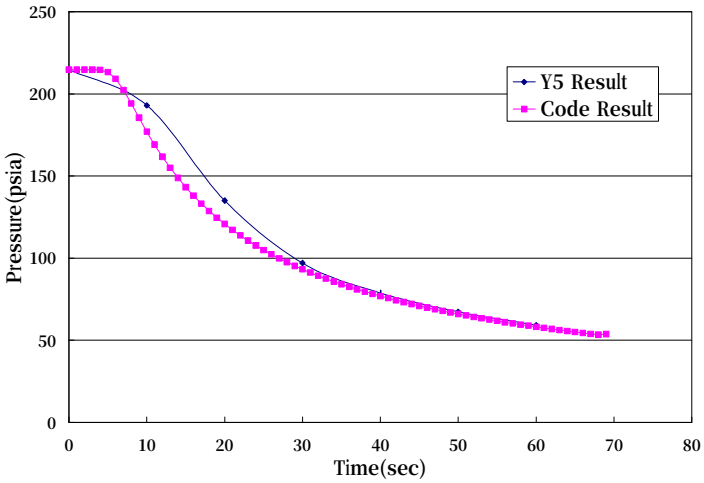


그림 7 TK01A 탱크의 시험결과 및 코드 결과

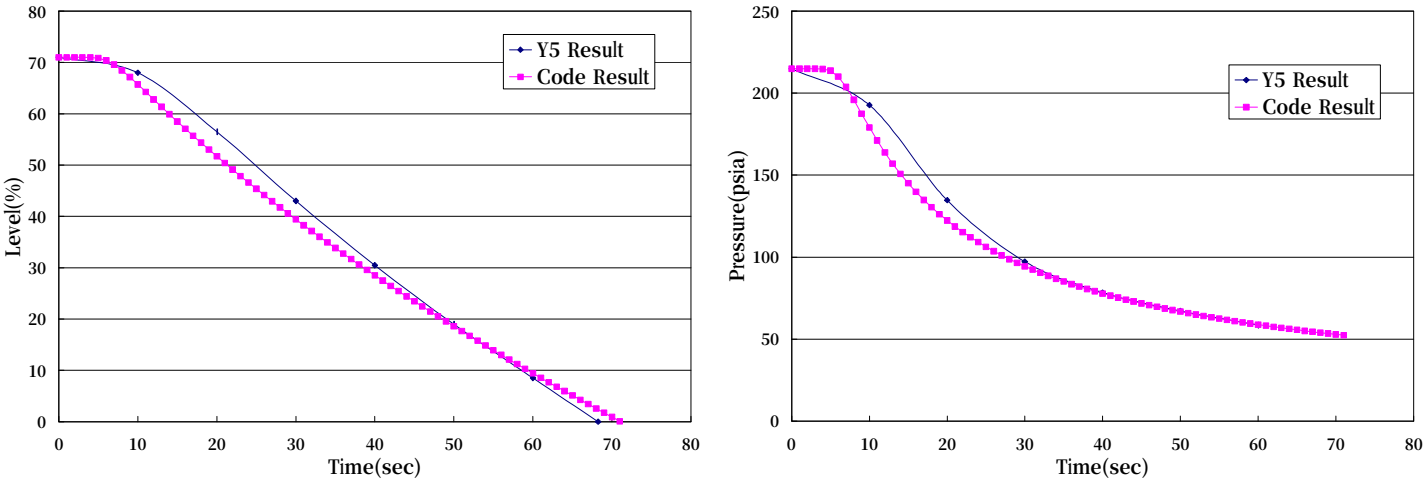


그림 8 TK01B 탱크의 시험결과 및 코드 결과

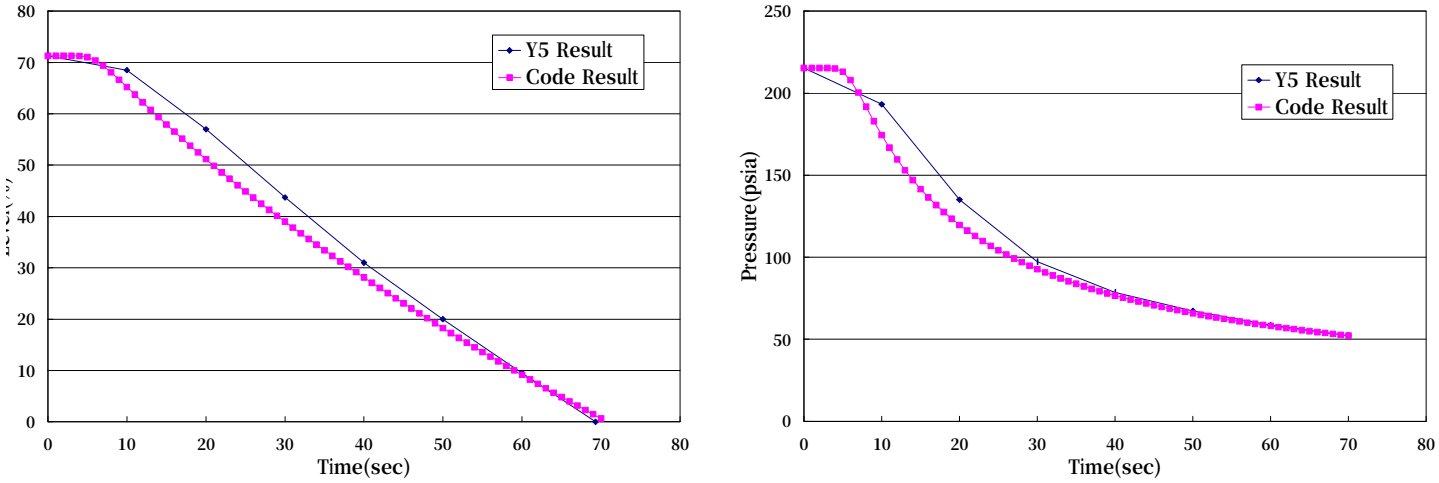


그림 9 TK01C 탱크의 시험결과 및 코드 결과

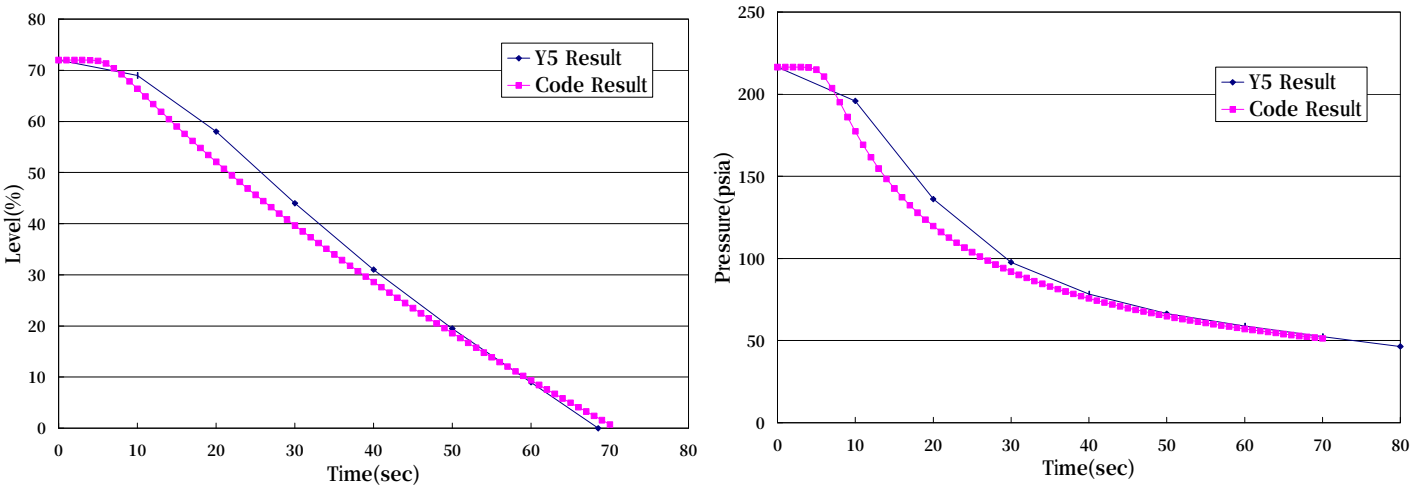


그림 10 TK01D 탱크의 시험결과 및 코드 결과