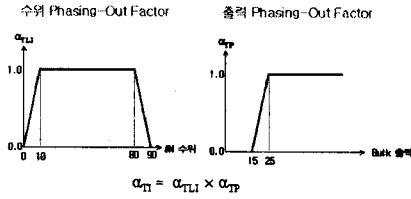


- 수위제어밸브 개도 LCVLR = BIAS + (BUF + DUFI) 수위수거 - 0.63
- Bulk Lift BUF = Kd × Ep
Ep = Kb × (P₁₀₀ - P₀₁₀₀) + K_g × [RI - RD]

수위수거 - 2.0.3.0

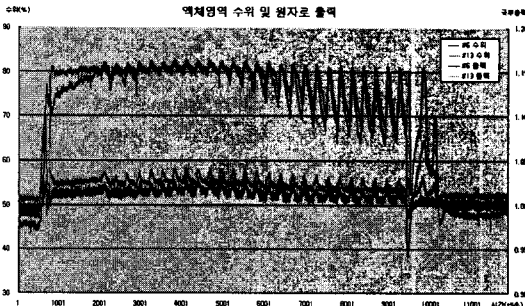
$$\text{Diff Lift DUFI} = \frac{\alpha_{TL} \times Kt \times Ep}{1} + \frac{[1 - \alpha_{TL}] \times Kh \times E_L + Kt \times E_L}{2} + \frac{Kt \times E_L}{3}$$

- 수위가 80% 미만일때 : ① + ③
- 수위가 80% 이상일때 : ① + ② + ③
- * Ep : 출력오차, E_L : 수위오차



- Diff Lift DUFI = $\alpha_{TL} \times Kt \times Ep + [1 - \alpha_{TL}] \times Kh \times E_L + Kt \times E_L$

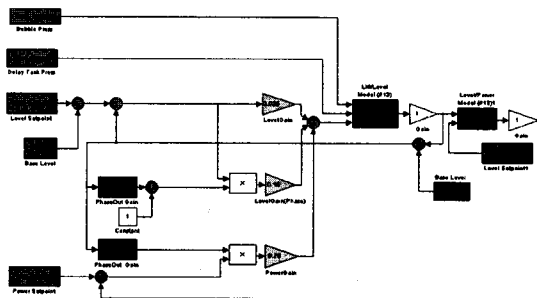
[그림 2] 액체영역 수위 제어 알고리즘



[그림 3] 액체영역 수위, 출력 진동 현상

$$y(t) = - \sum_{i=1}^n a_i y(t-i) + \sum_{i=1}^m b_i u(t-d-i)$$

액체영역 제어는 수위와 국부 출력이 상호 영향을 주므로 “수위 모델”과 “출력 모델”을 별도로 구하고, 캐스케이드로 통합하여 모델링 하였다[그림 4].



[그림 4] 액체영역제어 모델 블록도

수위 모델 식은 다음과 같고, 시뮬레이션 결과는 [그림 5]

와 같다.

$$A(q)y(t) = B(q)u_1(t-lk) + C(q)u_2(t-mk) + D(q)u_3(t-nk)$$

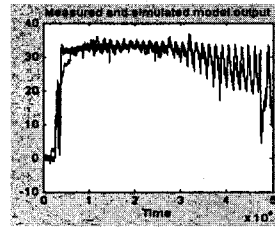
- 여기서, $y(t)$: 수위
 $u_1(t)$: 수위 제어 밸브 개도
 $u_2(t)$: 지연 탱크 압력
 $u_3(t)$: 상부 헬륨 기체 압력

$$A(q) = 1 - 0.5471q^{-1} - 0.05194q^{-2} - 0.3242q^{-3} - 0.06755q^{-4}$$

$$B(q) = 0.2293q^{-1} + 0.1156q^{-2} + 0.03455q^{-3} + 0.05369q^{-4}$$

$$C(q) = 0.3289q^{-1} - 4.312q^{-2} + 4.672q^{-3} - 0.7198q^{-4}$$

$$D(q) = -6.756q^{-1} - 0.7719q^{-2} + 6.826q^{-3} + 1.213q^{-4}$$



[그림 5] 수위 모델 시뮬레이션 결과

출력 모델 식은 다음과 같고, 시뮬레이션 결과는 [그림 6]과 같다.

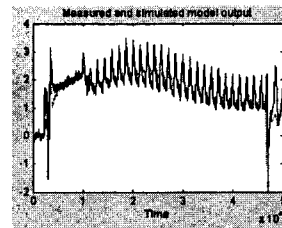
$$A(q)y(t) = B(q)u_1(t-lk) + C(q)u_2(t-mk)$$

- 여기서, $y(t)$: 국부 출력
 $u_1(t)$: 수위
 $u_2(t)$: 타 영역 국부 출력

$$A(q) = 1 - 2.444q^{-1} + 1.807q^{-2} - 0.1559q^{-3} - 0.2067q^{-4}$$

$$B(q) = -0.001158q^{-4} - 0.0002371q^{-5} - 0.0002262q^{-6} + 0.001614q^{-7}$$

$$C(q) = 0.4362 - 1.197q^{-1} + 1.142q^{-2} - 0.3802q^{-3}$$

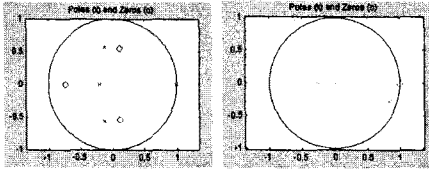


[그림 6] 출력 모델 시뮬레이션 결과

3. 제어성 평가

[그림 9]는 수위 모델과 출력 모델의 Z-영역에서의 Pole-Zero Plot을 나타낸다. 수위 모델의 경우, Pole 중 하나가 안정도 경계선에 매우 인접하게 위치하며, 이것은 제어 안정도가 매우 낮음을 나타내며, 실제 수위 거동에서도 진동 특성을

나타낸다.



[그림 9] 수위 및 출력 모델의 Pole-Zero 위치

출력 모델의 경우, Pole이 안정 경계 내부에 위치하지만, 안정도 경계선 부근에 위치하므로 제어 시에 감쇄 Cycling 특성을 나타낼 것으로 예측할 수 있다.

4. 결 론

중수로 원전의 원자로 출력 제어 계통인 액체영역 제어계통의 제어 진동 현상을 고찰하고 제어 안정성을 평가하기 위하여 제어 계통을 차분 방정식으로 모델링 하였다. 제어 출력 변수는 수위와 원자로 출력하므로 “수위 모델”과 “출력 모델”로 각각 구한 후, 케스케이드로 연결하여 통합 모델을 만들었다. 모델의 파라미터는 실제 운전데이터와 최소자승법을 사용한 파라미터 인식 기법으로 구하였으며, 시뮬레이션 결과는 실제 운전 거동과 유사한 특성을 나타내었다. 제어 안정도 평가를 위하여 각 모델 특성 방정식의 Pole-Zero 위치를 평가하였다. 평가 결과, 수위의 경우에는 진동 특성을 나타내는 불안정 제어 특성을 나타내었으며, 국부 출력의 경우에는 감쇄 진동 특성을 나타내어, 전체적인 제어 거동이 안정하지 못한 것으로 평가되었다.

참 고 문 헌

- [1] Ioan Dore LANDAU, "System Identification and Control Design", PRENTICE HALL, 1990
- [2] Lennart Ljung, "System Identification : Theory for the User", PRENTICE HALL, 1987
- [3] Lee J.S. and Yim H.S., "Design Manual-Liquid Zone Control System (Wolsong-2,3, 4)", KOPEC, 1999
- [4] P. Micheal, "Program Specification-Light Water Zone Control Absorbers (Wolsong- 2), AECL, 1996