2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력 학회

6개 경수형 원전에 적용한 동적 제어봉 제어능 측정 결과

Test Results of Dynamic Control Rod Reactivity Measurements Method for LWRs

이은기, 우일탁, 신호철, 류석진, 배성만, 이용관

한국전력공사 전력연구원
대전 광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

전력연구원은 제어봉 제어능 측정을 보다 신속히 수행하고 액체폐기물 생성을 방지하여 원전경제성을 향상시킬 목적으로 동적 제어봉 제어능 측정방법을 개발, 완료하였다. 본 논문은 전력연구원이 보유한 노심해석도구와 디지털 반응도 측정장치를 이용하여 국내 가압경수형 6개 호기, 총 27개 제어봉의 제어능 측정에 동적 제어능 측정방법을 적용하고 그 결과를 기술한 것이다. 해석결과에 가장 큰 영향을 미치는 기저신호는 시간에 따른 반응도 특성을 이용하여 보정하였다. 27개 제어봉 제어능은 설계코드 예상치와 최대 9%이내, 평균 3.1%, 표준편차 2.0%의 오차를 보였다. 반면 현재의 제어봉 제어능 측정방법은 설계코드 예상치와 평균 4.2%, 표준편차 3.0%의 오차를 보였다. 측정 및 평가에 소요되는 시간은 1개 제어봉당 약 15분 이었다. 이러한 결과로부터 개발된 동적 제어봉 제어능 측정방법이 현재의 붕소희석법 및 제어봉 교환법과 비교하여 보다 나은 정확성을 갖고 있을 뿐 아니라 측정소요시간을 대폭 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

Recently, KEPRI has developed the Dynamic Control rod Reactivity Measurement (DCRM^{TM}) methodology to measure the worths of control rod bank and safety rod bank which should be verified during the Low Power Physics Test (LPPT). DCRM has been applied to measure the worths of total 27 banks of six different nuclear power plants, including 2-and 3-Loop WH reactors and Korea Standard Nuclear Plants. The most sensitive part in the method is how to extract the background signals from the original data. To solve it, a simple approach reflecting the characteristic of dynamic reactivity was developed. Final results of 27 cases show that the average and standard difference between measurements and the estimations of core design code is 3.6%, 2.5% respectively, while the current rod worth measurement method 4.3% and 3.2%. Maximum error also decreases from 12.8% to 9%. It takes about 15 minutes to measure one rod bank. From the all observations, one knows definitely that DCRM can be an appropriate method to substitute the current boron dilution and rod swap method for measuring the rod worth.

I. 서 론

원자력발전소는 원전연료 재장전 후 영출력 상태에서 각종 시험을 시행하고, 규정된 조건을 만족하는지를 검사해야 하는데 이는 안전성분석에 사용된 각종 인자들의 타당성을 확인하기 위함이다. 특히 제어봉 제어능 측정은 안전해석 타당성의 근거를 제시하기 때문에 반드시 수행해야 하는 critical path이다. 현재 제어봉 제어능 측정방법은 20여 년간 거의 전세계 원전에 사용되면서 개별 발전소에 최적화 되다시피 한 '붕소희석 및 제어봉교환' 방법이다. 그러나 현재의 제어능 측정방법은 10시간 이상이 소요된다. 특히 정밀한 측정을 요하는 기준제어봉의 경우 붕소희석에 상당시간을 소요하게 된다. 사실 측정 소요 시간의 감소는 원자로 정상출력

도달시간을 그 만큼 줄여 원전 경제성 향상을 기할 수 있기 때문에 시험시간을 줄이기 위한 시도들이 지속적으로 이루어져 왔고, 제어봉 교환법(RSM, Rod Swap Method)은 그러한 노력의 일환으로 도입된 것이지만, 여전히 10시간 이상이 소요될 뿐 아니라 현재 측정하지 않는 정지제어봉까지 제어능을 측정해야 하기 때문에 그 시간이 더욱 늘어날 것으로 전망된다. 이에 따라 전력연구원은 최근 가압경수형 원전의 제어봉 제어능 측정 시험시간을 대폭 줄일 수 있는 동적 제어봉 제어능 측정 방법론 (DCRM, Dynamic Control rod Reactivity Measurement)과 그 측정 장치 (DDRCS, Direct Digital Reactivity Computer System)를 개발한 바 있다.[1-3]

DCRM은 보론 농도를 일정한 상태로 유지시키면서 제어봉 제어능을 측정하기 때문에 약 2시간 만에 8~9개 제어봉의 제어능을 모두 측정할 수 있고, 각 제어봉의 절대적 제어능을 알 수 있으며, 미분제어봉가도 측정이 가능하고 액체폐기물이 발생하지 않는 등의 장점을 가지고 있다. 필요한 동적 노물리 자료 추출방식과 노외계측기 신호 처리 방식 역시 방법론 개발 과정에서 개발되었다. 개발된 방법은 이미 미국 웨스팅하우스(WH)사가 개발한 'DRWM (Dynamic Rod Worth Measurement)'[4] 이나 미국 Electric Power Research Center (EPRC) 가 개발한 DRMWM (Dynamic Reactivity Measurement of Rod Worth)[5] 과 유사하나 동적/정적 변환상수나 기저신호 처리부분에서 독창성을 갖고 있다.

본 논문은 전력연구원이 개발한 장치와 측정장치 및 방법을 6개 원전(WH형 2-loop, 3-loop 노심 및 한국표준형 노심)에 적용하고 그 결과를 분석한 것이다. 분석에 필요한 자료는 전력연구원이 보유한 과도상태 계산 전산코드와 역반응도 계산 도구 등을 이용하였다. 그 결과 6개 원전 총 27개 제어봉에 대하여 현재의 제어봉 교환법이 평균오차가 4.2%, 표준편차가 3.0%로 나타난 반면 DCRM의 경우 각각 3.1%, 2.0%로 나타나 그 정확성에서 기존 방법론을 대치할 수 있다는 것을 확인하였다. 1개 제어봉 평균 측정시간은 5분 이내로 대기시간까지 포함 15분 정도에 제어봉 제어능을 측정할 수 있었다.

II. 본 론

가. 중요 인자

개발된 동적 제어봉 제어능 측정방법은 단 하나의 제어봉만을 노심에 최대속도로 삽입/인출하고, 이때 얻어지는 노외계측기 전류신호를 이용하여 제어능을 평가한다. 지속적으로 변화하는 노심 중성자 평균 수밀도를 전류신호로부터 정확히 짚어내려면 전류신호와 노심 중성자 평균 밀도 사이의 관계(DRCF, Density-to-Response Conversion Factor)가 알려져야 하고, 역반응도 관계식의 결과가 제어봉이 계속 삽입되는 상태를 나타내는 '동적 반응도'이므로 이를 발전소 운영지침서에 기술된 '정적 제어능'으로 표현할 수 있는 관계식(DSCF, Dynamic-to-Static Conversion Factor)도 필요하다. 두 개의 핵심 인자는 각기 다음과 같이 정의된다.

$$DRCF^{Q}(t) \equiv \frac{\sum_{n=1}^{N} \Delta V_n w_n^Q \sum_{g=1}^{2} \kappa\Sigma_{fg}^n(t) f_g^n(t)}{\sum_{n=1}^{N} \Delta V_n w_n^Q \sum_{g=1}^{2} \kappa\Sigma_{fg}^n(t_0) f_g^n(t_0)},$$

$$DSCF^{Q}_{Simulated}(z = t_z) = \frac{\rho^{Static}_{RAST(ANC,ROCS)}(z)}{\rho^{Dynamic,Simulated,Q}_{INVERSE}(z)}.$$

상기 식에서 윗첨자 Q는 각각 상하부 노외계측기를 의미하고 나머지는 통상의 의미를 지니고 있다. 개발된 방법은 기저신호를 적절히 제거하기 위해 상하부 노외계측기에 대한 제어능을 각기 따로 평가한다. 기저신호가 제거되면 계측 신호를 합산하고 이를 기초로 제어봉 제어능을 계산한다.

기저신호는 개발된 방법론에서 매우 민감한 부분이었다. 사실 제어봉이 완전 인출된 상태에서 “노외계측기 주변의 감마선”(대부분 노심 내 감마선원이 근원지) 세기는 “중성자와 반응하여 발생하는 감마선” 세기와 비교하여 매우 미약하다. 이 경우 제어봉 제어능 평가에 기저신호 영향은 별로 없다. 이 때문에 기존 제어봉교환법도 기저신호의 영향을 받지 않는 범위를 설정하고 그 한도 내에서 시험을 실시한다. 그러나 제어봉이 완전 삽입되면, 제어봉 제어능의 크기에 따라 달라지겠으나, 두 감마선 세기는 그 우열을 가릴 수 없게 된다. 혹 기저신호 세기가 상대적으로 큰 경우는 제어봉 제어능 측정결과가 물리적 설명이 불가능한 형태로 나타날 수 있기 때문에[1] 적절한 기저신호 제거 방식이 필요하였다. 이에 따라 개발한 방법이 “제어능이 보이는 물리적 특성”을 이용하는 것이며, 이에 대하여는 참고문헌 [1]에서 이미 자세히 언급하였으므로 본 논문은 중언하지 않기로 한다.

나. 사용 전산코드

그림 [1]은 전체 DCRM^{TM}의 자료 흐름을 나타낸 것이다. 제어능 측정 시는 역동특성 관계식을 차분화한 INVERSE 전산코드가 사용된다. 단, DSCF, DRCF는 제어봉 별, 축 방향 삽입위치 별로 미리 계산되어 있어야 한다. DRCF는 2개의 2차원 DORT계산 결과를 합성[6]하고, 실제 장전모형에 따른 출력분포를 고려하여 얻는다. 따라서 DRCF 계산을 위한 전산코드가 필요하며, 전력연구원은 자체 개발한 노심 동특성 해석 전산코드인 RAST-K 코드[7,8]를 개선하여 동 계산을 수행할 수 있도록 하였다. 이때 핵자료의 일관성을 위해 핵설계 전산코드(ANC[9], ROCS[10])의 노드별 핵단면적을 직접 출력하여 사용하였다. DSCF는 가상 노외계측기 변동률이 존재해야 계산할 수 있는 것으로 전력연구원은 RAST-K 전산코드를 개선하여 제어봉 움직임에 따른 노외계측기 신호 변동률을 계산할 수 있도록 하였다. 생산된 가상 노외계측기 신호 변동률은 INVERSE 코드를 거쳐 DSCF를 생산하게 된다. 따라서 실제 측정 시 제어봉 제어능 평가는 INVERSE 전산코드만으로 수행된다. 기저신호 제거 역시 INVERSE 전산코드에서 반복계산을 통해 처리하도록 하였다.

다. 코드 검증

가능한 정확하게 가상 노외계측기 신호 변동률을 추적하려면 영출력 3차원 노심동특성 해석 (RAST-K) 전산코드의 정상상태 계산이 ANC, ROCS의 그것과 매우 일치해야 하고 제어봉을 완전히 삽입하였을 때 얻어지는 제어능 역시 수 pcm의 오차 내에서 일치해야만 한다. 따라서 6개 호기의 ARO 상태뿐 아니라 제어봉이 완전 삽입된 개개의 경우, 즉 총 42개 케이스 각각에 있어 반경방향 출력분포 및 축방향 출력분포, 제어능 등을 핵설계 결과와 비교하여 RAST-K 전산코드가 정상상태 노심을 핵설계 전산코드의 그것과 일치하게 계산하는지를 살펴보았다. 표 [1]은 그 결과를 나타낸 것으로 정규화한 반경방향 출력분포의 절대 평균오차는 10^{-3}이하, 최대 절대오차는 0.010이며, 제어능의 평균오차는 3pcm, 최대오차는 8pcm임을 알 수 있다.

표 [1] 정상상태 계산 결과 비교

	계산한 BANK 수	반경방향 출력 평균오차	반경방향 출력 최대오차	제어봉 평균/최대 오차
WH형 노심	30	0.001	0.01	2.5pcm/8.0pcm
KSNP형 노심	12	0.000	0.001	1.0pcm/2.0pcm

그림 [2]는 KSNP형 노심의 SHUTDOWN BANK A 가 완전 삽입된 경우 반경방향 출력분포에 대한 비교 그림이다. 평균 출력오차 및 최대 오차가 각각 0.000, 0.001으로 나타난 것과 같이 비록 노심해석 방법론이 ROCS와 달라도 동일한 핵자료를 사용하였을 때 동일한 정상상태 출력분포를 계산하였다는 것을 알 수 있다. 또, RAST-K전산코드의 과도해석능은 이미 발표된 논문[9,10]들을 통해 언급되었으므로 그 적용에 무리가 없다고 가정한다.

라. 시험 대상 및 결과

2002년 3월부터 2003년 3월까지 총 6개 서로 다른 경수형 원전(KSNP형 2개 호기, WH형 2-Loop, 3-Loop 및 Framatome형 원전등 4개 호기)을 대상으로 DCRM 시험을 수행하였다. 평가한 제어봉은 총 27개였다. KSNP형 노심에 대해선 세계 최초로 동 방법론에 의한 제어봉 제어능 측정 시험이 수행되었다. 호기당 5개 정도의 제어봉 제어능을 OFF-LINE으로 평가하였으며, 평균 시험시간은 약 1시간 30분 정도 소요되었다. 노외계측기 신호는 새로 개발된 측정장치(DDRCS)로 처리하였다. 2대의 12bit 해상도를 갖는 electrometer를 이용하여 상하부 각각의 노외계측기 전류신호를 따로 받아 제어능 평가에 이용하였다. DCRM은 CE형 원전에는 사용된 예가 없기 때문에 KSNP 2개 호기에 적용하여 양호한 결과를 얻은 것은 관련 기술의 선점 측면에서 매우 중요한 사항이라 하겠다.

표 [2]는 그 결과를 정리한 것으로 기존 제어봉 교환법에 의한 결과도 같이 표기하였다. 기존 제어봉 교환법의 경우 자료 처리 방식이나 제어봉 제어능 평가 방식이 다르고 심지어 핵설계 전산코드가 예측하는 제어봉 제어능이 DCRM의 그것과는 다르기 때문에 측정자료를 놓고 절대적인 비교는 사실상 불가능하며 의미도 없다. 그러나 그럼에도 불구하고 표 [2]는 현재의 시험만족기준에서 볼 때 DCRM이 제어봉 제어능을 적절히 평가할 수 있다는 것 만은 보여준다. 특히, 기존 방식에 비하여 DCRM의 표준편차가 낮다는 것은, 비록 그 수치가 크지는 않지만, 계산 결과를 좀 더 신뢰할 수 있다는 것을 의미한다는 점에서 주목할 필요가 있다.

계산결과를 보면, 전체적으로 DCRM이 RSM에 비해 평균오차 및 표준편차가 낮게 나타났음을 알 수 있다. RSM이 평균 오차가 4.2%, 표준편차가 3.0%, 최대오차 12.8% 인 것에 반하여 DCRM은 평균오차 3.1%, 표준편차 2.0%, 최대오차 9%로 계산되었다.

그림 [3]은 CASE 3 CC의 계산 결과를 나타낸 것이다. 본 방법론에서 노이즈는 따로 평탄화 과정을 거치지 않았기 때문에 제어봉 완전 삽입시점에서 노이즈에 의한 제어능 진동이 보인다. 그러나 최종 평가 값 자체는 노이즈에 의한 진동을 고려해

최소자승법으로 결정한다. 그림 [3]에서 보듯이 통상 상하부 노외계측기 개별 신호를 이용하여 추정한 제어능은 거의 동일하게 나타난다. 경우에 따라 개별 제어능 값이 큰 차이를 보이기도 하는데 이 경우 하부 노외계측기 신호를 이용하여 추정한 제어능 값이 상부에 비해 과대평가되는 경우가 대부분이며, 이것은 하부 노외계측기 신호 자체가 상부보다 미약하기 때문에 계측기 자체의 평탄화구역(전류세기와 반응률이 일정한 선형적 관계를 갖는 영역)에서 벗어나 비선형적 신호세기를 내기 때문으로 판단된다. 따라서 만일 상부/하부 노외계측기의 제어봉 제어능 추정치간의 오차가 크고 두 신호를 합산하여 얻은 최종 정적 제어봉 제어능 오차가 기준 값과의 허용기준에 가까운 경우는 재시험을 통해 계측기 신호의 적절성을 검토할 필요가 있다.

III. 결 론

전력연구원은 지난 3년간 동적 제어봉 제어능 측정방법을 개발하였고, 그 방법론의 타당성과 특성을 수 차례의 논문을 통해 살펴보았다. 본 논문은 그간 개발된 동적 제어봉 제어능 측정방법을 이용하여 실제 실험에 적용하여 얻은 결과를 최종적으로 종합한 것이다. 본 논문의 목적은 6회에 걸쳐 서로 다른 경수형 원전의 27개 제어봉 제어능을 측정하고 그 평가 결과를 기존 제어봉 교환법과 비교함으로써 개발된 방법의 적용성을 살펴보는데 두었다. 그 결과 동적 제어봉 제어능 측정 방식은 기존 제어봉 교환법과 유사한 정도의 계산 오차와 표준편차를 보임을 알았다. 수치적으로는 각각 1% 가량 그 오차가 감소하였기 때문에 보다 정확성이 향상된 방법이라고 할 수 있으나 제어봉 제어능 측정 자체가 정확성을 요구하는 것이 아니라 실험에 의해 평가된 제어능이 핵설계 전산코드로 얻은 것과 어느 범위 내에서 일치하느냐를 평가하는 것이므로 유사하거나 보다 나은 정도의 계산오차를 보였다는 것은 정확성의 관점보다 동적 제어봉 제어능 측정 방법이 기존 제어봉 교환법을 문제없이 대치할 수 있다는 관점으로 봐야 하고 따라서 새로운 방법론이 더 큰 의미를 찾을 수 있다. 따라서 동적 제어봉 제어능 측정방법은 기존 방법과 유사한 정확도를 가지면서도 호기당 평균 5개정도의 제어봉 제어능을 측정하는데 약 1시간 30분 정도만 소요되는 매우 신속한 제어봉 제어능 측정방법이라 하겠다. 한편, 개발된 방법은 세계 최초로 CE형 노심인 KSNP에도 적용되어 양호한 결과를 얻었다. 이는 본 방법론이 해외에게 개발된 방식과는 달리 보다 폭넓은 적용이 가능하다는 사실을 의미하는 것으로 독자적인 기술을 추구하고 기술적 토대를 쌓았다는 점에서, 그리고 결과적으로 동 분야의 기술을 선점하는 효과를 얻었다는 점에서 또 다른 개발의 의미를 찾을 수 있겠다.

References

1. 이은기 외, “동적 제어봉 제어능 측정에서 기저신호 보상방법,” 한국원자력학회 2003 춘계학술발표회 논문집, 제1분과(A), (2003).
2. 우일탁 외, “동적 제어봉 제어능 측정장치 개발”, 한국원자력학회 2002 추계학술발표회 논문집, 제1분과 (C), (2002).
3. 우일탁 외, “동적 제어봉 제어능 측정방법론 개발 및 적용”, 한국원자력학회 2002 추계학술발표회 논문집, 제1분과 (B), (2002).
4. Y. A. Chao, et al., "Dynamic Rod Worth Measurement," *Nucl. Tech.*, **132**, 403 (2000).
5. D. F. Kastanya, I. Ariani and P. J. Turinsky, "Verification of Dynamic Rod Worth Measurement Calculational Methodology," Advances in Nuclear. Fuel Management. II, Myrtle Beach, ANS, 14-65, (1997).
6. 김강석 외, "노외계측기 반응도 계산에서의 2차원 DORT 합성법과 3차원 TORT 계산 비교," 한국원자력학회 2001 추계학술발표회 논문집 (2001).
7. 이은기 외, "비선형NEM/ANM 방법에 의한 과도상태 모사," 한국원자력학회 2002 춘계학술발표회 논문집, 제1분과(A), 217, (2002).
8. 이은기 외, "NEM 기반의 비선형 유한차분법에 적용한 노심-반사체 경계조건의 과도상태 모사능력 평가," 한국원자력학회 1999 추계학술발표회 논문집, 제1분과(A) (1999).
9. Y. S. Liu, et al., "ANC-A Westinghouse Advanced Nodal Computer Code," WCAP-11596-P-A (1986).
10. "The ROCS and DIT Computer Codes for Nuclear Design," CENPSD-266-P-A, *Combustion Engineering Inc* (1983).

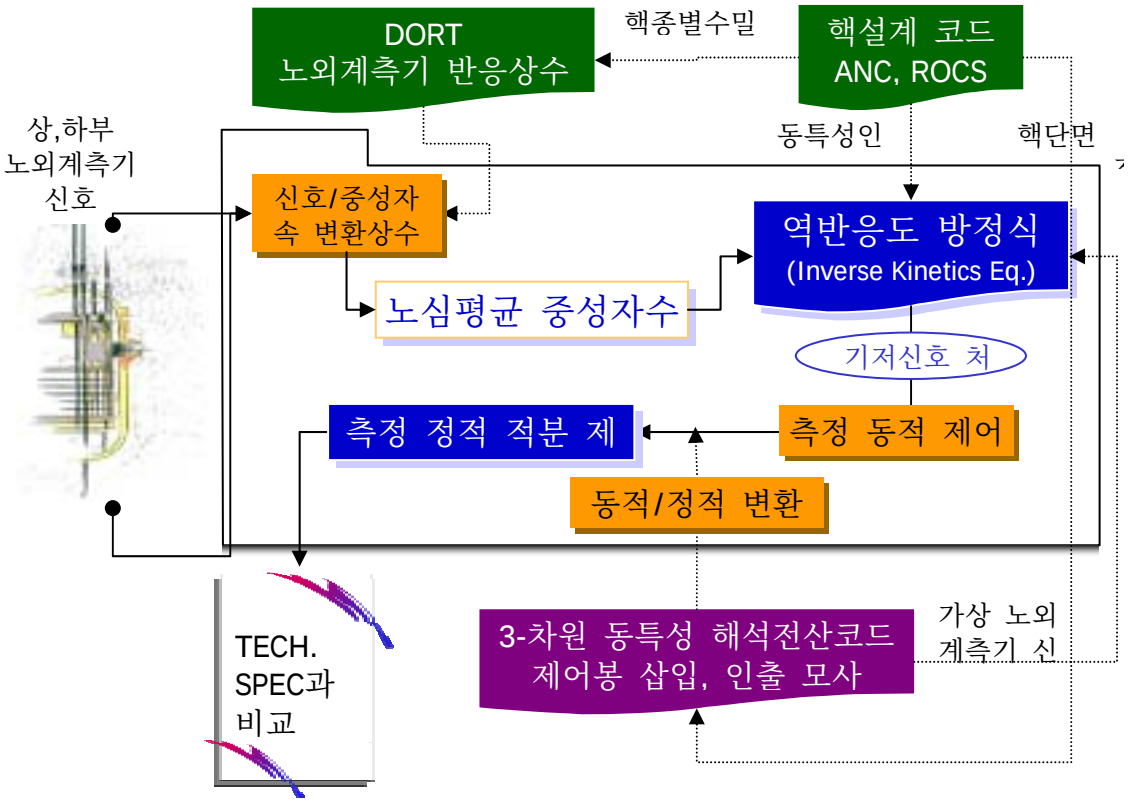

그림 [1] DCRM 자료 흐름도

0.3071 0.3068 0.000	0.4128 0.4125 0.000	0.3924 0.3919 0.001	0.3471 0.3464 0.001	0.7442 0.7442 0.000	1.6170 1.6173 0.000	1.5343 1.5349 0.001	0.7158 0.7160 0.000
0.4128 0.4125 0.000	0.4489 0.4484 0.000	0.2278 0.2274 0.000	0.3633 0.3625 0.001	0.8025 0.8020 0.001	1.1949 1.1951 0.000	1.9468 1.9475 0.001	1.0137 1.0141 0.000
0.3924 0.3919 0.001	0.2280 0.2276 0.000	0.4218 0.4211 0.001	0.4130 0.4122 0.001	1.1410 1.1406 0.000	1.7653 1.7656 0.000	1.8186 1.8192 0.001	0.5597 0.5599 0.000
0.3471 0.3464 0.001	0.3625 0.3618 0.001	0.4117 0.4109 0.001	0.4100 0.4092 0.001	0.9318 0.9313 0.001	1.5873 1.5876 0.000	1.6467 1.6472 0.001	
0.7442 0.7442 0.000	0.8001 0.7998 0.000	1.1368 1.1365 0.000	0.9299 0.9294 0.000	1.5618 1.5617 0.000	1.5365 1.5368 0.000	0.5800 0.5802 0.000	
1.6170 1.6173 0.000	1.1939 1.1943 0.000	1.7609 1.7614 0.001	1.5701 1.5705 0.000	1.5298 1.5301 0.000	0.5801 0.5802 0.000		
1.5343 1.5349 0.001	1.9413 1.9420 0.001	1.8119 1.8127 0.001	1.6367 1.6372 0.001	0.5762 0.5765 0.000			RAST-K ROCS DIFF
0.7158 0.7160 0.000	1.0109 1.0114 0.001	0.5576 0.5579 0.000				MAX AVG	0.001 0.000

그림 [2] 영광 3 호기 5 주기 SHUTDOWN BANK A 완전 삽입 시

표 [2] DCRM/RSM 최종 결과 비교

CASE	CEA Type	RSM용 설계치	RSM 측정치	오차 (%,x)	DCRM용 설계치	DCRM	오차 (%)
1	CA	285	291	2.1	278.7	271.9	-2.4
	CB	1,359	1,339	-1.5	1,357.10	1,408.70	3.8
	CC	694	669	-3.6	683.8	685.9	-0.3
	CD	360	365	1.4	353.9	339.9	-3.9
	계	2,698.00	2,664.00	1.3	2,673.50	2,706.4	1.2
2	CA	544	514.5	-5.4	531.7	533.4	0.3
	CB	711	680.9	-4.2	697.3	711.7	2.1
	CC	1,536	1,482.00	-3.5	1,498.50	1,484.7	-0.9
	CD	824	775.7	-5.9	814.3	767.5	-5.7
	계	3,615	3,453.10	-4.5	3,541.80	3,497.3	1.3
3	CA	204	218	6.9	186.4	182.8	-1.9
	CB	811	789	-2.7	790.2	847.1	7.2
	CC	871	921	5.7	878.7	861.1	-2.0
	CD	1,133	1,120	-1.1	1,136.5	1,237.8	9.0
	SA	1,196	1,176	-1.7	1,173.0	1,137.3	-3.0
	계	4,215	4,224	0.2	4,164.8	4,266.1	2.1
4	CB	653	690.2	5.7	638.9	649.7	1.7
	CC	1,028	1,058.9	3.0	1,024.0	1021.2	-0.2
	CD	798	807.7	1.2	795.3	819.3	3.0
	SA	768	786.1	2.4	756.6	732.3	-3.2
	SB	764	785.2	2.8	754.2	739.8	-1.9
	계	5,118	5,244.0	4.5	5,070	5,177.9	2.9
5	R5	807.8	829.3	2.6	308.8	325.3	5.4
	R4				440.5	451.4	2.5
	R3	283.2	305.2	7.2	341.5	354.3	3.8
	SB7	840	840	0.0	837.3	879.0	5.0
	계	1931.0	1,974.5	2.2	1,928.1	2,010	4.2
6	R1	600.1	632.2	5.4	604.1	627.9	3.9
	R2	528.1	462.9	-12.3	485.5	477.4	-1.7
	R3	382.7	333.8	-12.8	340.5	321.1	-5.7
	R4	426.3	389.6	-8.6	454.4	425.4	-6.4
	SA5	840	788.3	-4.7	819.9	788.6	-3.8
	계	2777.2	2,606.8	-6.1	2,704.4	2,640.4	-3.1
평균 오차(%)				4.2			3.1
표준 편차(%)				3.0			2.0
최대값(%)				-12.8			9.0
최소값(%)				0.0			0.2

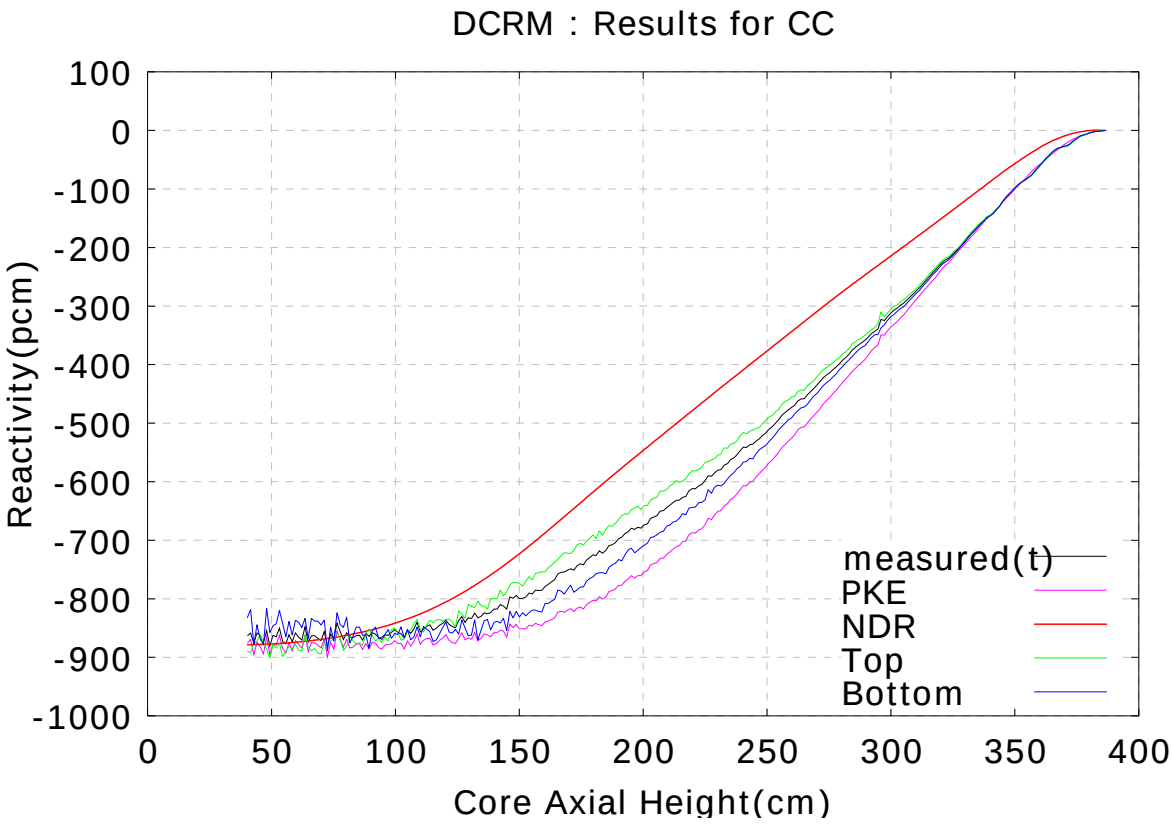

그림 [3] DCRM 제어봉 제어능 평가 결과: CASE 3 CC