

### 영광 3,4호기 장주기 운전에 따른 계통설계 안정성 평가

최해윤, 하영준, 이정표, 이기원  
한국원자력연구소

#### 요 약

원자력발전소에서 표준주기는 장주기운전에 비해 상대적으로 잦은 연차보수로 인한 발전소 안전관리 및 경제성 측면에서 불리하여 점차 장주기 운전으로 전환하고 있는 것이 세계적 추세이다. 영광 3호기를 시작으로 국내에서 본격 가동되고 있는 1000MWe급 한국형표준원전은 12개월 주기로 운전되고 있으나 미국내 CE형 동급 발전소는 이미 18개월 주기가 상용 채택되고 있다. 국내 CE형 발전소에도 장주기 운전방침을 채택할 경우 발전소 이용률 향상은 물론이고 단주기의 취약점을 개선할 수 있는 효과를 기대할 수가 있다. 따라서 본 논문은 영광 3,4호기 원자력발전소에서의 장주기 운전에 따른 계통설계 안정성 평가를 통하여 장주기운전 적용 타당성 분석을 수행하였다.

#### 1. 서론

원자력발전소에서 표준주기 (12개월)는 장주기에 비하여 잦은 연차보수로 인하여 발전소 종사자의 방사선 피폭선량 증대, 많은 보수인력의 필요, 과도한 폐기물 발생 그리고 전력계통의 안전관리 및 경제성 면에서 취약점을 내포하고 있어 점차 단주기에서 장주기 운전으로 전환하고 있는 것이 세계적 추세이다. 영광 3호기를 시작으로 국내에서 본격 가동되기 시작하는 1000MWe급 한국형표준원전은 표준 (12개월) 주기로 설계되어 있으나, 미국내 CE형 동급 발전소는 이미 18개월 주기가 상용 채택되고 있다. 우리나라의 기존 경수로형 발전소에서도 이미 장주기운전이 채택되고 있으며, 국내 CE형 발전소에도 장주기 운전방침을 채택할 경우 발전소 이용률 향상은 물론이고 단주기의 취약점을 개선할 수 있는 효과를 기대할 수가 있다. 따라서 본 논문은 국내에서 본격 가동될 1000MWe급 원자력발전소에서 요구되고 있는 장주기 (18개월) 운전에 따른 계통설계 안정성 측면에서의 평가를 수행하였다.

#### 2. 계통설계 안정성 평가

##### 2.1 계측제어기기의 점검주기 평가[1,2,3]

###### (1) 장주기운전으로 인하여 영향을 받는 계측기기

운전허가에 필요한 FSAR 16장의 기술지침서에서 발전소 정기 보수시 교정작업 실시를 규정하고 있는 대상 계기들에 대하여 장주기운전으로 인한 계측기기의 교정주기 변경에 따른 영향을 받는 계기중에 정확도 분석이 필요한 계측 채널들은 Plant Protection System (PPS; RPS, ESFAS & CPCS) 계측 채널: 16개 항목; Post Accident Monitoring Instrumentation (PAMI) 채널: 16개 항목; Other Safety Related Instrumentation 채널: 3개 항목; Non-Safety Instrumentation 중 안전에 영향을 미치는 채널 중에서 COLSS Measurement 채널: 10개 항목; NSSS Control and Pressurizer Control Input 채널: 9개 항목등이 있다.

###### (2) 계측기 채널별 오차 계산

장주기운전에 따른 계측계통의 측정오차계산 (measurement uncertainty calculation)과 관련된 각 계기들의 drift error를 산정하여 설정치들에 대한 재평가를 수행하였으며, 장주기 운전에 따른 오차분석결과를 고려한 PPS (RPS, ESFAS, CPCS) 및 DPS의 설정치들이 표 1 및 표 2에 각각 주어져 있다.

##### 2.2 기계 부품의 점검주기 평가[4]

###### (1) 기계설계 관련 설계인자의 검토

영광 3,4호기 NSSS 기계설계에 사용된 설계인자들 중에서 중성자 및 감마선원 (radiation flux, dose rate)은 원자로 내부구조물과 원자로용기의 중성자 및 감마선원에 의한 열생성률은 기존의 설계값이 보수적이기 때문에, 기존의 설계값과 동일하게 적용된다. 핵연료 저장전기와 핵연료 저장대(fuel rack)의 중성자 및 감마선원

은 다소 증가하지만, 기존의 설계에 적용된 값이 보수적이므로, 기존 설계값이 동일하게 적용될 것으로 예상된다. 원자로용기와 감시시편합의 중성자 집적선량 (neutron fluence)은 발전소 이용률의 증가에 따라 5.9% 증가하는 것으로 나타났다. 원자로냉각재온도 (reactor coolant temperature) 및 화학성분은 변동이 없으며, 재장전 수조온도 (refueling water temperature)의 경우는 재장전시 방출되는 핵연료의 수량은 평균 45개에서 68개로 증가되며, 방출되는 핵연료의 붕괴열은 노심정지 3일 및 1년 경과시 각각 약 2%-3% 및 30 % 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 설계인자의 영향을 받는 계통 및 기기의 분석

상기의 설계인자들의 영향을 받는 계통 및 기기들 중에서 원자로 내부구조물의 금속온도는 한계온도에 근접해 있으나, 기기의 열생성률의 변동이 없으므로 재평가가 필요치 않다. 장주기 운전에 의해 지진하중과 배관 파단하중, 열하중 및 수력하중에 대해서도 변동이 없으므로 원자로 내부구조물의 건전성에 대한 재평가가 요구되지 않는다. 원자로용기 감시시편합의 인출시기는 원자로용기 내벽이 받게 되는 중성자 집적선량, 원자로용기 재료의 화학성분 및 수명기간후의 예상되는 재료의 기계적 성질변화 (RT<sub>NDR</sub> shift)등의 영향을 받게 된다. 원자로용기 내벽이 받게 되는 방사선 집적선량이 발전소 이용률의 증가로 인하여 5.9% 증가하므로 인출시기에 대한 재평가가 수행되어야 한다. 원자로용기 압력/온도 한계곡선에 영향을 미치는 인자는 크게 원자로용기의 재질, 용력, 수명 말기의 중성자 집적선량등 이다. 장주기 운전으로 인하여 원자로 압력용기가 받게되는 수명 말기의 중성자 집적선량은 표준주기의  $5.8 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  보다 증가한  $6.1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$  로 나타났다. 따라서 표준주기 운전을 기준으로 작성된 압력/온도 한계곡선은 장주기 운전에 의한 중성자 집적선량의 변화에 따라 재작성하여 그림 1에 도시하였다.

한편, 원자로 냉각재 계통 (압력용기, 증기발생기, 원자로 냉각재 배관, 가압기 및 노내 핵계측기 안내관 및 관련된 지지구조물), 노내 핵계측기, 제어봉 구동장치, 원자로용기 헤드 인양장치, HJTC, 핵연료 취급계통, 핵연료 저장대에 대한 환경인자 또는 재장전수의 화학성분이 변경될 경우 이에 대한 환경 영향평가 (environmental qualification)가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 핵연료 교체주기의 변경에 따른 점검주기의 연장과 관련하여, 원자로 냉각재 계통의 주기기인 압력용기, 증기발생기, 원자로 냉각재 배관, 가압기 및 노내핵계측기 안내관은 ASME Code Class 1 component 로 분류되며 Tech. Spec.에서 ASME Code Class 1,2,3 component의 가동중 검사는 ASME Code Section XI에 따라서 수행하도록 요구하고 있으므로 원자로 냉각재 계통 주기기에 대한 장주기 운전에 따른 점검주기 평가는 필요치 않다. 그러나, 가압기 Heater 와 주기기 지지구조물중 snubber의 경우, 교체 또는 보수하지 않고 최소한 18개월 동안 기능 유지 가능 여부에 대하여는 공급자 자료의 평가가 수행되어야 한다. 원자로 정지후 붕괴열 증가로 인한 핵연료 취급계통, 핵연료 저장대의 평가를 위한 열해석 작업은 진행중에 있다.

2.3 유체계통의 건전성 평가[5]

(1) 펌프류

격납용기 내부에 있는 펌프류의 RCP Seal의 경우 설계시방서상의 수명요건은 최소 13,000시간 (약 18개월) 이나, 동종의 RCP를 가진 Palo Verde발전소에서 24개월주기 운전한 경험이 있으므로, 18개월 장주기 (25% margin 포함하여 22.5개월) 채택에 문제가 없을 것으로 판단된다. 격납용기 외부 (주로 보조전물내) 에 있는 펌프류의 경우, 정상 상태에서 운전하는 펌프에는 대기펌프가 있어서 점검 또는 보수가 필요할 시, 해당 유로를 격리함으로써 필요한 작업 수행이 가능하므로 장주기 채택에 문제가 없다. 비상 또는 필요시 운전하는 펌프들의 경우 주로 safeguard 펌프로써 주기적으로 (일반적으로 3개월) 가동중 점검을 하도록 되어 있어 장주기 채택에 문제가 없다.

(2) 밸브류

밸브류의 소모품인 packing, seals 등이 검토대상인 바, 현 설계시방서상에서 이들 소모품의 수명요건은 정상운전조건 및 한번의 사고환경조건에 노출되었을 때 최소 4년으로 되어 있다. 따라서 장주기채택시 문제가 없다.

(3) 기타 여과기, 탱크류, 열교환기류 등에서의 교체품목들 (filter, gasket, resin 등)은 설계수명이 주로 4년이고 운전중 교체가 가능하므로 장주기 운전에 영향이 없다.

(4) 영광 3,4 호기 장주기 운전 관련 source term 계산

탈기가 없이 0.25% 핵연료 파손시와 탈기를 동반하고 1% 핵연료 파손시 화학 및 체적제어계통에서의 핵종들의 재고량 계산을 수행하였다.[6]

2.4 안전해석 및 Setpoint 해석

(1) 과도해석[7]

영광 3,4호기 장주기 운전 과도해석을 위한 입력자료 즉, Generic Physics 및 붕소회석 입력자료, 주증기관 파단사고(SLB Accident)를 위한 입력자료 및 장주기 운전에 따른 방사선원항 입력자료를 검토하였으며, 영광 3,4호기의 장주기 운전을 위한 노심설계에 따라 가장 큰 영향을 받는 최대 임계붕소농도(CBC)와 최소 역붕소반응도가(IBW)에 의한 붕소회석사고에 대한 과도해석을 수행하였다.

과도해석에 직접 사용되는 NSSS PI Channel Uncertainties에 대한 최대 또는 최소설정치들은 영광 3,4호기 초기노심과 동일하다. PPS 및 DPS의 설정치의 영향분석자료에 대한 과도해석 결과, 먼저, 실제 과도해석에 사용되는 분석설정치 중 최대분석설정치가 사용되는 사고에 대해서는 분석설정치 최대값을, 최소분석설정치가 사용되는 사고에 대해서는 최소값을 각각 점검하였다. 그 결과 각 최대 또는 최소값들은 영광 3,4호기 초기노심에서의 값들과 동일하였다. 따라서 장주기 운전으로 인해 과도해석분야에 미치는 제어제통설계 영향은 없는 것으로 평가되었다.

주증기관파단사고 해석시 입력으로 사용되는 노심설계자료에 대해 재임계도달(Return-to-Power) 관점 및 Pre-trip Fuel Performance 관점에서 사고해석 결과에 미치는 영향을 평가하고 표1 및 표2, 그리고 그림2에 나타내었다. 재임계도달 관점의 SLB 사고의 정량적 분석 결과에 의하면 재임계도달이 일어날 것으로 예측이 되므로 3차원 핵적계산을 수행하여 DNBR에 의한 핵연료손상여부 확인을 위한 해석방법론 정립과 해석이 필요하다. Pre-trip Fuel Performance 관점의 SLB의 경우는 2주기 및 장주기 노심설계자료를 비교 검토하여 정성적으로 평가하였다.

## (2) 사고해석[8]

핵설계 자료중 LOCA 해석에 미치는 주요 변수들의 분석결과를 표3에 제시하였으며, 1주기 값은 참고로 하고 2주기 값을 기준으로 장주기 값과의 변화와 LOCA해석에 미치는 영향을 평가하였다. 장주기에서 Pin/box ratio가 작아지기 때문에 Peak Cladding Temperature (PCT)가 증가하나 영광 3호기 2주기의 PCT margin이 크기 때문에 침투 열출력 생성률 (PLHGR)을 13.5 kW/ft으로 유지하면서 허용기준을 만족할 수 있다. Radial Power Pin Census Data는 Power가 높은 쪽에서 장주기 값이 2주기 값보다 높기 때문에 영향을 예측하기가 어려우나 2주기와 장주기 값 모두 1주기 값에 의하여 bounding되기 때문에 1주기 값과 비교한다면 문제가 되지 않는다. 즉, 1주기 값으로 계산한 core-wide oxidation이 허용기준인 1% 보다 낮기 때문에 장주기 값도 허용기준을 만족한다. 장주기 운전시의 정규화된 노심출력은 표준주기의 2주기와 거의 같음을 그림3에서 관찰 할 수 있다. 장주기 운전의 타당성을 평가하기 위한 냉각재상실사고 해석은 10 CFR 50.46에 기술되어 있는 허용기준을 만족하는지의 여부를 확인하기 위하여 수행되었다. 해석에 사용된 방법론은 참조 주기로 선택된 영광 3 호기 2 주기에서 사용된 것과 같은 방법론을 사용하였다. 해석은 영광 3,4 호기 초기 노심에서 제한적인 파단으로 결정되고 영광 3 호기 2 주기에서도 적용된 펌프 토출관의 0.6 x 양단순시파단 (0.6 DEG/PD : 0.6 Double-ended guillotine break in the pump discharge leg)에 대하여 수행되었다. 일반적으로, 대형 냉각재상실사고 해석 결과가 소형 냉각재상실사고 해석 결과보다 제한적이기 때문에 소형 냉각재상실사고 해석은 수행하지 않았다. 취출 기간동안의 열수력적인 거동을 계산하기 위하여 CEFLASH-4A 코드를 사용하였고 재관수 기간동안의 열수력적인 거동을 결정하기 위하여 COMPERC-II 코드를 적용하였다. 그리고, 핵연료봉의 피복재 거동을 계산하기 위하여는 STRIKIN-II 코드를 사용하였다.

표준주기에서 장주기 운전으로 전환될 때 변경되는 설계자료는 핵설계와 핵연료 성능 자료이다. 이 자료들은 취출 및 재관수 기간동안의 열수력적인 거동에는 거의 영향을 주지 않으므로, 장주기 운전에 대한 해석을 수행하기 위해서는 고온 핵연료봉의 피복재 거동만을 계산하면 된다. 그런데, 장주기 운전은 향후 몇년 후부터 발전소 수명이 다할 때까지 이루어 질 예정이며 그 때에는 증기발생기의 관막음율이 커질 것으로 예상되므로 현재의 8% 관막음율을 12%로 가정하여 해석을 수행하였기 때문에 취출 및 재관수 기간동안의 열수력적인 거동과 고온 핵연료봉의 피복재 거동을 같이 계산하였다. 또한, 해석시 최대 피복재온도와 최대 국부 피복재 산화도를 크게 계산하기 위하여 핵연료의 초기 조건을 제한적으로 선택하였다. 장주기 해석에 사용된 침투 열출력 생성률 (PLHGR)은 참조주기와 같은 13.5 kW/ft이다. 핵연료 평균온도와 봉 간극 열전도도 (HGAP)가 장주기에서 달라졌으며 Pin-to-box ratio도 감소하였다. 또한, 핵연료 성능의 초기조건을 결정하는 FATES file도 장주기를 고려한 자료를 사용하였다. 다른 변수들은 참조주기와 같은 값을 사용하였다.

장주기 운전시에는 연소도가 증가하며 고연소도에 의해 봉내압이 증가하고 증가된 봉내압은 봉의 파열시간 및 간극 열전도도에 영향을 준다. 이러한 사실을 확인하기 위하여 연소도에 따른 최대 피복재온도와 최대 국부 산화도를 계산하였다. 표3에서 최대 피복재온도 (2127 °F)와 최대 국부 산화도 (7.491 %)는 10CFR50.46에 기술된 허용기준 2200 °F와 17%를 각각 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림4에서 최대 피복재온도를 기준으로 할 때 참조주기 결과보다 30 °F 정도 높은 사실을 관찰 할 수 있는데 이는 증기발생기 관막음률 증가와 봉내압 증가 및 Pin-to-box ratio 감소등 핵연료 성능 관점에서 상승 요인을 찾을 수 있다. 제한적인 연소도인 1000 MWD/MTU에서 최대 피복재 온도와 최대 국부 산화도가 가장 높고 연소도가 증가할 수록 점점 감소한다. 연

소도가 증가할 수록 봉내압이 증가하고 간극 열전도도가 감소하기 때문에 최대 피복재 온도가 증가하여야 하나 연소도가 증가하면 노심 출력 분포의 Peaking이 감소하므로 냉각재상실사고 해석시 고려하는 침투 열출력 생성률이 감소하여 최대 피복재 온도가 낮아지게 된다.

### 3. 결론

영광 3,4 호기의 장주기 운전에 따른 제반 사항에 대한 기술적 검토 즉, 장주기운전의 안전성 평가와 방사선원 계산 및 분석, 기기 점검주기 연장에 따른 영향분석을 통하여 영광 3,4 호기의 장주기 운전 도입의 타당성을 평가하였다. 노심 설계와 기기 설계 및 기기들에 미치는 영향으로 인한 설계요건 변경 항목의 도출과 계측기 일부의 설정치 변경에 따른 성능해석상의 평가를 수행한 결과, 정상운전시에는 장주기운전 도입의 가능성이 확인되었으나, 사고해석시 재임계도달에 대한 적절한 분석방법론의 정립과 해석이 필요한 것으로 판단된다. 제한적인 파단인 펌프 토출관의 0.6 x 양단순시파단에 대한 대형 냉각재상실사고 해석을 수행한 결과, 최대 피복재 온도 (2127 °F)와 최대 국부 산화도 (7.491 %)는 10CFR50.46에 기술된 허용기준 2200 °F와 17%를 각각 만족하고 있음을 알 수 있었다. 이 결과는 최대 피복재온도를 기준으로 할 때 참조 주기 결과보다 30 °F 정도 높으며 이는 증기발생기의 관막음을 증가와 봉내압 증가 및 Pin-to-box ratio 감소등 핵연료 성능 관점에서 상승요인을 찾을 수 있다. 또한, 노심 전반의 산화도는 설계 자료의 평가를 통하여 허용기준인 1% 이하를 만족한다는 결론을 얻었으며 냉각재상실사고 해석 관점에서 영광 3,4 호기는 18 개월 장주기 운전이 가능하다고 판단된다.

### 4. 감사의 말씀

본 연구는 한전전력연구원의 수탁과제로 수행중인 과제이며, 도움을 주신 한전전력연구원의 이상희부장님, 강현규과장님께 감사드립니다.

### 5. 참고문헌

- [1] 한석규, "장주기 운전을 위한 NSSS PI Measurement Channel Uncertainty 입력제공," 장주기-IS-95-003, 11/23/95
- [2] 한석규, "장주기 운전을 위한 PPS (RPS, ESFAS & CPCS) 및 DPS Measurement Channel Uncertainty 입력제공," 장주기-IS-95-002, 11/23/95
- [3] 최근호, "장주기 운전을 위한 PPS (RPS, ESFAS & CPCS) 및 DPS의 설정치의 영향 분석 자료," JANG-CP-9602, 1/11/96.
- [4] 황종근, 박명규, "기계부품의 점검주기 평가", 수탁-RM-96-01, 3/22/96
- [5] 이상섭, "영광 3,4호기 장주기 운전 위한 NSSS PI Channel Uncertainties 검토의견 송부," 수탁-FS-96-001, 2/8/96.
- [6] 이상섭, "영광3,4호기 장주기운전 source terms 결과 송부," 수탁-FS-95-005, 12/16/96
- [7] 김정진, "영광3,4호기 장주기운전 과도해석분야 평가 및 검토의견," 장주기-TA-96-001, 3/21/96
- [8] 이상중, "영광3,4호기 장주기운전 냉각재 상실사고 해석," 4/4/96

표1 Return-to-Power 관점에서의 SLB 사고에 대한 정량적 평가

| 주요 입력변수   | 2주기 값   | 장주기 값   | 원자로 정지후 최대 반응도 영향                |
|---|---------|---------|----------------------------------|
| 1. Most negative FTC, $\Delta \rho / \sqrt{K}$                    | -0.0024 | -0.0024 | 영향 없음                            |
| 2. Most negative MTC, $10^{-4} \Delta \rho / F$                   | -4.0    | -4.0    | 영향 없음                            |
| 3. Moderator cooldown curve consistent with the most negative MTC | 표4 참조   | 표4 참조   | 반응도 감소                           |
| 4. Minimum $H_{gap}$ , Btu/hr-ft <sup>2</sup> -F                  | 594.4   | 591.8   | 반응도 증가                           |
| 5. Maximum inverse boron worth (IBW), ppm/% $\Delta \rho$         | -103    | -115    | 반응도 증가                           |
| 6. Minimum EOC scram worth (ARI-WRSO) at HFP, % $\Delta \rho$     | -10.0   | -9.0    | 반응도 증가                           |
| Maximum Reactivity, % $\Delta \rho$                               | -0.25   | 0.12    | Return-to-power 발생 <sup>1)</sup> |

주, 1) 시간에 따른 노심출력 변화를 나타낸 그림2 참조.

표2 Pre-trip Fuel Performance 관점에서의 SLB 사고에 대한 정량적 평가

| 주요 입력변수   | 2주기 값    | 장주기 값    | 원자로 정지전<br>Fuel Performance 영향 |
|---|----------|----------|--------------------------------|
| 1. Least negative FTC, $\Delta \rho / \sqrt{K}$                         | -0.00132 | -0.00132 | 영향 없음                          |
| 2. Most negative MTC, $10^{-4} \Delta \rho / ^\circ F$                  | -4.0     | -4.0     | 영향 없음                          |
| 3. Moderator cooldown curve<br>consistent with the most<br>negative MTC | 표4 참조    | 표4 참조    | 반응도 감소                         |
| 4. Maximum $H_{gso}$ , Btu/hr-ft <sup>2</sup> -°F                       | 6667     | 6667     | 영향 없음                          |
| 5. Maximum inverse boron worth<br>(IBW), ppm/% $\Delta \rho$            | -103     | -115     | 영향 없음 <sup>1)</sup>            |
| 6. Minimum EOC scram worth<br>(ARI-WRSO) at HFP, % $\Delta \rho$        | -10.0    | -9.0     | 반응도 증가                         |
| Fuel Failure (%)  | 6.3      | 2)       | 2)                             |

주, 1) 안전주입작동시점이 Minimum DNBR 발생시점보다 훨씬 늦으므로 영향없음.  
2) Pre-trip fuel performance 관점에서 장주기 MTC 값은 2 주기에 비하여 좋아졌고 장주기 scram worth는 나빠졌다. 전체적으로 장주기 채택에 따른 영향은 2주기 결과와 비교할 때 거의 유사할 것으로 판단됨.

표3 영광3,4호기 장주기 관련 주요 자료

| 변 수   | 1주기            | 2주기                           | 장주기                          | LOCA 영향        | LOCA 결과        |
|---|----------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|
| Moderator density vs.<br>Reactivity Curve       | MTC=0.5E-4/°F  | same as cy 1                  | same as cy 2                 | medium         | PCT불변          |
| Radial Power Pin<br>Census Data                 | Maximized      | bounded by cy 1               | bounded by cy 2              | medium         | PCT불변          |
| Long Term<br>Axial Power Shape<br>Pin/Box Ratio | 1.0651         | almost same as cy 1<br>1.0765 | almost same as cy 2<br>1.069 | small<br>large | PCT불변<br>PCT증가 |
| Reactivity vs. Fuel<br>Temperature              | least negative | same as cy 1                  | same as cy 2                 | small          | PCT불변          |
| Kinetics Parameters                             |                | same as cy 1                  | same as cy 2                 | small          | PCT불변          |
| Axial Peaking Factor                            | Fz=1.632       | Fz=1.57                       | Fz=1.57                      | large          | PCT불변          |
| PLHGR, kW/ft                                    | 13.9           | 13.5                          | 13.5                         | large          | PCT불변          |
| PCT, °F   | 2189           | 2097                          | 2127                         | -              | -              |
| Peak Local Cladding<br>Oxidation(PLO), %        | -              | 6.807                         | 7.495                        | -              | -              |
| Core-wide Cladding<br>Oxidation(CWO), %         | -              | <0.698                        | <0.698                       | -              | -              |

표4 Normalized Reactivity During the Moderator Cooldown for YGN-3 Cycle 8 SLB

| Tmod<br>(°F) | Normalized Reactivity, (% $\Delta p$ ) |        |
|--------------|--|--------|
|              | 영광3호기 2주기                              | 장 주기   |
| 612          | 0.000                                  | 0.000  |
| 595.9        | 0.636                                  | 0.653  |
| 565          | 2.463                                  | 2.443  |
| 532          | 3.996                                  | 3.963  |
| 500          | 5.173                                  | 5.130  |
| 450          | 6.560                                  | 6.502  |
| 400          | 7.579                                  | 7.508  |
| 350          | 8.391                                  | 8.306  |
| 300          | 9.102                                  | 9.005  |
| 250          | 9.767                                  | 9.659  |
| 200          | 10.388                                 | 10.272 |
| 68           | 11.277                                 | 11.169 |

