

CANDU 6 원자로에서의 고연소도 핵연료 재장전 연구 A Study on Refuelling of High-Burnup Fuel in CANDU 6 Reactor

김순영, 민병주, 정창준, 석호천

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

RUFIC (Recovered Uranium Fuel In CANDU) 핵연료가 장전된 CANDU 6 원자로의 운전특성 분석을 수행하기 위하여 핵연료 재장전 방안에 대한 연구가 이루어졌다. 본 연구에서는 RUFIC 핵연료가 CANFLEX 0.9 w/o SEU (Slightly Enriched Uranium) 핵연료의 연소도 및 반응도 특성과 증가하도록 U-235 함량을 0.92 w/o로 결정하였고, 0.92 w/o RUFIC 핵연료 평형노심에 대해 4-, 2-, 및 3-bundle shift 재장전 방식을 각각 사용, WIMS-AECL/DRAGON/RFSP 코드체계를 사용하여 1200 FPD (Full Power Day) 재장전 모사를 수행하였다. 1200 FPD 재장전 모사결과, 4-bundle shift 재장전 방식은 최대채널출력(maximum channel power)과 최대 CPPF (Channel Power Peaking Factor)의 첨두치가 각각 7228 kW 및 1.175의 높은 값을 나타냄으로써 운전여유도 확보에 어려움이 예상되었고, 2-bundle shift 방식의 경우에는 최대 채널출력과 최대 CPPF의 첨두치가 각각 6889 kW 및 1.094로서 충분한 운전여유도가 확보됨을 알 수 있었다. 그러나, 2-bundle shift 방식의 재장전률(refuelling rate)이 4-bundle shift 방식의 재장전률에 비해 2 배임을 고려할 때 2-bundle shift 방식은 경제성이 부족하다고 판단, 3-bundle shift 방식을 적용하여 1200 FPD 재장전 모사를 수행해 본 결과 CANDU 6 원자로의 운전에 허용할만한 운전특성을 나타내었고 재장전률에 있어서도 2.88 channels/day(8.64 bundles/day)로서 2-bundle shift 방식보다 만족할 만한 결과를 나타내었다. 따라서, RUFIC 핵연료가 장전된 CANDU 6 원자로의 재장전 방식으로서 3-bundle shift 방식의 사용이 현재까지 가장 적합하다고 판단된다.

Abstract

The refuelling strategy of RUFIC (Recovered Uranium Fuel In CANDU) fuel in CANDU 6 reactors is studied to determine the achievable operation characteristics of the fuel and reactor. In this study, three refuelling schemes for 0.92 w/o RUFIC fuel in a CANDU 6 reactor were evaluated where the 0.92 w/o RUFIC is equivalent to CANFLEX 0.9 w/o SEU (Slightly Enriched Uranium) in reactivity and burnup respects. In this study, 1200 FPD (Full Power Day) refuelling simulations were performed for a CANDU 6 reactor core with RUFIC fuel bundles loaded by the refueling schemes of 4-, 2-, and 3-bundle shifts. The computer code system used for this study is

WIMS-AECL/DRAGON/RFSP. The results for the 4-bundle shift refuelling scheme shows that the peak maximum channel power and peak maximum CPPF (Channel Power Peaking Factor) of 7228 kW and 1.175, respectively, seems to be too high to maintain the available operating margins. Whereas, the results for 2-bundle shift refuelling scheme shows that sufficient operating margin could be secured where the peak maximum channel power and peak maximum CPPF were 6889 kW and 1.094, respectively. However, the refuelling rate of 2-bundle shift refuelling scheme is twice that of the 4-bundle shift refuelling scheme, and hence the 2-bundle shift refuelling would not be an economical refuelling scheme for the RUFIC fuel bundles. Therefore, a 3-bundle shift refuelling scheme for the RUFIC fuel bundles in the CANDU 6 reactor was also studied by the 1200 FPD refuelling simulation. The results for the 3-bundle shift refuelling scheme shows that all the operating parameters are achievable for the CANDU 6 reactor operation, and the refuelling rate of 2.88 channels/day(8.64 bundles/day) seems to be attractive, compared to the refuelling rate of 4.32 channels/day(8.64 bundles/day) for the 2-bundle shift refuelling scheme. In conclusion, it is expected that the 3-bundle shift refuelling scheme for the RUFIC fuel bundles is an attractive option in a CANDU 6 reactor.

1. 서 론

중수로 원전은 저연소도의 천연우라늄 핵연료를 사용하기 때문에 경수로에 비하여 상대적으로 매우 많은 사용후핵연료(Spent Fuel)가 발생함에 따라 그 저장시설의 용량부족 문제가 대두되고 있어 순환우라늄(RU, Recovered Uranium from spent uranium oxide fuel) 등의 고연소도 핵연료개발을 필요로 하고 있다. 순환우라늄은 경수로 등에서 발생된 사용후핵연료 재처리과정의 부산물로 생산되며 매우 저렴할 뿐 아니라, U-235의 함량이 약 0.9 w/o 정도의 순환우라늄 핵연료가 중수로에 사용할 경우, 그 핵연료의 방출연소도(discharge burnup)는 천연우라늄 핵연료의 약 2 배 정도가 된다^[1]. 순환우라늄 핵연료는 공명흡수체(resonance absorber)인 U-236을 상당량 포함하고 있을 뿐 아니라, 높은 U-235 함량을 얻기 위하여는 재농축하여야 하기 때문에 이를 경수로에 사용하기는 부적절하나, 순환우라늄핵연료를 중수로에 사용하면 농축이 필요하지 않고, 사용후핵연료 발생량이 감소되어 커다란 핵연료 경제성 향상을 기대할 수가 있다. 특히, 한국과 같이 경수로와 중수를 모두 가지고 있는 국가는 경수로에서 사용한 핵연료를 중수로에 다시 사용할 수 있어 에너지 사용을 극대화하고 전체 핵폐기물의 생성량을 상당량 감소시킬 수 있기 때문에 자연스러운 시너지효과를 추구할 수 있다. 현재, 영국 및 프랑스 등의 서방세계에는 월성 1 호기 기준 500년 이상 사용량인 2만 5천톤 이상의 순환우라늄이 저장되어 있으므로 이를 중수로 연료로 활용함으로써 원전의 경제성 향상 및 사용후핵연료 저장부담을 경감시킬 수 있는 것이다. 순환우라늄 핵연료는 진보된 핵연료 설계인 CANFLEX 핵연료다발^[2]의 형태로 사용이 가능한데, 이 핵연료를 RUFIC(Recovered Uranium Fuel in CANDU) 핵연료로 명명하고 현재 한국원자력연구소에서 연구 개발 중이다.

RUFIC 핵연료를 CANDU 6 원자로에 장전할 경우 노심 특성이 가동중 원자로의 운전 제한치 및 인허가 제한치를 만족하여야 하는데, 본 연구에서는 이를 분석하기 위한 목적으로 전산 코드 체계로서 WIMS-AECL^[3]/DRAGON^[4]/RFSP^[5]를 사용, RUFIC 평형노심에 대한 1200 FPD 재장전 모사를 4-, 2-, 및 3-bundle shift 방식을 각각 적용하여 수행하였다. RUFIC 핵연료 격자특성 분석

에는 ENDF/B-VI 단면적 자료를 기반으로 WIMS-AECL 2-5d 코드를 사용하였고, 반응도 제어기구들의 증분단면적(incremental cross section) 생산에는 DRAGON 3.04를 사용하였으며, 시간-평균 노심계산을 포함한 노심 재장전 모사에는 RFSP-IST 코드를 사용하였다.

2. CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료와 증가한 RUFIC 핵연료의 U-235 함량 결정

순환우라늄 핵연료는 재처리를 통하여 생산되는 부산물이기 때문에, 재처리에 사용된 사용후핵연료의 초기 농축도 및 방출연소도에 따라 순환우라늄 동위원소들의 함량이 다르게 나타날 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 재장전 방식에 따른 노심특성 분석을 수행하기에 앞서 RUFIC 핵연료의 기준 U-235 함량을 결정하였다. 본 연구에서는 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료와 반응도 및 연소도 측면에서 증가한 RUFIC 핵연료 선정을 목표로 3 가지 RUFIC 핵연료에 대해 연소특성을 분석하였고, 이를 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료의 특성과 비교하였다. 3가지 RUFIC 핵연료는 각각 0.9163, 0.9208 및 0.9250 w/o U-235 함량을 지니고 있으며, 이들은 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료와 각각 초기, 중기 및 방출 연소도에서 동일한 반응도를 갖고 있다. 각 RUFIC 핵연료에 함유된 U-234와 U-236의 함량은 순환우라늄 내에 존재하는 평균함량을 사용, U-234의 함량을 0.016 w/o, U-236의 함량을 0.34 w/o로 하여 계산하였다. 3가지 RUFIC 핵연료는 WIMS-AECL 코드를 사용하여 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료의 방출연소도인 약 14,000 MWd/MTU까지 연소되었고, 그 결과는 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료의 연소특성 결과와 함께 그림 1~3 에 나타나 있다. 그림 1 을 보면, 비록 0.9163 w/o RUFIC 핵연료와 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료의 반응도는 초기 연소도에서 동일한 값을 주고 있으나, 방출 연소도에서는 그 반응도 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 반면, 0.9250 w/o RUFIC 핵연료는 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료와 방출 연소도에서 동일한 반응도를 보이지만, 초기 연소도에서의 반응도는 0.9250 w/o RUFIC 핵연료가 비교적 크다는 것이 그림 2 에 나타나 있다. 그림 3 에는 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료와 중기 연소도(~7,000 MWd/MTU)에서 동일한 반응도를 갖는 0.9208 w/o RUFIC 핵연료의 연소특성이 나타나 있다. 0.9208 w/o RUFIC 핵연료는 13645 MWd/MTU의 방출 연소도를 가지며, 초기 및 방출 연소도에서 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료와의 반응도 차이가 다른 두 RUFIC 핵연료 보다 크지 않음을 알 수 있다. 따라서, 반응도와 연소도 측면 뿐 아니라 핵연료 제조 가능성을 고려할 때 본 연구에서는 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료와 증가한 RUFIC 핵연료의 기준 U-235 함량을 0.92 w/o로 선정하였다. 그림 4 에는 0.92 w/o RUFIC 핵연료의 연소도에 따른 무한 증배계수가 나타나 있고, 이 때의 방출 연소도는 13625 MWd/MTU로 계산되었다. 표 1 에는 3가지 RUFIC 핵연료와 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료의 방출 연소도가 정리되어 있다.

3. RUFIC 핵연료의 1200 FPD 재장전 모사

3.1 시간-평균노심계산

시간-평균 노심계산에서는 노심의 각 위치에서 격자상수가 핵연료 거주기간(dwell time) 동안에 평균되어지며, 이 값을 이용하여 노내 중성자속 분포 및 출력분포가 계산된다. 실제로는 재장전이나 반응도 제어기구들의 동작 등에 의해 섭동이 발생하나, 시간-평균 노심계산을 통해 얻어진 채널출력 분포는 원자로 운전시 노심출력 분포의 기준치로 이용된다.

현재 가동중인 CANDU 6 원자로에서는 모두 8-bundle shift 재장전 방식을 사용하고 있으나, RUFIC 핵연료를 사용하면 핵연료의 반응도가 크게 증가하기 때문에 본 연구에서는 RFSP 코드를 사용, RUFIC 핵연료봉 다발이 장전된 CANDU 6 원자로심에 대하여 4-, 2-, 및 3-bundle shift 재장전 방식을 사용하여 시간-평균 노심계산을 각각 수행하였고, 그 결과를 CANFLEX-NU 핵연료가 장전되고 8-bundle shift 방식을 사용하는 CANDU 6 원자로의 결과와 함께 표 2 에 나타내었다. 표 2 에 나타난 바와 같이 핵연료다발 및 채널의 최대출력은, 4-bundle shift 방식의 경우 각각 772.1 kW와 6534 kW로, 2-bundle shift 방식의 경우 763.1 kW와 6555 kW, 그리고 3-bundle shift 방식의 경우에는 763.7 kW와 6553 kW로 각각 나타나 3 가지 장전방법에 있어 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 핵연료다발당 평균 방출연소도는 3 가지 경우 모두 약 325 MWh/kgU 으로서 CANFLEX-NU 핵연료의 평균 방출연소도인 175.1 MWh/kgU 에 비해 약 1.9 배 가량 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 순간노심(Instantaneous Core) 계산

핵연료 재장전 계산은, 평형노심 계산결과를 기준으로 RFSP 코드의 INSTANTAN 모듈을 이용한 순간노심 계산으로부터 시작된다. 순간노심 계산에서는 노심내의 각 채널마다 핵연료 장전시간을 나타내는 age를 0 에서 1 사이의 값으로 임의로 부여하여 핵연료 채널과 다발의 출력을 계산하며, 이와 같은 계산을 여러 번 반복 수행하여 통계적으로 처리하면 핵연료 채널과 다발의 최대 출력을 계산할 수 있다. 그러나, 실제 원자로 운전에서 인접한 핵연료 채널들이 비슷한 값의 age를 지니게 되는 경우를 핵연료 장전시 허용치 않으므로 이를 고려한 age의 분포를 만들어서 사용하였다. 순간노심 계산결과, 4-, 2- 및 3-bundle shift 방식을 사용하여 계산한 최대 채널출력은 각각 6681, 6545, 및 6589 kW를 나타내었고, 최대 다발출력은 각각 817, 766, 및 800 kW로 나타났다.

3.3 재장전 계산

시간-평균 노심계산과 순간노심 계산결과를 바탕으로 4-bundle shift 및 2-bundle shift 방식을 우선 적용하여 RUFIC 핵연료 평형노심에 대한 1200 FPD 재장전 계산을 수행하였고, 그 결과를 그림 5 와 6 에 각각 나타내었다. 최대 출력의 첨두값이나 재장전률과 같은 노심특성 계산을 위하여 RFSP 코드내의 SIMULATE 모듈을 이용하였고, 교체 핵연료 채널의 선정은 다음의 지침^[2]에 의해 이루어졌다.

- 1) 연소도 : 고연소 채널을 우선 선정
- 2) 채널출력 : 저출력 및 고연소 채널을 선정
- 3) 영역출력(zone powers) : 평균 영역출력이 nominal 값에 가깝도록 유지
- 4) 대칭성(symmetry) : 중성자속 tilt를 방지하기 위해 대칭적으로 채널을 선정
- 5) 양방향성(bidirectionality) : 가능한한 각 방향에 동 수의 채널을 장전
- 6) 분리(seperation) : 신연료들이 같은 영역에 집중되지 않도록 분산 장전
- 7) 장전률 : 핵연료 장전에 따른 반응도 증가량이 최대가 되도록 장전률을 최소화
- 8) CPPF(Channel Power Peaking Factor) : 채널출력 첨두치를 가능한 낮게 유지하여 ROP 운전 여유도 유지

그림 5-1 과 5-2 에는 4-bundle shift 방식을 사용, 1200 FPD 동안의 최대 채널출력 및 최대 핵연료 다발출력이 각각 나타나 있고, 그림 5-3에는 최대 CPPF 값이 나타나 있다. 이들 그림들을 살펴볼 때, 최대 핵연료 다발출력의 첨두치는 873 kW로서 운전 제한치(operation limit)를 만족하고 있으나, 1135 FPD 에서 최대 채널출력의 첨두치인 7228 kW를, 758 FPD 에서 최대 CPPF의 첨두치인 1.175를 나타냄으로써 운전 제한값 보다 높은 값이 나타남을 알 수 있다. 핵연료 장전률은 2.16 channels/day(8.64 bundles/day) 으로 나타났다. 2-bundle shift 방식을 사용하여 1200 FPD 동안 계산한 최대 채널출력, 최대 핵연료다발 출력 및 최대 CPPF를 각각 그림 6-1, 6-2 및 6-3 에 나타내었다. 결과 그림으로부터 알 수 있듯이, 최대 채널출력의 첨두치는 6889 kW, 최대 핵연료 다발 출력의 첨두치는 805 kW, 그리고, 최대 CPPF의 첨두치는 1.094로서 모두 운전 제한값을 만족하고 있다. 핵연료 장전률인 4.32 channels/day(8.64 bundles/day)를 고려하지 않았을 때, 즉 노물리 측면만을 고려한다면 2-bundle shift 방식의 사용이 RUFIC 핵연료 사용에 있어 높은 최대 채널출력 및 최대 CPPF를 야기하는 4-bundle shift 방식보다 더 좋은 장전방법이라 할 수 있으나, 기타 기계적 측면 및 경제성을 고려할 때 이들 측면에 대한 보완이 이루어 져야 한다고 판단된다.

그림 5 와 6 의 결과로부터, 본 연구에서는 4-bundle shift 방식과 2-bundle shift 방식에 있어 발생하는 단점을 보완해 줄 수 있는 방식으로 3-bundle shift 방식을 사용한 1200 FPD 재장전 계산도 수행하였고, 그 결과를 그림 7 에 나타내었다. 3-bundle shift 방식을 사용한 경우, 최대 채널출력의 첨두치는 7012 kW이고 최대 핵연료 다발출력의 첨두치는 850 kW를 나타내었으며, 최대 CPPF의 첨두치도 1.135를 나타내었다. 또한, 재장전률의 계산 결과는 2.88 channels/day(8.64 bundles/day)로 나타났다. 결국, 3-bundle shift 방식을 사용한 재장전 계산결과는 2-bundle shift 방식을 사용할 때 보다 낮은 재장전률을 가지면서, 4-bundle shift 방식을 사용했을 때는 가능하지 못했던, 600 MWe급 중수로 운전에 허용할만한 운전특성이 나타남을 알 수 있었다. 그러나, 재장전률(channel/day) 이 낮다고 하여 재장전 시간이 더 적게 소요되는 것은 아니기 때문에 본 연구에서는 각 방식의 재장전률에 의거하여 핵연료 다발당 재장전 소요시간을 계산하였고, 그 결과를 기존 8-bundle shift 방식의 재장전 소요시간과 함께 표 3 에 나타내었다. 그 결과, RUFIC 핵연료가 장전된 CANDU 6 원자로 운전에 적용하기 힘든 4-bundle shift 방식을 제외하곤, 3-bundle shift 방식이 가장 적은 재장전 소요시간을 나타내었다. 그리고, 재장전률(channel/day)이 기존 8-bundle shift 방식의 약 2 배가 되는 2-bundle shift 방식의 재장전 소요시간도 기존 방식을 사용할 때 보다 적음을 알 수 있었다.

4. 결 론

RUFIC 핵연료가 장전된 CANDU 6 원자로 평형노심에 대해, 핵연료 재장전 방식에 따른 원자로의 운전 가능성을 1200 FPD 재장전 모사를 통하여 분석하였다. 4-, 2- 및 3-bundle shift 방식이 사용되었으며, 각 방식을 사용한 경우의 원자로 최대 채널출력, 최대 핵연료 다발출력 및 최대 CPPF를 계산하였다. 4-bundle shift 방식은 최대 채널출력과 최대 CPPF의 첨두치가 매우 높아 운전제한치를 넘어서는 것으로 나타난 반면, 2-bundle shift 방식은 충분한 운전여유도가 확보됨을 확인하였다. 그러나, 2-bundle shift 방식의 경우 재장전률(channel/day)이 높기 때문에 경제적 측면을 고려, 본 연구에서는 3-bundle shift 방식을 적용하여 재장전 계산을 수행해 본 결과, CANDU 6 원자로의 운전이 가능한 것으로 나타났다. 또한, 핵연료 다발 당 장전시간 분석에서도

3-bundle shift 방식은 기존 8-bundle shift 방식보다 장전시간이 적은 것으로 나타났다. 이는, 재장전률(channel/day)이 기존 방식의 약 2 배나 되는 2-bundle shift 방식 또한 핵연료 다발 당 장전시간이 기존 방식보다 적어 RUFIC 핵연료가 장전된 CANDU 6 원자로의 재장전 방식으로서 가능성을 보여주었다. 본 연구를 통하여, 고연소도의 RUFIC 핵연료는 CANDU 6 원자로에 장전되어 그 운전 가능성을 나타내었고, 이 때 3-bundle shift 재장전 방식을 사용하는 것이 현재까지는 원자로 운전 및 경제성 측면에서 적합하다고 판단된다.

후 기

본 논문은 과학기술부의 원자력 중장기 연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 과학기술부, “중수로용 개량핵연료 기반연구 및 실용화,” 한국원자력연구소, KAERI/RR-2011/99, May, 2000.
- [2] C. J. Jeong, “Design Manual – CANFLEX-NU Fuelled CANDU 6 Generation Station Physics Design Manual,” CANFLEX-93 Rev. 1, January 2000.
- [3] J. Griffiths, “WIMS-AECL User’s Manual,” RC-1176/COG-94-52 Rev. 3, February 1999.
- [4] G. Marleau, A. Hebert and R. Roy, “A User Guide for DRAGON, Version DRAGON 000331 Release 3.04,” IGE-174 Rev. 5, April 2000.
- [5] B. Arsenault, D. A. Jenkins and A. U. Rehman, “RFSP-IST User’s Manual,” COG-98-272 Rev. 0, June 1999.

표 1. 핵연료별 방출연소도 계산 결과

FUEL	DISCHARGE BURNUP (MWd/MTU)
CANFLEX-0.9 w/o SEU	13763
CANFLEX-0.9163 w/o RU	13546
CANFLEX-0.9200 w/o RU	13625
CANFLEX-0.9208 w/o RU	13645
CANFLEX-0.9250 w/o RU	13766

표 2. RFSP 코드를 이용한 시간평균 노심계산 주요 결과

Model	RUFIC (4-BS*)	RUFIC (2-BS*)	RUFIC (3-BS*)	CANFLEX-NU (8-BS*)
Total Reactor Power (MW)	2061.4	2061.4	2061.4	2061.4
Maximum Channel Power (kW)	6534	6555	6553	6584
Location	P-15	P-15	P-15	N-17
Average Channel Power (kW)	5425	5425	5425	5425
Maximum Bundle Power (kW)	772.1	763.1	763.7	800.9
Location	N-08 (bundle-4)	M-09 (bundle-3)	M-09 (bundle-3)	P-17 (bundle-6)
k_{eff}	0.999981	0.999999	1.000029	1.00088
Adjuster Rod Worth (mk)	15.8	14.7	14.7	16.8
Zone Worth (mk)	7.3	7.1	7.1	6.5
Exit Burnup MWh/bundle (MWh/kgU)				
Average	6010 (325.6)	6015 (325.9)	6015 (325.9)	3257 (175.1)
Inner Zone	6189 (335.3)	6203 (336.1)	6203 (336.1)	3653 (196.4)
Outer Zone	5923 (320.9)	5925 (321.0)	5924 (321.0)	3051 (164.0)
Reactivity Decay Rate (mk/day)	-0.574	-0.568	-0.570	-0.391
Channel Dwell Time (FPD)				
Inner Core				
maximum	161	80	120	186
average	155	77	116	179
minimum	151	75	113	175
Outer Core				
maximum	315	159	238	340
average	199	100	150	195
minimum	149	75	112	151

* BS : Bundle Shfit

표 3. 재장전 방식별 핵연료 장전 시간 계산결과

장전 방식	장전 다발 수	Time (minute/bundle)
4-bundle shift	8.64	185.0
2-bundle shift	8.64	266.0
3-bundle shift	8.64	223.4
8-bundle shift	17.24	278.5

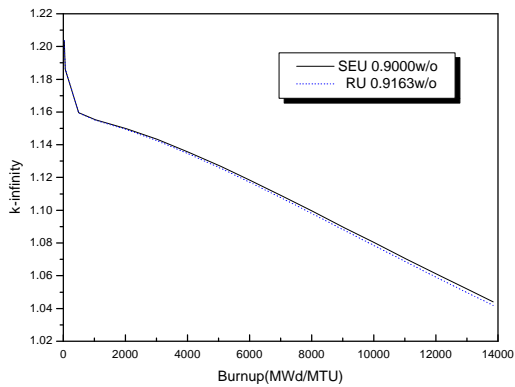


그림 1. 0.9163 w/o RUFIC 핵연료와 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료간의 연소특성 비교

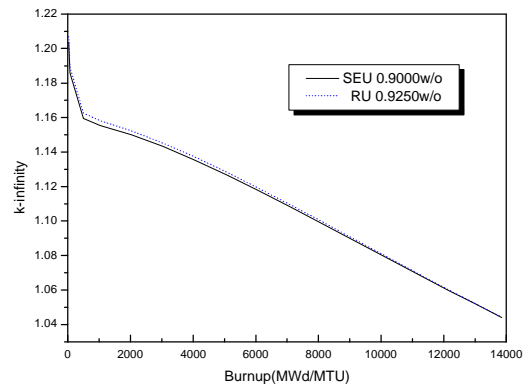


그림 2. 0.9250 w/o RUFIC 핵연료와 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료간의 연소특성 비교

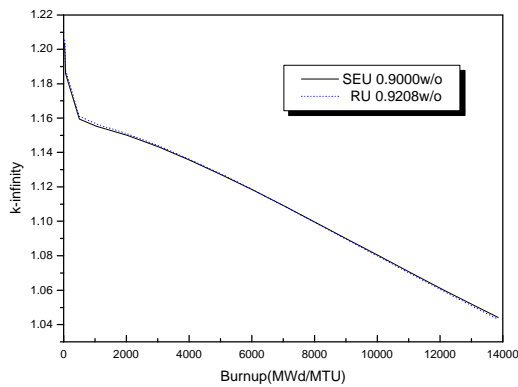


그림 3. 0.9208 w/o RUFIC 핵연료와 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료간의 연소특성 비교

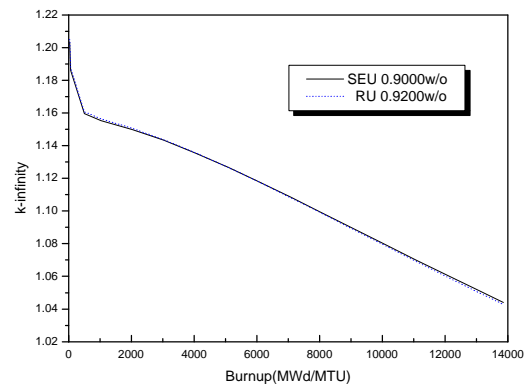


그림 4. 0.9 w/o RUFIC 핵연료와 CANFLEX-0.9 w/o SEU 핵연료간의 연소특성 비교

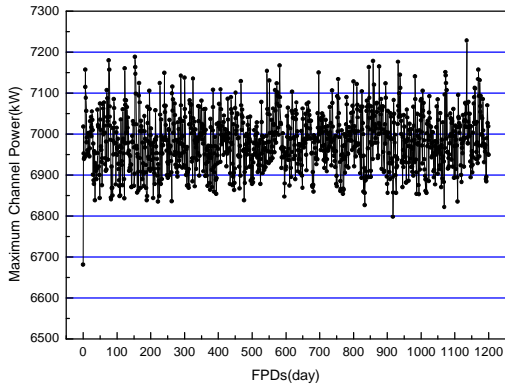


그림 5-1 1200 FPD 동안의 최대 채널출력 변화(4-bundle shift)
cf. Licensing Limt : 7300 kW

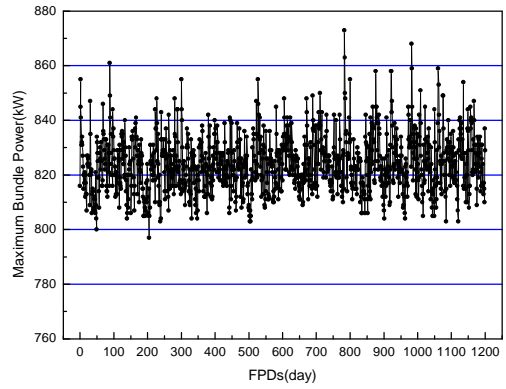


그림 5-2. 1200 FPD 동안의 최대 핵연료 다발 출력 변화 (4-bundle shift)
cf. Licensing Limt : 935 kW

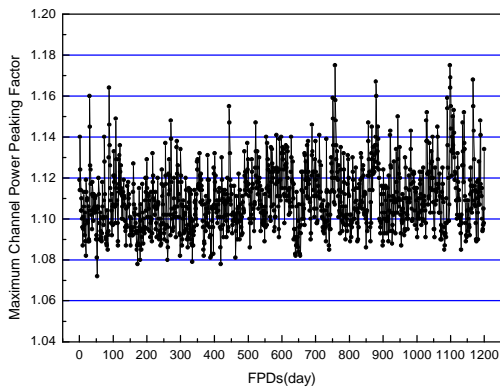


그림 5-3. 1200 FPD 동안의 최대 채널첨두출력 변화 (4-bundle shift)

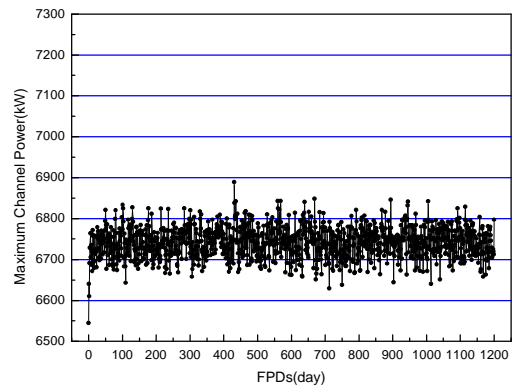


그림 6-1. 1200 FPD 동안의 최대 채널출력 변화 (2-bundle shift)

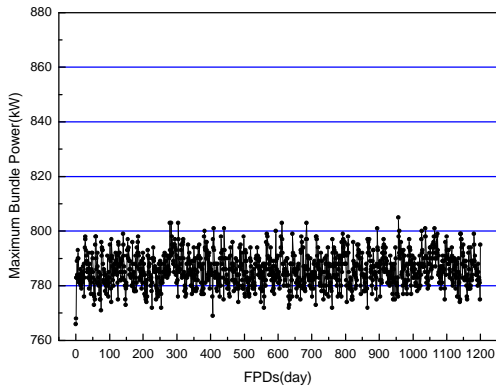


그림 6-2. 1200 FPD 동안의 최대 핵연료 다발 출력 변화 (2-bundle shift)

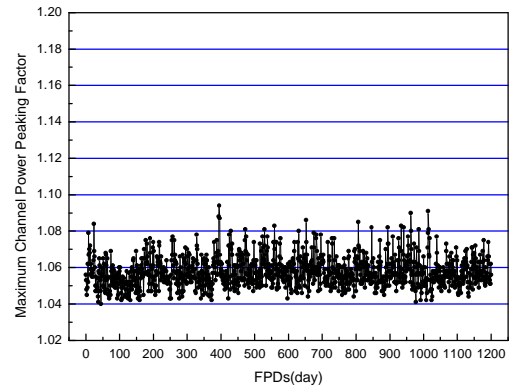


그림 6-3. 1200 FPD 동안의 최대 채널첨두출력 변화 (2-bundle shift)

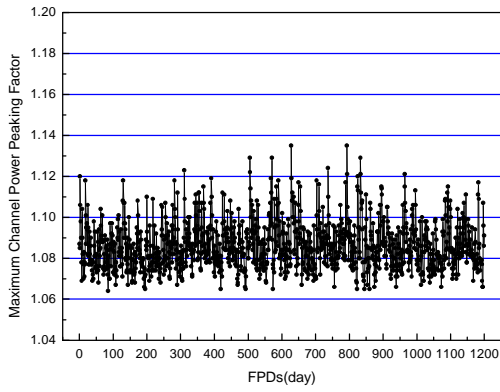


그림 7-1. 1200 FPD 동안의 최대 채널출력 변화 (3-bundle shift)

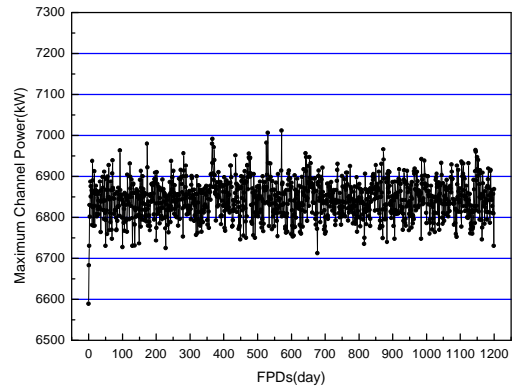


그림 7-2. 1200 FPD 동안의 최대 핵연료 다발 출력 변화 (3-bundle shift)

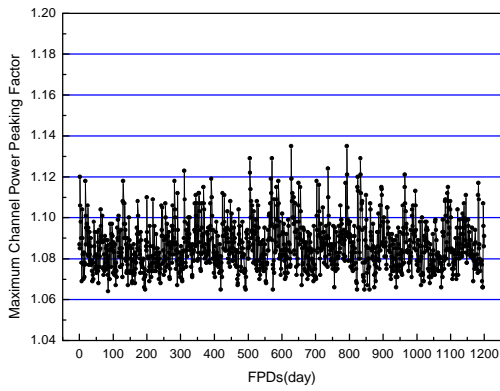


그림 7-3. 1200 FPD 동안의 최대 채널첨두출력 변화 (3-bundle shift)