

CANDU 노심해석을 위한 WIMS-AECL용 WINFRITH 와 ENDF/B-V Library의 비교평가

민병주, 심기섭
한국원자력연구소
김봉기, 권오선
한국전력기술주식회사

요 약

CANDU원자로의 노심계산을 위한 WIMS-AECL에 적합한 최적의 cross section library를 선정하기 위하여, 연소도에 대한 무한중배계수(k_{∞})의 변화와 핵연료 온도반응도계수, 냉각재 온도반응도계수, 감속재 온도반응도계수 및 기포반응도들을 계산하여 그 결과를 비교하였다. 그 결과, WIMS-AECL에 WINFRITH와 ENDF/B-V를 사용한 경우 핵연료 온도계수를 제외하고는 무한중배계수와 반응도계수들의 계산차이는 유효연소도 영역에서 크지 않았다. 그러나 연소가 진행됨에 따라 차이가 커짐을 보여주고 있으며, 기존의 POWDERPUFS-V(PPV)결과와는 초기 연소도에서는 차이가 적으나, 연소도가 커짐에 따라 많은 차이를 보여주고 있다. 따라서, 연소된 핵연료 또는 Pu이 함유된 핵연료에 대한 격자실험의 자료에 의하여 평가 및 검증될 수 있을 것이다.

1. 서 론

현재까지 CANDU 원자로에는 천연우라늄 핵연료만을 이용해 왔다. 이에 따라 노물리 설계나 해석을 위한 전산체제는 천연우라늄만을 대상으로 하고 있기 때문에 저농축 우라늄 또는 순환우라늄을 사용할 경우 기존의 전산체제의 적합성을 평가하여야 하며, 부적당할 경우 새로운 체제를 확립하여야 한다. 노물리 해석을 위한 주요 전산코드는 격자계산을 위한 격자코드와 노심 계산을 위한 노심 코드 그리고 원자로 운전을 위한 운전용 코드로 대별될 수 있다.

현재 CANDU원자로의 노심설계는 격자코드로써 PPV[1] 코드를 사용하고 있고, WIMS-AECL[2] 코드가 보조로 사용되고 있으며, RFSP[3] 코드를 이용하여 노심 계산을 수행하고 있다. 격자코드로 이용되고 있는 PPV코드는 천연우라늄을 사용하는 현재의 CANDU노심에만 적합하도록 실험적인 관계식을 많이 사용하고 있다. 따라서 기존의 CANDU격자와 차이가 많이 나거나, 중성자 스펙트럼이 Maxwellian 분포와 많이 차이가 나는 경우 PPV코드의 사용이 부적합하다. 그러므로 고연소도를 위하여 저농축 또는 순환핵연료를 사용할 경우 중성자 스펙트럼이 경화되어 기존의 PPV코드의 사용은 부적절하다. 또한 단순화된 PPV코드의 특성상 특정 변수에 대한 PPV의 계산 결과에는 많은 불확실도가 내포되어 있기 때문에 최근에는 WIMS-AECL로 PPV를 대체하려고 하는 노력이 진행되고 있다.

WIMS코드는 영국에서 개발되어 계속 개량되고 있으며, 또한 캐나다에서 독자적으로 WIMS-AECL을 개량하여 CANDU원자로에 적용하고 있다. 이 코드는 이론적인 배경을 갖고 있으므로 적절한 균 정수 라이브러리를 사용하면 개량핵연료주기에 적합할 것으로 사료되지만 검증이 되어야 한다. 현재 CANDU원자로용 균정수 라이브러리로서는 영국에서 도입하여 AECL에서

부분적으로 개량한 WINFRITH와 ENDF/B-V로부터 처리된 것을 사용하고 있다.

본 연구에서는 WIMS-AECL에 WINFRITH와 ENDF/B-V 라이브러리를 사용하여 그 결과를 비교 검토하였다.

2. 계산방법

본 연구에서는 기존의 37봉-핵연료다발에 천연우라늄(NU)과 순환우라늄(RU)연료를 넣은 경우의 핵연료다발에 대하여 각각 WINFRITH 및 ENDF/B-V library를 이용하여 WIMS-AECL 코드로 계산하였으며, 계산 결과의 비교를 위하여 천연우라늄의 경우는 PPV코드의 계산도 수행되었다. 각 코드에서의 계산모델은 다음과 같다.

1) POWDERPUFS-V (PPV) 코드

PPV 코드는 현재 천연우라늄의 37봉 핵연료다발이 장전된 노심에 검증되어 사용되고 있는 코드로서, 핵연료지역, annulus지역, 그리고 감속재지역으로 나누어 계산을 수행한다.

2) WIMS-AECL 코드

WIMS-AECL 코드는 현재 천연우라늄의 37봉 핵연료다발이 장전된 노심에 대해 검증이 진행중인 2차원 수송이론을 사용한 코드로서, 69그룹의 WINFRITH와 89그룹의 ENDF/B-V cross section library를 각각 사용한 두 가지 경우에 대하여 계산하였으며, 각각의 라이브러리는 입력을 작성할 때 energy group 수를 33개로 축약하여 계산하였다.

3. 계산결과 및 논의

CANDU원자로의 노심계산에 적합한 최적의 cross section library를 선정하기 위하여 연소도에 대한 k_{∞} 의 변화와 핵연료온도반응도계수, 냉각재온도반응도계수, 감속재온도반응도계수 및 기포반응도들을 계산하여 그 결과를 비교하였다.

1) 연소도에 따른 무한중배 계수의 변화

각 핵연료의 경우에 따라 연소도에 대한 k_{∞} 의 변화를 계산한 결과를 그림 2에 도시하였다. 그림에서 보여주는 바와 같이 WIMS-AECL의 결과에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 NU의 경우 PPV의 계산결과가 WIMS의 계산결과보다 높게 나타나고 있는데 PPV코드가 상업로에서 검증되었음을 고려하면 WIMS의 결과는 과소 평가되고 있음을 알 수 있다. 이는 임계로에서의 실험 결과가 약 3 mk 정도 과소 평가되고 있는 것과 동일한 결과이다.

2) 핵연료온도반응도계수

핵연료온도반응도계수가 그림 3에 도시되어 있다. 초기연소도에서는 두 library의 차이가 거의 없으나 연소가 진행되어 감에 따라 차이가 벌어지고 있음을 알 수 있는데 이는 핵분열 반응 후 생성되는 물질의 온도에 대한 단면적이 서로 다른 것을 의미한다. 따라서 주요 생성물인 Pu의 자료가 상이함을 의미 할 수도 있다. 기존의 임계로 실험 결과는 Pu이 없는 새 핵연료에 대하여만 수행되었으므로 연소 핵연료를 묘사할 수 있는 실험의 필요성이 요구된다. 기존의 PPV결과는 WIMS-AECL보다 더 낮은 값을 보여주고 있는데 WINFRITH의 결과와 유사하다.

3) 냉각재온도반응도계수

냉각재온도반응도계수가 그림 4에 도시되어 있으며, ENDF/B-V의 결과가 약간 높게 나타나고 있다. 그러나, 기존의 PPV결과보다는 크게 나타나는 데 이는 냉각재 온도계수가 양의 부호를

갖고 있으므로 냉각재 상실사고 등 안전해석 결과에 영향을 줄 수가 있다. 따라서 이에 대한 보다 상세한 연구가 요구된다.

4) 감속재온도반응도계수

감속재온도반응도계수가 그림 5에 도시되어 있으며, 연소가 진행됨에 따라 커지고 있음을 알 수 있다. 그러나 유효 연소도 영역에서는 그 차이가 크지 않다. 그렇지만 기존의 PPV결과와는 크게 차이가 있는데 특히 연소가 진행됨에 따라 차이가 벌어지고 있다. 그러나, 초기 연소도에서의 차이는 크지 않기 때문에 연소된 핵연료에 대한 실험 결과 또한 요구된다.

5) 기포반응도

연소도에 따른 기포반응도가 그림 6에 도시되어 있는 데 초기 연소도에서는 유사하나 연소가 진행됨에 따라 차이가 커지고 있다. 이는 핵연료온도계수에서와 같이 생성된 Pu의 단면적이 다른 것에 의해 기인한다고 예상된다. 그러나 기존의 PPV코드와는 큰 차이를 보여주고 있는 데 이는 냉각재온도계수에 영향을 주며, 냉각재 상실사고 등 안전해석에 큰 영향을 준다. 따라서 이에 대한 보다 상세한 연구가 수행되어야만 한다.

이상과 같은 무한중배계수와 네 가지 반응도계수의 계산결과에서 알 수 있듯이, WINFRITH와 ENDF/B-V cross section library를 각각 적용한 WIMS-AECL코드의 모든 계수들의 계산차이는 핵연료온도계수를 제외하고는 유효연소도 영역에서 크지 않았다. 그러나 기존 PPV코드의 결과와는 차이가 있음을 보여준다.

4. 결론

CANDU원자로의 노물리 특성을 해석하기 위하여 새로운 전산코드체계를 확립하기 위한 연구를 수행하고 있다. 이의 일환으로 적합한 격자코드 및 Library를 선정하기 위하여, 기존에 부분적으로 사용하고 있고 이용가능성이 가장 높은 WIMS-AECL 과 WINFRITH 및 ENDF/B-V library의 평가작업을 수행하였다.

이를 위하여, NU 및 RU핵연료에 대한 연소도에 따른 무한중배계수, 핵연료온도반응도계수, 감속재온도반응도계수, 냉각재온도반응도계수 및 기포반응도계수들을 계산하여 그 결과를 비교하였다.

그 결과, WIMS-AECL에 WINFRITH와 ENDF/B-V를 사용한 경우 핵연료 온도계수를 제외하고는 무한중배계수와 반응도계수들의 계산차이는 유효연소도 영역에서 크지 않았다. 그러나 연소가 진행됨에 따라 차이가 커짐을 보여주고 있으며, 기존의 PPV결과와는 초기 연소도에서는 차이가 적으나, 연소도가 커짐에 따라 많은 차이를 보여주고 있다. 따라서, 이는 연소된 핵연료 또는 Pu이 함유된 핵연료에 대한 격자실험의 자료에 의하여 평가 및 검증될 수 있을 것이므로 이 자료의 확보가 필요하고 이를 위한 노력이 요구된다.

5. 참고문헌

- [1] E.S.Y. Tin and P.C. Loken, "POWDERPUFS-V Physics Manual", TDAI-31 part 1, AECL, 1979.
- [2] J. Griffiths, "WIMS-AECL Users Manual", RC-1176 COG-94-52, AECL, 1994.
- [3] D.A. Jenkins and B. Rouben, "Reactor Fuelling Simulation Program - RFSP : User's Manual for Microcomputer Version", TTR-321/COG-93-104, Rev. 1, 1993 July.

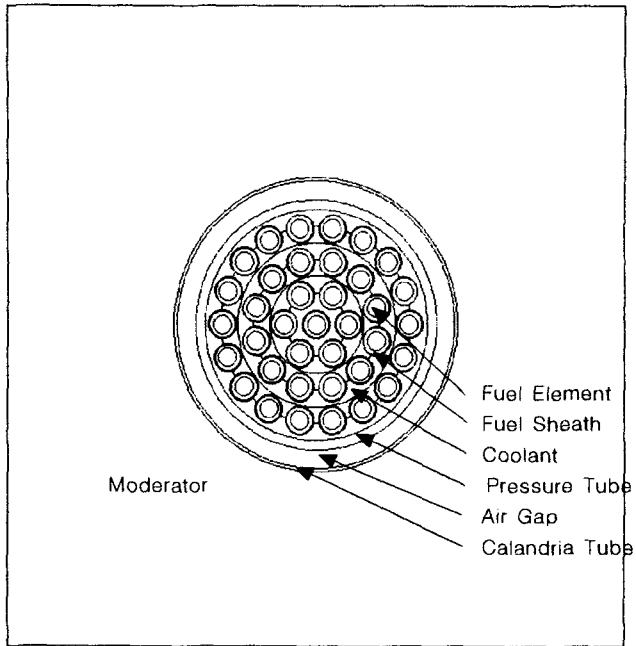


그림 1. CANDU 격자 모델

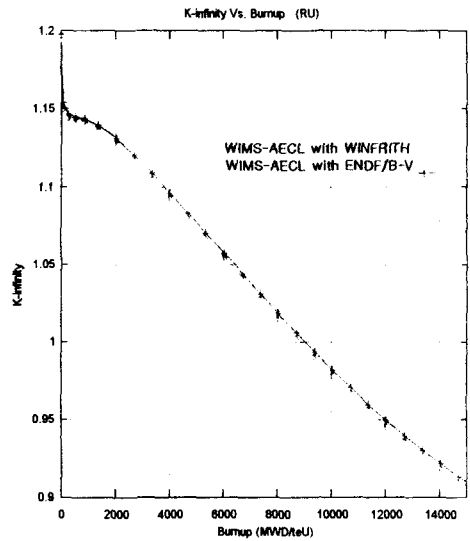
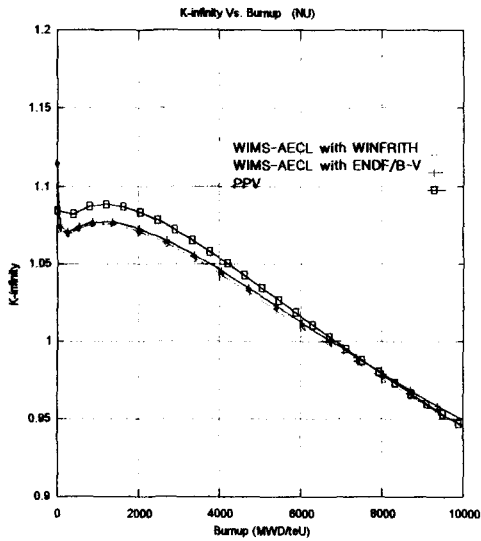


그림 2. 연소도에 따른 무한증배계수의 변화

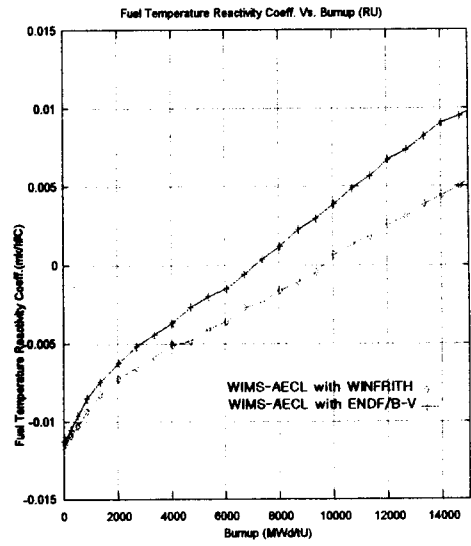
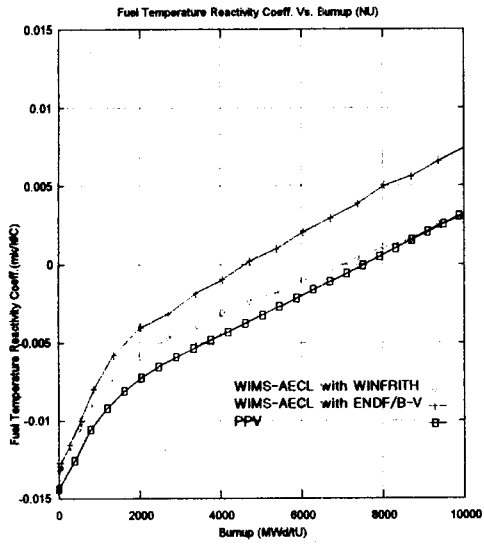


그림 3. 연소도에 따른 핵연료 온도계수의 변화

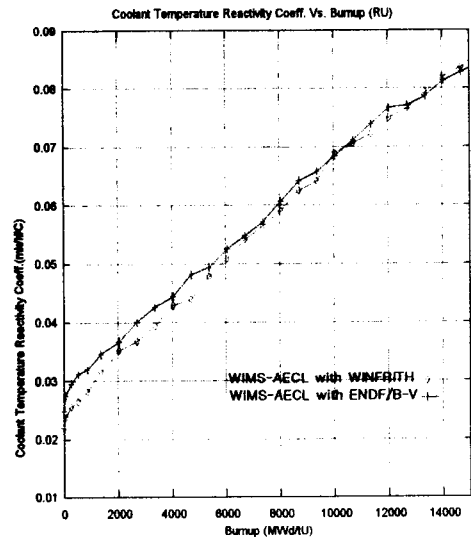
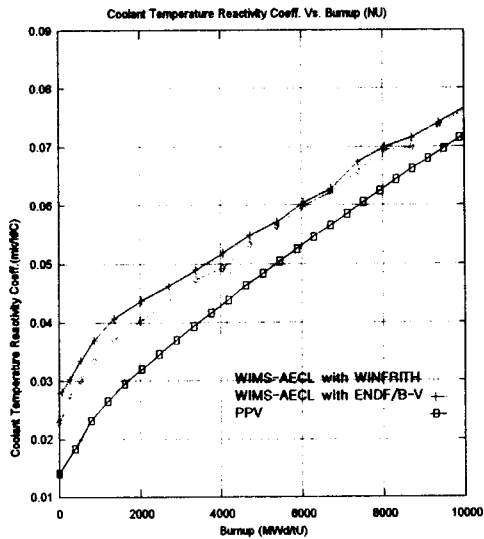


그림 4. 연소도에 따른 냉각재 온도계수의 변화

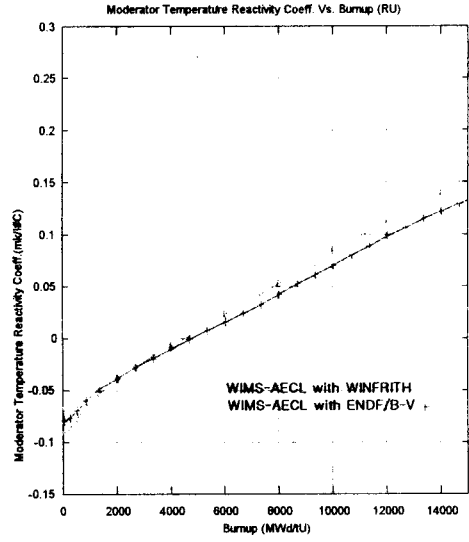
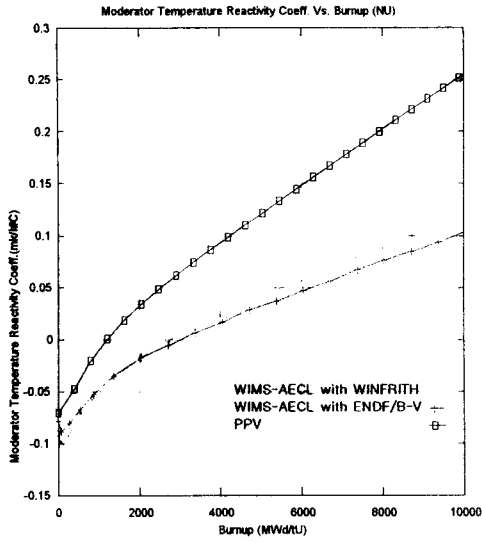


그림 5. 연소도에 따른 감속재 온도계수의 변화

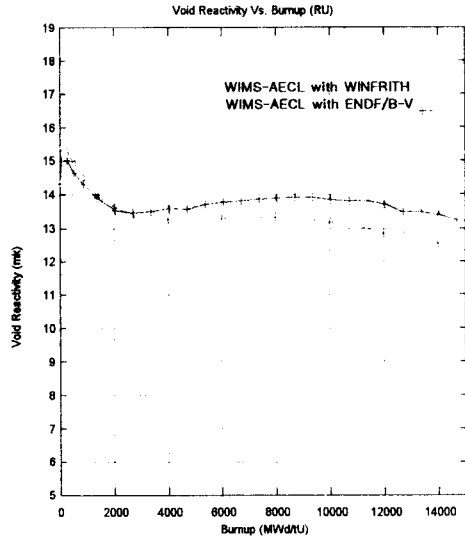
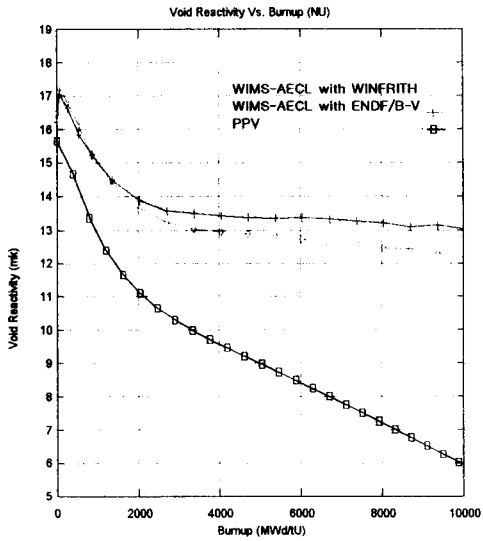


그림 6. 연소도에 따른 냉각재 기포반응도의 변화