

지발 중성자 군 구조 특성이 중수형 원자로의 안전성에 미치는 영향 Assessment of Delayed Neutron Group Structure effects on CANDU

소순규, 신동훈, 유극중, 이영준, 김진성, 오세기
아주대학교

요약

1993년 우리나라의 최초 중수로인 월성 1호기가 준공된 이후 20년간 운전 중에 있으며, 또한 현재 월성 2,3,4호기가 운전 중에 있어 우리나라에선 총 4기의 중수로가 가동 중에 있다. 하지만 4기의 중수로 보유국임에도 불구하고 상용발전이 이용되고 있는 중수로 기술과 노심 특성실험 자료가 취약한 실정이다. 이러한 이유로 월성 1호기가 설계수명에 가까워지면서 기기노화로 인해 설계 시에 예측했던 안전 여유도를 만족 시키는데 어려움이 생기게 되었다.

본 연구에서는 지발 중성자 군 구조 특성이 CANDU 원자로의 안전성에 미치는 영향을 분석하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 CANDU-6(Canadian Deuterium Natural Uranium) 원자로 노심에 대하여 WIMSD-5, WIMS-AECL, PPV(POWDERPUF)코드를 사용하여 노심내 물리적 특성 값인 각 Heavy element 별 핵분열

반응분율을 계산하였고 이를 ENDF/B-VI 라이브러리에 근거한 지발 중성자 군 구조 값을 통해 유효값을 계산하였다. 이런 결과 값을 기반으로 당초 설계해석에 고려한 지발 중성자 군 구조의 보수성을 정량적으로 재평가하여 안전 여유도 확보에 기여하는데 그 목적을 두고 있다.

원자로 운전 측면에서 지발 중성자는 원자로를 제어하는데 이용되기 때문에 본 연구에서도 중성자의 생성율은 운전여유도 평가에 매우 중요한 기준이 된다. 월성 CANDU 원자로의 FSAR(Final Safety Analysis Report)에서의 지발 중성자 군은 Photo Neutron을 포함한 6Group으로 나누어 나타내고 있다. 이러한 중성자 군에 가장 근접한 결과를 얻기 위해 일반적으로 통용되어온 Keepin의 6Group 지발 중성자와 Los Alamos에서 개발한 8Group 지발 중성자에 11Group Delayed Photo Neutron을 포함시켜 계산하였다.

Case	Group
Case 1	6Group - Without Photo Neutron (ENDF/B-VI 자료값)
Case 2	8Group - Without Photo Neutron (ENDF/B-VI 자료값)
Case 3	6Group + 11Group Delayed Photo Neutron Data for CANDU (ENDF/B-VI 자료값)
Case 4	8Group + 11Group Delayed Photo Neutron Data for CANDU (ENDF/B-VI 자료값)
Case 5	6Group Delayed Photo Neutron 포함 Data (월성 CANDU Reactor FSAR)

이렇게 얻어진 지발 중성자 군 구조 유효값을 일점 동특성 방정식을 통해 MATLAB/Simulink 모델을 구성하였다. 이렇게 구성된 모델의 연소단계를 초기(0MW/TEU), 중기(4000MW/TEU), 말기(8000MW/TEU)로 구분하여 Reactivity 삽입에 따른 출력변화의 원자로 주기와 지발 중성자 생성 Fraction을 계산하였다. 이러한 결과값과

기존의 CANDU-6 안전성 해석에 사용해진 유효 지발 중성자 분율의 신뢰도를 분석한 결과 FSAR 내의 Data 값이 계산결과보다 원자로 주기를 길게 나타내고 있었다. 이러한 Data 값을 통해 사고 시 CANDU-6 원자로의 출력 증가에 대한 안전성평가가 과대평가 되었다는 것을 예측할 수 있다.

Table 1. 각 Heavy element별 핵분열 반응 비율

Element	코드	연 소 도(MW/TEU)		
		0	4000	8000
U-235	WMS-D5	4.231089E-01	2.011467E-01	1.060000E-01
	WMS-AECL	4.298190E-01	1.897795E-01	9.892829E-02
	PPV	3.927004E-01	1.948212E-01	9.504187E-02
U-238	WMS-D5	2.114189E-02	2.104977E-02	2.100000E-02
	WMS-AECL	2.267360E-02	2.145976E-02	2.029237E-02
	PPV	1.036737E-02	5.109735E-03	2.475949E-03
U-239	WMS-D5	7.960781E-16	1.614696E-01	2.060000E-01
	WMS-AECL	2.065740E-19	1.743690E-01	2.136029E-01
	PPV	0.000000E+00	2.075492E-01	2.483228E-01
U-241	WMS-D5	9.380925E-16	6.333401E-03	2.190000E-02
	WMS-AECL	2.430680E-19	8.558482E-03	2.537689E-02
	PPV	0.000000E+00	1.182180E-02	3.526687E-02

Table2. 연소도에 따른 지발중성자 비율과 원자로 주기
(Reactivity = 0.001k일때 19Group - Delayed Photo Neutron포함)

코드	연소도(MW/TEU)	지발중성자 Fraction	원자로 주기(Reactor Period)
WMS-D5	0	6.50369E-03	3.86088E+01
	4000	4.62432E-03	2.32815E+01
	8000	3.84487E-03	1.76617E+01
WMS-AECL	0	6.53353E-03	3.87811E+01
	4000	4.49012E-03	2.23096E+01
	8000	3.73318E-03	1.69792E+01
PPV	0	6.27400E-03	3.74843E+01
	4000	3.79308E-03	1.84457E+01
	8000	2.92391E-03	1.28676E+01
CANDU	0 (Fresh Fuel)	6.86905E-03	5.14178E+01
	4000 (Irradiation Averaged Fuel Composition)	4.88342E-03	2.93936E+01