

OPR1000 발전소의 핵연료 주기비분석을 통한 최적 배치 크기와 핵연료 농축도 결정

조성주 · 하창주

한국전력국제원자력대학원대학교

(2014년 10월 27일 접수, 2014년 12월 5일 수정, 2014년 12월 8일 채택)

Determination of Optimum Batch Size and Fuel Enrichment for OPR1000 NPP Based on Nuclear Fuel Cycle Cost Analysis

Sung Ju Cho and Chang Joo Hah

KEPCO International Nuclear Graduate School

(Received 27 December 2014, Revised 5 December 2014, Accepted 8 December 2014)

요약

국내 원자력발전소의 주기길이는 전력회사의 전력수급계획에 따라 결정된다. 주기길이는 노심에 장전할 신연료 다발수와 핵연료 농축도를 조정하여 결정할 수 있다. 전력회사에서는 특정 주기길이를 만족시키기 위한 방법으로 신연료 다발수를 정한 후 핵연료 농축도를 결정하는 방법을 적용하고 있다. 그러나 이 방법의 경우 같은 주기길이를 갖는 다른 신연료 다발수와 핵연료 농축도의 조합들 보다 핵연료 주기비 측면에서 가장 경제적인지 판단할 수가 없다. 따라서 본 분석에서는 상용 노심설계 코드인 CASMO/MASTER 코드를 사용하여 OPR1000(Optimized Power Reactor 1000) 발전소를 대상으로 신연료 다발수와 핵연료 농축도 조합에 대한 노심 연소계산을 수행하여 동일한 주기길이를 갖는 최적의 신연료 다발수와 핵연료 농축도 조합은 무엇인지 분석하였다. 천이노심계산에서 발생할 수 있는 불확실도를 최소화하기 위해 노심 특성인자들이 변하지 않는 평형노심(equilibrium cycle)까지 계산을 수행하여 이때의 계산결과를 핵연료 주기비 계산에 사용하였다. 또한 평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 계산에 있어 중요한 인자인 할인율(discount rate)에 대해서 국내뿐만 아니라 다른 나라의 실정에도 적용 가능하도록 민감도 분석을 수행하였다. 평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 평가 결과 할인율(discount rate)이 낮은 경우 신연료 다발수는 줄이고 대신 핵연료 농축도를 높이는 조합을 통해 특정 주기길이를 만족시키는 방법이 경제적인 것으로 나타났다. 반면 할인율(discount rate)이 높은 경우는 핵연료 농축도는 낮추고 신연료 다발수를 늘리는 조합을 통해 특정 주기길이를 만족시키는 방법이 경제적인 것으로 나타났다.

주요어 : 주기길이, 평준화 핵연료 주기비, 할인율

Abstract - Cycle length of domestic nuclear power plants is determined by the demand-supply plan of utility company. The target cycle length is achieved by adjusting the number of feed fuel assembly and fuel enrichment. Traditionally, utility company first select the number of feed fuel assembly and then find out the fuel enrichment to achieve the special cycle length. But it is difficult to find out if this method is most economical than any other combinations of the enrichment and batch size satisfying the same cycle length. In this paper, core depletion calculation is performed to find out the optimum combination of the enrichment and batch size for given target cycle length in terms of fuel cycle cost using commercial core design code; CASMO/MASTER code. To

[†]To whom corresponding should be addressed.

KEPCO International Nuclear Graduate School, 1456-1
Shinam-ri, Seosaeng-myon, Ulju-gun, Ulsan, Korea
E-mail : sjcho@email.kings.ac.kr

minimize the uncertainty resulting from transition core analysis, levelized fuel cycle cost analysis was applied to the equilibrium cycle core in order to determine the optimum combination. The sensitivity study of discount rate was also carried out to analyze the levelized fuel cycle cost applicable to countries with different discount rates. From the levelized fuel cycle cost analysis results, the combination with smaller batch size and higher fuel enrichment becomes more economical as the discount rate becomes lower. On the other hand, the combination with higher batch size and lower fuel enrichment becomes more economical as the discount rate becomes higher.

Key words : Cycle Length, Levelized Fuel Cycle Cost, Discount Rate

1. 서 론

원자력발전소에서 생산되는 전기의 발전단가는 건설비가 약 65%이며, 운전유지비가 약 10%, 핵연료비가 약 25%를 차지한다[참고문헌 1]. 이 중 건설비와 운전유지비는 변화율이 거의 없는 고정비용이나 핵연료비는 노심운영기술에 따라 그 비용이 가변적이다. 따라서 원자력발전소의 수명을 고려할 때 핵연료의 효율적인 이용에 따른 핵연료비 절감 효과는 매우 크다. 매년 전력수급계획 수립 시 원자력발전소의 운전 개월 수(주기길이)가 정해지고 이에 따른 장전모형이 검토된다. 이때 주기길이를 만족시키기 위하여 신연료 다발수를 조정하는 방법과 핵연료의 농축도를 조정하는 방법이 사용된다. 일반적으로 산업계에서는 CYCLE 코드[참고문헌 2]와 같은 주기계획 코드나, 주기길이를 핵연료 다발수와 농축도의 함수로 구현한 그래프[참고문헌 1]를 이용하여 핵연료 다발수와 농축도를 결정한다. 그러나 이런 방법들은 핵연료 주기비를 변수로 고려하지 않고 있다. 이 경우 선택된 신연료 다발수와 농축도의 조합이 같은 주기길이를 갖는 다른 신연료 다발수와 핵연료 농축도의 조합들 보다 핵연료 주기비 측면에서 가장 경제적인지 판단할 수가 없다. 따라서 특정주기길이에서 주기비를 변수로 하여 최적 핵연료 다발수와 농축도를 결정한다면 요구 주기길이를 만족시키는 경제적인 노심 장전모형을 선정할 수 있다.

참고문헌 3에는 핵연료의 농축도를 한 값으로 고정 한 후 신연료 다발수를 변경하면서 핵연료 주기비 분석을 수행하여 최적의 주기길이를 찾는 연구를 수행하였다. 집합체 평균 방출연소도와 주기길이 계산을 위해 일점 노심 모델(One point reactor model)과 2차원 노심모델(Two-dimensional reactor model)을 사용하였다. 핵연료 주기비 분석에 있어 현가(present cost) 계산 시 할인율(discount rate)은 고려하지 않았다.

또한 참고문헌 4에서는 BWR(Boiling Water Reactor)에 대해 집합체 방출연소도 증가에 따른 핵연료 비용계산을 수행하였다. 이때 선형 핵연료 연소 모델(집합체 평균 연소도와 핵연료 평균 농축도의 선형 관계식)을 적용하여 집합체 방출연소도를 상수로 가정하고 이에 해당되는 핵연료 평균 농축도를 계산하여 이를 핵연료 주기비용 계산에 적용하였다.

이 논문에서는 현재 국내에서 가장 많이 가동되고 있는 OPR1000(Optimized Power Reactor 1000) 발전소를 대상으로 동일한 주기길이를 갖는 최적의 신연료 다발수와 핵연료 농축도 조합은 무엇인지를 분석하였다. 이를 위해 신연료 다발수와 핵연료 농축도를 모두 변수로 가정하였다. 실제적인 장전모형에 근접한 계산 결과를 얻기 위해 3차원 노심해석 코드를 사용하였으며, 분석에 사용된 전산코드는 CASMO-3 코드[참고문헌 5]와 MASTER 3.0 코드[참고문헌 6] 체계이다. 이 코드체계를 이용하여 다양한 3차원 노심장전모형을 선정하여 핵연료 주기비 분석을 수행하였다.

핵연료 주기비 분석에는 once-through fuel cycle 을 가정하여 선행 핵연료 주기(front-end fuel cycle)와 핵연료 노심운영(in-core fuel management) 및 후행 핵연료 주기(back-end fuel cycle)로 사용후 핵연료 직접처분(direct disposal of spent nuclear fuel)까지 고려하였다. 핵연료 주기비 계산 방법은 NEA/OECD (1994) [참고문헌 7]를 준용하였으며, 또한 평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 계산에 있어 중요한 인자인 할인율(discount rate)에 대해서 민감도 분석을 수행하였다.

2. 노심 분석

2-1 주기비 분석을 위한 노심 장전 모델 개발

OPR1000(Optimized Power Reactor 1000) 발

P0	P3	P3	P3	P3	P0	P3	P3
H-13	L-11	Feed	R-8	J-9	N-13	Feed	P-8
P3	P3	P0	P3	P3	P3	P1	P0
L-11	M-12	N-11	Feed	P-12	Feed	K-15	Feed
P3	P0	P3	P3	P3	P1	P1	P1
Feed	L-13	Feed	N-9	M-11	N-12	Feed	P-11
P3	P3	P3	P3	P3	P0	P1	
H-15	Feed	J-13	Feed	L-9	R-9	Feed	
P3	P3	P3	P3	P3	P1	P3	
J-9	M-14	L-12	J-11	Feed	P-10	K-8	
P0	P3	P1	P0	P1	P0		
N-13	Feed	M-13	J-15	K-14	Feed		
P3	P1	P1	P1	P3			
Feed	R-10	Feed	Feed	K-10			
P3	P0	P1					
H-14	Feed	L-14					

Fig. 1. Loading pattern (64 feed)

P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P3
R-8	J-9	Feed	K-8	K-10	Feed	L-11	N-8
P3							
J-9	Feed	M-11	Feed	L-9	P-9	Feed	N-9
P3	P3	P3	P4	P4	P3	P3	P3
Feed	L-12	Feed	M-10	Feed	P-10	Feed	N-10
P3	P3	P4	P4	P3	P0	P0	
H-10	Feed	K-12	Feed	N-12	P-11	Feed	
P3	P3	P4	P3	P3	P3	P0	
K-10	J-11	Feed	M-13	Feed	Feed	N-11	
P3	P3	P3	P0	P3	P3		
Feed	J-14	K-14	L-14	Feed	M-12		
P4	P3	P3	P0	P0			
L-11	Feed	Feed	Feed	L-13			
P3	P3	P3					
H-13	J-13	K-13					

Fig. 3. Loading pattern (72 feed)

전소의 열출력은 2815 MWth이며 전기출력은 1000 MWe이다. 노심에 장전되는 핵연료 집합체 다발수는 총 177다발이며, 3-batch 노심운영을 통해 12개월에서 18개월을 주기로 운전된다. 본 분석에서는 CASMO-3 코드와 MASTER 3.0 코드 체계를 이용하여 OPR1000(Optimized Power Reactor 1000) 발전소에 대한 노심 장전모형을 선정하였다. 노심 장전모형을 선정할 때 신연료 집합체 다발수와 핵연료 농축도를 변수로 하였으며, 각 신연료 다발수와 핵연료 농축도 조합에서의 주기길이 및 집합체 평균 방출연소도를 계산하였다. 이때 천이노심 계산에서 발생할 수 있는 불확실도를 최소화하기 위해 노심 특성인자들이 변하지 않는 평형노심까지 계산을 수행하였다. 이렇게 계산된 결과를 바탕으로 동일 주기길이를 갖는 서로 다른 신연료 다발수와 핵연료 농축도 조합을 찾았으며, 이 결과를 핵연료 주기비 계산의 입력으로 사용하였다.

<Figure. 1>은 신연료 다발수가 64 다발인 경우

P3	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3
P-8	K-8	Feed	N-12	M-12	Feed	M-13	N-8
P4	P3	P3	P3	P0	P3	P3	P3
H-10	K-10	L-9	Feed	N-11	P-9	Feed	N-9
P4	P3						
Feed	J-11	Feed	M-11	Feed	P-10	Feed	N-10
P3	P3	P3	P3	P3	P0	P0	
N-12	Feed	L-12	Feed	M-10	P-11	Feed	
P3	P0	P3	P3	P3	P3	P3	
M-12	L-13	Feed	K-12	Feed	Feed	K-9	
P3	P3	P3	P0	P3	P3		
Feed	J-14	K-14	L-14	Feed	L-11		
P3	P3	P3	P0	P3			
M-13	Feed	Feed	Feed	J-10			
P3	P3	P3					
H-13	J-13	K-13					

Fig. 2. Loading pattern (68 feed)

P3	Assembly Type (1st cycle)
Feed	1st cycle of residence
P4	Assembly Type (2nd cycle)
L-11	Previous Location
P3	Assembly Type (3rd cycle)
N-9	Previous Location

에 대해 선정된 장전모형이다. <Figure. 2>는 신연료 다발수가 68 다발인 경우에 대해 선정된 장전모형이다. 또한 <Figure. 3>은 신연료 다발수가 72 다발인 경우에 대해 선정된 장전모형이다. 선정된 장전모형에서 농축도에 따른 주기길이 경향을 분석하기 위해 다섯 가지 서로 다른 핵연료 농축도를 이용하여 노심 연소계산을 수행하였다. 각 장전모형 별 핵연료 집합체 종류 및 집합체 다발수 정보는 <Table. 1>에 제시하였다. 노심의 잉여반응도 및 출력분포를 제어할 목적으로 가돌리니아 가연성흡수봉을 사용하였으며, 가연성흡수봉의 우라늄 농축도는 2.0 w/o, 가돌리니아는 8.0 w/o를 적용하였다.

선정된 세 가지 장전모형에서 핵연료 농축도를 변경하면서 평형노심에 도달할 때까지 노심 연소계산을 수행하였다. 평형노심 도달 여부는 전산코드로 계산된 주기길이, 임계농도, 집합체 출력분포, 집합체 연소도 분포 및 방출연소도의 변화 등을 확인함으로

Table 1. Assembly type and core loading description

Feed Number	Fuel Type	Fuel Enrichment (w/o U-235) [Note-1]				No. of Fuel Rods per Assembly	No. of Assembly	No. of Gd Rods
		High	Low	High	Low			
64	P0	4.95	4.45	184	52	12	-	-
	P1	4.95	4.45	176	52	16	8	8.0
	P3	4.95	4.45	168	52	36	16	8.0
68	P0	4.95	4.45	184	52	8	-	-
	P3	4.95	4.45	168	52	56	16	8.0
	P4	4.95	4.45	164	52	4	20	8.0
72	P0	4.95	4.45	184	52	8	-	-
	P3	4.95	4.45	168	52	52	16	8.0
	P4	4.95	4.45	164	52	12	20	8.0

[Note-1] 동일 집합체에서 핵연료 농축도를 3.75/4.25/4.50/4.75/4.95 w/o로 변화하여 노심 연소계산 수행

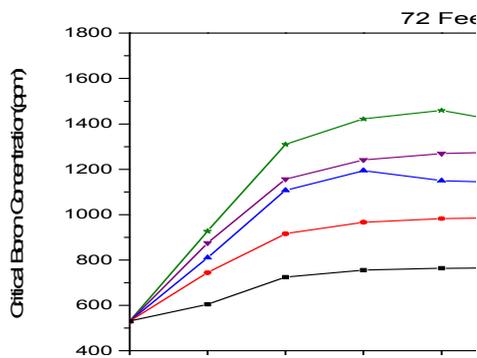


Fig. 4. Critical boron concentration check for equilibrium cycle

써 알 수 있다.

<Figure. 4>에서와 같이 약 7~8주기 이후 노심의 임계붕소농도가 변지 않으므로 평형노심이 되었음을 알 수 있다.

2-2 평형노심 분석 및 핵연료 주기비 입력자료 생산

<Figure. 5>는 평형노심에서 신연료 다발수에 따

른 핵연료 평균 농축도와 주기길이의와의 상관관계를 보여주고 있다. 동일한 농축도에서 신연료 다발수가 증가하면 노심 주기길이도 증가함을 확인하였다. 또한 동일한 신연료 다발수에서 핵연료 농축도가 증가하면 노심 주기길이가 선형적으로 증가함을 확인하였다. <Figure. 6>은 평형노심에서 신연료 다발수에 따른 핵연료 평균 농축도와 핵연료 집합체 평균 방출연소도의 상관관계를 보여주고 있다. <Figure. 6>을 통해 핵연료 평균 농축도가 증가할수록 방출연소도를 선형적으로 증가함을 확인하였다.

동일 주기길이에 해당하는 신연료 다발수와 핵연료 평균 농축도 조합을 찾기 위해 <Figure. 5> 및 <Figure. 6>의 분석 결과를 근거로 선형회귀분석법을 사용하여 <Table. 2>와 같은 근사식을 도출하였다. 이 근사식을 적용하여 동일한 주기길이에 해당하는 각 장전모형 별 핵연료 평균 농축도를 <Table. 3>과 같이 생산하였다. 또한 <Table. 3>의 핵연료 평균 농축도와 <Table. 2>의 방출연소도 근사식을 사용하여 집합체 평균 방출연소도를 <Table. 4>와 같이 생산하였다.

Table 2. Fitting equation

Cycle Length(GWD/MTU)	$4.21614*(Avg. Enrichment) - 2.06843$	64 feed
	$4.21614*(Avg. Enrichment) - 1.26343$	68 feed
	$4.21614*(Avg. Enrichment) - 0.48243$	72 feed
Discharge BU(GWD/MTU)	$11.8311*(Avg. Enrichment) - 5.46876$	All

Table 3. Fuel average enrichment search (Assumption : GWD/MTU=Month)

	Avg. Enrichment, w/o				
	14 Month	15 Month	16 Month	17 Month	18 Month
64 Feed	3.81	4.05	4.29	4.52	4.76
68 Feed	3.62	3.86	4.09	4.33	4.57
72 Feed	3.44	3.67	3.91	4.15	4.38

Table 4. Discharge burn-up search

	Discharge Burn-up (GWD/MTU)				
	14 Month	15 Month	16 Month	17 Month	18 Month
64 Feed	39.622	42.428	45.234	48.040	50.846
68 Feed	37.363	40.169	42.975	45.781	48.587
72 Feed	35.171	37.977	40.783	43.590	46.396

Table 5. Parameters used in the fuel cycle cost calculations

	Unit	Cost	Reference	Lead time(month)
Uranium purchase	\$/kgU	135.2	8	24 (Assumed)
Conversion	\$/kgU	9.5	8	18 (Assumed)
Enrichment	\$/SWU	146.0	8	18 (Assumed)
Fabrication + Transport	\$/kgU	350.0	8	12 (Assumed)
Tail enrichment	wt%	0.2	Assumed	-
Spent fuel storage	\$/kgU	200.0	Assumed	-
Spent fuel disposal	\$/kgU	750.0	Assumed	-

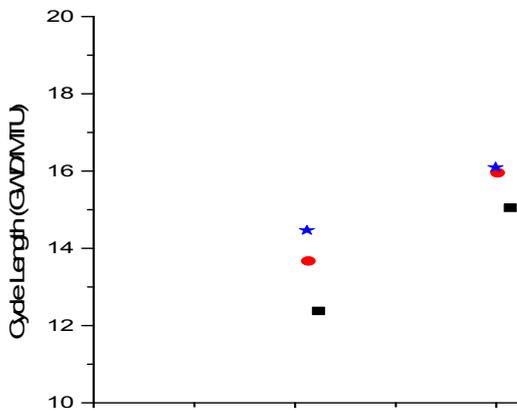


Fig. 5. Critical boron concentration check for equilibrium cycle

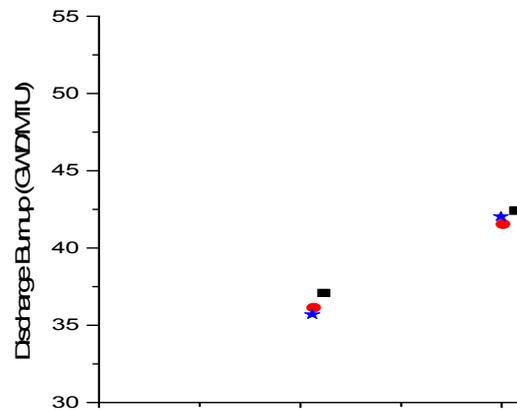


Fig. 6. Critical boron concentration check for equilibrium cycle

3. 최적 배취 크기 및 핵연료 농축도 분석

평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 계산을 수행하여 최적 배취 크기 및 핵연료 농축도를 결정할 수 있다. 평준화 핵연료 주기비 계산 방법은 NEA/OECD (1994) [참고문헌 7]를 준용하였다.

3-1 입력자료 및 가정

핵연료 주기비 평가에는 원자력발전소 운전자료, 핵연료 주기관련 자료 및 경제성자료가 필요하다. 또한 핵연료 주기비는 우라늄 구입비, 성형가공비 및 사용후핵연료 처리비 등으로 구성되는 직접비와 직접비의 이자에 해당하는 간접비로 구분하여 계산된다 [참고문헌 1].

동일한 주기길이에서 주기비 평가를 위해 <Table.

3>의 핵연료 평균 농축도와 <Table. 4>의 집합체 평균 방출연소도를 입력자료로 사용하였다. 그 밖의 주기비 계산을 위한 기본 입력 및 가정은 <Table. 5>와 같다. 핵연료 주기비 평가에 중요한 항목인 할인율(discount rate)에 대해서는 국내뿐만 아니라 다른 나라의 실정에도 적용 가능하도록 3%, 5%, 8% 및 10% 할인율(discount rate)에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

3-2 평준화 핵연료 주기비 계산 결과

위의 기본 입력자료 및 가정을 사용한 평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 분석 결과는 <Figure. 7>과 같다. <Figure. 7>의 (1)부터 (5)는 주기길이 14개월부터 18개월일 때 각 주기길이에서 신연료 다발수와 핵연료 평균 농축도 및 할인율(discount rate)에 따른 평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 계산 결과를 보여준다.

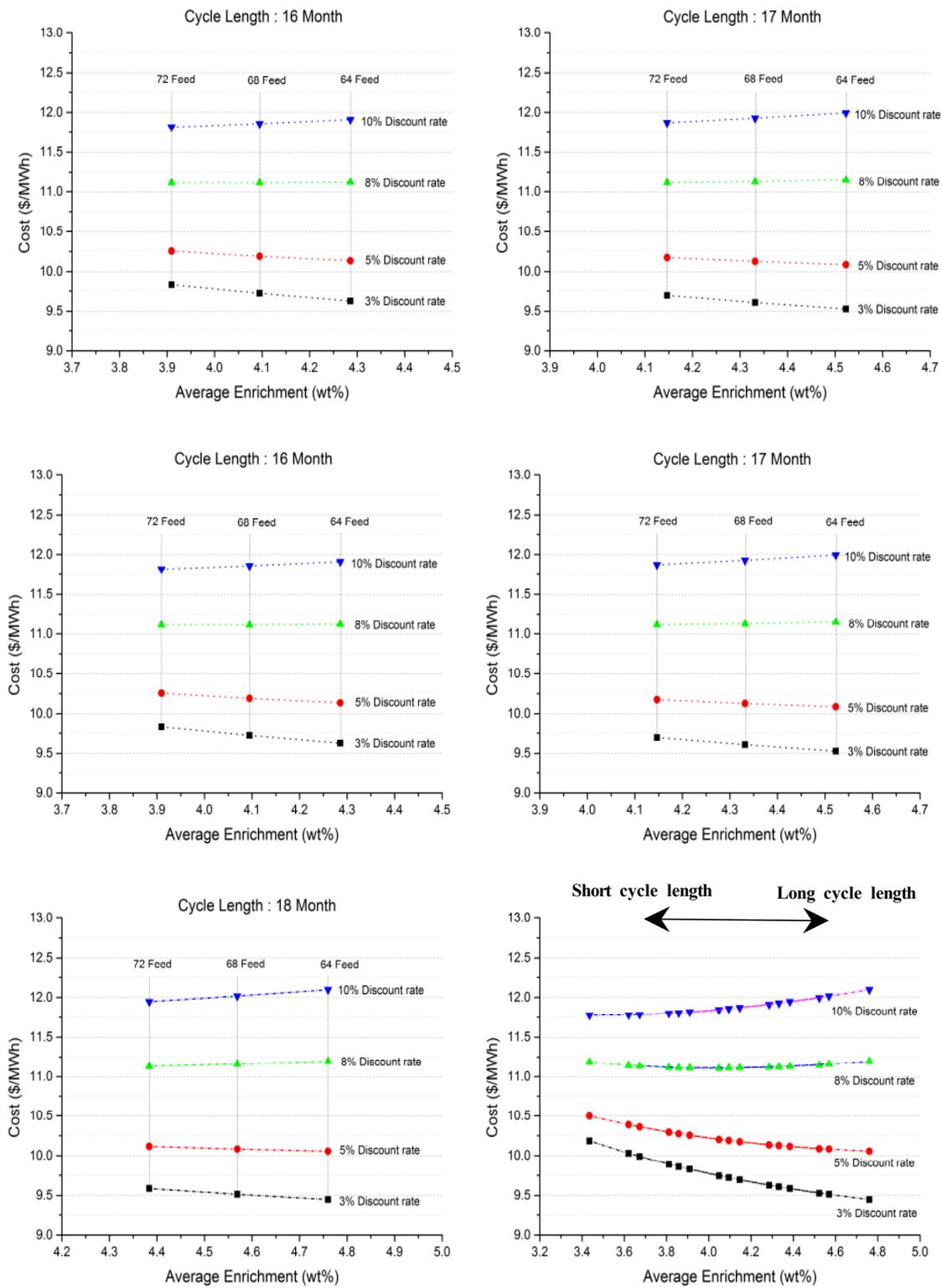


Fig. 7. Fuel cycle cost according to the average enrichment, batch size, and discount rate

<Figure. 7>의 (1)부터 (5)의 결과로부터 할인율(discount rate)이 5% 미만의 경우 특정 주기길이를 만족시키기 위해 농축도를 높이고 신연료 다발수를 감소시키는 방법이 경제적이다. 또한 주기길이가 짧을수록 이러한 방법이 핵연료 비용 절감효과가 더 크게 나타남을 알 수 있다. 반면 할인율(discount rate)이 10%인 경우 특정 주기길이를 만족시키기 위해 농축도를 낮추고 신연료 다발수를 증가시키는 방법이 경제적이다. 또한 주기길이가 길수록 이러한 방법이 핵연료 비용 절감효과가 더 크게 나타남을 알 수 있다. <Figure. 7>의 (6)은 (1)부터 (5)의 결과를 모두 표시하여 할인율(discount rate)에 따라서 가장 최적 주기길이는 어떠한지에 대한 결과를 보여준다. 이를 통해 할인율(discount rate)에 따른 최적 주기길이를 예측할 수 있다. 할인율(discount rate)이 5% 이하로 낮은 경우 주기길이를 길게 가져가는 것이 경제적이다. 반면 할인율(discount rate)이 8%인 경우 16개월 정도의 주기길이가 최적 주기길이다. 또한 할인율(discount rate)이 8% 보다 높아지는 경우 주기길이를 짧게 가져가는 것이 경제적이다.

4. 결 론

국내 OPR1000(Optimized Power Reactor 1000) 발전소에 대해 평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 평가를 수행하여 최적 배워 크기 및 핵연료 농축도를 결정하였다. 이를 위해 여러 가지 신연료 다발수 및 핵연료 농축도 조합에 대한 주기길이 및 집합체 평균 방출연소도를 CASMO-3 코드와 MASTER 3.0 코드 체계로 계산하였다. 평형노심에 대한 노심계산 결과 신연료 다발수가 일정한 경우 핵연료 농축도 증가에 따라 주기길이는 선형적으로 증가하였다. 또한 동일한 핵연료 평균 농축도에서 주기길이 또한 신연료 다발수와 선형적인 상관성을 보여 주었다. 노심계산 결과를 근거로 같은 주기길이를 갖는 신연료 다발수 및 핵연료 평균 농축도 조합을 선형 근사식을 사용하여 도출하였으며, 동일 주기길이를 갖는 이러한 조합에서의 평준화 핵연료 주기비 평가(levelized fuel cycle cost)를 수행하였다. 평준화 핵연료 주기비(levelized fuel cycle cost) 평가 결과 할인율(discount rate)에 따른 경향성이 다음과 같이 서로 상이함을 확인하였다.

Case 1. 할인율(discount rate)이 5% 이하인 경우

동일 주기길이에서 신연료 다발수를 줄이고 대신 핵연료 농축도를 높이는 것이 경제적이다. 또한 전체적인 주기길이 평가 결과 장주기로 운전하는 것이 경제적이다.

Case 2. 할인율(discount rate)이 8% 근처인 경우 15개월 미만의 주기길이에서는 신연료 다발수를 줄이고 대신 핵연료 농축도를 높이는 것이 경제적이다. 반면 17개월 이상의 주기길이에서는 신연료 다발수를 늘이고 대신 핵연료 농축도를 낮추는 것이 경제적이다. 16개월 주기길이를 만족시키기 위해서는 어느 조합을 적용해도 경제성은 유사하다.

Case 3. 할인율(discount rate)이 10% 이상인 경우 동일 주기길이에서 신연료 다발수를 늘이고 대신 핵연료 농축도를 낮추는 것이 경제적이다. 또한 전체적인 주기길이 평가 결과 단주기로 운전하는 것이 핵연료 비용 측면에서 경제적이다.

References

1. 김시환 외: "알기 쉬운 핵연료관리", 형설출판사, (2010)
2. "CYCLE User Manual", Westinghouse, (2007)
3. AKIO YAMAMOTO and TATSUYA KIMOTO: "EFFECT OF CORE CALCULATION MODELS ON OPTIMUM CYCLE LENGTH ANALYSES OF PRESSURIZED WATER REACTORS", Nuclear Fuel Industries, (2000)
4. Yasuhiro KOBAYASHI and Kikuo UMEGAKI: "Sensitivity Study of Fuel Cost in Extended Burnup BWR Core", Journal of Nuclear Science and Technology, vol. 21[9], 702~713
5. M. Edenius, et al.: "CASMO-3, A Fuel Assembly Burnup Program, User's Manual Version 4.4," Studsvik/NFA-89/3, Rev. 1, (1991)
6. C. H. Lee and B. O. Cho: "MASTER 3.0 User's Manual Version 3.0", KAERI (2004)
7. NEA/OECD: "THE ECONOMICS OF THE NUCLEAR FUEL CYCLE", (1994)
8. A TradeTech publication: "Nuclear Market Review", (2011)