

고리/월성 1호기 계속운영 경제성 평가
Economic evaluations of
Kori & Wolsong Unit 1 Plant Life Extension

송택호, 정일석

한국전력공사 전력 연구원
대전시 유성구 문지동 103-16

요 약

고리 원자력 1호기는 1978년 상업운전을 시작한지 24년이 지나고 있고, 월성은 1983년 상업운전을 시작하여 19년이 지나고 있다. 두호기 모두 30년 설계수명으로, 설계수명이 가까워짐에 따라, 수명연장 혹은 주기적 안전성 평가가 관심의 대상이 되고 있다. 본 논문에 고리와 월성 1호기의 수명을 10년, 20년, 30년 계속하여 연장 운영 하는 경우와 연장하지 않고 표준형 대체 운영하는 경우를 경제성 측면에서 서로 비교하는 평가방법론과 그 결과를 기술하였으며, 이용율, 운전유지비, 할인율에 대한 민감도(sensitivity)를 분석하고 연장운전 투자비에 대한 손익분기점(break even point)을 평가한 결과를 기술하였다.

Abstract

24 years have been passed since Kori Unit 1 began its commercial operation, and 19 years have been passed since Wolsong Unit 1 began its commercial operation. As the end point of design life become closer, plant life extension and periodic safety assessment is paid more and more attention to by the utility company. In this paper, the methodologies and results of plant lifetime management economic evaluations of both units have been presented in comparison with Korean standard nuclear power plant for 10, 20, and 30 year life extension cases respectively. In addition to that, sensitivity analysis and break even point analysis results are presented with the variables of capacity factor, operation & maintenance cost, and discount rate.

1. 서론

전력연구원에서는 “원전 수명관리 연구(I)”(‘93.11-’96.11), “원전 수명관리 연구(II)”(‘98.7-’01.6)를 수행하여 계속운전기간 동안의 노화관리 방안을 수립하는 것을 목적으로 장기사용 경수로형 원전의 피동형 기기/구조물의 노화관리 및 수명관리 기술개발을 수행하였다. 이를 활용하여 가동원전 안전성 향상을 위한 “고리 1호기 주기적안전성 평가”(‘00.05-’02.11)를 수행하고 있다. 월성 1호기의 계속운전 타당성을 평가하고 중수로형 원전의 수명관리 기술개발을 위한 “월성 1호기 수명관리연구(I)”(‘00.07-03.01)를 수행 중에 있으며, 동시에 “월

성 1호기 주기적안전성 평가('01.5-'03.6)를 수행하고 있다. 과학기술부 정부 중장기 과제(대 과제명: 원전 주기적 안전성 평가, 세부과제명:경년열화 손상평가 적용기술 개발)의 주관기관으로 선정되어 1,2차년도 연구를 수행하였으며 2002년 3월 현재 2단계 연구를 수행중에 있다.

원전 가동년수가 경과함에 따라 안전성 제고에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 것과 동시에 경제성에 대한 연구도 병행되고 있다. "원전 수명관리 연구(II)"('98. 7-'01. 6)를 통하여 고리 1호기 경제성 평가를, "월성 1호기 수명관리연구(I)"('00.07-03.01)를 통하여 월성 1호기 경제성 평가를 수행하고 있다.

본 논문에서는 고리와 월성 1호기의 수명을 10년, 20년, 30년 계속하여 연장 운영 하였을 경우와 연장하지 않고 폐로시킨 후 표준형을 건설하여 대체전원을 투입하는 경우의 비용과 이득을 비교하는 경제성을 평가하였으며, 이용율, 운전유지비, 할인율에 대한 민감도를 분석하고 연장운전 투자비에 대한 손익분기점을 평가하였다.

2. 경제성 평가 방법론

가. 현재가치액 평가법

현재가치액 평가에서는 처음에 한 기의 원전을 운영하는 것으로 가정하며 기준년도(Reference Year)에 두 가지의 대안을 상정한다. 이때 기본적으로 두 대안 모두 기존 원전의 인허가기간 만료 시점와 신규 전원으로의 교체가 필요한 시점에서 같은 신뢰도를 가지고 전력이 공급된다고 가정한다. 첫번째 대안인 PLEX (Plant Life Extension)에서는 기존 원전을 개보수하여 연장운전을 시행하고 신규 대체전원의 건설을 지연시키는 것으로 가정한다. 두번째 대안은 NOPLEX로 이는 기존 원전을 개보수하지 않고 인허가 만료 전에 신규로 대체전원을 건설하는 것이다. 이로부터 두 대안에 대해 비용의 현가를 산출하고 순이득을 구하여 유리한 대안을 제시하게 된다.

PLEX 대안에서는 다음과 같은 연대순 사건들(Chronology Events)을 가지고 있다.

- o 기준년도에 원전이 운전되고 있으며 운전유지비와 연료비를 고려한다. 이 때 이러한 기존원전의 설비비용은 반영되지 않는다.
- o 기준 년도에서 시간이 흐른 후 PLEX 역무가 시작된다. PLEX 관련 업무는 정상적인 핵연료 재장전기간이나 보수기간에 병행하여 수행될 수도 있으나, 주요 개보수 업무 수행을 위해 정상적인 핵연료 장전 및 정기 보수 기간을 연장하여야 할 수도 있다. 따라서 이렇게 추가되는 기간동안 발전량의 손실이 발생하므로 이를 다른 발전원이 보충 시켜야만 한다. 모델에서는 사용자가 PLEX로 인한 개보수를 위한 연간 운전정지 일수를 입력시킬 수 있으며 또한 PLEX 업무가 수행되는 기간을 년수로 입력시킬 수 있다. 이러한 PLEX 관련 개보수업무는 계통성능을 향상시켜 원전 전체의 성능을 향상시킬 수 있으며 이용률 변화(Capacity Factor Change)와 출력변화(Power Rating Change)를 PLIMEE 사용자가 입력시킴으로서 그 효과를 반영할 수 있다.
- o PLEX 업무가 종료된 후 원전은 초기의 설계수명이상 운전하는 것이 허용되며 사업자는 연장운전된 원전을 대체할 전원계획을 입안해야 한다. 연장운전된 원전이 폐로 되기 전에 신규 대체발전소가 건설되어 연장운전중인 원전이 운전종료에 맞추어 가동되어야 한다.
- o 신규 발전소가 운전종료 시점에 도달하기 전에 차기 대체원전의 건설 및 상업운전이 시작되어 발전에 중단이 없어야 한다. 이런 형태로 동일한 송전단 전력을 유지하기 위

해 연속적으로 대체전원이 건설, 운영된다[1].

나. 균등화 발전원가 비교법

발전원가에는 실적발전원가와 계획발전원가 두 종류가 있다. 실적 발전원가는 송전단발전원가이며 실제의 실적 발전원가이며, 년도별 회계용으로 사용된다. 반면에 계획 발전원가는 발전소의 경제성 평가에 주로 사용되며, 장기간에 걸친 발전원가의 예측에 사용된다.

경제성 평가에는 계획발전원가를 이용하는데, 미래의 추정 계획발전원가 추정에는 여러 가지 다른 분석방법이 사용될 수 있지만, 일반적으로 인정되는 방법은 수명기간 균등화 비용 접근법이다. 여기서는 경제적 전원 선택에 영향을 미치는 발전소 전체 수명기간 중 발생하는 모든 비용을 고려하게 되는데, 여러 해에 걸쳐 다르게 나타날 수 있는 발전비용을 할인율로 현재가치로 환산하고 이를 수명기간 전체에 걸친 하나의 대표적 수치인 연금화 비용으로 나타낸 것을 균등화 발전원가, 혹은 평준화 발전원가라고 한다.

신규 발전원간 상대적 경제성을 평가하기 위해 연도별로 불규칙하게 발생하는 비용과 발전량을 화폐의 시간적 가치를 고려하여 발전소 수명기간 전체에 걸친 계획설비의 균등화 발전원가(LGC, Levelized Generation Cost, 혹은 LUEC, Levelized Unit Energy Cost), 그 계산식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$\text{가} = \frac{\sum_{t=1}^{t=te} (\text{cpital}_t + \text{OpMa}_t + \text{FUEL}_t) (1+i)^{-t}}{\sum_{t=1}^{t=te} t}$$

t = time

te = extension life or plant life

cpital = annual capital cost

OpMa = annual operation & maintenance cost

FUEL = annual fuel cost

i = discount rate

cpital : t년의 자본지출(건설투자비 및 발전소 해체비용)

OpMp : t년의 운전유지비(고정운전유지비 + 변동운전유지비)

FUELt : t년의 발전량

i : discoutn rate = 할인율

3. 경제성 평가 입력변수

가. 공통입력변수

월성과 고리 경제성 평가에 공통으로 사용된 입력변수는 다음표 1과 같다. 입력변수값은 최근의 실적값으로 대체전원인 표준형 원전의 경우 울진 3,4호기를 대상으로 하였으며, 이용율의 경우 최근 5개년도 평균값을 적용하였으며, 환율은 1300원/\$를 적용하였으며, 할인율은 8%를 적용하였다[3].

표 1 공통입력변수

		2002
	%	8.0
가	%	0.0
	/kWh	0.00438
	%	8.39
	%	5.0
	/kW	1,902
		5.5
		40
	%	40.5
	%	87.5
	/kWh	5.447
	/kWh	0.00438
	/kW-y	62.7
가	/kW-y	0.00

나. 월성 1호기 입력변수

월성 1호기에만 사용된 입력변수는 다음 표 2와 같다.

표 2 월성 1호기 입력변수

	MW	678
	%	5.0
	MW	2.0
		2013
	%	85.6
Overhaul	/	52
	/kWh	5.447
	/kWh	0.00303
	/kW-y	114.660
가	/kW-y	0.0
PLEX	%	9.3
PLEX	%	0.0
PLEX	%	0
PLEX		2011
PLEX		2
PLEX	/	225
PLEX	/kWh	0.00303

한편, 월성 1호기 투자비 산정을 위해서 다음과 같이 두가지 경우(case 1, case 2)를 가정하였다.

CASE 1 : 7183억원(overnight cost) 투자

CASE 2 : 4770억원(10년 연장), 5252억원(20년 연장), 6407억원(30년 연장)

CASE 1은 캐나다 NB power Point Lepreau 원전이 2006년과 2007년 약 17개월 정지를 가정하여 대규모 보수 공사 계획을 가정하고 있는데 그 투자금을 월성에도 동일하게 투자한다

는 경우이다. CASE 2는 포인트리프루우원전의 핵연료 채널 교체 비용, 핵연료 채널 교체를 위한 임시 가건물 공사 비용, 폐기물 저장고 확장 비용, 공사 준비 비용에다가 월성 현장 엔지니어의 상담 의견을 감안하여 산정한 투자금액이다.

한편, 투자시기와 기간은 월성 1호기가 2013년에 설계수명이 종료하는 점을 감안하여 2012년과 2013으로 산정하였으며, 투자기간은 17개월로 발전소가 정지한다고 가정하였으며, 이와 같은 가정은 최근의 NB Power Point Lepreau 원전 공청회 자료를 기초로 하고 있다.

다. 고리 1호기 입력변수

고리 1호기에만 사용된 입력변수는 다음 표 3과 같다.

표 3. 고리 1호기 입력변수

		2002
	%	8.0
가	%	0.0
	/kWh	0.00438
	MW	587
	%	5.0
	MW	2.0
		2009
	%	80.2
Overhaul	/	72
	/kWh	5.447
	/kWh	0.00438
	/KW-y	98.97600
가	/KW-y	0.0
PLEX	%	15.3
PLEX	%	0.0
PLEX	%	0
PLEX		2008
PLEX		1
PLEX	/	180
PLEX	/kWh	0.00438

고리 1호기 투자비는 single case로 하였으며, 현장 엔지니어 의견을 반영하여 10년 연장에 1859억원, 20년 연장에 2330억원, 30년 연장에 4900억원을 투자하는 것을 가정하였으며, 원전 정지기간은 2008년에 6개월간 정지하는 것을 가정하였다.

4. 현재 가치액 평가 결과

현재 가치액 평가 결과 다음표 4,5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이 표에서 볼 수 있듯이 월성 1호기 CASE 1으로 10년간 연장운전하는 경우를 제외하면 표준형으로 대체하여 운영하는 것보다 연장운전하는 것이 유리한 것으로 나타났다.

표 4. 고리 1호기 현재 가치액 경제성 평가 결과

	CASE			Overnight Cost()	가 ()	()	/
	Single Case	+PSR 가 +	10	1,859	1,116	1,968	2.76
20			2,330	1,417	3,095	3.18	
30			4,900	2,997	2,175	1.73	

표 5 월성 1호기 현재 가치액 경제성 평가 결과

	CASE			Overnight Cost()	가 ()	()	/
	CASE 1	PLRP	10	7,183	3,296	-511	0.84
20			7,183	3,296	753	1.23	
30			7,183	3,296	1,339	1.40	
	CASE 2	PLRP 가 + 가 +	10	4,770	2,189	595	1.27
20			5,252	2,441	1,651	1.68	
30			6,407	2,996	1,702	1.57	

5. 균등화 발전원가 평가 결과

균등화 발전원가 평가 결과를 표 6,7,8에 각각 나타내었다. 균등화 발전원가에서는 월성 1호기 CASE 1 중 10년, 20년 연장이 표준형 운영보다 불리한 것으로 나타났으며, 월성 1호기 CASE 2 중 10년 연장은 불리한 것으로 나타났다. 이를 제외한 나머지 모든 경우에서 연장운전은 표준형 대체 운영보다 유리한 것으로 나타났다. 현재가치액 평가와 비교할 경우 균등화 발전원가 평가법은 연장운전 측면에서 다소 보수적으로 작용하는 것으로 나타났다. 따라서, Break Even Point Analysis는 균등화 발전원가 계산법을 사용하였다.

표 6. 균등화 발전원가 평가 결과(10년 계속 운전)

			1	1 CASE 1	1 CASE 2
		1000MW	587MW	678MW	678MW
(OC)			1,859.00	7,183.00	4,770.00
가	/kw	1,902.00	316.70	1,223.68	812.61
	/kw	5.229	8.248	9.555	9.555
		40.00	10.00	10.00	10.00
	%	8.38602	14.90295	14.90295	14.90295
	%	3.30	31.25	9.37	14.11
	%	11.69	46.16	24.27	29.01
가	/KWH	4.38	4.38	3.03	3.03
	%	5.00	5.00	5.00	5.00
	%	87.50	80.20	85.60	85.60
가(/kwh)		34.90	26.28	44.73	36.13

표 7. 균등화 발전원가 평가 결과(20년 계속 운전)

		1			
		1000MW	587MW	CASE 1 678MW	CASE 2 678MW
(OC)			2,330.00	7,183.00	5,252.00
가	/kw	1,902.00	396.93	1,223.68	894.72
	/kw	5.229	8.248	9.555	9.555
		40.00	20.00	20.00	20.00
	%	8.38602	10.18522	10.18522	10.18522
	%	3.30	24.94	9.37	12.82
	%	11.69	35.12	19.56	23.00
가	/KWH	4.38	4.38	3.03	3.03
	%	5.00	5.00	5.00	5.00
	%	87.50	80.20	85.60	85.60
가(/kwh)		34.90	25.27	36.62	31.92

표 8. 균등화 발전원가 평가 결과(30년 계속 운전)

		1			
		1000MW	587MW	CASE 1 678MW	CASE 2 678MW
(OC)			4,900.00	7,183.00	6,407.00
가	/kw	1,902.00	834.75	1,223.68	1,091.48
	/kw	5.229	8.248	9.555	9.555
		40.00	30.00	30.00	30.00
	%	8.38602	8.88274	8.88274	8.88274
	%	3.30	11.86	9.37	10.50
	%	11.69	20.74	18.25	19.39
가	/KWH	4.38	4.38	3.03	3.03
	%	5.00	5.00	5.00	5.00
	%	87.50	80.20	85.60	85.60
가(/kwh)		34.90	30.32	34.38	32.74

6. Break Even Point Analysis

break even point analysis 결과는 다음 표 9와 같다. break even point란 표준형과 연장원전의 균등화 발전원가가 동일해 지는 point를 의미한다. 앞서 언급한 바와 같이 현재가치액 평가에 비하여 균등화 발전원가 평가가 연장운전에 보수적으로 작용하므로 break even point는 균등화발전원가 비교법에서 산출 하였으며, 표시금액은 경상가(Overnight Cost)이다.

표 9 The results of break even point analysis

	1		1	
	1000MW	587MW	678MW	
10		4,130	4,430	
20		6,040	6,480	
25		6,560	7,040	
30		6,920	7,420	
가	1,902			/kw
	5.23	8.25	9.56	/kw
가	4.38	4.38	3.03	/KWH
	87.50	80.20	85.60	%

7. Sensitivity Analysis

민감도 해석 결과는 그림 1,2,3과 같으며, 연장운전 년수는 20년이다. 그림 1은 운전유지비 민감도이며, 그림 2는 이용율, 그림 3은 할인율 민감도이다. 그림에서 볼 수 있듯이 표준형의 운전유지비가 월성과 동일하다면 앞서 불리했던 월성 수명연장은 모든 경우에서 유리해 지는 것으로 바뀐다. 즉, 표준형의 경제성이 월성 CASE 1(10년 연장운전)보다 유리했던 것은 운전유지비가 작기 산정한 것에 기인된다고 볼 수 있다. 반면에, 그림 2에서 볼 수 있듯이 Capacity Factor를 월성과 표준형이 같다고 놓는다 치더라도 월성 Case 1은 표준형에 비해 경제적이지 못하다. 한편 discount rate 측면에서 보면 표준형이 대단히 민감한 것을 볼 수 있는데 이는 규모면에서 표준형이 크고 투자비 또한 덩치가 고리나 월성에 비해 훨씬 크므로 할인율 변화에 매우 민감하게 움직임을 볼 수 있다. 즉, 할인율이 10%가 되면 표준형은 모든 경우에 있어서 절대적으로 불리해진다.

8. 결론

본 논문에서는 고리와 월성 1호기의 수명을 10년, 20년, 30년 계속하여 연장 운영 하였을 경우와 연장하지 않고 폐로시킨 후 표준형을 건설하여 대체전원을 투입하는 경우의 비용과 이득을 비교하는 경제성을 평가하였으며, 이용율, 운전유지비, 할인율에 대한 민감도를 분석하고 연장운전 투자비에 대한 손익분기점을 평가하였다.

방법론 측면에서 균등화 발전원가 평가법이 현재가치액 평가법에 비해 다소 보수적인 것으로 나타났다. 월성 1호기 투자비를 포인트 리프루우와 같이 산정할 경우 적어도 20년 이상은 연장운전해야 경제적인 것으로 평가 되었으며, 이는 포인트리프루우가 7183억원을 투자하면서 25년간 연장하는 계획과 일치한다. 고리 연장운전의 경우 모든 경우에서 표준형을 대체운영하는 것보다 경제성이 있는 것으로 입증되었다. 월성의 경우 투자비를 조금만 현실성 있게 책정한다면 10년 연장운전의 경우에도 표준형 대체운영에 비해 경제성을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 즉 break even point analysis에 의하면, 월성의 경우 10년 연장을 위해 4400억원, 20년 연장을 위해 6400억원, 30년 연장을 위해 7400억원 이하로만 투자한다면 표준형 운영보다 절대적으로 경제적이다.

참고문헌

1. Westinghouse, "Plant Lifetime Extension Evaluation Methodology", 1995
2. 한전 전원계획처, "전력경제론", 1994
3. 한국전력거래소, "발전설비현황" 2001

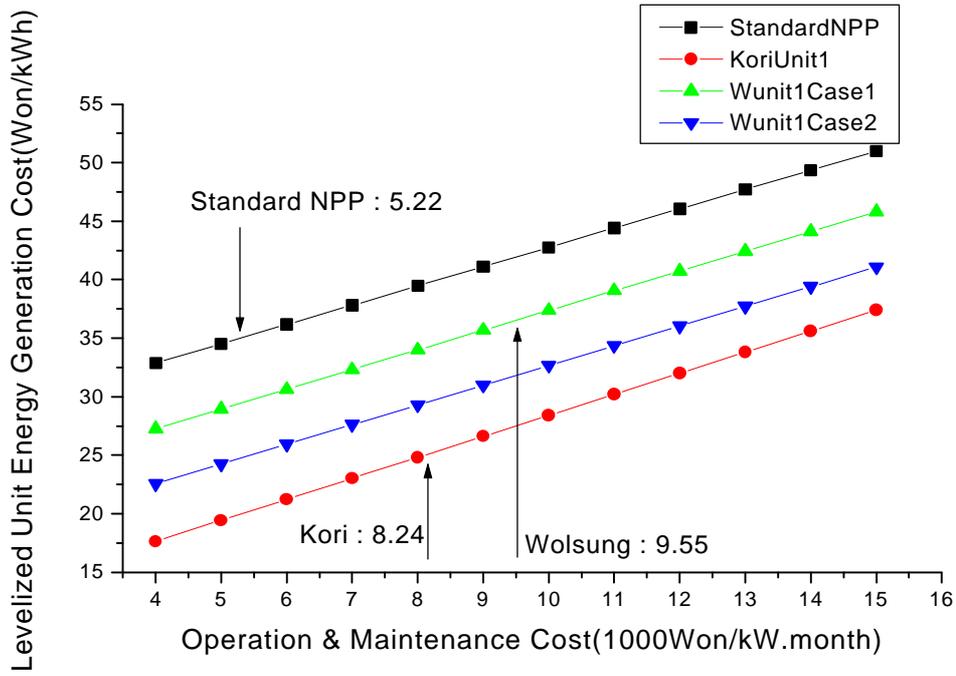


그림 1. 운전유지비 민감도

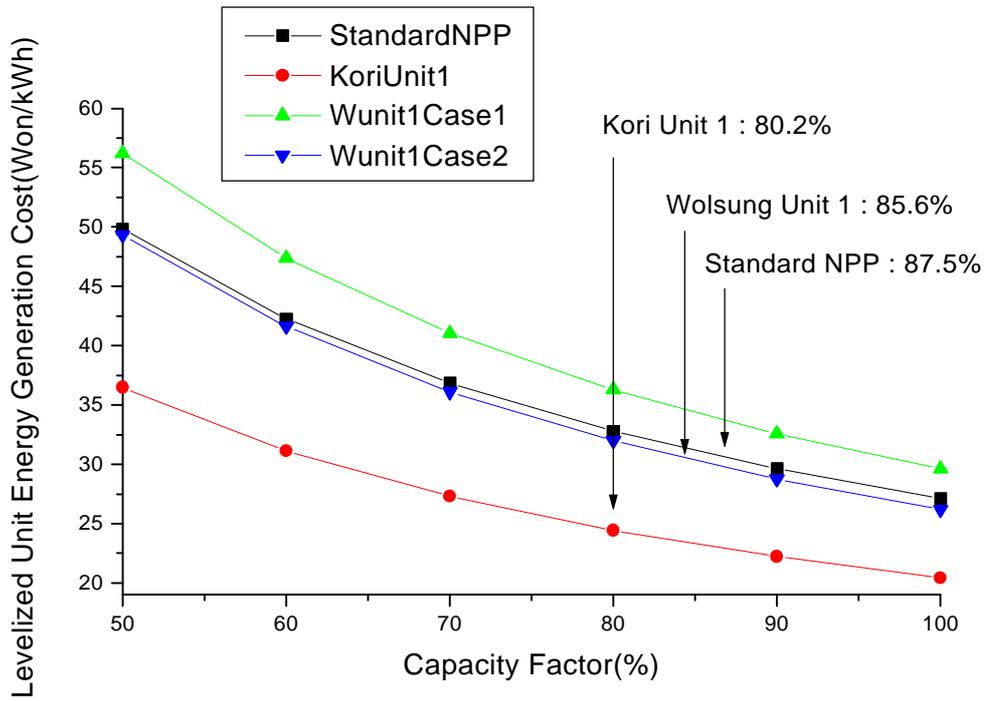


그림 2. 이용율 민감도

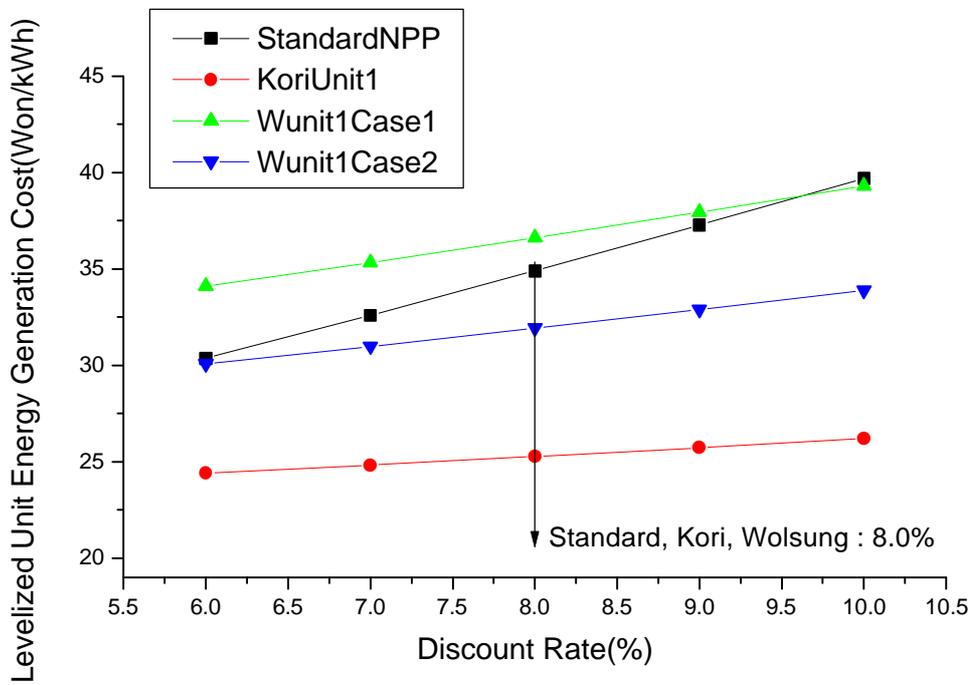


그림 3. 할인율 민감도