

배전계통에 있어서 선로전압조정장치의 경제성 평가에 관한 연구

노 대 석, 이 은 미, 박 창 호*, 김 응 상**
 *한국기술교육대학, **한전전력연구원, ***한국전기연구원

Economic Evaluation of Step Voltage Regulator in Distribution Systems

Daeseok Rho*, Eunmi Lee*, Changho Park**, Eungsang Kim***
 *Korea Univ. of Technology, **KEPRI, ***KERI

Abstract - 배전선로에서 부하가 증가함에 따라 주상변압기의 탭 조정만으로는 모든 수용가단 전압을 규정치 (220±6%) 이내로 유지시킬 수가 없게 된다. 따라서, 수용가단 전압의 품질을 규정치 이내로 유지할 수 있는 보강공사가 필요하게 된다. 현재는 수용가단 전압품질에 문제가 발생하지 않으나, 선로의 부하가 증가 될수록 통과전류의 양이 많아져, 전압강하가 높아지기 때문에 일부 수용가에 저전압이 발생하게 될 가능성이 있게 된다. 여기서는 부하증가 (부하증가율 : 1%, 2%, 3%, 4%, 5%)에 대한 대책으로 다음과 같은 3가지 대안을 고려하기로 한다. 본 연구에서는 1) 선로전압조정장치(SVR)의 설치 2) 회선증강 (ACSR 95mm² → ACSR 160mm²) 3) 회선신설 (전압강하 5%이상 지점에 회선 추가)에 대한 경제성을 현재가치 환산법에 의해 평가해 보고, 가장 적절한 대안을 제안하여 배전계통 계획 및 운용에 대한 합리적인 투자 대안을 제시한다.

1. 서 론

배전선로에서 부하가 증가함에 따라 주상변압기의 탭 조정만으로는 모든 수용가단 전압을 규정치 이내로 유지시킬 수가 없게 된다. 따라서, 수용가단 전압의 품질을 규정치 이내로 유지할 수 있는 보강공사가 필요하게 된다. 현재는 수용가단 전압품질에 문제가 발생하지 않으나, 그림 1과 같이 선로말단 지점(☆표시)의 부하가 증가될수록 통과전류의 양이 많아져, 전압강하가 높아지기 때문에 일부 수용가에 저전압이 발생하게 될 가능성이 있게 된다. 여기서는 부하증가 (부하증가율 : 1%, 2%, 3%, 4%, 5%)에 대한 대책으로 다음과 같은 3가지 대안을 고려하기로 한다.

- 1) 선로전압조정장치(SVR)의 설치
- 2) 회선증강 (ACSR 95mm² → ACSR 160mm²)
- 3) 회선신설 (전압강하 5%이상 지점에 회선 추가)

본 논문에서는 상기의 3가지 대안의 경제성을 현재가치 환산법에 의해 평가해 보고자 한다.

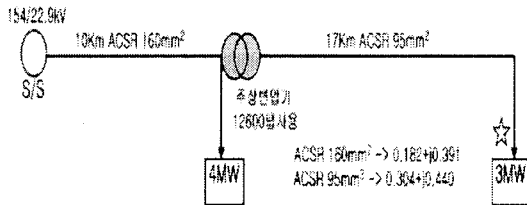


그림 1 배전선로 모델 계통

2. 선로전압조정장치의 경제성 평가

2.1 현재가치환산법

서로 다른시점에서 발생한 여러개의 투자비용을 현재 기준시점으로 환산하여 각 투자대안의 경제 성을 평가 하는 수법이다. 현재가치는 그림 2에서 알 수 있듯이 어느 시점의 지출과 수입에 대한 기준시점의 화폐가치이고, 다음의 현재가계수(V_n)을 곱해주면 된다.

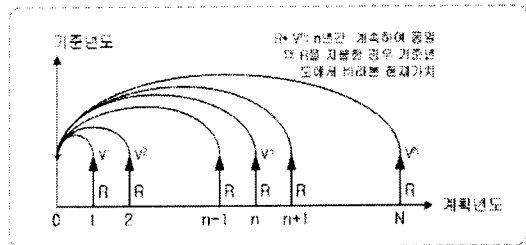


그림 2 현재가치 환산법의 개념도

현재가계수는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_n = \frac{1}{(1+i)^n}$$

여기서 i :이자율, n :계획년도

그리고, 누적 현재가계수는 현재가계수의 누계로써, 다음과 같이 구해진다.

$$A_n = V^1 + V^2 + V^3 + \dots + V^N$$

$$= \frac{1 - V^n}{i} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

또한, 총 계획년도에 있어서, n년도에 수행한 설비투자의 누적평가계수는,

$$B_n = A_n - A_{n-1}$$

$$= \frac{1 - \frac{1}{(1+i)^{N+1-n}}}{i(1+i)^{n-1}}$$

으로 계산할 수 있다. 따라서, 각 투자대안에 대한 현재가치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_i = \sum_m \sum_n K_m \alpha_m B_{mn}$$

여기서, C_i : i년도에서 바라본 현재가치, K_m : 설비 비용, α_m : 각 설비의 년경비율, B_{mn} : n년도에 대한 누적현재가치, n : 공사가 발생한 년도, m : 대상설비

2.2 경제성 평가 알고리즘

2.2.1 대안 A : 선로전압조정장치 설치

그림 3과 같이 피크시의 전압강하 5% 지점에 선로전압조정장치를 설치하면 ☆지점의 부하가 증가되어도 수용가 전압을 규정전압 이내로 공급해 줄 수 있다. 선로전압조정장치의 전압조정범위가 $\pm 10\%$ 이므로 ACSR 95mm²의 전선을 사용할 경우, 규정전압 이내로 유지할 수 있는 최대 부하량은 약 6[MW]이므로 부하증가량이 3[MW]가 넘을 경우엔, 부하말단 쪽에 SVR의 추가 설치가 요구된다.

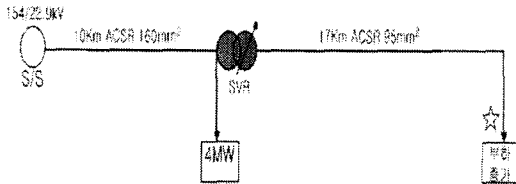


그림 3 SVR설치 시의 선로 모델링

2.2.2 대안 B : 회선용량 증강

이 방법은 피크시의 전압강하 5% 지점 이후의 배전선로의 용량을 ACSR 95mm² 전선에서 ACSR 160mm² 전선으로 교체해 회선용량을 증강하는 것이다. 회선용량이 증가하면, 선로의 전압강하를 감소시켜 수용가 전압을 규정전압 이내로 유지시킬 수 있다. 단, 이 방법은 부하증가량에 대한 한계성을 가지고 있으므로, 부하증가가 계속될 경우, 다른 대안의 필요성이 요구된다. 여기서는 그 대책으로 ACSR 95mm²의 전선을 추가로 도입하도록 한다.

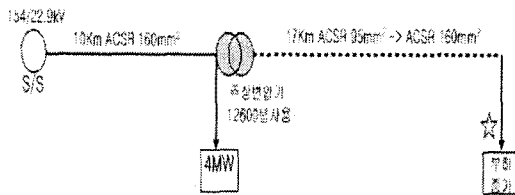


그림 4 회선증강시의 선로 모델링

ACSR 95mm²의 회선을 ACSR 160mm²의 회선으로 용량을 증강하는 경우, 수용가 전압이 규정전압 이내로 유지될 수 있는 부하량을 계산하면 다음과 같다. 다음의 전압강하 계산식을 이용하면,

$$\Delta V = Z \cdot I \cdot L$$

여기서, ΔV : 전압강하, Z : 임피던스, I : 통과전류, L : 선로길이

13,200V탭에 대한 전압강하 5%는 660[V]가 되고, ACSR 160mm² 전선으로 교체공사를 시행하였을 경우, 최대통과 전류는 다음과 같이 구해진다.

$$I_{max} = 660[V] / (0.333[\Omega/Km] \cdot 17[Km]) \\ = 116.58[A]$$

따라서, 통과전류가 116.58[A]를 넘을 경우엔, 수용가에 저전압이 발생하게 된다.

유효전력량(부하량)의 계산식으로부터 허용될 수 있는 부하량은 4.161[MW]가 된다. 따라서 ACSR 95mm² 전선을 ACSR 160mm² 전선으로 선로를 증강시키는 경우, 허용되는 최대 부하량은 1.161[MW]가 되고, 이보다 부하가 많이 증가되는 경우에는 다른 대안 책이 마련되어야 한다.

2.2.3 대안 C : 회선 신설

이것은 피크시의 전압강하 5% 지점 이후의 배전선로에 ACSR 95mm²의 회선을 추가하여 각 선로의 통과전류를 분담시켜 전압강하의 부담을 낮추는 방법이다. 상황에 따라 공사비의 차이가 많지만, 여기서는 가정 비용이 적게 소요되는 회선신설 방법의 하나로, 기존의 전주에 추가로 회선만을 설치하는 공사 방법을 가정하였다. 이 공사방법 또한 부하증가에 대한 한계성을 가지고 있으므로, 부하증가가 계속될 경우, 다른 대책이 필요성이 요구된다. 여기서는 그 대책으로 추가된 ACSR 95mm²의 회선을 ACSR 160mm² 회선으로 교체하도록 한다.

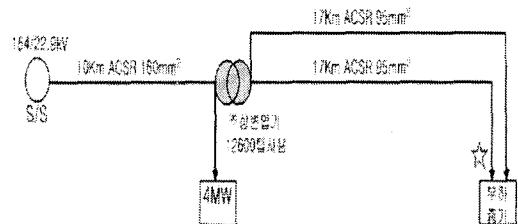


그림 5 회선신설시의 선로 모델링

ACSR 95mm²의 두 회선 사용 시, 수용가 전압이 규정전압 이내로 유지될 수 있는 부하량을 계산하면 다음과 같다. 다음의 전압강하 계산식에서

$$\Delta V = Z^* \cdot I \cdot L$$

여기서, ΔV : 전압강하, Z^* : 합성임피던스, I : 통과전류, L : 선로길이

두 회선에서의 최대 전류량을 구하면

$$I_{max} = \{660[V]/(0.232[\Omega/Km]*17[Km])\}$$

$$= 167.34[A]$$

가 된다. 또한, 유효전력량(부하량)의 계산식으로부터 허용될 수 있는 최대 부하량은 약 6.0[MW]가 구해진다. 따라서 회선 추가 신설에 의하여 공급가능한 총 부하량의 최대값은 3.0[MW]가 된다.

한편, ACSR 95mm²선과 ACSR 160mm²의 회선을 함께 사용 시, 수용가 전압이 규정전압 이내로 유지될 수 있는 부하량을 계산하면 다음과 같다. 두 회선에서의 최대 전류량은

$$I_{max} = \{660[V]/(0.193[\Omega/Km]*17[Km])\}$$

$$= 201.15[A]$$

가 되고, 허용될 수 있는 최대 부하량은 7.180[MW]가 된다. 따라서 회선신설과 증강공사에 의하여 공급가능한 총부하량의 최대값은 4.18[MW]가 된다.

3. 시뮬레이션 조건 및 결과 분석

3.1 모델 계통의 제 조건

- 1) 모델계통은 그림 1과 같은 22.9[kV] 계통을 상정하며, 역율은 0.9로 가정한다.
- 2) 초기조건은 대상선로의 총부하를 7[MW]로 하고, 전압강하 5%지점에 4[MW], 선로말단에 3[MW]가 분포되어 있다고 가정한다.
- 3) 부하증가는 선로의 말단에서 발생한다.
- 4) 부하증가율은 1%, 2%, 3%, 4%, 5%로 상정한다.
- 5) 전압강하 5% 지점 이전에는 ACSR 160mm² 전선이 설치되고, 전압강하 5% 이상인 지점에는 ACSR 95mm² 전선이 설치된다고 가정한다.
- 6) 이자율은 10%로 가정하고, 배전설비에 대한 년경비율은 15%로 가정하였다.

3.2 시뮬레이션 결과 분석

상기의 모델계통 및 제 조건하에 경제성 평가를 수행하면 다음과 같다.

표 1 은 부하증가율에 따른 배전계통의 투자 계획안의 기본 개념을 나타낸 것이고, 표 2는 각 대안별 공사비용과 년경비율 값이며, 표 3는 현재가치환산법의 계수 값을 나타낸 것이다. 표 4는 부하증가율을 기준으로 현재가치환산법에 의한 각 투자대안의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이고, 표 5와 그림 6은 투자대안을 비교 분석한 결과이다. 이상의 비교 결과에서 알 수 있듯이 각 투자 대안은 부하증가율에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있고, 대체적으로 선로전압조정장치를 도입하는 것이 경제적임을 알 수 있다.

표 1 부하증가율에 따른 배전계통의 투자 계획안

(a) 부하율 : 3%

계획년도	부하량 [KW]	SVR설치	회선증강	회선신설
0	7000			
1	7210	⊙(SVR설치)	⊙(회선증강)	⊙(회선신설)
2	7420			
3	7630			
4	7840			
5	8050			
6	8260		⊙(회선신설)	
7	8470			
8	8680			
9	8890			
10	9100			

(b) 부하율 : 5%

계획년도	부하량 [KW]	SVR설치	회선증강	회선신설
0	7000			
1	7350	⊙(SVR1설치)	⊙(회선증강)	⊙(회선신설)
2	7700			
3	8050			
4	8400		⊙(회선신설)	
5	8750			
6	9100			
7	9450			
8	9800			
9	10150	⊙(SVR2설치)		⊙(회선증강)
10	10500			

표 2 각 투자대안별 공사비용 및 년경비율

공사종류	금액	년경비율
SVR설치공사	5억원	15%
회선증강공사	Km당 4천만원	15%
회선신설공사	Km당 6천만원	15%

표 3 현재가치 환산법의 계수(이자율 10%)

년도	현재가계수 (V _n)	누적 현재가계수 (A _n)	n년도에 대한 누적 현재가계수 (B _n)
1	0.909	0.909	6.145
2	0.826	1.735	5.236
3	0.751	2.486	4.409
4	0.683	3.169	3.658
5	0.621	3.790	2.975
6	0.565	4.355	2.354
7	0.513	4.868	1.789
8	0.467	5.335	1.276
9	0.424	5.759	0.810
10	0.386	6.145	0.386

표 4 현재가치 환산법에 의한 각 공사별 비용
(a) 부하율 : 3%

년도	SVR 설치공사 [천원]	회선증강 공사 [천원]		회선신설 공사 [천원]
		회선증강	회선신설	
1	6817.5	9271.8		13907.7
2	6195.0	8425.2		12637.8
3	5632.5	7660.2		11490.3
4	5122.5	6966.6		10449.9
5	4657.5	6334.2		9501.3
6	4237.5	5763.0	8644.5	8644.5
7	3847.5	5232.6	7848.9	7848.9
8	3502.5	4763.4	7145.1	7145.1
9	3180.0	4324.8	6487.2	6487.2
10	2895.0	3937.2	5905.8	5905.8
총액	46087.5	98710.5		94018.5

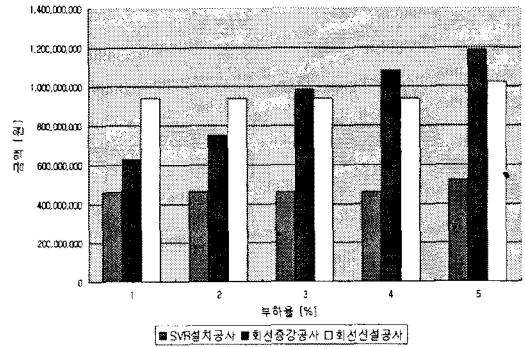


그림 6 투자대안별 경제성 비교

(b) 부하율 : 5%

년도	SVR 설치공사[천원]		회선증강 공사[천원]		회선신설 공사[천원]	
	SVR1	SVR2	회선증강	회선신설	회선증강	회선신설
1	6817.5		9271.8			13907.7
2	6195.0		8425.2			12637.8
3	5632.5		7660.2			11490.3
4	5122.5		6966.6	10449.9		10449.9
5	4657.5		6334.2	9501.3		9501.3
6	4237.5		5763.0	8644.5		8644.5
7	3847.5		5232.6	7848.9		7848.9
8	3502.5		4763.4	7145.1		7145.1
9	3180.0	3180.0	4324.8	6487.2	4324.8	6487.2
10	2895.0	2895.0	3937.2	5905.8	3937.2	5905.8
총액	52162.5		118661.7			102280.5

4. 결 론

본 논문에서는 최근 배전계통의 전압조정을 위하여 활발하게 도입되고 있는 선로전압조정장치(SVR)의 경제성평가를 수행하였다. 일반적으로 배전선로에 부하가 증가하면 수용가의 전압에 영향을 미치게 되므로, 이에 대한 적정전압유지에 대한 대안 책이 마련되어야 한다. 여기에서는 모델계통에 대하여 3가지 대안에 대한 경제성 분석 및 비교 분석을 수행하여 현장에서 도입에 대한 근거 안을 마련하는 데 일조를 할 수 있다고 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이은미, 노대석 "배전계통의 전압관리 현황과 개선방안에 관한 연구". 2002 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2002. 5
- [2] Daeseok Rho, Horiyuki Kita, Kenichi Nishiya and Hasegawa Jun, "Voltage Regulation Methods Based on an Extended Approach and Neural Networks for Distribution System interconnected with DSG systems", 일본전기학회지B, 117권 3호, 1997년3월

표 5 각 부하증가율에 대한 투자대안별 공사 비용

부하 증가율	SVR 설치공사	회선증강공사	회선신설공사
1%	460,875,000원	626,790,000원	940,185,000원
2%	460,875,000원	750,720,000원	940,185,000원
3%	460,875,000원	987,105,000원	940,185,000원
4%	460,875,000원	1,081,965,000원	940,185,000원
5%	521,625,000원	1,186,617,000원	1,022,805,000원