

IPLAN을 이용한 STATCOM의 최적위치선정에 관한 연구

김원규*, 구민연**, 백영식*
 경북대학교*, 하얼빈 공대**

Study for the selection of the optimal placement for STATCOM, using IPLAN

Won-Kyu KIM*, Min-Yan Gu **, Young-Sik, Baek*
 Kyungpoop National University*, Harbin Institute of Technology**

Abstract - This paper presents the selection of optimal placement for STATCOM (Static synchronous Compensator) which is one of the FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) devices, considering line contingency. Line contingency ranking is gotten by using sensitivity of load margin.

According to line contingency ranking line contingency was considered. And IOP (Index for selecting optimal placement of STATCOM) is calculated by the variation of each bus's reactive margin for several line contingencies. The bus where has the biggest value of IOP is the most optimal placement to install STATCOM for voltage stability.

IPLAN is used to program this part which get IOP. This study is carried out on the modified IEEE14 Bus Test System to confirm the efficiency of the method.

먼저, 다음과 같이 전력 시스템을 수식으로 나타낼 수 있다.

$$f(y, \lambda, p) = 0 \quad (1)$$

그리고 동작점 (y_0, λ_0, p_0) 와 붕괴점 (y, λ, p) 에서의 방정식은 다음과 같다.

$$f(y_0, \lambda_0, p_0) = 0 \quad (2)$$

$$f(y, \lambda, p) = 0 \quad (3)$$

단위 벡터 n 을 가지는 부하증가패턴을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\lambda_* = \lambda_0 + nL \quad (4)$$

L 은 부하여유이고 n 이 단위 벡터이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = |\lambda_* - \lambda_0| \quad (5)$$

1. 서 론

최근 북미지역 대규모 정전 사태 등, 크고 작은 사고들이 일어남에 따라, 전압안정도 향상에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 선로 사고를 예로 들면, 많은 부하를 감당하는 주요 선로가 끊어졌을 때, 그 선로 주변의 모선에서 전압강하가 크게 나타난다. 그리고 조류 편중에 의해 다른 모선에도 전압강하현상이 일어난다. 이러한 현상이 지속되면 결국에는 계통이 서서히 붕괴되어 북미 지역의 대규모 정전 사태와 같은 큰 사고를 일으키게 되는 것이다. 이는 막대한 경제적인 손실을 가져올 뿐만 아니라 일상생활의 큰 불편을 초래한다. 그래서 계통에서 어떤 사고가 일어났을 때, 계통붕괴까지 가는 현상을 막기 위해서 미리 전압을 적절한 때에 보상해 주는 장치가 필요하다. 이를 위한 여러 장치들 중에서 요즘은 특히, FACTS(Flexible Alternating Current Transfer System) Device를 적용한 전압안정도 개선이 많이 이루어지고 있다. 이 중에서 SVC(Static Var Compensator)는 서대구 변전소에, UPFC는 시흥-강진에 설치되어 현재 운용 중이다.

본 논문에서는, 전력계통에서 일어날 수 있는 선로사고들의 순위를 부하여유민감도를 이용해서 나타내었다. 부하여유민감도를 구하기 위해서 연속조류계산기법을 이용했으며, 선로사고들 중 상위 5위의 선로사고만을 고려하였다. 각각의 선로사고들에 대해서 무효전력여유를 구해서 이들 사고에 대한 각 모선들의 무효전력여유를 이용해서, FACTS 기기 중의 하나인 STATCOM의 최적위치선정을 위한 지표를 구하였다. 이 지표를 구하기 위해서 PSS/E와 연동되는 IPLAN을 이용해서 구현하였다.

IEEE14 Bus Test System에서 각 선로들에 대한 부하여유민감도를 다음의 식을 이용해서 계산할 수 있다.

$$L_x = \left| \frac{\Delta L}{\Delta x} = \frac{\Delta \lambda}{\Delta p n} = \frac{-\omega(y, \lambda, p) f_{\lambda}}{\omega(y, \lambda, p) f_{\lambda} \cdot n} \right| \quad (6)$$

여기서 Δx 는 선로의 reactance변화량을, ΔL 은 선로에 흐르는 유·무효전력의 변화량을 나타낸다.

위의 부하여유민감도를 연속조류계산법에 의해서 구한 결과는 표 1과 같다

선로	부하여유민감도	선로	부하여유민감도
2-3	14.19989	6-11	0.86361
2-4	13.19389	6-12	0.29073
2-5	8.92108	6-13	1.37073
3-4	6.50478	9-14	0.34841
7-8	3.04353	10-11	0.46777
7-9	2.70385	12-13	0.10697
9-10	4.865544	13-14	0.11538

(단, Slack 모선과 연결된 선로와 거리가 짧은 선로임피던스가 작은 선로에 대한 부하여유민감도는 제외)

[표 1] 각 선로의 부하여유민감도

위의 표 1의 결과를 살펴보면 2·3번 선로의 부하여유민감도가 가장 크다. 이는 선로의 reactance변화에 의한 유·무효전력의 변화가 가장 심한 모선이 2·3번 선로라는 것을 말한다. 이를 선로가 끊어진 사고와 연관시켰을 때, 선로가 끊어지는 순간의 선로 reactance변화로 볼 수 있

2. 본 론

2.1 부하여유민감도(The Sensitivity of load margin)

다. 즉, 이 때 부하여유민감도가 크다는 것은 그 만큼 그 선로의 조류흐름이 크다는 것을 의미하므로, 부하여유민감도가 크다는 것은 그 모선이 중요하다는 것을 의미한다.

그래서, 표 1의 부하여유민감도를 이용해서 선로사고순위를 결정한다. 이때 부하여유민감도가 큰 상위 5개의 선로에 대한 사고를 고려한다. 즉, 이들 선로에 대한 사고를 주요한 선로사고로 가정하는 것이다. 그러므로 2-3 선로가 끊어지는 것이 가장 심각한 사고이다. 상위 5개의 사고를 나타내면 표 2와 같다.

사고 1	사고 2	사고 3	사고 4	사고 5
2-3	2-4	2-5	3-4	9-10

[표 2] 상위 5개의 선로사고

2.2 IPLAN을 이용한 무효전력여유(Reactive Power Margin) 계산과정

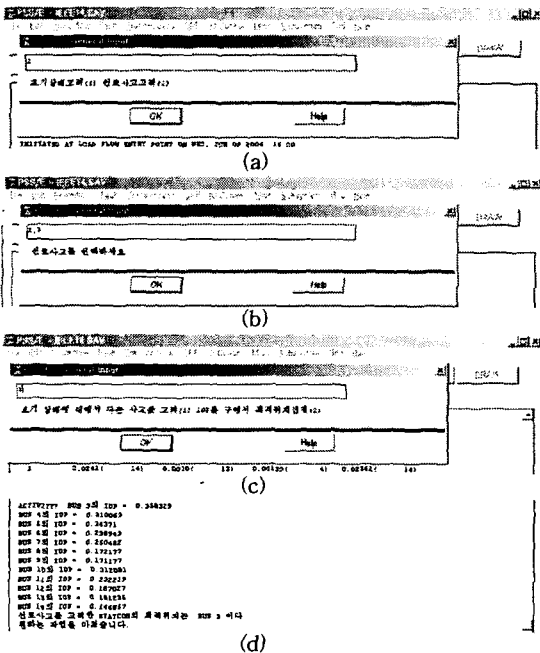


그림 1. IPLAN으로 구현한 IOP계산과정

위 그림 1과 같이, 프로그램을 실행하면 초기 시스템이 입력되고 선로사고를 가정할 것인지 아닌지를 묻는다. 초기 상태와 원하는 선로사고에 대한 각 모선의 무효전력여유는 행렬의 형태로 메모리에 저장된다. 상위 5개의 사고까지 반복한 후, IOP를 이용한 최적 위치를 구하면 (d)와 같이 화면이 출력된다.

2.3 최적위치선정을 위한 알고리즘

먼저 초기 계통의 각 모선에 대한 무효전력여유를 구한다. 선로 사고에 대한 순위는 부하여유민감도에 의해 구하였으므로, 원하는 사고 선로를 선택한다. 그러면 그 사고에 대해서 각 모선에 대한 Q-V해석을 통한 무효전력여유를 구할 수 있다. 이는 전압안정도에서 전압과 무효전력간의 연관성이 가장 크게 나타나기 때문이다.

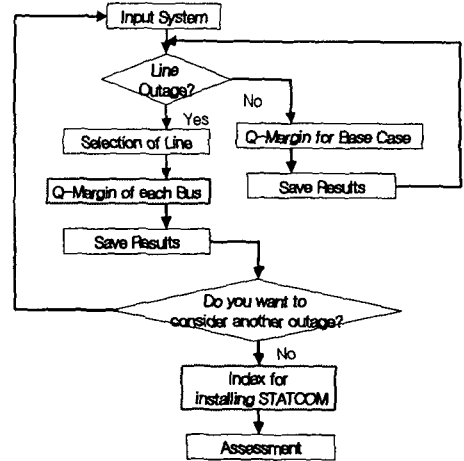


그림 2. 알고리즘

원하는 사고에 따른 각 모선의 무효전력마진을 구한다. (상위 5개의 선로) 그 결과 데이터를 행렬형태로 저장되고, 이 결과를 이용해서 STATCOM의 최적위치선정을 위한 지수인 IOP를 구한다. 이에 대한 알고리즘은 그림 2에 나타나있다.

2.4 IOP의 계산

우선 각 사고에 따른 각 모선의 무효전력여유의 변화량은(사고가 없을 때의 무효전력여유의 변화량과 비교) 다

BUS#	사고 1	사고 2	사고 3	사고 4	사고 5
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	47.1059	117.883	129.122	79.1555	137.911
4	84.8599	135.792	169.982	190.303	203.319
5	77.1126	167.993	164.583	223.015	214.869
6	44.5307	67.2831	70.026	80.3724	72.8257
7	46.3554	70.8855	79.0908	87.884	89.4944
8	40.7587	49.5549	53.9461	58.6445	59.5296
9	60.3779	66.4014	72.7836	81.125	79.7265
10	47.9159	57.0279	61.7705	69.0488	30.8715
11	45.7806	53.6269	56.8108	64.1794	43.2009
12	36.7595	46.7622	48.7228	54.9368	50.9503
13	43.918	53.6715	56.2415	63.631	60.5127
14	42.5973	45.7984	48.915	54.4044	55.5854

음 표 3과 같다.

[표 3] 선로사고에 따른 각 모선의 무효전력여유 (단, 발전기 모선은 제외한다.)

위의 표 3의 결과를 보면, 주요 선로사고에 대한 각 모선의 무효전력여유의 변화량을 알 수 있다. 이때, 각 사고에 따른 모선 전압의 변화가 심한데, 이를 방지하고 위해서 STATCOM을 최적위치에 설치할 것이다.

많은 전압보상용 기기 중, FACTS 기기 중의 하나인 모선 병렬용 장치인 STATCOM의 최적위치선정을 위한 Index를 고려한다. 이를 IOP(Index for selecting the optimal placement of STATCOM)로 정의하고, 구하는 식은 식 (7)과 같다.

$$IOP_i = \sqrt{\left[\sum_{j=1}^N \{ (Q_{i0} - Q_{ij}) / Q_{i0} \}^2 \right] / N} \quad (7)$$

(0 < IOP < 1)

아래 첨자 i 는 모선의 번호를 나타내는 것이고, j 는 사고를 나타내며, 0은 초기상태를 나타낸다. N 은 계통의 모선수를 나타낸다. 이를 이용해서 구한 각 모선 별 IOP는 다음 표 4와 같다.

BUS #	IOP
1	-
2	-
3	0.35833
4	0.31006
5	0.34371
6	0.23894
7	0.25048
8	0.17218
9	0.17118
10	0.31208
11	0.23222
12	0.18703
13	0.18123
14	0.14486

[표 4] 각 모선의 IOP

위 표 4의 결과로부터 모선 3의 IOP가 가장 크다. 계통에서 어떤 사고가 났을 때, 가장 상태변화가 심할 가능성이 가장 큰 곳이 모선 3이므로 이곳이 STATCOM을 설치하기 위한 가장 최적위치가 된다. 이는 모선 3에 STATCOM과 같은 보상기를 설치했을 때, 사고 시 계통의 다른 모선으로의 파급효과를 최소화할 수 있다는 것을 의미한다.

2.5 STATCOM 설치 시 효과

아래의 표 5는 최상위 사고인 선로 2-3번에서의 사고 시, 모선 3에 STATCOM을 설치하기 전과 후의 데이터를 결과를 보여주고 있다. 이때, STATCOM의 설정 전압은 1.0000[p.u.]로 한다.

BUS#	설치 전 모선전압[p.u.]	설치 후 모선전압[p.u.]
1	1.0600	1.0600
2	1.03025	1.0450
3	0.85520	1.0000
4	0.94958	1.0073
5	0.96563	1.0100
6	1.00073	1.0583
7	0.98620	1.0522
8	1.01224	1.0844
9	0.97927	1.0448
10	0.97497	1.0395
11	0.98385	1.0452
12	0.98441	1.0434
13	0.97864	1.0384
14	0.95955	1.0238

[표 5] 모선전압변화데이터

모선 3에 STATCOM을 설치한 결과, 사고 전보다 슬랙을 제외한 모든 모선에서의 전압보상효과를 얻을 수 있었다. 이 시뮬레이션 실험에서 모선 3에 대한 STATCOM의 설정전압을 1.000[p.u.]로 했을 때의 보상 무효전력의 값이 37.5[MVar]였다.

3. 결론

본 논문에서는 IOP를 구하는 부분을 PSS/E 와 연동되는 IPLAN으로 구현하여 이를 실행하였다. 그리고 사고 1번을 가정 한 후 STATCOM설치 시의 개선효과를 제시 하였다.

이 방법을 이용해서 선로 사고를 가정했을 때, FACTS 기기 중 전압보상용 기기인 STATCOM의 최적위치선정을 할 수 있다. 최적위치로의 STATCOM설치는 다른 선로 사고 시의 다른 모선에 미치는 전압강하의 영향을 최소화할 수 있다. 또한 이 방법을 이용해서, 큰 계통을 area별로 나누어서 각 area에 대해서 STATCOM을 위한 최적위치를 선정할 수 있을 것이다.

[참고 문헌]

- [1] MinYan Gu, YeongSik Baek,, "Optimal Placement for FACTS to improve the static voltage stability", Proceedings of the 5th annual joint workshop on control and power electronics technology, 2004, March, p40~45
- [2] M. A. Perez, A. R. Messina, C. R. Fuerte-Esquivel,, "Application of FACTS Devices to Improve Steady State Voltage Stability ", IEEE PES summer meeting, Seattle(USA): 2000. 1115-1120
- [3] I. M. Moghavvem, M. O. Faruque, "Effect of FACTS Devices on Statec Stability," TENCIN Proceedings, 2000, 2:357~362.
- [4] T. Van Cutsem, "A Method to Compute Reactive Power Margins With Respect to Voltage Collapse," IEEE Trans. Power Systems, vol. 6. no.2, pp. 145~156, 1991
- [5] I. Dobson, L. M. Lu, "New Methods For Computing A Closest Saddle Node Bifurcation and Worst Case Load Power Margin for Voltage Collapse," IEEE Trans. on Power System, vol.8, no.3, Aug.1993
- [6] Michael Merkle, Atushi Harada, Rajiv Kumar, Amir M. Miri, "Investigation of Voltage Stability of the IEEE14 Bus Power System and Enhancement with 100 MVAR STATCOM - A Simulation Study, MED Power 2002, IEE Hellas, Israel and Cyprus, Athens, Greece, November 2-6, 2002
- [7]IPLAN MANUAL

[Appendix]

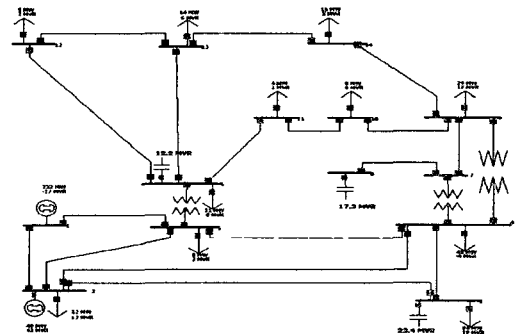


그림 3. IEEE14 시험 모선 시스템.

BUS	Q[MVAR]
3	22.92
6	10.68
8	14.62

[표 6] Capacitor Bank data.