

PSS/E를 이용한 P-V, Q-V 곡선 제작용 IPLAN 개발

박철우, 김건중, 박헌경, 신만철, 김재철, 장경철
충남대학교, 전력연구원

Develop P-V & Q-V Curve Used by IPLAN of PSS/E

Park Chul Woo, Kim Kyung Jung, Park Hun kyong, Kim Jae Chul
Chunanam National University, KEPRI

Abstract - PSS/E의 내부 시퀀스인 IPLAN을 이용하여 반복 조류계산을 함으로서 P-V, Q-V 곡선의 P, Q, V 값을 계산하는 IPLAN을 작성하였다. 작성된 곡선들은 유효전력 및 무효전력 예비력을 판단하는 지표, 전압안정도를 판별하는 지표 등 여러 방면에서 사용될 수 있다.

1. 서 론

P-V, Q-V 곡선은 전압안정도를 판별하는 지표부터 예비력, 계통의 임계운전점 등을 검토하는데 널리 사용되고 있는 방법이다. 하지만 사용되고 있는 전력계통 해석들 중에서 일부 고급 해석들을 제외하고는 이를 지원해 주고 있는 해석들이 없는 실정이다. 이에 따라 본 연구의 IPLAN은 전압안정도 검토 및 무효전력의 소요/예비량을 계산 하기 위한 과제를 진행 중 과제 진행의 편의를 위하여 개발하였다. [1]

P-V, Q-V 곡선의 제작법으로 널리 사용되고 있는 방법으로 부하증가법, 경계점 조류증가법 등이 사용되고 있다. 부하증가법은 검토 지역의 부하의 역률을 동일하게 증가하면서 모선의 설정전압에 대한 전력의 소요/예비량을 도시하는 방법이다. 경계점 조류증가법은 송전단으로부터 검토 지역의 수전단으로 유입되는 조류량을 증가하면서 소요/예비되는 전력량을 도시하는 방법이다.

본 연구의 Q-V 곡선은 현 운전점에서 설정전압에 따른 무효전력의 소요/예비량을 찾을 수 있도록 부하 및 유효전력의 출력을 고정시켰다. P-V 곡선은 전압붕괴점을 찾기 위하여 부하증가법을 사용하였다.

2. 본 론

2.1 P-V 곡선

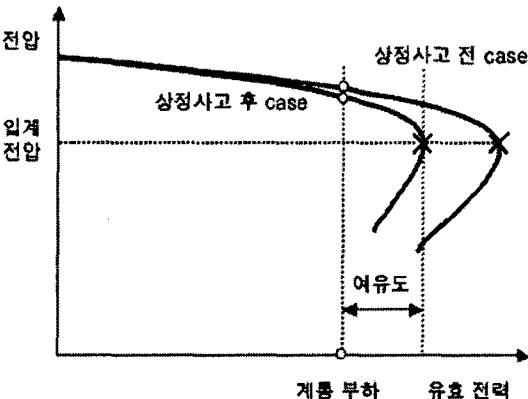


그림 1. P-V 곡선

모선(들) 전압과의 관계를 나타내는 곡선을 작성하는 정상상태 분석도구이다. 모선전압은 일련의 부하와 지역유입 유효전력조류의 증가에 대하여 감소된다. 이 방법의 장점은 모의되는 계통형태에 대하여 일련의 부하수준 또는 경계점 조류에 대하여 전압붕괴점까지의 근접도를 제시하여 준다는 것이다. 전압붕괴의 특성은 어떤 지역으로의 전력유입이 증가됨에 따라, 그 지역의 전압분포가 전압붕괴점에 도달할 때까지 점점 더 낮아진다는 것이다. 해당지역내의 구체적인 모선전압은 크게 다양할 수 있으며, 어떤 특정 모선전압은 만족스러울 수 있다. 그러나 연구지역내의 모든 모선에서의 붕괴점은 특정 모선전압에 관계없이 동일한 전력 유입 수준에서 발생한다.

전압붕괴에 민감한 지역은 상정사고 조류계산 해석으로 파악될 수 있다. 수렴하지 못하거나 과도 후 전압 변동 폭이 큰 케이스는 일반적으로 각각 전압 불안정 운전점에 있거나 근접한 상태에 있는 경우이다. P-V 실행 중에 자코비안(Jacobian) 행렬로부터 dV/dQ 를 감시할 수 있는 특성이 조류계산프로그램에 있는 경우에는, 이 값들이 붕괴가 시작될 모선에 대한 정보를 제공할 수 있다. 붕괴점에 가장 큰 dV/dQ 의 변화율을 갖는 모선이 가장 취약한 모선이다.

부하표현에 대한 3가지 형태, 즉 정전력, 정전류, 정임피던스 부하 가운데, 정전력 부하에 의해 일반적으로 P-V 분석에서 가장 비판적인 붕괴점이 나타난다. 정전력 부하는 근사적으로 배전계통의 전압조정장치의 작용을 표현하므로, 보다 정확한 부하표현을 모르는 경우 사용되어야 한다. 보다 정확한 부하표현이 사용되는 경우, 그 부하는 부하공급변압기의 저압 측에서 모델링 되어야 하며, 변압기 전압조정기에 관한 상세 모델링이 계통표현에 추가되어야 한다. 저압 배전계통에 대한 추가적인 상세 표현이 또한 허용된다.

2.2 Q-V 곡선

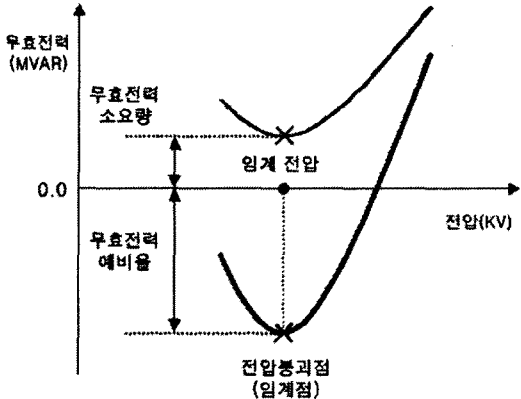


그림 2. Q-V 곡선

P-V분석은 한 지역의 부하 또는 경계점 조류에 대한

Q-V 분석은 외관 후 수분(3분)내의 과도 후 기간동안에 전압붕괴의 가능성을 조사하는 방법을 제공한다. 정상 운전 또는 상정사고 시 높은 송전선로부하를 지원하기에 불충분하거나 비효율적인 전압제어장치가 어떤 지역에 있다면, 그 지역의 전압은 붕괴되어 대 정전 또는 계통 분리 등을 야기 할 수 있다. 상정사고에 견딜 충분한 전압제어장치를 구비하는 외에, 계통상태의 변동을 대처할 충분한 예비력을 갖추도록 하여야 한다. 이 변동의 영향이 소요 무효전력 예비력 결정시에 고려된다.

이 곡선의 최소점(dQ/dV=0)은 임계점이다 Q-V 곡선에서 최소점 왼쪽의 모든 점들은 불안정, 최소점 오른쪽의 점들은 안정한 것으로 판정한다. Q-V 곡선의 최소점이 가로축 위에 있을 경우 계통은 무효전력이 부족한 것이다. 추가적인 무효전력 공급이 전압붕괴를 막기 위해 요구되며 더 많은 무효전력이 가로축과 임계점사이의 거리로 정해지는 무효전력 예비력을 유지하기 위해 요구된다. 충분한 예비력이 계통안전도와 신뢰도가 유지되도록 제공되어야 한다. 임계점이 가로축의 아래에 있다면, 계통은 어느 정도 예비력을 가진다. 그러나 지정 예비력에 따라 그리고, 허용과도 후 전압 유지를 위해, 계통은 여전히 무효전력 부족일 수도 있다. 만일 더 큰 예비력이 지정된다면, 추가적인 무효전력 공급이 요구된다. 전압불안정 또는 붕괴는 부하와 제어장치의 동적 특성에 의해서 영향을 받으며 가장 취약한 모선에서 시작되어 다른 취약 모선으로 파급된다. 그러므로 가장 취약한 모선은 Q-V 곡선을 이용한 전압붕괴 해석에 있어서 중요하다.

2.3. P-V, Q-V 곡선의 제작

PSS/E의 IPLAN에서 제작한 P-V, Q-V 곡선의 제작 순서이다. 조류계산은 FNSL을 사용하였으며, P, Q, V 값은 IPLAN 내부 함수를 이용하여 조류계산된 계통에서 그 값을 저장하였다.

IPLAN을 제작하면서 내부에서 사용된 조건은 명시하지 않고, P, Q, V를 계산하는데 사용한 대략적인 순서만을 기입하였다.

2.3.1. P-V 곡선의 제작

검토/전체 지역 선택
P, V 값을 검토할 모선 선택
반복 조류계산
선택된 지역의 부하를 역률이 동일하게 증가 증가된 부하량 만큼 발전량 증가 (최대 출력 체크)
계산된 P, V 값을 적당한 틀을 이용하여 곡선 제작

부하증가법을 사용하여 제작한 P-V 곡선의 대략적인 순서이다. 검토지역 또는 전체지역의 부하/발전량을 증가하면서 검토 모선의 V값과 전체 발전량의 P값을 이용하였다. 또한, 옵션으로는 유통전력 선로의 유효전력 유입량 증가에 대한 검토 모선의 V값도 제작하였다.

2.3.2. Q-V 곡선의 제작

Q, V 값을 검토할 모선 선택
선택된 모선에 동기조상기 가상설치
반복 조류계산
동기조상기의 출력전압값 입력 계획출력의 무효전력값 저장
계산된 Q, V 값을 적당한 틀을 이용하여 곡선 제작

제작된 Q-V 곡선은 고정부하에 대하여 현재 계통이 가지고 있는 무효전력 예비력과 검토 상정사고에 대한 무효전력의 소요/예비량을 계산하기 위한 Q-V 곡선이다. 이에 따라서 검토 모선에 동기조상기를 가상으로 설치하여 동기조상기의 계획 출력전압에 따른 무효전력 출력을 기록하였다.

2.4. P-V, Q-V 곡선의 실제통 적용

개발된 내용을 2004년 최대 부하계통 상정사고에 적용하여 상정사고시 무효전력 소요/예비량과 유효전력의 예비량에 대하여 검토하였다.

검토된 2004년 최대 부하계통은 다음과 같은 수급조건을 가지고 있다.

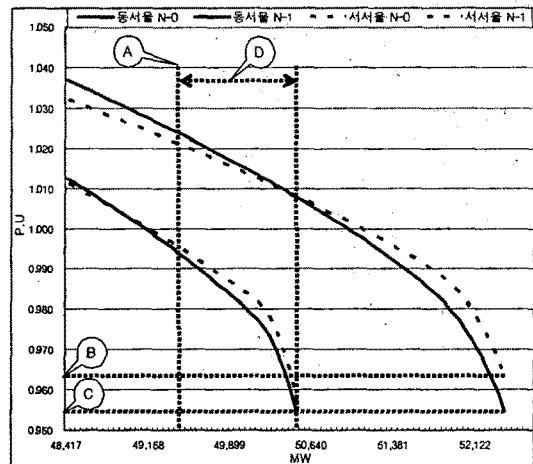
	MW	MVAR
발전량	50,197	
	수도권: 9,746 비 수도권: 40,451	11,175
부하량	49,405	
	수도권: 20,990 비 수도권: 28,415	22,745
조상설비 투입량	0	12,387
선로 충전용량	0	17,656
계통 손실	792	18,472
슬랙모선 (울산 #4)	386	72
부하역률		90.8 %
발전기 투입/설치 기수		187/249 기

유통전력 선로	MW	MVAR
신대백 신가평	2,391	-532
청 양 서서울	1,786	22
신진천 신용인	624	-147
신제천 동서울	1,299	-14
신서산 신안성	2,499	-306
아 산 화 성	2,524	-87
수도권 유통전력	11,122	-1,064

과제 수행을 위하여 수도권 및 인근에 대한 모든 상정사고를 검토하였었다. 본 논문에 실린 P-V, Q-V 곡선은 곡선의 특성 비교를 위하여 2004년 아산-화성 상정사고에 대해 동서울, 서서울 모선의 P-V, Q-V 곡선을 삽입하였다.

2.4.1. P-V 곡선의 실제통 적용

다음 곡선은 2004년 최대 부하계통에서 아산-화성간 상정사고가 발생한 경우 전체계통의 부하증가에 대한 정상상태(N-0)와 상정사고(N-1)시 P-V 곡선이다. 전체 계통의 부하증가에 따른 P-V 곡선이기 때문에 두 모선의 붕괴점은 같은 부하량에서 발생하게 된다.

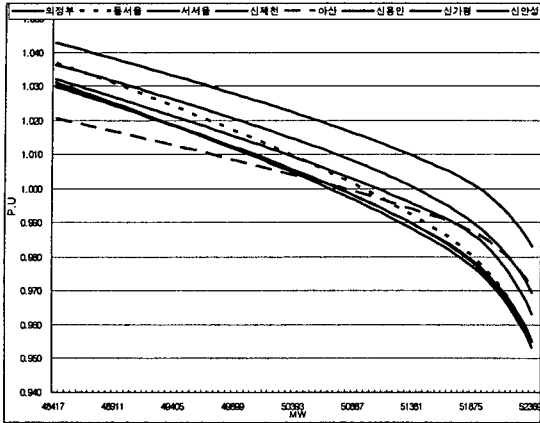


분류	설명
A	정상상태 운전점, X축의 전압값은 운전전압
B	서서울 모선의 정상상태 붕괴점
C	동서울 모선의 정상상태 붕괴점
D	아산-화성 상정사고시 동서울, 서서울 모선에서의 유효전력 여유량 (약 1,900 MW)

N-0 : 정상상태 계통 N-1 : 상정사고 계통

P-V 곡선으로부터 서서울 모선보다 동서울 모선의 전압감쇄 기울기가 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 동서울 모선이 부하증가에 더욱 민감하다는 것을 알 수 있다.

작성된 P-V 곡선으로부터 정상상태의 전압붕괴점과 상정사고 후 전체계통이 가지는 유효전력의 여유량을 알 수 있다.

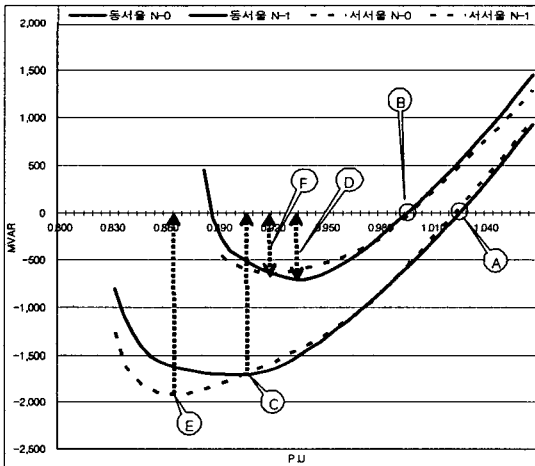


위의 P-V 곡선은 동일 계통에서 유효전력 선로의 P-V 곡선이다.

dV/dP 가 가장 작은 모선은 아산 모선이며, 가장 큰 모선은 동서울 모선이다. 즉, 유효전력 모선에서 전압안정도에 가장 취약한 모선은 동서울 모선이다.

2.4.2. Q-V 곡선의 실제 적용

다음 곡선은 2004년 최대 부하계통에서 아산-화성 상정사고가 발생한 경우 동서울, 서서울 모선의 정상상태(N-0)와 상정사고(N-1)시 Q-V 곡선이다.



분류	설명
A	동서울, 서서울 모선의 정상상태 운전전압
B	아산-화성 상정사고시 예상될 전압강하된 전압값
C	동서울 모선의 정상상태 무효전력 여유량
D	상정사고시 동서울 모선의 무효전력 예비량
E	서서울 모선의 정상상태 무효전력 여유량
F	상정사고시 서서울 모선의 무효전력 예비량
N-0 : 정상상태 계통 N-1 : 상정사고 계통	

작성된 Q-V 곡선으로부터 두 모선의 정상상태 무효전력 여유량과 상정사고시 무효전력의 예비량을 알 수

있다. 정상상태에서 서서울 모선이 동서울 모선보다 더 큰 무효전력 여유량을 가지고 있지만, 상정사고 상태에서는 동서울 모선의 무효전력 예비량이 더 많이 남아 있음을 알 수 있는데 이는 상정사고가 서서울에서 가까운 아산-화성 지점에서 상정사고시 무효전력의 손실이 있기 때문에 생기는 현상이다.

정상상태 및 상정사고 상태의 Q-V 곡선에서 dV/dQ 의 변화율이 서서울 보다 동서울이 더 크게 나오고 있다 따라서 서서울 모선보다 동서울 모선이 전압안정도 측면에서 취약함을 알 수 있다.

3. 결 론

전압안정도를 검토하고, 유효전력, 무효전력의 여유량을 쉽게 감시 할 수 있는 P-V, Q-V 곡선은 그 제작의 어려움으로 실제 많이 사용되고 있지 못하고 있다. 이에 따라서 본 논문은 P-V, Q-V 곡선을 전력계통 해석에서 널리 사용하고 있는 PSS/E를 응용하여 P-V, Q-V곡선을 제작할 수 있었다.

제작된 P-V, Q-V 곡선들로부터 계통에 대한 모선들의 특성을 파악 할 수 있고, 취약 모선을 검토할 수 있으며, 상정사고 등 여러 상황에 대하여 모의함으로써 계통을 분석하는데 많은 도움을 얻을 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 전력거래소, 충남대학교 "수도권 순동 무효전력 확보방안에 관한 연구", 2002, 11
- [2] "전압 안정도 기준, 저전압 부하차단 전략 및 무효전력 예비력 감시법", 북미 서부지역 전력계통 지역 신뢰도 위원회
- [3] 한국전력공사, 충남대학교, "전력계통 전압안정성 자동감시 시스템 개발", 1998.9
- [4] M.A.Pai, "Transient Stability of Power Systems"
- [5] Carson W. Taylor, "Power System Voltage Stability"
- [6] Donald E. Kirk, "Optimal Control Theory"
- [7] 박철우, "수도권 및 인근지역의 순동 무효전력 확보방안에 관한 연구", 대한 전기학회 하계 학술대회, 2002.7