

몬테카를로 기법을 이용한 전압안정도 여유산정에 관한 연구

문현호*, 신명철*, 차재상**, 최상열***
 성균관대학교*, 서경대학교**, 인덕대학교***

A Study on Computaion for Voltage Stability Margin Using Monte-Carlo Simulation Method

Hyun-Ho Moon*, Myong-Chul Shin*, Jae-Sang Cha**, Sang-Yeoul Choi***
 Sungkyunkwan University*, Seokyeong University**, Induk Institute of Technology***

Abstract - 종래의 대규모계통에서 전압안정도의 여유판별을 시행 할 경우 수식적 접근법을 이용한 해석 방법이 사용되어 왔다. 하지만, 이러한 수식적 해석 방법들은 실제 계통에 적용할 경우 상태변수가 많아지고 계산식이 복잡해짐에 따라 많은 계산과정과 시간이 소요되는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 전압안정도의 여유판별을 빠르고 정확하게 해석하기 위하여 난수를 이용한 확률적 접근방식의 하나인 몬테카를로 기법을 전압 안정도의 여유계산 방안으로 제시 하고자 한다.

1. 서 론

최근 전력계통은 전력수요의 급증으로 인해 규모가 복잡해지고 거대화 되어감에 따라 여러 가지 문제들이 제시되고 이 문제들에 대한 다양한 관점에서의 해결방안이 제시되어지고 있다. 여러 가지 문제 중 전압안정도에 관한 연구는 선진 각국에서 발생한 전압붕괴에 따른 대정전사태 이후 그 관심도가 매우 높아졌다.

전압안정도문제를 예방하기 위해서는 전압안정도여유를 산정하여 계통운용에 적용해야 한다. 전압안정도여유의 산정은 유효전력(P)과 모션전압(V)으로 관계되는 P-V곡선에서 현재운용점과 전압붕괴점의 거리를 계산하여 산정할 수 있다. 하지만 현대사회의 전력계통은 거대하고 복잡한 성향을 띠고 있어 위와 같은 수식적방법으로 전압안정도여유를 산정하면 고려해야 할 상태변수의 수가 많아 수식적으로 복잡해져 많은 계산과정과 시간이 소요되는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 복잡한 수식이 아닌 확률론적인 방법 중 하나인 몬테카를로 기법으로 P-V곡선을 해석함으로써 전압안정도여유를 산정하고자한다. 몬테카를로기법은 난수를 이용한 확률적 기법으로 해석적 또는 수치적으로 해를 구하기 어렵거나 복잡한 문제의 근사해를 찾는 데 매우 유용한 기법이다[1].

소규모계통이고 신뢰성이 높은 계통에서는 계통구성요소의 사고율이 매우 낮아 안정도를 판별할 때 수식적 방법으로 해를 구하여도 고려해야 할 사항이 적어 간단한 계산과정과 단시간으로 계통의 해석이 가능하므로 수식적방법을 사용하는 것이 유리하다. 그렇지만 대규모계통이나 신뢰성이 낮은 계통을 해석함에 있어서는 여러 발전기나 송전선로가 동시에 탈락할 확률이 증가하여 고려해야 할 상태수가 증가함으로 수식적 방법이 아닌 몬테카를로기법으로 해석하는 것이 유리하다.

본 논문에서도 P-V곡선이 존재하는 2차원 도면에 임의의 난수를 발생시켜 전체 발생된 난수의 수와 P-V 곡선 내에서 현재운용점(Operating Point)과 임계점(Critical Point) 사이에 포함되는 난수를 비교하여 전압안정도여유를 산정하여 수식적해석보다 빠르면서 근사한 해의 값을 도출함으로써 안정도여유계산 방안으로 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전압안정도

전압안정도는 계통의 모션전압이 정상상태이거나 혹은 외란이 발생한 이후에도 수용할 수 있는 정상적인 전압을 유지할 수 있는가 하는 전력계통의 능력을 말한다[2].

2.1.1 P-V 곡선 안정도여유

P-V곡선은 전압안정도를 해석하는 매우 유용한 도구로 사용되고 있다. 그림 2.1과 같이 부하측 전력 P_R 전압 V_R 의 관계로 나타내는 p-V 곡선은 전력값과 전압값만을 가지고 계통전체 전압안정도를 판별할 수 있다는 장점을 가지고 있다[3].

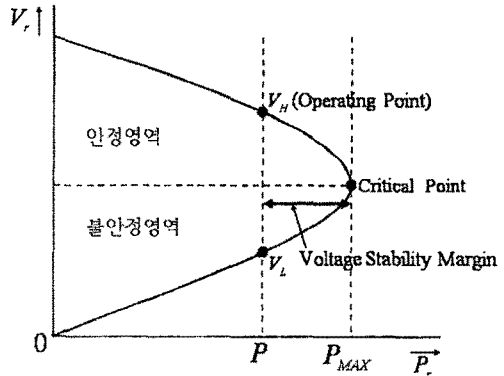


그림 2.1 P-V 곡선

그림 2.1에서 보면 p의 최고값을 가지는 점이 임계점(Critical point)이다. 여기서 임의의 p 값에서 V_r의 값에서 V_H와 V_L의 두 가지 값을 취할 수 있는데 일반적으로 V_H를 안정근 V_L불안정근이라 한다. 또한 임계점을 기준으로 상위영역을 안정영역이라 하고 하위영역을 불안정영역이라 한다. 위와 같이 p-V곡선은 현재운용되는 점에 전력값과 전압값을 비교해 계통에 전압안정도상태를 정확하게 판별하는 수단으로 널리 사용되고 있다.

2.1.2 전압안정도 여유

전압안정도여유(Voltage Stability Margin)은 그림2.2에서와 같이 현재운용점(Operating Point)과 임계점(Critical Point)사이의 거리를 말하며 이 거리는 전력계통을 운용하는데 중요한 자료로 사용되고 있고 다음 식(1)과 같이 정의하였다[4].

$$Margin = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^L - \sum_{i=1}^n P_i^N}{\sum_{i=1}^n P_i^L} \quad (1)$$

여기서,

- N : 현재운용점(Operating Point)
- L : 임계점(Critical Point)
- P_i^L : 임계점에서 i 모선의 부하
- P_i^N : 현재운용점에서 i 모선의 부하
- I_L : 부하모선의 집합

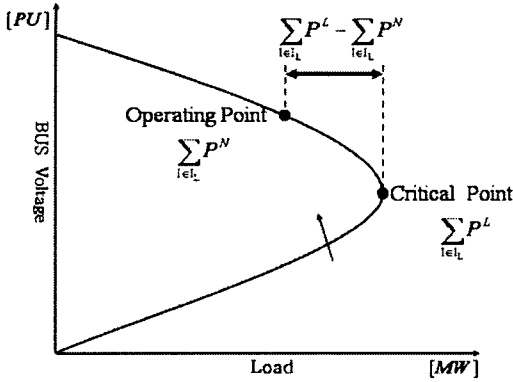


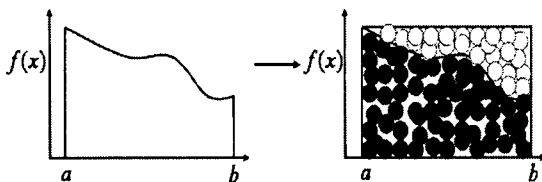
그림2.2 전압안정도 여유

2.2 몬테카를로기법

몬테카를로기법(Monte Carlo Method)은 난수를 이용한 확률적 기법으로 해석적 또는 수치적으로 해를 얻기 어렵거나 불가능한 문제의 근사해를 찾는 데 유용하다[5].

몬테카를로법은 많은 수의 실험을 바탕으로 통계 자료를 얻어 그 자료로부터 역으로 산출하여 어떤 특정한 수치나 확률분포를 구하는 방법이다. 특성상 통계자료가 많을수록, 또 입력값의 분포가 고될수록 결과의 정밀성이 보장된다는 것을 알 수 있기 때문에 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션이 가능하다.

몬테카를로기법의 장점으로는 우선 적용하기 쉽다는 점이 있다. 실제로 목표의 값을 정확히 구하기 위해서는 여러 가지 수학적 공식 등 다양한 배경 지식을 바탕으로 올바른 알고리즘을 만들어 그 값을 계산해야 하지만, 몬테카를로법은 그런 모든 절차와 관계없이 짧은 컴퓨터 프로그램 몇 줄만으로 쉽게, 비교적 정확한 수치를 얻을 수 있다. 몬테카를로기법을 통한 실험을 설계할 때는, 입력값의 확률분포와 실험의 수학적 모델링이 정확하지 않으면 몬테카를로 방법의 무의미하다는 단점이 있으며, 난수의 분포가 분석에 큰 영향을 미치므로 필요한 난수의 범위와 분포에 따른 올바른 난수 생성 함수를 작성하여야 한다.



$$\int_a^b f(x) dx \approx A(b-a) \left(\frac{\# \bullet}{\# \bullet + \# \circ} \right)$$

그림2.3 몬테카를로기법

2.3 몬테카를로기법을 이용한 전압안정도 여유산정

본 연구에서 몬테카를로기법(Monte Carlo Method)은 기존의 해석적 및 수치적으로 구하기 어려운 전압안정도여유(Voltage stability Margin)를 보다 쉽고 신속하게 산정할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

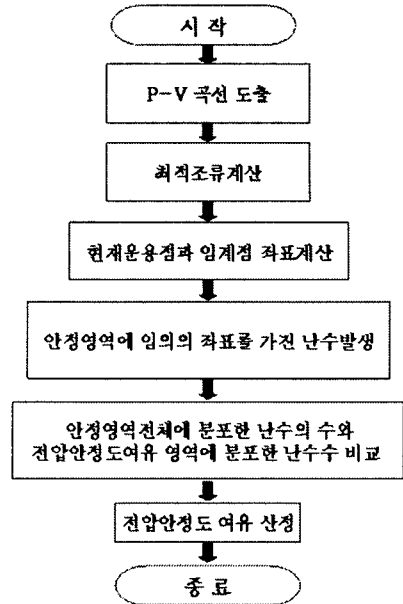


그림2.4 제안된 알고리즘 흐름도

그림 2.4은 본 논문에서 몬테카를로기법을 이용한 전압안정도 여유산정 알고리즘의 흐름도이다.

전압안정도여유를 산정하기 위한 첫 번째 단계로 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 사용하여 임의의 계통을 모의하여 계통의 현재 P-V곡선을 도출한다. 다음단계는 최적조류계산을 통하여 현재운용점(Operating point)과 임계점(Critical Point)을 계산하여 좌표값을 계산한다.

계산후 P-V곡선 전체의 좌표값과 현재운용점과 임계점의 좌표값을 아스키(ASCII)형식의 파일로 저장하여 LabView프로그램에서 읽어와 곡선전체를 X-Y그래프로 표현하였다. 표현한 X-Y 도면상에 2차원 좌표값을 가지고 있는 임의의 난수들을 생성하였으며, 몬테카를로기법에서 난수의 수가 많고 분포가 고될수록 결과가 정밀해지는 특성이 있으므로 난수의 생성이 매우 중요하다. 이 때문에 컴퓨터를 사용하여 난수를 발생시킨다.

생성된 난수들을 P-V도면에 난수가 가지고 있는 좌표값에 맞추어 배열한 후 임계점을 중심으로 상위영역인 안정영역에 분포한 난수의 수와 현재 운용점과 임계점사이인 전압안정도 여유영역에 분포한 난수의 수를 계산하여 전압안정도 여유를 산정한다. 기존의 수식으로 적분값을 계산하여 비교하는 시간보다 더 신속하게 전압안정도여유산정이 가능하다.

2.4 모의실험 및 고찰

본연구에서는 PSCAD/EMTDC를 사용하여 그림 2.5와 같은 계통모형을 모의하였다

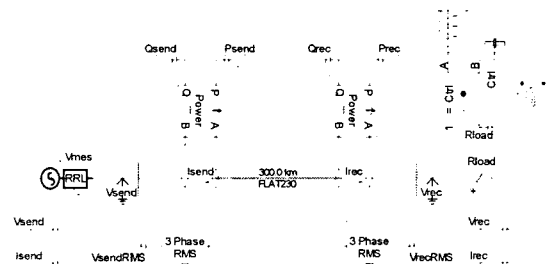


그림2.5 PSCAD/EMTDC로 모의한 모델 계통도

그림2.5의 모의한 계통모델의 송전전압과 주파수가 각각 765[KV], 60[Hz]로 300Km를 송전되는 모의계통도로써 수전단 부하는 1000[A]으로 설정되어 있다.

그림2.6는 모델계통에서의 P-V곡선을 X-Y도면에 표시한 것이다.

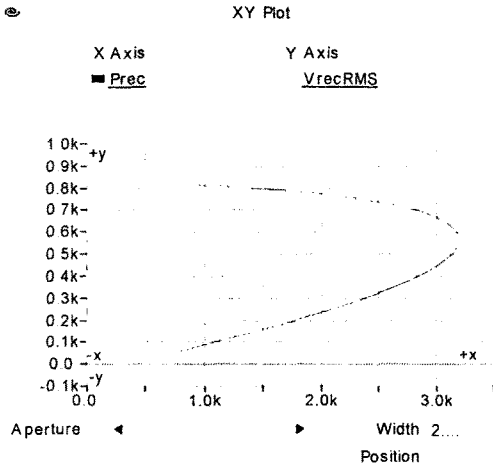


그림2.6 P-V곡선

모델계통을 최적조류계산을 통하여 현재 운용점과 임계점의 좌표를 얻을 수 있고 P-V곡선의 좌표값과 함께 아스키파일로 저장한 후, 저장되어진 좌표값들을 LabView 프로그램으로 읽어 들여 몬테카를로 기법을 적용한다.

그림2.7은 몬테카를로 기법을 적용한 LabView프로그램의 User Interface와 Source Code 이다.

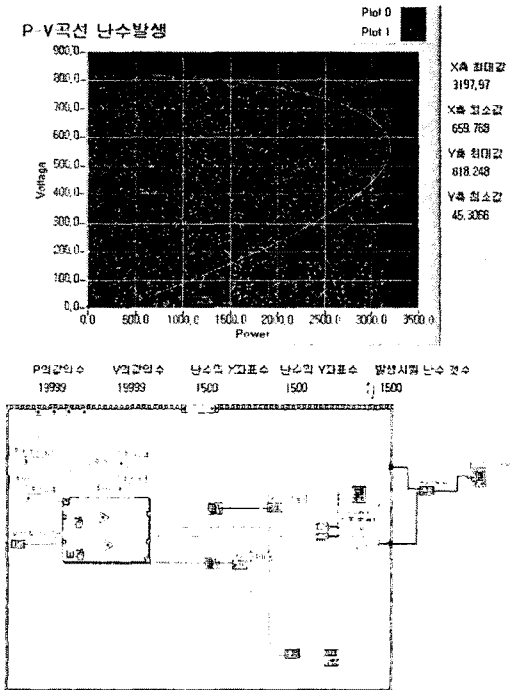


그림2.7 LabView를 이용하여 구현한 User Interface와 Source Code

위 그림 2.7과 같이 X-Y도면에 총1000개의 난수를 발생시켜 시뮬레이션 한 결과 안정영역 전체에 포함되어 있는 난수의 수와 현재 운용점과 임계점사이의 난수의 개수를 비교하여 보면 약 21%정도의 전압안정도 여유가 남았다고 판단할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 몬테카를로 기법이 가지고 있는 간단한 시뮬레이션으로 근사치의 해를 얻을 수 있는 장점을 이용하여 전압안정도를 해석하는 지표인 P-V곡선 상에서 전압안정도 여유산정을 하였다. 이러한 결과는 송전선의 장거리화와 급변하는 부하가 존재하는 실제통에 적용되어지면 더욱 유용할 것으로 판단되어진다.

몬테카를로 기법은 확률적 기법으로 통계자료가 많을 수록 난수분포가 고를수록 정밀한 값을 얻을 수 있다. 향후 난수발생에 대한 지속적 연구와 실제통과 흡사한 대규모계통에 대한 사례연구와 실측되어진 전압안정도 여유량과의 비교분석이 추가되어지면 더욱 효과적으로 적용할 수 있으리라 판단되어 진다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김재삼, "몬테카를로 방법의 물리학적 응용" 대우학술총서
- [2] Prabha Kundur, "Power System Stability and control", Mc Graw, 1993
- [3] Carsom W.Taylor, "Power Sytem Voltage Stability", Mc Graw, 1994
- [4] 김용하 정현성, "최단부과 전압안정도여유를 고려한 수송능력산정 알고리즘의 개발에 관한 연구 KIEE Trans 제52권 제 10호 p557~562 2003
- [5] 김건중, "전력계통 전압안정도해석기술", KIEE Trans 제 50권 제 7호 p.30~36 2001