

EMTDC 내에서의 다단자 등가 축약 모델 구현

김형준*, 정병태*, 김성희*, 안복신*, 홍준희*

*: LG 산전 연구소 시스템 연구실, *: 경원 대학교 전기 공학과

Implementation of Multi-port Equivalent Model in EMTDC

Hyung-Jun Kim*, Byung-Tae Jung*, Seong-Hee Kim*, Bok-Shin Ahn*, Jun-Hee Hong*

*: LGIS, *: Kyung-Won Univ.

Abstract

대규모 과도현상의 모의에는 엄밀한 모델링과 많은 계산부담이 요구되어 이러한 복잡성을 줄이면서도 해의 정확도를 유지할 수 있는 MD법이 제안되었다. 본 논문에서는 MD법을 EMTDC내에서 구현하는 방법에 대해 소개하며 제시된 모델의 타당성을 3상 모의계통에서 축약 전후의 과도전압 파형을 비교함으로써 검증하였다.

1. 서 론

현대와 같은 대규모 시스템에서 과도현상 해석시 EMTP나 EMTDC등의 모의 해석 프로그램들은 비선형 계통요소들이나 스위치의 작동과 같은 시변요소들을 직접적인 방식으로 다룰수 있는 시간영역 해법을 사용하고 있다. 그러나 시스템을 구성하는 여러 계통요소들에 대하여 그 특성을 정확하게 나타낼수 있는 복잡한 구조의 모델을 사용하게 되면 기억용량이나 계산시간등의 제약이 따르게 되어 현실적으로는 과도현상 해석이 불가능하게 된다.

최근에 과도현상 해석시 따르게 되는 이러한 복잡성을 줄이면서도 또한 해의 정확도를 잃지 않는 방법으로 EMTP나 EMTDC내의 모델 표현법과 상응하는 방법들이 제시되었다. [1,2]

본 연구에서는 시간영역에서의 다단자 회로망의 형태로 등가시스템을 구하는 방식인 MD법에 대해 간단히 소개하고 이를 EMTDC내에 구현하는 방법을 기술하고 이를 3상 모의계통에서의 축약 전후의 과도전압 파형을 비교하므로써 타당성을 검증하였다.

2. MD법

그림 1.의 시스템과 같이 전체 시스템을 구성하는 해석대상 시스템과 축약대상 시스템이 M개의 경계 모선으로 연결된 경우를 고려한다.

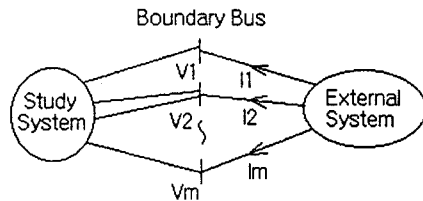


그림 1. 축약대상 시스템

Fig. 1. External and study system

이때 축약대상 시스템을 대신할 등가시스템은 M개의 경계모선에 나타나는 전압 전류의 관계를, 요구되는 주파수 대역에 걸쳐 정확하게 재현할 수 있는 능력을 가져야한다.

축약대상 계통이 N개의 모선을 가지는 경우 이를 전체 계통에서 분리했을 때 각 모선에서 나타나는 전압 전류 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} Y_{TT} & T_{TH} \\ Y_{HT} & Y_{HH} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_T \\ V_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_T \\ I_H \end{bmatrix}$$

단, V_T, I_T : 경계모선에서의 전압, 전류

V_H, I_H : 나머지 모선에서의 전압, 전류

축약대상 시스템이 수동인 경우 ($I_H=0$)와 능동인 경우 ($I_T=0$)에 대해 각각 풀면, 모선전압은

$$V_T = V_{TT} + V_{TH}$$

와 같이 중첩정리에 의해 구할 수 있다.

즉, 축약대상 시스템이 수동인 경우 모선 m에서의 등가시스템은 구동점 어드미턴스에 대한 등가시스템, $i_{mm}(n) = Y_{eq,m} v_m(n) + H_{mm}(n-1)$

$$H_{mm}(n-1) = \sum_{k=1}^n \text{hist}_{mm}^k(n-1)$$

과 전달 어드미턴스에 대한 등가 시스템,

$$i_{mj}(n) = H_{mj}(n-1), m \neq j, 1 \leq j \leq M$$

$$H_{mj}(n-1) = \sum_{k=1}^n \text{hist}_{mj}^k(n-1), m \neq j, 1 \leq j \leq M$$

으로 구성되며 축약대상 시스템이 능동인 경우에는 적절한 테브난 전압원을 수동 등가시스템에 연결하는 방식으로 처리할 수 있다.

3. EMTDC내에서의 구현

2단계에 대해 EMTDC내에서 구현된 MD모델은 그림 2.와같이 테브난 전압원과 자기단과 상대단의 전압에 의존하는 전류원으로 구성된다.

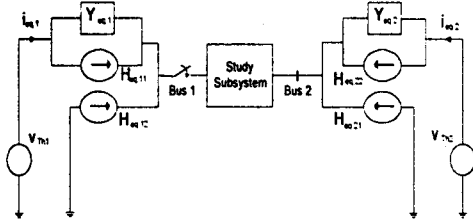


그림 2. 2-단자 등가시스템
Fig. 2. 2-port equivalent model

테브난 전압원의 크기와 위상은 경계모선 개방시의 페이서 전압으로 정의되므로 모의계통이 정상상태에 도달한 후, 경계모선의 전압의 크기와 위상을 측정하면 얻어진다. EMTDC에서는 source3이라는 3상전압원 모델을 이용하면 테브난 전압원을 쉽게 구현할 수 있으며 source3의 파라미터 중에서 Tc를 0으로 주면 곧바로 정상상태에서 모의가 시작되게 할 수 있다. 또한 source3의 파라미터중에서 초기위상각 Ph는 해석대상 시스템 내의 전압원과의 상대적인 위상각으로 주면 된다. 테브난 전압원의 적합성 여부는 다른 모든 전류원을 제거하고 경계모선을 개방한 상태에서 축약전 경계모선에서의 개방전압과 비교함으로써 판단할 수 있다.

중속전류원은 크게 두가지로 구분되는데, 하나는 자기단의 전압에 의존하는 것과 다른 경계모선의 전압에 의존하는 것이 있다. 그림 2.에서 테브난 전압원에 연결된 중속전류원은 자기단의 전압에 의해 결정되는 전류원으로 등가저항과 병렬로 연결된다. 중속전류원은 EMTDC에서 제공되는 src_ccur이라는 외부제어 전류원을 이용하면 되는데 이때 외부제어 변수를 결정해주는 모델을 사용자가 만들어 주면 된다. 본 논문에 사용된 전류원 제어 모델의 형태는 그림 3.과 같다.

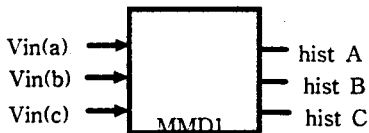


그림 3. 전류원 제어 모델

Fig. 3. Model for a external control current source

그림 3.은 블랙박스의 형태로 표현된 모델은 자기단의 테브난 전압값과 경계모선 전압값의 차를 입력으로 하여 중속전류원의 크기 hist_A, hist_B, hist_C

를 결정하는데 포트란 부함수를 호출하여 매 모의스텝마다 계산을 수행한다. 포트란 부함수의 매개변수로 임펄스 응답에 대해 프로니 해석을 통해 구한 파라미터가 이용된다.[1] 3상모델에서는 다른 상과의 상호결합에 의한 영향이 고려가 되어야 하는데 이는 다음과 같은 형태로 고려가 되었다.

$$\begin{aligned} \text{hist11_A} &= \text{hist11_aa} + \text{i11_ab} + \text{i11_ac} \\ \text{hist11_B} &= \text{hist11_bb} + \text{i11_ba} + \text{i11_bc} \\ \text{hist11_C} &= \text{hist11_cc} + \text{i11_ca} + \text{i11_cb} \end{aligned}$$

위 식에서 hist11_aa는 A상만의 구동점 임펄스 응답에 의해 결정된 파라미터로 얻어지고, i11_ab와 i11_ac는 A상에서 가한 임펄스 전압에 대해 B상과 C상에서 얻어진 전달 임펄스 응답으로부터 결정된 파라미터로 구해진다. 나머지 다른 상에 대해서도 같은 방법으로 구해졌다. 또 hist_A에 병렬로 연결되는 등가저항은 A상의 구동점 어드미턴스값으로 근사적으로 전압임펄스에 대한 초기 전류응답의 크기로 결정되었다. 이 등가저항은 hist11_aa와 병렬로 연결되는 것으로 생각할 수 있다.

다른 경계모선의 전압값에 의존하는 중속전류원도 같은 방식으로 표현되는데 자기단의 중속전류원 결정모델과는 내부 계산시 차이를 가지게 된다. 이는 두 경계모선 간의 전달 임펄스 응답이 두 모선을 연결하는 선로의 분포특성에 기인한 시지연을 가지기 때문이다.[2] 이로 인해 전달 임펄스 응답으로부터 결정된 중속전류원은 두 모선간의 시지연에 해당하는 모의스텝 전의 전압값에 의해 구해지므로 그림 2.에서와 같이 등가저항에 해당하는 성분이 없게된다. 그러므로 이때 얻어지는 전류원 제어값은 포트란 부함수 내에서는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{hist12_A} &= \text{i12_aa} + \text{i12_ab} + \text{i12_ac} \\ \text{hist12_B} &= \text{i12_bb} + \text{i12_ba} + \text{i12_bc} \\ \text{hist12_C} &= \text{i12_cc} + \text{i12_ca} + \text{i12_cb} \end{aligned}$$

4. 사례연구

본 논문의 사례연구에 이용된 3상 모의계통은 그림 4.와 같이 2기 7모선계통으로 경계모선은 모선1과 모선5로 선정하였다.

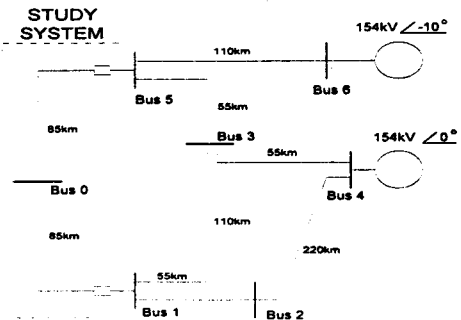


그림 4. 3상 모의계통
Fig. 4. Test System

모의시스템은 50microsec로 하였고, 프로니 해석결과 얻은 전류원 제어 모델의 내부 파라미터는 최고 53차였다.

축약모델의 타당성 검증을 위하여 세가지 시험을 하였다. 첫째, 경제모선을 개방한 후, 정상상태에 이르면 경제모선1과 5를 동시에 투입하는 선로가압시험이다. 두 번째 시험은 선로가압 후, 정상상태에 이르렀을 때 모선0에서 A상 1선지락고장을 가하였다. 이는 첫 번째 시험이 3상평형시험이므로 이때 여기되지 않은 모드들을 영향을 보기위한 것이다. 마지막 세 번째 시험은 고장 후 약5주기 후에 재폐로 시험을 하였다. 그림 5.는 3가지 시험의 결과를 보인 것으로 모선 0에서의 A상 과도 전압을 보인 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 홍준희, 정병태, 김성희, 안복신, “과도현상 해석을 위한 시간영역에서의 등가축약법: 구동점 어드미턴스 모델”, 대한전기학회 논문지, 45권 12호, pp.1688-1694,1996
- [2] Harinderpal Singh and Ali Abur, “Multi-port Equivalencing of External Systems for Simulation of Switching Transients”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, pp.374-382, 1995

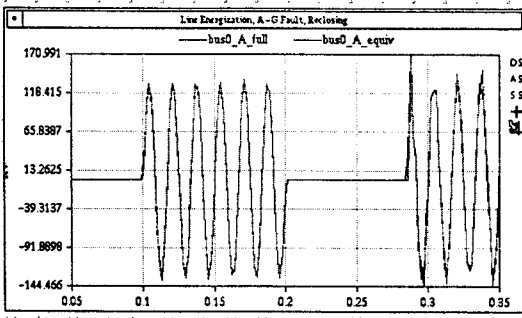


그림 5. 축약 전후의 모선 0의 A상 과도전압 파형
Fig. 5. Voltages of A-phase at bus 0

그림 5.에서 0.1초에 선로가압을 하고, 0.2초에는 1선 지락고장을 인가하였고, 0.283초에 재폐로 하였다. 그림 5.에서 제안된 축약모델은 원래의 과도전압을 그대로 재현할 수 있음을 보이고 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 복잡한 계통을 테브난 전압원과 중속전류원으로 표현하는 MD법에 대해 소개하고, 이를 EMTDC내에 구현하는 방법을 기술하였다. 제안된 등가축약모델은 3상 상영역에서의 임펄스 응답을 프로니 해석을 이용하여 파라미터를 얻었고, 이를 중속전류원 제어에 이용하였다. 제안된 모델의 타당성 검토를 위하여 3상 모의계통에서의 선로가압, 1선지락, 그리고 재폐로 시 축약 전후의 과도전압 파형을 비교하였고, 이로써 축약모델의 정확도를 보일 수 있었다.

제안된 등가모델은 최고 53차의 내부 파라미터를 이용하였는데, 향후 다른 방식의 모드 선정기준을 연구하여 저차 모델을 개발할 예정이고, 모의시스템의 변화에 관계없이 적용가능한 모델에 대한 연구를 할 예정이다.