

# 전자기 과도현상 해석을 위한 Z 영역에서의 주파수 의존 교류시스템 등가

論 文  
51A-6-7

## Z-Domain Frequency Dependent AC System Equivalent for Electromagnetic Transient Studies

王龍泌\*·鄭亨煥\*\*  
(Yong-Peel Wang · Hyeng-Hwan Chung)

**Abstract** - Modern power systems are very complex and to model them completely is impractical for electromagnetic transient studies. Therefore areas outside the immediate area of interest must be represented by some form of Frequency Dependent Network Equivalent (FDNE). In this paper a method for developing Frequency Dependent AC system Equivalent (FDACSE) using Z-domain rational Function Fitting is presented and demonstrated. The FDACSE is generated by Linearized Least Squares Fitting(LSF) of the frequency response of a Z-domain formulation. This 1 & 2 port FDACSE have been applied to the New Zealand South Island AC power system. The electromagnetic transient package PSCAD/EMTDC is used to assess the transient response of the 1 & 2 port FDACSE developed under different condition (linear load, fault and nonlinear loading). The study results have indicated the robustness and accuracy of 1 & 2 port FDACSE for electromagnetic transient studies.

**Key Words** : Frequency Dependent AC System Equivalent(FDACSE), Electromagnetic Transient, Least Squares Fitting(LSE)

### 1. 서 론

전력시스템 과도현상은 시간영역(Time Domain)에서 정확하고 효과적으로 해석되어야 한다. 그러나 대규모 전력시스템을 상세하게 표현하기 위해서는 엄청난 계산량이 필요하게 된다. 그러므로 전력시스템의 작은 부분은 상세하게 표현하고, 나머지 부분은 효과적인 등가회로로 표현하는 방법이 필요하다. 상용 주파수 단락회로를 기초로 한 종래의 등가방법은 다른 주파수 성분이 존재하므로 외부 회로망의 과도현상을 해석하기에는 부적절하다. 주파수 의존 모델링의 기초는 시간영역과 주파수 영역에서 관계를 가지고 있다. 시간영역 응답은 여기 입력신호를 가지는 시스템 임펄스 응답의 상승(Convolution)이며, 이 상승은 주파수영역에서는 증배(Multiplication)이다. 따라서 과도현상 해석시 주파수 응답이 정확하게 해석된다면 정확한 시간영역에서의 해석이 될 것이다. 그러므로 과도현상을 해석하기 위하여 해석 하고자 하는 주파수 영역에서 외부 회로망을 정확하게 표현할 필요가 있다. 시간영역에서 정확하고 효과적인 과도현상 해석을 위하여 주파수 영역(Frequency Domain)에서 주파수 특성을 반영하는 주파수 의존 등가 회로망(Frequency Dependent Network Equivalent: FDNE)이 필요로 한다[1-7].

초기의 개발된 주파수 의존 등가회로는 등가회로망은 외부 회로망과 같은 주파수 응답을 가진다고 가정하여 집중 정수

RLC 회로망을 이용한 외부 시스템을 모델링하였다[8-12]. 집중 정수 RLC 회로망은 현존하는 과도해석 프로그램을 광범위하게 수정하지 않고도 쉽게 적용할 수 있었다. 그러나 집중 정수 RLC 회로망은 모든 주파수 영역에서 등가 하는 것은 제한이 있었다.

본 논문에서는 주파수 응답의 Z 영역 유리함수적합(Z Domain Rational Function Fitting)을 이용하여 주파수 의존 등가 회로망(FDNE)을 개발하였다. 여기서 최소 제곱 적합(Least Squares Fitting)을 이용하여 Z 영역 유리함수를 구성하였고, 이 유리함수를 이용하여 노턴 등가(Norton Equivalent) 회로로 표현한 Z 영역 1 & 2 포트(1 & 2 port) 주파수 의존 교류 시스템 등가(Frequency Dependent AC System Equivalent: FDACSE)를 개발하였다. 개발한 1 & 2 포트의 FDACSE의 유용성을 입증하기 위하여 전자기과도현상 프로그램인 PSCAD/EMTDC에 적용하여, 다양한 부하조건(선형부하, 고장, 비선형부하)에서 뉴질랜드 교류 시스템과 과도현상을 비교·검토하였다. 이상의 결과 개발한 Z 영역 1 & 2 포트 FDACSE의 강인성과 정확성을 확인하였다.

### 2. Z 영역의 주파수 의존 회로망 등가

#### 2. 1. 주파수 영역 동정

Z 영역에서 주파수 의존 등가 회로망을 개발하기 위하여 다음과 같은 과정이 필요하다. 첫째, 시간영역 혹은 주파수 영역에서 시스템 응답을 주파수 의존 임피던스나 어드미턴스로 나타낸다. 둘째, 주파수 영역 동정(Frequency Domain

\* 正 會 員 : 東亞大 電氣電子컴퓨터工學部 時間講師 · 工博

\*\* 正 會 員 : 東亞大 電氣電子컴퓨터工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 1月 31日

最終完了 : 2002年 4月 11日

Identification)을 사용하여 시스템 파라미터를 Z 영역에서 유리함수적합(Rational Function Fitting)한다. 셋째, 과도현상 시뮬레이션 프로그램에서 노턴 등가(Norton Equivalent)회로 표현인 주파수 의존 등가 회로를 완성한다.

과도현상을 해석하기 위하여 대상시스템은 경계모선을 통해 해석시스템(Study System)과 외부시스템(External System)으로 연결되어 있다. 따라서 외부 시스템의 주파수 의존 등가회로는 이 경계모선에서 구동점(Driving Point) 전달 임피던스(Transfer Impedance)나 전달 어드미턴스(Transfer Admittance) 함수로 나타내어야 한다. 또한 이 외부 시스템은 주파수 영역이 0-5000[Hz]에서의 주파수 의존 등가회로로 구성하여야 정확한 과도현상을 해석할 수 있다.

주파수 영역 동정에서 임피던스와 어드미턴스를 구성하기 위하여 시간 영역에서 단자 모선에 전류나 전압을 입력으로 사용한다. 여기서 전류 입력으로 한 경우는 출력이 전압이므로 임피던스로 나타내어지고, 전압 입력으로 한 경우는 출력이 전압이므로 어드미턴스로 나타내어진다.

그림 1은 시간영역 시뮬레이션에서 외부 시스템의 전압파형을 나타낸 것이다. 또한 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transformer)을 이용하여 그림 2와 같은 주파수 영역 응답을 구할 수 있다.

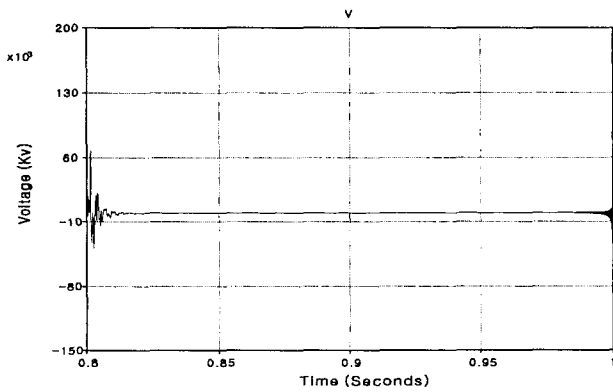


그림 1 시간 영역 시뮬레이션에서의 전압파형  
Fig. 1 Voltage waveform from time domain simulation

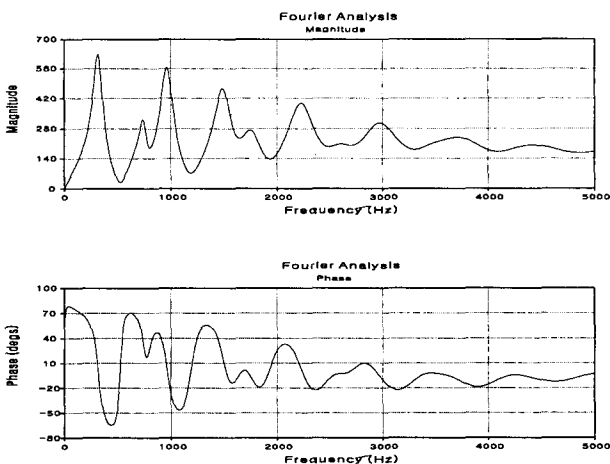


그림 2 주파수 응답  
Fig. 2 Frequency response

## 2.2. 모델 적합

주파수 영역 응답을 등가 회로망으로 구성하기 위하여 유리함수(Rational Function)로 구성하기 위하여 곡선 적합(Curve Fitting)이 필요하다. 현재 유리함수 적합방법은 S 영역과 Z 영역에서 구성할 수 있다. Z 영역 유리함수 적합은 주파수 의존 등가회로를 구성하기 쉽고 구성 오차가 없는 노턴 등가회로로 구성할 수 있다. 따라서 주파수 영역 응답을 Z 영역에서 식 (1)과 유리함수로 적합할 필요가 있다.

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_mz^{-m}}{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_mz^{-m}} \quad (1)$$

만약 식(1)과 같은 유리함수의 주파수 응답을 평가하기 위하여 식(2)와 같이 나타낸다.

$$H(j\omega) = \frac{\sum_{k=0}^m (a_k z^{-kj\omega\Delta t})}{1 + \sum_{k=1}^m (b_k z^{-kj\omega\Delta t})} \quad (2)$$

여기서  $b_0 = 1$

식(2)에서 분모항을 왼쪽항에 곱하여 식(3)과 같이 나타낸다.

$$H(j\omega) = - \sum_{k=1}^m ((b_k \cdot H(j\omega) - a_k) \epsilon^{-kj\omega\Delta t}) + a_0 \quad (3)$$

식(3)에서  $H(j\omega) = c(j\omega) + jd(j\omega)$ 과  $\epsilon^{-kj\omega\Delta t} = \cos(k\omega\Delta t) - j\sin(k\omega\Delta t)$ 을 이용하여 실수부와 복소수부로 나누면 식(4)과 식(5)로 나타낸다.

$$-c(j\omega) = \sum_{k=1}^m (b_k \cdot (c(j\omega) \cos(k\omega\Delta t) + d(j\omega) \sin(k\omega\Delta t)) - a_k \cos(k\omega\Delta t)) - a_0 \quad (4)$$

$$-d(j\omega) = \sum_{k=1}^m (b_k \cdot (d(j\omega) \cos(k\omega\Delta t) - c(j\omega) \sin(k\omega\Delta t)) - a_k \sin(k\omega\Delta t)) \quad (5)$$

식(4)과 식(5)을 이용하여 행렬형태로 표현하면 식(6)과 같이 구성할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{a} \\ \underline{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{C} \\ \underline{D} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\underline{a}^T = [a_0, a_1, a_2, \dots, a_m],$$

$$\underline{b}^T = [b_1, b_2, \dots, b_m],$$

$$\underline{C}^T = [-c(j\omega_1), -c(j\omega_2), \dots, -c(j\omega_n)],$$

$$\underline{D}^T = [-d(j\omega_1), -d(j\omega_2), \dots, -d(j\omega_n)]$$

$$A_{11} = \begin{bmatrix} -1 & -\cos(\omega_1\Delta t) & \dots & -\cos(m\omega_1\Delta t) \\ -1 & -\cos(\omega_2\Delta t) & \dots & -\cos(m\omega_2\Delta t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -1 & -\cos(\omega_n\Delta t) & \dots & -\cos(m\omega_n\Delta t) \end{bmatrix}$$

$$A_{21} = \begin{bmatrix} 0 & \sin(\omega_1 \Delta t) & \dots & \sin(m\omega_1 \Delta t) \\ 0 & \sin(\omega_2 \Delta t) & \dots & \sin(m\omega_2 \Delta t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \sin(\omega_n \Delta t) & \dots & \sin(m\omega_n \Delta t) \end{bmatrix}$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nm} \end{bmatrix}$$

$$A_{22} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1m} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nm} \end{bmatrix}$$

$$R_{ik} = c(k\omega_i) \cos(k\omega_i \Delta t) + d(k\omega_i) \sin(k\omega_i \Delta t)$$

$$S_{ik} = d(k\omega_i) \cos(k\omega_i \Delta t) - c(k\omega_i) \sin(k\omega_i \Delta t)$$

$m =$  적합차수

$n =$  주파수 샘플링 수

이상에서 최소 제곱 적합(Least Squares Fitting: LSE)을 이용하여 Z 영역 유리함수를 구성할 수 있다. 이 LSE방법은 임의의 유리함수(Artificial Rational Function)를 적용한 결과 매우 우수한 방법임이 증명되었다. 또한 식 (6)은 특이값분해(Singular Value Decomposition: SVD)를 이용하면 해를 직접적으로 빠르게 구할 수 있다. 따라서 시간영역에서 시간응답을 구하고, 이산 푸리에 변환을 이용하여 주파수 응답을 구하고, 이 주파수 응답을 SVD를 기초로 한 LSE를 이용하여 Z 영역에서 유리함수로 적합할 수 있다. 이 적합한 Z 영역 유리함수의 계수(Coefficient)들은 모델 완성(Implementation of Model)에서 노턴 등가회로 풀인 Z 영역 주파수 의존 등가회로를 구성할 수 있다. 그림 3은 Z 영역에서 주파수 영역 동정 및 모델적합 과정을 나타낸 것이다.

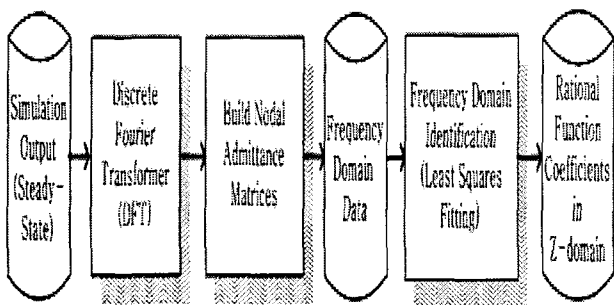


그림 3 Z 영역에서 주파수 영역 동정 및 모델 적합  
Fig. 3 Frequency domain identification and model fitting

2.3. 모델 완성

최소 제곱 적합 과정에서 Z 영역 유리함수를 구성하고, 이것을 이용하여 Z 영역 주파수 의존 등가 회로를 완성한다. 모델 적합에서는 임피던스 유리함수는 테브랑(Thevenin) 등가회로로 구성되고, 어드미턴스 유리함수는 노턴(Norton) 등가회로로 구성한다. 여기서 테브랑 등가회로를 전자기 과도현상 프로그램에 적용하기 위하여 내부 노턴과 부분 콘덕턴스 행렬로 변화하여야 하고 또한 크론(Kron) 축약을 시행하여야 한다. 그러나 노턴 등가회로는 대부분의 전자기 과도현

상 프로그램에 매우 쉽게 모델 적합을 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 모델 적합에서 어드미턴스 유리함수로 구성된 경우 식(8)과 같은 입력이 전압이고 출력이 전류인 전달함수로 나타낸다.

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}}{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}} = \frac{I(z)}{V(z)} \quad (8)$$

식(8)을 전류방정식으로 정리하면 식(9)과 같이 나타낸다.

$$I(z) = a_0 V(z) + (a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}) V(z) + (b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}) i(z) = G_{equiv} + I_{History} \quad (9)$$

식(9)를 이산시간으로 변화하면 식(10), 식(11)로 나타낸다.

$$i(n\Delta t) = a_0 v(n\Delta t) + a_1 v(n\Delta t - \Delta t) + a_2 v(n\Delta t - 2\Delta t) + \dots + a_m v(n\Delta t - m\Delta t) + b_1 i(n\Delta t - \Delta t) + b_2 i(n\Delta t - 2\Delta t) + \dots + b_m i(n\Delta t - m\Delta t) \quad (10)$$

$$i(n\Delta t) = G_{equiv} \cdot v(n\Delta t) + I_{History} \quad (11)$$

여기서  $G_{equiv} = a_0$

$$I_{History} = a_1 v(n\Delta t - \Delta t) + a_2 v(n\Delta t - 2\Delta t) + \dots + a_m v(n\Delta t - m\Delta t) + b_1 i(n\Delta t - \Delta t) + b_2 i(n\Delta t - 2\Delta t) + \dots + b_m i(n\Delta t - m\Delta t)$$

주파수 응답을 적합한 Z 영역의 유리함수는 전류원(Current Source)  $I_{History}$ 와 콘덕턴스(Conductances)  $a_0$ 을 가지는 노턴 등가회로(Norton Equivalent)로 구성된다.

이상에서 PSCAD/EMTDC에서 Recursive Two Side Component를 완성하여 노턴 등가회로망으로 구성된 Z 영역 1 & 2 포트 주파수 의존 교류시스템 등가(FDACSE)를 개발하였다. 그림 4는 개발한 Recursive Two Side Component를 이용하여 PSCAD/EMTDC에서 Z 영역 2 포트 FDACSE를 나타내었다.

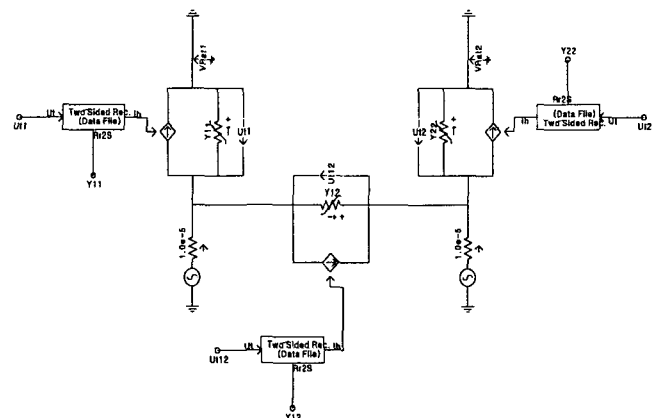


그림 4 Recursive two side component 이용한 2 포트 주파수 의존 등가 회로

Fig. 4 2 port frequency dependent network equivalent using recursive two side component

### 3. 사례 연구

Z 영역에서 개발한 주파수 의존 등가 교류 시스템 (FDACSE)의 우수성을 입증하고자 그림 5와 같은 실제 뉴질랜드 교류 시스템을 사용하였다[5][9]. 그림 5에서 Tiwai 모선에서 정현파 전류를 입력하여 1 포트 FDACSE로 개발하였고, Tiwai 모선과 Invercargill 모선에 정현파 전류를 입력하여 2 포트 FDACSE를 개발하였다. 이 개발된 1 & 2 포트 FDACSE는 발전기, 변압기, 전송선로, 부하를 모두 포함한 것이다. 전자기 과도현상 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 뉴질랜드 교류 시스템과 개발한 1 & 2 포트 FDACSE를 다양한 부하조건(선형부하, 고장, 비선형부하)에서 과도현상을 비교·고찰하였다.

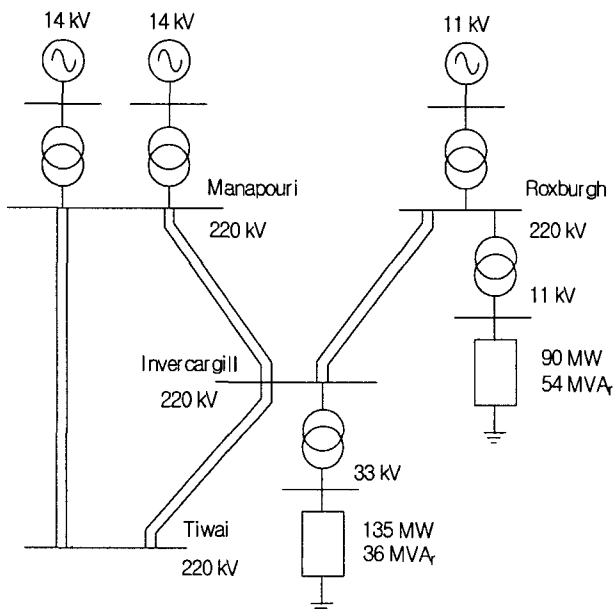


그림 5 뉴질랜드 교류 시스템  
Fig. 5 Configuration of the New Zealand AC system.

#### 3.1.1 포트 주파수 의존 교류시스템 등가

그림 6, 7, 8은 Tiwai 모선에서 다양한 부하조건(선형부하, 고장, 비선형부하)을 가정하여 뉴질랜드 교류 시스템과 개발한 1 포트 FDACSE를 전압을 비교·고찰하였다. 개발한 1 포트 FDACSE는 LSF를 이용하여 12차 Z 영역 유리함수를 구성하였다. 또한 PSCAD/EMTDC에서 이 유리함수를 이용하여 FDACSE를 완성하고, 시간영역 과도현상 시뮬레이션 결과 상당히 우수한 특성을 나타내고 있다. 또한 개발한 FDACSE는 정상상태 오차가 적고, 과도응답 특성도 매우 정확함을 알 수 있다. 이상의 결과에서 LSE를 이용하여 Z 영역 유리함수의 구성은 매우 우수함을 알 수 있고, 개발한 1 포트 FDACSE는 매우 정확하고, 강인성을 가짐을 보이고 있다.

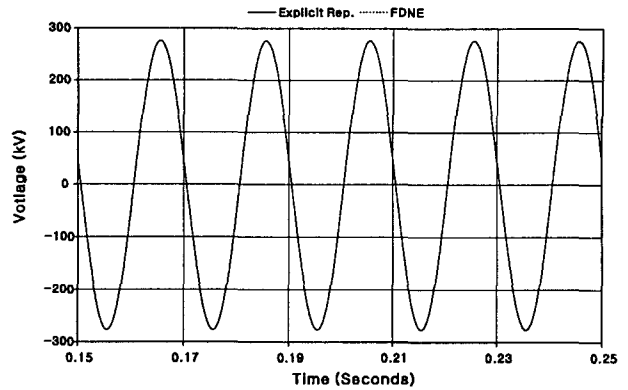


그림 6 실제시스템과 1 포트 FDACSE의 과도응답의 비교 (선형부하)  
Fig. 6 Comparison of transient result for explicit represent and 1 port FDACSE with linear load.

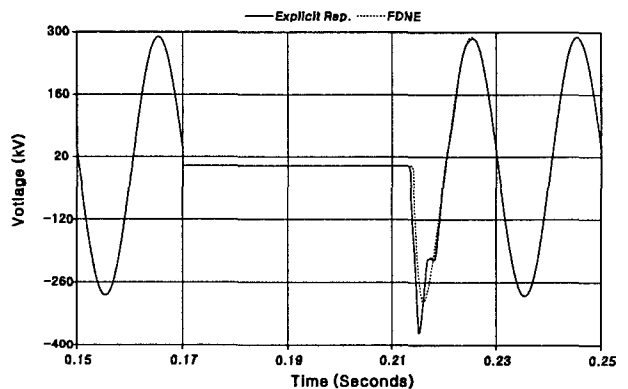


그림 7 실제시스템과 1 포트 FDACSE의 과도응답의 비교 (고장)  
Fig. 7 Comparison of transient result for explicit represent and 1 port FDACSE with Fault.

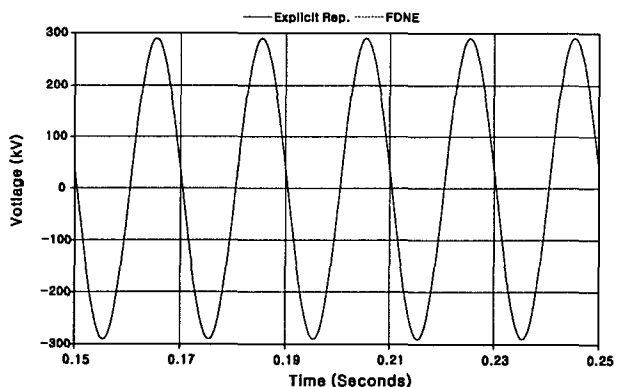


그림 8 실제시스템과 1 포트 FDACSE의 과도응답의 비교 (비선형부하)  
Fig. 8 Comparison of transient result for explicit represent and 1 port FDACSE with nonlinear load.

### 3.2.2 포트 주파수 의존 교류시스템 등가

그림 9, 10, 11는 Tiwai 모선에서 다양한 부하조건(선형부하, 고장, 비선형부하)을 가정하여 뉴질랜드 교류 시스템과 개발한 2 포트 FDACSE를 전압을 비교·고찰하였다. 개발한 2 포트 FDACSE는 LSF를 이용하여 8차 Z 영역 유리함수를 구성하였다. 또한 PSCAD/EMTDC에서 이 유리함수를 이용하여 2 포트 FDACSE를 완성하고, 시간영역 과도현상 시뮬레이션 결과 상당히 우수한 특성을 나타내고 있다. 또한 개발한 FDACSE는 정상상태 오차가 적고, 과도응답 특성도 매우 정확함을 알 수 있다. 이상의 결과에서 LSE를 이용하여 Z 영역 유리함수의 구성은 매우 우수함을 알 수 있고, 개발한 2 포트 FDACSE는 매우 정확하고, 강인성을 가짐을 보이고 있다.

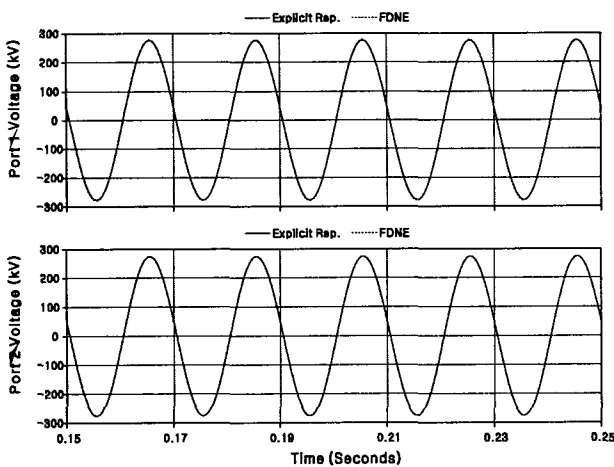


그림 9 실제시스템과 2 포트 FDACSE의 과도응답의 비교(선형부하)

Fig. 9 Comparison of transient result for explicit represent and 2 port FDACSE with linear load.

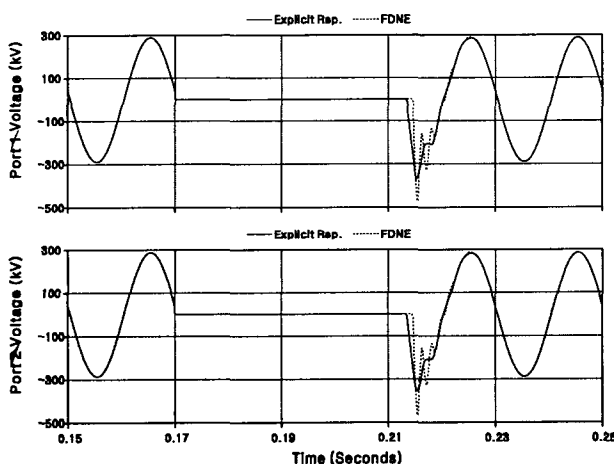


그림 10 실제시스템과 2 포트 FDACSE의 과도응답의 비교(고장)

Fig. 10 Comparison of transient result for explicit represent and 2 port FDACSE with fault.

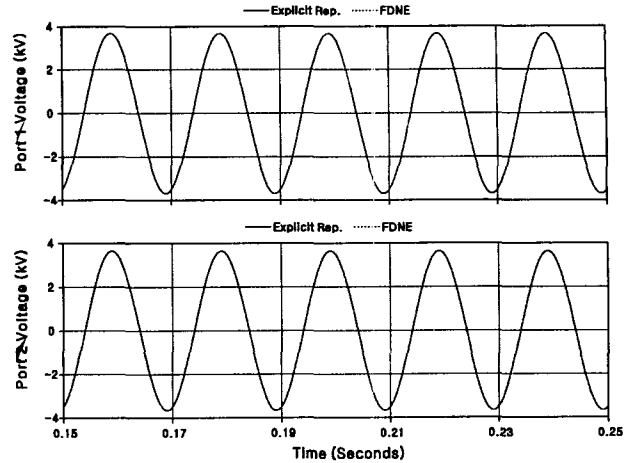


그림 11 실제시스템과 2 포트 FDACSE의 과도응답의 비교(비선형부하)

Fig. 11 Comparison of transient result for explicit represent and 2 port FDACSE with nonlinear load.

### 4. 결 론

본 논문에서는 전자기 과도현상을 정확하고 효과적으로 해석하기 위해 주파수 응답의 Z 영역 유리함수적합(Z Domain Rational Function Fitting)을 이용하여 1 & 2 포트(1 & 2 port) 주파수 의존 등가 교류 시스템(Frequency Dependent AC System Equivalent: FDACSE)을 개발하였고, 개발한 FDACSE의 유용성을 입증하기 위하여 뉴질랜드 교류시스템에 적용하였다. 그리고 전자기 과도현상 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하여 뉴질랜드 교류시스템과 개발한 FDACSE를 비교·검토하였다. 이상에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 주파수 응답을 최소 제곱 적합을 이용하여 Z 영역 유리함수 구성은 매우 정확하였다.
2. Z 영역에서 등가 시스템 모델은 구성이 용이하고 구성 오차를 포함하지 않는다.
3. 개발한 Z 영역 1 & 2 포트 FDACSE는 전자기 과도현상 프로그램에 쉽게 적용할 수 있다.
4. 개발한 Z 영역 1 & 2 포트 FDACSE는 강인성과 우수성을 가지고 있어, 전력시스템 과도현상에서 정확하고 효과적으로 해석할 수 있다. 향후 이 연구결과를 바탕으로 3상 전력시스템의 과도현상을 정확하고, 효과적으로 해석하기 위한 Z 영역 3 포트 FDACSE를 개발할 예정이다.

### 참 고 문 헌

[1] Hingorani N.G. and Bureby M.F., "Simulation of AC System Impedance in HVDC System Studies", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-89, No. 5/6, May/June 1970, pp 820-828

[2] Morched A.S. and Brandwajn B., "Transmission Network Equivalents for Electromagnetic Transient

Studies", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, No. 9, Sept 1983, pp 2984-2994

[3] Watson N.R., Arrillaga J. and Joosten A.P.B., "AC System Equivalents for the Dynamic Simulation of HVDC Convertors", *Proceedings of the 4th International Conference on AC and DC Power Transmission*, London, IEE Conf. Publ. 255, 1985, pp 394-399

[4] Do V.Q. and Gavrilovic M.M., "A Synthesis method for One Port and Multi-Port Equivalent Networks for Anaysis of Power System Transients", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. PWRD-1, No. 2, April 1986, pp 103-111

[5] Watson N.R. and Arrillaga J., "Frequency-Dependent A. C. system Equivalents for Harmonic Studies and Transient Converter Simulation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 3, No. 3, July 1998, pp 1196-1203

[6] Medina A., Arrillaga J. and Watson N.R., "Derivation of Multi-Harmonic Equivalent Models of Power Networks", *Proceedings of the 1990 International Conference on Harmonics in Power Systems*, Budapest, Hungary, 4-6 Oct, 1990

[7] Morched A.S., Ottevangers J.H. and Marti L., "Multi Port Frequency Dependent Network Equivalents for the EMTP", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 8, No. 3, July 1993, pp 1403-1412

[8] Hong J.H. and Park J.K., "A Time-Domain Approach to transmission Network Equivalents via Prony Analysis for Electromagnetic Transients Analysis", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 4, Nov. 1995, pp 1789-1796

[9] Todd S., Wood A.R., Bodger. P.S. and Smith B.C., "Rational functions as frequency dependent equivalents for transient studies", *Proceedings of the 1997 International Conference on Power Systems Transients*, pp 137-144, June 1997, Seattle, USA

[10] Gustavsen B. and Semlyen A., "Simulation of Transmission Line Transients Using Vector Fitting and Modal Decomposition", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 13, No. 2, April 1998, pp 605-614

[11] Watson N.R. and Irwin G.D., "Electromagnetic Transient Simulation of Power Systems using Root Matching Techniques", *Proceedings IEE, Part C*, Vol. 145, No. 5, Sept. 1998, pp 481-486

[12] Watson N.R. and Enright W., "Generation of Difference Equations for the Simulation of Electromagnetic Transients with Large Time-Steps", *Proceedings of Australasian Universities Power Engineering Conference*, Hobart, 27-30 September 1998, pp 241-246

## 저 자 소 개



### 왕 용 필 (王 龍 泌)

1966년 8월 25일생. 1992년 동아대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999년-2001년 뉴질랜드 Canterbury University(Post-Doc).

현재 동아대학교 전기전자컴퓨터 공학부 시간강사 및 정보기술 연구소 특별연구원. 관심분야 : 직류송전 시스템 해석 및 제어설계, 전자기 과도현상, 전력품질

Tel : 051-200-6747, Fax : 051-200-8843

E-mail : ypwang@smail.donga.ac.kr



### 정 형 환 (鄭 亨 煥)

1941년 1월 19일생. 1964년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 동아대 공대 전기전자컴퓨터공학부 교수. 관심분야 : 직류송전 시스템 해석 및 제어설계, 전자기 과도현상, 전력품질

Tel : 051-200-6747,

Fax : 051-200-8843

E-mail : hhchong@mail.donga.ac.kr