

# 동적모델을 이용한 대규모 전력계통의 등가 리액턴스와 저항 비율(X/R) 계산

국경수<sup>1</sup>, 노대석<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 전기공학과 스마트그리드연구센터

<sup>2</sup>한국기술교육대학교 전기전자통신공학부

## Dynamic Model Based Ratio Calculation of Equivalent Reactance and Resistance of the Bulk Power Systems

Kyung Soo Kook<sup>1</sup> and Dae Seok Rho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Chonbuk National University

<sup>2</sup>School of IT Engineering, Korea Univ. of Technology and Education

**요약** 본 논문은 발전기, 변압기, 선로 및 부하로 구성 되는 복합 전력계통의 등가 리액턴스와 저항의 비율인 X/R 값을 더욱 효과적으로 계산하는 방법을 제안하고 이를 통해 실제 전력계통의 X/R 값을 계산하고 그 특성을 분석한다. 전력계통에서 X/R값은 전력계통의 차단기 정격을 결정하기 위해 사용되는 매우 중요한 값으로 주요 선로의 특징에 따라 X/R 값이 매우 커 전력계통의 해석에서는 등가저항(R)값을 고려하지 않는 것으로 인식되어 왔으나 이는 복합 전력계통에서 선로측만을 고려하였을 경우이고 전력계통의 모든 구성요소를 고려할 경우 등가저항(R)의 값도 무시해서는 안 될 수준이 된다. 본 논문에서는 전력계통 해석에 널리 사용하고 있는 동적모델을 이용하여 전력계통의 X/R 값을 계산하는 방법을 제안하고 이를 시험계통에 적용하여 그 유용성을 검증 한 후 실제 대규모 복합 전력계통에서의 X/R 값을 분석한다. 또한 본 논문에서는 전력시장에서 사용되어 온 한계손실계수를 이용하여 X/R값이 계산위치의 발전기 근접도에 따라 달라지는 특성을 분석한다.

**Abstract** This paper proposes the method for more effectively calculating X/R which is the ratio of equivalent reactance(X) and resistance(R) of the bulk power system and analyses the characteristic of X/R values by applying the proposed method to the real bulk power systems. X/R is used to determine the rating of the relay in the bulk power systems and its value has been accepted to be big enough to ignore the equivalent resistance of the bulk power systems. However, X/R is calculated as a big number when only the upper transformer and transmission line are considered. The correct approach to calculating X/R needs to consider all the parameters including generators, transformers, lines and loads. This paper calculates X/R of the bulk power systems using dynamic models which have been used to analyse the power system stability. The effectiveness of the proposed method is verified by applying it to the test system and X/R values of the real bulk power systems are analyzed. In addition, the dependence of X/R on the closeness of its calculating locations to the generator is verified by using the marginal loss factor which has been used in the electricity market.

**Key Words** : X/R, Power Systems, Reactance, Resistance, Dynamic Model, Voltage Flicker, Relay

### 1. 서론

리액턴스와 저항의 비율인 X/R 값은 해당 모선에서의 차단기 정격을 결정하기 위해 계산되는 단락전류를 결정하는 매우 중요한 값이다. 이를 위해 ANSI/IEEE

전력계통 임의의 모선에서 전체 시스템에 대한 등가

본 논문은 한국에너지기술연구원 연구과제로 수행되었음

\*교신저자 : 노대석(dsrho@kut.ac.kr)

접수일 11년 04월 07일

수정일 (1차 11년 04월 25일, 2차 11년 04월 30일)

게재확정일 11년 06월 09일

C37.010-1999[1]와 IEC-61909 -1988[2]이 X/R값을 계산하기 위한 방법을 제안하였고 최근 연구[3]가 진행되었으나 계산방법이 매우 복잡하고 실제 대규모 전력시스템 해석에서는 필요한 데이터들이 충분히 제공되지 못해 적용되지 못하는 경우가 많다.

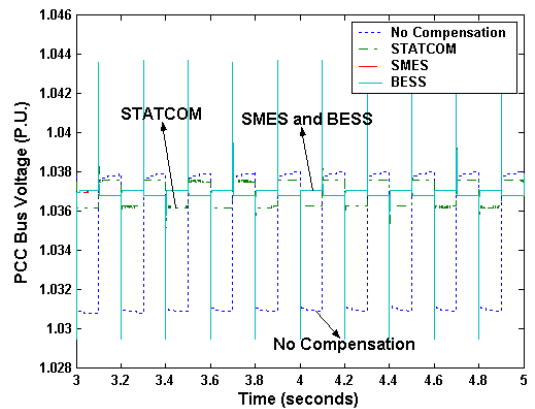
발전기와 변압기, 송전선로 그리고 다양한 부하들로 구성된 대규모 전력계통에서 등가 저항은 해석 목적에 따라 무시될 수 있는 것으로 여겨져 왔다. 즉, X/R로 표현되는 전력계통 등가 리액턴스와 저항의 비는 매우 높은 값인 것으로 받아들여져 왔으며 이는 전력계통에 대한 임피던스 행렬을 구성해보면 쉽게 확인할 수 있다. 하지만 최근 전압 플리커가 전력품질 측면에서 큰 이슈가 되어 이를 해결하기 위한 보다 효과적인 해결책을 찾기 위한 연구결과에서 전압 플리커를 보상하기 위해 무효전력만을 보상하는 것보다 유효전력과 무효전력을 동시에 보상하는 것이 훨씬 더 효과적이라는 점이 대두되었다[4-7]. 즉 전기로(Electric Arc Furnaces)와 같이 대용량 부하의 전력소비가 빠른 주기로 변동될 때 전력계통에서 이를 공급하기 위한 전력조류의 분포가 변경되면서 손실이 발생되고 이것이 전압플리커로 나타나는데 이러한 전력계통 손실이 전력계통의 등가리액턴스 뿐만 아니라 등가저항에 의해서도 상당부분 유발되기 때문에 무효전력뿐만 아니라 유효전력도 같이 보상해주는 것이 전압플리커를 보다 효과적으로 해결할 수 있는 것으로 받아들여지고 있다[4-7]. 하지만 이러한 해석도 대규모 전력계통에 대한 X/R 값을 용이하게 계산해 볼 수 없는 한계로 인해 구체적인 근거를 제시하지 못하고 있는 상황이다.

이에 대해 본 논문에서는 전력계통의 안정도 해석에 이미 널리 사용되고 있고 전력계통의 구성요소인 발전기, 변압기, 선로 및 부하를 모두 포함하는 동적모델을 바탕으로 대규모 전력계통의 등가 X/R값을 계산하는 방법을 제안하고 이를 작은 규모의 실험계통과 대규모의 실제 전력계통에 적용하여 그 유용성을 검증하였다. 또한 제안된 방법으로 계산된 전력계통의 X/R 값에 대한 특징을 도출하였다. 제안된 방법은 엔지니어링 현장에서 전력계통 해석을 위해 사용되는 가용한 데이터들만을 필요로 하고 그 분석방법이 비교적 용이하기 때문에 이를 통해 전력계통 해석에서 나타나는 다양한 응답특성들을 해석하고 물리적인 의미를 분석하는데 보다 정확한 근거를 용이하게 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 대규모 전력계통의 등가 X/R

### 2.1 전력계통의 등가 X/R의 논점

최근 산업의 고도화에 따라 철강 산업이나 폐기물 처리 등에 사용되는 MVA 급 전기로와 같은 대용량 전력부하가 널리 사용되고 있으며 이러한 전기로는 운전모드에 따라 출력변동이 심할 경우에는 전력시스템의 인근 모선에 전압 플리커 현상을 일으키게 되는데 이는 전력시스템의 임피던스에 의해 전압강하가 나타나기 때문이다[4]. 이러한 전압플리커 현상을 해결하기 위해 많은 연구들이 진행되었는데 가장 효과적인 방법은 과거와 같이 단순한 무효전력 보상뿐만 아니라 유효전력의 보상을 같이 병행하는 것으로 보고되었다[4-7]. 다음 그림 1은 이러한 전압 플리커가 무효전력보상원인 STATCOM만으로 보상될 때 (녹색점선)보다 유효전력을 같이 보상(하늘색실선)하는 SMES/BESS(에너지저장장치)에 의해 더욱 효과적으로 보상되는 것을 나타낸다.



[그림 1] 에너지저장장치와 STATCOM에 의한 전압플리커 보상효과 비교

[Fig. 1] Comparison of voltage flicker compensation effect between ESS and STATCOM

이러한 유효전력에 의한 전압플리커 보상 효과는 그동안 통용되었던 것과 달리 전력시스템의 등가 저항이 리액턴스에 비해 무시할 정도로 작지 않고 이로 인한 전압강하의 유효성분이 상당하기 때문인 것으로 해석되었다. 즉 기존에 X/R값은 전력시스템의 임피던스 행렬의 계산에서 쉽게 확인할 수 있듯이 일반적으로 10보다 매우 큰 값으로 적용되었지만 이것은 전력계통에서 임피던스 행렬이 변압기 고전압 측의 송전선로 부분만을 고려하기 때문이며 만일 변압기의 저전압 측과 전력부하까지를 고려하여 임피던스 행렬을 계산할 수 있다면 X/R값은 기존에 알려져 온 값과 달라지게 되고 이 값이 전력시스템의 모의해석에 필요한 보다 정확한 값이라고 할 수 있다.

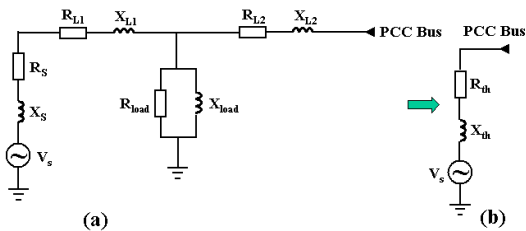
하지만 발전기, 변압기, 각종 선로 및 부하로 구성된

전력계통에서 등가 리액턴스와 저항을 계산하는 것은 매우 복잡하며 대부분은 산업 현장에서 구하기 어려운 데이터(3상의 각 상별 임피던스 등)를 요구하게 되어[1-3] 이러한 유효전력 보상에 의한 전압 플리커 보상 효과도 근거를 제시하지 못하고 있다. 반면 이러한 전력계통의 등가 리액턴스와 저항의 값은 등가 값이기 때문에 대규모 전력계통의 해석에서는 정밀도뿐만 아니라 계산의 편의성과 일반성도 중요하다. 따라서 본 연구에서는 전력계통의 안정도 해석에 이미 널리 사용되고 있는 전력계통의 동적모델을 이용한 동적해석을 통해 전력계통의 등가 리액턴스와 저항의 비율을 계산하는 방법을 제안하였다. 다음 절에서 자세한 설명을 다룬다.

### 2.2 전력계통의 등가 X/R 계산

복합 전력계통의 등가 X/R 계산을 위해 본 논문에서는 복합 전력계통의 동적모델을 이용하는 방법을 제안한다. 이 방법은 다음 그림 2와 같이 전력시스템의 임의의 PCC(point of common coupling) 모선에서 구해진 테브난 등가회로를 기준으로 하게 된다.

즉, 그림 2.(a)와 같은 전력계통을 PCC 모선에서 그림 2.(b)와 같은 테브난 등가회로로 등가화 하면 이때 전력시스템의 X/R 값은 테브난 등가회로에서  $X_{th}$  값과  $R_{th}$  값의 비율로 계산될 수 있다.



[그림 2] PCC 모선에서 전력시스템의 테브난 등가회로  
[Fig. 2] Thevenin's equivalent circuit of power systems at PCC bus

이 경우, 전력계통의 전력부하(P+jQ)가 변경될 경우 PCC 모선에 나타나는 전압강하는 등가회로에서 다음 식과 같은 관계를 가지게 된다.

$$\frac{\Delta U_p}{\Delta U_q} = \frac{I_{np}}{I_{nq}} * \frac{R_{th}}{X_{th}} = \frac{R_{th}}{X_{th}} * \tan^{-1} \varphi \quad (1)$$

여기서,

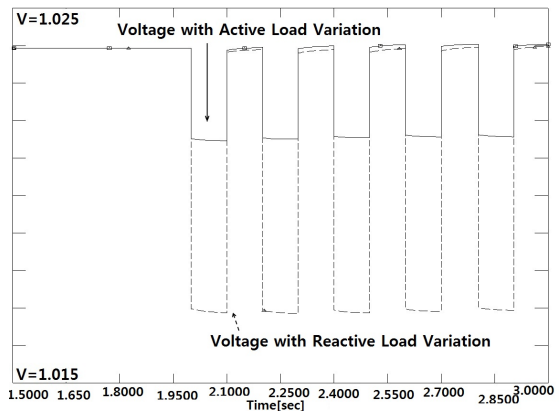
$\Delta U_p$  와  $\Delta U_q$  는 각각 PCC 모선에서 전압강하분의 실수부 및 허수부

$I_{np}$  과  $I_{nq}$  은 각각 PCC 모선에서 전류의 실수부 및 허수부  $\cos \varphi$ 는 추가된 부하의 역률

따라서 전력계통 임의의 모선에서 전력계통에 대한 등가 X/R은 해당위치에서의 유효전력부하와 무효전력부하의 변동에 의해 각각 나타나는 전압변동을 구한 후 식(1)을 이용하여 등가적으로 계산할 수 있다. 이때, 전력시스템의 동적모델을 사용하여 부하의 변동에 의해 PCC 모선에 나타나는 전압변동을 계산할 수 있다.

다음 그림 3은 해당위치에서의 유효전력부하와 무효전력부하의 변동에 의해 동적모의해석에 나타나는 각각의 전압변동을 비교하여 보인다.

즉, 그림 3에서 실선은 유효전력 부하가 변동되었을 때 PCC 모선에서의 전압을 나타내고 점선은 무효전력 부하가 변경되었을 때 PCC 모선에서의 전압을 나타내며 이때 각 부하변동은 일정 주기를 가지고 연결과 차단을 반복하였다.



[그림 3] 전력시스템 X/R 계산을 위한 모의해석 결과  
[Fig. 3] Simulation result for calculating X/R of power systems

그림 3에서와 같이 전력계통의 부하변동에 의해 모선의 전압이 변동되는 것을 알 수 있으며 유효전력 부하에 의한 전압강하와 무효전력에 의한 전압강하를 각각 계산한 후 식 (1)을 이용하여 PCC모선에서의 X/R값을 계산할 수 있다.

### 3. X/R의 계산위치 의존성

본 논문에서 발견된 전력계통 등가 X/R값의 또 다른 특징은 그 값이 평가모선의 발전기와의 근접도에 따라

크게 달라진다는 점이다. 이러한 특징은 4장에서 소개되는 사례연구에서와 같이 작은 규모의 시험계통뿐만 아니라 대규모인 미국 동부 연계계통을 사용하여 다양한 위치에서 전력계통의 등가 X/R값을 계산한 결과에서도 확인하였으며 이는 4장에서 자세히 다룬다.

한편 본 논문에서는 X/R 값의 이러한 위치적 특성을 증명하기 위해 모선에 대한 위치의 지수로서 한계손실계수(Marginal Loss Factor, MLF)를 사용하였다. 이 한계손실계수는 전기의 위치별 요금제를 채택하는 전력시장에서 시장 참여자들에게 접속위치에 대한 전기적인 위치정보를 제공하기 위해 사용되어 오고 있는데[8] MLF<sub>i</sub>는 다음 식 (2)와 같이 특정 모선 i에 접속된 부하의 증분으로 인해 발생하는 전력망 전체의 손실 변동의 비율로써 정의된다.

$$\begin{aligned}
 MLF_i &= (\text{총 발전변동량})/(\text{부하변동량}) \\
 &= (\text{전력망손실변동량}+\text{부하변동량})/(\text{부하변동량}) \\
 &= 1 + (\text{전력망손실변동량})/(\text{부하변동량}) \quad (2)
 \end{aligned}$$

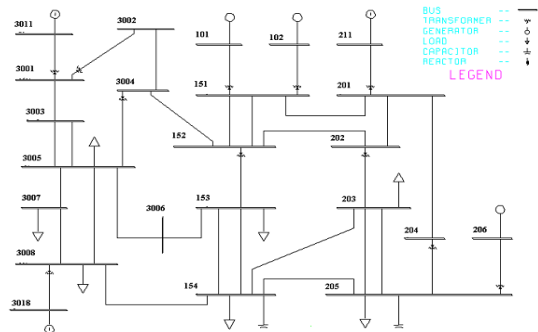
이러한 한계손실계수는 전력시장에서 입찰가격에 대한 헐페티 팩터로 적용되어 전력부하에 인접한 발전기의 급전을 유도하기 위한 것이다. 즉, 특정 위치(모선)에서 발전기의 MLF가 1 보다 크다면 이는 해당 위치에서의 부하증가를 전력계통의 발전기들이 공급하는데 전력시스템 전체의 전력손실이 증가 되는 것을 의미하고 따라서 해당지역이 전력부하 집중지역에 가까움을 나타내게 된다. 따라서 이러한 위치 인근에 발전기가 존재하여 전력을 공급하게 될 경우 이는 MLF가 1보다 작은 다른 지역에서 발전된 전력을 공급하는 경우보다 전력계통 전체에 더 큰 이익을 준다고 할 수 있다. 전력시장에는 이를 반영하기 위해 각 발전기의 입찰가격을 각 발전기들이 설치된 위치의 MLF 값으로 나눈 후에 가격결정절차에 적용함으로써 전력부하에 인접한 발전기의 급전을 유도하게 되는 것이다. 예를 들어 MLF가 1.2인 위치(모선)에 접속된 임의의 발전기가 15원/MWh의 입찰가격으로 발전계획에 참여하려고 한다면 실제 그 입찰가격은 12.5원/MWh(15/1.2=12.5)로써 발전계획에 적용되게 된다. 이를 통해 발전기들의 공급입찰 가격이 같더라도 그 위치가 부하지역에 가까운 발전기들이 발전계획에서 높은 우선순위를 가지게 된다. 이러한 MLF는 부하근처 모선에서 1보다 커지게 되고 발전지역 근처 모선에서 1보다 작아지는 특성을 가진다. 본 논문에서는 이러한 MLF를 모선의 위치 파라미터로써 적용하여 X/R 값이 모선의 위치 특성에 따라 달라지는 특성을 분석한다.

## 4. 사례연구

### 4.1 시험계통

다음 그림 4는 소규모 시험계통을 나타낸다. 이 시험계통은 23개의 모선, 6기의 발전기, 8개의 부하 및 34개의 선로로 구성되며 총 발전력이 3,258.7[MW], 총 전력 수요가 3,200[MW]로 가정되었다.

앞에서 논의된 대로 본 논문에서는 전력계통의 동적모델을 사용하여 각 모선에서의 등가 X/R을 계산한다. 또한, 본 시험계통은 전력계통 해석용 상용 프로그램인 PSS/E(Power System Simulator for Engineering)의 3상 단락회로 분석기능을 사용하기 위한 상세 데이터가 제공됨에 따라 이를 사용한 계산결과와 제안된 방법에 의한 계산 결과의 비교도 수행 하였다. 다만 상용프로그램의 이러한 기능을 사용하기 위해서는 전력망에 대한 3상 데이터가 모두 필요하기 때문에 이는 이러한 방대한 데이터가 모두 제공될 수 있는 시험계통에 대해서만 적용될 수 있다.



[그림 4] 시험계통  
[Fig. 4] Test system

표 1은 이러한 X/R 계산결과를 요약하여 나타내며 시험계통의 경우 X/R 값이 1.57에서 7.56사이로 계산되었고 평균값이 3.34로써 이는 일반적으로 통용되던 X/R 값(수십)보다 매우 작은 값이다. 또한, 이러한 계산결과를 상용 프로그램을 사용한 계산결과와 비교해보면 표 1에서 보이는 것과 같이 매우 유사한 것을 알 수 있다.

[표 1] 시험계통의 X/R 계산결과  
[Table 1] X/R calculation results of test system

모선 번호	PSS/E 기능을 사용한 결과			동적모델을 이용한 결과
	R	X	X/R	X/R
151	0.00409	0.01765	4.315	7.56

152	0.00756	0.01887	2.496	2.62
153	0.00797	0.01928	2.419	2.39
154	0.00914	0.01444	1.580	1.57
201	0.00549	0.01940	3.534	4.24
202	0.0077	0.02011	2.612	2.67
203	0.00931	0.02058	2.211	2.00
204	0.00802	0.02299	2.867	2.69
205	0.00882	0.01414	1.603	1.63
206	0.00571	0.01934	3.387	3.65
3001	0.00581	0.03174	5.463	5.40
3002	0.00673	0.03855	5.728	5.45
3003	0.00661	0.03258	4.929	4.85
3004	0.00818	0.02757	3.370	3.13
3005	0.00844	0.02371	2.809	2.71
3006	0.00857	0.02593	3.026	2.88
3007	0.01135	0.03115	2.744	2.51
3008	0.01024	0.02416	2.359	2.20
평균	0.00776	0.02345	3.192	3.342

한편 표 2는 시험계통의 각 모선에 대해 계산된 MLF 값을 요약하여 나타낸다. 표 2에 보이는 바와 같이 시험 계통에서 MLF 값이 작은 모선에서 계산된 X/R 값이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 즉, 모선의 위치가 발전기 근처일 경우 X/R 값이 상대적으로 높아지는 것을 확인할 수 있다.

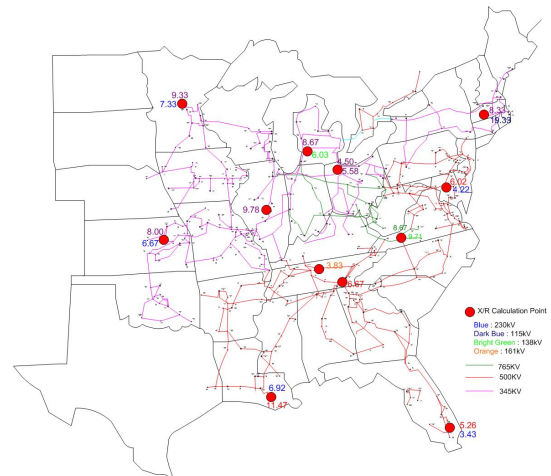
[표 2] 각 모선의 MLF 및 X/R 계산결과

[Table 2] Calculation results of MLF and X/R at each bus

BUS	MLF	X/R
151	0.97	7.56
152	1.00	2.62
153	1.01	2.39
154	1.04	1.57
201	0.98	4.24
202	1.01	2.67
203	1.02	2.00
204	1.02	2.69
205	1.03	1.63
3001*	1.00	5.40
3002*	1.00	5.45
3003*	1.00	4.85
3004	1.01	3.13
3005	1.01	2.71
3006	1.01	2.88
3007	1.03	2.51
3008	1.03	2.20

## 4.2 미 동부 전력계통

본 절에서는 본 논문에서 제안된 X/R 계산방법을 전 세계적으로 가장 규모가 큰 미국 동부의 전력계통에 적용하였다. 미 동부 전력계통 모델은 16,016개의 모선, 2,626개의 발전기, 12,188개의 부하, 그리고 27,277개의 선로로 구성되었으며 총발전량이 590,793[MW], 총 전력수요가 583,374 [MW]로 가정되어 70여 GW의 부하수준을 갖는 국내 전력계통의 약 8배 이상의 규모에 해당 된다. 본 절에서는 이러한 미 전력계통의 동적모델을 사용하여 임의의 모선에서의 X/R 값을 계산하였으며 그림 2는 이러한 미 전력계통에서 X/R 값을 계산한 29개 모선의 위치를 나타낸다(여러 계산 위치들이 근접한 경우 붉은 원 하나로 인근 위치를 표시하였다).



[그림 5] 미 전력계통에서 X/R 계산위치

[Fig. 5] Locations of X/R calculation in US. power systems

표 3은 미국 전력계통에 대해 계산된 X/R 값을 나타낸다. 표 1에서와 같이 대부분의 모선에서 X/R 값이 일반적으로 알려진 X/R 값(수십)보다 상당히 작은 값으로 계산되었으며 특히 X/R이 크게 계산된 모선의 경우는 그 위치가 발전기 인근에 있어 발전기의 전압제어 기능에 따라 X/R이 계산되는 모선에서 부하량이 변경되어도 이에 따른 전압변동이 해당 모선에 덜 나타나기 때문으로 판단된다. 따라서 표 5의 결과에서도 X/R 계산모선이 발전기가 직접 연결된 모선인 경우(모선타입 2)는 X/R 값을 계산하지 않는 것으로 하였다.



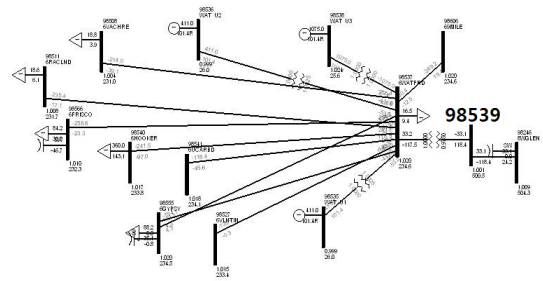
[표 3] 미 전력계통의 X/R 계산결과  
 [Table 3] X/R calculation results of US. power systems

모선 번호	모선 전압	소속 주	모선 타입*	X/R
40666	500kV	Florida	1	5.26
40665	230kV	Florida	1	3.43
23414	138kV	MI	1	6.03
28289	345kV	MI	1	8.67
22670	345kV	OH	1	4.50
22606	345kV	OH	1	5.58
22562	765kV	VA	1	8.67
22807	138kV	VA	1	9.71
56755	345kV	KS	1	8.00
56794	230kV	KS	1	6.67
90002	500kV	MD	1	6.02
90938	230kV	MD	1	4.22
71551	345kV	MA	1	8.33
71581	115kV	MA	1	9.33
81	500kV	TN	1	6.67
387	161kV	TN	1	3.83
1356	161kV	TN	1	3.27
351	161kV	TN	1	6.13
547	161kV	TN	1	7.78
2495	46kV	TN	1	7.49
4067	20.7kV	TN	2	N/A
40	500kV	TN	1	18.67
2656	46kV	TN	1	5.15
4114	13.2kV	TN	2	N/A
61510	230kV	MN	1	7.33
61662	345kV	MN	1	9.33
98527	230kV	LA	1	6.92
98539	500kV	LA	1	11.47
36343	345kV	IL	1	9.78
평균				7.34

\*타입1: 부하모선, 타입2: 발전기모선

이러한 X/R 값이 계산위치에 대한 발전기의 근접도에 따라 달라지는 것을 확인하기 위하여 대표적인 모선들에 대한 상세분석을 수행하였다.

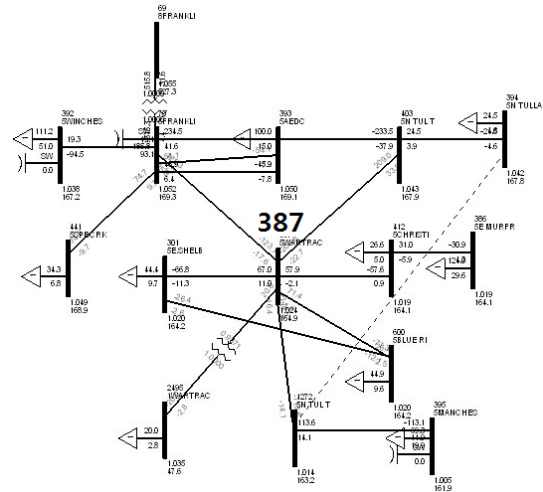
그림 6은 X/R이 크게(11.47) 계산된 98539 모선 근처의 전력망 구성을 나타낸다.



[그림 6] 98539모선에 연결된 전력망(X/R: 11.47)  
 [Fig. 6] Grid connected to 98539bus(X/R: 11.47)

그림 6에서 보인바와 같이 이 모선에는 다수의 발전기들(①기호)이 연결되어 있으며 이로 인해 X/R이 크게 계산된 것으로 판단된다.

한편 그림 7은 X/R이 작게(3.83) 계산된 387 모선 인근의 전력망 구조를 나타낸다. 그림 6과는 달리 387 모선 인근에는 발전기가 보이지 않으며 따라서 X/R이 제안된 방법에 따라 작게 계산되었다.



[그림 7] 387모선에 연결된 전력망(X/R: 3.43)  
 [Fig. 7] Grid connected to 387bus(X/R: 3.43)

X/R값의 계산결과가 해당 모선위치의 발전기 근접도에 따라 달라지는 것을 살펴보기 위해 그림 8에서는 X/R 값을 발전기에서 멀리 있는 모선에서부터 가까운 모선까지 순차적으로 계산하여 보았다.

그림 8에서 보이는바와 같이 X/R이 계산되는 모선의 위치가 발전기에 가까워질수록 X/R값이 3.27에서 6.13, 그리고 7.78로 커지는 것을 알 수 있다.



Industrial Electronics, Vol. 46, No.3, pp. 554-562, June 1999.

- [4] Li Zhang, Mark Baldwin, Yilu Liu Michael R. Ingram, Dale T. Bradshaw Steve Eckroad Mariesa L. Crow, "A Solution for EAF Induced Problems in Bulk Power Systems by FACTS/ESS", Power Engineering Society General Meeting, IEEE. 12-16 June 2005.
- [5] Z. Yang, C. Shen, L. Zhang, M. L. Crow and S. Atcitty, "Integration of a StatCom and Battery Energy Storage," IEEE Trans Power System, Vol. 16, pp. 254-260, May 2001.
- [6] Paulo. F. Ribeiro, Aysen Arsoy and Yilu Liu, "Transmission Power Quality Benefits Realized by a SMES-FACTS Controller," Harmonics and Quality of Power, 2000 Proceedings, pp. 307-312, Ninth International Conference, October 2000.
- [7] D. Stade, H. Schau, St. Prinz, "Influence of the Current Control Loops of DC Arc Furnaces on Voltage Fluctuations and Harmonics in the HV Power Supply System", pp. 821-825.
- [8] Kyung Soo Kook, T.K.Oh, H.Y.Kim, "Analysis of the impact of the marginal loss factor change caused by the reference node change on the electric power trading in Korean Wholesale Electricity Market", Proceedings of the KIEE PES autumn annual conference, South Korea, November, 2002.

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

국 경 수(Kyung Soo Kook)

[정회원]



- 1996년 2월 : 고려대학교 전기공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 5월 : 미국 버지니아 공대 전기공학과(공학박사)
- 1998년 2월 ~ 2004년 7월 : 한국전기연구원 연구원/선임연구원
- 2007년 5월 ~ 2010년 4월 : 미국 전력연구원 (EPRI) 선임연구원
- 2010년 5월 ~ 현재 : 전북대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

전력/배전 계통