

영동권~서해안 발전단지간 연계선로의 전력진동 제동력 향상을 위한 TCSC 적용방안

허 연*, 최진산**
한국전력공사*, 한국전력공사**

TCSC control for Damping enhancement of intra-area Power Oscillation between Yeongdong and West sea power generation sites

Yeon Hur*, Jinsan Choi**
Korea Electric Power Corporation*, Korea Electric Power Corporation**

Abstract - 전력진동(Power Oscillation)은 전력이 0.05 Hz ~ 3.0 Hz 의 저주파로 진동하는 현상으로서 계통고장 등의 원인으로 의해 취약한 송전선로에서 발생된다. 전력진동의 종류에는 inter-area mode, intra-area mode, local mode 등이 있는데, 국내 전력계통에서는 향후 영동권 원자력단지와 충남 서해안 화력단지 간을 연결하는 초고압 송전선로에서 intra-area mode의 전력진동이 발생할 가능성이 있다. TCSC를 적용하여 전력진동 제동효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서 국내 전력계통에 TCSC를 설치함으로써 전력진동이 효과적으로 감소됨을 보인다. simulation 결과, 전력진동이 5% 수준으로 대폭 감소됨을 알 수 있다.

1. 서 론

TCSC는 선로의 리액턴스를 조정하여 전력진동 제동 작용을 만든다. TCSC의 계통해석에는 PSS/E에 내장된 전류주입용 CRANI Model과, 임피던스 제어를 위한 UDM Model을 사용한다. 영동권과 서해안권을 연결하는 765kV 및 345kV 송전선로에 TCSC를 적용하여 dynamic simulation을 통해 전력진동 제동력 향상효과를 분석한다.

2. 본 론

2.1 국내 계통의 전력진동 현상

국내 전력계통의 여건변동에 따른 전력진동 현상 발생원인과, 향후 전력진동 발생 가능성을 알아본다.

2.1.1 전력계통 여건 변동

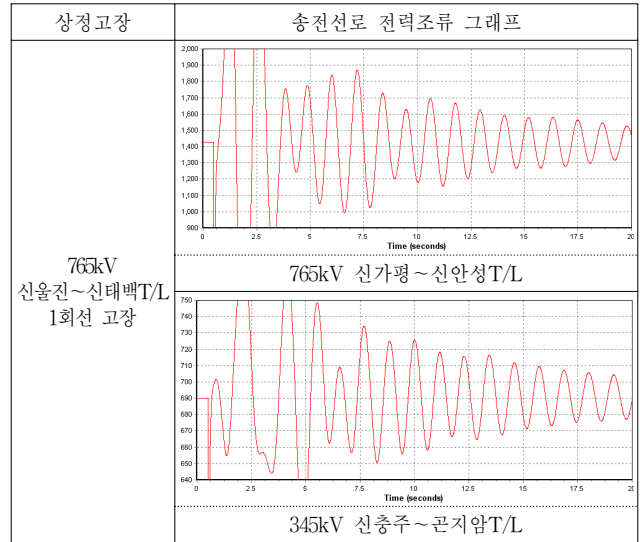
제5차 전력수급기본계획에 따라 영동권에 신울진원자력, 삼척화력 등이 건설되고, 중부 서해안에 당진, 태안, 신보령화력 등이 건설될 예정이다. 그러나, 이처럼 대규모로 건설되는 발전소를 계통에 연계하기 위한 송전선로 건설은 사회적·경제적 이유로 인해 점점 건설이 어려워지고 있는 실정이다. 이에 따라, 송전선로 이용률이 점차 증가하고, 계통안정성이 낮아지게 되어 송전선로 고장 등 외란 발생시 전력진동 현상이 나타나고, 연도별로 발전설비가 증가함에 따라 점차 심화되는 추세이다.

<표 1> 영동권(동해안) 및 중부권(서해안) 발전소 건설계획

년 도	영동권 발전소	중부권 발전소
2014년 기설	· 울진 1~6호기 (6,000MW)	· 당진 1~8호기 · 태안 1~8호기 · 보령 1~8호기 (12,000MW)
2015년~2019년	· 신울진 1,2호기 · 삼척 1,2호기 · 동해만자1,2호기 (6,000MW)	· 당진 9,10호기 · 태안 9,10호기 · 신보령 1,2호기 · 동부그린 1,2호기 (7,000MW)
2020년 이후	· 신울진 3,4호기 · 삼척 3,4호기 (4,800MW)	
총 합	16,800MW	19,000MW

2.1.2 전력진동 현상 발생 가능성

2019년 peak 부하시 계통데이터를 기반으로 해서 국내 계통의 전력계통 발생 가능성을 조사한다. <그림 1>은 TCSC 설치 전에 765kV 신울진~신태백T/L 1회선 상정고장시 송전선로에 발생하는 전력진동을 보여준다. 전력진동의 765kV 및 345kV 송전선로 전력진동의 진폭은 10초가 경과된 시점에서 각각 450MW, 140MW 정도이다. 진동 주파수는 약 0.8Hz로서 intra-area mode의 전력진동으로 분류할 수 있다.



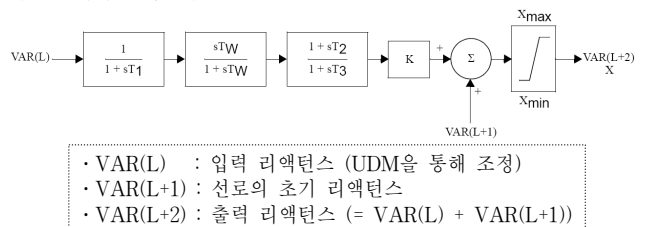
<그림 1> TCSC 제어가 없을 경우 전력진동 현상

2.2 TCSC 계통해석 모델

TCSC를 적용한 dynamic simulation을 위해서는 TCSC가 설치된 송전선로의 리액턴스를 자동으로 조정해주고, feedback 제어를 통해 오차를 최소화하는 전력제어 모델이 필요하다. 본 논문에서는 송전선로 리액턴스 조정에 PSS/E에서 제공하는 'CRANI' model을 사용하고, 전력조류의 feedback 제어에는 PI 제어기를 가진 전력제어 model을 사용한다.

2.2.1 PSS/E CRANI model

Dynamic simulation에서 TCSC는 입력신호에 반응하여 선로 리액턴스를 자동으로 조정한다. PSS/E에서 제공하는 'CRANI' model을 적용하여 계통을 구성하는 송전선로의 리액턴스를 변화시킬 수 있다. 리액턴스 제한치인 simulation 시작시에 VAR(L+1)은 선로의 초기 리액턴스로 정해져 있다. Washout(Tw) 때문에 제어기의 출력은 정상상태에서 0이 된다. 출력 선로 리액턴스인 VAR(L+2)는 제어기 입력 VAR(L+1)의 변화에 반응하여 변화한다.

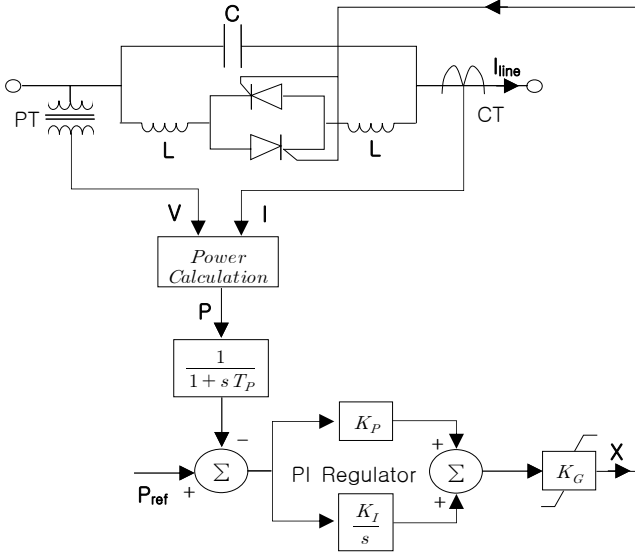


<그림 2> PSS/E CRANI Model

2.2.2 TCSC 전력 제어기

TCSC 전력 제어기의 block diagram은 <그림 3>과 같다. 선로 전력조류가 측정된 전압과 전류를 통해 계산된다. 계산된 전력 P는 시지연 필터를 거쳐서 제어기의 합산기로 가게 된다. 기준신호 P_ref는 TCSC 설치된 선로의 원하는 전력조류 수준을 나타내며, 제어기는 PI 구조로 되어 있다. 기준신호와 계산된 전력의 오차를

반영하여 선로의 리액턴스를 제어한다. PSS/E dynamic simulation에 TCSC 전력제어기를 구현하기 위해서 간단한 UDM을 제작하고, PI 제어기의 K_P , K_I parameter 값을 튜닝해야 한다. 튜닝을 하는 방법은, 먼저 K_I 를 작게 설정 하여 적분기의 작용을 배제한다. K_P 를 큰 값에서 작은 값으로 점점 감소시키면서 적절한 응답일 때의 값을 구한다. 그 다음, K_I 를 점점 증가시키면서 최적값을 찾는다.



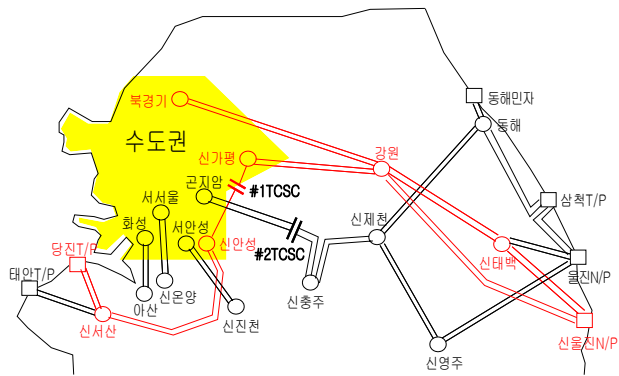
〈그림 3〉 TCSC 전력 제어기 Block Diagram

2.3 TCSC 적용을 통한 전력진동 제동효과

TCSC 설치 및 전력진동 제동력 향상제어를 통해 <그림 1>의 전력진동이 해소되는 결과를 simulation을 통해 알아본다.

2.3.1 TCSC 설치 위치

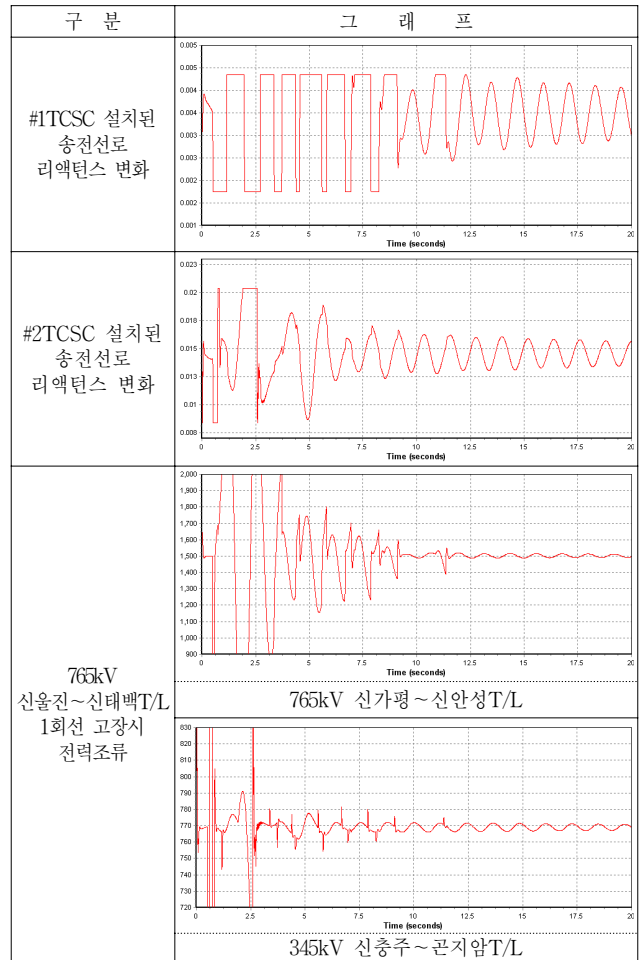
2015년에 345kV 신충주~곧지암T/L에 TCSC를 설치하는 계획이 수립되어있다. 또한 향후에 영동권과 수도권을 연결하는 765kV 송전선로에 TCSC가 적용될 가능성이 있다. 여기서는 영동권과 서해안권을 연결하는 765kV 신가평~신안성T/L에 #1TCSC, 345kV 신충주~곧지암T/L에 #2TCSC를 설치하는 것으로 가정한다. 설치용량은 각각 송전선로 리액턴스의 60%이다. 송전선로의 리액턴스는 각각 0.0043pu, 0.024pu 이므로 TCSC 제어에 의한 송전선로 리액턴스 변동 범위는 각각 0.00175~0.00435pu와 0.0084~0.0204pu가 된다.



〈그림 4〉 TCSC 설치 위치

2.3.2 TCSC 설치에 따른 제동효과 분석

#1TCSC의 작용에 의해 765kV 신가평~신안성T/L의 리액턴스와 345kV 신충주~곧지암T/L의 리액턴스가 <그림 5>와 같이 각각 0.00175~0.00435pu와 0.0084~0.0204pu의 범위에서 변동한다. TCSC 제어의 초반에는 전력진동의 폭이 크기 때문에 최대치와 최소치를 번갈아가며 나타내는 소위 “Bang-Bang” 제어상태가 된다. 10초 정도 지나면 전력진동 제동력이 작동하여 진동이 거의 감소된다. TCSC가 없을 때의 전력진동 <그림 1>과 비교하여 10초가 경과된 시점에서 전력진동의 진폭은 765kV, 345kV 송전선로 각각 450MW, 140MW에서 20MW, 7MW로 감소하여 TCSC의 적용효과를 보여준다.



〈그림 5〉 TCSC 제어에 의한 전력진동 제동효과

3. 결 론

지금까지 국내 전력계통의 여건변동(대규모 발전단지 건설 등)에 따른 전력진동 현상의 발생가능성을 조사하고 및 TCSC 적용을 통한 전력진동 해소 PSS/E 시뮬레이션을 수행하였다. 전력진동은 전력이 0.05 Hz ~ 3.0 Hz의 저주파로 진동하는 현상으로서 계통고장 등의 원인으로 인해 취약한 송전선로에서 발생한다. 전력계통의 불안정 요인이 되기 때문에 제동력 향상을 통한 해소가 필수적이다.

국내 전력계통에서는 2019년에 765kV 신울진~신태백T/L 1회선 고장시에 765kV 신가평~신안성T/L 및 345kV 신충주~곧지암T/L에 진폭이 각각 450MW, 140MW인 0.8Hz의 전력진동이 발생할 가능성이 있다. 이에 따라, 전력계통의 제동력을 향상시키기 위하여 각 선로에 60%의 보수수준을 가진 TCSC를 적용하였다.

TCSC의 dynamic simulation에는 PSS/E에서 제공하는 “CRANI” model과 리액턴스 변화량을 계산하는 UDM model을 활용하였다. TCSC 설치를 통해 전력진동이 450MW, 140MW에서 각각 20MW, 7MW로 큰 폭으로 감소하였다. 이로써, 국내 전력진동의 제동력 향상을 위해 TCSC 적용이 효과적임을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. M. Anderson, R. G. Farmer, “Series Compensation of Power System”, PBLSH, 1996
- [2] Huang Wenkan, “Implement of an Adaptive Controller for Controlled Series Compensators in PSS/E”, Royal Institute of Technology, 2007