

PSS2A와 IEEEEST PSS의 우리나라 계통에 대한 영향 분석

*이상성 **이강원 ***장광수 ***박종근 ***문승일 ***윤용태
*기초전력연구원 **(주)대화기술사 ***서울대 전기공학부

Effect Analysis of PSS2A & IEEEEST PSS of Power System in South Korea

*Sang-Seung Lee **Kang-Wan Lee ***Gwang-Soo Jang ***Jong-Keun Park ***Sung-Il Moon ***Yong-Tae Yoon
*KESRI **Dawhwa Engineering ***Seoul National University

Abstract – 본 논문에서는 송전 계통사고 시 부하차단 이후 우리나라 2005년 계통에 대하여 전력계통안정화장치(Power System Stabilizer : PSS)의 영향 및 효과를 캐나다 Powertech Labs Inc.의 TSAT(Transient Security Assessment Tool)을 이용하여 분석하였다. 모의를 위한 송전선로의 사고는 765kV 선로와 345kV 선로를 대상으로 하였으며, 8개의 모선에 대하여 상정 사고를 발생시켜 선로 차단 및 재투입을 고려하여 실시하였다. 본 연구에서 TSAT에 대한 기존의 전통적인 형태인 IEEEEST type과 보다 정교한 이중구조를 가진 PSS2A type의 두 가지를 검토한 결과를 살펴보면 절반의 경우가 발전단 인근 지점의 사고시 발전기가 안정을 회복하지 못하고 탈조하는 것으로 나타났다. 그 외의 지역의 모선 단의 PSS투입효과는 비교적 램프 효과가 있는 것으로 나타났다.

1. 서 론

발전기를 포함한 전력계통은 외란(사고나 선로 차단 등)으로 인하여 저주파진동을 당면하게 된다. 이 진동은 지속하거나, 만일 적절한 제동을 이용할 수 없다면, 발전기는 심하게 흔들리거나 탈조하게 되며, 그 즉시 계통은 분리되어야 한다. 계통의 제동을 개선하기 위하여, 발전기는 여자기의 보조적으로 안정화 신호를 제공하는 전력계통안정화장치(Power System Stabilizer : PSSs)를 갖추어야 한다. 전력계통 내 발전기의 여자기 입력에 보조신호로서 주입하여 제동효과를 주는 PSS에 적용된 알고리즘을 살펴보면 다음과 같다. 첫 번째로 고전적 PSS, 즉 Lead-Lag Compensator이고, 속도 입력, 주파수 입력, 전력 입력 안정화장치가 있다. 이는 F. P. deMello and C. Concordia에 의해 많은 연구가 이루어졌다[1]. 이는 보조 입력 신호를 활용하는 안정화장치의 일반적인 주파수 응답 특성을 논하며, 튜닝 측면과 성능 발휘를 좌우하는 기본적인 개념도 같이 다룬다. 각기 다른 구조의 현대 제어 기법의 잠재력에도 불구하고, 전력회사들은 여전히 전통적인 진상-지상(lead-lag) PSS 구조를 여전히 선호해왔다. 이 고전적 안정화장치를 아직도 선호하는 것은 제어 지령시 전통적인 안정화장치의 파라미터 조정(tuning)의 편리함 때문일 것이다[1,5].

두 번째로 최근에 현대 제어 이론 및 비선형 제어이론에 바탕을 둔 몇 가지 접근방법은 PSS 설계 문제에 적용되어 왔다[6-12].

본 논문에서 검토한 우리나라 계통에 적용한 전력계통안정화 장치의 형태는 IEEEEST type과 PSS2A type의 두 가지이다. PSS의 적용 형태는 첫 번째로 전체 발전기에 PSS를 부착하지 않은 경우, 두 번째로 일부 몇 모선에 PSS2A와 IEEEEST PSS를 투입한 경우,

세 번째로 PSS2A PSS를 전체 발전기에 모두 부착한 경우, 네 번째로 IEEEEST PSS를 전체 발전기에 모두 부착한 경우로서 4가지 사례에 대하여 검토하였다.

본 연구에서 TSAT에 대한 검토한 결과를 살펴보면 절반의 경우가 발전단 인근 지점의 사고시 발전기가 안정을 회복하지 못하고 탈조하는 것으로 나타났다. 그 외의 지역의 모선 단의 PSS투입효과는 비교적 램프 효과가 있는 것으로 나타났다[13-16].

2. 본 론

2.1 IEEEEST type과 PSS2A type PSS의 구조

본 논문에서 우리나라 계통에 적용한 전력계통안정화 장치의 형태는 IEEEEST type과 PSS2A type의 두 가지이다. IEEEEST type은 각속도 ω 를 입력으로 하고 PSS2A type의 경우는 각속도 ω 와 전기적 출력 P_e 의 두 신호를 이용하는 2중 구조로 되어있다.

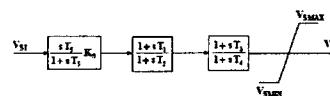


그림 2.1 IEEEEST type의 전력계통안정화장치

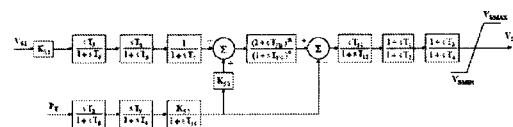


그림 2.2 PSS2A type의 전력계통안정화장치

축 속도를 입력받는 전력계통 안정화장치는 실용적으로 지상/진상 단계를 활용하여 관심 주파수 대역에 대해 GEP(s)의 위상 지연을 보상해야 한다. 이득은 높은 주파수에서 얻음으로써 노이즈의 타격을 줄이고 비틀림 상호작용을 최소화하며, 결과적으로 저주파 통과(low-pass) 및 대역소거필터(band-reject filter)가 필요하게 된다. 세정(washout) 단계가 포함되어 시스템 주파수가 바뀜에 따라 정상상태 전압 치우침을 방지한다.

$$PSS_w(s) = K_s \frac{T_w s}{(1 + T_w s)} \frac{(1 + sT_1)(1 + sT_2)}{(1 + sT_2)(1 + sT_4)} FILTS(s) \quad (1)$$

3. 시뮬레이션 결과

사례분석 연구는 8가지 경우로 수행되었다.

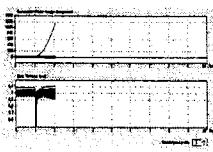


그림 3.1(a) Case 1-PSS가 없을 경우

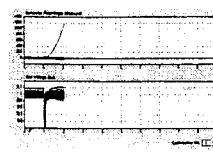


그림 3.1(b) Case 1-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

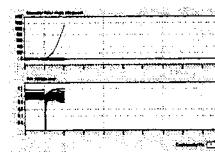


그림 3.1(c) Case 1-IEEEST Type이 모두 설치



그림 3.1(d) Case 1-PSS2A Type이 모두 설치

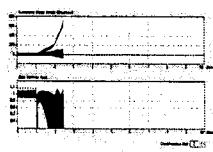


그림 3.2(a) Case 2-PSS가 없을 경우

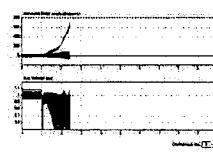


그림 3.2(b) Case 2-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

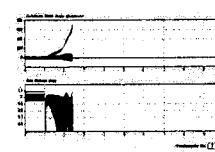


그림 3.2(c) Case 2-IEEEST Type이 모두 설치

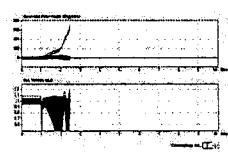


그림 3.2(d) Case 2-PSS2A Type이 모두 설치

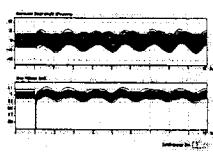


그림 3.3(a) Case 3-PSS가 없을 경우

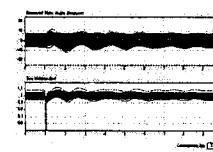


그림 3.3(b) Case 3-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

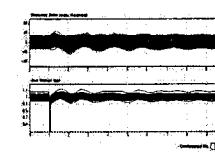


그림 3.3(c) Case 3-IEEEST Type이 모두 설치

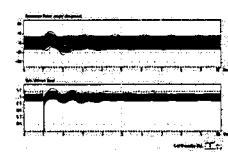


그림 3.3(d) Case 3-PSS2A Type이 모두 설치

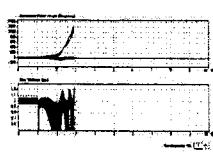


그림 3.4(a) Case 4-PSS가 없을 경우

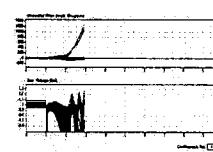


그림 3.4(b) Case 4-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

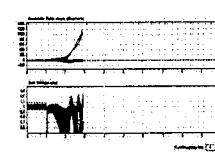


그림 3.4(c) Case 4-IEEEST Type이 모두 설치

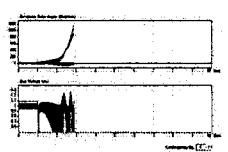


그림 3.4(d) Case 4-PSS2A Type이 모두 설치

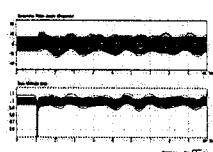


그림 3.5(a) Case 5-PSS가 없을 경우

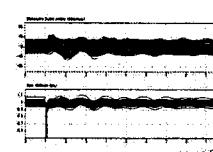


그림 3.5(b) Case 5-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

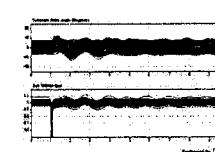


그림 3.5(c) Case 5-IEEEST Type이 모두 설치

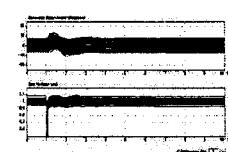


그림 3.5(d) Case 5-PSS2A Type이 모두 설치

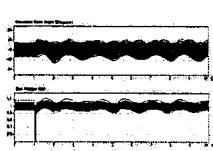


그림 3.6(a) Case 6-PSS가 없을 경우

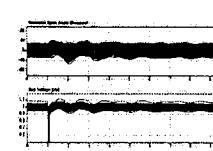


그림 3.6(b) Case 6-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

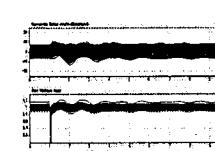


그림 3.6(c) Case 6-IEEEST Type이 모두 설치

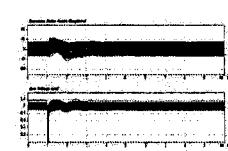


그림 3.6(d) Case 6-PSS2A Type이 모두 설치

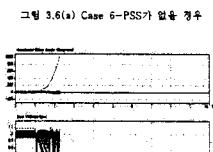


그림 3.7(a) Case 7-PSS가 없을 경우

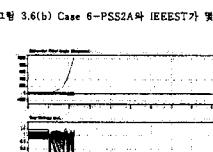


그림 3.7(b) Case 7-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

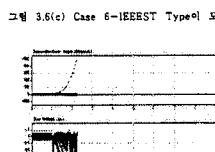


그림 3.7(c) Case 7-IEEEST Type이 모두 설치

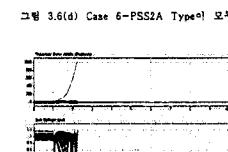


그림 3.7(d) Case 7-PSS2A Type이 모두 설치

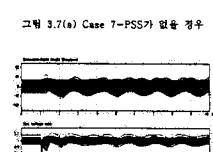


그림 3.8(a) Case 8-PSS가 없을 경우

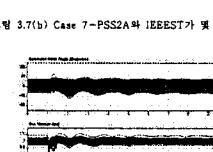


그림 3.8(b) Case 8-PSS2A와 IEEEST가 몇 군데 설치

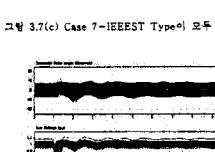


그림 3.8(c) Case 8-IEEEST Type이 모두 설치

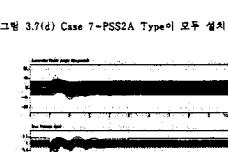


그림 3.8(d) Case 8-PSS2A Type이 모두 설치

3.1 한전 계통 2006년 계통의 PSS 사례분석

사례분석 연구는 모선전압은 765kV와 345kV에서 수행되었다. 모의시간은 10초이며, step size는 0.01이고, integration은 일반적으로 미분방정식의 해를 구하는 데 사용되는 적분알고리즘인 RK4로 하였다.

사례1에서는 당진TP7(모선번호 6020, 765kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 당진TP7(모선번호 6020, 765kV) 모선과 신서산7(모선번호6030, 765kV) 모선 사이의 선로를 1.083초에 trip하였다. 사고주기는 4.98사이클이다.

사례2에서는 신안성7(모선번호 4010, 765kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 신안성7(모선번호 4010, 765kV) 모선과 신서산7(모선번호6030, 765kV) 모선 사이의 선로를 1.083초에 trip하였다. 사고주기는 4.98사이클이다.

사례3에서는 신가평7(모선번호 1020, 765kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 신가평7(모선번호 1020, 765kV) 모선과 신안성7(모선번호4010, 765kV) 모선 사이의 선로를 1.083초에 trip하였다. 사고주기는 4.98사이클이다.

사례4에서는 신가평7(모선번호 1020, 765kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 신가평7(모선번호 1020, 765kV) 모선과 신태백7(모선번호5010, 765kV) 모선 사이의 선로를 1.083초에 trip하였다. 사고주기는 4.98사이클이다.

사례5에서는 화성3(모선번호 4400, 345kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 화성3(모선번호 4400, 345kV) 모선과 아산3(모선번호6950, 345kV) 모선 사이의 선로와 화성3(모선번호4400, 345kV) 모선과 아산S(모선번호6951, 345kV) 모선 사이의 선로를 1.100초에 trip하였다. 사고주기는 6사이클이다.

사례6에서는 화성3(모선번호 4400, 345kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 화성3(모선번호 4400, 345kV) 모선과 서서울3(모선번호4600, 345kV) 모선 사이의 선로와 화성3(모선번호4400, 345kV)모선과 서서울S(모선번호4601, 345kV) 모선 사이의 선로를 1.100초에 trip하였고, 사고주기는 6사이클이다.

사례7에서는 화성S(모선번호 4401, 345kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 화성S(모선번호 4401, 345kV) 모선과 평택TP3(모선번호4450-1, 345kV) 모선 사이의 선로와 화성S(모선번호4401, 345kV) 모선과 평택TP3(모선번호4450-2, 345kV) 모선 사이의 선로를 1.100초에 trip하였다. 사고주기는 6사이클이다.

사례8에서는 화성S(모선번호 4401, 345kV)에서 3-phase 사고가 1초에서 발생하여 화성S(모선번호 3650, 345kV) 모선과 화성S(모선번호4401-1, 345kV) 모선 사이의 선로와 신안산3(모선번호3500, 345kV) 모선과 화성S(모선번호4401-2, 345kV) 모선 사이의 선로를 1.100초에 trip하였다. 사고주기는 6사이클이다.

3.2 PSS 설치효과 분석

그림 3.1(a)~3.8(a)는 TSAT_PSS 설치가 안된 경우이다. 그림 3.1(b)~3.8(b)는 PSS2A와 IEEEEST Type PSS가 몇 군데 설치된 경우이다. 그림

3.1(c)~3.8(c)는 기존의 전통적인 형태인 IEEEEST Type의 PSS가 모두 설치된 경우이다. 그럼 3.1(d)~3.8(d)는 보다 개선된 형태인 PSS2A Type의 PSS가 모두 설치된 경우이다.

그림 3.1(a)~3.1(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조하는 것으로 나타났다. 모선 단자전압 역시 굉장히 동요함을 알 수 있다.

그림 3.2(a)~3.2(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조하는 것으로 나타났다. 모선 단자전압 역시 굉장히 동요함을 알 수 있다. 회전각이나 단자전압의 파형은 앞의 그림 8.1보다 훨씬 심하게 나타난 것을 알 수 있다.

그림 3.3(a)~3.3(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조하지는 않지만 심하게 흔들림을 알 수 있다. 모선 단자전압 역시 굉장히 동요함을 알 수 있다. 이 경우 제어효과는 (d), (c), (b)순으로 나타난다.

그림 3.4(a)~3.4(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조함을 알 수 있다. 모선 단자전압 역시 굉장히 심하게 동요함을 알 수 있다.

그림 3.5(a)~3.5(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조하지는 않지만 심하게 흔들림을 알 수 있다. 모선 단자전압 역시 굉장히 동요함을 알 수 있다. 이 경우도 역시 제어효과는 (d), (c), (b)순으로 나타난다.

그림 3.6(a)~3.6(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조하지는 않지만 심하게 흔들림을 알 수 있다. 모선 단자전압 역시 굉장히 동요함을 알 수 있다. 이 경우 제어효과는 (d), (c), (b)순으로 나타난다.

그림 3.7(a)~3.7(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조한다. 모선 단자전압 역시 굉장히 동요함을 알 수 있다.

그림 3.8(a)~3.8(d)에서 나타난 바와 같이 사고 이후 바로 발전기 회전자 각은 엄청나게 동요하여 사고모션에 가까이 연결된 발전기가 탈조하지는 않지만 심하게 흔들리며, 모선 단자전압 역시 굉장히 동요함을 알 수 있다. 제어효과는 (d), (c), (b)순으로 나타난다.

4. 결 론

이 논문에서는 계통의 사고이후 동요상태를 담평할 수 있는 현행 2가지의 전력계통안정화장치를 우리나라 2005년 계통에 대하여 IEEEEST type과 PSS2A type을 적용하여 검토하였다. 적용하여 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 전체 발전기에 PSS를 부착하지 않은 경우이고

- Case 1,2,4,7은 발전기가 심하게 진동하여 탈조하였으며, Case 3,5,6,8은 발전기가 매우 큰 진동을 일으켜 심하게 흔들림을 볼 수 있다.
- (2) PSS2A와 IEEEEST PSS를 투입한 경우인데 역시 Case 1,2,4,7은 발전기가 심하게 진동하여 탈조하였으며, Case 3,5,6,8은 발전기가 매우 진동을 일으켜 심하게 흔들리다가 부분적으로 약간의 제동효과를 나타내고 있다.
 - (3) IEEEEST PSS를 전체 발전기에 모두 부착한 경우로서 Case 1,2,4,7은 발전기가 심하게 진동하여 탈조하였으나, Case 3,5,6,8은 발전기의 흔들림에 대하여 네 번째의 경우보다는 못하지만 어느 정도의 제동효과를 나타내고 있다.
 - (4) PSS2A PSS를 전체 발전기에 모두 부착한 경우 Case 1,2,4,7은 발전기가 심하게 진동하여 탈조하였으나, Case 3,5,6,8은 발전기의 흔들림에 대하여 상당한 제동효과를 나타내고 있다.
- 우리나라 전체계통의 과형을 하나의 화면에 나타내었지만, 위의 (3)과 (4)의 과형을 각 사례별로 조밀하게 관해 보면 그 땜평효과는 더욱 좋게 보인다. 향후 연구에서는 765kV 모선에 관련된 사고이후 각 구간의 인근 발전기들에 관한 안정화 문제를 다루는 대책을 위한 연구가 필요하다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제이며 관리기관 관계자들에게 감사드립니다. 아울러 TSAT을 지원해준 캐나다 Powertech Labs Inc.,와 (주)대화기술사에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] F. P. deMello and C. Concordia, "Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control", *IEEE Trans. Vol. PAS-88*, April 1969, pp. 189-202.
- [2] E. V. Larsen and D. A. Swann, "Appling power system stabilizers Part I: General concepts", *IEEE Trans. Vol. PAS-100*, June, 1981, pp. 3017-3033.
- [3] Y. N. Yu, "Electric power system dynamics", Academic Press, 1983.
- [4] P. W. Sauer and M. A. Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, 1998.
- [5] P. M. Anderson and A. A. Fouad, "Power System Control and Stability", IEEE Series on Power Engineering, Second Edition, 2003.
- [6] A. Andreou and K. Bhattacharya, "Robust tuning of power system stabilizers using a Lyapunov method based genetic algorithm", *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 17, No. 3, pp. 406-413, September 2002.
- [7] M. A. Abido, "Optimal design of power system stabilizer using particle swarm optimization", *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 17, No. 3, pp. 406-413, September 2002.
- [8] Q. Lu and Y. Sun, "Nonlinear stabilizing control of multimachine systems", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 4, pp. 236-241, Feb. 1989.
- [9] S. S. Lee, J. K. Park and J. J. Lee, "Extending of standard H_∞ controller to H_∞/sliding mode controller with an application to power system stabilization", *IEE Proc. Control Theory Appl.*, 146, (5), pp. 367-372, 1999.
- [10] S. S. Lee and J. K. Park, "Design of reduced-order observer-based variable structure power system stabilizer for unmeasurable state variables", *IEE PROC.-GEN., TRANS. AND DISTRIBUT.*, *IEE Proc. Gen. Trans. and Distrib.*, 145, (5), pp. 525-530, 1998.

- [11] K. Fregene and D. Kennedy, "Stabilizing control of a high-order generator model by adaptive feedback linearization", *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 18, pp. 149-156, Mar. 2003.
- [12] 이상성외 7명, "발전기에 적용된 전력계통안정화장치(PSS)의 사례 분석", 대한전기학회 추계학술대회, 2003.7.
- [13] Powertech, "TSAT Model Manual", Ver 3.0, March, 2003.
- [14] Powertech, "TSAT User Manual", Ver 3.0, March, 2003.
- [15] KEPCO, "2005년 raw data", 2004.
- [16] 이백석, 강대언, 이강완, "345kV 한류리액터 운전에 따른 전력계통 동적안전도 해석", 대한전기학회 하계학술대회, 2004.7.