발전기 무효전력 성능시험 절차서 정립

신만수*, 이주현*, 임익헌*, 류호선*, 신중선**, 변성현**
한전 전력연구원*, 한국전력거래소**

Reactive Power Capability Verification Strategy

Shin Man-su*, Lee Ju-hyun*, Lim Ick-heon*, Ryu Ho-seon*, Shin Jung-seon**, Byun Seong-hyun**
KEPCO KEPRI*, KPX**

Abstract - Generator has responded quickly with variation of power system voltage and is controlled at real time. As a reactive power source, generator is revalued better than power condenser and as a reactive power sink. is revalued. But Domestic generators scarcely have been tested and operated to reactive power capability. In case of power system fault, operators wouldn't quickly take a follow-up measures about reactive power disturbance.

Therefore generator reactive power capability verification strategy must be developed, several generators is tested as a exhibition since 2004. Thi s paper is extract from the test contents.

1. 서 론

전기위원회에서는 2003년 8월에 미국 동부지방의 광역정전과 관련하여 국내 전력계통을 분야별로 집중 검토하였는데, 그 결과로 "발전기 무효전력 공급능력 시험"을 무효전력 및 전압제어 분야의 주요 개선 추진항목으로 선정하였다.

주파수가 유효전력의 수급에 따라서 균형을 유지하는 반면, 계통전압은 무효전력의 수급에 따라서 변화한다. 발전기는 전압변동에 대한 응동속도가 빠르고, 실시간 제어가 가능하다는 점에서 우수한 무효전력 공급 및 소비원으로 평가되고 있다. 국내 발전기들은 제한치까지 운전된 이력과 시험이력이 거의 없는 관계로 전력계통 고장이 발생할 때 무효전력에 대한 신속한 운전이 어려울 것으로 예상된다. 체계적으로 발전기의 무효전력 성능시험 방법을 개발하여 몇 개의 시험대상 발전기를 선정하여 시범적용할 필요성이 생겼다.

2. 본 론

2.1 무효전력 성능시험 개요

본 연구의 진행은 무효전력 성능시험 대상 발전기를 각 발전회사를 대상으로 공모하여 총 8기를 선정하였다. 그 다음 정해진 시험 일정에 따라서 대상 발전기 담당자들과 사전 협의를 거쳐서 여자시스템 지침서, 도면 등의 자료를 입수하여 분석한 다음 발전기가 정지 중인 계획예방정비공사기간을 이용하여 대상 발전기 현장에 출장하여 무효전력 성능시험을 수행하였다. 그 다음 대상 발전기가 계통병입하여 정상 운전을 하고 있을 때 시험예정일의 계통 수요 및 대상 발전기의 특성 등을 분석하여 출력대(100%, 75%, 50%, 30%(최소 부하) 별로 공급 및 소비 능력의 한계치를 결정하여 온라인 무효전력 성능시험을 수행하였다. 다음에서 살펴볼 사례는 본 연구 대상발전기에 두 대나 포함되어 있는 석탄화력 발전기이다. 여자시스템은 외국에서 도입한 정지형 형식이다.

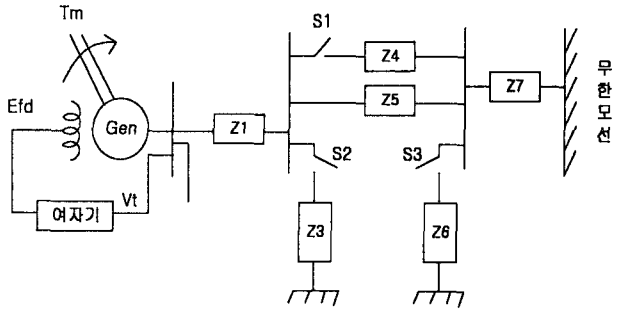
2.2 오프라인 무효전력 성능시험

발전기가 정지되어 있을 때를 편의상 오프라인이라고 하고 발전기가 전력계통에 병입되었을 때를 온라인이라 정의하였다. 먼저 오프라인 무효전력 성능시험에 대해서 기술한다. 오프라인 무효전력 성능시험은 발전기와 전력계통을 모의한 여자시스템 기능시험 시뮬레이터와 3상 전원 공급기와 직류전압전류발생기 등을 이용하여 수행할 수 있다.

여자시스템 기능시험 시뮬레이터와 3상 전원 공급기의 가장 큰 차이점은 발전기의 운전 변수가 능동적으로 변하느냐는 것인데 전자는 발전기 단자전압과 단자전류, 계자전압 신호선이 현장 여자시스템과 전자가 서로 연결되어 능동적으로 여자시스템(또는 전자)에서 조작하는 대로 주고 받는다. 후자는 일방적으로 발전기 PT 2차 전압과 CT 2차 전류 신호를 조정하여 공급한다. 이상에서 기술한 방법이 바로 부족여자 제한 시험이고 과여자 제한 시험은 직류전압전류발생기를 이용하여 계자전류를 궤환받아 자동전압조정기로 입력되는 부분에 직접 임의 신호를 공급하여 시험하는 방법이다.

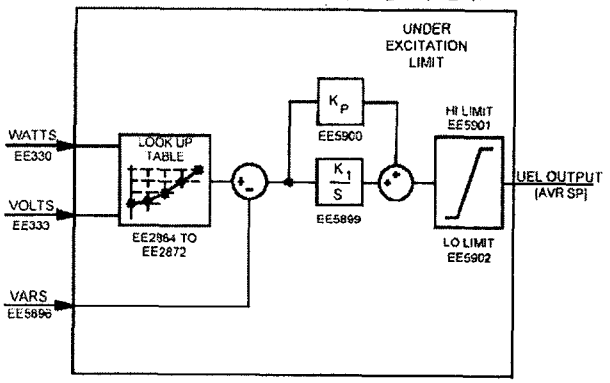
2.2.1 부족여자 제한 기능

부족여자 제한 기능의 목적은 발전기 철심 단부 과열방지와 전기자 반작용 증의 증자작용으로 인한 발전기 안정도 저하 방지이다. 그림 1과 같이 분석 대상 발전기 A 여자시스템과 여자시스템 기능시험 시뮬레이터를 연결하여(발전기 단자전압, 단자전류, 계자전압 신호 등) 터빈 부하(여자시스템 기능시험 시뮬레이터에서 모의)별로 분석 대상 여자시스템의 현장 조작반에서 직접 자동전압조정기 설정값을 하강 조작하여 부족여자제한 기능이 동작되는 것을 시험하였다.



<그림 1> 전체 시스템의 블록 선도

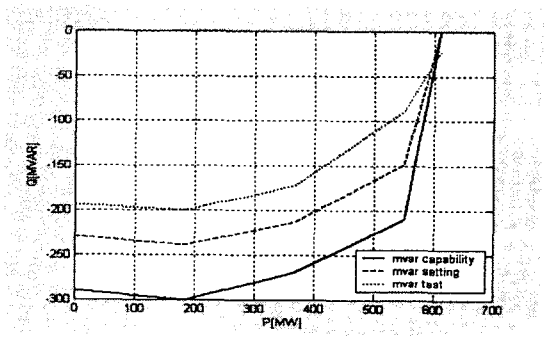
시험 대상 발전기 여자시스템의 부족여자 제한 기능 알고리즘은 그림 2와 같다. 그리고 시험은 시뮬레이터의 터빈 부하를 기준으로 0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.0[p.u.]에서 실시하였다. 결과는 표 1과 그림 3과 같다.



<그림 2> 대상 발전기 A 부족여자 제한 알고리즘

<표 1> 대상 발전기 A 부족여자 제한 시험

유효 전력[MW]	0	184	367	551	612
소비 무효 전력[MVAR]	-290	-300	-270	-210	0
정정 무효전력[MVAR]	-229	-239	-214	-149	(0)
실험 무효전력[MVAR]	-194	-200	-173	-89	-22



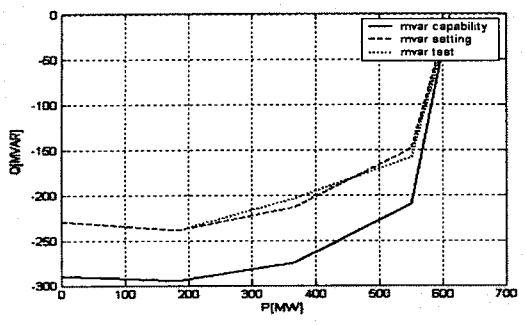
<그림 3> 시험 대상 발전기 A 부족여자 제한 시험

또 다른 방법은 3상 전원 공급기를 대상 여자시스템과 연결하여 발전기 부족여자 제한 기능을 동작시킬 수 있는 전류의 크기와 위상을 조정하여 부족여자 제한 기능의 동작 여부를 확인할 수 있다. 결과는 표 2와 그림 4와 같다. 3상 전원 공급기를 이용한 방법에서 정정치와 실험치가 근접하게

나타난 것은 여자시스템 기능시험 시뮬레이터에서 발전기 진상운전을 모의하면서 발전기 전압 크기가 작아짐에 따라 나타나는 현상으로 사료된다.

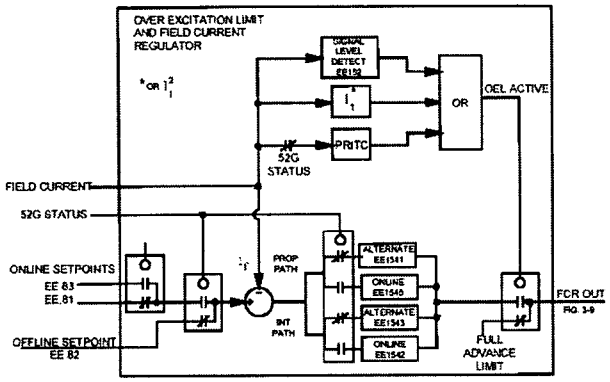
<표 2> 시험 대상 발전기 B 부족여자 제한 시험

유효 전력[MW]	0	184	367	551	612
소비 무효 전력[MVAR]	-290	-295	-275	-210	0
정정 무효전력[MVAR]	-229	-239	-214	-149	(0)
실험 무효전력[MVAR]	(-229)	-239	-204	-158	-8



<그림 4> 시험 대상 발전기 B 부족여자 제한 시험

2.2.2 과여자 제한 기능

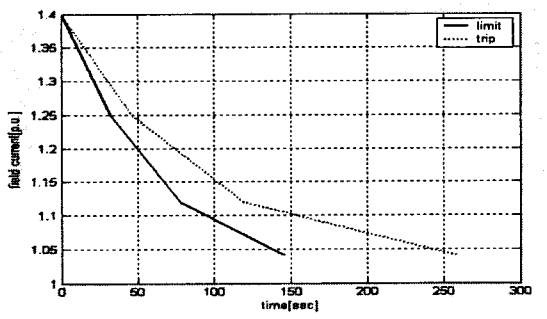


<그림 5> 대상 발전기 과여자 제한 알고리즘

과여자제한 기능은 그림 5와 같이 계자전류가 과다하게 흘렀을 때 계자전류를 낮추어 발전기 계자 권선 과열을 방지하는 것이다. 발전기 정지 중에 시험하는 방법은 대략 세 가지의 방법이 있다. 첫째 방법은 직류전압전류발생기를 이용하여 각 정류기(Core/Bridge)의 직류분로기(Shunt)에 직접 일정 신호(수십 mV)를 인가하여 확인하는 것이다. 그런데 그 4대의 정류기에서 나온 신호가 합산되어야 과여자 제한 설정치를 확인할 수 있는데 1대의 정류기 분만 현장조작반에 지시되는 관계로 여의치 않았다. 그런 현상은 실제 운전 조건을 모의할 수 있는 것을 소프트웨어적으로 강제입력을 해야 할 것으로 사료되나 그 부분을 찾을 수가 없었다.

둘째 방법은 프로그램 상에서 정정치에 해당되는 값을 직접 강제입력하여 현장조작반에서 발생되는 이벤트를 확인하는 것이다. 이 방법은 시험 대상 발전기 B에서 수행했던 방법이기도 하다. 그 결과는 표 3과 그림 6에 나타나 있다. 그런데 이 방법은 몇 가지 단계를 거쳐야 하는데 이 방법이 역시 시험 대상 발전기 A에서 처음 수행하는 방법이라 여의치 않았다.

셋째 방법은 현장 여자시스템과 여자시스템 기능시험 시뮬레이터를 연결하여 정상 운전처럼 모의한 상태에서 별도의 직류전압전류발생기를 이용하여 직류분로기(Shunt)에 해당 신호를 입력하는 것이다. 이 방법의 장점은 실제 운전 조건을 완벽하게 모의할 수 있다는 것인데 충분한 검토가 이뤄지지 못한 관계로 실행되지 못했다. 추후 다른 방법을 통해서 본 방법이 검증될 수 있을 것으로 생각된다.



<그림 6> 시험 대상 발전기 B 과여자 제한 및 보호 시험

<표 3> 시험대상 발전기 B 과여자 제한 및 보호 시험

입력 디지털값	환산계자전류[pu]	과여자제한[초]	과여자보호[초]
7000	1.4	0.18	0.26
6250	1.25	32	46
5600	1.12	78	119
5400	1.04	146	258

2.3 온라인 무효전력 성능시험

온라인 시험을 하기 전에 시험일의 계통 수요와 대상 발전기 B의 특성을 분석하여 각 출력대별 공급 및 소비 능력을 모의 분석한다. 각 제한곡선들의 정정치를 변경하지 않은 상태에서 오프라인 무효전력 성능시험 결과를 근거로 시험을 수행한다. 전력계통 분석 전문 프로그램에서 모의한 것을 바탕으로 실계통에서 시험을 수행하면 능력곡선과 각 제한 곡선 안에서 안정적으로 운전되는 것을 볼 수 있었다. 즉 실계통에서는 각 제한곡선의 정정치를 변경하지 않고는 각 제한 기능이 제대로 동작되는 지 확인할 수 없었다. 그렇지만 오프라인 상에서 여자시스템 기능시험 시뮬레이터(실 계통 상황을 모의)를 이용하여 부족여자 제한 동작을 확인을 했으므로 실계통에서도 거의 그에 준하는 결과가 나올 것으로 사료된다. 실제 실계통에서 시험 대상 발전기 B를 시험한 자료는 표 4와 같으며 정정치를 부족여자제한 정정치를 시험 가능한 수준으로 올려서 부족여자제한 동작이 이뤄지는 것도 확인하였다. 시험 대상 발전기 A와 B는 서로 사양이 같으며, 발전기 정격 전압은 22.00[kV], 정격 유효전력은 500[MW], 정격 계자전압 463[V], 정격 계자전류는 4353[A]이다.

<표 4> 시험대상 발전기 B 진상 운전 시험 자료

유효전력 [MW]	발전기전압 [kV]	무효전력 [MVar]	계자전압 [V]	계자전류 [A]
259	21.35	-58	166	1944
347	21.28	-60	195	2262
497	21.40	-37	255	2918

과여자 제한 시험의 경우 제작사에서 제공하는 발전기 능력곡선과 V 곡선 자료를 면밀히 검토한 결과 지상영역에서의 능력곡선을 따라서 정정되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 시험 대상 발전기 B의 경우 오프라인에서 표 3과 그림 6과 같이 확인하였고 실계통에서의 시험 결과도 표 5와 같이 정정치 보다 훨씬 적은 전류가 흘렀다. 시험 대상 발전기 A의 온라인 시험도 조만간 예정되어 있는데 과여자 제한 관련 정정치가 시험 대상 발전기 B와 동일하게 정정되어 있고 오프라인 시험시 정정치를 대폭 낮추어 동작여부를 확인하였기 때문에 큰 문제는 없을 것으로 사료되며 추후 그 결과를 발표할 수 있을 것으로 생각된다.

<표 5> 시험대상 발전기 B 지상 운전 시험 자료

유효전력 [MW]	발전기전압 [kV]	무효전력 [MVar]	계자전압 [V]	계자전류 [A]
213	23.14	256	316	3561
253	23.14	259	326	3636
388	23.08	284	366	4024
500	23.01	274	393	4255

3. 결 론

전력계통 운용 측면에서 보면 전압안정도를 향상시키기 위해서 무효전력 성능에 대한 체계적인 시험 및 운전이력관리가 필요한데, 국내에서 운용 중인 발전기 여자시스템은 각 발전소별로 형식이 다르며 또한 같은 형식과 같은 제작사라고 하더라도 설비 운용자 별로 관리 방법이 상이하여 그 내용을 정확하게 파악하고 시험하는데 다소 어려움이 있었다. 본 논문에서 기술한 시험 대상 발전기들의 실계통 시험 내용이 무효전력을 파악하는 표준 절차를 정립하는데 일조하기를 기대한다.

[참 고 문 헌]

[1] 임익헌, 이주현, 신만수, 이병구, 강민구, 신중선, 이창근 외 14, "전력계통 안정도 확보를 위한 발전기 무효전력 성능시험 방안 개발에 관한 연구", 한국전력거래소 계통운용처 중간보고서, 2005

[2] 임익헌, 이주현, 류호선, 신만수 외 5, "EX2000 제어 및 진단기법 개발 최종보고서", 한국수력원자력(주) 월성원자력본부 제2발전소, 2005

[3] 신만수, 류호선, 이주현, 임익헌, 김봉석, 송성일, "여자시스템 제어 및 진단기법 개발", 전기학회 하계학술대회논문집, D권, p2597-2599, 2005