

전력품질 개선을 위한 발전기 부하 추종성 분석시스템 개발

¹전종택, ¹이호상, ²이현철, ²박흥우, ²권옥현
¹한국전력공사 계통운영처, ²서울대학교 제어계측신기술연구소

**On-Line Monitoring and Analyzing System
of the Load Following Capability for Generators**

¹Jong-Taek Jeon, ¹Hyo-Sang Lee, ²Hyun-Chul Lee, ²Heung-Woo Park, ²Wook-Hyun Kwon
¹Power System Control Department, KEPCO ²ERC-ACI, Seoul National University

Abstract - In this paper, the system which can read the frequency and the power values of the generators, calculate the S.R., display the on-line graph and the off-line graph and manage the database of the generators was developed. This system should be more faster, comfortable and powerful than the present analysis method of the S.R. in real fields.

1. 서 론

정보화 사회로 접어든 20세기의 전력 수요는 국내 산업 기술의 발전과 국민 생활 수준의 향상으로 인해 과거의 양적인 개념 즉 안정적인 전력공급에서 질적인 전기 품질의 향상을 요구하는 형태로 발전되고 있으며 이는 향후 고객 서비스 차원에서 점차 강화될 것으로 예상된다. 따라서 개개 발전기의 부하 추종 능력을 향상시킴으로써 2001년도에는 주파수 유지율을 선진국 수준인 99.9%(60Hz±0.1Hz)까지 향상시키기 위한 목표가 설정되었다.

그러나 전원구성면에서 보면 경직성 전원인 원자력과 국내탄 발전 설비가 30% 이상을 점유하고 있다는 점과 철강산업의 급신장으로 제철부하의 순시 변동분이 500MW에 이르는 등 장기 목표달성을 위한 주변환경은 매우 어려운 실정이다. 그러므로 이러한 환경을 무난히 극복하기 위해서는 각 발전기들의 속도조절율이 정상범위 내에 들어야 하고, 또한 각 발전기들이 자발적으로 부하추종 운전에 적극 참여하도록 유도함으로써 설비 개선 및 유지 보수에 만전을 기하여야 한다. 따라서 원자력 발전기를 제외한 대부분의 발전기들을 1년에 두차례씩 부하 추종 시험을 실시하여, 그 실적을 토대로한 운전실적을 사업소의 경영 평가에 반영하고 이를 설비 개선과 유지 보수업무에 피드백시키고 있다.

그러나 지금까지 부하추종 시험은 대부분 시험자의 판단과 수계산으로 수행됨에 따라 정확하고 일관성 있는 결과를 얻을 수 없었으며, 또한 최근 전력 수급 형편이 여의치 않아 주간에는 부하추종 시험을 실시하기가 어려운 경우가 많아 전력 수요가 적은 심야에도 본 시험을 실시할 수 있도록 하고, 시험 결과에 대한 과학성과 신뢰도의 정확성을 입증할 수 있는 간편하고 편리한 분석 장치의 개발이 시급한 실정이다. 이에 본 연구에서는 발전기의 부하추종 성능을 모니터링하고 분석할 수 있는 장치를 개발하였으며, 개발된 시스템을 사업소에 확대 보급시 분석기법의 과학화와 전산화로 업무 간소화에 크게 기여할 것으로 생각한다.

2. 부하추종성 분석시스템의 구성

2.1 시스템 구조

현재 한국전력 중앙급전소는 모든 발전기의 출력 신호와 주파수 신호를 EMS(Energy Management System)을 통하여 모니터링 하고 있다. 본 연구에서

개발한 분석시스템은 이러한 EMS로부터 발전기의 출력량을 아날로그 전압신호로서 읽어 들이고 현재 사용자의 실 사용전원인 PC 전원의 주파수를 주파수변환기(Frequency Transducer)를 통하여 읽어 들여 이를 모니터링하고, 저장·분석하여 국내 개개 발전기의 부하 추종성능을 평가하는 시스템으로 아래와 같이 구성된다.

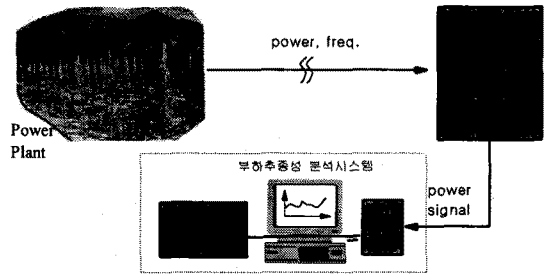


그림 1. 부하추종성 분석시스템 구성도

2.2 시스템 실행 화면

개발된 시스템의 GUI는 하나의 주윈도우와 6개의 부윈도우로 구성되며, 각 윈도우의 실행화면 및 기능은 다음과 같다.

- 주메뉴 윈도우
 시스템 기동시 처음으로 나타나는 윈도우로서 부윈도우를 나열하고, 이를 선택하여 기동하는데 사용한다.
- 발전기 제원 및 특성 DB 작성 윈도우
 현재 부하 추종 운전중인 국내의 발전기에 대한 정보를 발전기의 원별에 따라 DB화하여 관리하여 이를 분석 결과와 연계 가능하도록 하였다. 현재 기력 49기, 가스터빈 53기, 수력 6기의 발전기가 등록되어 있다.
- 신호파형 그래프 윈도우
 온라인과 오프라인 그래프 윈도우로 구분되며, A/D 보드를 통하여 입력되는 주파수 및 발전기 출력 데이터를 화면에 표시하는 기능을 수행하는 윈도우이다. 온라인 그래프를 이용하여 현재 입력중인 데이터의 모니터링이 가능하며, 오프라인 그래프는 분석후 결과 검토에 이용된다.
- 부하추종성 결과분석 윈도우
 사용자가 선택한 발전기와 분석시간에 대하여 A/D 보드를 통해 얻은 발전기 출력 데이터와 주파수 데이터를 이용하여 설정치(threshold) 이상으로 변동이 심한 곳을 찾아 속도조절율(S.R.)을 계산하는 기능을 수행하는 윈도우이다.
- 파라미터설정 윈도우
 이 윈도우에서는 분석시스템을 사용함에 있어 사용자가 설정가능한 모든 파라미터를 입력·수정한다. 신호 입력주기 및 각 A/D 입력단자에 어떤 발전기가 연결되어 있는지를 DB와 연계하여 설정하고, 분석시 주파수 출력 변이의 검출을 위한 문턱값 등이 설정된다.

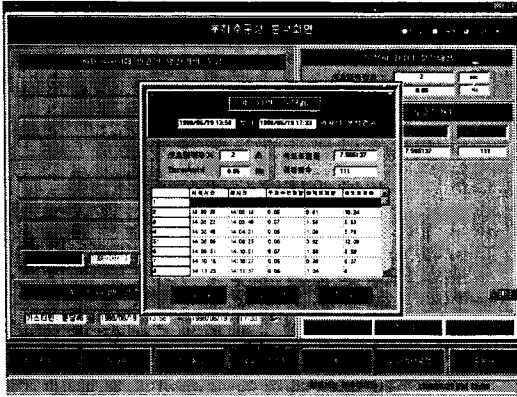


그림 2. 부하추종성 결과분석 윈도우 실행 예

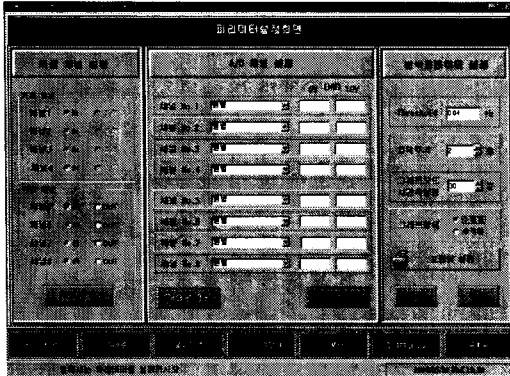


그림 3. 파라미터설정 윈도우 실행 예

• 보조기억장치관리 윈도우

저장된 데이터 파일을 ZIP 드라이브로 저장하고, 분석을 위하여 다시 로드하는 기능을 수행한다.

• 리포트 생성윈도우

분석 결과 및 특성 DB와의 연계를 통하여 설정된 리포트폼에 따라 리포트를 작성하고, 출력하는 기능을 수행한다.

3. 분석이론 및 구현 알고리즘

주파수 변동의 원인은 유효 전력의 수요와 공급의 불균형 결과가 주파수의 변화로 나타난다. 주파수 제어의 목적은 고객에게 양질의 전력을 안정적으로 공급함으로써 서비스를 제공한다는 측면과 전력계통 안정 운용 측면으로 대별할 수 있다. 주파수 변동에 따라 소비전력도 변동하며, 실제로는 발전기 출력도 변동한다. 각 발전기는 주파수 변동을 표준치까지 회복하기 위하여 조속기 동작에 의해 주파수 변동을 억제시키도록 하는 가버너 후리(governor free) 운전을 행하고 있다. 만약 주파수가 ΔF 저하하면 발전기 출력은 ΔP_g 증가하며, 이 관계는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\frac{\Delta P_g}{\Delta F} = -k_g$$

여기서 k_g 는 발전기의 주파수 특성 정수라 하며, 일반적으로 0.1Hz당 MW, 또는 이 MW의 정격용량에 대한 백분율로 표현된다. 일반적으로 n대의 발전기가 가버너 후리운전하고 있는 계통의 발전기 주파수 특성 정수는 다음식으로 표현된다.

$$k_g = \sum_{i=1}^n K_{gi}$$

이 연구에서는 이러한 발전기의 주파수 제어 성능을 속도조정율(S.R.)로서 나타내며, 아래 식과 같이 표현된다.

$$S.R. = \frac{(\Delta F \times P_n)}{(\Delta P \times F_n)} \times 100(\%)$$

ΔF , ΔP , F_n , P_n 은 각각 주파수변화량, 출력변화량, 정격주파수, 정격출력이다. A/D보드로부터 2초마다 취득한 주파수와 각 발전기 출력 신호로부터 주파수가 일정치 이상으로 변화하는 부분을 검출하여, 그 순간의 속도조정율을 산출하고, 얻어진 값의 평균치로서 검사대상 발전기에 대한 속도조정율을 결정한다.

본 연구에서는 개발한 저장된 데이터를 로딩하여, 속도조정율을 계산하는 결과 분석 알고리즘은 아래와 같은 순서로 수행된다.

- ① 분석을 원하는 발전기와 시간대에 대한 주파수 데이터와 발전기 출력 데이터를 읽어들인다.
- ② 주파수 데이터를 미분하여, 신호의 기울기 정보를 얻는다. (주파수 변화량 데이터가 0.003 Hz 이하일 경우에는 0으로 간주한다.)
- ③ 미분된 주파수 데이터를 이용하여 같은 부호의 기울기를 유지하는 구간, 즉 주파수가 부호 변화없이 증가 또는 감소하는 구간을 찾는다.
- ④ 같은 기울기를 유지하는 구간의 시작시간과 끝시간을 구한다.
- ⑤ ④번 항목에서 구한 구간 중에 분석을 행할 구간만 선택한다. 즉 4샘플 이상 같은 기울기를 유지하는 구간만 선택하고, 그 이하로 변화하는 구간은 선택하지 않는다.
- ⑥ ⑤번 항목에서 구한 구간에 대하여 주파수 변화량이 설정치(0.05Hz) 이상으로 변화되는 구간을 구한다.
- ⑦ 이 구간에 대한 발전기 출력 변화량을 구한다.
- ⑧ ②~⑤의 과정을 발전기 출력 데이터에 대하여 반복한다.
- ⑨ 발전기 출력 변화량이 설정치 이상으로 변화되는 구간을 구한다.
- ⑩ ⑨에서 구한 구간에 대하여 주파수 변화량을 계산하고, 다시 이 중 주파수 변화량이 설정치 이상으로 변화하는 구간을 선택한다.
- ⑪ 주파수를 기준으로 구한 결과에 발전기 출력 변화량을 이용하여 구한 결과를 보상하여 최종 속도조정율을 산출한다.
- ⑫ 위 ①항목에서 ⑪항목까지의 과정을 발전기별로 반복한다.

분석 알고리즘 구현상의 방법으로서 데이터에 0이 계속해서 4개 이상 존재할 경우에는 기울기 데이터의 부호를 인위적으로 바꾸어 줌으로써 분석을 행할 구간에서 제외하였다. 또한, 응답속도지연을 고려하여 발전기 출력 데이터는 주파수 데이터로부터 4샘플 정도 이후에서 취하도록 하였다.

분석 결과를 보면, 주파수 데이터만을 기준으로 분석을 하는 것은 어느 정도까지는 구현가능하지만 보다 정확한 분석을 위해서는 발전량 데이터를 기준으로 분석을 하여 결과를 보완할 필요가 있었다. 이렇게 함으로써 보다 정확한 분석 수행이 가능하다.

4. 현장 시험 및 결과

아래 내용은 기력 발전소중에서 ○○호기에 대해 주파수를 기준으로 분석한 결과에 발전기 출력을 기준으로 분석한 결과를 보완하여 그 결과를 보여 주고 있다. 주파수만을 기준으로 분석한 결과는 아래 표 1과 같으며, 발전량만을 기준으로 분석한 결과는 아래 표 2와 같다.

아래 결과에서 알 수 있듯이 주파수를 기준으로 분석을 행할 경우, 주파수가 변화하다가 잠시동안 데이터가

찌그러지는 경우 이를 검출하기 어렵다는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위하여 발전량을 기준으로 분석한 결과를 보강하였다. 발전량을 기준으로 분석하면 주파수가 변화하다가 잠시동안 데이터가 찌그러지는 경우에도 이를 잘 검출할 수 있다. 주파수와 발전기 출력량을 모두 고려하여 분석한 결과는 아래 표3과 같다. 또한 오프라인 그래프 기능을 이용하여 분석 결과를 그래프로 볼 수 있다(그림 4 참조). 이 그래프에는 "결과표시"라는 기능의 버튼이 있으며 이 버튼을 누르면 검출된 구간이 표시된다.

표1. 주파수만을 기준으로 분석을 행한 경우의 결과

	시작시간	끝시간	주파수 변화량	출력 변화량	속도 조정율
1	14:42:19	14:42:45	0.06	9.691	5.15
2	14:43:25	14:43:53	0.08	11.102	6
3	14:45:41	14:45:59	0.07	8.221	7.09
4	14:47:55	14:48:09	0.06	9.278	5.38
5	14:54:37	14:54:49	0.05	6.032	6.9
6	14:56:19	14:56:35	0.05	7.897	5.27
7	14:59:05	14:59:25	0.05	6.283	6.63
8	15:04:37	15:04:55	0.05	6.549	6.36
9	15:05:53	15:06:03	0.05	5.746	7.25
10	15:17:33	15:17:49	0.05	6.826	6.1
11	15:18:37	15:18:55	0.07	8.817	6.61
12	15:25:29	15:25:43	0.06	7.248	6.89

표2. 발전량만을 기준으로 분석을 행한 경우의 결과

	시작시간	끝시간	주파수 변화량	출력 변화량	속도 조정율
1	14:33:49	14:34:01	0.05	6.145	6.78
2	14:35:11	14:35:37	0.08	9.677	6.88
3	14:42:19	14:42:47	0.06	9.691	5.15
4	14:43:39	14:44:05	0.08	9.426	7.07
5	14:44:05	14:44:33	0.05	7.877	5.28
6	14:46:51	14:47:01	0.05	7.117	5.85
7	14:47:55	14:48:09	0.06	9.278	5.38
8	14:51:51	14:52:13	0.06	7.36	6.79
9	14:54:37	14:54:51	0.05	6.065	6.87
10	14:56:35	14:57:05	0.05	9.268	4.49
11	14:59:05	14:59:25	0.05	6.283	6.63
12	15:05:09	15:05:17	0.06	6.108	8.18
13	15:05:33	15:06:03	0.08	10.891	6.12
14	15:17:33	15:17:51	0.05	6.826	6.1
15	15:18:23	15:18:37	0.05	6.569	6.34
16	15:18:37	15:19:05	0.08	10.098	6.6
17	15:25:29	15:25:45	0.06	7.248	6.89

따라서 결과 분석시 이 두 방법을 혼합하여 수행하는 것이 바람직하며, 응용프로그램을 사용할 때 사용자가 분석 방법을 주파수를 기준으로 하는 경우, 발전량을 기준으로 하는 경우, 두 방법을 혼합한 경우 등에서 한 가지를 선택할 수 있게끔 하였다.

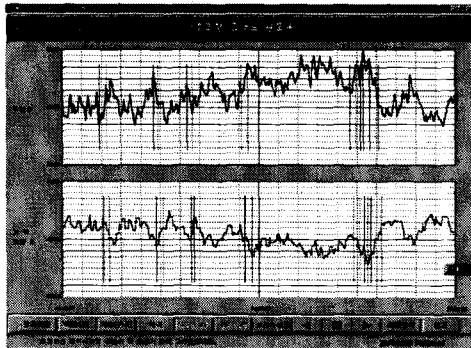


그림 4. 분석 결과의 오프라인그래프

표를 보면 주파수를 기준으로 분석을 행한 경우 또는 발전기 출력량 기준으로 분석한 경우 어느 한 쪽에서만

검출된 결과는 변화 없이 그대로 존재하며, 두 방법에서 결과가 겹치거나 포개어질 경우에는 보다 정확한 값을 선택하도록 되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나 발전량만을 기준으로 분석하는 것은 오류를 범하기 쉬우며 특정 발전기에 관계없이 결과 값이 잘 나오는 경향이 있다. 이는 단지 결과 값의 보완에만 이용하는 것이 바람직하다.

표3. 주파수와 발전량을 모두 고려하여 분석을 행한 경우의 결과(검출회수: 20회, 속도조정을 평균: 6.30)

	시작시간	끝시간	주파수 변화량	출력 변화량	속도 조정율
1	14:33:49	14:34:01	0.05	6.145	6.78
2	14:35:11	14:35:37	0.08	9.677	6.88
3	14:42:19	14:42:47	0.06	9.691	5.15
4	14:43:39	14:44:05	0.08	9.426	7.07
5	14:44:05	14:44:33	0.05	7.877	5.28
6	14:45:41	14:45:59	0.07	8.221	7.09
7	14:46:51	14:47:01	0.05	7.117	5.85
8	14:47:55	14:48:09	0.06	9.278	5.38
9	14:51:51	14:52:13	0.06	7.36	6.79
10	14:54:37	14:54:51	0.05	6.065	6.87
11	14:56:19	14:56:35	0.05	7.897	5.27
12	14:56:35	14:57:05	0.05	9.268	4.49
13	14:59:05	14:59:25	0.05	6.283	6.43
14	15:04:37	15:04:55	0.05	6.549	6.36
15	15:05:09	15:05:17	0.06	6.108	8.18
16	15:05:33	15:06:03	0.08	10.891	6.12
17	15:17:33	15:17:51	0.05	6.826	6.1
18	15:18:23	15:18:37	0.05	6.569	6.34
19	15:18:37	15:19:05	0.08	10.098	6.6
20	15:25:29	15:25:45	0.06	7.248	6.89

위와 같이 검출된 결과를 기존의 수작업을 이용한 측정 결과와 비교하여 보니 거의 유사한 속도 조정율이 산출됨을 알 수 있었다. 그러나 본 시스템을 이용하는 경우 실시간 주파수 데이터를 가지고 측정, 분석을 수행함으로써, 기존의 signal recoder가 2초마다 읽어들이는 데이터만을 가지고 검출하기 때문에 이로 인해 정확한 피크 값을 검출하지 못하는 단점을 보완할 수 있다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 발전기의 부하추종 성능을 기록, 표시하기 위한 장치와 개개 발전기의 속도 조정율을 분석해 계산하는 소프트웨어를 탑재한 발전기 부하추종성 분석시스템을 개발하는데 있다. PC에 A/D 보드를 부착하여 이를 통하여 발전기 출력 및 주파수 데이터를 읽어 들여 이러한 데이터를 관리하고, 가공하는 시스템을 구성하였다. 같은 시간대의 주파수 변화량과 발전기 출력 변화량을 동시에 고려하여 각 발전기의 정확한 속도조정율을 계산하는 분석 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 사용자의 조작 편의성과 그래픽 사용자 인터페이스 등의 부가적인 기능을 강조하여 구성하였으며, 본 연구 결과로 개발된 분석 시스템은 발전기의 부하 추종 운전 시험의 결과에 대한 과학성과 신뢰성을 주게되어, 사업소에 확대보급시 분석기법의 과학화와 전산화로 업무 간소화에 크게 기여할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- (1) 권웅, 최승문, 조규현, 김대원, 이범희, "인라인 모니터링 시스템의 개발", KACC, pp.989-992, 1995
- (2) 김세호, 최병운, 문연철, "배전계통 상황실에서 운전원을 지원하는 전문가 시스템", 대한전기학회, 제45권, 제11호, 1996
- (3) S.Li, S.M.Shahidehpour, "An object oriented power system graphics package for PC environment," IEEE Trans. Power Systems, Vol.8, No.3, pp.1054-1060, 1993
- (4) 원동기 속도 제어, 한국전력공사 정비기획실, 1997
- (5) 급전기초반 교재, 한국전력공사 발전처, 1988