

불감대 특성을 지닌 터빈제어 계통에 관한연구

\* 황 제 호 \* 이 상 혁 서 진 현 \*\*

\* 한전 기술연구원 \*\*서울 대학교 전기공학과

A Study on Dead-Zone Turbine Control System

Jae-Ho, Hwang Sang-Hyug, Lee Jin-Heon, Seo  
KEPCO Researcher Seoul National University

Abstract

This paper describes the nonlinear analysis and effectual operation methods of thermal power plant turbine control system. When the turbine control governor system has dead-zone characteristic, the effectual frequency development control is difficult ,because turbine output does not correspond to frequency deviation in dead-zone. Therefore to obtain effectual correspondance, the turbine dead-zone characteristic must be analyzed by proper method. This paper proposes this nonlinear analysis and effectual plant operating load.

1. 서 론

전력계통 주파수 일정제어는 발전소 출력 변동에 의존한다. 주파수 변화에 대해 민감하게 응답하는 정도에 따라 발전소 계통운전이 결정된다. 그 응답상태와 정도는 터빈제어특성에 따라 다양하며, 보일러 제어기능과 안정도가 보장될때 만이 가능하다. 터빈제어특성은 대기가 비선형적 특성을 가지며 그 비선형성도 조속기의 종류, 기계적 연결상태, 주증기 제어밸브와의 연관성, 기계 마모 상태 등에 따라 다르다. 따라서 일반적으로 터빈제어의 Structure를 정하기는 어렵고 각발전소 터빈제어특성을 특성시험에 의해 개별적으로 구하여 그 특성에 적합한 발전소 출력운전을 시행해야 한다.

터빈제어 시스템의 특성분석, 역시 각 경우마다 다르다. 터빈제어의 비선형동작은 불감대가 전체 전달특성에 걸쳐 복잡하게 형성된 경우에는 주파수 변화에 선형적으로 응답하는 것이 아니라, 불감대 내에서 돌발적인 응답을 하기때문에 어느 한 주파수 변화에 대하여 동일한 출력변화를 예상하기 힘들다. 결국 정해진 운전 부하범위 내에서 전체적으로는 주파수 제어를 한 셈이기는 하나, 그 속응성을 결정하기란 쉽지않다.

본 논문에서는 그러한 특성을 지닌 터빈제어의 비선형성을 분석하되, 특성시험에 의해 제어의 전달특성곡선을 구하고 구간별 폭을 계산함으로써 불감대가 있는 경우의 주파수 응답특성을 규명하고 최적 주파수 응답부하대를 결정한후, 실제 조속기응동시험 결과로 입증하였다. 선정된 대상 화력 발전소는 영동화력 발전소 제 1 호기이다.

2. 터빈제어의 전달특성

영동화력 제 1 호기 조속기 응동 운전 시험을 실시하여 전달특성을 구하였다. 표1 에 영동화력 제 1 호기 사양을 보였다.

보일러	
연료 :	무연탄 + 증유
보일러 용량 :	420 t/Hour
조속기 온도 :	541
주증기 압력 :	131 kg/cm
터빈	
용량 :	125 Mw
회전수 :	3600 RPM
제작회사 :	Hitach

표1. 영동 화력 제 1 호기 사양

2.1 조속기 서보모터 변위대 발전기 출력 특성곡선

발전소 출력변화를 부하제한기에 의해 출력 60 Mw에서 130 Mw 까지 상승내지는 강하시키면서 조속기 서보모터 변위에 대한 발전기 출력 특성곡선을 구한다. 영동화력 제 1 호기 터빈제어의 결과를 그림 1에 보았다.

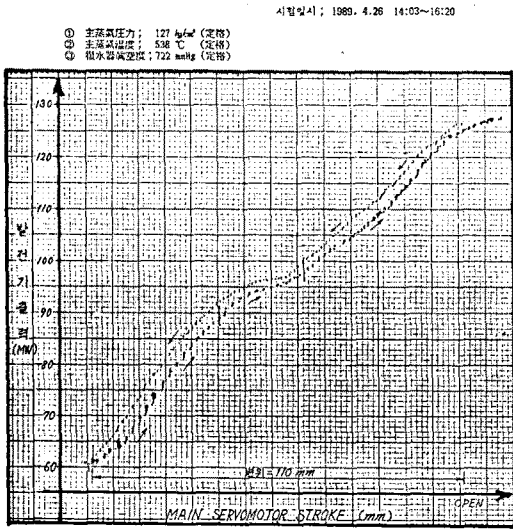


그림1. 영동화력 제 1 호기 서보모터에 따른 발전기 출력 특성곡선

2.2 전달 특성 함수

그림1에서 얻은 곡선의 다항식을 수치해석 기법으로 구하면 그림1과 같이 제련될수 있으며 다항식은 표2와 같다.

이와같이 구한 전달특성 곡선은 매 출력 변화마다 불감대를 갖고 있으며 이 불감대 폭과 곡선의 기울기에따라 조속기 속응성이 결정된다. 그림3에는 곡선의 출력에 따른 미분치 변화를 보였으며 그림4에는 불감대폭의 변화를보였다.

3. 비선형성 해석에의한 주파수 제어효과

그림1로부터 구한 그림3,4로부터 다음과 같은 비선형성 특성이 주파수 제어에 미치는 영향을 논할수 있다.

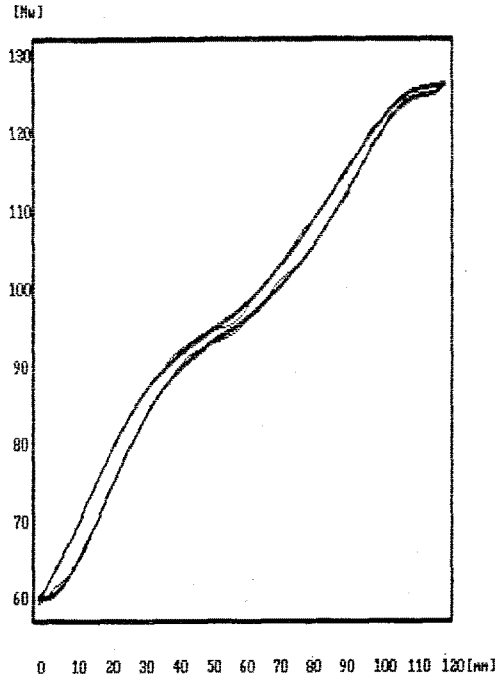


그림2. 전달특성함수 근사식

a [1]	=	6.16059364086141E-0001
a [2]	=	5.51942823927675E-0001
a [3]	=	3.55226633550774E+0000
a [4]	=	-1.09244006225927E+0001
a [5]	=	6.58526834032818E+0000
a [6]	=	6.47323275079543E+0000
a [7]	=	-1.32417806824196E+0000
a [8]	=	-5.36988882619335E+0000
a [9]	=	-3.49997736767182E+0000
a [10]	=	1.05044530003943E+0000
a [11]	=	4.06679520144826E+0000
a [12]	=	3.04855264115031E+0000
a [13]	=	-1.37075842172271E+0000
a [14]	=	-4.62518219825142E+0000
a [15]	=	2.39109823529361E+0000

ERROR = 8.91245721355460E-0004

표2-1. 위 다항식의 계수

a [1] =	6.18569324144119E-0001
a [2] =	-2.72300588473172E-0001
a [3] =	7.59271584727685E+0000
a [4] =	-1.73856502703275E+0001
a [5] =	8.07580693198543E+0000
a [6] =	1.02192737725127E+0001
a [7] =	-8.77117340378391E-0001
a [8] =	-7.87089656995522E+0000
a [9] =	-5.82992024897248E+0000
a [10] =	1.20241199839984E+0000
a [11] =	6.49856456668203E+0000
a [12] =	5.29496769380785E+0000
a [13] =	-2.13330329476958E+0000
a [14] =	-8.18047282687621E+0000
a [15] =	4.25010185456631E+0000
ERROR =	9.52505240231716E-0004

표2-2. 아래 다항식의 계수

(derivatives)

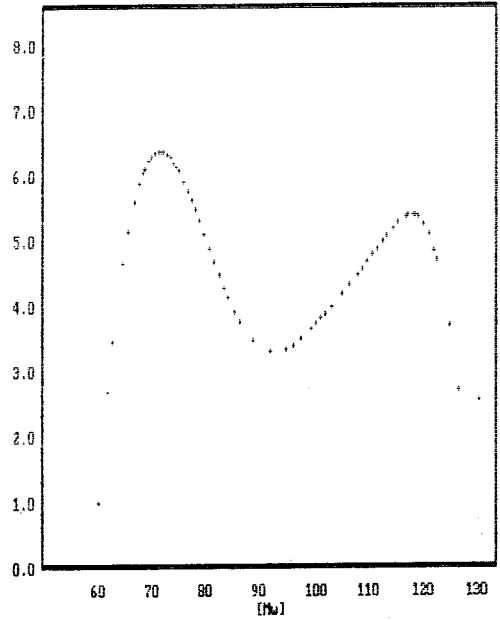


그림3-2. 출력에 따른 아래 곡선의 미분치 변화

(derivatives)

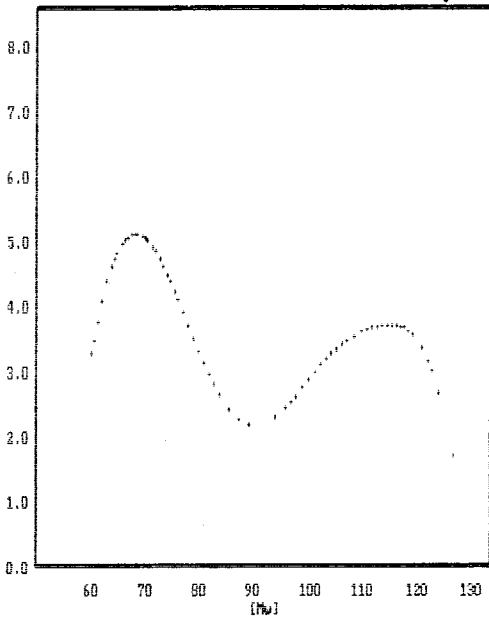


그림3-1. 출력에 따른 위 곡선의 미분치 변화

[mm]

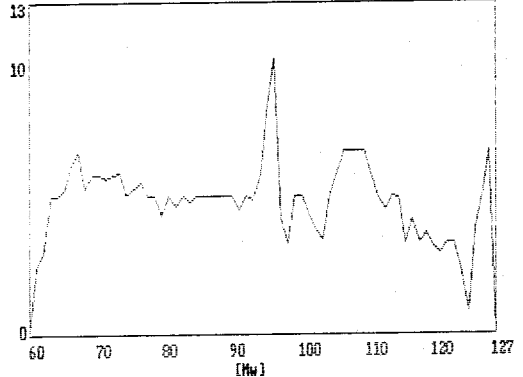


그림4. 출력에 따른 불감대폭의 변화

(정리): 불감대가 전 출력 범위에 걸쳐 퍼져있고 출력변화가 어느 구간 내에서 이루어지는 경우 주파수 변화에 따른 가장 높은 조속기 응답 출력 변동 속응도를 갖는 부하대는 아래의 식들에 의해 결정되며 이러한 부하대에서 주파수 제어 출력운전을 해야한다.

(가정): Boiler 안정도는 보장됨

$$f_1(x) \leq Dx \leq f_2(x) \quad ①$$

$$D(x) = \int_{x-\alpha}^{x+\alpha} f_1(x) dx - \int_{x-\alpha}^{x+\alpha} f_2(x) dx \quad ②$$

$$dxa = \inf_x [d(x)] \quad ③$$

$$P_{xa} = dxa \cap dr_{1a} \cap dr_{2a} \quad ④$$

여기서 x : 발전기 출력 (Mw)  
 $f_1(x)$  : 출력증가시 출력변동에 따른 서보모타 변위곡선

$f_2(x)$  : 출력감하시 출력변동에 따른 서보모타 변위곡선

Dx : 불감대 범위

D(x) : 출력변동폭에서의 불감대 면적

x±α : 운전 부하대

dxa : 불감대 면적을 최소로 하는 운 부하대

dr<sub>1a</sub> :  $f_1(x)$ 의 미분치들로 이루어진 Set들 중 그 원소의 합이 가장 높은 Set 부하대

dr<sub>2a</sub> :  $f_2(x)$ 의 미분치들로 이루어진 Set들 중 그 원소의 합이 가장 높은 Set의 부하대

P<sub>xa</sub> : 속응도가 가장 높은 부하대

기준출력 : 95 MW  
 Speed Droop-Setting: 4.0 %  
 Speed Regulation 실측값 : 계산불가  
 89.4.27

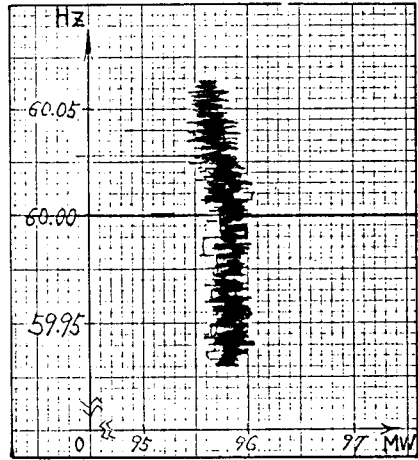


그림5.

#### 4. 결 론

(증명) 이에 대한 증명은 실제 발전소 운전시험에 의했다. (자세한 내용은 참고문헌을 참고할 것) 표3에 조속기 응답시험 결과를 보였다.

(S.R Setting.3%)

내용	부하대 Mw	80	95	110	120
속도 조정률 %		7.78	19.7	8.2	7.56
		8.8	26.0	9.26	8.8
주증기 압력 ± kg/cm <sup>2</sup>		0.7	1.0	1.0	1.5
주증기 온도 ± °C		3.0	4.5	5.4	5.6
드럼 수위 ± mm		20	10	20	20

표3.

시험결과 120Mw 부하대에서 주파수 변화에대한 조속기 속응도가 가장양호하며 앞의 그림3과 그림4에서도 120Mw부근에서 같은결과를 얻을을 볼수있다. 참고로 95 Mw부근에서 주파수 변화에대한 조속기 응답상태를 그림5에 보였다.그림에서 알수있듯이 90 100Mw에서는 조속기의 응동성이 거의 없다.

불감대가 전출력 변화 범위에 걸쳐있는 터빈제어의 속응성은 앞에서 제시된 비선형성 해석에 의해서 구하고 실제 운전시험 결과를 통하여 입증하였는데, 표3에서 보여주듯이 속도조정률이 일정치 못하고 주파수 변화에대해 어떤 범위 내에서 변화하는 특성을 알수있다. 이는 터빈제어의 비선형성을 나타내는 것으로 그원인은 물론 불감대에 기인한다. 결국 불감대가 있는 터빈제어의 주파수 변화에 따른 조속기 응동은 일률적인 값을 구하기가 어려우며, 동시에 주파수 제어에 큰기여를 하지못한다. 단지 그러한 비선형성에도 불구하고 굳이 주파수 제어를 하려면 본 글에서 제시된 방법으로 시행하면 바람직하다.

#### 참 고 문 헌

- 1) THOSHIBA Co., " Implementation of EHC and Systematic Approaches Load Follow-Up Capability ", 1985
- 2) 한전 기술연구원, " 주파수 조정운전을 위한 터빈 조속기 및 보일러 제어계의 성능개선", 1987

- 3) M.A.Eggenberger, " Introduction to the Basic Elements of Control systems for Large Steam Turbine-Generators", PP5-35 General Electric, 1978
- 4) B.S.Habibullah, Optimal Governor Control of a Synchronous Machine, IEEE Trans.on A.C Vol. AC-26, NO2, April 1981
- 5) THOSHIBA Co., " Dynamic Behavior and Stability Problems in Steam Power Plants"
- 6) 황재호, 이정준, 서진현. " 비선형성 해석에 의한 화력 발전소 터빈제어 계통에 관한 연구" 1989.10.  
'89 KACC
- 7) 한전 기술연구원. " 영동화력 제 1 호기 주파수 제어 운전시험보고서" 1989.5