

## 복수기 역세정 자동화 개발에 관한 연구

김창호\* · 김덕구\*\* · 오성보\*\*\*

### A Study on Development of an Automatic Condenser Back Wash

Chang-Ho Kim\*, Deog-Goo Kim\*\* and Seong-Bo Oh\*\*\*

#### ABSTRACT

This paper describes development of an automatic condenser back wash. A condenser of turbine generator plays an important role in increasing of turbine efficiency with condensing to exhaust steam of low pressure turbine. Therefore, we need automatic condenser back wash system to maintain cleanliness of condenser tube, to improve performance by vacuum management. We have developed the program on automatic condenser back wash by distributed control system.

It applies the system of condenser remote control at central control room in Bukcheju thermal power plant No.1 unit. Consequently, this automatic condenser back wash system can contribute to improvement of turbine efficiency by remote control of an automatic condenser back wash valve.

**Key words** : Condenser back wash, remote control, turbine efficiency

#### 1. 서론

복수기는 증기물 응축시키기 위한 최소 열량만을 배출하고 나머지 열량은 보존해야 한다. 복수기에서 증기물 응축시킬 때 다량의 응축열이 냉각수와 열교환되어 방출되고 이때 방출되는 응축열은 전체 열량 중 약 45~50(%)에 해당되므로 복수기 성능은 발전 사이클 전체의 효율에 미치는 영향이 매우 크다. 그

러므로 복수기 진공도가 저하되면 터빈 일이 감소되고 지나치게 상승하면 응축수가 과냉각 되어 터빈 수명 및 효율을 오히려 저하시킨다.<sup>1)</sup>

최근 발전소 냉각수 공급 배관에 주변 생활 하수의 유입과 해수 오염 또는 해초 등의 이물질로 인한 복수기 관내의 청결도가 저하되며 부식이 촉진되므로 복수기의 적정 진공도 유지에 많은 문제점이 발생되고 있다.<sup>2)</sup>

이 연구에서는 지금까지 수동으로 하던 복수기의 역세정 방법을 자동화로 구현하기 위해 수동밸브를 전동밸브로 교체하고 발전설비의 기술변화추세에 따른 고기능, 고신뢰성, 안정성이 한층 부가된 분산제어 시스템을 적용 연구 개발하여, 토털 오토메이션을 실현 할 수 있도록 향상시키고자 한다. 출력감발 및 현장 운전원 없이 중앙제어실에서 원격작동 시키기 위

\* 제주대학교 산업대학원

Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.

\*\* 제주직업학교

Cheju vocational school

\*\*\* 제주대학교 전기공학과, 산업기술연구소

Faculty of Electrical & Electronic Eng. Res. Inst. Ind. Tech.,  
Cheju Nat'l Univ.

하여 분산제어시스템(distributed control system)을 이용한 복수기 역세정 자동 프로그램을 개발하고, 플랜트화면을 보면서 마우스로 클릭하여 신속 정확한 역세정이 이루어지도록 하였다. 이를 복제주화력 발전 제어 시스템에 적용하여 복수기 관 청결도 유지를 통한 터빈의 효율향상에 기여함은 물론 운전원 업무량 감소와 전력계통수급 여하에 관계없이 수시로 역세정이 가능하도록 하였다. 그리고 운전원 오조작 방지와 효율적인 진공도 관리로 발전효율 향상과 분산 제어시스템(DCS) 설비운영 기술향상에 도모하고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1. 복수기의 성능특성

냉각수 온도상승은 복수기의 모든 온도와 진공도에 영향을 미치며 특히 냉각수 출구온도와 포화온도를 상승시켜 진공도 저하와 종단 온도차를 증가시킨다. 또한 복수기관의 막힘에 의한 냉각수량이 감소 할 때는 일반적으로 냉각수 입·출구온도차가 증가하여 복수기의 입구 수압이 상승하게되고 따라서 복수 포화온도가 증가하며 복수기 진공도가 저하한다. Fig. 1은 온도 조건에 따른 상태를 나타내었고 증기부하, 냉각수입구 온도에 따른 정상 압력을 지시하고 있다. 청결도 계수는 0.85며 실제로 튜브가 깨끗하면 진공도가 증가하고 튜브가 오염되면 감소함에 유의하여야 한다.

Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이 복수기 성능은 냉각수(해수)입구 온도가 낮을수록 복수기 진공도가 증가

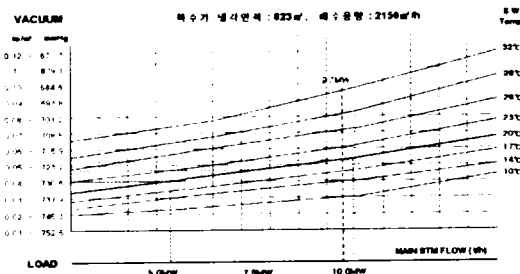


Fig. 1 The curve of condenser performance in Bukcheju thermal power plant

하게 된다. 일반적으로 하절기의 복수기 성능은 다소 낮아지게 되며 동절기가 되면 해수의 온도가 낮아지게 되므로 냉각수 입구 온도 저하에 따라 복수기의 성능은 다소 높아지게 되고 복수기의 진공도는 증가한다.<sup>3)</sup>

### 2.2. 복수기의 성능관리 및 시스템 구성

터빈에서 일을 한 증기는 복수기에서 물로 응축된후 급수가열기를 거쳐 보일러로 되돌아가며 보일러에서 열을 받아 다시 증기로 바뀐다. 복수기는 증기를 물로 응축시키기 위하여 냉각수로 열교환 하여야하고 사이클 효율을 높이기 위해서는 진공도 향상과 응축수 열량보존의 두 목적 사이에서 균형을 유지 하여야한다.

복수기는 발전소의 효율에 가장 큰 영향을 미치는 설비로 진공도 1[%] 변화시 터빈효율 0.2[%]~0.4[%]변화하고 복수기 성능여하에 따라 터빈출력이 변화하게되는데 진공도 1[%]변화시 터빈출력 2[%]변화한다. 그리고 순환수펌프(cooling water pump) 동력절감과 오염 및 부식방지로 복수기관 수명연장 등을 들 수 있다.

그러나 발전 연수가 경과하면서 복수기 열교환 능력이 떨어지며 진공도가 저하되고 있다. 그러므로 Fig. 2에서 보는바와 같이 터빈 열소비율과 진공도의 적절한 동작점 722[mmHg]을 유지하기 위하여 복수기 역세정에 의한 최적의 복수기 성능관리가 필요하다.<sup>1)</sup>

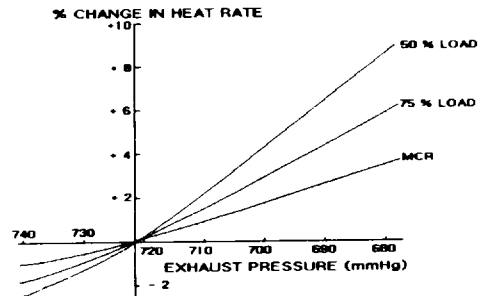


Fig. 2 The curve of turbine vacuum with heat rate

### 2.3. 복수기관 오염도와 열전달

복수기의 관 청결도는 매우 중요한 인자로 작용한다. 복수기관의 오염이나 막힘 현상은 설비의 그물눈

(basket mesh opening size)보다 작은 이물질 및 어패류의 0.4~1.0[mm]포자가 통과하여 복수기 및 파이프에 부착 성장하는 현상이다. 이때 나타나는 장애요인으로는 냉각수의 흐름을 방해하고 냉각수 면적을 감소시킨다. 특히 막힌 복수기관에서 부식 및 수명 단축 원인이 되고 열 효율이 떨어진다. 관청결도는 설계의 기본 요소인 열 전달율, 튜브수, 튜브유효길이 및 통로수 사이에 함수관계가 있고 식은 다음과 같다.<sup>1)</sup>

$$Q = k \times \Delta T \times A \quad (1)$$

$$k = (L \times N_p \times a \times b \times f \times C_f) / \sqrt{v} \quad (2)$$

$$C_f = U_r / U_c \quad (3)$$

$$U_r = 1 / [F_r + (1/U_c)] \quad (4)$$

$$F_r = 1 / (U_r + U_c) \quad (5)$$

여기서 수식의 정의는 다음과 같다.

- Q : 복수기 열부하[BTU / hr]
- k : 열전달율[BTU / hr / ft<sup>2</sup> / °F LMTD]
- ΔT : 대수평균 온도차[°C]
- A : 표면 열 변화[°C]
- L : 튜브 유효길이[m]
- N<sub>p</sub> : 냉각수 량[t/h]
- a : 튜브 두께[mm]
- b : 튜브재질 보정계수
- f : 냉각수 입구온도 보정계수[°C]
- v : 관내 유속[m/sec]
- C<sub>f</sub> : 관 청결도

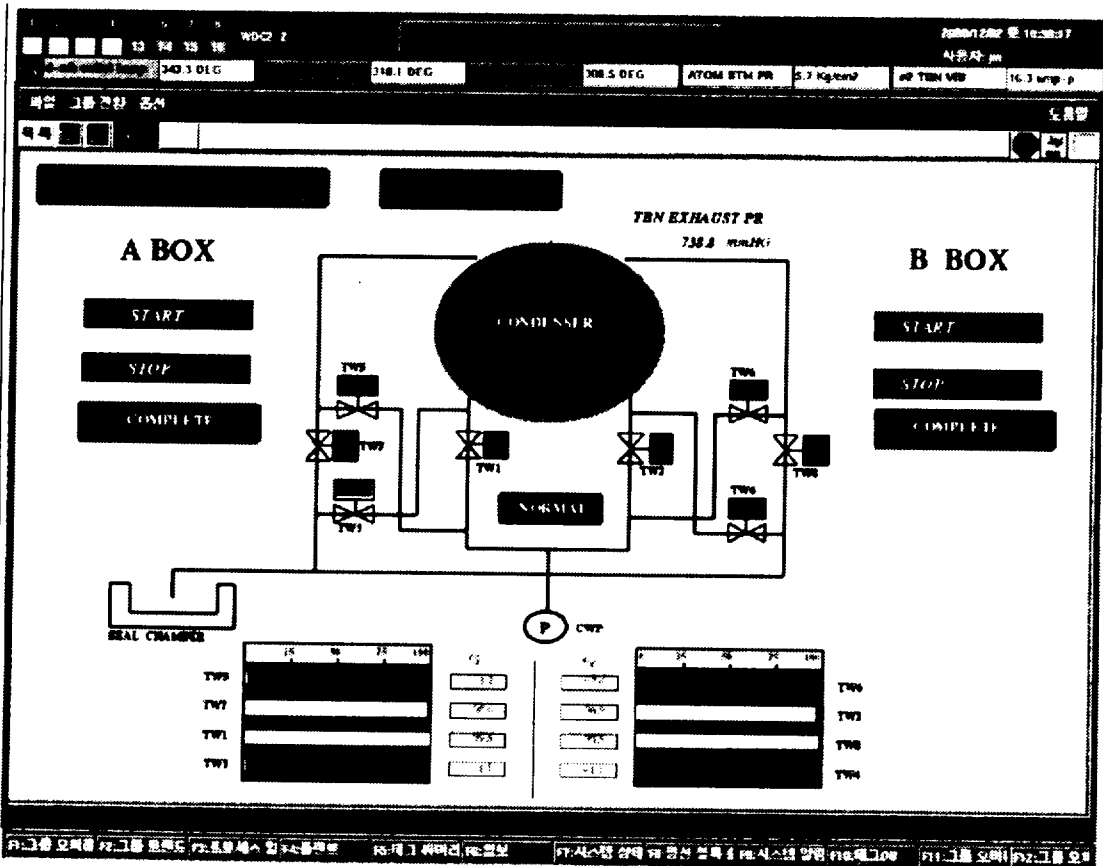


Fig. 3 The schematic diagram of back wash using DCS

- $U_r$  : 오염관 열 전달계수
- $U_c$  : 청결관 열 전달계수
- $F_r$  : 오염계수

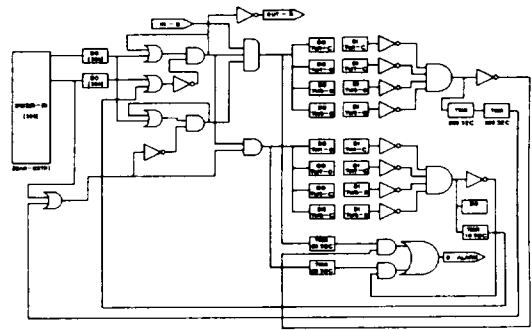
### III. 복수기 역세정 시스템개발 및 시험

#### 3.1. 자동화 시스템 개발

복제주화력 1호기인 경우 복수기 역세정시는 전력 급전사령실과 사전협의 및 50[%]의 출력으로 감발하여 발전 운전원이 현장에서 여러 개의 밸브를 직접 조작하여 왔으나 수동밸브를 전동밸브로 교체하고 분산제어시스템을 이용하여 전자동화 하였다. 본 역세정 시스템을 이용하면 정상 발전중 출력 감발없이 1인 원격 제어 및 감시를 통한 복수기관 자동역세정을 실현 할 수 있다.

Fig. 3은 화면에 나타난 복수기 역세정 구성도로 역세정 진행과정을 운전원이 볼 수 있도록 되어있다. Fig. 4의 회로도도 무접점 회로를 이용하여 복수기 자동역세정을 수행하기 위한 명령회로도이고, 회로도 동작 상태를 설명한다면 모니터상의 start를 마우스로 클릭하여 회로상의 DO/B(1223)가 설정시간 (0.5초) 동안 1출력이 행하여지고 OR(1227)에서 자기 유지되며 AND(1242) 조건이 만족되면 DO/B(1245-1251)에 의하여 전동 밸브 개폐 신호가 출력된다. 약30~40초 후 전동밸브가 완전히 개폐 행하여지면 DI/B(1261-1267)신호에 의하여 AND(1284)조건이 만족되면 타이머(1300, 1287) 설정시간(900초) 동안 역세정이 행하여진다. 만일 DO/B(1245-1251)에 의하여 전동 밸브가 개폐 신호 출력후 타이머(1191) 설정시간(60초) 이내에 AND(1284)조건이 만족되지 않으면 OR(1298)에 의하여 알람이 출력된다.

역세정이 완료되면 OR(1220)에 의하여 본회로 상부의 DO/B(1245-1251)출력이 정지됨과 동시에 DO/B(1253-1259) 출력이 행하여져 초기에 조작되었던 전동 밸브를 원상태로 복귀시킨다. 이때도 마찬가지로 타이머(1293)에 의하여 설정시간(60초) 이내에 AND(1285) 조건이 만족되지 않으면 OR(1298)에 의하여 알람이 출력된다. 전동 밸브가 모두 원상태로 복귀되어



- SW2 M-M : Switch2 Momentary Module
- A Box Back Wash Start /Stop
- DO/B : Digital Output/Bus
- Destination Module Address
- DI/B : Digital Input/Bus
- Source Module Address
- TMR : TIMER Block Address Of Input
- Time During Start-Up Period

Fig. 4 The diagram of program command on automatic back wash

AND(1285)가 만족되면 DO/B(1289)에 의하여 모니터 상에 완료가 표시되면서 모든 동작이 완료된다. Fig.5의 복수기의 자동 밸브 개폐 시험에서 보는바와 같이 DCS 설비를 이용하여 복수기 "A" BOX와 "B" BOX로 나누어서 복수기 입구 및 출구, 역세정 입구 및 출구 밸브 4개를 서로 동시에 조작하고, 어느 한 쪽이 역세정 중에는 다른 BOX의 역세정 진행이 안 되도록 하여 진행중 전동기 밸브의 개폐 지연등 이상 경보를 발하도록 하였으며 모든 과정은 DCS 모니터의 마우스로 조작이 가능하다.

#### 3.2. 역세정 시스템 시험

Fig. 5는 역세정을 위한 자동밸브 개폐동작을 기록 계기를 통하여 시험한 결과를 보여주고 있으며, 기록 차트 좌측 전동밸브(TW-3, TW-5)가 닫힘에서 열림으로 우측 전동밸브(TW-1, TW-7)는 열림에서 닫힘으로 동시에 동작되었고 정확히 15분 동안 A Box 역세정이 순차적으로 진행되었다.

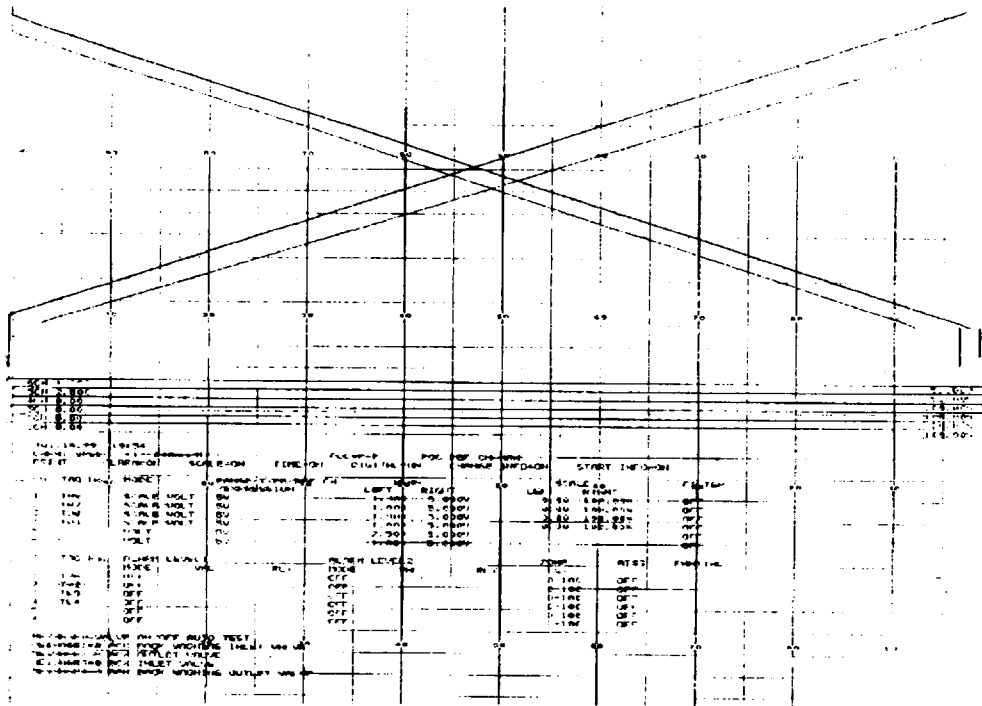


Fig. 5 The test valve of automatic operation on condenser back wash

#### IV. 결론

복수기는 발전 설비 중 중요한 역할을 담당하고 있으므로 복수기 관로내의 이물질 유입에 따른 오염도를 최소화하여 최적의 청결도를 유지하여야 높은 열 효율을 얻을 수 있다. 발전소의 안정적인 운전과 필요한 각종 기능에 최적의 성능을 유지할 수 있도록 하기 위하여 성능 및 신뢰성이 한층 확보된 분산제어 시스템을 이용하므로 발전설비의 기술향상과 복수기 역세정이 간단하고 용이하게 사용하게 되었다.

터빈 복수기의 설계진공도는 722[mmHg] 이나 복수기 관 오염 및 막힘 현상에 의해 진공도가 떨어지므로 본 연구에서는 분산제어시스템을 이용한 복수기 역세정 자동화 프로그램을 개발하고 실험한 결과 복수기 냉각수 밸브 동작이 순차적으로 진행되었으며 진공도가 3~4 [mmHg] 정도까지 향상되어 복수기 성능관리 및 복제주화력 발전 시스템의 터빈 효율향

상에 기여하였다. 특히 복수기 관 입구 막힘을 청소하고 오염을 예방하므로 관 청결도를 항상 일정하게 유지할 수 있었으며, 발전기 출력을 감발하지 않으면서 필요시마다 시행할 수 있고 1인 원격세정 및 감시가 가능하였다. 그리고 운전원 업무량 감소와 밸브오조작 방지 등 효율적인 진공도 관리를 할 수 있었다.

복수기 역세정 자동화개발로 발전설비 운전 및 관리에 있어서 용이성과 편리성을 제공하게 되므로 효과적인 설비운영이 기대된다. 또한 개발된 본 시스템을 유사한 설비에 바로 적용 할 수 있으며 향후 DCS를 이용하여 보일러연소제어 자동화프로그램 개발 및 발전기 자동병입 시스템 구축이 가능할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- 1) 한국전력공사 복제주화력, 1983, 제1호기 운전보수 지침서, pp.333-334.

- 2) 이승진. 한국전력공사 전력 연구원. 1996. 기술정보 제67호. pp.4-8.
- 3) 한국전력공사. 전력연구원. 1995. 발전소 성능관리 세미나. pp.6-8.
- 4) 전력연구원. 1996. 저여유율 복수기과정 진공도 유지방안. pp.115-120.
- 5) 전력기술인. 1999. 협회지. pp.55-56.
- 6) 김은기. 1992. 국산개발 DCS의 발전소 적용. 전기학회지 Vol. 41 No. 9. pp.5-11.
- 7) LG 산전. 1994. 분산형 공정제어 시스템 설명서. pp.3-29.
- 8) 문봉채. 1992. 발전소용 분산제어 시스템의 개발 전기학회지. Vol. 41. No. 9. pp.23-30.
- 9) 한국전력공사 전력연구원 운전 자동제어 설비의 디지털화 개발 (Ⅱ) 제 12차 중간보고서. pp.5-6.
- 10) 한국전력공사 1990. 기술개발처 발전소 복수기성능관리기술. p.5.