

월성1호기 중수증기 회수계통의 최적운전 연구

서인용, 박익수
한전전력연구원

요 약

본 논문은 중수로 내의 중수증기 회수 계통을 효율적, 경제적으로 운전하기 위하여 현 계통의 문제점을 분석하고, 이를 해결할 수 있는 제어알고리즘에 대해 연구하였다. 또한 PLC로 시제품을 개발하고 이를 기존 제어시스템과 병행설치하여 운전함으로써, 원자로 건물내의 습분 정도에 따라 변하는 DRYER 베드의 흡착능력에 연계된 운전 및 휴지상태(Idle running)를 없애는 최적 운전 방안을 도출하였다.

1. 서 론

현재 운전되고 있는 원자력 발전소는 1960년대의 아날로그기술로 설계되었기 때문에 마이크로 프로세스의 눈부신 발달과 더불어 각 분야마다 설비 개선연구가 많이 이루어지고 있다.

월성원자력 1호기의 중수증기 회수 계통 또한, 기계식 타이머에 의해 제어되는 시퀀스설비이며 원자로 건물내의 습도, 베드의 흡착능력 및 DRYER 베드의 온도상태를 고려하지 않고, 일정한 시간마다 계통의 운전 모드를 전환시키고 있기 때문에, 설비가 효율적으로 운영되지 못하며 중수 회수 능력 저하는 물론, 작업자의 삼중수소 체내피폭을 증가시키는 결과를 초래한다. 냉각재와 감속재로 중수를 사용하는 CANDU형 원자로에서 중수증의 중수소의 중성자 반응에 의해 생성되는 삼중수소는 베타입자를 방출하며 그 입자의 에너지가 낮아 종이 두께 정도의 차폐물질도 통과하지 못하며 인체의 피부 바깥층도 통과하지 못하나, 수증기의 형태(T_2O)로서 인체에 흡입되는 경우에는 대단히 큰 방사선 장애를 일으킨다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 이 계통을 최적, 자동 운전하는 방안이 요구되었고, 본 연구에서는 Microprocessor가 내장된 PLC(Programmable Logic Controller)를 이용해 실험장치를 개발했으며, 기존 시퀀스제어 시스템과 병행 설치해서 자체 개발한 SINGLE TOWER에 대한 노점제어 알고리즘을 PLC유저 프로그램으로 구현하고, 실증 사용하면서 최적운전 방안을 도출하였다.

이때 공기는 Blower, 가열기, 흡습베드, 냉각기를 내부 순환하는 모드이다. 냉각모드(Cooldown Mode)는 가열기가 꺼진 후 재생모드와 같이 공기가 루프내부를 계속 순환하여 베드의 온도를 냉각시키는 시간을 냉각모드라 하며 기존 제어방식으로 운전할 때는 다음과 같은 문제가 있다.

첫째. 재생시간 설정의 부적절

원자로 건물내 습도가 다르면 같은 시간동안 흡습했을때 베드가 흡습한 중수량이 다르고 따라서 재생에 걸리는 시간이 달라진다. 또한 베드의 주위온도에 따라서도 재생시간이 1시간 이상 차이가 난다. 기존시스템은 최악의 경우에 대비해 재생시간이 5시간으로 고정 설정되어 있으므로, 정상운전시 혹은 원자로 건물내 습도와 온도가 낮은 계절에는 재생작용이 완전히 끝나고도 2시간 이상 Blower가 휴지상태로 운전되는 것이다

둘째. 흡습시간 설정의 부적절

원자로 건물내의 대기습도를 무시한 시간 설정 운전(흡습 10시간)으로, 중수 누설량이 많거나 혹은 장마기에는 같은 흡습시간 일지라도, 베드가 빨리 포화되어 흡착능력을 상실함으로 인해 DRYER 출구쪽 노점이 입구쪽 노점보다 높아져 DRYER로서의 제 기능을 발휘하지 못하게 된다.

셋째. 기계적 타이머의 문제점

제어 판넬에서 다이얼을 돌려 시간을 설정하기 때문에, 정확한 시간 설정이 불가능하므로 양쪽 DRYER의 1주기(재생+냉각+흡습) 시간이 다르며, 이 오차시간이 여러 사이클 누적되면 주기가 적은 쪽이 연속 두번 재생모드에 들어가게 되며, 이때 다른 한쪽은 인터록으로 인해 상대방이 재생이 끝날때까지 흡습 상태로 있어야한다. 결국, 최악의 경우 재생시간(5시간) 만큼을 더 흡습운전 후 재생에 들어가야 하므로 DRYER는 포화상태로 되고 출구노점은 입구 노점보다 높아지게 된다.

3. 실험장치 및 제어 알고리즘

실험을 위해 개발한 장치의 구성도는 그림3과 같으며, 16비트 마이크로 프로세스를 내장한 프로세스 모듈, 32점 디지털입력모듈, 32점 디지털출력모듈, 8점 아나로그 입력캡슐 및 디지털 입,출력 인터페이스로 사용된 릴레이보드로 구성하였다.

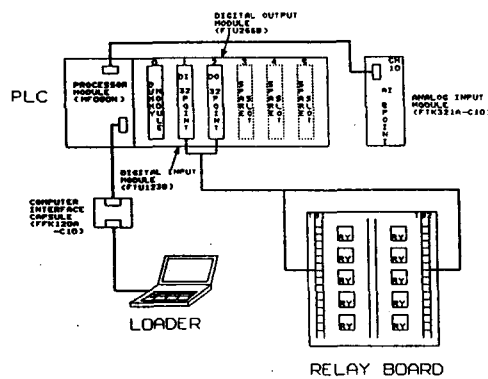


그림3. 실험장치 구성도

그림2와 같은 기존의 제어방법으로 운전할 경우에는, 입구노점과 주위온도의 변화에 대해 시스템을 자동운전할 수 없으므로 DRYER 출구노점은 전혀 제어하지 못할 뿐만 아니라, 원자로 건물내 삼중수소의 농도를 적절히 감소시키지 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 출구노점과 베드의 온도를 제어변수로 이용한 자동제어 제어알고리즘을 그림4와 같이 개발하였다.

PLC의 운전 프로그램은 그림4의 제어알고리즘을 Ladder Diagram으로 구현했으며, 대략적인 제어방법은 다음과 같다.

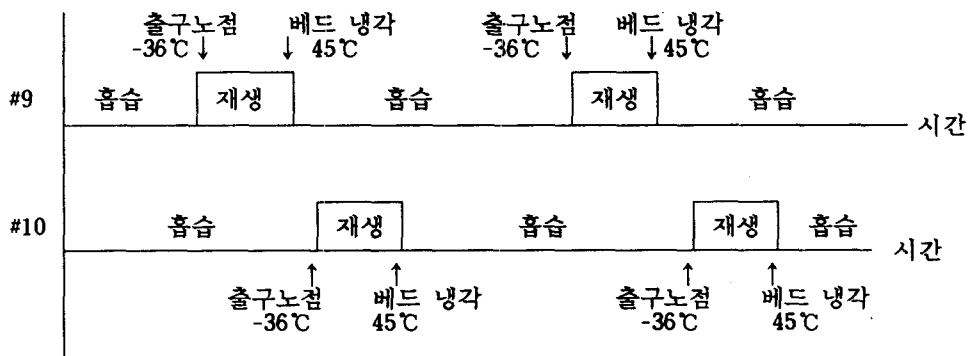


그림4. 개발한 노점제어 알고리즘(Single Tower)

흡습에서 재생으로의 운전모드 전환은 DRYER 출구노점을 제어인자로 이용했으며, 재생에서 흡습으로의 운전모드 전환은 냉각중 일때의 베드 온도를 이용했다. 즉 흡습운전중 시간이 흐름에 따라 베드가 점점 증기를 많이 흡습하여 흡착능력이 점차 떨어지면, DRYER 출구노점이 상승하게 되고, 설정점(-36 °C)에 도달하면 흡습에서 재생모드로 운전 전환 하게 된다. 재생모드로 들어가면 가열기가 켜지고, 흡착제 베드의 온도가 설정점에 도달한 후 가열기가 꺼지면 베드가 점차 냉각되기 시작한다. 냉각운전중 베드의 온도가 설정점(45 °C)에 도달되면 재생에서 흡습모드로 전환하게 된다.

4. 결과 및 고찰

4.1 우수한 출구노점 제어

그림5의 그래프는 기존 시스템으로 운전했을 때와 PLC로 노점제어 운전했을 때의 출구노점을 비교한 것으로, 기존 시퀀스 운전기간('94.7.30 - 8.4)중의 입구노점은 -9 ~ -7 °C였고 PLC의 노점제어 기간('94.8.5 - 8.8)중에는 입구 노점이 -8.5 ~ -9.3°C였다.

기존시스템에 의해 제어했을때는 DRYER의 최고 출구노점이 -7°C 이었으나, 새로 개발한 노점제어 알고리즘으로 제어한 결과, 최고 출구노점이 -25°C로 훨씬 양호하게 운전할 수 있었다. 즉 보다 건조한 공기를 원자로 건물내로 돌려 보냄으로써 중수증기 회수라는 시스템 본래의 목적을 충실하게 수행할 수 있었다.

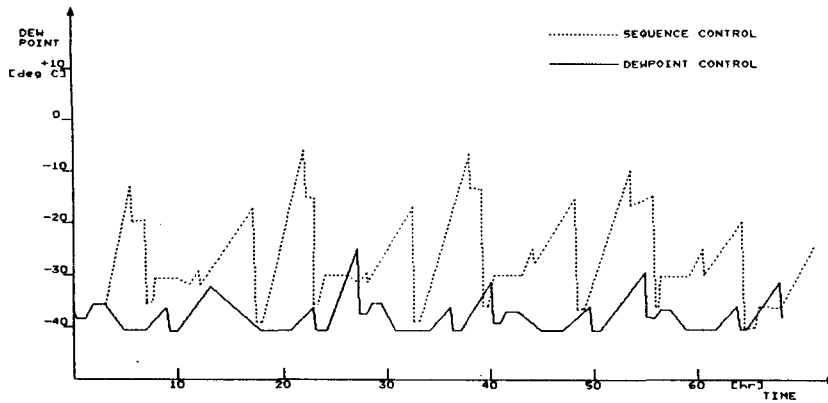


그림5. 기존제어와 노점제어의 출구노점 비교

종류 주기	노 점 제 어				기존제어
	흡습시간	재생시간	주기당 운전시간	최고 출구노점	최고 출구노점
1주기	9.5 시간	4.25시간	13.75시간	-25.0℃	-17℃
2주기	9.16시간	4.15시간	13.31시간	-32.0℃	-6℃
3주기	9.0 시간	4.2 시간	13.2 시간	-28.5℃	-17℃
4주기	9.5 시간	4.2 시간	13.7 시간	-32.0℃	-7℃
5주기	9.5 시간	4.25시간	13.75시간	-31.5℃	-16℃
6주기	9.33시간	4.2 시간	13.53시간	-36.0℃	-10℃

표1. 기존제어와 노점제어시의 각종 시험 데이터

4.2 재생시간의 최적제어

재생운전 종료시점을 베드의 온도로 제어함으로 인해 베드내 증수 흡습량의 차이 혹은 계절별 외부 온도의 차이에 따라 자동적으로 재생시간이 가변되어 운전되었다. 앞의 데이터로 볼 때 흡습 운전시간은 다르지만 같은 출구노점에서 재생모드로 전환되었기 때문에 베드의 흡착용량이 일정하다고 보면 거의 같은양의 증수가 베드에 흡착되었고, 대기의 온도도 비슷했으므로 재생시간이 4시간10분 정도로 거의 일정한 것으로 생각된다. 기존 방식으로 운전할 때와 비교해 보면 약 50분간의 Idle Running을 줄일수 있었다. 또한 겨울중 운전데이터를 분석해 보면 주위의 낮은 온도로 인해 가열후 냉각이 빨리 되어 재생이 3시간이면 완료되므로, 새로 개발한 알고리즘으로 운전하면 1번 재생할 때마다 약 2시간씩의 휴지시간을 줄일수 있을 것으로 기대된다.

4.3 흡습시간의 최적제어

DRYER 입구쪽 공기에 함유된 습분이 많을 경우에는 베드가 빨리 포화되고, 습분이 적을 경우

에는 베드가 천천히 포화되므로, 흡습종료 시점을 베드의 출구노점으로 제어한 결과, 흡습시간이 9시간 부터 9시간30분 까지 자동 가변되어 운전됨을 볼 수 있었다.

4.4 기계식 타이머의 문제점 해소

PLC내부의 전자식 타이머의 사용과 1주기마다 양쪽 타이머를 사용자 프로그램에서 리셋시킴으로써, 두 타이머간의 시간 누적오차를 없앴으로 재생이 연속 두번 운전되는 기계식 타이머의 문제점을 해소시켰다.

4.5 삼중수소 피폭 저감

이번 연구기간 중에는 DRYER #9,#10이 담당하는 지역에 삼중수소 측정기를 설치하지 않아 정량적인 피폭감소에 대해 고찰하지 못했지만, 이번 실험에서 출구노점을 기존보다 최대 30℃, 입구노점을 1.5℃가량 낮게 운전할 수 있었으므로 이 지역의 삼중수소 농도가 상당히 낮아 졌을 것으로 생각이 되며, 이로인해 작업자의 삼중수소 체내피폭이 크게 줄어 들었을 것으로 추측된다.

4.6 전력소비 절감

대기습도가 낮은 겨울에는 DRYER 입구노점이 -20~-25℃정도로 되고, 흡습운전 가능 시간이 25시간 정도로 여름보다 훨씬 길어지므로, 상대적으로 재생운전 횟수가 줄어들 뿐만 아니라, 재생운전중 Blower의 휴지시간(Idle running)을 없앴으로서 전력소비를 절감할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서 PLC를 이용해 개발한 노점 자동제어 알고리즘은 단순시간 제어에 의해 운전되는 기존 설비와는 달리, 원자로 건물내의 습도에 따라 흡습시간을 자동으로 가변시켰으며, 재생운전이 끝나고도 Blower가 일정시간 휴지상태로 운전되는 단점을 개선했다. 또한 기계식 타이머를 사용하는 Single Type Dryer에서 피할 수 없는, 일정 사이클후 주기가 짧은 DRYER가 2번 연속 재생되는 문제를 해결함으로써, 설비를 효율적이고도 경제적으로 운전하여 중수회수 능력을 증대시켰고, 작업자의 삼중수소 체내피폭을 최소화시켰으며, 부가적으로 전력소비를 절감할 수 있었다.

참고문헌

1. 신상운 등 “월성 원자력 1호기 삼중수소 제거 방안연구” 한국전력공사 (1989)
2. “Canadian Tritium Experience”. Canadian Fusion, echnology Project, Ontario Hydro(1984)
3. M.Nakshima and E.Tachikawa, “Removal of Tritiated Water Vapour by Molecular Sieves 5A and 13X, Silica Gel and Activated Alumina”, J.Nucl.Sci.Tech 19(7)
4. AECL Proprietary, “Reactor Building D₂O Vapour Recovery System”, DM 59-38310
5. AECL Proprietary, “Dryers for D₂O Vapour Recovery in a Nuclear Power Station”,
6. “吸着 (工場操作 씨리즈)” No. 7, 日本化學工業社(1977)
7. “乾燥 (工場操作 씨리즈)” No. 2, 日本化學工業社(1977)