

반도체 제조라인의 냉수 시스템 효율성 증대에 관한 연구

김기운* , 김광선** , 곽승기*** , 박만호***

*한국기술교육대학교 기계공학과, **한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

***삼성전자(주), ***SIT(주)

초록

21C 정보화시대를 맞이하여 반도체 산업이 급속하게 발전함에 따라 컴퓨터를 활용한 효율성이 높은 유틸리티 관리 시스템(New Utility Management System) 기술이 중요시 되는 추세이다. 본 연구에서는 유틸리티 관리시스템의 한 부분인 냉수 시스템에 대해 정상상태 유동해석을 통하여 각 구성 요소에서의 유량 및 압력, 온도를 제공할 수 있는 컴퓨터해석시스템을 구현 하였다. 효율성 증대를 위해 펌프 위치에 따른 시스템 변화를 파악하여 시스템에 영향을 크게 미칠 수 있는 펌프 즉, 가동 하면 효율적인 펌프를 결정하였으며 최적의 리턴라인(Return Line) 위치를 설계하였다. 이 결과는 운전 및 관리의 효율성 증대와 에너지 절감을 위하여 매우 유익한 활용이 가능하다.

1. 서론

최근에 TFT_LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), 유기 EL(Electro Luminescence) 분야에 투자가 커짐에 따라 새로운 공장이 증설되고 이에 따라 클린룸(clean room) 공정 장비 및 설비 투자가 우선적으로 발생 하고 있다.⁽¹⁾ 따라서 클린룸에 적합한 조건을 유지 시켜주는 기술과 공조설비를 관리하는 시스템의 중요성이 부각되었다. 공조 설비 성능을 개선하는 기술은 기계적인 효율을 향상 시키는 기술이나 운전 제어 방법을 개선하는 것이 일반적이며,⁽²⁾ 또한, 설비의 성능저하 및 고장을 적절하게 검출하여 처리 할 수 있는 운영기술이 필요하다.⁽³⁾ 따라서, 본 연구에서는 공조설비를 효율적으로 관리하기 위해 삼성전자 반도체 기흥공장 현장에 설치되어 있는 유틸리티 관리 시스템의 한 부분인 냉수 시스템에 대해 효율성 증대에 관한 연구를 수행하였다. 냉수 시스템은 클린룸에 공급하는 외기와의 열교환, 사무실의 공조, 각종 장비를 냉각을 목적으로 구성되어 있으며, 냉수 시스템의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 냉수 시스템의 구성요소는 냉동 공조 산업에서 대부분을 차지하는 원심펌프, 밀폐형 2단 압축 터보 냉동기, 외부로부터 유입되는 공기를 온도 및 습도를 조절하는 OA(Out Air), 장비를 냉각시키기 위한 목적으로 설치 된 HEX(Heat Exchanger), 사무실 공조에 사용되는 AHU(Air Handling Unit), 클린룸에 공기의 재순환을 위해 설치되어 미세한 열교환도 이루어지는 AX(AX-Fan)이 있다. 그 외에 압력, 온도 제어 밸브와 조도가 0.15인 아연 도금 강판 파이프를 이루어져 있다. 본 연구에서는 김기운⁽⁴⁾의 반도체 제조라인의 냉각 시스템에 대해 연구에 이어 그림1과

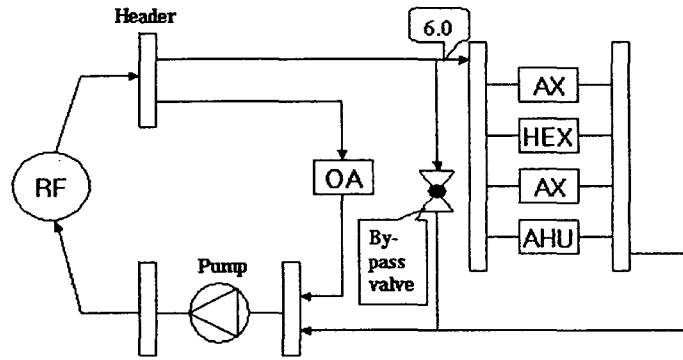


그림 1. 냉수 시스템 개략도

같은 냉수 시스템을 원하는 위치에서 유량, 압력, 온도를 컴퓨터 시스템상에서 도출할 수 있도록 구현하고, 냉수 시스템의 효율성 증대를 위해 펌프의 가동 위치와 리턴 라인 위치에 따른 시스템 변화를 알아 본다

2. 실험 방법

(1) 지배 방정식

정상상태에 대해 질량 보존 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$\sum_i \dot{m}_i = \sum_e \dot{m}_e$$

여기서 i 는 입구, e 는 출구를 나타낸다.

관 내부의 흐름은 완전히 둘러싸인 채 진행되므로, 유체는 일정한 흐름율로 운동하며, 대류열전달이 안쪽 표면에서 일어난다. 전형적으로 축방향의 전도에 의한 에너지 전달뿐만 아니라, 유체의 운동에너지 및 위치에너지는 무시할수 있다. 따라서 유체가 관을 통해 운동할 때 열에너지의 변화와 흐름일에 관한 것들만이 중요한 영향을 미친다.⁽⁴⁾ 따라서 관 내부의 열전달률은 다음과 같다.

$$Q = \dot{m} c_p (T_e - T_i)$$

관 내부에서 축이 없는 정상상태 에너지 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{m} \left(u + pv + \frac{U^2}{2} + gz \right)_i - \dot{m} \left(u + pv + \frac{U^2}{2} + gz \right)_e + Q = 0$$

(2) 시뮬레이션 조건

본 연구에서 유동해석을 수행한 냉수 시스템의 구성 요소를 표 1에 나타내었으며 현장에 설치되어 있는 냉수 시스템과 같은 조건을 형성하기 위해 그림 1에서 나타낸 것처럼 By-pass 밸브

표 1. 냉수 시스템 구성요소

구성요소	수(대)
펌프	8
냉동기	8
OA	4
AX-Fan	76
HEX	6
AHU	4

분기점에서 6.0bar를 유지하도록 하였다.

(3) 시뮬레이션 방법 및 내용

본 연구에서는 반도체 제조라인의 냉수 시스템에 대한 유동해석을 위해 1D network 유체 유동 해석 코드인 Flowmaster 을 이용하여 연구를 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

(1) 냉수 시스템 구성 요소에서의 유량, 압력, 온도

그림 2는 냉수 시스템의 구성 요소의 각각에 대해 유틸리티 관리 시스템에 도출된 유동 데이터를 이용하여 유동해석 한 결과⁽⁴⁾에 열전달 데이터를 첨가하여 펌프와 냉동기를 8대씩 가동한 경우에 대해 냉수 시스템을 구현한 결과를 나타내었다.

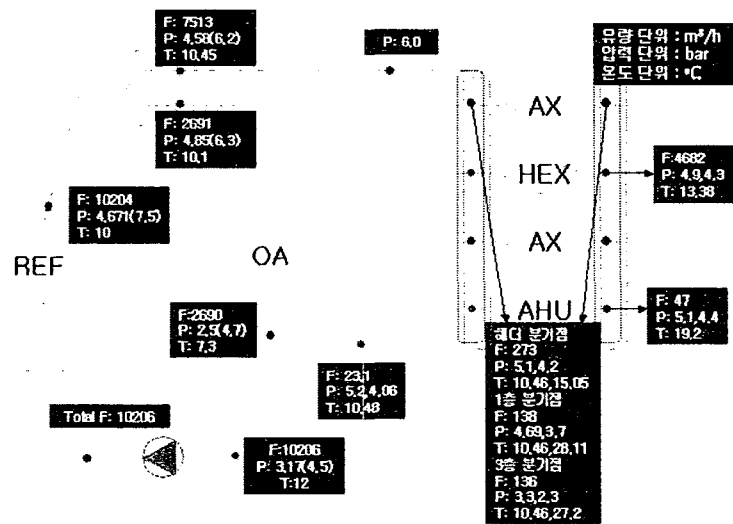


그림 2. 각 구성요소에서의 유량, 압력, 온도

(2) 펌프 가동 위치에 따른 시스템 변화

냉수 시스템에 펌프가 미치는 영향을 파악 하기 위해 펌프 가동위치에 따른 시스템의 변화를 알아보았다. 그림 3은 냉수 리턴 라인과 펌프의 번호를 지정한 것을 나타낸것이다. 시스템의 냉각을 책임지는 구성 요소인 냉동기가 현장에서 평균 10°C 를 유지하므로 10°C 를 유지한다는 가정 하에 펌프 4~7대를 가동할 경우에 대해 펌프 위치를 변화 시켜 OA측 냉동기의 열교환량을 비교하여 효율적인 펌프 위치를 얻었다. 이는 냉수 시스템에서 외기의 영향이 가장 큰 구성요소가 OA이기 때문이다. 또한 다른 열교환기는 열교환량이 거의 변화가 없다. 표 2는 펌프 7대를 가동하였을 경우에 대해 정지한 펌프 위치에 따른 OA측 냉동기의 열교환량을 나타낸 것이다. 표 2에서 볼 수 있듯이 펌프를 7대를 가동할 경우에는 1~7번을 정지한 경우에는 같은 결과를 나타내었으며 7과 8번을 정지한 경우에는 OA측 냉동기의 열교환량이 다른 경우보다 크게 나왔다. 열교환량이 크다는 것은 비효율적이라고 할 수 있으므로 펌프를 7대 가동할 경우에는 7과 8번 펌프를 정지하는 것이 효율적이라고 할 수 있다.

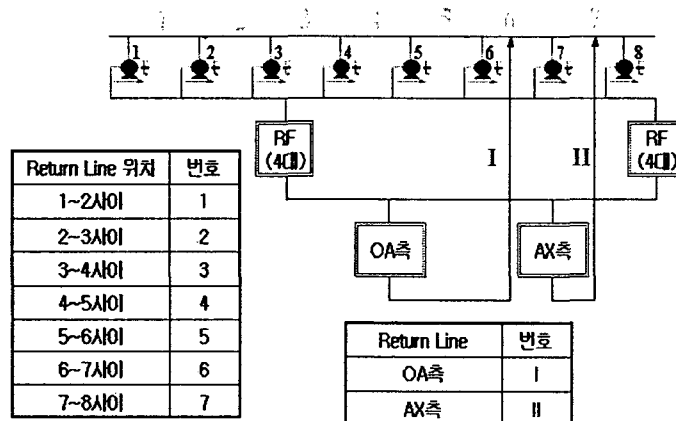


그림 3. 리턴라인과 펌프의 번호를 부여

표 2 펌프 위치에 따른 시스템 변화

정지한 펌프	OA측 냉동기 열교환량(kW)
1	-2356.1
2	-2356.1
3	-2356.1
4	-2356.1
5	-2356.1
6	-2356.2
7	-2437.9
8	-2438.3

표 3 시스템에 영향을 주는 인자

펌프 가동수	주요 인자
4	7,8
5	7,8
6	7,8
7	7,8

표 3은 펌프 가동수가 4대~7대일 경우에 대해 시스템에 미치는 영향이 큰 펌프를 나타내었으며 펌프 가동할 경우 주요 인자는 7,8번 펌프라고 할 수 있다.

(3) 냉수 리턴라인 위치 설계

냉수 리턴 라인위치(그림 3 참조)에 따른 시스템의 영향을 파악하기 위해 외기 온도와 밀접한 OA의 출구 온도, 펌프 가동 수와 위치에 따라 냉동기의 입구 온도차를 비교하여 최적의 리턴 위치 설계하였다. 외기 온도가 높으면 OA의 출구 온도는 올라가고, 이로 인해 OA에 많은 유량이 흘러야 하므로 펌프 가동 수와 위치, OA출구온도를 변화시키며 유동해석을 수행하였으며 냉동기를 OA측과 AX측에 대해 같은 수의 냉동기를 가동하여 각각의 냉동기의 부하가 비슷한 점을 최적점으로 하여 리턴라인을 설계하였다. 표 4는 펌프 8대 가동, OA의 출구 온도를 14°C 일 때에 대한 결과이다. 표에서 볼 수 있듯이 효율적인 리턴 라인은 I:7, II:7와 I:1, II:1 일 때 가장 좋은 결과를 나타내었다. 여기서 I:1, II:1 는엇갈리게 리턴라인을 연결한 것이다. 또한 OA의 출구온도를 달리 하였을 경우에도 똑 같은 결과가 나왔다. 표 5는 1번 펌프를 정지하고 7대 가동, OA의 출구 온도를 14°C 일 때에 대한 결과이다. 효율적인 리턴 라인은 I:1, II:1일 때 가장 좋은 결과를 나타내었다. I:1, II:1이 평형하게 연결한 경우 엇갈리게 연결한 경우가 똑 같은 결과를 나타냈으며 펌프 8대 가동할 때와 같이 OA의 출구온도는 영향을 주지 않았다. 표 6은 8번 펌프를 정지하고 7대 가동, 밸브 개도를 10%, OA의 출구 온도를 14°C일 때에 대한 결과이다. 이 경우 효율적인 리턴 라인 위치는 I:7, II:7일 때 가장 좋은 결과를 나타내었다.

표 4 최적의 리턴 라인 위치_case I

Return Line 위치	OA측 냉동기 입구 온도(°C)	AX측 냉동기 입구 온도(°C)
I : 6 II:7	13.05	13
I : 7 II:6	12.96	13.09
I : 1 II:2	13.09	12.96
I : 2 II:1	13	13.05
I : 7 II:7	13.03	13.01
I : 6 II:6	13.04	13
I : 2 II:2	13	13.05
I : 1 II:1	13.01	13.03

표 5 최적의 리턴 라인 위치_case II

Return Line 위치	OA측 냉동기 입구 온도(°C)	AX측 냉동기 입구 온도(°C)
I : 6 II:7	13.2	13.15
I : 2 II:1	13.16	13.18
I : 7 II:7	13.16	13.16
I : 1 II:1	13.17	13.17

표 6 최적의 리턴 라인 위치_case III

Return Line 위치	OA측 냉동기 입구 온도(°C)	AX측 냉동기 입구 온도(°C)
I : 6 II:7	13.18	13.16
I : 2 II:1	13.15	13.2
I : 7 II:7	13.17	13.17
I : 1 II:1	13.16	13.18

냉수 리턴 라인 위치에 따른 시스템의 영향을 파악해 본 결과 효율적인 리턴 라인 위치는 I:7, II:7와 I:1, II:1로 나타났으며 OA의 출구온도는 영향이 없으며 I:6, II:7와 I:2, II:1도 좋은 결과를 나타냈었다. 따라서 리턴 라인을 설치 할 경우에 배관 길이와 설치 용이성 등을 고려하여 I:7, II:7와 I:1, II:1, I:6, II:7와 I:2, II:1 중 하나를 선택하여 설치하면 효율적이라고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 현장에 설치 되어있는 냉수 시스템에 대해 By-pass 분기점에서 압력이 6.0bar 를 유지하는 조건으로 유동해석을 하여 각 구성요소에서의 유량, 압력, 온도 데이터를 얻었으며, 시스템의 효율성 증대를 위해 최적의 펌프 가동 위치와 리턴 라인 위치를 도출하였다. 각각의 결과로 시스템에 미치는 영향이 큰 펌프는 그림 3 에서 7,8 번 펌프이며 최적의 리턴 라인 위치는 I:7, II:7 와 I:1, II:1 이다.

참고문헌

- [1] 민후식, "반도체/Display 장비:하반기 수주 물량 확대 예상", 동양종합금융증권산업 분석, 2003.
- [2] 김종수, "공조설비 시스템의 신기술", 16회 에너지 절약 기술 워크샵, 2001
- [3] 이원용, "공조 설비의 고장 검출 및 진단 기술", 자동제어부문강연회, Vol.0, No.0, pp.87~103.1999
- [4] 김기운 "반도체제조라인의 냉각시스템 효율성 증대에 관한 연구", 반도체장비학회 춘계학술대회, 2003
- [5] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", John Wiley & Sons, 1996