

반도체 제조라인의 냉각 시스템 효율성 증대에 관한 연구

김기운* , 김광선** , 곽승기*** , 박만호****

*한국기술교육대학교 기계공학과, **한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

삼성전자㈜, *SIT㈜

초 록

반도체 제조라인의 유틸리티 분야에 국내 기술이 도입되고 이에 따른 관리시스템 구축의 중요성이 부각되고 있으며 유틸리티 시스템의 한 부분인 냉각 시스템의 효율성 증대에 관심을 보이고 있다. 본 연구에서 펌프의 효율 계산 프로그램을 NUMS(New Utility Management System)에 반영하고 현재 가동중인 시스템인 NUMS와 같은 조건 하에서 정상상태 유동해석을 통하여 각 구성 요소에서의 유량 및 압력을 제공할 수 있는 시스템을 구현 하였고 NUMS와 압력비교를 하였다. 또한 효율성 증대를 위해 적절한 By-pass 밸브의 개도와 펌프 1대를 줄일 수 있는 결과를 얻었다. 이 결과는 차후 운전 및 관리의 효율성 증대와 에너지 절감을 위한 자료로 이용하고자 한다.

1. 서론

냉각 시스템은 자동차의 에어컨 시스템[1], 공동주택단지의 냉난방 시스템[2]등 여러분야에서 연구가 수행되고 있으며 본 연구에서는 반도체 제조라인의 냉각 시스템에 대해 연구를 수행하였다. NUMS를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구현함으로써 NUMS에서 수행 할 수 없는 실험을 대처할 수 있으며 원하는 요소에서의 결과를 도출할 수 있고, 냉각 시스템의 효율성 증대를 위해 여러 조건에서의 시스템 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 냉각 시스템은 Clean Room에 공급하는 공기의 열교환, 사무실의 공조, 각종 장비를 냉각을 목적으로 구성되어 있다. 그림1.은 냉각 시스템의 개략도를 나타내고 있다. 여기서 펌프는 원심펌프, 냉동기는 밀폐형 2단 압축 터보냉동기이며, OA(Out Air)는 외부로부터 유입되는 공기를 온도 및 습도를 조절하는 열교환기이다. 또한 HEX(Heat Exchanger)는 장비를 냉각시키기 위한 목적으로 설치 되어 있으며, AHU(Air Handling Unit)은 사무실 공조에 사용되고, AX(AX-Fan)의 설치된 주 목적은 Clean Room에 공기의 재순환을 위해 설치되어 있으나 미세한 열교환도 이루어지고, 각 AX는 1층과 3층, 두개 층으로 이루어져 있다. 그 외에 압력, 온도 제어 밸브와 조도가 0.15인 아연 도금 강판 파이프가 이루어져 있다. 본 연구에서는 그림1.과 같은 시스템을 원하는 위치에서 유량 및 압력을 도출할 수 있도록 구현하고 냉각 시스템의 효율성 증대를 위해 적절한 펌프 가동수 및 By-pass 밸브 개도에 따른 유량변화를 알아 본다.

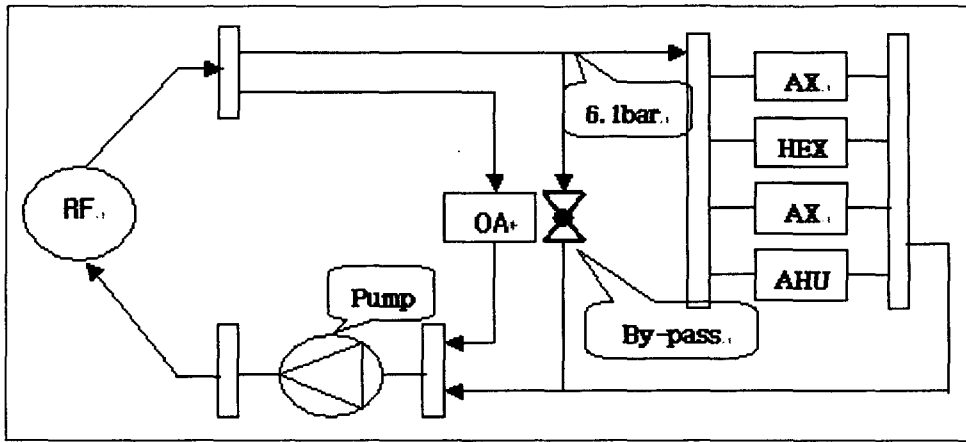


그림1. 냉각 시스템 개략도

2. 실험 방법

(1) 지배 방정식

냉각 시스템의 유동 해석을 위한 지배 방정식은 질량 보존 법칙과 베르누이 방정식이 사용된다. 유체가 물이므로 비압축성으로 가정하고 정상상태에서의 입출구의 개수가 다를 경우에 대해 질량 보존 법칙을 적용하면

$$\sum_{i=1}^{i=n} Q_i = 0$$

로 표현 할 수 있다.

또한 운동, 위치, 내부에너지를 포함하는 베르누이 방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E = gz + \frac{p}{\rho} + \frac{U^2}{2}$$

여기서, E는 에너지, g는 중력가속도, z는 높이, p는 압력, ρ 는 밀도, U는 속도를 나타내고 좌, 우변을 중력가속도 g로 나누어 주면

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g}$$

수두에 대한 방정식이 된다.

또한, 수두차와 압력차에 대한 식이 적용되며 각 식은

$$\Delta H = \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right)_1 - \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right)_2$$

$$\Delta P = \left(\rho g z + p + \rho \frac{U^2}{2} \right)_2 - \left(\rho g z + p + \rho \frac{U^2}{2} \right)_1$$

로 나타내어진다.

(2) 시뮬레이션 조건

본 연구에서 유동해석을 수행한 냉각 시스템의 구성 요소를 표1.에 나타내었다.

표1. 펌프 조건 데이터

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

현재 설치 되어 있는 냉각 시스템과 같은 조건을 형성하기 위해 그림 1.에서 나타낸 것처럼 By-pass 밸브 분기점에서 6.1bar를 유지하도록 하였다.

(3) 시뮬레이션 방법 및 내용

본 연구에서는 반도체 제조라인 냉각 시스템의 유동해석을 위해 1D network 유체 유동 해석 코드인 Flowmaster 을 이용하여 냉각시스템의 유동해석을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

(1) 펌프 효율 계산 프로그램 흐름도

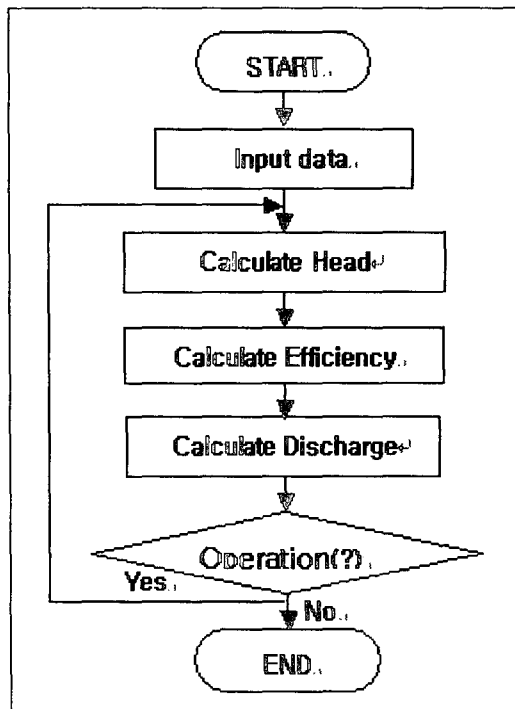


그림 2. 펌프 효율 계산 프로그램 흐름도

NUMS에서 사용중인 펌프는 원심 펌프이다. 원심 펌프는 물이 배관과 설비를 통해 움직일 수 있도록 물의 흐름에 압력을 부가한다. 펌프가 발생시키는 압력의 크기는 펌프를 통과하는 유동과 관련 있다. 펌프의 기본적인 성능 곡선은 양정-유량(토출량) 곡선이라고 부른다.[3] 본 연구에서 펌프의 입출구 압력과 축동력을 입력 데이터로 받아 성능 곡선을 이용하여 효율 계산 프로그램을 만들었으며, 이 프로그램을 현재 NUMS에 반영하여 사용하고 있다.

(2) 냉각 시스템 구성 요소에서의 유량 및 압력

그림 3은 펌프 8대를 가동한 경우의 냉각 시스템의 유동해석을 통해 얻은 구성요소에서의 유량 및 압력을 나타내고 있다. 이 냉각 시스템을 구축함으로써 그림 3에 나타나있는 위치 외에 원하는 다른 구성 요소에서도 유량 및 압력을 얻을 수 있게 되었다.

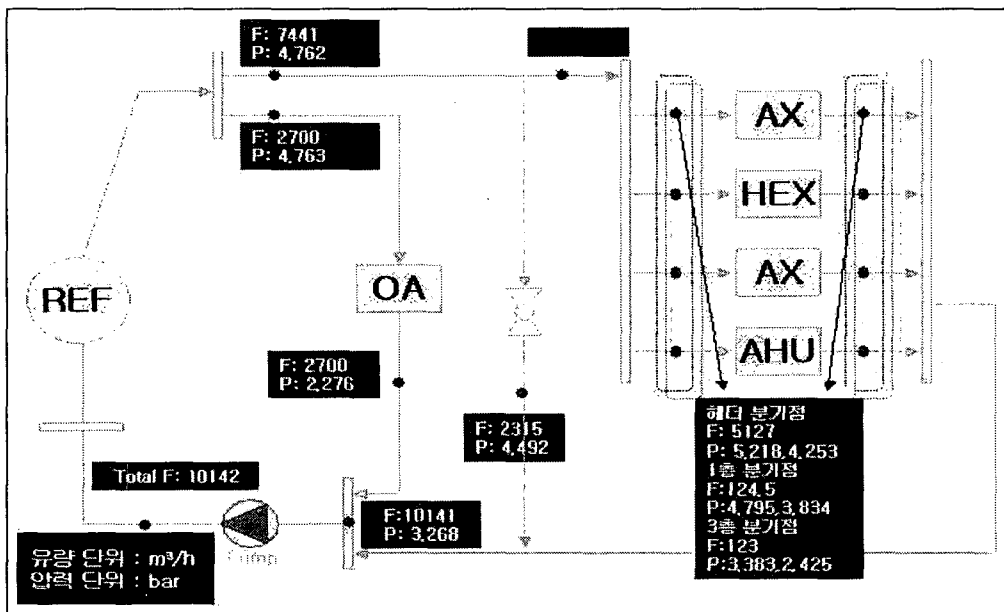


그림 3. 펌프 8대 가동시 각 구성요소에서의 유량 및 압력

(3) 시뮬레이션 시스템과 NUMS의 압력 비교

NUMS에서 AX는 Clean Room으로 유입되는 공기의 냉각이 주목적이므로 냉각시스템에서 큰 비중을 차지한다. 따라서 펌프를 8대 가동 하였을 경우에 대해 두 시스템의 첫번째 AX의 헤더분기점과 AX 1, 3층 입구 압력을 비교한 결과를 표2에 나타내었다. 표 2에서 볼 수 있듯이 비슷한 결과를 나타내고 있다.

표2. 시뮬레이션과 NUMS의 압력 비교

	NUMS(bar)	시뮬레이션(bar)
AX 헤더 분기점	5.3	5.218
AX 1층	4.7	4.795
AX 3층	3.3	3.383

(4) 펌프 가동수에 따른 유동 해석

냉각 시스템에 대해 펌프 가동수에 따른 유량 변화를 알아 보았다.

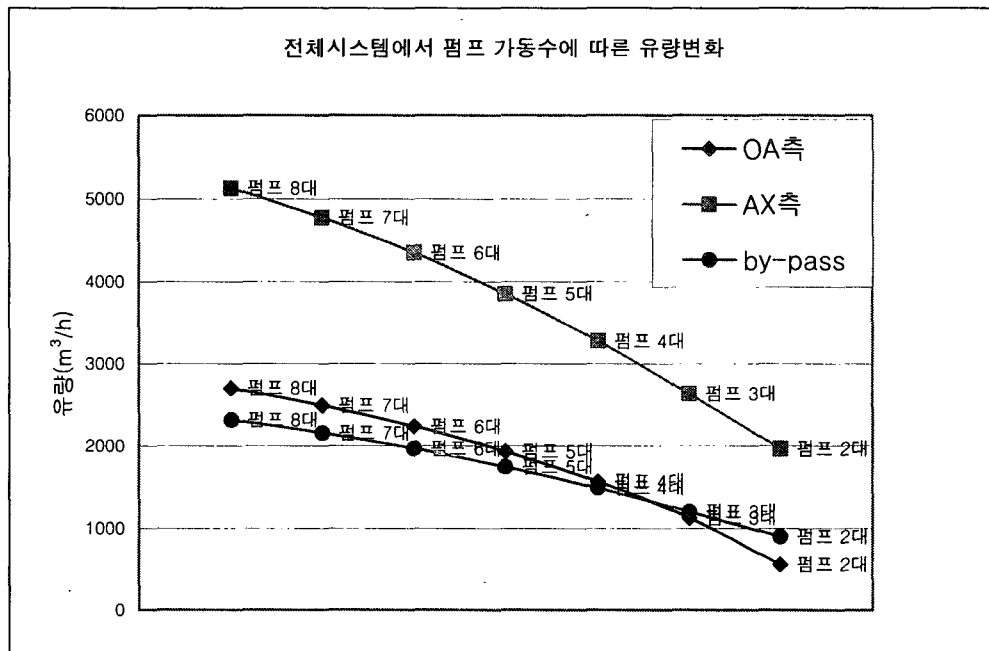


그림 4. 펌프 가동 수에 따른 유량 변화

그 결과 OA측과 By-pass측으로 흘러가는 유량이 펌프 4대에서 교차되는 것을 그림 4에서 볼 수 있다. 따라서 열교환의 효율적인 관점에서 OA측의 유량이 By-pass되는 유량보다 클 경우가 바람직한 현상이며 이를 만족하는 펌프의 가동수는 4대 이상으로 나타났다.

(5) By-pass 밸브의 개도에 따른 유량 변화

By-pass 밸브의 개도에 따른 유량 변화를 알아보기 위해 펌프 가동 수를 5대부터 8대까지 늘려가며 전체 시스템에 대해 유동해석을 수행 한 결과를 그림4.에 나타내었다. 그림4.은 펌프를 8대를 가동시켰을 때의 By-pass 밸브의 개도에 따른 유량 변화를 나타낸 것이며 5~7대 가동시에도 비슷한 결과를 보였다.

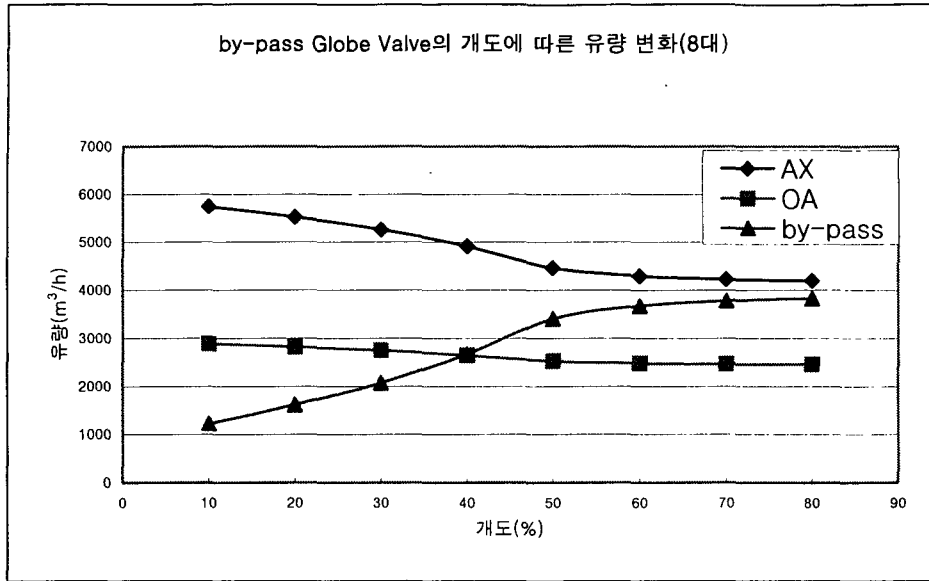


그림 5. By-pass 밸브 개도에 따른 유량 변화

그림 5에서 볼 수 있듯이 밸브 개도가 증가할수록 AX-Fan측과 OA측으로 가는 유량은 줄어들고 By-pass되는 유량은 많아지는 것으로 나타났고 밸브 개도가 38%정도에서 OA측과 By-pass측으로 흐르는 유량 곡선이 교차하는 것으로 나타났다. By-pass가 많이 된다는 것은 효율적이지 못하다라고 판단 할 수 있으므로 By-pass 밸브 개도가 40%이하일 경우 효율적인 운전이라고 할 수 있다.

또한 NUMS는 펌프를 외기온도에 따라 5~8대까지 가동시키고 있으며 이때 by-pass 밸브 개도가 35%를 유지하고 있다. 펌프의 가동수를 1대를 줄였을 경우의 개도가 35%일 때의 유량과 같은 by-pass 밸브의 개도를 알아 보았다.

표 3. 펌프 가동 수에 따른 by-pass 밸브 개도 비교

펌프 가동 수(대)	35%의 유량을 만족하는 개도(%)
4	6
5	9
6	13
7	18

표 3 에서 볼 수 있듯이 각각 6,9 13,18%까지 by-pass 밸브 개도가 줄어든다면 펌프 1 대를 줄일 수 있다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 펌프의 효율 계산 프로그램을 만들어 NUMS 에 반영하고 반도체 제조라인 유틸리티 냉각 시스템에 대해 유동해석을 수행하였다. 유동해석을 통해 얻는 결론은 냉각시스템을 현장과 같게 구현하였으며 그 냉각 시스템에 대해 By-pass 분기점에서 압력이 6.1bar 를 유지하는 조건으로 유동해석을 하여 각 구성요소에서의 유량 및 압력 데이터를 얻을

수 있게 되었고, 시뮬레이션과 NUMS 의 압력을 비교한 결과는 비슷하게 도출되었다. 펌프 가동 수에 따른 유량 변화에 대한 결과로 NUMS 의 효율적인 운전을 위해서는 펌프를 4 대 이상 가동해야 하는 것으로 나타났고, By-pass 밸브 개도에 따른 유량 변화에 결과로 OA 측의 유량이 By-pass 되는 유량보다 많은 경우 효율적인 운전이 가능하다고 판단되며 그에 따른 밸브 개도는 40%이하로 나타났으며, 또한 by -pass 되는 양을 줄임으로써 펌프 1 대를 줄일 수 있다고 판단된다. 향후 NUMS 시스템에 대해 열전달 해석을 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] 이건호, 유정열, 정종대, 최규환, "자동차용 에어컨 시스템의 성능해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션," 대한설비공학회지, 제10권, 제2호, pp. 202-216, 1998.
- [2] 조금남, 윤승호, 김원배, "공동주택단지 난방시스템에대한 경제성 평가," 대한설비공학회지, 제10권, 제6호, pp. 773-783, 1998.
- [3] 이봉주, "냉동 공조용 펌프," 대한설비공학회 설비저널, Vol.29, No.9, pp. 18-26, 2000.