

전자식 팽창밸브와 Hot Gas Bypass를 이용한 Chiller의 가변 부하 대응 연구

A Study on the Open rate Electronic Expansion Valves and Hot Gas Bypass Valve for varied Load Chiller

*남승포¹, #신동현², 임희권³, 정규식⁴

*S. P. Nam¹, #D. H. Shin(shin@uos.ac.kr)², H. J. Lim³, K. S. Jeong⁴

¹서울시립대 기계정보공학과, ²서울시립대학교 기계정보공학과, ³서울시립대 기계정보공학과, ⁴서울시립대 기계정보공학과

Key words : Hot Gas Bypass, Chiller, EEV

1. 서론

반도체 웨이퍼 제조공정 중 발생하는 부하변동에 따른 열로 인해 반도체의 온도편차로 증착이 불균일하게 되어 제품의 불량률이 증가된다. 이에 따라 공정장비의 부하변동에 따른 온도편차를 최소화하기 위하여 Chiller를 사용하여 온도를 제어하게 한다.

Chiller는 냉동사이클을 이용하여 시스템 내를 순환하는 1차 냉매(Refrigerant)와 2차 냉매(Brine)의 열 교환을 통해 실제 반도체 제조장비의 온도를 제어하는 장치로서 Fig. 1과 같다. Chiller의 시스템은 압축기에서 압축된 고온고압의 기체상태의 냉매가 응축기를 거쳐 중온고압의 액체로 상변화되고, 그리고 팽창밸브를 거쳐 저온 저압의 액체로 상변화 되고 최종적으로 증발기에서 저온저압의 기체로 변환된다. 이 과정에서 2차 냉매(Brine)는 증발기에서 열교환을 통해 실제 반도체 제조공정 중의 발생된 열에 대한 냉각을 통해 반도체 공정장비의 온도를 조절한다.

변동되는 부하에 대응하는 방식은 첫째 압축기에 대한 on-off 방식인데 정지시 고압측 냉매와 저압측 냉매의 혼합으로 에너지 손실이 발생하고, 고압측 냉매의 저압측 증발기 유입으로 기동시 액압축이 발생하여 압축기 효율이 나빠지고 입력이 증가하는 단점이므로 정밀한 제어를 필요로 하는 시스템에서는 적합하지 않다. 둘째 용량 가변형 압축기 방식으로 인버터형, 극수변환, 다기통, 압축기 Bypass 방식이 있으나, 용량 가변형 압축기는 반도체 공정에서 사용되는 Chiller 같은 대용량 냉동시스템에는 대용량에 따른 비용 증대로 적합하지 않고, 또한 부하가 작거나 없을 시에는 on-off제어를 하여야 한다. 셋째 전열 히터를 사용하는 방식으로 원하는 온도제어특성은 얻을 수 있으나, 시스템 구성이 복잡해지고, Chiller에서 원하는 2차냉매의 온도를 얻기 위해 과냉각 후 재가열함으로써 에너지 효율이 떨어지는 단점이 있다.

이에 따라 본 연구에서는 가열용 전열히터나 용량 가변형 압축기를 사용하지 않고 전자식팽창밸브(EEV)와 Hot Gas bypass valve(HGV)의 개도 조절으로 변동되는 부하에 대하여 정상상태에 도달 할 수 있도록 시스템을 개선 하기위한 예비단계로서 EEV와 HGV의 개도별 정상상태에 도달 할 수 있는 최대 대응 부하의 값을 구하는 실험을 하였다.

2. 연구내용

본 연구에서는 변동되는 부하에 대하여 기존의 Chiller에서 전열히터를 사용하지 않고 EEV와 HGV 개도조절만을 이용하여 효율적인 제어를 할 수 있는 방법을 연구 하였다. 첫째 EEV 개도만을 조정하여 대응할 수 있는 한계부하 특성을 파악하였고, 둘째로 EEV만으로 제어할 수 없는 적은 부하에 대하여는 EEV와 HGV의 개도를 조합하여 대응할 수 있는 한계부하의 특성을 파악하고자 한다. 또한 반도체 제조공정상 일시적인 무부하 조건에 대하여도 EEV와 HGV를 조합하여 부하에 대응 있는지 여부를 실험을 통해 파악하고자 하였다.

본 연구에서 사용된 실험장비 구성과 사양은 Fig.1 및 Table 1과 같으며, Chiller에서 열부하의 변동에 따른 온도제어를 하기 위한 주요 작동부품은 압축기, 응축기, EEV, 증발기, HGV 등이

있다. 압축기는 on-off제어를 하지않는 스크롤압축기로서 저온저압의 기체를 고온고압의 기체로 변화시키고, 응축기에서는 냉각을 통해 중온의 액체로 상변화된다. 그리고 EEV에서는 저온저압의 기체와 액체가 혼합된 형태로 변화되며, 유량조절을 통해 냉동능력을 조절하는 역할을 한다. 그리고 HGV는 압축기 출구에서 나온 고온고압의 냉매를 증발기 입구에 바이패스시켜 증발기 냉매에 대한 가열작용을 통해 냉동량을 조절하여 정밀한 온도제어를 가능하게 한다. 전열 부하기(Loader)는 2차냉매를 가열하여 부하를 조절할 수 있는 장치로 최소 1,000W에서 최대 4,000W까지 변동이 가능하다.

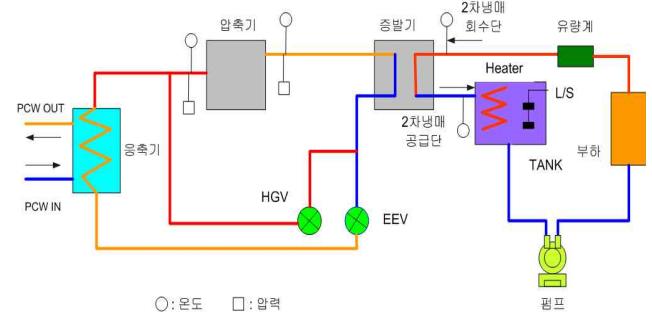


Fig. 1 Schematic Diagram of Chiller

Table 1 Experimental Chiller specification

구분	사양
cooling Type	compressor Type
cooling unit	5Hp compressor
Temperature Range	-20 ~ +80 deg. C
Coolant	FC-3283
Refrigerant	R404A
EEV	ESX-24A
HGV	A7-D(Parker)

3. 실험방법 및 결과

EEV의 각 개도별 한계 부하 실험은 각 개도에서 2차 냉매의 온도가 정상상태에 도달하는 한계 부하를 파악한 것으로 Table 2에서와 같이 각 부하에 따른 최소의 EEV 개도를 알 수 있다.

이 실험에서 EEV 개도가 20% 미만에서는 냉매의 유량이 매우 적어서, 이에 따라 압축기의 출구온도가 상승하여 정상적인 작동상태를 벗어난다. 즉, EEV의 개도조절은 20%이상에서만 정상적인 작동상태를 유지하므로, 본 실험에서는 EEV 개도를 20%에서 100%까지 단계적으로 조절함으로써 부하범위 2,000W에서 4,000W까지 대응할 수 있다는 것을 확인하였다. 그리고 EEV의 개도 70%에서 100%까지의 한계 부하는 4,000W로 일정한 것을 알 수 있다. 이것은 EEV 개도 70% 이상에서는 개도와는 무관하게 냉매의 유량이 일정하게 흐르는 상태임을 알 수 있다. 이 실험

결과, 무 부하에서 부터 2,000W까지는 EEV 개도조절만으로는 부하변동에 대응할 수 없다. Fig. 2는 EEV 개도가 20%, 한계부하가 2,000W일 때 2차냉매의 공급온도와 회수온도가 정상상태에 이르는 것을 보여준다.

Table 2 EEV Open rate for varied Load Chiller

EEV 개도(%)	부하(W)	2차냉매 공급온도	2차냉매 회수온도	압축기 출구온도
18	1930	19.2	22.1	104
20	2000	17	20	98
30	2700	16.7	21	95
40	3300	17.4	22.7	96
50	3500	15.3	21.1	94
60	3700	14.9	21.1	93
70	4000	15.9	22.5	92
80	4000	14.9	21.6	92
90	4000	14.3	21	92
100	4000	13.9	20.6	92

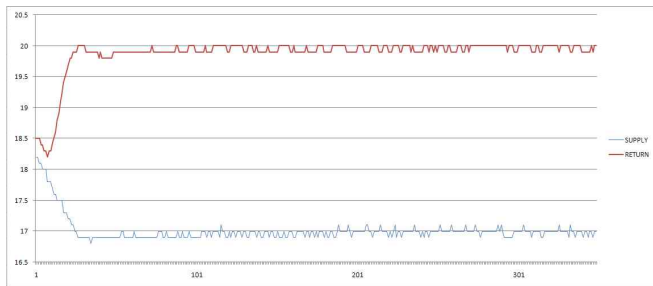


Fig. 2 Steady- state graphs, EEV Open rate 20%

EEV만으로 대응 할 수 없는 1,000W부터 2,000W미만의 부하변동에 대하여 는 EEV 개도 조절과 HGV 개도 조절을 조합하여 변동부하에 대하여 대응할 수 있는지를 실험하였다. 이 실험에서는 Table 3 에서와 같이 EEV의 개도를 20%로 고정하고 HGV의 개도를 0에서 9 (0 : 닫힘, 9 : 열림)로 설정하고, 단계적으로 압축기 출구의 고온의 냉매가 증발기에 공급되어 증발기를 통과한 유량을 증대시켜, 냉매온도를 높임으로서 냉동능력을 조절하여 1,000W부터 2,000W 미만의 부하에 대응할 수 있다는 것을 확인하였다. 실험결과 HGV 개도 5이상에서는 부하가 1,000W일 때 2차냉매의 회수단 온도가 계속 상승하는 모습을 보여줬다. 또한 개도 0에서는 부하가 2,000W이므로 HGV의 개도가 닫힘에 따라 대응되는 한계부하가 상승하는 것을 볼 수 있다. 이 실험에서는 무 부하와 1,000W이하에서의 적은 변동부하에 대한 특성을 확인할 수는 없었다.

Table 3 HGV Open rate for varied Load Chiller with EEV 20% Open

HGV 개도(회전수)	부하(W)	2차냉매 공급온도	2차냉매 회수온도	비고
5	1000	19.7	20.9	온도상승
4 3/4	1000	20.0	21.1	정상상태
4 1/8	1100	19.8	21.1	정상상태
4	1130	19.8	21.2	정상상태
3 3/4	1200	19.8	21.3	정상상태
3 3/16	1300	19.8	21.4	정상상태
3	1350	19.6	21.3	정상상태
2 3/4	1400	19.8	21.6	정상상태
2 1/4	1500	19.6	21.5	정상상태
2	1550	19.4	21.5	정상상태
1	1800	19.2	21.7	정상상태
0	2000	19	21.9	정상상태

셋째로 무부하시에 EEV와 HGV의 개도조절만으로 정상상태를 유지할 수 있는지 실험을 진행하였다. 이 실험은 반도체 제조공정상 일시적인 무부하 일 때 Chiller로 부하가 가해지지 않기 때문에 그 상태에서 EEV와 HGV만으로 정상상태를 유지할 수 있는지 확인하고자 함이다.

실험결과 Table 4 에서와 같이 무부하 상태에서 최대 EEV와 HGV의 개도는 각각 13%와 7회전수이었고, 최소 EEV와 HGV의 개도는 각각 7%와 2 1/4회전수이다. 그러나 EEV의 개도 8% 이하에서는 압축기 출구의 온도가 계속 상승하는 것을 볼 때 정상적인 작동범위를 벗어나는 것을 볼 수 있다.

Table 4 EEV and HGV Open rate for Non Load Chiller case

EEV 개도(%)	HGV개도 (회전수)	2차냉매 공급온도	2차냉매 회수온도	압축기 출구온도	비고
14	9	19.6	19.2	85	온도하락
13	7	19.8	19.3	87	정상상태
12	6 1/4	19.5	19.0	89	정상상태
11	5 1/2	20.4	19.8	91	정상상태
10	4 7/8	20.6	20.1	95	정상상태
9	4 1/4	20.5	19.9	99	정상상태
8	3 1/4	19.6	19.1	106	정상상태
7	2 1/4	20.9	20.3	113	정상상태

4. 결론

본 연구에서는 반도체공정에서 발생하는 열부하의 변동에 대하여 이를 정밀하게 대응하기 위한 EEV와 HGV의 정상상태 도달 여부 및 동작특성 실험결과 2,000W에서 4,000W의 부하까지는 EEV만으로 제어가 가능하였으며, 무부하와 1,000W ~ 2,000W까지는 EEV와 HGV의 개도를 조합하여 제어함으로써 Chiller에 요구되는 온도제어 특성을 만족시킬 수 있을 것으로 분석되었다.

후기

실험 장치와 전열 부하기의 한계로 실험하지 못했던 0W에서 1,000W까지 EEV와 HGV의 부하한계 실험과 이를 활용하여 Chiller를 EEV와 HGV만으로 정밀한 온도 제어하는 실험을 진행할 예정이다.

참고문헌

- Hayase, Isao, "Trends in Technology for Component Compressor", Refrigeration(in Japanese), Vol. 74, No. 863, 13-17, 1990.
- Tassou, S. A., Green, R. K., Wilson, D. R. and Searle, M., "Energy conservation through the use of capacity control in heat pumps", Journal of the institute of energy, 30, pp. 30-35, 1981.
- Ikemoto, Y., "Economic/Environmental Aspect of Modulation", Refrigeration (in Japanese), Vol. 74, No. 863, 29-35, 1999.
- 박차식의 3명, "R22를 적용한 전자팽창밸브의 냉매유량 특성 및 유량예측 모델링", 설비공학논문집 제18권, 제11호, 881-887, 2006.
- 김철환, 신동구, 박홍희, "바이패스방식을 이용한 용량가변 스크롤 압축기에 관한 연구", 2003유체기계 연구개발 발표회 논문집, 693-696, 2003.
- 유윤호, 황윤제, 김철민, 조관식, 에어컨의 효율화를 위한 용량가변 방식 비교에 관한 연구, 설비공학 논문집 제14권, 제2호, 98-107, 2002.