

論文98-35S-10-9

반도체 테스트 핸들러 측정점간의 온도 편차 감소

(Reduction of Temperature Variation at Measurement Points of Semiconductor Test Handler)

金 宰 瑢 * , 趙 秀 營 ** , 康 泰 三 * , 李 鎬 俊 ** , 高 光 一 ***

(Jae-Yong Kim, Su-Young Cho, Tae-Sam Kang, Hojoon Lee, and Kwang-Ill Koh)

요 약

기존의 테스트 핸들러는 단일 히터와 팬을 사용하여 항온조내의 IC 테스트점들 사이에 온도 편차가 발생한다. 본 논문에서는 온도 분포가 중간 부분과 가장자리 부분의 온도 오차가 심한 문제에 착안하여, 기존의 히터를 3등분하여 3지점의 온도를 각각 제어함으로써 측정점의 위치에 따라 온도 편차를 줄이는 방안을 제시하였으며, 온도 챔버의 파라미터의 식별과 식별된 모델에 기초하여 LQG 제어를 설계하였다. 항온조의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 RTD 센서와 VME 시스템을 이용하였다. 실험 결과 챔버의 위치에 따른 온도 편차를 50°C·80°C와 120°C에서 기존의 $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 에서 $\pm 0.35^\circ\text{C}$ 로 줄임으로써 그 성능을 개선하였다.

Abstract

The temperature difference occurs at the test points of chamber, because the traditional Test Handler consists of a heater and a fan. To reduce the temperature variation at different points in the chamber, we divided the heater to three parts which are controlled independently. First, we identified the chamber's parameter and then designed a LQG controllers by the identification model. RTD sensors and VME system were used to construct the temperature control system. In our experiment for the proposed control system, the temperature variation was reduced from $\pm 1.5^\circ\text{C}$ to $\pm 0.35^\circ\text{C}$ at 50°C·80°C and 120°C.

I. 서 론

반도체 테스트 핸들러는 제조된 반도체 IC들의 불량 유무를 검사하는데 사용되는 후공정 장비로써, 항온조의 온도를 -30°C에서 150°C까지 변화시키면서 IC

들을 등급에 따라 분류하는 장비이다. 검사속도를 빠르게 하기 위해서는 여러개의 IC를 동시에 챔버내의 측정점에 올려놓은 후 한꺼번에 성능을 측정한다. 이때 측정점이 비교적 넓게 분포되어 있으므로 같은 챔버내에서도 온도의 분포를 균일하게 유지하는 것이 중요하다. 기존 시스템에서는 1개의 센서 및 히터만을 이용하였으므로 기계적으로 온도 분포가 일정하게 되도록 설계하는 것 외에는 위치에 따른 온도 편차를 보정할 방법이 없었다. 실제로 챔버의 좌·우측 부분과 중앙 부분의 온도 편차가 매우 심하게 나타났다^[1-3]. 본 연구에서는 기존 히터와 제어기의 문제점인 각 포인트에서의 온도 편차 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 와 각 포인트간의 온도 오차 $\pm 1.5^\circ\text{C}$ 를 감소시키기 위하여 히터를 3등분하여

* 正會員, 湖西大學校 電氣電子制御工學部

(Dept. of Electrical Elec. Control Eng., Hoseo Univ.)

** 正會員, 湖西大學校 情報通信工學部

(Dept. of Information Comm. Eng., Hoseo Univ.)

*** 正會員, (株)未來産業 研究所

(Mirae Reaearch Center)

接受日字: 1998年8月11日, 수정완료일: 1998年9月28日

원리적으로 위치에 따른 온도 편차를 보정할 수 있게 하였고, 기존의 1 : 1 제어 방식에서 N : N 제어 방식을 채택하여 각각의 온도가 일정하게 유지되도록 하였다. 또한 항온조의 기계부분 설계를 돕기 위하여 항온조의 온도 분포를 연구하고, 항온조 내부의 구조 및 히터에 의한 항온조 내부의 온도 변화를 연구하였다. 테스트 핸들러의 온도 제어 시스템을 구성하기 위하여, RTD 센서 그리고 VME 시스템을 사용하였고, OS(Operating System)로는 VxWorks를 사용하였다.

II. 온도 제어 시스템

테스트 핸들러 MR-5100의 챔버 부분은 그림 1과 같으며 32개의 IC들을 동시에 테스트할 수 있도록 제작되어졌다. 패키징이 완료된 IC들은 테스트 핸들러내의 챔버로 들어오게 되고, 들어온 IC들은 그림에서 보는 바와 같이 판으로 이루어진 예열부위를 통과하고, 예열이 이루어진 IC들은 테스트 부의 상측 16개 지점(□)과 하측 16개 지점(×)에 위치되어지게 된다. 이렇게 위치되어진 IC들은 80℃와 150℃에서 검사하기 위하여 히터에 의하여 가열된 공기를 팬으로 송풍한다. 이때 센서로 테스트부의 온도를 측정하여 제어하고, 제어된 온도 상태에서 IC들을 테스트한 후에 양·불량을 판정한다.

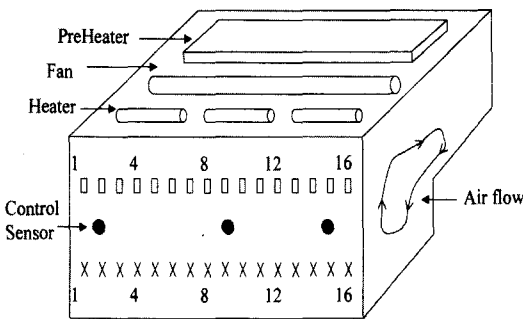


그림 1. 챔버의 구조
Fig. 1. Schematic of Chamber

기존의 반도체 테스트 장비의 문제점으로 지적되어온 특정 포인트에서의 온도 오차 발생 문제와 각 포인트간의 온도 편차 문제에 관한 연구를 실시하여, 특정 포인트에서의 온도 오차는 RTD 센서의 교정, A/D 변환기 회로 설계, I/O 시스템 구축과 MC68040 CPU, VxWork의 사용으로 온도 오차가 ±0.3℃에서 ±

0.15℃까지 감소시킬 수 있었으며, 또한 온도 제어를 주 제어시스템 내부로 가져옴에 따라 하드웨어를 간단하게 할 수 있었다¹⁾⁻³⁾. 하지만, 반도체 측정점간의 온도 편차의 발생은 히터에서 발생한 열이 히터 위치에 따라 균일하지 않으며, 이 열이 팬에 의해 반도체 측정점까지 도달하는 양이 챔버 구조에 따라 민감하게 변화하기 때문에 반도체 측정점간에 편차를 기존의 히터를 사용하여서는 더 이상 줄이기 어렵다는 실험결과를 얻게되었다. 기존의 테스트 부의 온도 분포는 가운데 부분과 가장자리 부분의 온도 편차가 ±1.5℃정도 발생하지만(그림 9(a)참조) 가운데 부분의 온도가 높으며 우측은 약간 떨어지며 좌측은 많이 떨어지는 경향을 갖는다는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 이것은 챔버내의 구조물에 의하여 더운 공기가 골고루 전달되지 않기 때문이다. 팬에 의해 더운 공기가 고르게 테스트 부에 전달되기 위해서는 공기의 흐름을 제어하는 날개나 그물을 설치하여야 하지만 이것은 테스트 소자의 모양에 따라 변화하는 내부 구조에 따라 변경해야한다는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 히터를 3등분하여 전자 제어적으로 이 문제를 해결하려는 시도를 하였다. 기존의 방식은 히터 하나에 센서 하나의 단일 변수 제어를 하기 때문에 좌우의 온도를 개별 제어한다는 것은 불가능하다. 실험에서는 히터 3개에 대하여 센서 3개로써 다점 제어를 함으로써 챔버내의 온도 오차를 보상하여 챔버내의 온도를 일정하게 유지할 수 있다. 그림 2(a)는 기존 히터의 구조를 나타내며, 그림 2(b)는 3등분 히터의 구조를 보여주는 것이며, 그림 3의 (a)와 (b)는 실제의 기존 히터와 3등분 히터를 보여주는 것이다.

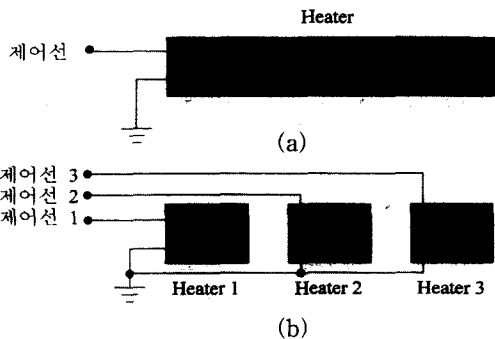


그림 2. (a) 기존 히터의 구조 (b) 3등분 히터의 구조
Fig. 2. (a) Block diagram of traditional heater (b) Block diagram of 3-section heater.



그림 3. (a) 기존 히터의 사진 (b) 3등분 히터의 사진
Fig. 3. (a) Figure of traditional heater (b) Figure of 3-section heater.

1. 온도 제어 시스템

온도 제어 시스템의 성능은 센서의 성능에 절대적으로 의존하므로, 여러 센서들 중에서 성능이 우수한 RTD 센서를 사용하였으며, 온도 센서의 교정은 센서의 점증값과 온도 7차 방정식을 이용하여 절대 온도 측정의 정확도를 확보하였다^[1-6].

본 실험에서는 온도 7차 방정식 중에서 2차 방정식을 이용하여 식 (1)과 같이 구성하였다. 또한, 본 실험에서는 3선식 RTD를 이용하여 센서 양단에 걸리는 전압 강하를 측정하였다.

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 - 4b(1 - \frac{R(t)}{R(0)})}}{2b} \quad (1)$$

R(t) : t°C에서의 저항값
R(0) : 0°C에서의 저항값
a, b, c, : 저항의 온도계수

기존 방식의 RTD 보드는 입출력 제어를 위하여 IP (Industry Pack)-RTD와 IP-Digital 24등의 모듈을 이용함으로써 복잡한 구조를 가지고 있었으나^{[1] [3]}, 본 실험에 사용한 RTD 보드는 모든 입출력 기능을 포함하고 있어서 매우 간단한 구조가 된다. 이 RTD 보드는 0.5mA의 여기 전류를 사용하며, 내부적으로 14비트 샘플링 A/D Converter를 사용하고 있다. 온도 측정 범위는 0.03°C씩 16,384단계로 측정이 가능하고, 입력과 출력은 각각 8개의 채널로 구성하였다.

2. 시스템 개발 환경 구성

본 논문에서 구성한 전체 시스템 중 VME 486 PC는 Windows 환경에서 소프트웨어 개발을 위해서, M C68040 CPU를 채용한 VME Controller Board를 Ethernet을 연결하여 이용함으로써 개발 환경을 구축

하였다. 또한, 임계 실시간 제어를 위해서 VxWorks라는 Unix 체계의 OS를 사용하였다^[1-4]. RTD 보드로부터 출력되는 PWM(Pulse Width Modulation)신호는 오실로스코프 상에서 볼 수 있으며, 이 제어 신호는 챔버의 히터로 연결되어 있는 SSR(Solid State Relay)을 제어한다. 본 실험에서 사용된 PWM 신호는 2초 단위로 200개의 펄스로 분할하여 SSR을 제어하는 방식이다. 이 제어 신호는 챔버내의 온도값을 RTD 센서를 통하여 읽어들이는 변수를 사용하여 PWM 신호를 만들어 내게 된다. 이 실험에서 사용한 SSR은 DC 4 ~ 32V의 전압 값을 입력으로 받아들여 AC 220V의 전원 전압을 히터에 공급한다. 제어된 챔버내의 온도 분포는 챔버내에 고정시켜둔 온도 측정용 RTD 센서로부터 레코더상으로 출력이 된다. 또한, 온도 제어용 RTD 센서로부터 제어되는 온도값이 VxWorks 상에 출력된다. 전체 시스템 구성은 그림 4와 같다.

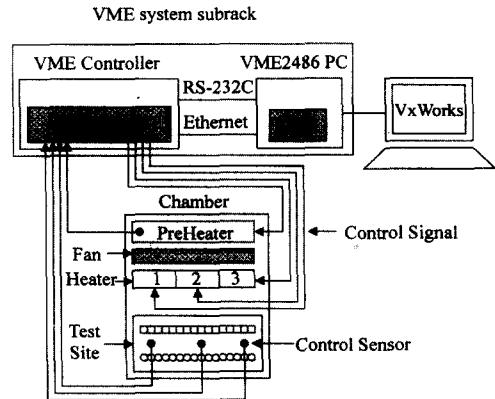


그림 4. MR-5100의 다변수 제어 회로
Fig. 4. Circuit of MR-5100 controlled with multi-value.

III. 온도 모델의 식별

1. 온도 모델의 식별 기법

정밀 온도 제어를 위해서는 온도 모델의 파라미터를 정확하게 알아내는 것이 매우 중요하며, 파라미터를 추정하기 위해서는 모델과 추정 방법이 결정되어야 한다. 본 연구에서는 제어 입력을 항온조로 들어가는 전압으로, 출력은 항온조의 온도로 놓고 다음과 같이 주어지는 ARMAX(auto-regressive moving average with external input) 모델을 이용하였다^{[2-3] [7] [9]}. 파라미터 추정을 수행하기 위해서는 식별 방법이 정해

저야 하는데, 본 연구에서는 식(2) ~ (4)에 표현된 최소자승법을 사용하였다.

$$e(t+1) = y(t+1) - \hat{\theta}(t-1)^T \phi(t+1) \quad (2)$$

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t)\phi(t+1)\phi(t+1)^T F(t)}{1 + \phi(t+1)^T F(t)\phi(t+1)} \quad (3)$$

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + F(t+1)\phi(t+1)e(t+1) \quad (4)$$

여기서 초기 추정 오차 $F(0) = aI$, $a \gg 1$ 이며, $\hat{\theta}^T(t)$ 와 $\phi^T(t)$ 그리고 $\epsilon(t)$ 는 다음과 같다.

$$\hat{\theta}^T(t) = [\hat{a}_1, \dots, \hat{a}_{na}, \hat{b}_1, \dots, \hat{b}_{nb}, \hat{c}_1, \dots, \hat{c}_{nc}] \quad (5)$$

$$\phi^T(t) = [-y(t-1), \dots, -y(t-na), u(t-n_k-1), \dots, u(t-n_k-nb), \epsilon(t-1), \dots, \epsilon(t-nc)] \quad (6)$$

$$\epsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) \quad (7)$$

2. 식별 실험

식별실험에서의 가장 큰 관건은 실제 플랜트의 특성에 근거한 파라미터를 구하는 것이다. 정확한 파라미터의 식별이 이루어지지 않는다면 그만큼 제어기의 안정도 여유 및 성능이 떨어질 수밖에 없다. 본 장에서는 1 : 1 방식의 단일 입출력 모델의 실험 결과 문제점으로 드러난 챔버의 가장자리와 좌우 부분의 온도 편차 문제를 해결하기 위하여 제안된 N : N 방식의 다중 입출력 모델의 식별 실험을 수행하였다^[3].

다변수 시스템 모델은 식별해야할 파라미터가 차수에 따라 급격히 증가하기 때문에 고차의 모델을 식별하는 것은 매우 어렵다. 본 연구에서는 온도 모델을 처음에는 1차로 잡았으며, 입력 및 출력의 개수는 각각 3개로 하였다. 그러나 실제 시스템 식별 결과 1차의 시스템으로는 시간 지연이 잘 모사되지 않았기 때문에 2차 시스템으로 변화시켜 실제 시스템에 근사한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 더 큰 문제는 본 연구에서는 온도의 편차를 줄이기 위해 히터를 3등분하였는데, 다변수 제어기를 설계한 결과 온도가 빨리 식는 양쪽 가장자리의 히터는 계속 가열하면서, 가운데 히터는 냉각용으로 켜는 것이었다. 그런데 본 제어 시스템에서 냉각은 사용치 않기 때문에 냉각을 할 수 없었고, 따라서 입출력 3개가 서로 연계된 시스템으로는 온도를 제어하기가 어려웠다. 이를 극복하기 위하여

본 연구에서는 온도 챔버 내의 센서와 히터를 3개의 간섭이 없는 온도 시스템으로 간주하고 실험을 수행하였다. 원래 간섭이 있을 수밖에 없지만 그 간섭은 외란으로 간주하면 된다. 센서 및 히터가 3개이므로 3지점의 온도를 일정하게 하면 전체 챔버 내의 온도를 보다 고르게 할 수 있음을 예상할 수 있다.

IV. LQG기법을 이용한 제어기의 설계

제어기의 설계를 위해서는 가제어성, 안정도, 근계적, 최대 오버슈트, 상승 시간, 정착 시간 등을 설계 파라미터로 해서 항온조의 성능에 적합한 제어기를 설계하여야 한다. 제어기 설계는 주어진 성능 지수를 최소화하면서 안정도 강인성을 유지하도록 제어 신호 $u(t)$ 를 결정하는 것이다.

본 연구에서는 LQG 제어기법을 이용하였으며, 안정도 및 성능의 확인 및 조정은 보우드 선도를 이용하였다^[8] [10-15].

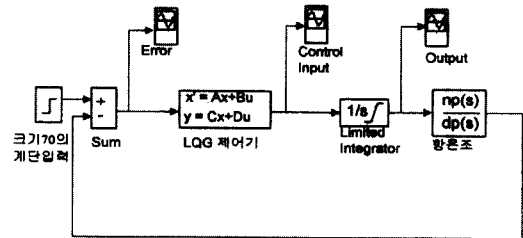


그림 5. 항온조 및 제어기의 흐름도

Fig. 5. Flow diagram of chamber & controller.

항온조 및 제어 시스템의 흐름도는 그림 5와 같다. 여기서 $1/s$ 는 계단 입력 응답에 대하여 정상 상태 오차를 영으로 만들기 위해 첨가된 적분회로이다. 적분기가 추가된 항온조의 운동 방정식은 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0.2518 & 0.4945 & -0.4945 \\ -0.2537 & 0.5055 & -0.5055 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) \\ &= 10^{-4} * [-0.13367 \quad -0.05103 \quad 0.08379] x(t) \end{aligned} \quad (8)$$

이때, 적분기가 추가된 모델 항온조의 특이치(singular value)는 그림 6과 같다.

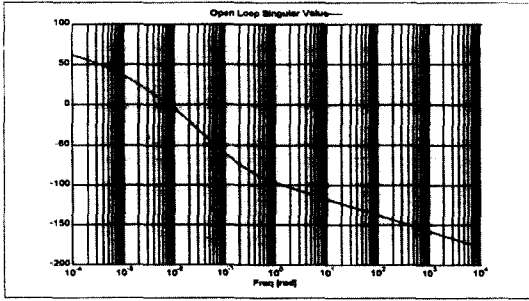


그림 6. 항온조 및 적분기의 특이치
Fig. 6. Singular value of chamber & integrator.

비용 함수 $c(t)$ 는 식(9)와 같이 정의한다.

$$c(t) = x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t) \quad (9)$$

본 연구에서 Q, R 은 다음과 같이 주었다.

$$Q = p \times C \cdot C = 10^{-9} * \begin{bmatrix} 0.1787 & 0.0682 & -0.1120 \\ 0.0682 & 0.0260 & -0.0428 \\ -0.1120 & -0.0428 & 0.0702 \end{bmatrix}$$

$$R = [1] \quad (10)$$

이때 LQ 제어기가 최소화해야할 목적함수 J 와 목적 함수 J 를 최소화하는 제어 입력 $u^*(t)$ 는 식(11), (12)와 같이 주어진다.

$$J = \int_0^{\infty} c(t)dt \quad (11)$$

$$u^*(t) = -Kx(t) \quad (12)$$

$$= -R^{-1}B^T Px(t)$$

본 연구에서 사용한 파라미터를 대입한 후 K 를 구하면 다음과 같이 주어진다.

$$K = [0.0112 \quad 0.0001 \quad -0.0001] \quad (13)$$

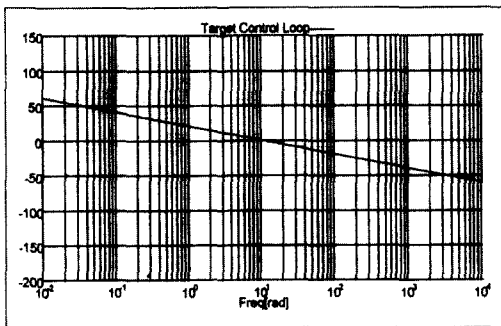


그림 7. 목표 루프
Fig. 7. Target loop.

상태 변수 모두가 측정 가능하다고 가정할 때, 여기서 구한 제어 이득을 가지고 상태 피드백 제어기를 구성하였을 때의 폐루프 주파수 응답, 즉 목표 루프의 특이치는 그림 7과 같이 주어지고, 제어 입력의 통과 대역은 약 10^{-2} rad/sec 정도임을 알 수 있다.

상태 추정기는 칼만 필터를 이용하였다. 제어기의 입장에서는 상태의 추정보다 제어기의 안정도 및 성능 유지에 주목적이 있으므로, 칼만 필터의 프로세스 잡음 및 측정 잡음은 임의로 조절하여 원하는 성능을 나타내도록 하면 된다. 본 연구에서는 프로세스 잡음과 측정 잡음을 식(14)와 같이 두었다.

$$W = B^T B + \rho I, \quad (14)$$

$$V = I$$

여기서를 ρ 를 조정하면서 주파수 특성을 분석한 결과, ρ 를 1,000,000으로 두었을 때, 안정도 여유가 충분히 회복됨을 알 수 있었다.

이때 칼만 필터를 포함한 최종 제어기의 상태 방정식은 식(15)와 같이 주어진다. 여기서 T_c 는 온도 기준 입력 즉, 온도 명령을 나타내며, $y(t)$ 는 온도 출력을 나타낸다.

$$\dot{x}_e(t) = A_f x_e(t) + B_f (y(t) - T_c) \quad (15)$$

$$u^*(t) = -[C_f x_e(t) + D_f (y(t) - T_c)]$$

여기서 A_f, B_f, C_f, D_f 는 주어진 파라미터를 대입하면 다음과 같이 주어진다.

$$A_f = \begin{bmatrix} 0.0022 & 0.0050 & -0.0083 \\ 1.4630 & 0.9569 & -1.2537 \\ 0.7991 & 0.9075 & -1.1655 \end{bmatrix}$$

$$B_f = 10^{-4} * \begin{bmatrix} 0.1 \\ 9.0608 \\ 7.8762 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$C_f = [0.0112 \quad 0.0001 \quad -0.0001]$$

$$D_f = [0]$$

이때, 제어기를 포함한 개루프의 보드(bode) 선도는 그림 8과 같다. 여기서 이론적 이득 여유는 약 15 dB 정도이고, 위상 여유는 약 $(-50^\circ, +50^\circ)$ 정도임을 알 수 있다. 따라서 안정도 여유도 충분함을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 3점의 온도를 제어하기 위하여 3개의 온도 센서 및 3개의 히터를 이용하였으며, 이를 위하여 3개의 식별 실험 및 제어기 설계를 수행하였다. 그러나 나머지 2개의 결과는 본 연구에서 제시된

한 개의 식별 및 제어기 설계 과정과 동일하므로 생략하였다.

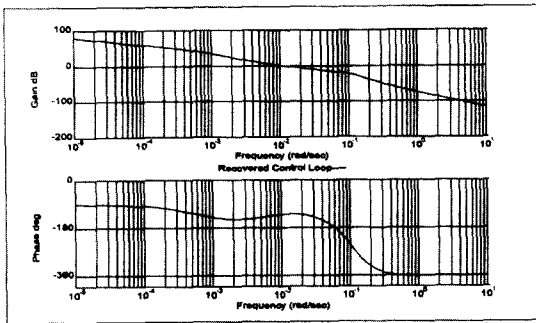
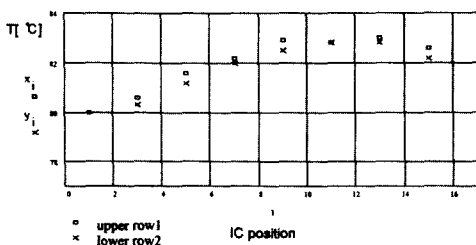


그림 8. 항온조 및 제어기의 보우드 선도
Fig. 8. Bode plot of chamber & controller.

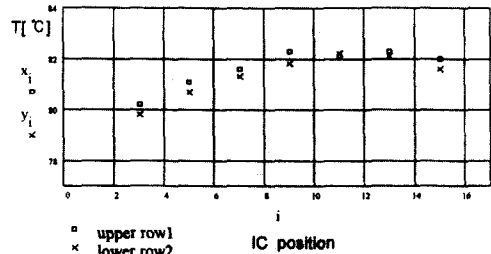
V. 실험 및 고찰

본 논문에서 설계된 제어기의 성능을 검증하기 위하여, 수직식 핸들러인 (주)미래산업의 MR-5100 반도체 테스트 핸들러에 적용하여 실험을 실시하였다. 본 실험에서 얻어진 제어기는 MC68040 CPU만으로 제어함으로써 기존 제어기에서 추가로 장착해야만 하던 마이크로 프로세서를 채용한 컨트롤러 부분을 줄일 수 있었다.

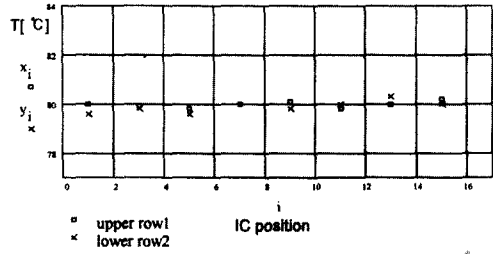
단일 변수 제어기의 위치에 따른 온도 분포가 기존의 상용 제어기인 경우 그림 9(a)와 같으며 RRC에서 제작한 제어기의 경우 그림 9(b)와 같이 편차가 크게 나타났으나, 다점 제어를 한 결과 그림 9(c)같이 온도 편차를 감소시킬 수 있었다. 상용 제어기의 경우 온도 편차가 ±1.5℃임을 알 수 있고, R.R.C. 제어기로 단일 변수만으로 제어한 경우 편차는 ±1.3℃임을 확인할 수 있으며, R.R.C. 제어기로 다점 제어를 한 결과 기존 제어기의 중간 부분과 가장자리 부분의 온도 편차를 ±0.35℃로 감소시킬 수 있었다.



(a)



(b)



(b)

그림 9. 위치에 따른 온도 분포
(a) 기존 제어기 80℃
(b) R.R.C. 80℃ 단일 변수 제어
(c) R.R.C. 80℃ 다점 제어

Fig. 9. Temperature vs. position(80℃).
(a) Traditional controller
(b) R.R.C. a value controller
(c) R.R.C. multi-point controller

그림 10, 11, 12, 13은 시간에 따라 측정점들의 온도를 측정된 그래프이다. 그림 10은 상용 제어기를 사용한 단일 변수 제어 시스템의 특성을 나타냈으며, 그림 11은 단일 변수 제어기 특성을 나타낸다. 그림 10과 11을 비교해 보면 대체적으로 대동 소이하나 그림 11의 경우가 정상 상태에서 온도 흔들림이 적은 것을 알 수 있고, 온도의 분포도 약간 적은 것을 알 수 있다. 그러나, 그림 10과 11은 기본적으로 센서와 히터가 하나씩밖에 없으므로 각 채널의 위치에 따른 온도의 변화를 제어할 방법이 없었다. 그림 12는 분할된 다중 히터와 센서를 이용한 온도 제어의 실험 결과이다. 응답 곡선을 보면 처음에는 편차가 순간적으로 증가하다가 곧 매우 작은 범위로 줄어드는 것을 알 수 있다. 그림 13은 50도로 제어했을 때 다중 입출력 제어기의 응답을 나타낸 것이다. 앞의 80도로 제어한 경우와 거의 유사하게 매우 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 이 그림들을 살펴보면 온도 편차, 정상 상태의 온도 흔들림, 빠른 응답과 작은 오버슈트(overshoot)를 보이는 것을 알 수 있다. 이 실험 결과

를 표로 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 기존의 제어기와 R.R.C. 제어기의 온도 오차 비교

Table 1. Comparison table between traditional and R.R.C. controller at the points.

	T사 단일변수 80℃	R.R.C. 단일변수 80℃	R.R.C. 다점 80℃
포인트만의 오차	±0.3℃	±0.15℃	±0.05℃
포인트간의 편차	±1.5℃	±1.3℃	±0.35℃

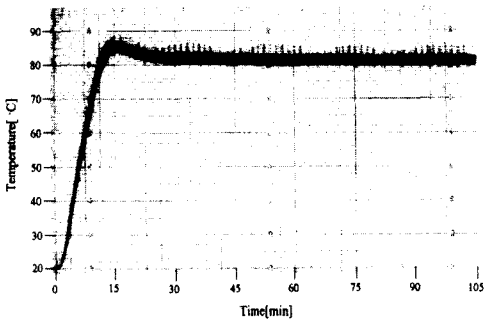


그림 10. 기존 제어기 80℃ 제어
Fig. 10. Traditional controller at 80℃.

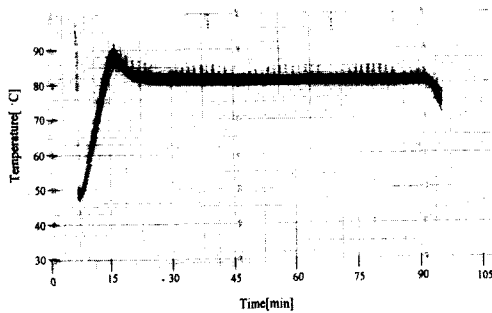


그림 11. R.R.C. 80℃ 단일 변수 제어
Fig. 11. R.R.C. single value controller at 80℃.

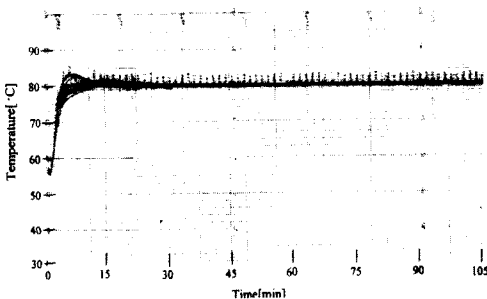


그림 12. R.R.C. 80℃ 다점 제어
Fig. 12. R.R.C. multi-point controller at 80℃.

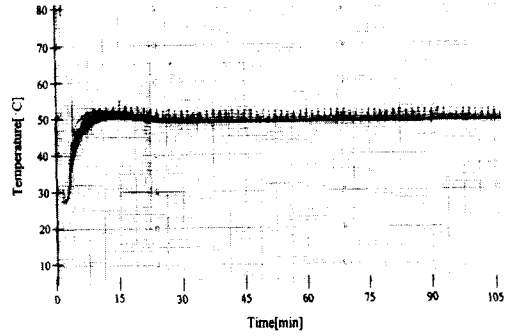


그림 13. R.R.C. 50℃ 다점 제어
Fig. 13. R.R.C. multi-point controller at 50℃.

VI. 결론

본 논문에서는 반도체 테스트 핸들러의 IC 측정점의 온도 편차를 감소시키기 위하여 VME PC, MC68040 CPU를 이용한 컨트롤러 보드, RTD 센서와 보드, VxWorks를 이용하여 시스템을 구축하였다. 기존의 시스템은 MC68040 CPU의 기능을 활용하지 못하고, 부수적인 수입 컨트롤러를 추가로 장착하는 문제점이 있었지만, 본 실험에서는 MC68040 CPU를 채용한 VME 시스템 제어기만으로 모든 것을 제어하였다. 그리고 VME 보드와 RTD 보드를 이용하여 반도체 테스트 핸들러 MR-5100과 MR-5300 모델에 대한 실용 가능한 제어기를 개발하였다. 이를 위하여 단일 입출력 모델에 기초한 식별 실험, 절대 온도 측정의 안정성 확보, 제어기의 빠른 응답 시간 및 작은 오버슈트, 다중 입출력 모델에 대한 식별 알고리즘 적용 연구 및 실험, 다중 입출력에 기초한 온도 제어기 개발 및 실험을 통한 성능 검증 등에 대한 실험, 기존 챔버내의 온도 오차를 제거하기 위한 히터의 3등분 실험을 실시하였다. 실험 결과 본 연구에서 개발된 제어기는 한 포인트의 온도 오차뿐만 아니라 각 포인트간의 온도 편차를 확연하게 줄임으로써 그 성능을 크게 개선할 수 있었으며 외국 경쟁사의 사양보다도 훨씬 작은 오차를 보였으므로 외국산 장비에 대해 경쟁력을 가질 수 있으리라 본다.

후 기

※ 본 연구는 한국과학재단 지정 호서대학교 “반도체 제조장비 국산화 연구센터”(R.R.C.)와 “(주)미래산업”의 지원 하에 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] 조수영, 이호준, 강태삼, 이성은, 김재용, 김영록, "반도체 테스트 핸들러의 온도 제어 시스템 개발 I - 시스템 구성", 자동제어학술회의, 12차, 1권, pp. 73-76, 1997

[2] 김재용, 강태삼, 이석원, 이호준, 조수영, 선기상, "반도체 테스트 핸들러의 온도 제어 시스템 개발 II - 제어기 설계", 자동제어학술회의, 12차, 1권, pp. 77-80, 1997

[3] 조수영, 김재용, 강태삼, 이호준, 고헌일, "반도체 테스트 핸들러의 온도 제어기 개발에 관한 연구", 전기학회 제출중, 1998

[4] VxWorks Training Workshop, Wind River System, Inc.

[5] 강기훈, 박종철, 박찬복, "온도", 한국표준연구소 정밀측정교재, 1985, 공업진흥청

[6] The VMEbus Specification, VMEbus international Trade Association

[7] P.Eykhoff, System Identification, John Wiley & Sons, 1974.

[8] M, Green and D.J.N. Limebeer, Linear Robust Control, Prentice Hall Inc, 1995.

[9] I.D. Landau, System Identification and Control Design, Prentice-Hall Inc, 1990.

[10] 김종식, 선형 제어시스템 공학, 1993, 청문각

[11] Anderson, B.D.O., and Moor, J.B., *Optimal control: Linear Quadratic Method*, Prentice-Hall, 1989.

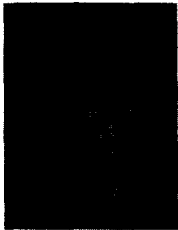
[12] Lewis, F.L., *Optimal Control*, John Wiley & Sons, New York, 1986.

[13] Lehtomaki, N.A., Sandell, N.R. and Athans, M., "Robustness Results in Linear-Quadratic Gaussian Based Multivariable Control Designs", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-26, no. 1, pp. 75-93, February 1981.

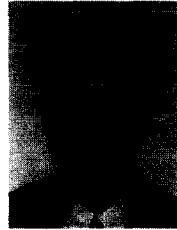
[14] Doyle, J.C., and Stein, G., "Multivariable Feedback Design: Concepts for a Classical/Modern Synthesis", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-26, no. 1, pp. 4-16, February 1981.

[15] Maciejowski, J.M., *Multivariable Feedback Design*, Addison - Wesley Publishing Company, Wokingham, England, 1989.

저 자 소 개



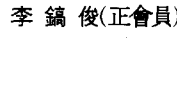
金宰瑢(正會員)
 1973년 10월생. 1996년 호서대학교 전기전자제어공학부 졸업(공학사). 1996년 3월 ~ 현재 호서대학교 대학원 전기전자제어공학부 석사과정. 주관심분야는 강인제어, 유도제어시스템, 온도제어시스템 등임



趙秀營(正會員)
 1971년 11월생. 1996년 호서대학교 정보통신공학부 졸업(공학사). 1996년 3월 ~ 현재 호서대학교 대학원 정보통신공학부 석사과정. 주관심분야는 광통신 WDM 시스템의 시뮬레이션, 광소자 응용, 온도제어 시스템 등임



康泰三(正會員)
 1963년 4월생. 1986년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1986년 2월 및 1992년 8월 동 대학원 제어계측공학과 석사학위 및 박사학위 취득. 1991년 4월 ~ 1994년 4월 서울대학교 공학연구소 조교, 1994년 4월 ~ 1998년 10월 현재 호서대학교 전기전자제어공학부 조교수. 1998년 2월 ~ 1998년 10월 현재 미국 오하이오 주립대학교 전기공학과 방문 연수중. 주관심분야는 강인제어 이론 및 산업 시스템 응용, 특히 온도제어시스템, 모터 및 서보 제어시스템, 항법 및 유도제어시스템, 항법센서 등이 포함됨



李鎬俊(正會員) 제 34권 D편 제 6호 참조
 현재 호서대학교 정보통신공학부 교수



高光一(正會員)
 1957년 8월생. 1980년 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1982년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사). 1989년 University of Pittsburgh 졸업(공학박사). 1983년 ~ 1997년 금성사 중앙연구소, LG 산전 연구소에 재직. 1997년 ~ 현재 (주)미래산업 연구소장 상무이사