

클린 튜브 시스템에서 웨이퍼의 위치 인식 및 정지 제어

Wafer Position Sensing and Control in the Clean Tube System

김 유 진*, 신 동 현
(Yu-Jin Kim and Dong-Hun Shin)

Abstract : The clean tube system was developed as a means of transferring air-floated wafers inside a closed tube filled with super clean air. This paper presents a wafer position sensing method in the clean tube system, where the photo proximity sensors are used. The first presented method uses the two positions sensed lately in order to compute the wafer center position. The next method uses the latest sensed position and the next latest position compensated with the information of the wafer velocity. The third method uses the kalman filter, which enable us to use all the previous sensing information. The simulation results are compared to show results of the presented method. In addition, the paper presents a control method to stop the wafer at the center of the unit in the clean tube system. The experimental clean tube system worked successfully with the applying the both presented methods of sensing and control.

Keywords : clean tube system, position decision, extended kalman filter, photo diode

I. 서론

최근 극도로 집적화된 고성능 반도체를 생산의 이면에는 초 청정상태 유지를 위한 클린룸 기술이 큰 역할을 수행하고 있다. 그러나 지금 현재 반도체 공장에 사용되고 있는 클린룸 기술은 3층의 구조로 그림 1과 같이 실제 반도체를 생산할 수 있는 곳은 2층으로 제한되어 있고 1층과 3층은 공기를 청정재생 및 순환시키는데 사용되고 있다. 이러한 구조의 클린룸(clean room system)의 건설비용은 전체 반도체공장 설립비용의 1/4정도이며 반도체 생산을 위해 2층 전부를 초 청정상태로 유지하기 위한 비용역시 만만치 않다. 그리고 앞으로 나노기술의 발전으로 반도체회로의 고집적화, 선폭의 미세화가 이루어지는 가까운 미래에는 보다 더 높은 고청정 환경이 요구된다. 그러므로 현재와 같이 반도체 제조 공간 전체를 클린룸화 하는 시스템으로는 기술적, 경제적으로 대처하기 어렵다. 그래서 웨이퍼의 이송 공간만을 초청정화 하여 웨이퍼의 오염문제와 투자비용을 줄일 수 있는 클린튜브 시스템이 제안되었다. 현재, 클린튜브 시스템은 여러 가지 방식이 연구되고 있으나 본 연구에서 사용하는 방식은 공기 부양 및 공기 마찰에 의한 추진방식이다.

이 장치의 가장 큰 특징은 밀폐된 튜브(tube)안에 웨이퍼의 이송트랙(track)을 설치하고, 트랙의 바닥으로부터 분사되는 기체에 의하여 웨이퍼를 부상된 상태로 트랙 위를 이동하게 하는 것이다. 이송된 후에는 로봇에 의해 해당 공정을 수행하고 다음 공정으로 이송된다. 이렇게 웨이퍼를 부상된 상태로 트랙과의 직접적인 접촉 없이 이송하게 되므로, 반도체 생산 공정 간의 웨이퍼 이송을 보다 안전하게 할 수 있다. 또한 여기에 웨이퍼의 이송공간만을 청정상태

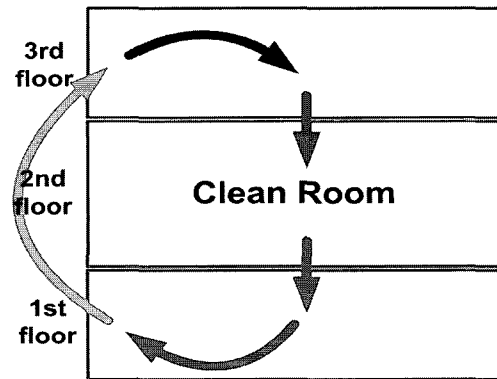


그림 1. 3층 구조의 클린룸.

Fig. 1. 3 story structured clean room.

로 보호하면 되기 때문에 현재의 반도체 공장에서 사용되는 방식보다 훨씬 저비용으로 반도체를 생산할 수 있다. 이러한 공기부양방식의 클린튜브 시스템은 1960년대에 IBM에서 air film system으로 개발된 바 있다. IBM의 Paivanas과 Hansan은 air film에 의한 웨이퍼 반송시스템을 처음으로 제안하고[1] 웨이퍼운동의 안정성을 위해 트랙상의 channel을 파서 개발하였으나 높은 운영비와 웨이퍼의 이송안정성의 어려움으로 실제공정에는 적용되지 않았다[2]. 그 후 웨이퍼의 부상원리 및 웨이퍼의 안정성에 대한 연구가 계속되어 왔다. 특히 일본에서는 Toda 등이 1990년대에 기존의 IBM의 air film system과 비교하여 새로운 UCFT system을 제안하였다[3]. 이들은 웨이퍼 부상문제와 클린튜브 시스템의 control unit과 transfer unit의 prototype을 제시함으로써 활발한 연구가 진행되었다[4]. 또 이들은 control unit에 웨이퍼의 안정을 위해 positioning과 rotation등의 기능성 노즐을 제안하고 연구하였다[5]. 그러나 웨이퍼의 움직임을 정교하게 제어하기 위해서는 웨이퍼의 정확한 위치를 인식해야 한다. 웨이퍼의 위치를 정확하게 인식하기 위해 이미지 센

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 5. 26., 채택확정 : 2006. 8. 28.

김유진, 신동현 : 서울시립대학교 기계정보공학과

(yujinses@uos.ac.kr/shin@uos.ac.kr)

※ 본 논문은 2005년도 서울시립대학교에서 지원하여 연구하였음.

서 등을 고려할 수도 있지만 비교적 큰 비용이 소요되며, 안정성, 신뢰성 면에서 실제 현장에서 사용되기는 아직 이르다. 본 논문에서는 실제 산업용으로 널리 사용되고 있고 저렴한 포토 센서만을 사용하여 웨이퍼의 위치를 검출하는 방법들을 제안하고 시뮬레이션을 통해 이 방법들을 비교하여 가장 좋은 방법을 제안할 것이다. 또한, 이러한 웨이퍼의 위치인식 방법을 기반으로 웨이퍼의 정지제어 방법을 제안한다.

II. 제어유닛에서 웨이퍼의 위치 검출

클린튜브시스템에서 웨이퍼는 제어유닛에서 출발되고 이송유닛을 지나 또 다른 제어유닛에 정지하는 과정을 통해 공정 사이클이 이송하게 된다[4]. 여기서 이송유닛은 웨이퍼의 단순 부상기능만을 가지고 있다. 즉 제어유닛에서 만들어진 웨이퍼의 수평적 운동을 관성적으로 유지시키는 역할만을 수행한다. 그러나 제어유닛은 웨이퍼를 출발시키거나 또는 여러 가지 웨이퍼의 운동방향을 전환하는 등 여러 가지 웨이퍼의 제어 기능을 수행하기 때문에 이송유닛에 비하여 복잡한 구조로 되어 있다. 특히 정확한 웨이퍼 위치인식을 할 수 있도록 그림 2와 같이 가운데에 있는 이송유닛에 비해 좌우에 있는 제어유닛에는 X, Y축으로 훨씬 많은 포토다이오드 센서들이 설치되어 있다.

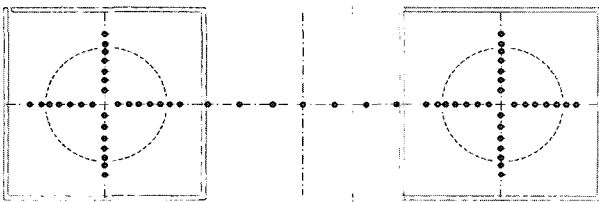


그림 2. 제어유닛과 이송유닛에서의 포토다이오드 센서.
Fig. 2. The photo diode sensors at the control unit and transfer unit.



그림 3. 클린튜브 트랙 바닥에 고정된 포토 다이오드 센서.
Fig. 3. Fixed photo diode sensor in the clean tube track.

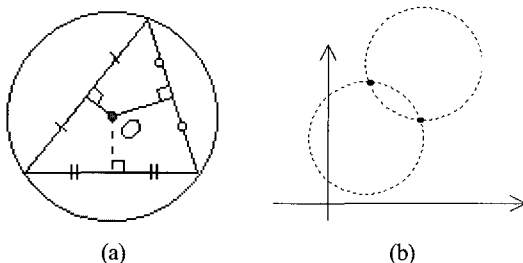


그림 4. (a) 삼각형의 외심. (b) 원의 반지름은 고정되어있고 원주상의 두 점을 알 때 알 수 있는 두 개의 원의 위치.
Fig. 4. (a) The circumcenter in the triangle. (b) A pair of circle determined by a pair of point, when the circle radius is constant.

한편, 웨이퍼의 원주가 포토센서 위를 통과할 때 그 순간에 웨이퍼 원주상의 한 점의 위치를 알 수 있다. 만약 원주상의 세 개의 점의 위치를 안다면 웨이퍼의 유일한 중심점을 그림 4(a)와 같이 결정지을 수 있다. 마찬가지로 원주상의 두 개의 점의 위치를 안다면 (1)을 이용하여 그림 4(b)와 같이 두 개의 원의 위치를 계산할 수 있다. 또한 웨이퍼가 움직이는 경로는 부드러운 선형이며 빠르지 않다는 가정 하에서 과거의 웨이퍼 위치, 속도 정보 등을 이용하면 원주상의 두 개의 점만으로도 웨이퍼의 유일한 실제 위치를 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} (x_1 - X_c)^2 + (y_1 - Y_c)^2 &= R^2 \\ (x_2 - X_c)^2 + (y_2 - Y_c)^2 &= R^2 \end{aligned} \tag{1}$$

위 식에서 X_c, Y_c 는 원의 중심 좌표이다. 그러나 그림 3에서와 같이 유한한 개수의 포토센서가 이산적으로 배치되어 있으므로 웨이퍼 원주상의 두 개의 점의 위치를 동시에 얻는 것은 실제로 불가능하다. 그러므로 웨이퍼 원주상의 한 점의 위치가 새로이 인식될 때마다 다른 원주상의 한 점을 추정하여 웨이퍼의 위치를 계산해야 한다.

1. 단순 위치 계산법

웨이퍼가 오른쪽에 있는 이송유닛에서 왼쪽의 제어유닛으로 그림 5와 같이 이동하고 있다고 가정하면, X축의 포토다이오드만 반응할 것이다. 여기서 X축은 웨이퍼가 진입하는 방향을 나타내고 Y축은 수직방향이다. 이 경우는 웨이퍼 원주상의 새로운 점을 추정할 수 있는 정보가 부족하기 때문에 웨이퍼의 Y축 위치를 0이라 가정하고 (2)와 같이 웨이퍼의 위치를 추정한다.

$$(X_c, Y_c) = (x_1 + R \cdot \vec{d}, 0) \tag{2}$$

위 식에서 x_1 은 X축 $(x_1, 0)$ 에 위치한 포토다이오드의 x값이고 \vec{d} 는 웨이퍼의 방향벡터이다.

웨이퍼가 X축의 포토 센서들만 반응하는 구간을 지나 Y축의 포토 센서 위를 지날 때 비로소 웨이퍼 원주상의 새로운 한 개의 점의 위치를 추정하여 웨이퍼의 위치를 계산

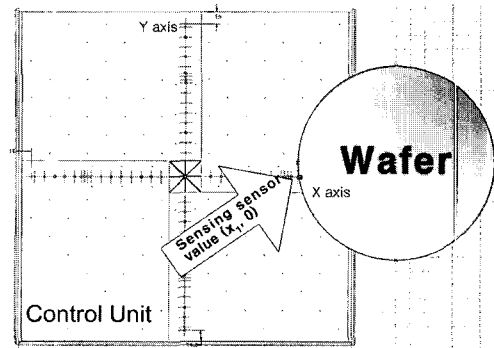


그림 5. 웨이퍼가 제어유닛에 진입 할 때는 양의 X축 포토 센서들만 반응한다.
Fig. 5. The wafer is only sensing positive X coordinate photo diodes before coming to the control unit.

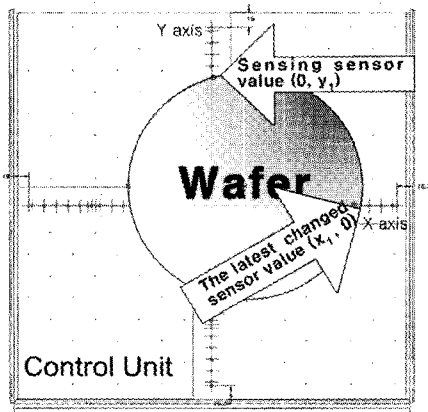


그림 6. Y축의 센서가 검출되었을 때 가장 최근 상태가 변한 값은 $(x_1, 0)$ 의 센서이다.

Fig. 6. The latest changed sensor value is $(x_1, 0)$ when it is sensing positive Y coordinate.

할 수 있다. 예를 들면 그림 6과 같이 웨이퍼가 $(0, y_1)$ 의 포토 센서 위를 지날 때 웨이퍼 원주상의 $(0, y_1)$ 의 위치를 얻을 수 있다. 그리고 과거에 검출된 원주상의 점들 중에서 그림 6과 같이 가장 최근에 상태가 변한 값을 $(x_1, 0)$ 이라고 하면 이 두 점을 (1)에 대입하여 (3), (4)과 같이 웨이퍼의 중심을 각각 계산할 수 있다.

$$X_c = \frac{x_1^2 - y_1^2 + 2y_1 Y_c}{2x_1} \quad (3)$$

$$Y_c = \frac{-\left(\frac{x_1^2 - y_1^2}{2x_1^2}y_1 - y_1\right) \pm \sqrt{\left(\frac{x_1^2 - y_1^2}{2x_1^2}y_1 - y_1\right)^2 - \left(y_1^2 + \frac{(x_1^2 - y_1^2)^2}{4x_1^2} - R^2\right)\left(\frac{y_1^2}{x_1^2} + 1\right)}}{\left(\frac{y_1^2}{x_1^2} + 1\right)} \quad (4)$$

그러나 이같이 단순히 가장 최근에 인식된 웨이퍼의 두 점을 이용하는 경우에는 실제로 서로 다른 순간의 웨이퍼 원주상의 두 점을 이용하는 것이므로 결과의 정확도는 떨어지며 트랙에 설치된 포토 센서사이의 거리에 의존한다.

2. 속도를 이용한 보상 계산법

웨이퍼의 실제 움직임은 부드러운 선형이므로 센서가 검출될 때마다 웨이퍼 중심점 변화를 이용하면 웨이퍼의 x, y 속도 성분을 (5)과 같이 연속적으로 계산할 수 있다.

$$V_x = \frac{X_c - X_{c-1}}{\Delta t}, \quad V_y = \frac{Y_c - Y_{c-1}}{\Delta t} \quad (5)$$

위 식에서 X_{c-1} , Y_{c-1} 은 바로 전 과거 원의 중심 좌표이고, V_x , V_y 는 각각 x, y의 속도성분이고 Δt 는 두 중심점 사이의 시간 변화율이다. 웨이퍼 원주상의 한 점이 검출되었을 때 속도 성분을 이용하여 또 다른 원주상의 점을 예측할 수 있다. 즉, $(0, y_1)$ 의 위치가 검출되었을 때 과거에 검출된 점을 (x_0, y_0) 이라고 한다. 그리고 이 두 점의 검출 시간 차이를 Δt 라고 한다. 그렇다면 과거의 원주상의 (x_0, y_0) 점의 위치가 $(0, y_1)$ 의 센서가 검출되었을 순간의 위치를 (6)에서와 같이 (x_2, y_2) 의 값을 계산할 수 있다.

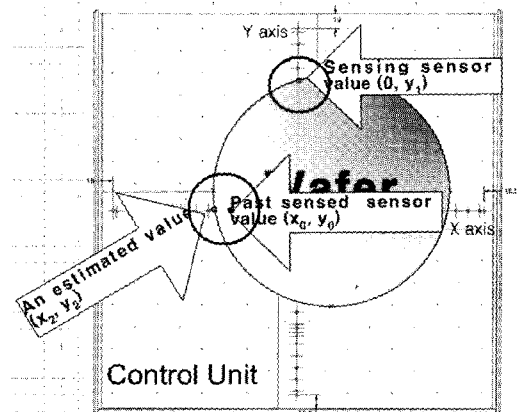


그림 7. Y축 $(0, y_1)$ 센서가 검출되었을 때 바로 전 과거에 검출된 값인 (x_0, y_0) 으로 속도성분을 이용하여 예측한 (x_2, y_2) .

Fig. 7. An estimated value (x_2, y_2) is calculated using the latest past information (x_0, y_0) when it is sensing positive Y coordinate $(0, y_1)$.

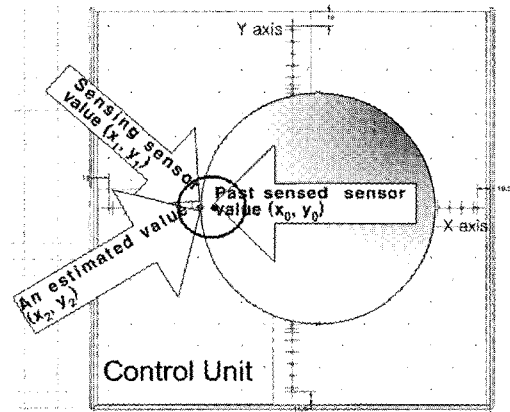


그림 8. X축 (x_1, y_1) 센서가 검출되었을 때 속도성분을 이용하여 예측한 (x_2, y_2) 이 거의 같은 경우.

Fig. 8. When sensing sensor value (x_1, y_1) is almost equal to an estimated value (x_2, y_2) .

$$x_2 = x_0 + V_x \Delta t, \quad y_2 = y_0 + V_y \Delta t \quad (6)$$

그러면 검출된 원주상의 점 $(0, y_1)$ 과 계산하여 얻은 (x_2, y_2) 을 (1)에 적용하여 웨이퍼의 중심을 계산할 수 있다.

그러나 이 방법에서 주의할 점은 만약 현재 검출된 $(0, y_1)$ 과 바로 전 과거에 검출된 값과 속도성분을 이용하여 예측한 (x_2, y_2) 이 거의 근접한 값일 때 두 점을 (1)을 이용해 계산하면 큰 오차가 발생할 가능성이 있다. 그렇기 때문에 두 점이 근접한 경우에는 (7)과 같이 과거의 중심좌표와 속도를 이용하여 중심점을 추정한다.

$$X_c = X_{c-1} + V_x \Delta t, \quad Y_c = Y_{c-1} + V_y \Delta t \quad (7)$$

그러나 이 방법은 가장 최근에 검출된 2개의 센서 정보만을 사용해 웨이퍼의 위치를 결정하기 때문에 보정 가능

한 계산상의 오차를 보정할 수 없고 웨이퍼의 실제 경로에 수렴하지 않는다. 그러므로 본 연구에서는 웨이퍼의 실제 경로에 수렴해 가고, 보정 가능한 계산상의 오차에도 대응할 수 있는 방법이 필요하다.

3. 칼만 필터를 이용한 위치 보정법

위의 방법들은 모두 현재 검출된 정보와 바로 전 과거의 정보만을 이용해 위치를 계산하였다. 하지만 웨이퍼의 부드러운 경로에 수렴해가면서 보정 가능한 오차에 대응하기 위해서는 다음과 같이 칼만 필터를 적용하여 과거의 모든 정보를 이용하는 것이 유리하다. 웨이퍼의 운동을 나타내는 시스템은 (8)과 같고 관측방정식은 (9)과 같다. (8)에서 S는 웨이퍼의 위치를 나타내고 V는 웨이퍼의 속도, Δt는 중심점 사이의 시간차이다. 또한 관측방정식 (9)은 실제 웨이퍼의 위치가 오차를 가지고 계산된 결과이다.

$$\text{system} : S_k = f(S_{k-1}, V_{k-1}, \Delta t_{k-1}, W_{k-1}) = [S_{k-1} + V_{k-1} \Delta t_{k-1} + W_{k-1}] \quad (8)$$

$$\text{measured} : Z_{k-1} = h(S_{k-1}, U_{k-1}) \quad (9)$$

위에서 $W_{k-1}^2 = Q$ 이고 $U_{k-1}^2 = G$ 이다. (8)로 이루어지는 시스템에서 웨이퍼의 상태를 추정하기 위한 칼만 필터 알고리즘은 다음과 같다.

① The state estimate extrapolation

$$\hat{S}_k^- = f(\hat{S}_{k-1}^+, V_{k-1}, \Delta t_{k-1}, 0) \quad (10)$$

② The covariance estimate extrapolation

$$P_k^- = \Phi_{k-1} P_{k-1}^+ \Phi_{k-1}^T + Q \quad (11)$$

③ The filter gain computation

$$K_k = P_k^- H_k^T [H_k P_k^- H_k^T + G]^{-1} \quad (12)$$

④ The state estimate update

$$\hat{S}_k^+ = \hat{S}_k^- + K_k (z_k - h(\hat{S}_k^-, 0)) \quad (13)$$

⑤ The covariance estimate update

$$P_k^+ = [I - K_k H_k] P_k^- \quad (14)$$

위에서 \hat{S}_k^- 는 보정 전의 상태 벡터이고, \hat{S}_k^+ 는 보정 후의 상태 벡터이다. 또한 P_k^- 는 보정 전의 오차 공분산이고 P_k^+ 는 보정 후의 오차 공분산이다.

$$P_k^+ = E[(S_k - \hat{S}_k^+)(S_k - \hat{S}_k^+)^T] \quad (15)$$

$$P_k^- = E[(S_k - \hat{S}_k^-)(S_k - \hat{S}_k^-)^T]$$

또한 K_k 는 칼만 필터의 이득이며, 행렬 A_k 와 H_k 은 비선형 함수로써, S_k 에 대한 Jacobian 행렬로써 다음과 같다.

$$A_k = \frac{\partial f}{\partial S}, H_k = \frac{\partial h}{\partial S} \quad (16)$$

III. 위치인식을 이용한 웨이퍼의 정지 제어

위에서 제시한 방법은 웨이퍼가 제어유닛으로 이동될 때의 위치인식 방법들이었다. 여기서는 위치인식을 기반으로 제어유닛의 중심에서 웨이퍼를 정지시키기 위한 제어방법을 제안한다. 제어유닛의 노즐에서 분사되는 공기가 웨이퍼에 미치는 힘을 살펴보면 [12]에서 밝혀진 바와 같이 그림 9, 10과 같이 모델링 된다.

우선 웨이퍼가 제어유닛의 오른쪽에서 v_0 의 속도로 진입한다고 가정한다면 웨이퍼를 부상시키기 위하여 작동시키는 노즐에 의한 힘 F1, F2, F3, F4는 그림 9에서와 같이 Sin함수 형태로 작동하며, 웨이퍼를 정지시키기 위해 작동시키는 힘 F5는 그림 10과 같이 양의 Y축 사다리꼴 영역만큼 작동한다.

웨이퍼를 정지시키기 위해서는 F5 추진력으로 감쇠시켜 유닛의 중앙에 이를 때 웨이퍼의 운동에너지를 0으로 만들어야한다. 그림 9와 같이 웨이퍼가 x_0 의 위치에 왔을 때 F5를 작용시킨 후 $x=0$ 일 때 운동에너지를 계산하면 (17)과 같다[13].

$$0 = \frac{1}{2} m v_0^2 + \int_{-3R}^{x_0} (Kx + 3KR) dx + \int_{x_0}^{-R} (Kx - \frac{u}{2R} x + 3KR - \frac{3u}{2}) dx + \int_{-R}^0 (-u - 2Kx) dx \quad (17)$$

여기서 x_0 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x_0 = -3R \pm \sqrt{8R^2 - \frac{12KR^3 - 2mv_0^2 R}{u}} \quad (18)$$

그러나 웨이퍼의 속도가 이동경로에 따라 변하면서 x_0 도 변한다. 그리고 변하는 x_0 위치를 모두 검색하는 것은 비현실적이고 비경제적이다. 그래서 웨이퍼가 x_0 에 도달하는 시간 t_0 을 구한다. 우선 웨이퍼는 x_0 에 오기까지 (19)의 힘을 받는다[13].

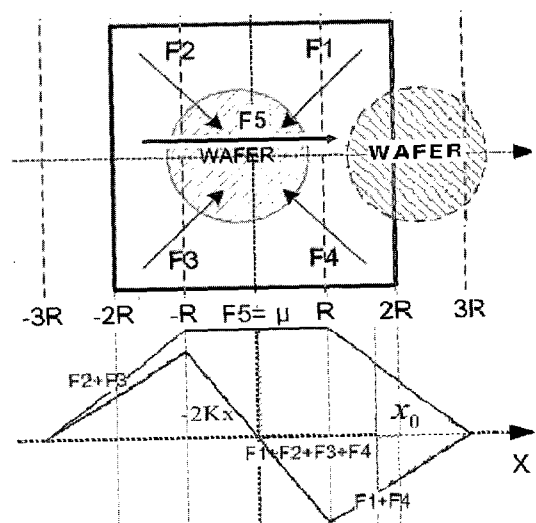


그림 9. 제어유닛에서의 작용되는 힘.
Fig. 9. The force in the control unit.

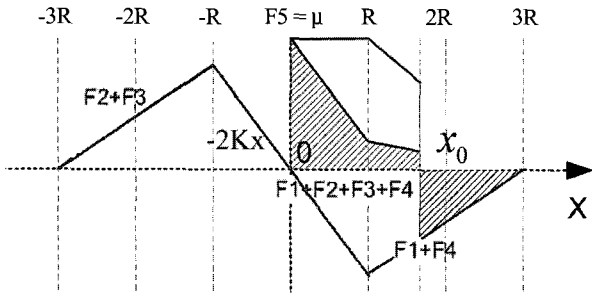


그림 10. 웨이퍼를 정지시키기 위한 합력.
Fig. 10. The resultant force to stop a wafer.

$$F_x = Kx + 3KR \quad (19)$$

여기서 이 구간의 마찰력을 무시하면 운동방정식은 (20) 이 되고[13] 초기조건이 (21)일 때 웨이퍼의 운동 식은 (22) 이 된다. x_0 에 도달하는 시간 t_0 을 (23)로 나타낼 수 있다.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} - Kx = 3KR \quad (20)$$

$$x(0) = -3R, \quad \frac{dx(0)}{dt} = v_0 \quad (21)$$

$$x(t) = \frac{v_0}{2w_r} (e^{w_r t} - e^{-w_r t}) - 3R \quad (22)$$

$$t_0 = \frac{1}{w_n} \log \left\{ \frac{w_n (x_0 + 3R)}{v_0} + \sqrt{\left(\frac{w_n (x_0 + 3R)}{v_0} \right)^2 + 1} \right\} \quad (23)$$

즉, 웨이퍼의 정지는 우선 웨이퍼가 유닛에 진입 후 t_0 후에 F5가 작용해야하고, 웨이퍼가 정확히 중심에 도달했을 때 F5의 작용을 멈추어야한다.

IV. 시뮬레이션

본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 위에서 제시한 세 가지 방법들의 결과들을 비교하였다. 먼저 웨이퍼의 반지름 $R = 150\text{mm}$ 이고 웨이퍼는 5Cm/s 의 속도로 오른쪽 이송유닛에서 왼쪽의 제어유닛으로 다가오고 있다고 가정한다. 또한 위치를 검출하기위해 포토 센서는 X축, Y축 각각 $-400\text{mm} \sim 400\text{mm}$ 까지 10mm 간격으로 설치되어있다고 가정한다.

실제 웨이퍼의 중심은 (200, 8.7)에서 (50, 8.7)로 이동하고 있을 때 그림 11은 II의 1에서 제시한 단순 위치 계산법을 이용해 웨이퍼의 위치 및 경로를 계산한 결과와 실제 웨이퍼의 위치 및 경로를 비교한 그래프이다.

그림 12는 II의 2에서 제시한 속도를 이용한 보상 계산법을 적용하여 웨이퍼의 위치 및 경로를 계산한 결과와 실제 웨이퍼의 위치 및 경로를 비교한 그래프이다. 그림 11과 비교했을 때 좀 더 정확한 웨이퍼의 위치를 얻을 수 있었다. 하지만 가장 최근에 검출된 2개의 값만을 이용하기 때문에 그림 보정 가능한 계산 오차를 보정할 수 없고 웨이퍼의 실제 움직이는 경로에 수렴하지 않는다.

그림 13은 II의 3에서 제시한 칼만 필터를 이용한 위치

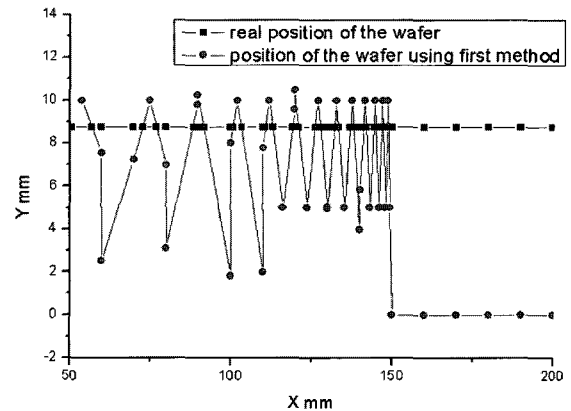


그림 11. 실제 웨이퍼의 위치와 단순 위치 계산법을 사용하여 계산한 위치와의 비교.
Fig. 11. Compare real position and calculated position of the wafer using simple computation of center.

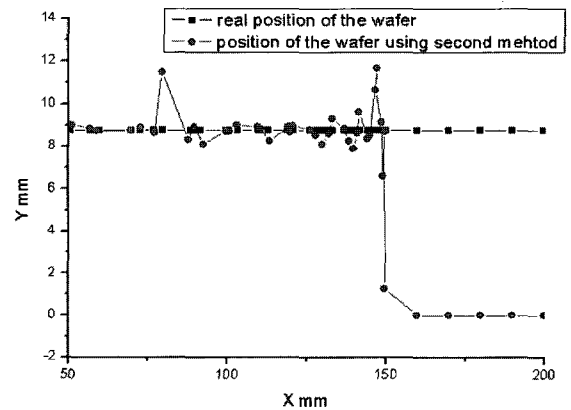


그림 12. 실제 웨이퍼의 위치와 속도를 이용한 보상 계산법을 사용하여 계산한 위치와의 비교.
Fig. 12. Compare real position and calculated position of the wafer using position estimation using velocity.

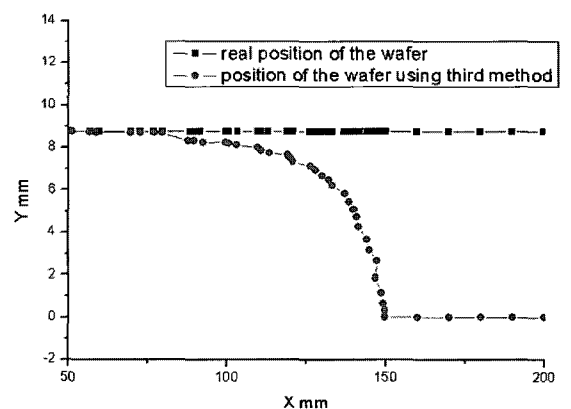


그림 13. 실제 웨이퍼의 위치와 칼만 필터를 이용한 위치 보정법을 사용하여 계산한 위치와의 비교.
Fig. 13. Compare real position and calculated position of the wafer using position estimation by kalman filter.

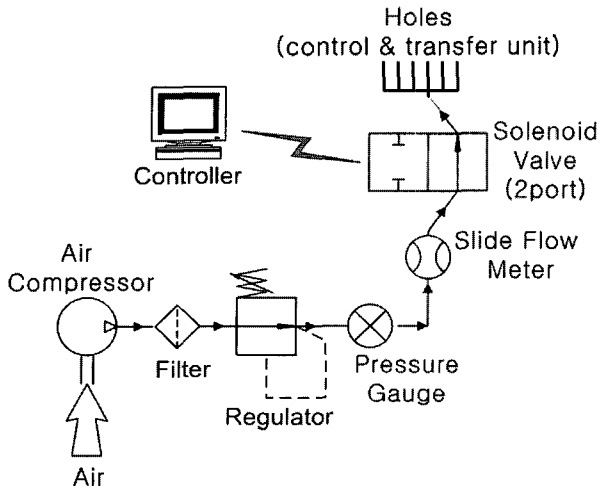


그림 14. 시스템에서의 공기흐름 순서도.
Fig. 14. The schematic diagram of air flow.

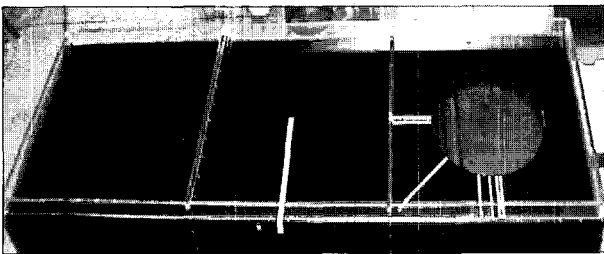


그림 15. 실험용 클린튜브 시스템.
Fig. 15. The experimental clean tube system.

보정법을 적용하여 웨이퍼의 위치 및 경로를 계산한 결과와 실제 웨이퍼의 위치 및 경로를 비교한 그래프이다. 보는 바와 같이 실제 웨이퍼의 움직임에 수렴해가는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

V. 실험

그림 15는 2개의 제어유닛과 1개의 이송유닛으로 제작된 실험 장비이다. 유닛의 트랙에 설치된 기체 분사장치는 그림 14와 같이 여러 단계를 거쳐 웨이퍼에 기체를 분사하게 된다. 웨이퍼의 안정적인 운동과 제어를 위해서는 일정한 기체압력과 유량을 필요로 하게 되고 더불어 클린튜브 특성상 고정정의 기체를 요구하게 된다. 실험과 제어는 최적의 압력과 유량을 설정한 상태에서 실제제어는 2포트 솔레노이드 밸브를 통해 이루어진다. 본 연구에서는 실험용 클린튜브시스템에 위에서 제시한 위치 인식 방법을 웨이퍼의 정지 제어에 적용하였고 이를 통해 ±3cm 이내의 오차로 웨이퍼의 정지 제어를 구현할 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 클린튜브 시스템에 산업용으로 널리 사용되고 저렴한 포토 센서만을 이용하여 웨이퍼의 위치를 결정할 수 있는 방법들과 이를 기반으로 한 정지제어를 제안했다. 첫 번째 제시했던 방법인 단순 위치 계산법은 가장

최근 상태가 변한 두 개의 센서 위치 값을 이용하여 웨이퍼의 위치를 계산하였다. 두 번째 제시했던 속도를 이용한 보상 계산법은 웨이퍼의 속도를 계산하고 이 속도를 이용하여 웨이퍼 원주상의 한 점을 예측하여 웨이퍼의 위치를 계산한 방법이었다. 마지막으로 세 번째 제시한 방법은 칼만 필터를 이용한 위치 보정법이다. 이 방법들 중 가장 좋은 방법을 이용하여 웨이퍼의 정확한 위치를 인식했을 때 제어유닛의 중심에 웨이퍼를 정확히 정지시킬 수 있을 것으로 기대된다.

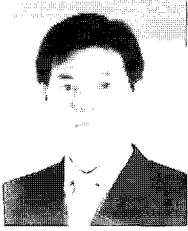
시뮬레이션 결과는 속도를 이용한 위치 계산법이 단순 위치 계산법보다는 더 정확했으나 칼만 필터를 적용한 위치 보정법이 가장 좋은 방법으로 평가되었다. 왜냐하면 실제 웨이퍼 위치에 근접하게 수렴해가고 있으며 불안정한 오차를 해결할 수 있기 때문이다. 실제로 본 논문에서 제시한 방법은 클린튜브 시스템을 도입한 반도체 제조 공장에서 웨이퍼의 위치를 포토다이오드만을 이용하여 정교하게 인식하고 운동을 제어하는데 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] J. A. Paivanas, J. K. Hanssan. and U. S. Patent 4,081, 201, 1978.
- [2] J. A. Paivanas and J. K. Hanssan, "Air film system for handling semiconductor wafers," *IBM Journal research and development*, 23, 1979, 361-375.
- [3] M. Toda, M. Shishido, Y. Kanno, M. Umeda, T. Nitta and T. Ohmi, "Wafer transportation through a tunnel filled with nitrogen gas," *ICCCS*, 1992, 173-183.
- [4] M. Toda, T. Ohmi, T. Nitta, Y. Saito, Y. Kanno, M. Umeda, M. Yagai, and H. Kidokoro., "N2 Tunnel Wafer Transport System," *Journal of the IES(Institute of Environmental Sciences)*, 493-498, 1997.
- [5] M. Toda, T. Ohmi, T. Onoda, M. Umeda, Y. Kanno, U. S. Patent 5,921,1744, 1999.
- [6] S. S. RAO, *MECHANICAL VIBRATIONS, Third ed.*, Addison-Wesley, 128-146, 1995.
- [7] T. Ohmi, "Future Trends and Application of Ultra Clean Technology," *International ElectronDevices Meeting, Washing, D. C.*, 49-52, 1989.
- [8] M. Okano and S. Togo, "Static Performance of Externally Pressurized Porous Gas Bearings," *Junkatsu*, 20, 53-60, 1975.
- [9] J. P. Babinski, B. I. Bertelsen, K. H. Raacke, V. H. sirgo and C. J. Townsend, U. S. Patent 3,976,330, 1976.
- [10] W. A. Gross, *Gas Film Lubrication*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962.
- [11] J. D. Jackson and G. R. Symmons, *Appl. Sci. Res.*, A 15, 59-75, 1965.
- [12] 신동현, 최철환, 정규식, "클린튜브 시스템의 웨이퍼 운동 제어," *설비공학 논문집*, 제16권 제5호 pp. 475-481, 2004.
- [13] 신동현, 정규식, 윤정용, "클린튜브 시스템 이송 유닛

의 웨이퍼 운동 역학 모델링,” 한국정밀공학회지 제21

권 제3호 pp. 66-73, 3, 2004.



김 유 진

2005년 서울시립대 기계정보공학과 졸업. 2006년 현재 동 대학원 공학석사. 주요 관심분야는 메카트로닉스 및 로봇기구학.



신 동 훈

1979년 서울대 기계설계학과 졸업. 1990년 Carnegie Mellon University 박사. 현재 서울시립대 기계정보공학과 교수. 주요 관심분야는 로봇공학 및 분산제어 시스템.