

CFD를 이용한 CMP의 Pad Groove 형상 설계 연구

최치웅* · 이도형**

Design of Pad Groove in CMP using CFD

Chi-woong Choi*, Do-hyung Lee**

Key Words: CMP, Groove (그루브), Pad (패드), Two-phase flow (이상유동), Vortex (와류)

ABSTRACT

CMP (Chemical Mechanical Polishing) is to achieve adequate local and global planarization for future sub-micrometer VLSI requirements. In designing CMP, numerical computation is quite helpful in terms of reducing the amount of experimental works. Stresses on pad, concentration of particles and particle tracking are studied for design. In this research, the optimization of grooved pad shape of CMP is performed through numerical investigation of slurry flow in CMP process. The result indicates that the combination of sinusoidal groove and skewed pad is the most optimal shape among the twenty candidates. Useful information can be obtained in velocity, pressure, stress, concentration of particles and particles trajectories, etc.

1. 서 론

CMP (Chemical Mechanical Polishing)는 화학적 그리고 기계적으로 표면을 연삭하는 공정으로 오랫동안 웨이퍼(wafer)의 광택면을 얻는데 이용되어 왔다. CMP의 작용은 표면에서의 물질과 슬러리(slurry)의 화학적 작용이 표면을 약하게 만들고, 이 표면은 입자와 슬러리의 기계적인 혼합작용을 통해 마모된다. CMP의 패드(pad)와 그루브(groove)는 웨이퍼(wafer) 사이에서 Fig. 1에서처럼 얇은 막의 유동을 만들어낸다. 패드는 입자를 포함한 slurry의 유동이 잘 되도록 하는 역할을 한다. 그루브는 입자를 받아들여서 일정 시간동안 머무르게 하고 다시 내보내는 역할을 한다. 이는 화학작용의 시간적 요구조건에 관계된다.

Fig. 1(b)는 패드와 그루브의 간략화 된 형상이다. 이 유동은 입자를 포함한 이상유동으로, 아직까지 정확한 거동이 이해되고 있지 못한 상황이다. 이러한 이유로 지금까지 CMP의 모델에 대한 많은 연구가 있었다. 유체 역학적인 접근은 Runnel과 Eyman의 웨이퍼 표면에 유체의 유동으로 가해지는 응력에 대한 CMP의 마찰적 분석이 그 시초라고 볼 수 있다⁽¹⁾. 이 연구에서는 결과의 예측이 정량적으로 정확하지는 못하였다. 그러나 매개변수에 의한 수치해석에 기초했다는 점이 중요시 평가되고 있다.

Sundatrarajan의 다수의 연구자들에 의해 다른 유체 역학적인 모델이 연구되기도 하였다⁽²⁾. Coppeta와의 연구자들은 slurry유동을 수치적 관점과 실험적 관점에서 동시에 연구하였다⁽³⁾. 최근에는 Jeng과 Liang에 의해 실제 입자를 포함한 이상 유동에 대한 연구가 되었고, 특히 그루브와 패드의 형상에 대한 연구를 수행하였다. 유체역학적인 접근에 있어서, 결론은 난류모델의 결과가 층류와 유사하다고 언급했지만, 난류모델을 사용한

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 한양대학교 기계산업공학부

책임저자 E-mail : dohyung@hanyang.ac.kr

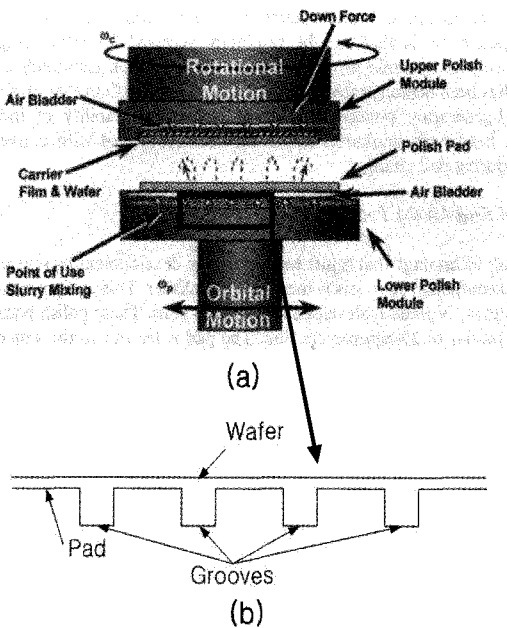


Fig. 1 outline of pad groove in CMP: (a) CMP outline (b) pad groove outline

가정 자체가 문제를 지니고 있다. 또한, 그루브의 영향을 연구하기 위해서 그루브 없는, 그리고 그루브 있는 2가지 모델을 비교한 것은 한계가 있다⁽⁴⁾. 왜냐하면, 본연구의 결론에서 언급하겠지만, 그루브 자체는 유동에 대한 M.R.R.(Material Removal Rate)에 직접적인 영향을 미치지 못하기 때문이다. M.R.R.은 CMP로 제거되는 양을 나타내는 가장 기본적인 척도로, 여러 가지 모델이 제시되고 있다. 이에 대한 설명은 입자 유동특성에서 다시 이야기하겠다. Jeng은 다시 패드부의 형상 변화에 대한 연구를 하였다⁽⁵⁾.

기존의 패드와 그루브의 형상으로부터, 패드와 그루브에 대해서 형상을 여러 가지로 정하여 보다 정확한 패드와 그루브의 영향을 연구하고, 최적화된 형상을 찾아내는 것은 CMP의 성능향상에 그리고 mechanism의 이해에 중요하다. 본 연구에서 선택한 형상은 패드에 대해서 4가지, 그루브에 대해서 5가지로 정하였고, 보다 자세한 내용은 2장에서 언급하도록 하였다. 형상들에 대한 비교 기준으로 Runnel의 모델에 기초한 응력, 그루브 내의 입자의 밀집도, 그루브 내의 와류 등을 정하였다. 이러한 인자들은 CMP 내의 slurry유동의 수치적인 계산으로부터 얻을 수 있었다. 연구의 결과를 종합적으로 분석하여, 선택 형상들로부터 최적의 패드와 그루브의 형상을 획득하였다.

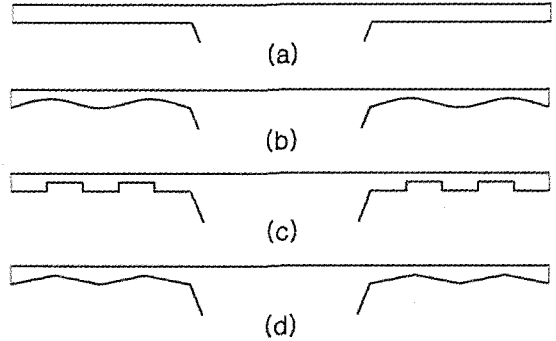


Fig. 2 Four pad types: (a) Straight pad, (b) waved pad, (c) grooved pad, (d) skewed pad.

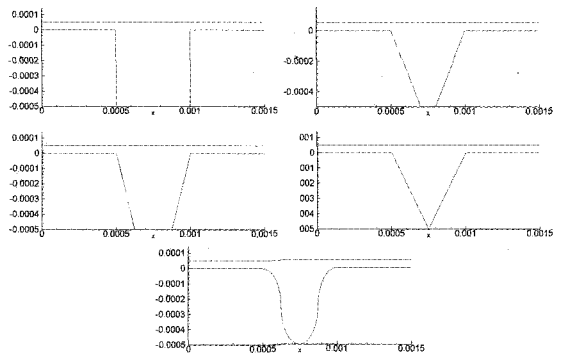


Fig. 3 Five groove types: (a) Rectangular groove, (b) Trapezoidal groove1, (c) Trapezoidal groove2, (d) Triangular groove, (e) Sinusoidal groove

2. 패드와 그루브 선택 형상과 격자형성

패드에 대해서는 Fig. 2에서처럼, straight pad, waved pad, grooved pad, skewed pad로 4가지의 형상으로 나누었다. 그리고 그루브에 대해서는 Fig. 3에 보이듯이 사각형, 사다리꼴형1, 사다리꼴형2, 삼각형, 사인형으로 5가지의 형상으로 나누었다. 이 형상들은 Jeng과 Liang^(4,5)의 모델의 형상에 기초하였다. 이는 기존의 사각형 모델 형상을 포함하는 것으로, 기존 모델의 단점을 보완하고 더 나은 모델로의 최적화를 위해 선택된 모델들이다.

앞서 말했듯이, 패드 형상은 입자를 포함한 slurry의 유동을 원활하게 하여 웨이퍼 전체로 분산시키는데 그 목적이 있다. 그리고 그루브는 입자를 그것 내에 머물게 하여 화학적인 작용을 지속시키는 기능이 있다. 그리고 입자들은 최대한 많이 그 과정을 거치고 모두 빠져나올 수 있어야 한다. 각각의 역할을 최적으로 수행할 수 있는 형상을 찾아서 기본모델로 선택하였다. 패

드의 경우 Fig. 2에서처럼 기존의 채널형에서 요철 효과를 넣었으며, 그 모양을 다양화하였다. 그루브의 경우, 기존 사각형상에서 폭을 줄였으며, 곡선형으로 사인형상을 추가하였다 (Fig. 3). 형상의 특성에 따라서, 삼각형과 사인형의 그루브에 대해서는 비 정렬격자(un-structured grid)로 만들었고, 나머지의 경우는 정렬격자(structured grid)로 만들었다. 격자들은 보다 적은 격자들과 비교하여 계산결과에 차이가 없을 만큼 10^4 정도의 개수로 충분히 조밀하게 만들었다.

3. 수치해석 기법과 유동 조건

CMP에서의 유동은 고체입자 (SiO₂)를 포함하는 이상유동 (two-phase flow)이다. 본 논문에서는 이상유동에 대해 크게 3가지의 접근이 방향이 있다. 주 유동 지배 방정식, 입자에 대한 운동방정식, 마지막으로 slurry와 입자 사이의 상관관계식이 있다. 형상의 크기가 수 마이크로 단위가므로, 연속체로서의 가정이 적용가능한지 확인하기 위해 Kn 수 (Knudsen number)를 계산하였다. Kn는 0.0013이고, 이는 0.01 보다 작은 값이므로 연속체로 볼 수 있고, Navier-Stokes (N-S) 방정식의 적용이 가능하다⁽⁶⁾.

입자에 대해서는 Lagrange 모델인 DPM (Discrete Phase Model)을 적용하였다. DPM의 계산은 Fig. 4에서처럼 일정 계산 횟수 (iteration)동안에 주 유동에 대해 N-S를 계산한 후, 입자에 대해 한번 계산하는 과정을 반복하는 방법을 선택하였다. 입자에 의한 주 유동에 미치는 열, 질량, 운동량의 변화를 계산하는데, 주 유체의 계산에 대해서 update를 한다. 그리고 이 변화간의 상관관계는 입자의 궤적을 계산하는데 중요한 역할을 한다. Fig. 5는 유체와 고체 입자 사이에서 열, 질량, 운동량의 교환을 묘사하고 있다. 에너지 방정식은

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + g_x(\rho_p - \rho) / \rho_p + F_x \quad (1)$$

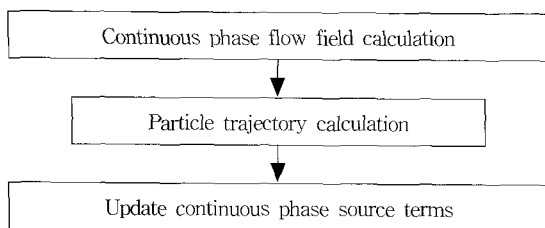


Fig. 4 Coupled calculation of DPM

계산을 하지 않았고, 질량과 운동량에 대해서 계산을 하였다. 식 (1)은 입자에 대한 힘의 평형식이다.

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re}{24\rho_p D_p^2} \quad (2)$$

여기서, u 는 유체의 속도, u_p 는 입자의 속도, μ 는 유체의 분자 점성, ρ 는 유체 밀도, ρ_p 는 입자밀도, D_p 는 입자 지름이다. F_D 는 단위입자에 대한 항력계수이고, F_x 는 추가적인 힘들을 나타내는 항이다. 여기서는 전단에 의해 생기는 양력 (lift force)인 Saffman 양력을 나타낸다. 수 마이크로의 크기이므로 중력에 대한 힘 역시 고려하였다.

입자의 궤적은 이산 시간동안에 식 (3)을 초기 궤적에 따라서 각각의 위치에서의 속도에 대해 계산을 한다.

$$\frac{dx}{dt} = u_p \quad (3)$$

계산이 되는 동안, 각각의 위치에서의 속도는 유체의 속도가 취해진다. 작은 시간의 경과 동안에 체적력 (body force)을 포함하고 있는 항은 상수로 유지되고, 입자에 작용하는 다른 힘들은 선형화 된다. 궤적의 방정식은 식 (4)와 같이 간단히 쓸 수 있다.

$$\frac{du_p}{dt} = (u - u_p)a \quad (4)$$

여기에서, $1/a$ 는 입자의 relaxation time이다. 위의

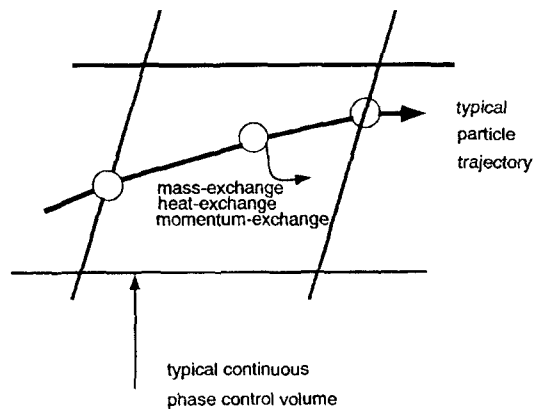


Fig. 5 Heat, mass and momentum transfer between the discrete and continuous phases

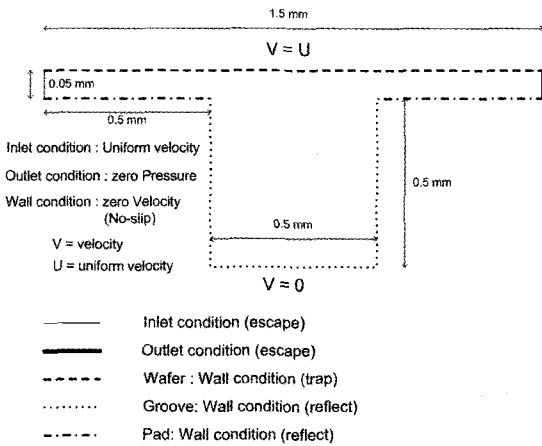


Fig. 6 Boundary condition outline

두방정식은 입자의 속도와 위치를 주어진 시간을 결정하기 위해서 동시에 계산된다. 궤적의 정보는 Fig. 6에서 표시한 궤적의 경계조건을 통해 계산된다.

유동에 대한 경계조건에서, 입구는 웨이퍼의 회전에 의한 slurry의 상대 속도를 일정하게, 0.44, 1.0, 1.5 m/sec로 3가지 경우로 정하였다. 이는 Jeng와 Yeuan의 모델조건을 받아들였다^(4,5). 출구는 대기압, 0 (Pa)으로 정하였다. 나머지는 벽 조건으로 미끄럼이 없는 속도 (no slip)를 0 m/sec로 정하였다(Fig. 6). DPM에 대한 경계조건은 다음과 같은 새로운 경계조건으로 주어진다. Fig. 6에 도시한 것처럼 입구는 입자가 들어오는 조건 (escape)으로 출구는 입자가 나가는 조건 (escape)으로, 그리고 패드와 그루브는 입자가 반사해 나가는 조건 (reflect)으로, 마지막으로 웨이퍼부는 입자의 충격량을 계산하기 위해 갇히는 조건 (trap)으로 주었다. trap조건은 미소시간 동안에 경계면에 입자가 갇히게 되는 것을 나타내는 조건으로, 수치적으로는 경계에 닿는 입자는 갇혔다는 가정 하에 사라지게 하는 조건이다.

입자는 유동의 입구에서 균일하게 셀 (cell)당 250개로 주사하였다. 입구에서의 셀은 40개로 전체의 입자는 10000개가 된다. 입자는 구형으로 지름은 균일하게 100 nm이다. 입구 속도는 웨이퍼와의 상대속도로 균일하게 0.44 m/sec로 Jeng^(4,5)의 조건을 받아들였으며, 그 외에도 1.0 m/sec와 1.5 m/sec로 2개의 속력에 대해서 추가로 계산하였다. 속력이 0.44 m/sec에서 1.5 m/sec까지 변화므로 레이놀즈수 (Reynolds number)는 24에서 80 사이가 된다. 그러므로 층류 유동이다. 다시 말하면, 주 유동에 대한 계산은 비압축성 층류 정상 유

동으로 2차원 N-S 방정식을 이용하였다. 이는 Jeng^(4,5)이 k-ε 난류모델을 적용하였던 것에 반하는 것이다. 물론 Jeng^(4,5)역시 낮은 난류 강도로 층류 모델을 적용하는 것도 적합할 것이라는 결론을 내었지만, 이는 처음부터 층류로 계산하는 것이 옳은 것이다. 입자 포함한 slurry의 물성치는 Jeng^(4,5)의 조건을 그대로 받아들였다. Slurry의 밀도는 1066 kg/m³, 점성은 1.0E-3 kg/m sec이고, 입자 (SiO₂)의 밀도는 1659 kg/m³이다.

4. 입자의 유동 특성

4.1. 패드에서의 응력

Runnels⁽¹⁾은 응력이 표면형상의 물질을 제거함으로써 느리고 자연스런 slurry유동의 etching을 돕는다는 것에 기초하여, M.R.R.이 국부압력과 국부속도의 곱에 선형으로 비례한다는 Preston⁽¹⁰⁾모델로부터 전단 응력과 수직 응력에 대한 새로운 M.R.R.을 개발하였다. 식 (5)은 그 관계를 나타낸다.

$$M.R.R. = K_p' \cdot \sigma \cdot \tau \quad (5)$$

여기에서 σ 와 τ 는 각각 수직 응력과 전단 응력의 절대치를 나타내고, K_p' 는 그 비례상수이고, 사용되는 재료에 종속적인 인자로 본 연구에서는 1로 정하였다. Runnels의 모델은 앞서 이야기했듯이 유체역학적인 면을 고려한 최초의 모델이다. 비록 Preston의 모델이 잘 맞는다고는 하지만, 단순한 압력과 속도에 대한 식이라는 것에는 의구심이 생기게 된다. 현재 CMP내의 유동이 완전하게 이해되고 있지 않기 때문에, 유체의 응력에 대한 고려는 보다 가치가 있다. 특히, 결과에서도 알 수 있지만, 전단력의 영향은 직관적으로도 M.R.R.에 큰 영향을 미치리라 생각된다.

본 연구에서는 응력에 대한 Runnels의 연구를 받아들여, 전단 응력과 수직 응력에 대해 비교하였다. 그루브의 변화에 대해서는 Figs 7~8의 그림 결과와 같이 일정한 패드에 대해서는 같은 결과를 나타내었다. 이로써 웨이퍼부에 영향을 미치는 유동의 변화에는 그루브에 의한 영향이 없다는 것을 다시 한번 알 수 있었다. 그러나 패드의 형상 변화에 대해서는, 영향을 받는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 수직 응력에 대한 결과이다. 도시하지는 않았지만, 결과는 압력에 대한 결과와 비슷하다. 이는 유동의 방향이 웨이퍼부에 평행하기 때

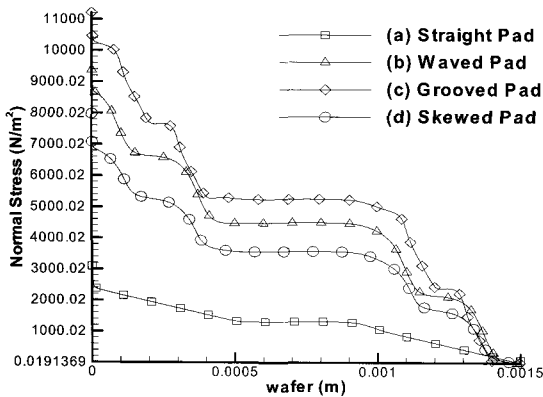


Fig. 7 Normal Stress of each pad at U=0.44 m/sec

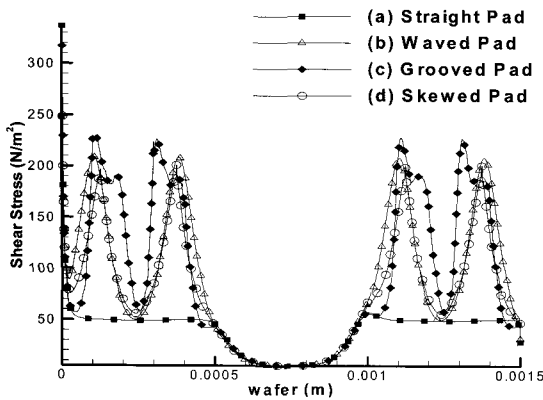


Fig. 8 Shear Stress of each pad at U=0.44 m/sec

문에 수직 변형률에 대한 값은 미비하기 때문이며, 기존의 압력항으로 이루어진 M.R.R. 모델에 부합하는 것이다⁽⁷⁾. 전단 응력 역시 그루브에 대해서는 영향을 받지 않는다.

패드에 대해서는 Fig. 8과 같이 다른 경향을 나타내고 있다. 최고값으로 grooved pad (230 N/m²), waved pad (200 N/m²), skewed pad (200 N/m²), straight pad (50 N/m²)을 나타내고 있다. 그루브 부에서는 점점 감소하여 0까지 내려가고, 패드 부에서만 형상 변화에 기인하여 증가하는 경향을 보이고 있다. skewed pad와 waved pad는 비슷한 값을 가지지만, skewed pad가 더욱 가파른 기울기를 나타내고 있다. grooved pad의 경우는 불규칙하게 감소하는데, 이는 웨이퍼의 균일도 (uniformity)에 안 좋은 영향을 미칠 것이다. 여기서 균일도란 말 그대로 균일한 M.R.R.이라 볼 수 있다. 다시 말해서, 불규칙성이나, 불연속성이 없이 부드러운 물질의 제거를 말한다. Fig. 9는 Runnels⁽¹⁾의

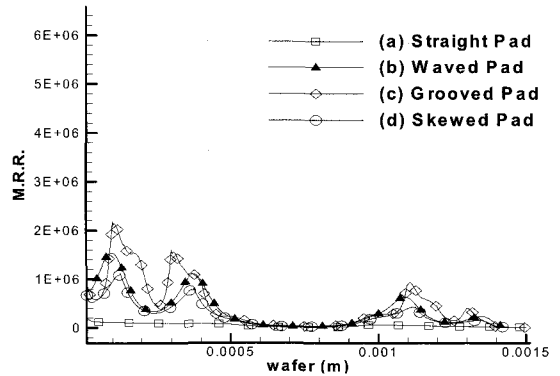


Fig. 9 Runnels M.R.R. of each pad at U=0.44 m/sec

M.R.R.에 기초한 값을 나타낸 결과이다.

앞서 언급했듯이, Jeng의 그루브의 존재여부에 대한 영향을 고려하기 위한 연구⁽⁵⁾는 모순이 있음을 알 수 있다. 왜냐하면, 위의 결과로부터 그루브 자체의 영향은 없음에도 불구하고, 그루브를 제거하고 해석한다는 것은 의미가 없기 때문이다. 그리고 그루브에 대한 영향만을 고려한다면, 그루브를 제거한 곳에 패드 형상의 변화가 부가되어서는 안될 것이다. 결론적으로 거시적인 유동에 대한 영향은 패드의 변화에만 기인하고, 그루브에 대해서는 영향을 받지 않았다. 그리고 선택된과 M.R.R.값을 가지는 것으로 나타났고, waved pad와 skewed pad도 비슷하게 높은 값을 가지고 있었고, 고, 보다 유동을 자연스럽게 만들고 또 이로 인해 높은 균일도 (uniformity)를 가진다고 말할 수 있다.

4.2. 입자의 밀집도

CMP에서 입자는 가장 빠른 시간에 그루브 내에서 머물게 되다가 충분한 화학적, 기계적 작용을 거친 후 최대한 모든 입자들이 빠져나와야 한다. 남아 있는 입자들은 최근 문제시되고 있는 cleaning공정을 어렵게 만들기도 한다. 이런 영향은 입자가 그루브 내에 갇히고 나오게 되는지를 입자의 거동, 밀집도로 알아볼 수 있다. 결과를 나타내지는 않았지만, 속력이 증가함에 따라 그루브내에 밀집도는 낮아지게 된다. 이는 모든 패드와 그루브의 형상에 상관없이 감소한다. 이는 주 유동 속도의 증가로 인해 입자의 관성에 더 큰 영향을 받기 때문이다.

그루브 내의 밀집도는 vortex와 입자의 상관관계로 해석 가능하다. 입자의 vortex의 영향은 St 수 (Stokes number)로 알 수 있다.

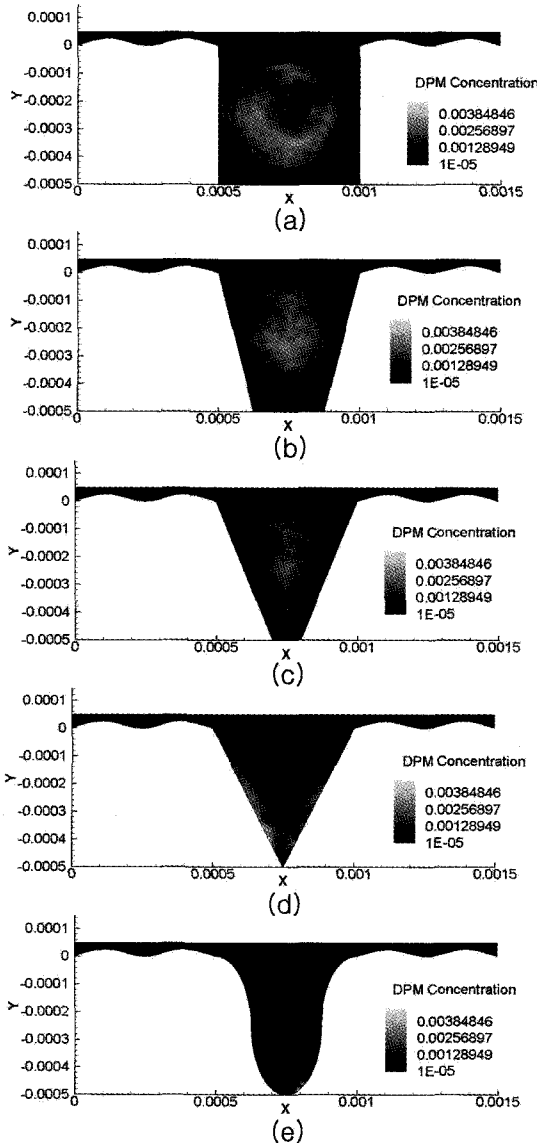


Fig. 10 concentration of particles for each groove types, in waved pad at 1.0 m/sec: (a) rectangular groove, (b) trapezoidal groove 1, (c) trapezoidal groove 2, (d) triangular groove, (e) sinusoidal groove.

$$\tau_p = \frac{\rho_p d^2}{18\mu} \quad (6)$$

식 (6)은 입자의 relaxation time이다. 여기에서, ρ_p 는 입자의 밀도, d 는 입자의 지름, μ 는 입자의 점성이다. 입자의 relaxation time과 유체의 그것과의 관계를 St 수라 하고 식 (7)과 같이 표현한다.

$$St = \frac{\tau_p}{\tau_F} = \frac{\rho_p d^2 U}{18\mu L} \quad (7)$$

여기에서, U 는 유체의 상대 속도, L 은 vortex의 length scale이다. St가 1보다 작으면, 와류 (vortex)에 크게 종속되고, St가 1보다 커짐에 따라 입자는 와류에서 벗어나 관성의 영향을 크게 받는 것으로 나타나고 있다⁽⁸⁾. 본 논문에서는 St 수 (Stokes number)가 0.811066E-5이다. 이는 vortex에 강하게 영향을 받는다는 것을 말한다.

Fig. 10은 1.0 m/sec에서의 각각의 그루브 형상에 대한 밀집도이다. 밀집도는 사각형의 그루브가 가장 크게 나타나고, 삼각형과 사인형의 그루브가 가장 작게 나타났다. 그리고 삼각형 그루브는 낮은 속도에서 모서리 부에 입자의 집중현상이 나타난다. 패드에 대해서 비교해보면, Straight pad의 경우가 가장 높은 밀집도를 나타내며, grooved pad는 그보다 조금 낮게 나타나고, waved pad는 그루브 중심으로 다소 집중하는 경향을 나타내며, 보다 작은 밀집도를 나타내고, skewed groove의 경우가 가장 작은 밀집도를 나타낸다. 그러나 전반적으로 비슷하다고 하겠다. 이러한 차이는 그루브가 시작하는 부분에서 패드의 형상에 따라 인도되는 부분의 차이에 기인한 것이다.

4.3. 그루브 내의 와류

앞서 이야기했듯이, 입자의 거동은 1보다 작은 St 수에 의해 와류에 강한 종속성을 나타내었다. 그러므로 그루브 내의 와류에 대한 연구는 필연적이라 하겠다. 그루브 내의 입자의 밀집도로부터, skewed pad가 보다 적은 밀집도를 나타내었고, 사인형의 그루브가 보다 적합한 그루브 형상이다. Figs. 11~12는 특정 그루브 형상에 대한 속도변화에 대한 그루브 내의 유선을 나타낸 그림이다. 패드에 대해서는 grooved pad를 제외하고 모두 그루브내의 유선에 영향을 미소하게 미치는 것으로 나타났다. 그러므로, Figs. 11~12 역시 grooved pad에 대해서만 나타내었다.

유선의 결과는 속도가 증가함에 따라 주 vortex의 중심이 위로 상승하며, secondary vortex (S.V.)가 성장하는 전형적인 cavity 유동의 특성이 모든 형상에서 잘 나타나고 있다. 사각형 그루브의 경우 (Fig. 11)는 그루브의 양쪽 모서리에서부터 S.V.가 생기는데 그 크기 역시 상당히 작다. 이것은 넓은 그루브의 면적과

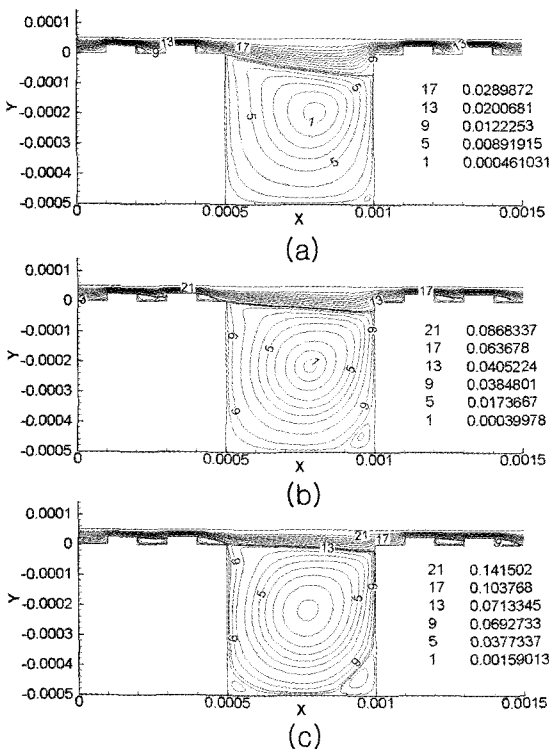


Fig. 11 Streamlines of rectangular groove; (a) at 0.44 m/sec, (b) at 1.0 m/sec, (c) 1.5 m/sec

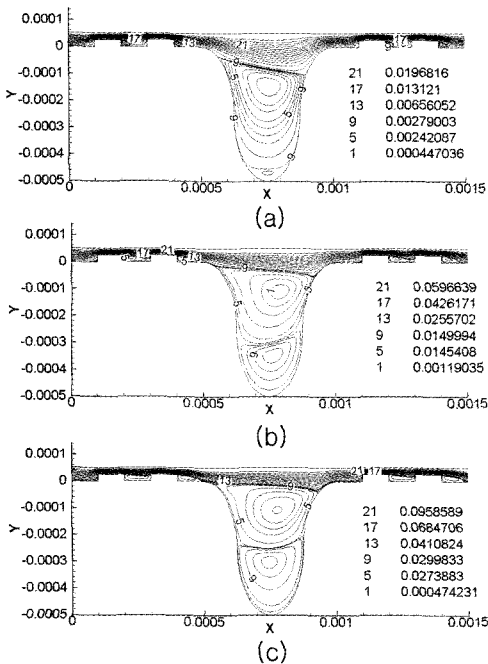


Fig. 12 Streamlines of sinusoidal groove; (a) at 0.44 m/sec, (b) at 1.0 m/sec, (c) 1.5 m/sec.

관계되고, 입자의 밀집도로부터도 알 수 있는 결과이다. 이를 개선한 형상이 사다리꼴형과 삼각형이라고 할 수 있다. 이것들은 사각형 그루브와는 다르게 하나의 S.V.만이 형성되는 것을 알 수 있다. 도시하지 않았지만, S.V.의 크기는 사다리꼴형이 보다 크게 나온다. 다시 말해서, 밀집도가 더 크다. 삼각형 그루브의 형상은 작은 면적으로 그루브를 이루고 있기 때문에 작은 주 vortex를 가지게 되고 이는 입자의 낮은 밀집도의 원인이 되지만, 모서리부위에 작은 S.V.가 생기는 것이 단점이다. 사각형의 경우에서 모서리 부에 생기는 것과 같은 작은 S.V.는 입자의 집중현상을 만든다. 낮은 속도를 가지는 S.V.가 입자를 가두기 때문이다. 이러한 현상은 낮은 속도의 밀집도 결과에서도 이미 관찰이 되었다. 마지막으로 사인형 그루브 (Fig. 12)는 상대적으로 작은 주 vortex를 가지며, 속력이 증가함에 따라 다른 형상과 달리 S.V. 크기가 크게 성장하는 것을 알 수 있다. 이것 역시 입자의 밀집도가 가장 낮게 나오는 이유라 하겠다.

6. 결론

본 연구에서는 그루브와 패드의 임의형상을 각각 5가지와 4가지로 선택하여, 총 20가지의 형상에 대한 slurry 유동의 수치해석을 수행하여 최적의 형상을 얻을 수 있었다. 그루브의 형상변화는 압력을 비롯한 응력에 영향을 주지 못하였다. 즉, M.R.R.에 영향을 미치지 못했다. 반면에, 패드의 형상 변화는 응력에 변화를 주었고, skewed pad와 waved pad가 받아들일만한 수치를 나타내었다. 입자의 밀집도 결과로부터 가장 적은 밀집도를 나타내는 것은 그루브 형상에 대해서는 삼각형과 사인형이었고, 패드형상에 대해서는 skewed와 waved형상이었다. 유선에 대한 분석으로부터 grooved pad의 요철부 내에 vortex가 생기는 현상을 보였고, 이는 grooved pad가 높은 M.R.R.을 나타내지만 많은 입자의 간헐 현상을 야기하는 이유가 된다. 그리고 다른 패드 형상에 대해서는 큰 차이가 없었다. 그루브는 사인형 그루브가 가장 큰 secondary vortex가 생기는 현상을 나타내고, 가장 적합한 형상임을 알 수 있었다. 총체적으로, 패드와 그루브의 형상을 skewed pad와 sinusoidal groove로 최적화 할 수 있었다.

후기

이 논문은 2000년 한양대학교 교내연구비 지원으로

연구되었으며 이에 감사합니다.

참고문헌

- (1) Runnels, S. R. and Eyman, L. M., 1994, "Tribology Analysis of Chemical-Mechanical Polishing," *Journal of Electrochemical Society*, Vol. 141, pp. 1698~1701.
- (2) Sundararajan, S., Thakurta, D. G., Schwendeman, D. W., Murarka, S. P., and Gill W. N., 1999, "Two Dimensional Wafer-Scale Chemical Mechanical Planarization Models Based on Lubrication Theory and Mass Transfer," *Journal of Electrochemical Society*, Vol. 146, pp. 761~766.
- (3) Coppeta, J., Rogers, J., Racz, L., Duska, C., Bramono, D., Lu, J., Philipossian, A., and Kaufman, F., 1998, "Pad Effects on Slurry Transport and Fluid Film Thickness Beneath a Wafer," *Pro. of CMP-MIC*, Santa Clara, CA., pp.36~43.
- (4) Wes Jeng, Liang, C. C., and Yeuan, J. J., 2001, "Numerical Investigation of particulate flow of Slurry in Chemical Mechanical Process," 6th International Conference on CMP for ULSI Multilevel Interconnection, Santa Clara., pp. 49~55.
- (5) Wes Jeng, Yeuan, J. J., and Lin, S. H., 2002, "Numerical Investigation of The Effect of Pad Groove in Chemical Mechanical Planarization Process," 7th International Conference on CMP for ULSI Multilevel Interconnection, Santa Clara., pp. 59~66.
- (6) Bird, G. A., 1994, *Molecular Gas Dynamics And the Direct Simulation of Gas Dynamics*, pp. 3~5.
- (7) Preston, F. W., 1927, "The Theory and Design of Plate Polishing Machines," *Journal of Glass Technology Society*, Vol.11, pp. 214~254.
- (8) Sheldon, I. G., 1995, *Fluid Vortices*, Kluwer Academic Publishers, pp. 829~858.