

진공척 흡착패드 형태에 따른 대면적 임프린팅 균일 접촉 향상 연구

장 시 열*

국민대학교 기계자동차공학부

Study on the Enhancement of the Uniform Contact Technology for Large Scale Imprinting with the Design of Vacuum Gripping Pad

Siyoul Jang*

School of Mechanical and Automotive Engineering Kookmin University

(Received November 20, 2008; Revised December 5, 2008; Accepted December 5, 2008)

Abstract – The contact surfaces between mold and target should be in parallel for a proper imprinting process. However, large size of contacting area makes it difficult for both mating surfaces (mold and target planes) to be in all uniform contact with the expected precision level in terms of thickness and position. This is caused by the waviness of mold and target although it is very small relative to the area scale. The gripping force for both mold and target by the vacuum chuck is other major effect to interrupt the uniform contact, which must be avoided in imprinting mechanism. In this study, the cause of non-conformal contact mechanism between mold and target is investigated with the consideration of deformation due to the vacuum gripping for the size $470 \times 370 \text{ mm}^2$ LCD panel.

Key Words – contacting surfaces, vacuum chuck, parallel contact mechanism, squeeze film effect, gap control, Reynolds equation, imprinting

1. 서 론

나노 임프린팅 공정이 반도체 공정의 일부분을 대체할 수 있다면 생산 단가 및 공정 시간 등에 있어 많은 경제적인 효과를 발휘할 수 있다. 실제로 반도체 칩 사이즈($\sim 10 \times 10 \text{ mm}^2$)를 대상으로 한 나노 임프린터(imprinter)의 개발은 임프린팅(imprinting)의 여러 가지 공정의 형태로 매우 활발히 진행되고 있다.[1,2] 최근에는 리소그래피가 구현하는 최소 선폭의 정도까지도 임프린트 공정으로 제작할 수 있는 연구 결과도 많이 발표되고 있다. 이러한 기술을 구현하는 대표적 임프린터로는 Nanonex, Obducat and Molecular Imprint,

Inc. 등이 개발한 장비로 수십 나노미터까지의 선폭을 구현할 수 있다.

그러나 이러한 장비의 성능은 임프린팅 가능 면적이 매우 작아 현실적 적용에 대한 여러 가지 제약이 따르고 있다. 또한 리소그래피의 공정을 대체 하기 위한 중요한 기능중의 하나인 정렬 기능을 부가하게 되면 현재의 임프린터가 구현할 수 있는 선폭 정밀도는 상당히 떨어지게 된다. 따라서 이러한 이유로 아직까지 임프린트 공정은 정렬성과 대면적화에 대한 장비의 기능적 한계로 생산 공정에는 기존 공정을 대체하지 못하고 있다.

현실적으로 임프린트 공정이 리소그래피 공정의 대체 공정이 되려면 패턴 자체의 세밀함 뿐만 아니라 패

*주저자 · 책임저자 : jangs@kookmin.ac.kr

턴 면적의 총 크기도 커야 한다. 그러나 패턴의 세밀함을 유지하며 패턴 전사 면적의 확대를 동시에 구현하기에는 비록 스텝앤리피트(step and repeat) 등의 여러 방법 등을 적용할 수 있다하더라도 접촉에 의한 패턴 전사 공정 특성과 이에 따른 스테이지 장비 요소의 구동 메커니즘의 설계가 어렵기 때문에 임프린트의 대면적화가 어렵다.

임프린트 공정에서 패턴 면적 전체 크기가 커지면 상대적으로 패턴의 세밀함이 적어야 하는데 반도체 칩이 필요로 하는 선폭의 세밀함을 유지하며 대면적화하기는 어렵다. 따라서 아직까지 리소그라피의 반도체 칩을 위한 대체 공정으로는 기술 성숙도가 부족하다. 그러나 상대적으로 선폭 및 패턴 형태의 크기가 크며 대면적화를 목표로 하는 제품 공정에 효율적으로 적용될 수 있는 적절한 대상이 있다면 임프린트 공정의 파급효과를 매우 크게 할 것이다. 그 이유는 이러한 제품 공정에서 임프린트 공정은 패턴 전사의 대면적화를 위하여 기존의 리소그라피 공정장비의 거대화 및 공정 시간의 장기화를 배제할 수 있는 대체 공정으로 기술 및 경제적 장점 요소들이 매우 많기 때문이다. 그러나 LCD 공정의 경우 선폭이 반도체 공정보다 다소 크게 적용할 수 있다고 하더라도 상대적으로 큰 임프린팅 면적을 요구하기 때문에 반도체 칩의 임프린팅 공정에서 요구하는 접촉 평면도 제어 기술 만큼이나 가혹하다.

본 연구는 임프린트 공정의 대면적화를 적용할 수 있는 대상으로 상대적으로 큰 선폭이지만 대면적 패턴 전사를 요구하는 LCD 디스플레이 패턴 공정에 그 가능성을 알아보고자 한다. 임프린트 공정이 이러한 공정대체로 이루어지기 위한 가장 핵심적 선결 기술은 넓은 영역에서 수 마이크로($\pm 0.5 \mu\text{m}$) 크기의 평면 정렬 오차범위에서 몰드와 패널의 상대적 접촉 평평도를 유지할 수 있는 기계적 메커니즘 개발이다. 이러한 메커니즘을 달성하기 위한 구체적 내용으로는 몰드 및 타겟의 고정 방법에 따른 접촉 장비를 구성하는 단계에서 문제가 되는 임프린팅을 위한 접촉기구 구성시 최적의 접촉 기구 개발이다.

2. LCD 임프린팅 시스템의 개요

본 연구의 임프린팅 대상 면적의 크기는 LCD 패널 사이즈($470 \times 370 \text{ mm}^2$)이다. 임프린팅 타겟(LCD 패널)은 아랫면에 고정하고 몰드의 위치는 윗 부분에 지그

로 고정 설치하며 이 몰드가 타겟으로 접근하여 전체 몰드 면적에 대하여 균일 접촉을 유발하도록 한다. 이에 대한 설명은 Fig. 1에 나타나 있다. 단순한 공정 개념이지만 LCD 패널이 되는 유리기판의 두께($0.67 \text{ mm} \pm 10 \mu\text{m}$) 및 이 기판이 위치하게 될 스테이지의 평평도($\sim 10 \mu\text{m}$)가 우선 고른 접촉에 우선 영향을 준다. 무엇보다도 몰드를 고정하는 위부분의 지그 형태가 고정 진공적의 형태와 몰드 자중에 따른 불균일 분포 하중에 의하여 접촉 평평도에 상당히 영향을 주고 있다. 따라서 이 부분의 설계가 임프린터의 대면적화 설계에 있어서 매우 중요하게 고려된다. 몰드 부분의 고정 방법은 그 무게를 지탱하고 정렬 작업을 유지하기 위하여 일반적으로 진공척(vacuum chuck)으로 강하게 고정된다. 그러나 몰드 무게와 임프린팅 공정의 압축 및 정렬 운동시 작용력을 이겨내기 위한 몰드 고정 패드의 진공압력이 상대적으로 얇은 몰드의 두께 변형을 일으키며, 그 결과 임프린트 공정시 유리기판과 몰드 사이의 photo resistance fluid (PR)의 두께가 일정하게 되지 않는다. 이것은 결국 상대적으로 패턴 크기가 큰 선폭 정밀도를 요구하는 LCD 패널의 공정 일지라 하더라도 임프린팅의 대면적화에 기술적 장애 요소로 작용한다.

3. 몰드 고정 형태에 따른 두께 변형

본 연구 대상인 몰드는 면적($470 \times 370 \text{ mm}^2$) 대비 두께가 상대적으로 매우 얇다. 그리고 자체 무게 때문

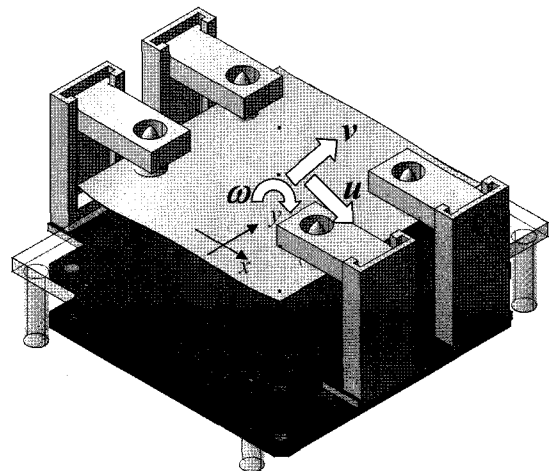


Fig. 1. Schematic diagram for LCD scale ($470 \times 370 \text{ mm}^2$) Imprinting Equipment.

에 자중에 의한 처짐을 고려하면 몰드 두께에 대하여 상대적으로 처짐이 매우 크게 나타나 몰드와 패널의 접촉 평평도에 커다란 영향을 준다. 또한 진공척에 의한 몰드 고정 및 몰드 변형을 유발해 몰드와 패널의 접촉 면적의 평평도에 절대적 영향을 준다. 이러한 이유로 진공척의 형태에 따른 두께의 변형 정도가 Fig. 2에서 보여지는 바와같이 임프린트 공정시 접촉 두께 영역에서의 PR 두께 자체를 변화시켜 대면적 임프린팅을 위한 균일 접촉을 방해한다.

몰드 고정용 진공척의 흡착 패드 형태에 따른 몰드의 두께 방향의 변형 형태는 유한 요소 해석(finite element method)을 이용하여 계산하며, 흡착 패드의 형태는 실제 임프린팅의 주요 영역에서 접촉을 고르게 유발시킬 수 있도록 설계 방안을 제시한다. 구체적 흡착패드의 설계 형태를 제시하기 위하여 몰드 변형에 대한 유한 요소 모델링은 몰드 모서리 부분은 자유단으로 설정하며 두께가 일정한 셀(shell) 구조로 한다. 본 연구의 모델링 종류는 진공척 흡입 압력과 자중에 의한 유한요소해석의 변형해석 결과를 세가지 진공 패드 형태에 대하여 알아 보았다. 진공척의 흡착패드 형태는 임프린트 면적이 작을 경우 몰드 두께(t) 대비 면적(A)이 상대적으로 크기 때문에 접촉압력에 대한 몰드의 강성이 크게 된다. 그러나 진공패드의 형태로 인하여 임프린트 면적이 커질수록 몰드의 강성이 접촉압력에 대하여 작아지는 조건이 발생하여 매우 불균일한 접촉을 유발한다. 이런 이유 때문에 임프린트 면적을 대면적화 하기가 어렵게 된다. 따라서 진공패드를 통한 몰드의 고정이 부분적으로 몰드의 두께 방향으로 매우 큰 변형을 일으키게 되므로 주의 깊은 설계가 요구되는데, 임프린팅 영역에서는 가능한 한 균일한 접촉 조건을 갖기 위한 몰드 고정 설계가 이루어져야 한다.

본 연구는 몰드 고정 진공 흡착 패드에 대한 세가지 디자인 형태에 대한 진공압력과 자중에 의한 처짐을 고려하여 최적의 진공척 패드 패턴을 찾고자 한다. 몰



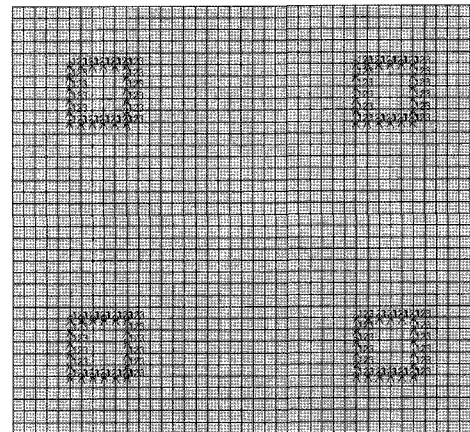
Fig. 2. PR Thickness variation according to the contact force W between mold and target (contact area $L_x \times L_x$, initial film thickness h_0).

Table 1. Material properties for mold and target glasses

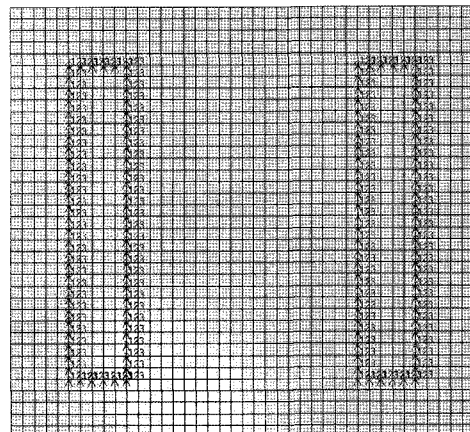
Density	2.37 g/cm ³
Young's modulus	7.06×10 ³ kg/mm ²
Poisson's ratio	0.23
Shear modulus	2.86×10 ³ kg/mm ²

드 변형량을 위한 유한 요소해석에 필요한 몰드와 타겟 재질을 구성하는 글라스의 물성치는 Table 1에 나타나 있다. 흡착압력과 자중에 대한 몰드의 변형해석은 ANSYS 유한요소해석프로그램을 사용하였다.

Fig. 3은 4점 지지 진공 패드의 case 1과 밴드 형태의 case2의 형태에 대한 패드 설계 방안에 대하여 보여 주고 있다. case 1은 흡착 면적 10,000 mm²이고

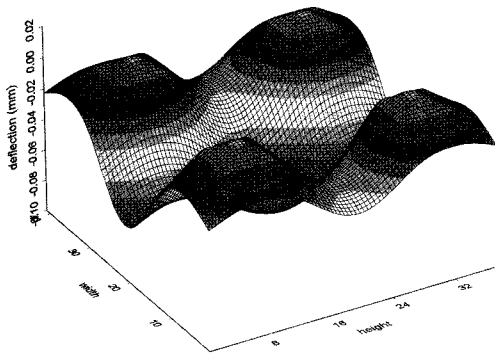


(a) Four-point vacuum pad design (case 1)

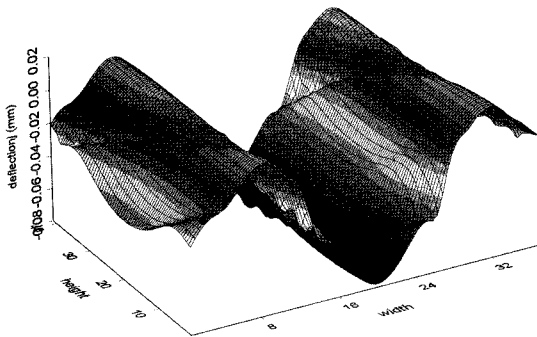


(b) Band type vacuum pad design (case 2)

Fig. 3. Desings of vacuum pads by the locations of vacuum points.



(a) Maximum deformation for the case 1, 81 μ m



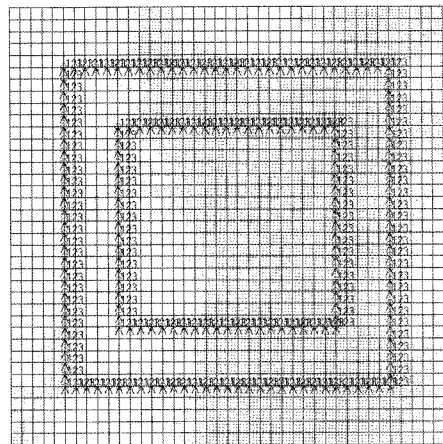
(b) Maximum deflection for the case 2, 79.5 μ m

Fig. 4. Mold deformations by the vacuum pad designs case 1 and case 2.

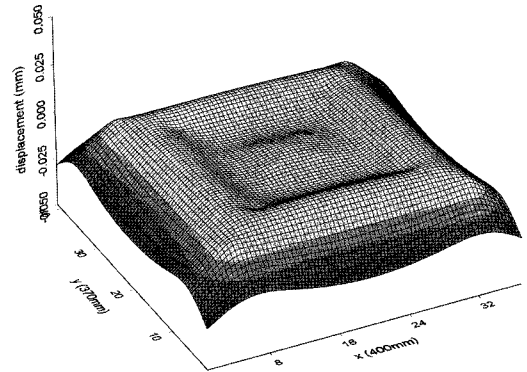
이 면적에서의 흡착 압력 108 Pa이며, case 2는 흡착 면적 27,000 mm², 흡착 압력 80 Pa이다. 여기서 전체 몰드의 크기는 470×370 mm²이다.

본 연구 해석 대상인 세가지 설계안에 대한 진공척 흡입 압력과 자중을 고려한 유한요소해석의 변형해석 결과중 case 1과 2의 결과는 각각 Fig. 4(a)와 (b)에 나타났다. 예상대로 진공흡착 패드 부분에서의 흡착압력에 의한 변형 형태와, 이외는 반대 방향으로 작용하는 중력에 의한 자중 처짐이 복합적으로 나타남을 알 수 있다. 절대적인 최대 변형량의 크기도 중요하지만 몰드 면적에 걸쳐 나타나는 변형 형태의 불균일 형태가 임프린팅 공정을 매우 어렵게 한다.

case 1의 경우와 case 2의 경우 모두 매우 큰 절대 변형량(각각 81 μ m, 79 μ m)과 임프린트의 주요 영역에서 불균일한 변형 형태를 보여주기 때문에 진공척 패드의 형태로는 적당하지 않은 설계이다. 그리고 불균일한 형태가 주변 부분이 아닌 임프린트 주요 대상 영역에서 나타나고 있기 때문에 적절한 설계 대안은 아



(a) Circumferential vacuum pad design (case 3)



(b) Mold deformations with the design of vacuum area 47,000mm², vacuum pressure 92Pa and maximum deflection 28.5 μ m

Fig. 5. Mold deflections by the design of case 3.

니다. Fig. 5와 같이 흡착 패드를 접촉 면적의 테두리 부근에 일정하게 설치하는 것은 임프린트 중앙 지점에 흡착으로 인한 변형과 자중에 의한 변형이 합쳐 일정한 변형 상태가 나타나도록 하는 개념이다. 유한요소 해석 결과 case 3의 경우에 해당하는 변형이 본 연구에서 고려된 세가지 흡착 패드 설계 방식에서 가장 적은 변형량(28.5 μ m)을 얻을 수 있었다.

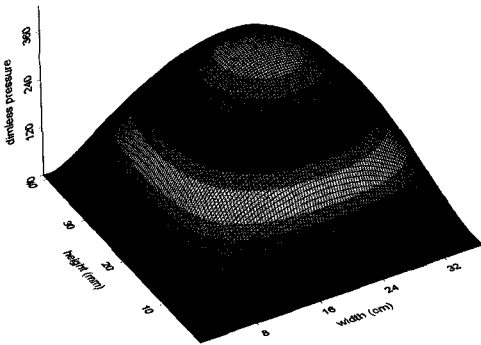
그러나 이렇게 작은 변형의 기하학적 접촉면적에서도 몰드와 패드의 틈새사이에 PR 유체가 박막 형태로 존재하는 경우 PR 유체의 점성저항으로 임프린트 공정시 균일 박막의 레진 형성을 위한 압착운동(squeeze motion)과 패턴의 정렬을 위한 스테이지의 정렬운동(alignment motion) 때 스테이지 구동에 대한 압축 및

전단 저항력이 비정상적으로 매우 크게 생긴다. 비록 PR유체의 두께와 점성이 작다고 하더라도 임프린트 면적이 비교적 큰 상태이기 때문에 일반적인 스테이지의 구동력에 상당한 구동 저항력을 준다. 이것은 정밀한 스테이지 위치제어의 비선형적인 외란을 일으켜 패턴 정렬 작동시 직접적 영향을 준다. 이러한 접촉조건에서 PR 박막의 접촉 면적에 걸쳐 두께 방향에 따른 스테이지 구동 저항은 임프린팅 접촉 면적의 틈새 두께 형태에 따라 다양한 방향성을 갖는다. 따라서 패턴 정렬과 균일 PR 막의 형성을 위한 임프린팅 공정의 피할 수 없는 이러한 접촉 저항은 정렬 과정과 압축 과정을 방해하는 요소로 불가피하게 작용하기 때문에 PR 유체의 틈새 거동에 대한 분석이 필요하다.

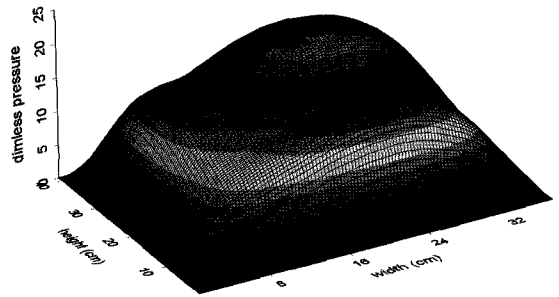
밀착된 평면 사이에서 점성유체의 거동은 일반적 윤활이론으로 설명될 수 있다. 제한된 박막 형태의 유체

유동이기 때문에 점성유체의 관성력은 PR 유체의 점성력의 크기 보다 상대적으로 매우 작다. 본 연구의 경우 패턴 종류 및 크기의 영향은 상대적으로 넓은 면적과 두께의 크기를 비교하여 완전 평면으로 간주하였으며, PR유체로 인한 몰드와 패널의 상대적 두께만을 고려한다[3]. 또한 두 개의 평면에서의 PR유체는 미끄러짐이 없는 접촉 조건을 만족하는 운동(no slip boundary condition)을 하는 조건에서 레이놀즈 방정식 (1)으로 PR유체 유동을 설명한다. 레이놀즈 방정식의 형태는 다음 식의 형태로 설명되고 있다[4].

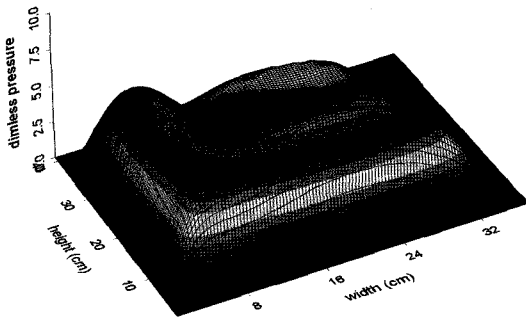
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h(x,y)^3}{12\eta} \frac{\partial p(x,y)}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h(x,y)^3}{12\eta} \frac{\partial p(x,y)}{\partial y} \right) = u(x,y) \frac{\partial(\rho h(x,y))}{\partial x} + v(x,y) \frac{\partial(\rho h(x,y))}{\partial y} + \frac{\partial(\rho h(x,y))}{\partial t} \quad (1)$$



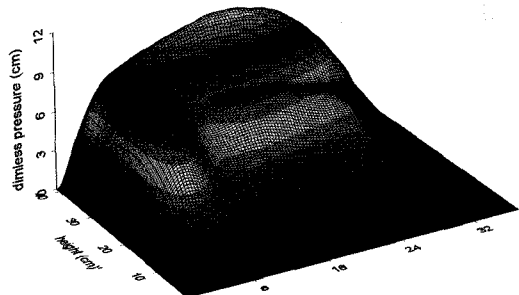
(a) Pressure distribution of PR fluid in the gap between mold and panel by squeezing motion $(-\partial(\rho^*h^*)/\partial t^*=0.01)$



(b) Pressure distribution of PR fluid in the gap between mold and panel by sliding motion in the x direction, $u^*(x,y)=+1.0$



(c) Pressure distribution of PR fluid in the gap between mold and panel by sliding motion in the y direction $v^*(x,y)=+1.0$



(d) Pressure distribution of PR fluid in the gap between mold and panel by combined motion,

$$\left(\sqrt{u^{*2}(x^*+y^*)} + v^{*2}(x^*+y^*) \right) = +1.0$$

Fig. 6. Pressure distributions of PR fluid in the gap between mold and target with the least deflection for the designed vacuum pad (case 3) over the LCD area ($470 \times 370 \text{ mm}^2$), dimensionless parameters $h^* = h/h_0$, $x^* = x/l_x$, $y^* = y/l_y$, $p^* = ph_0^3/(\eta l_x l_y u)$.

여기서 $h(x,y)$ 는 몰드의 패턴 형태를 고려하지 않은 몰드와 패널사이의 두께 방향의 크기이고, η 는 PR 유체의 점성, ρ 는 밀도이다. $u(x,y)$, $v(x,y)$ 는 각각 몰드의 정렬과정 중에 움직이는 x 와 y 방향의 속도 성분이다 (Fig. 1). 시간 t 에 따른 PR 유체의 두께 방향 크기 변화는 $\partial(\rho h)/\partial t$ 으로 표현 된다[5]. 이 식을 수치해석으로 풀면[4] PR 유체의 점성, 밀도, u , v , $\partial(\rho h)/\partial t$ 그리고 몰드와 패널 사이의 두께 $h(x,y)$ 등의 변수들은 모두 입력값이 되며 출력값은 압력 $p(x,y)$ 가 된다. 따라서 본 연구의 주요 관심인 몰드 변형이 미치는 임프린팅의 영향을 판단하기 위하여 몰드와 패널 사이의 틈새에서 스테이지 정렬운동을 할 때 PR 유체의 반발 압력 $p(x,y)$ 를 구할 수 있게 된다. 이 때 나타나는 PR의 압력은 두께 변수 $h(x,y)$, 압착운동 $\partial(\rho h)/\partial t$ 및 정렬운동 u, v 요소에 따라 다르게 나타난다.

압착운동 $\partial(\rho h)/\partial t$ 및 정렬운동 형태에 따라 운동 특성을 분류하면 가) 접촉 면으로의 압착운동과 나) 평면상에서의 순수 병진 운동(x 방향과 y 방향) 다) 평면상에서의 회전 운동 등 세가지로 분류하여 생각할 수 있다. 이것은 임프린팅 접촉 구동 스테이지의 정렬 및 압착 메커니즘의 표현으로 본 연구에서 해석한 세가지 흡착 패드에 의한 변형량 중 가장 작은 크기를 나타내는 Fig. 5와 같은 변형 크기가 일어 났을 때 압착과 정렬 운동 성분에 따른 PR 유체가 몰드와 패널의 틈새내에서 나타내는 압력 분포를 Fig. 6에 나타내었다. 몰드와 타겟의 정렬작용을 위한 스테이지 운동으로 인하여 PR 유체의 반발 압력이 각각의 정렬 운동 방향 ($u^*(x,y)$, $v^*(x,y)$, $\partial(\rho^*h^*)/\partial t^*$)에 따라 나타나는데, 이것은 몰드와 타겟의 접촉 마찰력으로 작용하여 비정상적인 스테이지의 구동저항을 일으키게 된다. 따라서 이러한 해석 결과는 궁극적으로 스테이지 구동 형태를 제어하기 위한 기초 정보를 제공하며 정렬 정밀도를 증진할 수 있는 기술을 제공한다.

본 연구 결과 정렬과 압착운동에 의한 몰드와 패널 사이에 존재하는 PR 유체의 거동에 따른 내부 압력 변화량이 PR 유체의 불균일 박막 형성과 스테이지 구동제어에 매우 큰 저항력을 발생하는 원인으로 예상되어질 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 임프린터의 대면적화를 위한 몰드와 패널

의 평평도 제어를 위한 영향인자 중 하나인 몰드의 변형량 영향에 대한 연구를 하였다. 몰드 고정을 위한 패드 형태에 따라 나타나는 평평도를 방해하는 피할 수 없는 변형이 임프린팅을 위한 압착운동과 정렬운동 중에 접촉 스테이지의 예기치 못한 구동 저항을 일으킨다. 이것은 마이크로미터 이내($\pm 0.5 \mu\text{m}$)에서의 정렬 정도를 맞추기에 매우 어려운 상황을 만든다. 임프린트 공정의 스테이지 구동은 리소그래피 공정에서의 스테이지 구동과 달리 매우 큰 접촉 저항에 기인한 비선형적인 구동저항 일으키게 되는 이유이다. 본 연구는 임프린트 공정에서 나타나는 몰드와 패널의 상대 두께 크기에 따라 나타나는 몰드와 타겟에 전달하는 PR유체의 수직 압력에 대한 해석을 하였다. 이러한 정보는 박막 조건에서 PR유체의 점성에 대한 정보를 얻을 수 있다면 LCD크기의 임프린트 공정에서의 정렬과정 중 정확한 전단 저항력을 구할 수 있다. 이것은 임프린터가 리소그래피의 대체 생산 장비로서 성립하기 위한 기초적인 장비 설계인자이며, 임프린터가 주요한 LCD 공정 장비로서 역할을 할 수 있도록 하는 정렬 기능 향상에 매우 중요한 설계 정보를 제공한다.

후 기

본 연구는 2007년도 국민대학교 연구과제 지원과 서울시 산학연 협력사업(과제번호 10583)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Guo, L. J., "Recent Progress in Nanoimprint Technology and Its Applications", *J. Phys. D:Appl. Phys.*, Vol. 37, R123-141, 2004.
2. Schiff, H., Bellini, S. and Gobrecht, J., "Visualization of Mold Filling Stages in Thermal Nanoimprint by Using Pressure Gradients", *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 25, No. 6, pp. 2312-2316, 2006.
3. Heyderman, L. J., Schiff, H., David, C., Gobrecht, J. and Schweizer, T., "Flow Behavior of Thin Polymer Films used for Hot Embossing Lithography", *Microelectronic Engineering*, Vol. 54, pp. 229-245, 2000.
4. Hamrock, B. J., *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-025956-9.
5. Landis, S., Chaix, N., Gourgon, C., Perret, C. and Leveder, T., "Stamp Design Effect on 100 nm Feature Size for 8 inch Nanoimprint Lithography", *Nanotechnology*, Vol. 17, pp. 2701-2709, 2006.