



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

물리적 방법을 이용한
Cell 공정에서의 액정량 과부족
판별 방법에 대한 연구

Study on mechanical method
to distinct injection volume of Liquid Crystal
in Cell manufacturing process

2016년 6월

서울대학교 대학원

기계항공공학부

이 중 훈

물리적 방법을 이용한 Cell
공정에서의 액정량 과부족
판별방법에 대한 연구

Study on mechanical method
to distinct injection volume of Liquid Crystal
in Cell manufacturing process

지도 교수 박희재
이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2016년 6월

서울대학교 대학원
기계항공공학부
이 중 훈

이중훈의 공학석사 학위논문을 인준함
2016년 6월

위원장 이 건 우 (인)

부위원장 박 희 재 (인)

위 원 주 중 남 (인)

초 록

물리적 방법을 이용한 Cell 공정에서의 액정량 과부족 판별 방법에 대한 연구

본 논문에서는 물리적 방법을 이용하여 Cell 공정내의 액정량 과부족을 판별 할 수 있는 방법에 대한 연구를 하였다. Liquid Crystal Display(LCD) 공정에서 생기는 오류들은 mura deflection, 오줌액정 현상 등을 야기한다. 이러한 문제를 방지하기 위해 LCD 공정 과정에는 공정검사가 존재하는데, 이는 LCD Panel 의 완성 후 전수로 이루어지게 된다. 또한 공정 내에서 액정의 양은 오류발생의 중요한 요인이지만, 액정주입량에 대한 직접적인 검사는 존재하지 않는다. 만약 액정주입이 잘못된다면 추후 공정과정에서 자원들이 낭비되게 되는 생산구조 이다.

본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해서 액정 주입량을 공정 중에 확인 할 수 있는 물리적인 방법을 고안하였다. 물리적인 충격으로 In-Place-Switching (IPS)-LCD Panel 에 Pooling Effect 를 발생시켜 액정량과 현상의 물리적 상관관계를 Pooling Effect 유지 시간에서 찾는 방법을 고안하였고, 연구 과정에서 각각의 Panel 에 동일한 물리적인 충격을 줄 수 있는 장치와 Pooling Effect 유지시간 검출 방법 역시 장비로 구현하였다. 이 검사방법이 LCD 공정 중 액정 주입 이후에 추가된다면 LCD 공정 내의 수득률을 높이고 낭비되는 자원을 막을 수 있을 것이다.

주요어 : IPS LCD Panel, 공정 검사 방법, LCD Pooling Effect.

학 번 : 2014-22499

목 차

| | |
|--------------------------------------|----|
| 초 록 | i |
| 목 차 | ii |
| 표 목차 | iv |
| 그림 목차 | v |
| 용어 설명 | vi |
| 기호 설명 | vi |
| 제 1 장 서 론 | 1 |
| 1. 1 연구의 배경 | 1 |
| 1. 2 연구의 내용 | 2 |
| 제 2 장 이론적 배경 | 3 |
| 2. 1 액정 (Liquid Crystal) | 3 |
| 2. 2 LCD (Liquid Crystal Display) | 4 |
| 2. 2. 1 LCD 구동원리 | 5 |
| 2. 2. 2 IPS (In Plane Switching) LCD | 6 |
| 제 3 장 Distinction method | 7 |
| 3. 1 Pooling Effect | 7 |
| 3. 2 Pooling Effect 이론적 검증 | 8 |
| 3. 3 Point에서의 Pooling Effect 유지 시간 | 14 |
| 제 4 장 측정시스템 구성 | 15 |
| 4. 1 하드웨어 구성 | 15 |
| 4. 1. 1 고속카메라와 광학계 | 16 |
| 4. 1. 2 조명계와 진공시스템 | 16 |
| 4. 1. 3 Force generator system | 16 |
| 4. 2 측정 및 해석 소프트웨어 | 17 |
| 제 5 장 실험내용 및 결과 | 18 |
| 5. 1 실험 내용 | 18 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 5. 2 장치 검증 | 20 |
| 5. 2. 1 고속카메라와 광학계 | 20 |
| 5. 2. 2 조명계와 진공시스템 | 20 |
| 5. 2. 3 Force generator system | 21 |
| 5. 3 실험 결과 | 23 |
| 제 6 장 결 론 | 25 |
| 참고 문헌 | 26 |
| Abstract | 27 |

표 목차

| | | |
|-------------|---------------------|----|
| [Table 5-1] | 실험장치 검증결과 데이터 테이블 | 22 |
| [Table 5-2] | 실험장치 검증 및 Tact-time | 24 |

그림 목차

| | |
|--|----|
| Fig 1. 1 LCD 제조공정 및 액정량 검사 공정 추가 도식도 | 2 |
| Fig 2. 1 액정 분자구조 | 3 |
| Fig 2. 2 LCD 구조 | 4 |
| Fig 2. 3 LCD 구동원리 | 5 |
| Fig 2. 4 IPS LCD | 6 |
| Fig 3. 1 Pooling Effect 카메라 픽셀 별 최대밝기 | 7 |
| Fig 3. 2 시간에 따른 Pooling Effect 변화 | 8 |
| Fig 3. 3 LCD Cell 개략도 | 9 |
| Fig 3. 4 액정 주입량과 충격 시 액정의 부피변화량의 관계 | 11 |
| Fig 3. 5 액정 주입량과 충격 시 Pooling Effect 유지시간과의 관계 | 12 |
| Fig 3. 6 Pooling Effect의 이론 / 실제 관측 형상 | 13 |
| Fig 3. 7 한 pixel에서의 Pooling Effect 발생시 밝기 변화 | 14 |
| Fig 4. 1 측정시스템의 하드웨어 구상도 | 15 |
| Fig 4. 2 Force generator system 구상도 | 17 |
| Fig 5. 1 사용 Cell 샘플 관련 그림 | 19 |
| Fig 5. 2 각각의 8개 Sample의 Pooling Effect 유지시간 | 23 |

용어 설명

| | |
|-----|------------------------|
| LC | Liquid Crystal |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| IPS | In-Plane-Switching |
| CS | Column Spacer |
| FOV | Field of View |

기호 설명

| | |
|------------|-------------------------|
| T | 빛의 밝기 |
| ϕ | 전기장과 액정분자 사이의 각도 |
| d | 액정의 두께 |
| Δn | 굴절률 이방성 |
| λ | 빛의 파장 |
| F | 액정 분자가 받는 힘 |
| τ | 액정 분자가 받는 토크 |
| D | 액정 분자의 크기 |
| V | 충격 시 액정의 부피변화량에 비례하는 상수 |
| θ | 액정 분자와 받는 힘 사이의 각도 |
| x, y, z | 충격 지점으로부터 액정 분자의 좌표 |
| Ψ | 액정 분자가 충격으로부터 돌아간 총 각도 |
| κ | 액정 분자의 복원 stiffness |
| ω | 액정 분자의 복원 속력 |

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

Liquid Crystal Display (LCD) 공정 기술이 발전함에 따라 공정관리의 중요성과 수득률이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. LCD 공정 내에는 TFT 흡착과 액정주입을 포함하는 Cell 공정, TAB 고정과 PCB 공정을 포함하는 Module 공정, 마지막으로 LED 추가부품을 붙이는 조립공정이 있고, 이 모든 공정 후에 최종검사 과정이 존재한다. 모든 공정 중에서도 Cell 공정에 있는 액정 주입에서의 액정 주입량이 공정에러에 중요한 요소라 할 수 있다. 이 액정 량은 Cell 내의 Column Spacer 같은 형상들과 더불어 LCD 의 작동에 크게 관여한다. 액정주입량이 적어질 경우 Cell Gap 이 감소하여 상판의 글라스가 Column Spacer(CS)구조와 더 가까워지는 결과를 가져오고, 반대로 액정 량이 많게 되면 글라스가 위로 올라가 더 멀어지는 결과를 얻게 된다. 액정의 양이 적은 경우 저온에서의 기포현상과 백화현상, 많을 시 반응속도 저하 및 백화현상이 일어나게 된다. LCD Cell 내 형상들은 측정기술의 발달로 점점 첨단화 되어가고 있지만, 액정량을 Cell 공정 후 바로 검사하는 공정은 개발이 미미한 것이 현실이다. 액정 주입량을 주입 후 검사 할 수 있다면, 이러한 문제점들을 사전에 알 수 있고, 추가공정에 낭비되는 자원을 막을 수 있다.

본 논문에서는 액정 주입 후 실시할 수 있는 추가 공정을 연구하였다. 이 공정이 Cell 공정 뒤에 들어가게 된다면 낭비되는 자원을 줄이고 LCD 공정의 수득률을 올릴 수 있을 것이다. 그렇게 되면 LCD 산업에 큰 도움이 될 것이다.

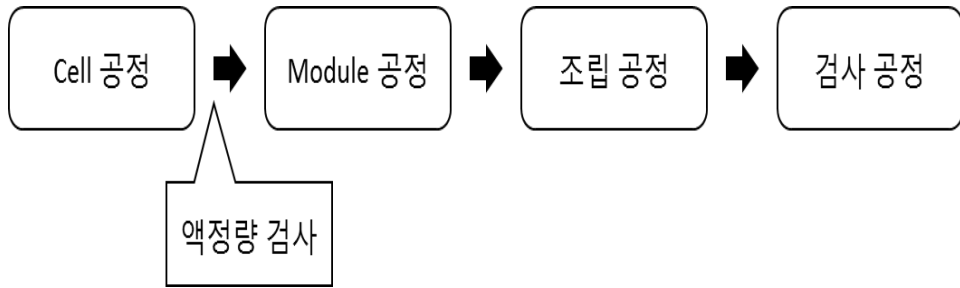


Fig 1. 1 LCD 제조공정 및 액정량 검사 공정 추가 도식도

1.2 연구의 내용

본 논문에서는 LCD의 특성인 Pooling Effect을 이용하여 액정주입량을 판별하는 것을 목표로 하였다. Pooling Effect는 LCD에 물리적인 충격을 가했을 때 생기는 현상으로 전기적 신호와 별개로 빛이 새는 현상을 의미한다. 이러한 Pooling Effect의 유지시간을 판별방법에 이용하였다. 우선 Pooling Effect의 유지시간이 액정량에 따라 달라지는 것을 간단한 이론식을 가정하여 실제의 값과 검증을 해 보았다. Pooling Effect에 대해서 제대로 다루어진 논문이 거의 없었기 때문에 확실하다고 말할 수는 없으나, 실제 값과의 검증에서 높은 유사도를 얻을 수 있었다.

위 내용을 기반으로 Pooling Effect 생성조건을 동일하게 하고 측정 resolution을 높이기 위하여 고속카메라를 통한 측정과, 동일한 힘 발생 장치를 구현하였다. 최종적으로 액정량으로 두 방울, Cell Gap으로 20nm 정도의 차이를 구별하는 것을 목표로 한다. 샘플로는 기존 정상 액정량 대비 -4, -2 0, +2 방울의 액정이 추가되어 있는 샘플을 사용하였으며, 이 과정에서 측정 조건의 반복능과 결과의 반복능 모두를 만족하는 장치를 꾸미고, Pooling Effect의 측정 이미지로부터 유지시간을 구하는 과정을 본 논문에서 다루도록 하겠다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 액정 (Liquid Crystal)

액정(Liquid Crystal)은 액체와 고체의 성질을 동시에 가지는 중간상의 형태로 1888 년 Reinitzer 라는 식물학자가 발견한 것이 최초이다. 이후 이러한 중간상의 성질로 의해 LC 라 명명 되었으며, Gattermann 과 Ritschke 에 의해 최초로 nematic 상으로 합성되었으며, 고체표면 위에서 방향성을 가지며 정렬 될 수 있다는 점이 밝혀졌다. 액정은 여러 가지의 고유 특성을 가진다. Fig. 2. 1 는 액정 분자를 표현한 것으로서 유체의 유동성과 고체의 결정성을 적절하게 둘 다 가지고 있는 구조이다.

액정의 여러 성질 중 가장 중요한 성질은 비등방성이다. 이러한 비등방성 구조로 인해서 전자기파가 액정 내에서의 전자기파의 진행방향이 장단축에 따라 다른 굴절률을 갖게 되는 굴절률 이방성을 가지게 된다. 또한 전기장에서 유도되는 분극의 정도가 장축과 단축방향에 의해 달라지는 유전을 이방성을 가지게 된다. 이러한 이방성이 특정 전기장 내에서 액정이 배열되는 방향을 결정하며, 그 액정을 지나갈 때 빛의 위상이 바뀌는 역할을 하게 한다.

액정의 또 다른 특징으로는 특정 방향으로 배열 되면서도 그 방향에 대해 용수철처럼 복원력을 가진다는 것이다. 이러한 특정방향에 대한 정렬과 복원력은 전기장에 대해 장축의 수직 수평 방향으로 배열되는 것에 따라 TN, IPS 와 MVA, PVA 의 LCD 형태에 쓰이게 된다.

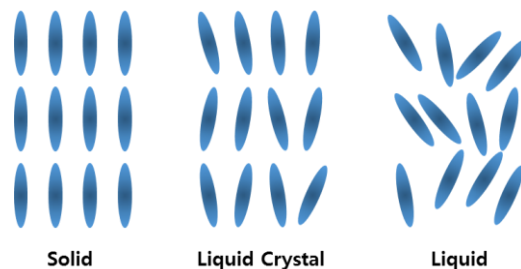
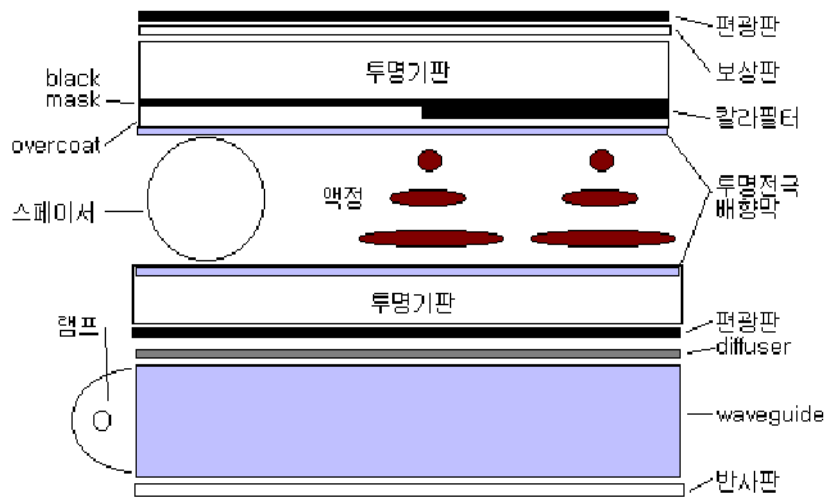


Fig 2. 1 액정 분자구조

2. 2 LCD (Liquid Crystal Display)

LCD 는 앞서 보았던 액정의 특성을 이용한 디스플레이 장치이다. CRT 의 큰 기본구조를 극복하기 위해서 발전된 LCD 는 구조의 간편화에서 장점을 가진다. LCD 의 기본 구조는 Fig. 2. 2 에서 볼 수 있다. 간단하게 말해서 Back light unit 위에 직교하는 방향을 가진 편광판이 들어가고 그 사이를 액정이 채워 넣는 구조로 설명 할 수 있으며, 2. 2 절에서는 이러한 LCD 의 구동원리와 LCD 의 종류 중 본 논문의 실험에서 사용한 IPS(In Plane Switching) LCD 에 대해서 간략하게 다루도록 하겠다.



① Fig 2. 2 LCD 구조

① 그림참조: <http://mulli2.kps.or.kr/~pht/9-9/000915.htm>

2.2.1 LCD 구동원리

LCD의 구동원리는 앞서 2.1 절에서 보았던 액정의 특성을 기반으로 한다. 본래 빛은 두 개의 직교하는 편광판을 투과하지 못한다. Fig. 2.3에서 살펴보면 LCD 내부의 투명전극 부분에 전기장이 가해지면 액정의 성질인 유전율적 비등방성에 의해서 한 방향으로 배열 되게 된다. 이렇게 배열된 액정분자들을 빛이 통과할 때 광학적 비등방성으로 인해 지나가는 빛의 위상이 변경되어 직교하는 편광판을 투과할 수 있게 해준다. 이 때 가해지는 전기장의 세기에 따라 배열되는 각도가 변하게 되고 이로 인해서 빛이 투과되는 양이 조절된다. 이러한 원리로 LCD는 원하는 빛의 세기를 조절할 수 있고, 사용되는 액정의 초기 배향과 가해지는 전기장의 방향성에 따라 Twisted Nematic(TN), In Plane Switching(IPS), Vertical Alignment(VA) 등의 모델로 나누어진다.

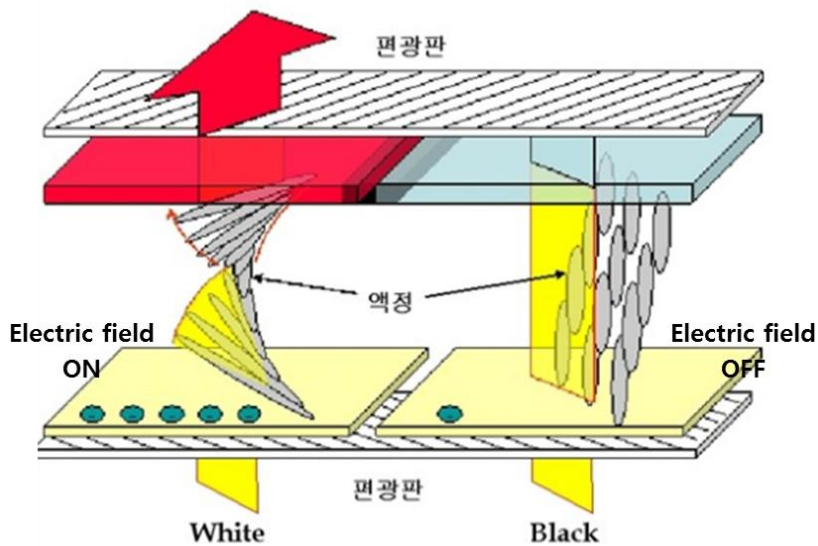


Fig 2. 3 LCD 구동원리

2. 2. 2 IPS (In Plane Switching) LCD

본 실험에서는 IPS LCD 를 이용하기 때문에 간단히 IPS LCD 에 대해서 살펴보겠다. ^②Fig. 2. 4 와 같은 배열을 가지는 LCD 를 IPS 모드라고 부르며 1995 년에 최초로 발표 되었다. 초기 액정분자를 상하판 사이에 꼬임 없이 배열시키고, 수평전기장이 걸리게 함으로서 액정분자들을 기판에 평행하게 회전 시킬 수 있다. 이렇게 배열된 액정 분자들은 편광상태의 변화를 일으켜 수직한 두 편광판을 빛이 지나갈 수 있게 도와준다. 이러한 IPS LCD 를 빛이 투과할 때 그 투과율은 식 2. 1 과 같다.

$$T = T_o \sin^2(2\phi) \sin^2(\pi d \Delta n / \lambda) \quad (2.1)$$

여기에서 T 는 빛의 세기, ϕ 는 전기장과 액정분자 사이의 각도, d 는 액정의 두께, Δn 장축 단축 방향의 굴절률 차이, λ 는 빛의 파장을 의미한다.

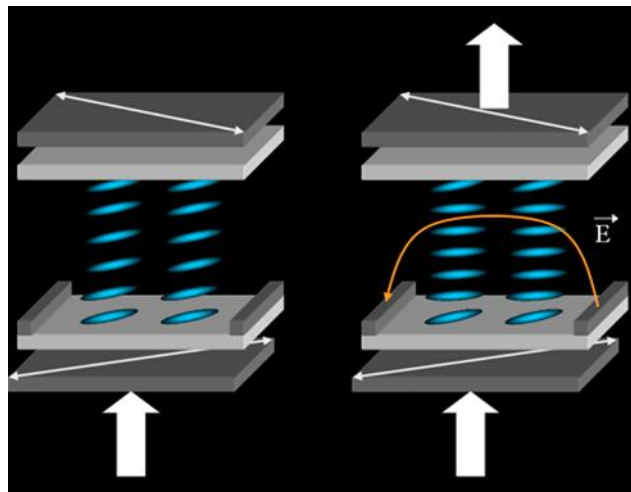


Fig 2. 4 IPS LCD

^② 그림참조: <http://www.personal.kent.edu/~mgu/LCD/ips.htm>

제 3 장 Distinction method

LCD의 액정 주입량을 검사하기 위해서 LCD의 특징을 이용할 생각을 하였다. 수많은 LCD 특징 중에서도 본 논문에서는 LCD의 외부 외력에 대한 반응 성질인 Pooling Effect에 초점을 두었다.

3.1 Pooling Effect

Pooling Effect는 단어는 생소 할 수 있으나 우리에게 익숙한 현상이다. LCD가 들어있는 핸드폰이나 노트북 액정을 손톱 같은 뾰족한 물체로 눌렀을 때, 이상현상으로 클로버 모양의 얼룩이 생기게 되는데 이러한 현상을 Pooling Effect라 한다. 이러한 현상이 나타나는 원리는 기존 LCD의 동작원리에 기반한다. LCD의 작동원리가 전기장에 의한 액정배열의 변화라면, Pooling Effect는 외력에 의해서 액정에 충격이 발생하고 그 충격이 액정배열에 변화를 주어 빛이 새는 효과를 야기한다. Fig. 3. 1은 Pooling Effect의 발생 시 고속카메라로 측정하고 각 픽셀의 밝기 최대값을 나타낸 그림이고, Fig. 3. 2은 시간에 따른 변화과정을 보여주고 있다. 이 때의 조건은 700um 지름의 철 구를 이용하여 LCD구조에 충격을 주어서 관찰하였다.

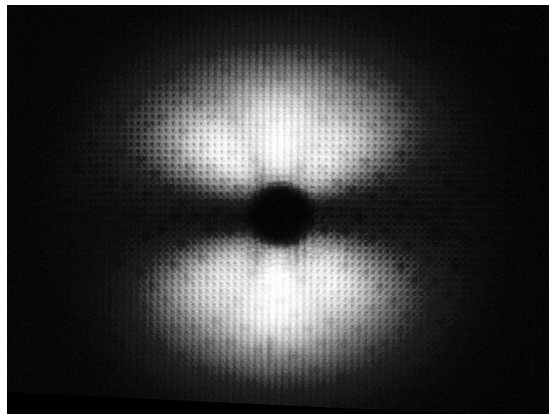


Fig 3. 1 Pooling Effect 카메라 픽셀 별 최대밝기

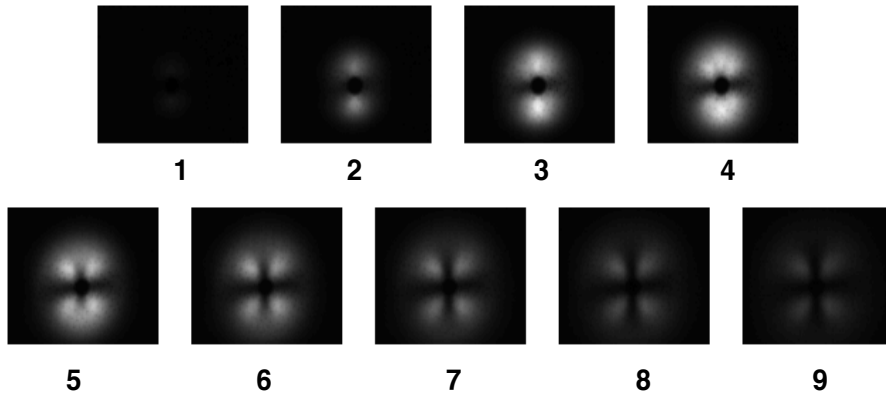


Fig 3. 2 시간에 따른 Pooling Effect 변화

사진의 Field of view 는 12.76mm x 9. 57mm 이고 프레임 간격은 2ms 로 약 20ms 정도 지속되는 현상임을 알 수 있다.

3. 2 Pooling Effect 이론적 검증

물리적 충격에 의한 Pooling Effect를 이론적으로 생각하여 Pooling Effect와 액정주입량 간의 관계를 알아보려 하였다. LCD에서 충격에 의한 Pooling Effect에 대한 이론적 내용은 앞서 연구된 적도 별로 없고, 중요하게 다룬 논문이 없었기 때문에, 자체적으로 가정을 세우고 반응을 예측하여 실제 Pooling Effect와 비교하는 방법을 사용 하였다.

본 논문에서 사용한 가정은 두 가지이다.

첫 째, Pooling Effect는 눌렀을 때 생기는 부피 변화에 의한 충격량으로 야기된다. LCD에 외력이 가해졌을 때, LCD에 변형이 생기게 된다. 이 때 LCD안에 있는 액정도 변형을 거치는데 이 변형에서 액정 자체가 유체의 상을 띄기 때문에 특정 속도로 퍼져나가게 되고 그 유체의 속도가 액정분자에 힘을 발생 시킨다. 그렇기 때문에 액정분자가 받는 힘은 충격 시 부피변화량에 비례하고 퍼져나가는 속도가 거리의 제곱에 반비례 하듯이 역시 힘도 거리의 제곱에 반비례 할 것이다.

둘 째, LCD 내부에서 액정분자는 모두 동일한 stiffness의 복원력과 저항력을 가진다. 앞서 다루었던 액정의 특징 중에 한 방향으로 배향 되

있을 때 그 방향에 대한 복원력을 가진다고 하였다. 액정 분자가 외력으로 틀어지게 되면 복원력을 받게 되는데, 이때의 복원력 계수 stiffness κ 와 저항력 모든 지점에서 동일하다는 가정이다. 또한 짧은 순간이기 때문에 그때 저항력을 지면 마찰력과 같이 항상 동일하다고 가정하였다.

두 가정과 Fig. 3. 3을 통해서 액정분자가 받는 힘과 그에 따른 회전각, 복원시간에 대한 수식전개를 해보면 3. 1부터 3. 8 까지로 나타난다.

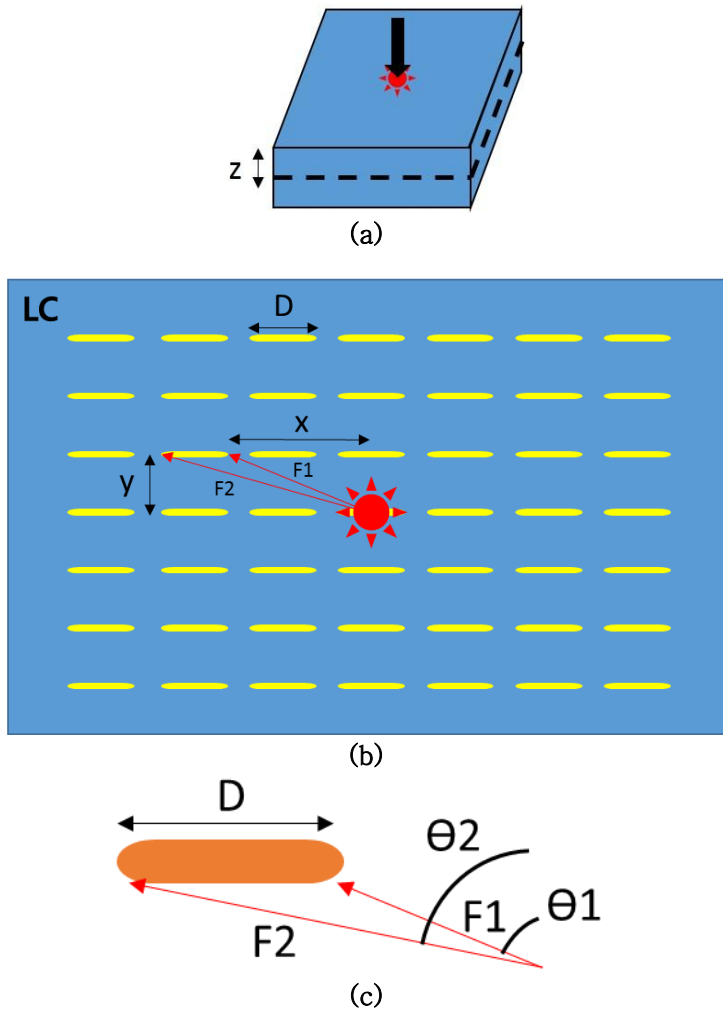


Fig 3. 3 LCD Cell 개략도

- a) LCD Cell에 충격이 가해지는 모습
- b) z 깊이 내부의 Cell 단면도
- c) 액정분자에 가해지는 토크

우선 Fig 3. 3. c)의 자유물체도에서 액정분자가 받는 토크를 계산해보면 식 3. 1 과 같다. 식 3. 2부터 3. 5는 식에 포함된 변수들을 나타낸 것이다. 식에서 사용된 V는 충격 시 액정의 부피변화량과 힘이 비례한다는 앞선 과정에서 나오는 부피변화량에 비례하는 상수이다.

$$\tau = \frac{D}{2} F_2 \cos \theta_2 - \frac{D}{2} F_1 \cos \theta_1 \quad (3.1)$$

$$F_1 = \frac{V}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.2)$$

$$F_2 = \frac{V}{\{(x + D)^2 + y^2 + z^2\}^{\frac{3}{2}}} \quad (3.3)$$

$$\theta_1 = \frac{y}{\{x^2 + y^2\}^{\frac{1}{2}}} \quad (3.4)$$

$$\theta_2 = \frac{y}{\{(x + D)^2 + y^2\}^{\frac{1}{2}}} \quad (3.5)$$

이렇게 얻어진 토크 식을 통해서 액정분자가 돌아가는 양을 계산하면 식 3. 6을 얻을 수 있고, 그로부터 저항력이 항상 일정하므로 등각속도 운동으로 액정분자가 기존 배향 각으로 돌아와 멈추게 된다. 이 때 돌아올 때까지 빛이 쬐다고 가정하면 Pooling Effect의 유지시간은 식 3. 7 처럼 운동량 보존으로 간단히 표현할 수 있다.

$$\tau = \kappa \cdot \Psi$$

$$\Psi = \frac{\tau}{\kappa} \quad (3. 6)$$

$$\frac{1}{2} \kappa \cdot \Psi^2 = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$$

$$I \cdot \omega = \text{저항력} \times \text{유지시간} \quad (3. 7)$$

그러므로 다음 수식들과 설정한 상수 V와의 관계를 정리하면 식 3. 8의 결론을 얻을 수 있다.

$$\text{유지시간} \propto V \quad (3. 8)$$

이제 액정주입량에 따른 충격 시 액정의 파괴변화량에 비례하는 상수 V가 어떤 관계를 가지는지 살펴 보겠다. 무한요소해석을 이용하여 Cell 구조를 Glass, Column Spacer(CS), 액정으로 간략화 모델링을 하여 액정의 높이를 바꾸어가며 분석하였고 결과는 Fig. 3. 4와 같다.

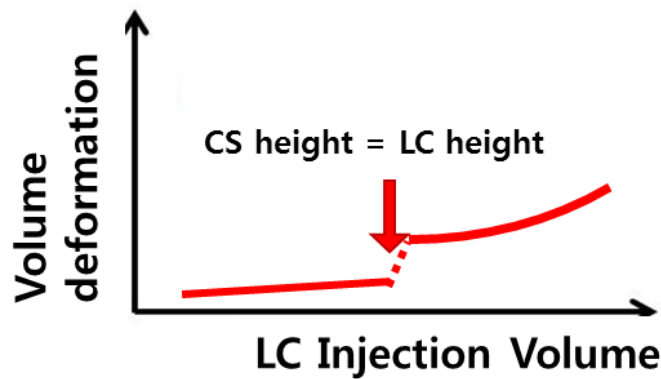


Fig 3. 4 액정 주입량과 충격 시 액정의 파괴변화량의 관계

결과는 두 구간으로 나누어져 나타났는데, 그 기준은 액정의 높이와 CS높이가 교차되는 지점이다. 시뮬레이션에서 액정은 푸아송 계수가 높고, 탄성계수가 CS보다 매우 작기 때문에 흡사 액체처럼 작용하였다. 그렇기 때문에 외력에 대응하는 Cell의 실질적 지지는 CS에 의해서만 이루어지는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 요인 때문에 액정이 CS의 높이보다 높을 경우 더 많은 충격 시 액정의 파괴변화량을 보였다. 또한 전체적인 부분에서 액정량이 증가 할수록 변화량 역시 증가하는 것을 알 수 있었다. 이것으로부터 설정한 상수 V역시 Fig. 3. 4와 같은 경향을 가진다는 것을 알 수 있었고, 최종적으로는 Fig. 3. 5과 같은 결론을 도출해 낼 수 있다.

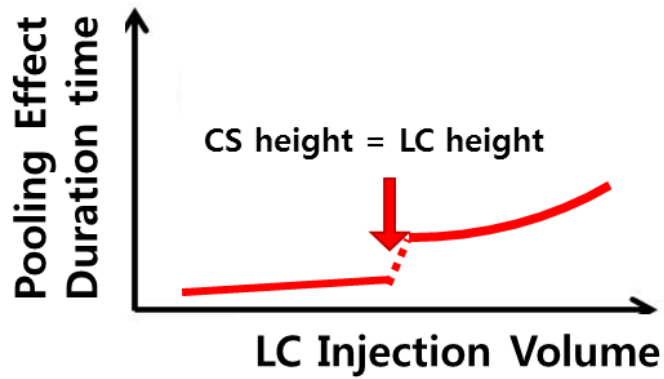
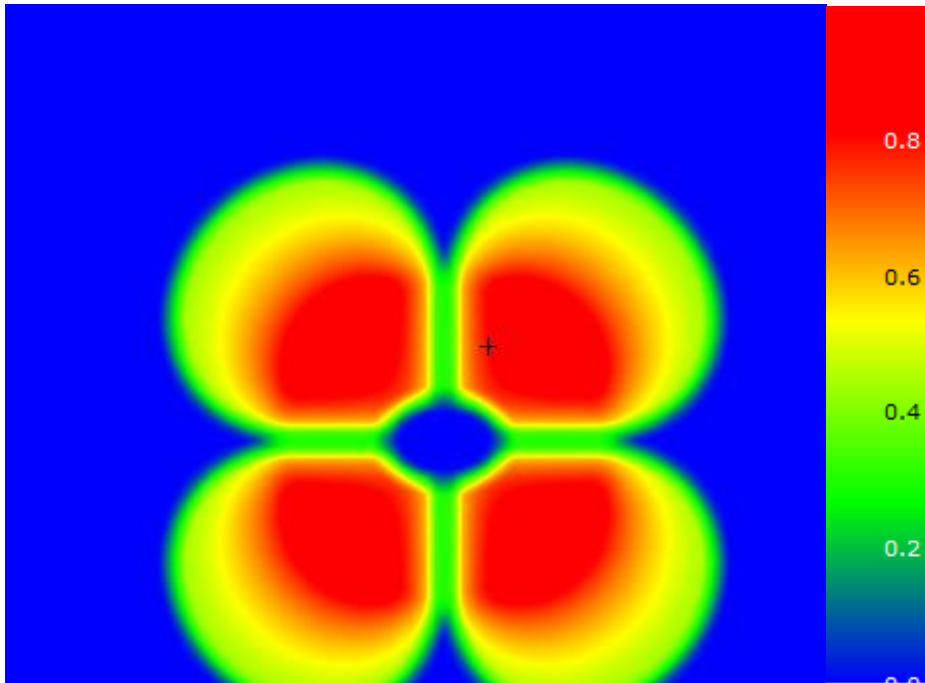
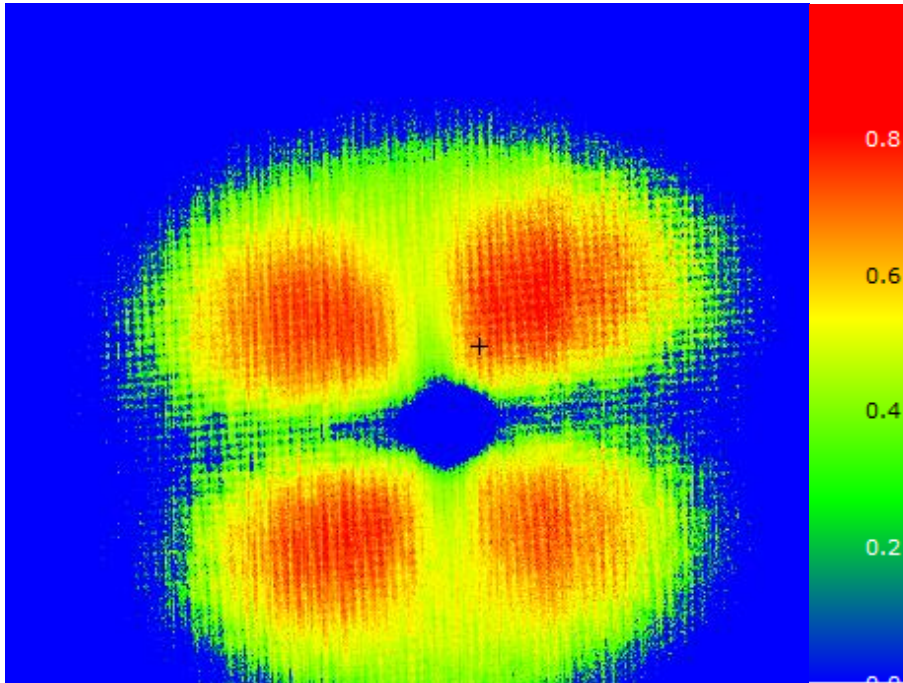


Fig 3. 5 액정 주입량과 충격 시 Pooling Effect 유지시간과의 관계

이렇게 수식으로 통해서 살펴본 Pooling Effect에서 액정주입량과 유지시간의 관계가 어느 정도 타당성을 가지는지 확인해 보기 위해서 식 3.7에서 구할 수 있는 유지시간과 실제 관측되는 포인트의 유지시간을 도식화 한 것을 비교해 보도록 하였다. 비교 대상인 2개의 그림은 Fig 3. 6에서 찾아 볼 수 있다.



(a)



(b)

Fig 3. 6 Pooling Effect의 이론 / 실제 관측 형상

(a) 이론적 Pooling Effect 유지시간 그림

(b) 실제 관측되는 Pooling 유지시간 그림

두 그림 모두 Normalization을 수행하였다

이 때 보다 정량적인 비교를 위하여 2개의 그림을 pattern matching 하는 방법인 Cross-correlation method를 이용하여 구분 하였다. Cross-correlation method에서 유사도 상수인 r 을 구하는 수식은 식 3. 9와 같다.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\left\{ \sum(x - \bar{x})^2 \cdot \sum(y - \bar{y})^2 \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (3. 9)$$

이 때 Fig. 11에서 a) 그림과 b) 그림을 이용하여 유사도를 검사해

본 결과 R값은 0.895 값을 얻을 수 있었다. 보통 Pattern matching에서 0.8 이상이면 두 이미지가 같다고 매칭을 하기 때문에 0.895는 실제 사용한 수식과 실제 현상이 높은 상관관계를 가진다고 말할 수 있다.

3. 3 Point에서의 Pooling Effect 유지 시간

3. 2에서 얻은 결론을 통해서 측정하는 Point에 대해서 Pooling Effect의 유지시간을 얻기 위하여 수 많은 측정 pixel에 대해서 유지시간을 얻는 방법을 생각해 보았다. 우선 측정 이미지는 Fig. 6과 같이 나타나는데 한 Pixel에서 시간에 따른 밝기변화를 살펴보면 Fig. 3. 7로 나타난다.

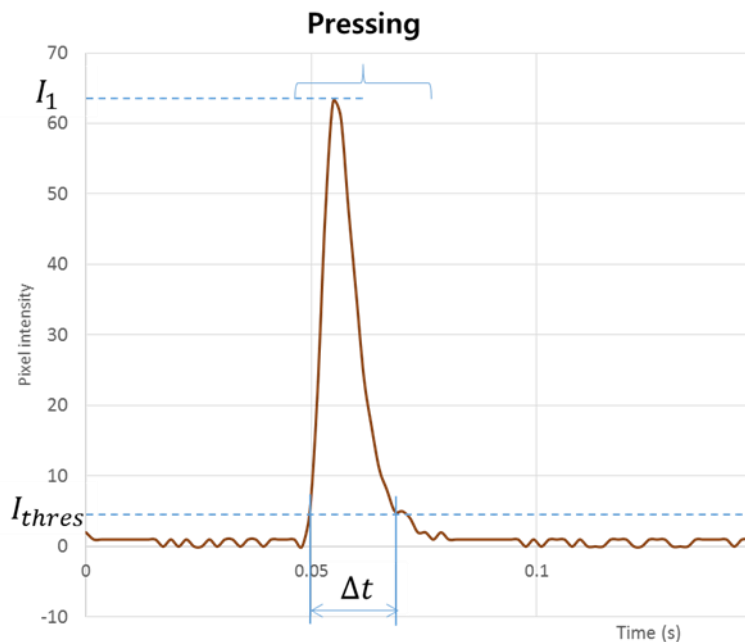


Fig 3. 7 한 pixel에서의 Pooling Effect 발생시 밝기 변화

각각의 Pixel에서 유지시간을 특정 밝기 threshold를 두어 얻을 수 있다. 모든 포인트에서 유지시간을 얻어 나타내면 Fig 11 b)의 그림을 얻을 수 있고, 여기서 유지시간이 0이 아닌 Pixel에서 모든 유지시간의 평균을 내어 그 Point의 Pooling Effect 유지시간이라고 정의 하였다.

제 4 장 측정시스템 구성

4.1 하드웨어 구성

측정시스템의 하드웨어 구성도는 Fig 4. 1과 같다.

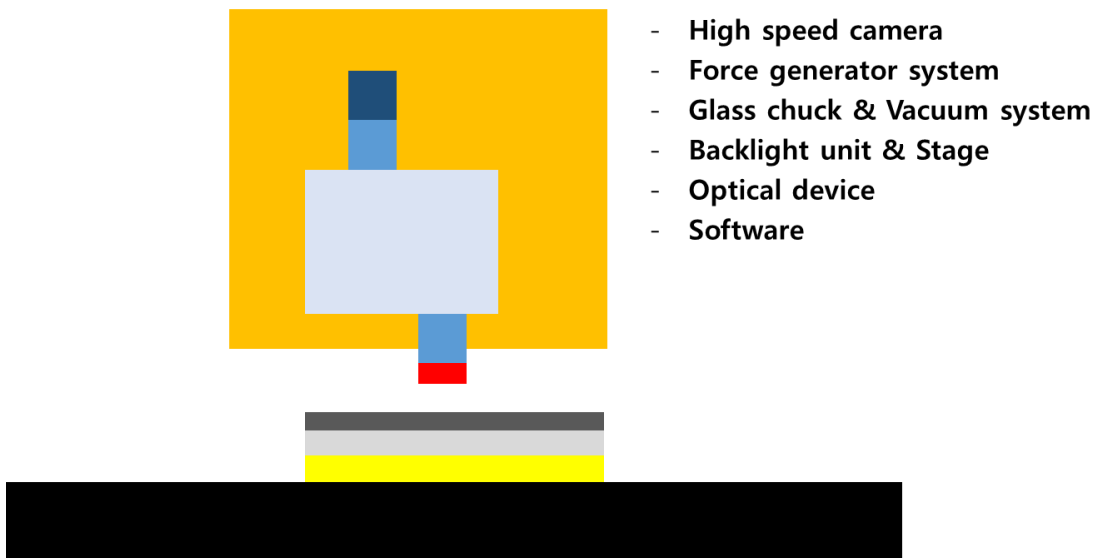


Fig 4. 1 측정시스템의 하드웨어 구성도

우선 Pooling Effect 를 만들어 줄 일정 힘과 그 것을 많은 Frame을 통해서 담을 수 있는 카메라 및 광학계가 필요하다. 또한 눌러 줄 때 조건을 안정 시켜줄 진공시스템과 투과될 빛을 제공하는 조명장치 역시 필수적이다. 마지막으로 해석을 할 수 있는 해석용 Software역시 필요하다 할 수 있다. 이 장에서는 앞서 말한 장치들의 성능 및 필요성, 그리고 실질적 선정에 대해서 다루도록 하겠다.

4. 1. 1 고속카메라와 광학계

Pooling Effect의 유지시간이 20ms정도의 짧은 시간이기 때문에 이 유지시간을 높은 resolution으로 해석하기 위해서는 고속 카메라로 많은 프레임에 현상을 담아야 한다. 그렇기 때문에 고속카메라를 사용하였다. 또한 Pooling Effect의 영역을 모두 Camera CCD에 담아야 했기 때문에 줌렌즈와 대물렌즈를 사용한 광학계로 배율을 맞추었다. 사용한 렌즈는 대물렌즈로 2D 1.5x 배율 렌즈와, 줌렌즈로 0.5x 렌즈를 사용하였다.

4. 1. 2 조명계와 진공시스템

Pooling Effect를 안정적으로 측정하기 위해서 충격 시 힘을 온전히 Cell에 가하기 위한 진공시스템이 필수적이다. 진공을 척을 이용해 유로를 만들어 가하면서 아래 조명계에서 주는 빛을 투과하시기 위하여 진공 척은 유리를 이용하여 만들었고, Cell의 전체적인 부분에서 측정을 하기 때문에 Backlight unit의 uniformity가 높아야 한다. 이 uniformity는 설계를 통하여 95%수준을 유지하였다.

4. 1. 3 Force generator system

Pooling Effect를 생성시키는 충격을 동일하게 하기 위해서 Force generator system을 고안하였다. 우선 충격장치로는 PZT actuator를 사용하였고, 그 때의 힘을 얻어 Feedback을 하기 위해서 Load Cell 장치를 추가로 부착하였다. 700um 직경의 철 구를 렌즈 앞에 Cap형식의 장치를 이용하여 부착 하였으며 구상도는 Fig 4. 2 와 같다.

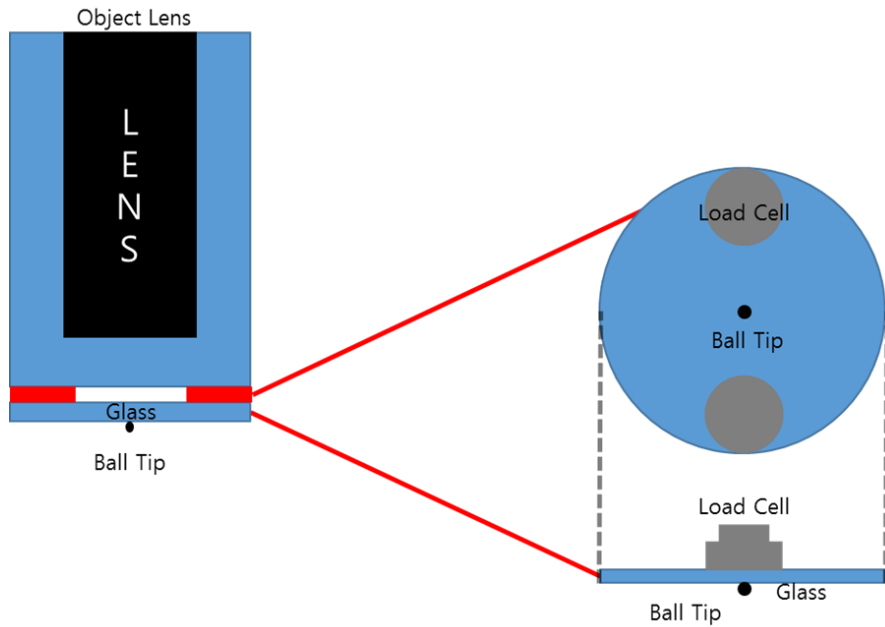


Fig 4. 2 Force generator system 구상도

4.2 측정 및 해석 소프트웨어

Pooling Effect의 이미지를 얻고 해석하는 것은 SNUPrecision 에서 개발된 SNUMap을 응용하여 추가적인 프로그래밍을 이용하였다. 개략적인 플랫폼이 준비되어 있어서 필요부분만 고쳐서 사용하여 연구 시간 단축에 용이하게 사용되었다.

제 5 장 실험내용 및 결과

5.1 실험 내용

본 논문에서는 액정 주입량에 따른 Pooling Effect의 유지시간과의 관계를 알아보기 위한 실험을 실시 하였다. 실험 시 사용한 Cell 샘플로는 16.4cm x 12.5cm 크기의 액정 Cell을 사용하였고, 각각 정상적인 LCD Cell 공정에서 주입되는 액정양보다 -4, -2, 0, +2 방울의 액정이 들어간 Sample 4개의 Sample군으로 각각 2장씩 총 8장의 Cell 샘플을 사용하였다. 이는 Cell Gap 높이로 따지면 -40nm, -20nm, 0nm, +20nm에 해당한다고 할 수 있다.

측정 시 4장에서 살펴보았던 장치를 이용하여 한 샘플당 총 16Point를 측정하였으며, 각각의 Point의 Pooling Effect 유지시간을 평균 내어 그 샘플의 유지시간이라고 정의하였다. 측정 Point는 Cell 중앙에서 포인트당 1cm의 간격으로 이동하며 4x4 행렬의 분포로 측정하였다. 샘플군과 측정 Point는 Fig 5. 1에서 간략히 살펴 볼 수 있다.

본 논문에서는 이렇게 얻은 데이터를 이용하여 앞서 3장에서 유추해 보았던 액정주입량과 Pooling Effect의 유지시간과의 관계를 비교해 보고 각각의 샘플을 특정 집단 4개군으로 구별할 수 있는지를 살펴 보았다. 또한 4장에서 만든 측정장치가 결과에 영향을 주지 않을 만큼의 반복능을 가지는지 확인해 보았다.

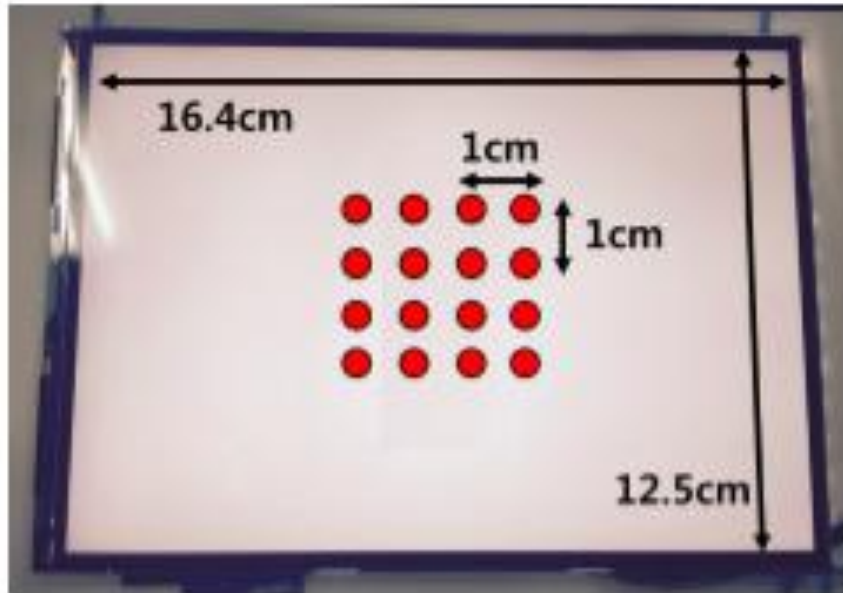
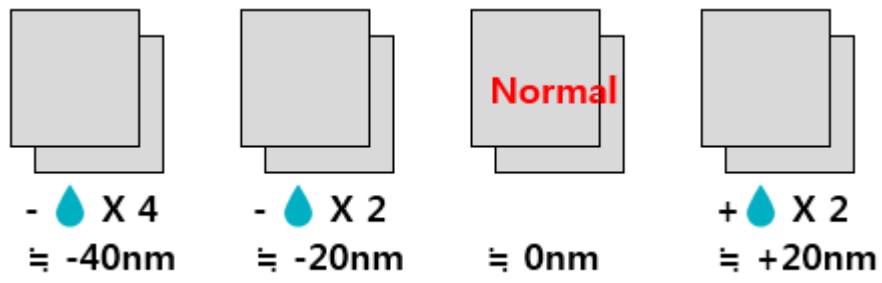


Fig 5. 1 사용 Cell 샘플 관련 그림

5.2 장치 검증

실험 결과에 들어가기 앞서 4장에서 다루었던 필요에 의해 구현하려 했던 장치들이 실제 제대로 작동하는지 장치 검증을 먼저 하도록 하겠다.

5.2.1 고속카메라와 광학계

앞서 언급한 바와 같이 Pooling Effect 자체가 20ms 정도의 유지시간을 가지기 때문에 고속카메라로 더 많은 프레임을 얻어 높은 resolution을 얻어야 했다. 또한 Pooling Effect의 모든 영역을 카메라에 담기 위해서 적절한 크기의 FOV(Field of view)가 필요했다. 이와 같은 조건을 얻기 위해서 카메라의 경우 500fps 의 성능을 가지는 고속 카메라를 사용하였고, 렌즈의 경우 1.25x 대물렌즈와, 0.5x 줌렌즈를 사용하였다.

그 결과 20ms 의 현상을 10Frame 이상의 이미지로 얻을 수 있었으며 FOV는 12,76mm x 9.57mm 로 충분히 Pooling Effect를 담을 수 있는 크기를 얻었다.

5.2.2 조명계와 진공시스템

Pooling Effect를 관측함에 있어서 조명계와 진공시스템은 시스템 안정도와 충분한 밝기의 현상발생에 있어서 필수적이다. 이를 위해서 Backlight가 투과 할 수 있도록 Glass로 만든 진공 척과, 여기에 연결하여 쓸 진공펌프를 사용하였다. 조명계 역시도 LED소자를 고르게 배치시켜서 모든 지역에서 빛 광도의 uniformity를 높이려 하였다.

그에 따른 결과로 Table 5. 1에서 확인 할 수 있듯이 0.1Frame, 즉 만족할만한 결과 반복능을 얻어 내었고, Pooling Effect시 나타나는 밝기

역시도 카메라 상 8bit 밝기에서 100 정도로 준수한 수준을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

5. 2. 3 Force generator system

각각의 Pooling Effect를 비교하기 위해서 현상이 야기되는 조건을 맞추는 것이 중요했다. 본 논문에서는 Pooling Effect를 야기시키기 위해 700um의 구를 Cell 에 누르게 되는데 이때의 접촉력과 접촉시간을 항상 동일하게 맞추어야 했다. 이를 위해서 PZT actuator 와 Load cell 을 이용한 Feedback system을 구현하였다. 이를 통하여 기본적인 generating 을 Actuator를 이용하여 하고 그 양을 Load Cell에서 값을 얻어 실시간으로 조절 할 수 있게 만들었다.

그 결과로 같은 지점과 서로 다른 지점에 있어서 Table 1에서 볼 수 있듯이 3sigma 0.04N 수준의 수준을 얻었다. 이러한 결과 값은 앞서 현상의 반복능이 조건에 만족할 수 있게 하였다.

| NO | AREA | AREA_PER CENT | VOLUME_ PERCENT | AVERAGE INTENSITY | MAX INTE NSITY | AREA WIDTH | VOLUME_ WIDTH | AVERAGE WIDTH | MAX WIDTH | LOAD WIDTH | THRESH |
|---------|----------|------------------|--------------------|----------------------|-------------------|---------------|------------------|------------------|--------------|---------------|--------|
| 1 | 227285 | 40.8 | 1.34 | 8.41 | 22 | 232146 | 1051889 | 8.82 | 10.33 | 0.59 | 3 |
| 2 | 228427 | 41 | 1.36 | 8.47 | 22 | 234930 | 1069220 | 8.88 | 10.5 | 0.6 | 3 |
| 3 | 227775 | 40.88 | 1.36 | 8.48 | 23 | 233720 | 1070830 | 8.9 | 11 | 0.6 | 3 |
| 4 | 228515 | 41.02 | 1.37 | 8.49 | 22 | 234099 | 1069995 | 8.86 | 10.33 | 0.61 | 3 |
| 5 | 229237 | 41.15 | 1.37 | 8.47 | 22 | 234938 | 1075062 | 8.86 | 10.33 | 0.59 | 3 |
| 6 | 230017 | 41.29 | 1.38 | 8.54 | 23 | 232457 | 1060712 | 8.82 | 11 | 0.59 | 3 |
| 7 | 230100 | 41.3 | 1.38 | 8.52 | 22 | 235675 | 1074238 | 8.88 | 10.5 | 0.6 | 3 |
| 8 | 233516 | 41.91 | 1.41 | 8.56 | 22 | 239072 | 1091689 | 8.86 | 11.33 | 0.6 | 3 |
| 9 | 233065 | 41.83 | 1.41 | 8.61 | 23 | 237135 | 1069596 | 8.9 | 11.33 | 0.59 | 3 |
| 10 | 231982 | 41.64 | 1.39 | 8.54 | 22 | 236940 | 1075266 | 8.86 | 11.5 | 0.59 | 3 |
| 11 | 219628 | 39.42 | 1.28 | 8.25 | 22 | 224369 | 989365 | 8.82 | 10.5 | 0.6 | 3 |
| 12 | 222208 | 39.88 | 1.28 | 8.21 | 22 | 227033 | 1010538 | 8.9 | 10.33 | 0.58 | 3 |
| 13 | 221202 | 39.7 | 1.28 | 8.25 | 22 | 225054 | 981052 | 8.88 | 10 | 0.61 | 3 |
| 14 | 223519 | 40.12 | 1.31 | 8.3 | 22 | 228608 | 1023684 | 8.86 | 10 | 0.59 | 3 |
| 15 | 220317 | 39.54 | 1.28 | 8.26 | 21 | 225512 | 1001817 | 8.88 | 10.5 | 0.6 | 3 |
| 16 | 223383 | 40.09 | 1.31 | 8.3 | 22 | 227413 | 1019532 | 8.96 | 10.33 | 0.6 | 3 |
| 17 | 223020 | 40.03 | 1.31 | 8.34 | 22 | 228004 | 1013860 | 8.9 | 11 | 0.58 | 3 |
| 18 | 224090 | 40.22 | 1.31 | 8.28 | 23 | 228606 | 1012451 | 8.86 | 10.67 | 0.62 | 3 |
| 19 | 225534 | 40.48 | 1.31 | 8.28 | 21 | 228806 | 1021781 | 8.88 | 10.5 | 0.6 | 3 |
| 20 | 229849 | 41.26 | 1.34 | 8.31 | 22 | 231937 | 1046185 | 8.88 | 10.5 | 0.61 | 3 |
| AVERAGE | 229991.9 | 41.28 | 1.38 | 8.51 | 22.3 | 235111.2 | 1070850 | 8.873 | 10.82 | 0.5975 | |
| 3STDEV | 6578.61 | 1.17 | 0.06 | 0.18 | 1.44 | 6504.3 | 30826.02 | 0.097867 | 1.41 | 0.030586 | |

(a)

| Force | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.6 | 0.59 | 0.62 | 0.6 | 0.61 | 0.59 | 0.61 | 0.59 |
| 2 | 0.62 | 0.61 | 0.59 | 0.61 | 0.6 | 0.59 | 0.58 | 0.58 |
| 3 | 0.6 | 0.59 | 0.58 | 0.59 | 0.58 | 0.61 | 0.62 | 0.6 |
| 4 | 0.61 | 0.61 | 0.59 | 0.63 | 0.61 | 0.6 | 0.61 | 0.58 |
| 5 | 0.61 | 0.58 | 0.61 | 0.59 | 0.56 | 0.59 | 0.59 | 0.6 |
| 6 | 0.6 | 0.61 | 0.6 | 0.59 | 0.61 | 0.62 | 0.58 | 0.59 |
| 7 | 0.6 | 0.58 | 0.61 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 8 | 0.58 | 0.59 | 0.59 | 0.6 | 0.61 | 0.6 | 0.61 | 0.61 |
| 9 | 0.59 | 0.57 | 0.6 | 0.59 | 0.61 | 0.61 | 0.59 | 0.59 |
| 10 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.61 | 0.6 | 0.62 | 0.6 | 0.58 |
| 11 | 0.6 | 0.61 | 0.58 | 0.58 | 0.63 | 0.59 | 0.58 | 0.59 |
| 12 | 0.58 | 0.59 | 0.59 | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.59 | 0.61 |
| 13 | 0.6 | 0.61 | 0.58 | 0.6 | 0.6 | 0.58 | 0.6 | 0.58 |
| 14 | 0.62 | 0.58 | 0.6 | 0.58 | 0.62 | 0.59 | 0.58 | 0.56 |
| 15 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.58 | 0.6 |
| 16 | 0.6 | 0.62 | 0.58 | 0.6 | 0.6 | 0.59 | 0.59 | 0.58 |
| average | 0.597422 | | | | | | | |
| 3stddev | 0.040257 | | | | | | | |

(b)

Table. 5. 1 실험장치 검증결과 데이터 테이블

(a) 동일지점 20 번 반복 시 Pooling Effect 유지시간 및 충격 힘 반복실험

(b) 16 지점 반복 결과에 대한 충격 힘 반복실험 (Target 0.6N)

5.3 실험 결과

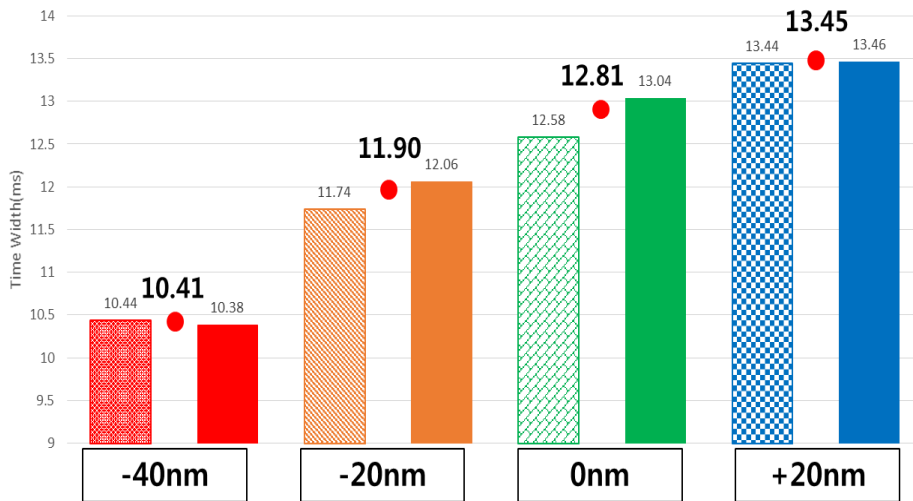


Fig 5. 2 각각의 8개 Sample의 Pooling Effect 유지시간

8개의 Sample 측정 결과는 Fig 5. 2와 같다. Fig 5. 2에서 알 수 있듯이 4개의 Sample 군과 같이 4개의 구간으로 결과값이 나뉜 것을 확인할 수 있다. 또한 앞서 예측한 바와 같이 액정량이 증가할수록 Pooling Effect의 유지시간이 증가한다는 결과를 얻었다. 그 중에서도 -40nm 수준과 -20nm 수준의 액정량 차이에서는 다른 구간과 비교하여 더 큰 변화를 보이는 것에서부터 앞선 예측이 상당히 적중했다고 생각할 수 있다.

각각의 구간의 차이는 0.6ms 에서 1.5ms 사이의 값으로 동일 지점에서 나왔던 0.2ms 정도의 반복능 수준보다 더 큰 구별 구간을 가지는 것을 보아 설계한 실험장치가 믿을만한 수준의 결과를 보여준다고 말할 수 있다.

최종적으로 고안해 낸 방법과 장치의 반복능 및 측정 Tact-time 은 Table 5. 2에서 찾아 볼 수 있다.

| Device Verification | | |
|------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Force Generator System | Target force | 0.6 N |
| | Repeatability(3 σ) | 0.040 N (Different Point) |
| | | 0.031 N (Same Point) |
| Measured Time Width | Repeatability(3 σ) | 0.10 ms (Same Point) |
| Tact-time | 1.476s | |

Table. 5. 2 실험장치 검증 및 Tact-time

제 6 장 결 론

본 논문에서는 새로운 Liquid Crystal Display(LCD) 검사 공정을 제안하고자 한다. LCD 공정 기술이 발전함에 따라 공정관리의 중요성과 수득률이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. LCD Cell 내 형상들은 측정기술의 발달로 점점 첨단화 되어가고 있지만, 액정량을 Cell 공정 후 바로 검사하는 공정은 개발이 미미한 것이 현실이다. 그렇기 때문에 액정 주입량에 관련된 검사공정을 만드는 것을 목표로 하였다. LCD에서의 액정량은 Cell 내의 Column Spacer 같은 형상들과 더불어 LCD의 작동에 크게 관여한다. 액정주입량이 적어질 경우 Cell Gap이 감소하여 상판의 글라스가 Column Spacer(CS)구조와 더 가까워지는 결과를 가져오고, 반대로 액정량이 많게 되면 글라스가 위로 올라가 더 멀어지는 결과를 얻게 된다. 액정의 양이 적은 경우 저온에서의 기포현상과 백화현상, 많을 시 반응속도 저하 및 백화현상이 일어나게 된다. 액정 주입량을 주입 후 검사할 수 있다면, 이러한 문제점들을 사전에 알 수 있고, 추가공정에 낭비되는 자원을 막을 수 있다.

본 논문에서는 이러한 검사 공정의 방법으로 Pooling Effect의 유지시간을 액정량의 주입 정도를 판별하는 기준으로 정하였다. 이러한 실험 전에 간단한 시뮬레이션과 수식전개를 통해서 액정량이 증가할수록 더 긴 Pooling Effect의 유지시간이 더 증가할 것이라고 예측하였다. 실험에 앞서 여러 조건들을 맞추기 위하여 고속카메라와 광학계, 조명계와 진공시스템, Force generator system을 고안 및 준비하였고, 실험에는 적정 액정량 보다 -40nm , -20nm , 0nm , $+20\text{nm}$ 수준의 Cell Gap 차이가 나는 액정이 들어있는 4개의 샘플 군을 2장씩, 총 8장 사용하였다. 실험 결과 4개의 유지시간 구간이 나타났으며 예측과 동일하게 액정량이 증가할수록 유지시간도 증가하는 경향을 보였다.

본 논문에서 사용된 검사공정이 Cell 공정 뒤에 들어가게 된다면 낭비되는 자원을 줄이고 LCD 공정의 수득률을 올릴 수 있을 것이다. 그렇게 되면 LCD 산업에 큰 도움이 될 것이다.

참고 문헌

- (1) 김원식, LCD 제조 공정과 장비 (내하출판사, 2008)
- (2) P. J. Collings, Liquid Crystals (Princeton University Press, 1990)
- (3) S. T. Wu and D.-K. Yang, Reflective Liquid Crystal Displays (Wiley, Chichester, UK, 2002)
- (4) R. Kiefer, B. Webber, F. Windscheid, and G. Baur, "In-planeswitching of nematic liquid crystals," Proc. Japan Displays' 92, 547-550 (1992).
- (5) Y. Sun and S.-T. Wu, Jpn. J. Appl. Phys. 42, L423 (2003).
- (6) D. Nair, R. Rajagopal, L. Wenzel "Pattern matching based on a generalized Fourier transform" National Instruments' 1 1500 N. Mopac Expwy, Austin, TX 78759, USA

Abstract
Study on mechanical method
to distinct injection volume of Liquid Crystal
in Cell manufacturing process

Lee Jong Hoon

Mechanical & Aerospace Engineering

The Graduate School

Seoul National University

In this paper, one new noble method is introduced to enhance test mechanism in LCD manufacturing process by testing LC injection volume. Although LC injection volume is very important factor in making process, there is no method to check its volume until now. Injection process is included in very front part of whole process, but test process are positioned at last. Since this far distance between two processes, waste of resource is occurred when LC injection process failed.

In this paper duration time of Pooling effect is used to distinct injection volume of LC in Cell manufacturing process. Pooling Effect, one of special factor in LCD, occur when extra force load directly on LCD. During making Pooling Effect, device conducted with high speed camera, vacuum system and Force generator system. In order to evaluate the new method, Comparing predicted Pooling effect duration time and real one is conducted. Both are tend to increase its duration time when LC injection volume is increased.

**Keywords : IPS LCD Panel, inspection method in manufacture process,
LCD Pooling Effect**

Student Number : 2014-22499