Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 20, No. 11, p. 983, November 2007.

논 문 20-11-11

FFS모드의 투과율 향상을 위한 새로운 화소전극 구조제안

New Edge Structure of a Pixel Electrode for Improving the Transmittance of the Fringe Field Switching(FFS) Mode LCD

이원준[1], 박우상[1,a]
(Won-Jun Lee[1] and Woo-Sang Park[1,a])

Abstract

In this study, we propose a new pixel edge shape of the fringe field switching (FFS) mode which ensures more stable movement of liquid crystal molecules and higher transmittance at the edge part. the electro optical properties were calculated 3-dimensionally using by commercially available "Techwiz LCD". From the simulation results, we showed that the dynamic stability of liquid crystal molecules was obtained in a new pixel structure. We also revealed that the transmittance of the new pixel structure increased more than 6 % compared to that of the conventional pixel structure.

Key Words : FFS, LCD, Edge shape, Transmittance

1. 서 론

액정디스플레이의 성능향상을 위하여 현재까지 여러가지 형태의 모드가 제안되어 왔으며 이중에서도 특히 frings field switching(FFS)모드는 투과율과 시야각 등 전반적인 측면에서 상당히 우수한 모드로 알려져 있다[1-3]. 그러나 FFS모드는 전극 가장자리 부위의 이상 전계로 인하여 불안정한 동작 특성을 보인다[1]. 따라서 화소전극 가장자리 부위의 투과율역시 정상동작영역에 비하여 매우 낮으며, 액정의 동작 또한 안정화 되어있지 못하다. 이러한 부위는 투과율 제어가 불가능하므로 일반적으로 이 영역을 black matrix로 차단하고 있으나 결과적으로 이는 개구율 감소로 인한 투과율 저하를 유발하고 있다. 따라서 이러한 화소전극 가장자리부의 문제점 개선은 FFS모드의 특성개선에 필수적 사항이라 할 수 있으며, 특히 소형 display에서의 화소전극 가장자리 부위의 특성향상은 화면전체 디스플레이의 투과율 및 화질측면에서 상당한 영향을 미칠 것이라 생각된다.

본 연구에서는 이러한 화소전극 가장자리 부위의 문제점을 해결하고, 동작특성을 향상시키기 위하여, 새로운 화소 가장자리의 전극 구조를 제안하며, 3차원적 시뮬레이션을 통하여 특성 향상에 대한 정량적 결과를 제시하고자 한다.

1. 인하대학교 전자공학과
(인천시 남구 용현4동 253)
a. Correspondng Author : wspark@inha.ac.kr
접수일자 : 2007. 9. 28
1차 심사 : 2007. 10. 11
심사완료 : 2007. 10. 15

2. 설계개념 및 3차원적 시뮬레이션

본 연구에서 제안하는 새로운 구조의 타당성을 검증하기 위하여 상업용 소프트웨어 "Techwiz LCD"(sanayi-system,Korea)를 이용하여 3차원적 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션에 적용된 여러 물성치와 구조는 상용화되어있는 모델에서 일반적으로 사용하고 있는 자료를 토대로 구성하였다.

표 1은 시뮬레이션에 적용된 FFS 모드의 각 층별 조건이다. 하부유리기판위에 공동전극의 역할을 하는 ITO는 400 Å이며, 그 위에 Gate, Data, 절연막이 각각 0.3 μ, 0.2 μ, 0.4 μ의 두께로 적층되어 있으며, Pixel전극 ITO는 400 Å이다. LC층은 3.2 ㎛이며, 상하기판의 배향막 두께는 700 Å이다.

표 1. 시뮬레이션에 적용된 패널의 층별 물성치.
Table 1. The values material parameters used in the simulation.

층 명	물 질	두께 (㎛)
상 층 기 판	*Glass*	*700*
black matrix	*BM*	*1.3*
color filter	*CF*	*2.8*
배 향 막	*PI*	*0.07*
액 정	*LC*	*3.2*
배 향 막	*PI*	*0.07*
화 소 전 극	*ITO*	*0.04*
절 연 막	*Oxide*	*0.4*
데이터 전극	*Aluminum*	*0.2*
절 연 막	*SiN*	*0.6*
게이트 전극	*Aluminum*	*0.3*
공 동 전 극	*ITO*	*0.04*
하 층 기 판	*Glass*	*700*

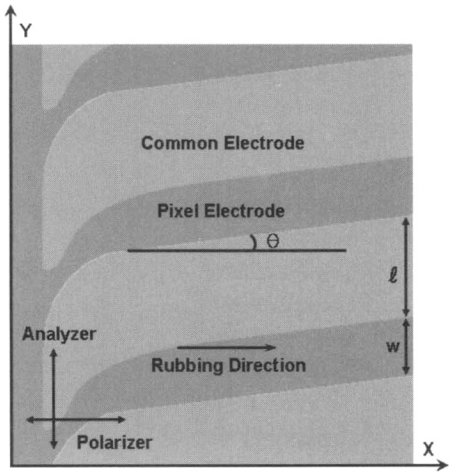


그림 1. 새로운 가장자리 구조의 평면도.
Fig. 1. Proposed pixel edge structure.

계산에 사용된 액정의 주요 물성치는 K_{11}=13.2 pN, K_{22}=6.09 pN, K_{33}=13.4 pN, $\varepsilon_{\parallel}$=7.1, $\varepsilon_{\perp}$=2.9, ρ=53, n_e=1.5905, n_o=1.487 이다. 또한, Oxide, 폴리이미드, 유리 기판, black matrix의 유전상수는 각각 5.72, 3.8, 5.7, 3.4로 설정하였다.

그림 1은 본 연구에서 제안하는 화소전극의 가장자리 부위의 구조와 편광자의 설정을 나타내고 있다. 화소전극간의 슬릿간격은 ℓ=5 ㎛, 화소전극의 폭은 w=3 ㎛로 설계하였으며, 슬릿의 경사각은 X축으로부터 기울어진 각도(Θ)로 정의 하였다. 액정의 초기 프레틸트 각도는 2°, 러빙 방향은 X축과 일치하도록 하였다. 편광자의 투과축은 0°, 검광자의 투과축은 90°로 하여 cross nicol이 되도록 설정하여 패널이 normally black으로 동작하도록 설계하였다.

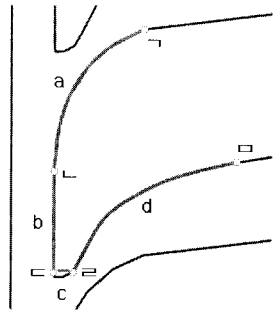


그림 2. 제안된 구조의 에지부 설계 요소.
Fig. 2. Design factors of the proposed edge structure.

그림 2는 새로운 화소전극 가장자리 부위의 구조 설계 시 고려해야 할 요소들을 나타낸 화소전극 그림이다. 새로운 모델의 설계요소는 크게 a, b, c, d의 4부분으로 나눌 수 있다. 화소전극 가장자리의 요소a와 요소d의 경사부분에서 곡률을 주며 연장시키고, 화소전극 가장자리의 끝부분b를 일직선으로 처리하였으며, 점ㄷ과 점ㄹ 사이의 거리 c를 조절하여, 전압이 인가되었을 때 액정분자의 역회전 및 어두운 영역이 발생하지 않도록 설계하였다. 새로운 화소전극 가장자리모델 설계 시 모델의 특성비교를 위하여 두 모델의 화소전극 가장자리의 끝점 X축 좌표를 동일하게 설정 하였으며, 화소전극의 가장자리 모양의 변화가 일어나는 화소전극 가장자리부의 시작점 ㄱ역시 같은 지점으로 설정하였다. a부분은 타원형의 곡률을 주면서, 점ㄱ에서 점ㄴ까지 연결되는 동안 경사의 변화율이 급격해지는 부분이 최대한 화소전극 가장자리의 끝점 X좌표근처에서 이루어지도록 설계하여 정상동작영역이 최대한 늘어나도록 하였다. d부분역시 점ㅁ에서 점ㄹ까지 타원형의 곡률로 연장되는 동안, 곡률의 급격한 변화가 최대한 점ㄹ의 X좌표근처에서 이루어지도록 설계하였다. 일반적인 화소전극 가장자리 부위의 구조를 고려해 볼 경우, 구조상 전계의 통제가 어려워 액정이 역회전되거나 어두운 영역이 형성되는 경우를 볼 수 있다. 이러한 사항을 개선하기 위하여 새로운 화소전극 가장자리 모델에서는 요소b를 삽입하여 화소전극 가장자리 끝부분에 E_X전계를 발생시켜 화소전극 가장자리끝부분의 동작을 개선하였다. 이에 더하여 요소c를 추가하여 새로운 화소전극 가장자리 모델의 처마부분에서 dark 영역이 발생되지 않도록 설계

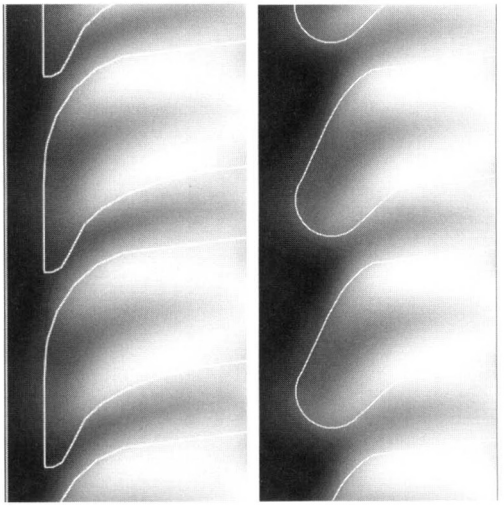
하였다. a의 곡률이 너무 크면 하나 위의 슬릿패턴의 c부분과 거리가 좁아져서 어두운 영역이 발생하며, d와도 거리가 멀어지게 되어 화소전극 가장자리 중심부에 전계가 형성되지 않아 어두운 영역을 형성하게 된다. 반면 a의 곡률이 너무 작게 된다면, a윗부분과 하나 위의 슬릿패턴 사이에 a의 모양을 따라 넓은 부위에 어두운 영역이 발생하게 된다. 요소 d역시 이와 같은 원리로 적정한 곡률설계를 필요로 한다. 한편, b와 c의 경우 상호간의 상관성을 고려한 적절한 설계를 필요로 한다. b의 길이가 길어지면 c의 길이가 짧아져야하며, 그로인해 b와 d 사이가 좁아져서 b와 d 사이에 어두운 영역이 형성되며, b의 길이가 짧아지면 화소전극 가장자리의 처마부분과 하나아래의 슬릿패턴의 a 사이에 어두운 영역이 발생하게 된다. 한 가지 더 유의해야 할 사항은 c의 길이가 일정거리이상 늘어난다면 요소b의 라인을 따라 어두운 영역이 발생한다는 점이다. 따라서 a, b, c, d의 값에 따라 형성되는 전계를 고려한 적절한 설계가 필요하다.

3. 시뮬레이션 결과 및 토의

그림 3의 (a)는 새로운 화소전극 가장자리 부위의 구조를 바탕으로 시뮬레이션한 가장자리 부위의 투과율 결과이며, (b)는 기존의 화소전극 모델의 가장자리부위의 투과율결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 새로이 제시된 구조에서는 화소전극의 가장자리 끝부분까지 밝게 투과되는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 본 연구에서 제안한 새로운 화소전극 가장자리 모델이 5 v의 전압 하에서 나타내는 전기장과 액정의 거동을 나타낸 그림이다. 화소전극 가장자리의 끝부분에 이르기까지 액정이 역회전 없이 동작되고 있음을 확인할 수 있었으며, 주목할 만한 점은 화소전극 가장자리 부위의 전기장이 하나의 포인트A를 향하여 집중되고 있다는 것이다. 그리고, 이러한 현상은 그림(b)의 영역B에 정상동작영역의 전계와 흡사한 전계를 형성하였으며, 이로 인하여 화소전극 가장자리의 끝까지 액정이 정상영역과 같이 동작함을 확인 할 수 있었다.

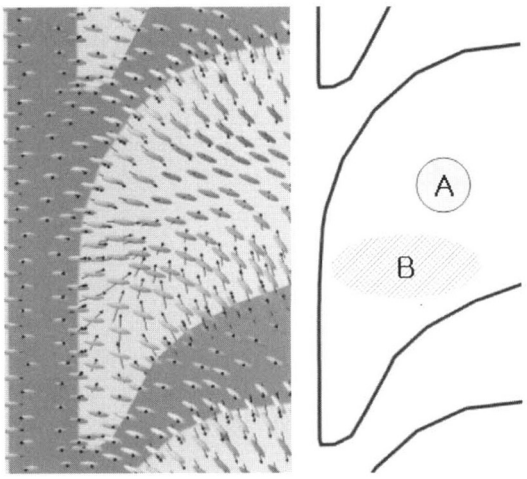
화소전극 가장자리 부위의 액정동작특성 관찰을 위하여 그림 5의 표(a)와 같이 화소전극 가장자리 부위의 슬릿 가장자리 부근에서 특징적인 전계의 변화가 일어나는 점 A, B, C, D, G, H와 슬릿의 정상동작영역의 중심부 점E와 가장자리의 점F를 지정하고 각 지점의 전압별 액정트위스트를 계산



(a) 새로운 구조 (b) 기존의 구조

그림 3. 화소전극의 가장자리 구조와 기존의 구조에서의 투과율 시뮬레이션 결과.

Fig. 3. Calculated transmittance (a) of the proposed pixel structure and (b) of the conventional structure.



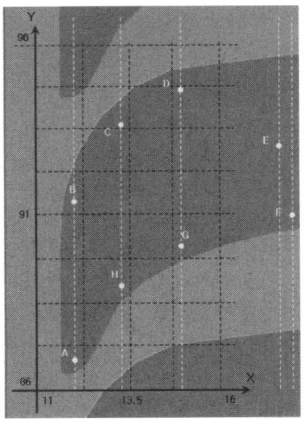
(a) 화소전극 가장자리부의 전기장과 액정거동 (b) 화소전극 가장자리부 모식도

그림 4. 제안된 모델의 에지부 동작특성.

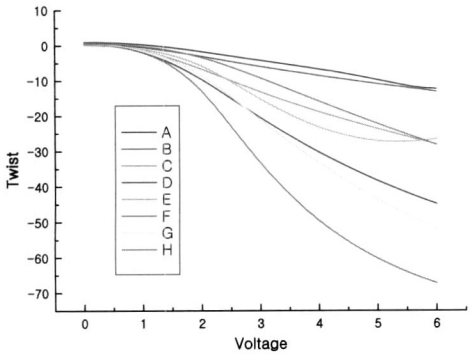
Fig. 4. Electric field and liquid crystal distribution profiles in the edge part.
(a) Response properties of the proposed structure
(b) Schemetic diagram of the edge part

위치	X	Y
A	12	87
B	12	92
C	13	93
D	14.5	94
E	16.5	93
F	17	91
G	14.5	90.5
H	13	89.5

(a) 측정좌표



(b) 에지부 측정점의 도표

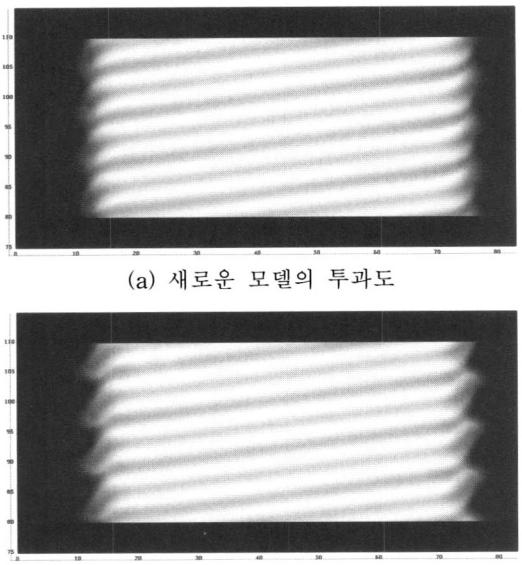


(c) 측정지점별 액정의 트위스트

그림 5. 제안된 모델의 에지부의 액정 트위스트 동작특성분석.

Fig. 5. Response of liquid crystal molecules in a proposed structure.
(a) Measured point
(b) The position of the measured point
(c) The twist of Liquid Crystal molecules according to each point

하였다. 그림 5의 (C)의 그래프에서 보이는 바와 같이 화소전극 가장자리 끝의 두 점 A와 B는 설계요소 b에 의해 발생되는 Ex 전계의 영향으로 트위스트의 변화가 크게 일어나지 않았다. 설계요소 a와 d에 의해 연장된 지점에 위치한 점H와 점C의 경우는 슬릿의 정상동작영역의 중심부 점E와 비슷한 트위스트를 보였으며, 설계요소 a와 d에 의해 연장이 시작되는 지점에 위치한 점D와 점G는 40° 이상의 좋은 트위스트를 나타내었다. 그림 5의 트위스트분석에서 한가지 주목할 점은 슬릿의 정상동작영역의 중심부의 점E의 트위스트가 5 V를 기점



(a) 새로운 모델의 투과도

(b) 기존 모델의 투과도

그림 6. 새로운 모델과 기존모델의 투과율 비교.

Fig. 6. Transmittances (a) of the proposed structure and (b) of the conventional structure.

으로 다시 감소하였다는 것이다. 해당 지점과 동일한 동작특성을 가지는 영역의 면적비를 고려하여 볼 때, 이 점의 투과율 변화는 전체 투과율에 상당한 영향을 미치게 될 것이며, 5 V를 전후하여 하나의 화소l에 대한 투과율의 변화를 예측하여 볼 수 있다. 실제 시뮬레이션을 수행하여 본 결과 기존의 모델과 새로운 모델 모두 전압이 5 V일 때 최대의 투과율을 나타냄을 확인할 수 있었다.

그림 6은 본 연구에서 제안한 모델과 기존 모델을 동일 조건, 동일 영역에서 시뮬레이션하여 최대 투과율을 보이는 5 V에서 계산된 투과도이다. 기존모델의 투과율은 23.9 % 새로운 모델의 경우 24.5 %로 기존대비 약 2.5 %의 투과율 증가를 보였다. 투과율의 데이터는 black matrix(BM)영역이 슬릿의 화소전극 가장자리 끝의 X좌표까지 설정된 동일 영역에서 추출한 것을 기준으로 하였다. BM 영역을 설정하지 않는 BMless가 가능할 경우 더욱 높은 투과율향상이 예상된다. 전극 가장자리 부위를 기준으로, 최대의 투과율을 보이는 5 V가 인가되었을 때, 기존 모델의 투과율은 10.65 % 새로운 모델은 13.54 %의 투과율을 보였으며 기존대비 27.13 %의 투과율 향상을 보였다. 데이타의 수치는 슬릿이 꺽여지는 두 모델의 동일 지점(설계요소의 "점ㅁ")을 기준으로 추출된 데이터이다.

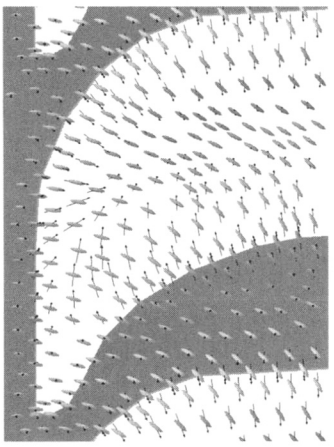
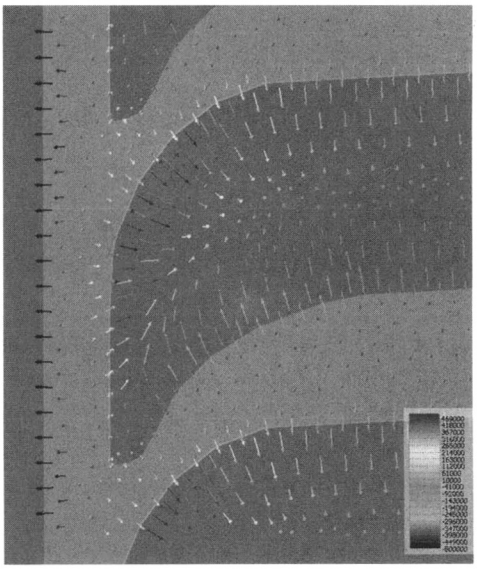


그림 7. 3°의 슬릿경사를 가지는 새로운 가장자리 구조의 전기장 및 액정분자 분포.

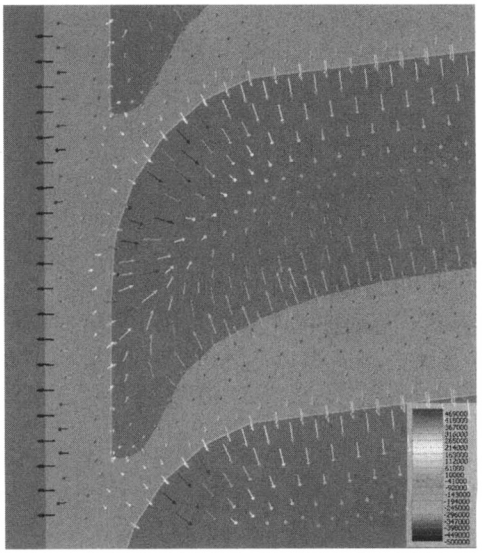
Fig. 7. Electric field and liquid crystal distribution profiles of the proposed pixel edge structure.

슬릿의 기울기 Θ에 따른 액정 디스플레이장치의 특성변화에 대하여 많은 연구가 이루어졌으며, 특히, FFS mode에서 작은 슬릿의 경사는 큰 액정의 트위스트를 유발하여, 슬릿중심부에서 좋은 투과율을 유도하는 것을 우리는 많은 연구자료들을 통해 알 수 있다. 슬릿의 경사Θ의 변화가 본 연구에서 제안되는 화소전극 가장자리 모델의 동작특성에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 Θ를 3°로 설정하여 시뮬레이션하고 두 모델을 비교하여 보았다. 화소전극 가장자리 부위의 구조는 현재까지 기존모델과 비교되었던 새로운 화소전극 가장자리 구조의 7°모델과 완전히 동일하며, 슬릿의 경사만 3°로 변화시켰다.

그림 7은 3°의 슬릿경사를 가지는 모델의 화소전극 가장자리 부분의 액정동작 및 전계분포이다. 7° 모델과 비교해 보았을 때, 정상동작영역과 유사한 액정의 트위스트를 보이는 영역이 증가하였으며, 전계역시 슬릿 중심부와 더욱 비슷한 경사로 휘어지고 있음을 볼 수 있다. 즉, 더욱 많은 화소전극 가장자리 부분의 액정이 정상동작영역과 유사한 동작을 하고 있다고 할 수 있다. 슬릿의 기울기 감소로 인한 정상동작영역 중심부의 트위스트는 2° 정도 증가하였으며, 특히, 액정의 동작이 매우 작았던 화소전극 가장자리 끝단에서 3°정도 트위스트가 더 일어남을 확인 할 수 있었다. 이러한 화소전극 가장자리부위의 액정동작 변화의 이유를 조금 더 자세히 관찰하기 위하여, 그림 8과 같이 두 모델의 화소전극 가장자리 부위의 전계를 시뮬레이션 하였다.



(a) 3°구조의 전계형성

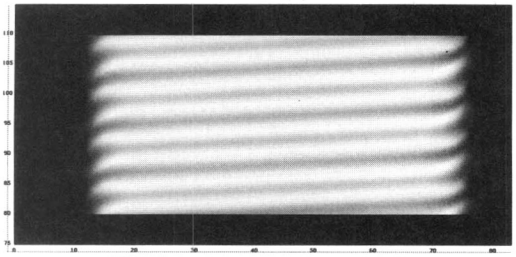


(b) 7°구조의 전계형성

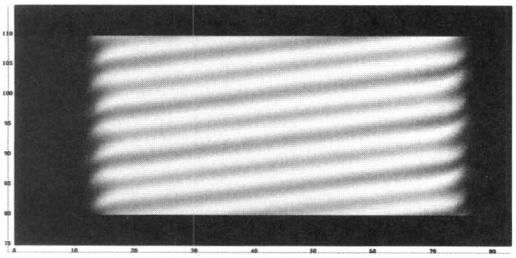
그림 8. 새로운 모델의 3°와 7°모델의 전계형성.

Fig. 8. Electric field distribution of the proposed structure with 3° and 7° slit angles.
(a) Proposed structure with 3° slit angle
(b) Proposed structure with 7° slit angle

그림 8은 각각 3°모델과 7°모델의 화소전극 가장자리 부위의 전계형성을 나타내고 있다. 화살표는 X, Y, Z축방향 전기장의 합벡터를 표현하고 있으며, 각 벡터의 색은 X방향의 전계의 크기를 나타낸다.



(a) 3°모델의 투과도



(b) 7 °모델의 투과도

그림 9. 3°와 7°모델의 투과도.

Fig. 9. Transmittances of 3° and 7° silt angles.
(a) Transmittance with 3° slit angle
(b) Transmittance with 7° slit angle

Y와 Z벡터는 분석결과 차이가 크게 나타나지 않았다. 즉, 화소전극 가장자리 부위의 변화를 발생시키는 요소는 X축방향 전계의 영향이라 할 수 있겠다. 그림과 같이 설계요소 a부근에서 7°모델이 더 넓은 영역의 +X방향의 전계성분을 가지고 있음을 알 수 있었으며, 설계요소 b의 부근 역시 7° 모델에서 -X방향의 전계성분이 보다 넓은 영역에서 발생하였다. 이러한 현상은 슬릿의 경사가 클수록 정상동작영역에서 나타나는 -X성분전계가 많이 발생하여 야기 되는 것으로 생각된다. 이러한 영향으로, 정상영역에서 발생하는 -X전계가 작은, 3° 모델에서, 그림 4의 (b)에 명시되어 있는, 전계가 모이는 지점 A가 7°모델보다 오른쪽으로 이동 되었으며, 이는 B영역에서 발생하는 전계의 휨 현상을 둔화시켰다. 이로 인하여 영역B의 전계가 7°모델보다 3°모델에서 정상동작영역과 유사해지고, 설계요소 a부근의 전계역시 X전계성분이 감소하여 정상동작영역과 더욱 흡사하게 동작을 하는 것으로 판단된다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 3°모델의 화소전극 가장자리 부위가 7°보다 조금 더 밝음을 알 수 있으며, 슬릿중간의 검정라인도 3°에서 훨씬 밝아짐을 확인 할 수 있다.

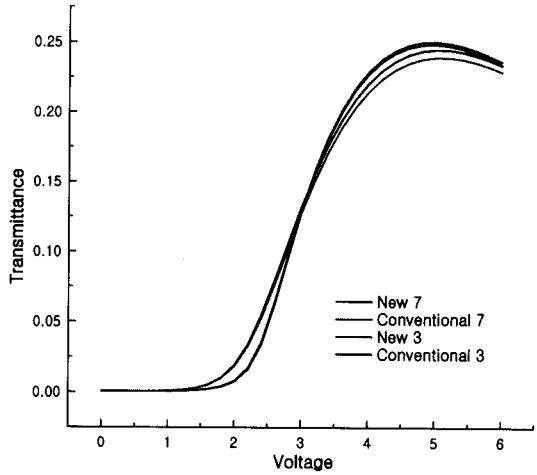


그림 10. 4가지 구조의 전압별 투과율.

Fig. 10. Transmittances of a pixel in the 4 pixel edge structures.

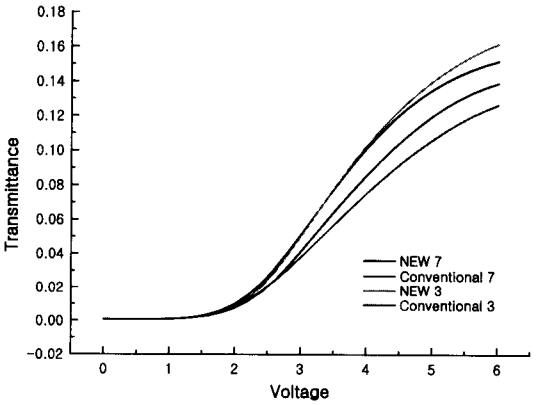


그림 11. 4가지 구조의 가장자리 부분의 전압별 투과율.

Fig. 11. Transmittances of the edge part in the 4 pixel edge structures.

상대적인 비교를 위하여 3°모델 7°모델, 그리고 새로운 모델과 기존 모델의 투과율을 그림 10에 표시하였으며, 그림 11에 4가지 모델의 전압별 화소전극 가장자리의 투과율을 나타내었다. 표 2는 시뮬레이션 영역에 5 V의 전압을 인가하였을 때의 투과율과 네 가지 모델의 화소전극 가장자리 부위의 투과율을 나타낸다. 화소전극 가장자리 부위는 앞에서 기술한 기준과 동일하게 설계요소의 점ㅁ을 기준으로 하였다.

표 2. 화소전극 가장자리 구조에 따른 화소내부에서의 최대 투과율 및 에지부에서의 투과율.

Table 2. Maximum transmittances within a pixel and transmittances of the edge part according to the pixel edge structure.

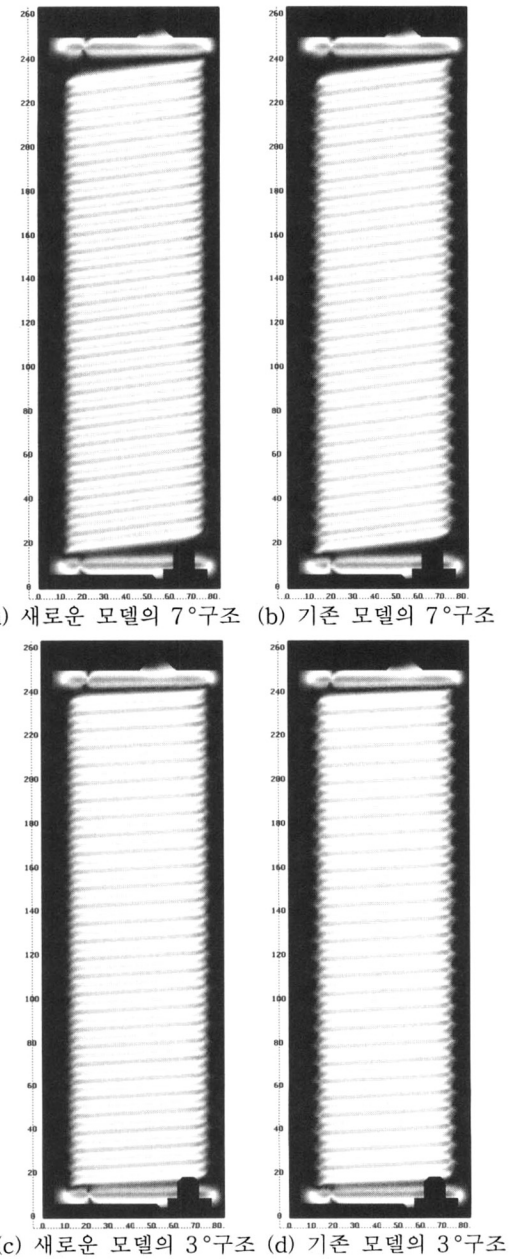
위 치	새로운 모드		기존 모드	
	New 7°	New 3°	Old 7°	Old 3°
화소내부	24.5	25.1	23.9	24.9
가장자리	13.542	14.031	10.652	12.013

투과율은 그림 10, 표 2와 같이 새로운 모델, 기존모델 모두 3°구조가 7°구조보다 높게 나왔으며, 3°구조에서 새로운 모델과 기존모델의 투과율 차이가 7°구조보다 작은 것으로 확인되었다. 이는 3° 구조에서 슬릿의 정상동작영역의 투과율 증가에 기인한 것으로 판단된다. 화소전극 가장자리 부위의 투과율은 그림 11과 표 2에 나타난 것처럼, 7° 구조에서 기존대비 27.13 %의 투과율 향상, 3°구조에서 기존대비 16.8 %의 증가를 보였다. 새로운 모드의 화소전극 가장자리 부위의 동작이 더욱 안정적이라는 것을 의미한다.

마지막으로 그림 12는 4가지 모델의 하나의 화소에 대하여 계산한 투과율이다. 새로 제안된 구조의 결과가 기존모델에 비하여 화소전극 가장자리 끝단에서 더욱 좋은 투과율을 보이고 있음을 그림 12를 통하여 확인할 수 있다. 투과율은 새로운 7° 모델의 4개의 화소전극 가장자리의 끝점을 기준으로 하여 동일 영역으로 설정하여 비교하였으며, 새로운 7°모델이 24.4 %, 기존의 7°모델이 22.8 %, 새로운 3°모델이 25.2 %, 기존의 3°모델이 23.7 %의 투과율을 보였다. 투과율 향상 측면에서는 7° 모델에서 6.87 %, 3°모델에서 6.13 % 개선되었음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 FFS모드에서 화소전극 가장자리 부의 안정적인 액정동작과 투과율 향상을 위해 화소전극의 가장자리 부위의 구조를 새로이 제시하였으며, 전계형성과 동작에 영향을 미치는 설계상의 네가지 요소를 정의하고, 3차원적 시뮬레이션을 통하여 그 효과를 확인하였다. 시뮬레이션 조건은 기존모델과 새로운 모델 모두 일반적으로 채용되고 있는 구조와 물성치를 사용하였다.



(a) 새로운 모델의 7°구조 (b) 기존 모델의 7°구조

(c) 새로운 모델의 3°구조 (d) 기존 모델의 3°구조

그림 12. 4가지 구조에서의 투과율.

Fig. 12. Transmittances according to the edge structure.
(a) New structure with slit angle of 7°
(b) Conventional structure with slit angle of 7°
(c) New structure with slit angle of 3°
(d) Conventional structure with slit angle of 3°

동일 조건으로 시뮬레이션된 기존모델과 새로 제안된 모델의 비교를 통하여 새로운 모델의 동적 안정성을 확인하였으며, 투과율 또한 화소당 기존대비 6 %이상, 화소전극 가장자리 부위에 국한하여서는 7°구조에서 기존대비 27.13 %, 3°구조에서는 기존대비 16.8 % 향상됨을 확인하였다. 이에 더하여, 7°모델과 3°모델의 비교분석을 통하여 새로 제안된 모델의 액정동작이 기존모델에 비하여 슬릿 경사의 영향을 덜 받으며, 더욱 안정적인 동작을 구현함을 알 수 있었다. 이러한 구조는 화소전극 크기가 작아질수록 그 효과가 증대함으로, 특히 소형 디스플레이장치에서 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 인하대학교의 지원에 의하여 수행 되었습니다.

참고 문헌

[1] M. S. Kim, S. M. Seen, Y. H. Jung, H. Y. Kim, S. Y. Kim, K. H. Lee, Y. J. Lim, and S. H. Lee, "Dynamic stability of liquid crystal depending on shape of pixel edge in the fringe field switching mode", JJAP, Vol. 44, No. 11, p. 8082, 2005.

[2] S. H. Lee, S. L. Lee, H. Y. Kim, and T. Y. Eom, "A Novel Wide-viewing-angle Technology: Ultra-trans View", SID'99, p. 202, 1999.

[3] 엄태용, 이승희, "고개구율 및 고투과율 액정표시장치", 대한민국특허청, 등록번호 10-0368988.

[4] 김미숙, 김향율, 이승희, "Fringe-field switching (FFS) 모드에서 액정의 유전율 이방성에 따른 동력학 안정성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 16권, 3호, p. 224, 2003.

[5] 신승민, 김미숙, 정연학, 김향율, 김서윤, "Fringe-field switching (FFS) 모드에서 잔상 정량화에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 18권, 8호, p. 720, 2005.

[6] 김미숙, 신승민, 정연학, 김향율, 김서윤, 이승희, "FFS 모드에서 러빙 방향에 따른 reverse twist 변화에 대한 연구", 전기전자재료학회논문지, 19권, 2호, p. 185, 2006.