Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol.11, No.4, pp. 306-313, 1998

LCD의 폴리이미드 배향막에서 Rubbing에 의한 분자배향에 관한 연구

11-4-9

A Study on Rubbing-induced Molecular Alignment on an Orientation Layer of Polyimide for Liquid Crystal Display

최승우*, 정재원**, 김승빈**, 황상만***, 천희곤*, 조동율*
(Seung-woo Choi, Jae-won Jung, Seung-bin Kim, Sang-man Hwang, Hui-gon Chun, Tong-yul Cho)

Abstract

To elucidate the liquid crystal (LC) molecules alignment mechanism, it is important to determine the molecular orientation of the rubbed polymer surface molecules that directly contact with LC molecules. In this work, the molecular orientation on a rubbed surface of polyimide (SE-3310, Nissan) film has been studied by polarized FTIR absorption spectroscopy. It has been found that molecular chain on the rubbed surface of polyimide film are oriented along the rubbing direction and are tilted up on an average by 5.0°. In the SHG (Second Harmonic Generation) measurement, the pretilt angle of molecular chain on the polyimide film was 4.6° from the surface plane. And the pretilt angle of liquid crystal (ZLI-2293, Merck) molecules measured by crystal rotation method was 5.4° in the same rubbing condition.

1. 서 론

최근, 평판표시장치의 대면적화와 고분해능에 대한 요구가 급격히 증가하고 있는 가운데 액정을 이용하여 이를 실현하기 위해, 대면적의 기판 위에 액정분자를 고르게 배향시키기 위한 기술이 연구되고 있다. 액정분자 배향을 위해 배향막으로써 폴리이미드(polyimide)를 러빙(rubbing)하는 방법이 대량생산, 대면적에 적용이 쉬운 점 등으로 인해 널리 사용되고 있다. 러빙 기술을 이용한 액정분자 배향에서의 pretilt angle은 배향막의 화학적 구조와 러빙 조건에 의해 영향을 받는 것으로 보고되고 있다[1]. 액정 cell 구동시 domain 형성에 의해 생기는 disclination을 막기 위해 액정분자의 pretilt angle을 조절하는 것이 중요하다. 액정분자의 정렬은 러빙에 의해 배향막 표면에 생긴 microgroove보다는 러빙에 의한 배향막 표면의 분자들의 배열에 의한 것으로 알려지고 있다[2,3,4]. 액정배향막은 액정 분자와 직접 접하고 있고 액정분자의 배향특성을 지배하므로 LCD에 있어서의 주요 재료로 생각되고 있으며, LCD 구동시에 발생하는 결함을 막기 위하여 pretilt angle을 형성시키는 알킬기 폴리이미드를 사용하는 것이 보편화되어 있으나, 그 화학구조와 액정배향의 메카니즘에 관해서는 명확하게 규명되지 못하고 있다.

폴리이미드의 화학적 구조는 일반적으로 두 부분으로 나누어진다. 하나는 원래의 main chain이고 다른 하나는 side chain으로 붙어있는 hydrocarbon branch이다[5]. 러빙에 의해 main chain은 액정분자를 한방향으로 배열시키는데 주요한 역할을 하고, side chain은 높은 pretilt angle을 형성한다고 보고되고 있다. 즉, 액정분자와 폴리머(PI) 분자간의 단거리 분자간 상호작용이 러빙된 폴리머에서 중요하다고 보고되고 있다[6].

* : 울산대학교 재료공학과
(대전시 대덕구 신일동 1694-5, Fax: 042-935-2259
E-mail : seung@genitech.etri.re.kr)
** : 포항공과대학교 화학과
*** : (주)삼성전관 LCD사업부
1997년 1월 13일 접수, 1998년 3월 31일 심사완료

본 연구에서는 알킬기 배향막의 표면을 관찰하여 폴리이미드 사슬의 pretilt angle과 액정의 pretilt angle의 관계를 통하여 액정의 배향에 관한 메카니즘을 고찰하고자 한다. 액정배향의 메카니즘을 밝히기 위해서는 액정과 직접 접촉하는 러빙된 폴리이미드 표면에서의 분자배향의 측정이 필요하다. SHG(Second Harmonic Generation)법을 이용하여 폴리이미드의 pretilt angle을 측정하였으며, Polarized FTIR Absorption Spectroscopy를 이용하여 폴리이미드 분자사슬의 pretilt angle과 평균적인 배열방향을 측정하고자 하였다. 액정의 pretilt angle과 폴리이미드의 pretilt angle을 같은 러빙 조건에서 비교하여 폴리이미드 분자사슬의 pretilt angle이 액정의 pretilt angle에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실 험

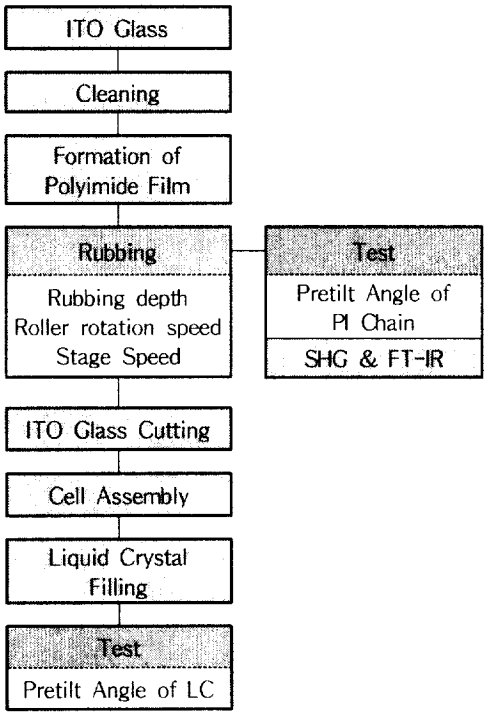


그림 1. 시편제작 순서도

Fig. 1. Flow chart of sample preparation

그림 1의 실험공정도에 따라 아래와 같이 시편을 준비하였다.

상용 폴리아믹산(SE-3310, Nissan Chemical Industries Ltd.)을 프린팅법으로 유리 위에 도포한 후 100℃에서 20분간 pre-curing하여 solvent를 제거한 후 275℃에서 10분간 main curing하여 이미드화시켰다. 이미드화 과정 후의 polyimide의 구조를 그림 2에 나타내었다.

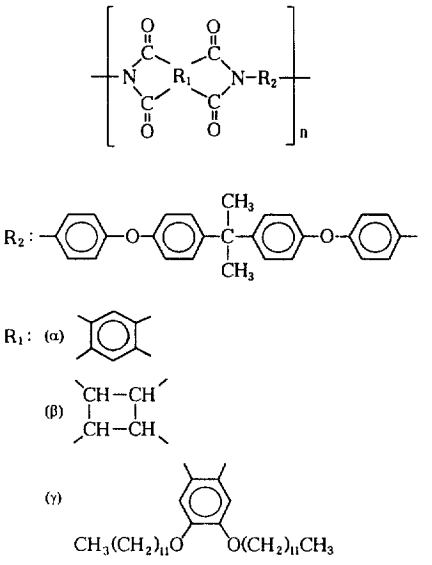


그림 2. 사용된 폴리이미드의 구조와 치환기

Fig. 2. Structure and substitutional group of polyimide in experiment

폴리이미드 형성 후의 이미드화율은 FTIR 분석 결과를 이용하여[7], 1500cm^{-1}에서의 벤젠고리 흡수피크를 기준으로 다른 흡수피크의 영향을 받지 않는 1380cm^{-1}에서의 imide 고리 흡수피크의 크기를 비교하여 결정하였으며[8], 이때 약 70%의 이미드화율을 얻었다. 제작한 폴리이미드 박막의 두께는 TENCOR社의 P-2 Long Scan Profiler를 사용하여 측정한 결과 60±5 nm이었다.

박막형성 후 폴리이미드 기판에 러빙 처리를 하였다. 러빙 기기는 (주) 飯沼 Gauge 製作所의 RLA3-3을 이용하였으며, 러빙 롤러의 직경은 130 mm이다. 식 (1)을 이용하여, 러빙조건에 따른 러빙강도를 구하였다[9].

$$RS = N \times L \times \left(\frac{2\pi rn}{60v} + 1 \right) \qquad (1)$$

여기서 N은 러빙횟수, L은 러빙천과 기판이 접한 길이(mm), r은 러빙 롤러의 반경(mm), n은 러빙롤

러의 회전속도(rpm), v는 시편의 이동속도(mm/sec)이다. L은 러빙 깊이(depth)로부터 삼각함수를 이용하여 계산한다. 러빙 조건은 러빙 깊이, 러빙 롤러의 회전속도, 테이블 이동속도(stage speed)를 변화시켰다. 러빙은 1회 행하였으며, 러빙 깊이는 0.5 mm, 이동속도는 30 mm/sec, 롤러 회전속도는 1000 rpm을 기준으로 하여 각각 하나의 조건만을 변화시키면서 실험하였다.

폴리이미드 박막 형성 후 러빙(러빙 깊이 ; 0.5 mm, 시편 이동속도 ; 30 mm/sec, 롤러 회전속도 ; 1000 rpm) 한 시편을 $2 \times 2\,cm^2$ 크기로 잘라서, SHG 기법[10), 11)]을 이용하여 폴리이미드 표면의 기판으로부터의 pretilt angle을 측정하였다.

동일조건으로 러빙된 샘플을 $3 \times 1\,cm^2$ 크기로 잘라서 FTIR 측정을 하였으며, 장비는 BOMEM社의 DA8 FT Spectrometer를 사용하였다. 측정은 1 torr의 진공상태에서 ATR Mode(seagull)에서 행하였으며, 매 측정시마다 ITO glass를 reference로 사용하였다. 편광판을 사용하여 선편광된 S파와 P파를 구별하여 측정하였으며, 러빙방향에 대해 입사빔의 방향이 수직 또는 평행할 수 있도록 시편을 준비하였다. 분석광의 기판에 대한 입사각은 1° 단위로 조정하여 측정하였다. 그림 3에 FTIR측정시의 빔의 경로를 기판에 대한 실험실 좌표(x, y, z)로 나타내고, S파와 P파를 나타내었다.

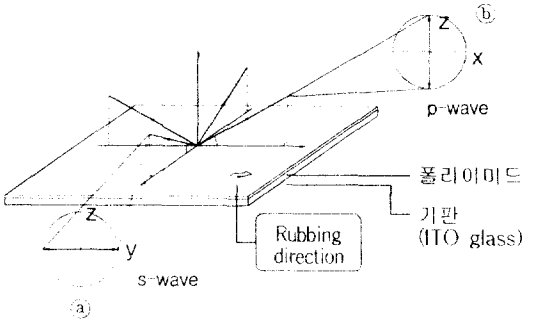


그림 3. 입사빔의 선편광방향과 각에 대한 실험실 좌표(x, y, z)

Fig. 3. Laboratory coordinate(x, y, z) for linearly polarized direction and angle of incident beam

그림 3의 ⓐ 방향에서의 s-wave와 ⓑ 방향에서의 s-wave를 비교하여 폴리이미드 사슬의 배열방향을 관찰하였다. ⓐ 방향에서 s-wave를 사용하여 폴리이미드 사슬의 pretilt angle을 구하기 위한 기준 피크인 carbonyl 기(C=O)의 결합방향의 평균분포를 구한 후, ⓑ 방향에서 p-wave를 사용하여 입사빔의 각도를 3° 에서 15° 로 변화시키면서 구한 스펙트럼을 이용하여 폴리이미드 사슬의 기판으로부터의 pretilt angle을 구하였다.

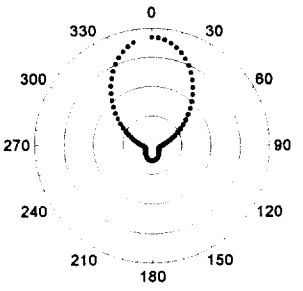
러빙 처리된 유리를 $4 \times 4\,cm^2$ 크기로 자른 후 두 장의 폴리이미드가 입혀진 유리사이에 두께 100 μm의 필름을 넣어 러빙방향이 반대방향이 되도록 겹친 후 액정을 주입하였다. 모세관 현상을 이용하여 ZLI-2293액정을 주입하였으며, 액정 주입 후 120℃에서 30분간 열처리하여 cell내에서 균일한 배향이 되도록 한 후, Crystal Rotation Method[12)]를 이용하여 액정의 pretilt angle을 측정하였다. 광원으로 파장 632.8 nm의 He-Ne Laser를 사용하였다. 두 개의 polarizer가 직교하면서 액정 cell과 $\pi/4$의 각을 이루게 하여 액정 cell을 회전시키면 투과도는 입사각의 함수로 나타나며, 이때의 투과도를 측정하여 graph를 그린 후, Scheffer와 Nehring[12)]의 식에 따라 경사각 θ를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

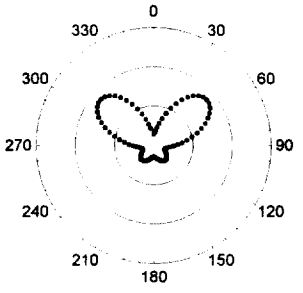
3-1. 폴리이미드의 Pretilt angle 분포

그림 4에 시편 회전에 따른 2차 고조파의 intensity변화를 나타내었다. 이는 역대칭(inversion symmetry)이 존재하는 물질의 내부에서는 나타나지 않는 비선형 특성이 역대칭이 깨어지는 표면에서 나타남을 이용하여, 역대칭이 깨어지는 물질의 표면에 높은 세기의 레이저 빔을 입사시킬 경우 입사 빔의 편광방향에 따른 2차 고조파가 발생하는 것을 측정하여 표면분자의 비선형 감수율을 유도하여, 배향막 표면에서 단분자층의 방향성 분포를 알아내는 방법이다. 시편을 회전시켜 방위각에 따른 2차 고조파의 intensity를 첫번째 polarizer와 두번째 polarizer에서의 편광 방향에 따라 각각 (a) P-in/P-out, (b) P in/S-out, (c) S-in/S-out에 대해 나타내었다. 검출된 데이터는 디지털 오실로스코프를 이용하여 평균화하고, 이로부터 비선형 감수율 텐서 성분을 추출하여서 구한 표면분자의 기판으로부터의 pretilt angle은 4.6° 이었다.

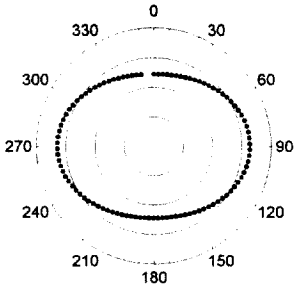
그림 5는 선편광된 빔을 사용하여 얻은 FTIR 스펙트럼이다. 1724 cm^{-1} band에서의 흡수피크는 C=O 결합의 stretching vibration에 의한 것이고, 1500 cm^{-1} band에서의 흡수피크는 conjugated C=C



(a) P-in/P-out



(b) P-in/S-out



(c) S-in/S-out

그림 4. 시편회전에 따른 2차 고조파의 Intensity

Fig. 4. Intensity of second harmonic beam with sample rotation

결합에 의한 피크이며, 1380 cm^{-1} band에서의 흡수피크는 conjugated C-N 결합에 의한 피크이고, 1240 cm^{-1} band에서의 흡수피크는 C-O-C 결합의 stretching vibration에 의한 피크임을 확인하였다[13].

그림 5의 (a)는 러빙방향과 평행하게 선편광된 빔을 사용하여 얻은 흡수 스펙트럼이고, (b)는 러빙방향에 수직하게 선편광된 빔을 사용하여 얻은 흡수 스펙트럼이다. (a)와 (b)의 스펙트럼이 다름을 알 수 있다. C=C 결합과 C-N 결합에 의한 흡수피크는 러빙방향과 평행하게 선편광된 빔을 사용하였을 때가 러빙방향에 수직하게 선편광된 빔을 사용했을 때보다 큰 피크를 보여주고 있다. C=O 결합에 의한 흡수피크는 러빙방향에 수직하게 선편광된 빔을 사용했을 때가 러빙방향에 평행하게 선편광된 빔을 사용했을 때보다 강하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

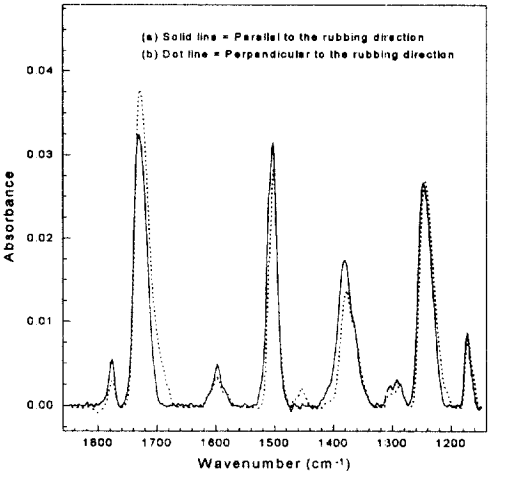


그림 5. 러빙된 폴리이미드 배향막의 FTIR spectra

Fig. 5. FTIR spectra of rubbed polyimide alignment layer

따라서, 러빙에 의해 벤젠고리의 분포(C=C 결합)와 imide 고리의 분포(C-N 결합)의 평균적인 방향은 러빙방향과 일치하고, carbonyl 기(C=O 결합)의 결합 방향은 러빙방향에 수직인 것을 확인하였다[3]. 따라서, 폴리이미드 사슬은 러빙에 의해 러빙방향에 평행하게 재배열됨을 확인하였다.

그림 6은 러빙방향에 수직한 방향으로 러빙방향과 평행하게 선편광된 빔의 입사각을 기판으로부터 10°, 20°, 40°, 60°로 변화시켰을 때 얻은 스펙트럼이다.

그림 7에 입사각에 따른 흡수피크 중 C=C 결합, C-N 결합, C-O-C 결합에 대한 C=O 결합의 relative intensity 비를 나타내었다. 각각의 relative intensity 비는 입사각이 60° 에서 10° 로 감소함에 따라 커지는 경향을 나타내는데, 이는 carbonyl 기(C=O 결합)의 결합방향이 10° 이하로 분포되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

Carbonyl 기의 평균적인 결합방향은 러빙방향에는 수직으로, 기판에 대해서는 평행하게 배열하고 있으므로, 러빙방향과 같은 방향에서 기판에 수직하게 편광된 빔을 사용하여 입사각을 조절할 경우에는 입사각에 따른 intensity 변화가 최소화될 것으로 사료된다.

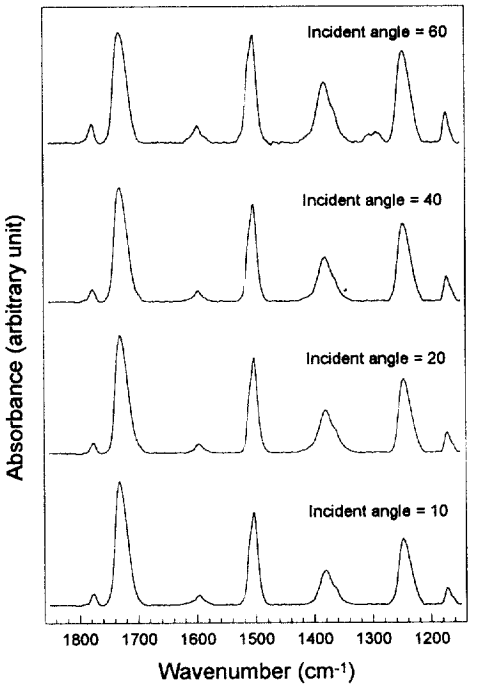


그림 6. 러빙된 폴리이미드 배향막의 FTIR spectra (그림 3의 ⓐ방향의 s-wave의 입사각 (10° ~60°)에 따른 변화)

Fig. 6. FTIR spectra of rubbed polyimide alignment layer (Variation of incident angle (10° ~60°) with s-wave in ⓐ direction of Fig. 3)

그림 8은 기판에 수직한 방향으로 선편광된 빔을 러빙방향과 평행한 방향으로 입사시켰고, 입사각을 기판으로부터 3° , 5° , 10° , 15° 로 하였을 때의 스펙트럼을 나타내었다.

그림 9(a)에 각각의 입사각에서 얻은 스펙트럼에서 carbonyl 기(C=O)의 흡수피크에 대한 벤젠고리(C=C 결합), imide 고리(C-N 결합), 벤젠고리를 연결하는 C-O-C 결합의 흡수피크의 relative intensity 비를 나타내었다. 입사각이 5° 일 때 기준으로 정한 C=O 결합의 흡수 피크에 대한 벤젠고

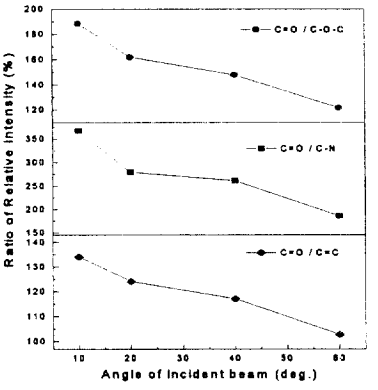


그림 7. 입사각의 변화에 따른 피크의 relative intensity 비 (그림 3의 ⓐ방향의 s-wave의 입사각(10° ~60°)에 따른 변화)

Fig. 7. Ratio of relative intensity by variation of incident angle (Variation of incident angle (10° ~ 60°) with s-wave in ⓐ direction of Fig. 3)

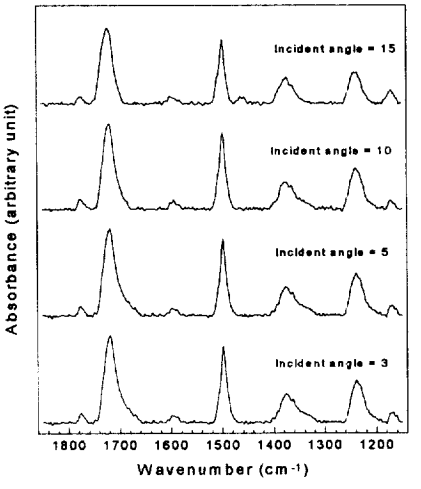


그림 8. 러빙된 폴리이미드 배향막의 FTIR spectra (그림 3의 ⓑ방향의 p-wave의 입사각 (3° ~15°)에 따른 변화)

Fig. 8. FTIR spectra of rubbed polyimide alignment layer (Variation of incident angle (3° ~15°) with p-wave in ⓑ direction of Fig. 3)

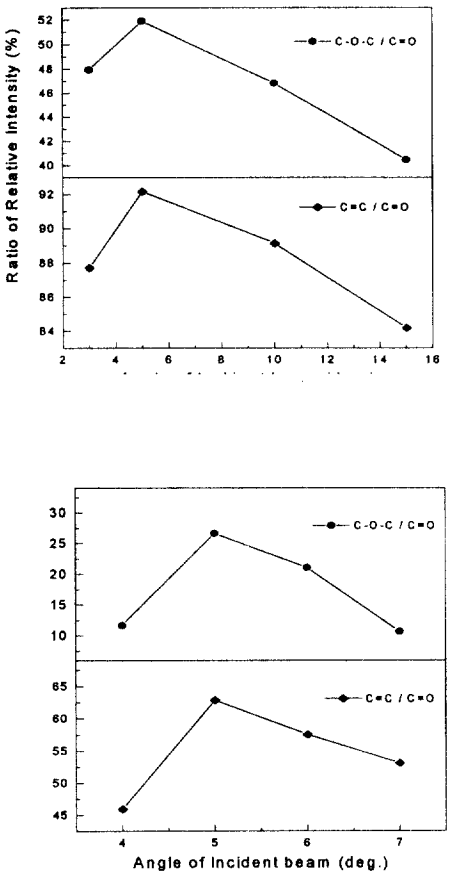


그림 9. 입사각의 변화에 따른 피크의 Relative Intensity 비 (a)그림3의 ⓑ방향의 p-wave의 입사각(3° ~15°)에 따른 변화 (b) 그림 3의 ⓑ방향의 p-wave의 입사각(4° ~7°)에 따른 변화

Fig. 9. Ratio of relative intensity by variation of incident angle (a) Variation of incident angle(3° ~15°) with p-wave in ⓑ direction of Fig. 3 (b) Variation of incident angle(4° ~7°) with p-wave in ⓑ direction of Fig. 3

리의 흡수피크와 벤젠고리를 연결하는 C-O-C 결합의 흡수피크의 relative intensity 비가 가장 높은 것을 알 수 있었다.

입사각의 범위를 4° 에서 7° 까지 1° 단위로 변화시켜 측정한 흡수 스펙트럼에서 C=O 결합의 흡수피크에 대한 벤젠고리의 흡수피크의 relative intensity 비를 그림 9 (b)에 나타내었다. C=O 결합의 흡수피크에 대한 벤젠고리의 흡수피크와 벤젠고리를 연결하는 C-O-C 결합에 의한 흡수피크의 relative intensity 비는 입사각이 5° 일 때 가장 높은 것을 확인하였다. 따라서, 러빙에 의해 벤젠고리의 분포는 평균적으로 기판으로부터 5.0° 로 기울어져서 재배열되어 있음을 알 수 있었다. 단, 이것은 모든 폴리이미드의 벤젠고리의 배열방향이 러빙에 의해 기판으로부터 5.0° 로 분포하고 있는 것은 아니며, 기판으로부터 5.0° 근방에 평균적으로 많은 벤젠고리의 배열방향이 형성되어 있음을 말해준다.

SHG 법으로 측정한 폴리이미드 사슬의 pretilt angle(4.6°)과 비교해 볼때, FTIR로 측정한 벤젠고리의 배열방향은 폴리이미드 사슬의 pretilt angle으로 표현될 수 있을 것으로 사료된다.

3-2. 액정분자의 pretilt angle

러빙 깊이, 롤러 회전속도, 시편 이동속도를 변화시키면서 각각의 조건을 식 (1)에 대입하여 rubbing strength로 바꾼 후 그에 따른 pretilt angle의 변화를 그림 10에 나타내었다.

◇는 러빙 깊이, ＋는 러빙롤러의 회전속도, ×는 시편의 이동속도의 변화를 나타낸다. 3개의 기호가 만나는 점(❖)은 기준 조건으로 러빙 깊이 ; 0.5 mm, 롤러 회전속도 ; 1000 rpm, 시편 이동속도 ; 30 mm/sec 일 때의 결과이다. SHG 측정과 FTIR 측정에 사용한 것과 같은 러빙 조건(러빙 깊이 ; 0.5 mm, 롤러 회전속도 ; 1000 rpm, 시편 이동속도 ; 30(mm/sec) 의 polyimide 배향막에서의 액정의 pretilt angle은 4.8° 이었다. 러빙 조건에 따라 액정분자의 pretilt angle은 큰 변화를 보였다. 러빙 깊이가 0.5 mm일 때, 롤러 회전속도가 600 rpm에서 1500 rpm 까지 증가함에 따라 액정분자의 pretilt angle은 4.3° 에서 5.2° 까지 증가 후 4.7° 로 감소하였다. 러빙 깊이 0.3 mm, 롤러 회전속도 1000 rpm, 시편 이동속도 30 mm/sec의 러빙 조건에서 5.4° 로 가장 높은 pretilt angle이 구해졌다. 러빙 강도가 낮을 때에는 배향막 표면 분자의 불균일 배열로 인해 액정의 pretilt angle이 낮다고 생각되어진다. 러빙 강도가 3000 mm 근방에서 가장 높은 pretilt angle이 구해졌으며, 각 parameter의 영향이 rubbing 강도로 표현되는 하나의 parameter에 의해 임의적으로 기술될 수 있다는 것을 실험결과로부터 알 수 있었다. 이는 러빙 깊이의 변화, 러빙 롤러

의 회전속도의 변화에 따른 pretilt angle의 변화가 증가, 최대, 감소의 그래프를 나타내고 있기 때문에 적절한 러빙 깊이와 러빙 롤러의 회전속도에 의해 분자표면에 생기는 분자배열이 바뀔 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 러빙 강도가 더욱 증가함에 따라 pretilt angle이 감소하기 시작하며, 러빙 강도 4000 mm 이상에서는 일정한 값이 유지되는데, 이는 표면에 강한 물리적인 힘이 가해짐으로 인해 폴리이미드 표면의 사슬이 낮은 pretilt angle을 가지게 되는 것으로 사료된다.

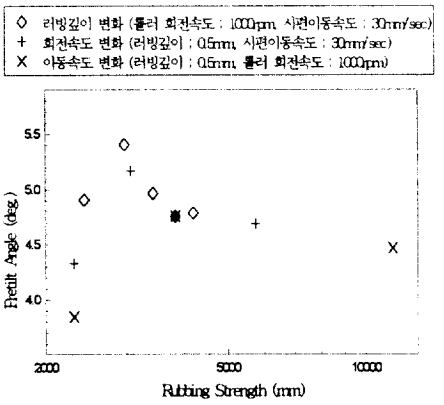


그림 10. Rubbing strength에 따른 액정분자의 pretilt angle

Fig. 10. Pretilt angle of liquid crystal molecules with rubbing strength.

3-3. 배향막의 액정분자 배향 메카니즘

동일한 러빙 조건(러빙 깊이 ; 0.5 mm, 이동속도 ; 30 mm/sec, 롤러 회전속도 ; 1000 rpm)의 시편에서 구한 액정과 폴리이미드 사슬의 표면 pretilt angle을 표 1에 나타내었다.

러빙된 폴리이미드 표면을 Linearly Polarized Beam FTIR로 분석한 결과, 폴리이미드 분자사슬은 러빙 방향으로 평행하게 배열하고 있는 것을 확인하였으며, 벤젠고리에 의한 흡수피크와 벤젠고리를 연결하는 C-O-C 결합에 의한 흡수피크의 carbonyl 기의 흡수피크에 대한 강도는 5° 에서 가장 높게 나왔다. 이는 기판으로 부터 5.0° 의 pretilt angle을 이루는 벤젠고리의 배향이 가장 많은 것으로 사료되며, 동일 러빙 조건에서 SHG 법으로 측정한 폴리이미드 표면에서의 pretilt angle이 4.6° 인 것으로 미루어 볼 때, 폴리이미드 벤젠고리의 배열이 폴리이미드 분자사슬의 pretilt angle을 이루는 분자배열로 사료된다. 따라서, 러빙에 의해 폴리이미드 분자사슬은 기판으로부터 경사를 이루며 러빙 방향으로 재배열되는 것을 확인하였다. 폴리이미드 사슬과 액정분자간의 상호인력(van der Waals force)에 의해 액정분자는 폴리이미드 사슬을 따라 배열하고 폴리이미드 사슬과 액정분자간의 배제체적을 최소화하는 방향으로 액정분자의 pretilt angle이 생기는 것으로 사료된다. 표면에서 관찰된 사슬의 재배열은 벤젠고리의 배열을 관찰하여 얻은 결과이므로, 액정분자를 일정하게 배향되도록 유도하는 힘은 사슬을 이루고 있는 벤젠고리에 의한 이방성 분산력에 의한 것으로 추정된다.

표 1. 액정의 pretilt angle과 폴리이미드 사슬의 pretilt angle

Table 1. Pretilt angle of liquid crystal and polyimide chain

	Liquid Crystal	Polyimide	
Method of Measurement	Crystal Rotation	SHG	FTIR
Pretilt angle	4.8°	4.6°	5.0°

폴리이미드 사슬의 pretilt angle을 액정분자의 pretilt angle과 비교해 볼 때 정확하게 일치하지는 않고 다른 이유는 액정배향막으로 사용한 폴리이미드 내의 side chain에 의한 것과 폴리이미드 사슬의 pretilt angle 측정시의 측정한계에 의한 것으로 사료된다. 즉, 폴리이미드 표면의 side chain이 main chain과 다른 pretilt angle을 가짐으로 인한, side chain과 액정분자간의 입체구조적 영향(steric effect)때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

러빙된 배향막 폴리이미드 사슬의 pretilt angle은 SHG 분석을 통하여 기판으로부터 4.6° 로 들려 있음을 알 수 있었으며, 동일 러빙 조건에서 액정분자의 pretilt angle은 4.8° 임을 확인하였다.

러빙된 폴리이미드 표면을 Linearly Polarized Beam FTIR로 분석한 결과, 폴리이미드 분자사슬은 러빙방향으로 평행하게 배열하고 있었으며, 기판으로부터 5.0° 의 pretilt angle을 이루는 벤젠고리의 배향이 가장 많은 것으로 나타났다. 동일 러빙 조건에서 SHG 법으로 측정한 폴리이미드 표면에서의

pretilt angle이 4.6° 인 것으로 미루어 볼때, 폴리이미드 벤젠고리의 배열이 폴리이미드 분자사슬의 pretilt angle을 이루는 분자배열로 사료된다. 따라서, 러빙에 의해 폴리이미드 분자사슬은 기판으로부터 경사를 이루며 러빙방향으로 재배열되는 것을 확인하였으며, 폴리이미드 분자사슬의 pretilt angle이 액정분자의 pretilt angle에 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있었다.

폴리이미드 사슬과 액정분자 간의 상호인력에 의해 액정분자는 폴리이미드 사슬을 따라 배열하고 폴리이미드 사슬과 액정분자간의 배제체적을 최소화하는 방향으로 액정분자의 pretilt angle이 생기는 것으로 사료된다. 즉, 러빙된 폴리이미드 표면의 사슬의 배향방향과 사슬을 이루는 물질의 종류에 따라 액정의 배향이 결정될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. D. S. Seo, S. Kobayashi, D. Y. Kang and H. Yokoyama, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **34**, 3607 (1995).
2. S. Ishihara, H. Wakemoto, K. Nakazima and Y. Matsuo, *Liq. Cryst.*, **4**, 669 (1989).
3. E. S. Lee, T. Miyashita and T. Uchida, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, L1339 (1993).
4. E. S. Lee, Y. Saito and T. Uchida, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, L1822 (1993).
5. H. Fukuro and S. Kobayashi, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **163**, 157 (1988).
6. J. M. Geary, J. W. Goodby, A. R. Kmetz and J. S. Patel, *J. Appl. Phys.*, **62**, 4100 (1987).
7. J. A. Kreuz, A. L. Endrey, F. P. Gay and C. E. Sroog, *J. Polym. Sci.*, **A-1, 4**, 2607 (1966).
8. C. A. Pryde, *J. Polym. Sci.*, **A27**, 711 (1989).
9. T. Uchida, M. Hirano and H. Sakai, *Liq. Cryst.*, **5**, 1127 (1989).
10. M. Barmentlo, N. A. J. M. van Aerle, R. W. J. Hollering and J. P. M. Damen, *J. Appl. Phys.*, **71**, 4799 (1992).
11. M. B. Feller, W. Chen and Y. R. Shen, *Phys. Rev.*, **A43**, 6778 (1991).
12. T. J. Scheffer and J. Nehring, *J. Appl. Phys.*, **48**, 5, 1977 (1983).
13. Hatsuo Ishida, Stephen T. Wellinghoff, Eric Baer and Jack L. Koenig, *Macromolecules*, **13**, 826 (1980).