

LCD 제조용 러빙포 물성에 따른 러빙된 폴리이미드 배향막의 특성 및 러빙효과 분석

안홍준 · 이장주 · 안종수* · 박경철* · 노재규** · 유동연** · 백상현†

경희대학교 화학공학과, *(주) 영도벨벳, **(주) 하이퍼플렉스

(2011년 1월 10일 접수, 2011년 3월 30일 수정, 2011년 4월 25일 채택)

Analysis of Properties of Rubbed Polyimide Alignment Layer and Rubbing Effect of Various Rubbing Cloths for LCD Fabrication

Hong-Jun Ahn, Jang-Ju Lee, Jong-Soo Ahn*, Kyung-Chul Park*,
Jae-Gyu Noh**, Dong-Yeon Yoo**, and Sang-Hyon Paek†

Department of Chemical Engineering, Kyung Hee University

1, Sucheon-dong, Yongin-si, Gyeonggi-do 446-701, Korea

*Youngdo Velvet, 168-5 Simi-Dong, Gumi, Gyeongsangbuk-do, Korea

**Hyperflex, 1-1 Industrial Complex, Bongsan-ri,

Sandong-Meon, Gumi, Gyeongsangbuk-do, Korea

(Received January 10, 2011; Revised March 30, 2011; Accepted April 25, 2011)

초록: 러빙공정에서는 러빙 시 공정변수와 배향막의 특성 그리고 러빙포의 물성이 중요한 변수로 작용한다. 이러한 변수들은 러빙밀도(rubbing density)와 러빙력(rubbing force)에 의해서 결정되는 러빙된 정도(크기)를 통하여 배향막의 배향성에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 러빙 변수 중 러빙포의 물성이 러빙밀도(길이)와 러빙력에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위하여 다른 물성(파일 밀도, 강직도)을 가지는 러빙포를 이용하여 러빙효과(정도)를 분석하였다. 러빙포의 파일 밀도가 커지고 강직도가 강할수록 러빙된 배향막의 이방성과 표면조도가 커졌으나 러빙 효과의 형태는 서로 달랐다. 러빙포의 파일밀도는 러빙에 관여하는 파일의 수와 밀접한 관련이 되어 있어 러빙하는 밀도(길이) 영향을 미치지만 강직도는 러빙밀도(길이)보다는 러빙력과 보다 밀접하게 관련성이 있었다.

Abstract: In rubbing process, process factors, the properties of alignment layer and the physical properties of rubbing cloth have acted as important variables. These factors affect the orientation properties of the alignment layer by rubbed extent that is determined by rubbing density and rubbing force. In this work, we studied the effects of rubbing cloths with different pile density and rigidity on rubbing density (length) and rubbing force. As the pile density and rigidity of rubbing cloths increased, the birefringence and the surface roughness of the rubbed alignment layers became bigger, but the characteristics of rubbing-effect had differed each other. The pile density of rubbing cloths which was related with the number of pile, affected the rubbing density (length). On the other hand, the pile rigidity of rubbing was closely related to rubbing force rather than the rubbing density (length).

Keywords: rubbing cloth, alignment layer, pile density, birefringence, rubbing effect.

서 론

Liquid crystal display (LCD)의 구동을 위해서는 일정한 한 방향으로의 균일한 액정(liquid crystal) 배향(alignment)이 요구된다. 이러한 액정배향을 유도하는 가장 보편적인 방법으로 친을 이용한 러빙방법이 사용되고 있다. 러빙은 레이온 또는 면으로 구성된 벨벳 형태의 러빙포가 감긴 롤러를 회전시켜 고분자(일반적으로 폴리이미드) 배향막이 코팅된 기판 위를 일정한 한 방향으로 끌고 지나가게 하는 방법으로 진행된다.

지금까지의 러빙공정에 관한 연구는 러빙 깊이(pile impression)¹⁻⁵ 롤러의 회전 속도⁶ 기판의 이동속도⁷ 러빙 횟수^{1,8,9} 등의 여러 공정자체 변수가 러빙배향에 주는 영향을 중심으로 이루어졌다. 이러한 연구에서 러빙세기(rubbing strength), 러빙밀도(rubbing density), 러빙력(rubbing force) 등이 개별적으로 정의되고 이를 이용하여 러빙의 정도를 정량화하였다. 하지만, 앞에서 언급된 러빙공정 변수들 이외에도 러빙공정은 러빙포 파일의 밀도, 강직도, 기모각도, 길이, 마찰력 등 러빙포의 물성/특성에도 상당한 영향을 받을 것으로 예상되나, 이에 대한 구체적인 연구는 아직까지 이루어지지 않고 있는 상황이다.

본 연구에서는 러빙포가 가지는 물성인 파일밀도와 강직도를 러빙포

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: shpaek@khu.ac.kr

제조 조건을 조절하여 다르게 구현하고 이들 물성이 러빙 시 실제 LCD 공정에서 액정 배향막으로 사용되고 있는 폴리이미드 막과 러빙공정에 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 이를 통하여 러빙포의 물성이 러빙된 배향막의 특성과 러빙효과(정도)에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

실 험

재료. 본 연구에 사용한 러빙포의 섬유는 셀룰로오스 아세테이트를 알칼리로 표면 부분을 가수분해시켜 레이온으로 개질한 것으로, 러빙포의 지조직의 밀도와 제작공정을 달리하여 러빙포 단위 면적당 파일의 수, 즉 파일밀도를 다양하게 구현하였다. 러빙포 제작 시, 파일의 강직도를 높이기 위하여 수용성 지지체를 러빙포의 지조직의 후면으로부터 코팅을 하는데, 러빙포 지조직 및 파일의 건조 정도를 다르게 하여 지지체의 코팅 두께를 변화시킴으로써 파일의 강직도를 제어하였다.

러빙 배향막으로는 250 °C에서 이미드화된 폴리이미드(Nissan Chemical사의 SE-1691)가 사용되었다.

러빙포의 물성 측정. 러빙포의 파일밀도와 파일의 직경, 그리고 지조직 후면에 코팅된 지지체의 두께는 SEM(Hitachi 사의 TM3000)을 이용하여 측정하였고, 파일의 기계적 물성은 UTM(Instron model-5844) 장치의 압축모드에 의한 strain-stress 특성과 6.1 kPa의 압력에 의하여 파일이 압축된 정도(길이)를 측정하여 비교하였다.

러빙 및 러빙 토크 측정. 러빙깊이(rubbing depth 또는 pile impression)를 0.01 mm까지 정밀하게 조절할 수 있는, 롤러의 지름이 130 mm인 자동 러빙기를 이용하여, 각각의 러빙포로 폴리이미드 배향막을 러빙깊이 0.30 mm, 롤러의 회전속도 1000 rpm과 배향막 기판의 이동속도 160 cm/min인 조건에서 1회 러빙하였다.

러빙포의 물성에 따른 러빙력의 변화를 관찰하기 위하여 러빙기에 걸리는 토크를 Mitsubishi사의 서보모터(HC-KFS23)와 Omron사의 계측기(K3MA-J)를 사용하여 측정하였다.

배향막의 분석. 러빙에 의해 폴리이미드 배향막 분자(또는 사슬)는 러빙 방향으로 재배열되는데, 이에 따른 배향막의 이방성은 Figure 1과 같이 구성된 photoelastic modulator(PEM) 장치를 이용하여 광학적으로 측정하였고 그 정도는 배향막의 phase retardation의 크기로써 결정하였다.

러빙된 배향막의 표면형상의 변화는 러빙 전·후의 배향막 표면의 AFM 이미지를 통하여 분석하여 확인하였다. Veeco사의 D-3100

를 사용하여 tapping 모드로 10 μm×10 μm 크기의 AFM 이미지를 얻었고, RMS 표면조도(surface roughness)를 구하였다.

결과 및 토론

러빙포의 물성 분석. 본 연구에서는 두 가지의 다른 물성(파일밀도, 파일강직도)을 가지는 러빙포를 연구하였다. 첫 번째는 40000 ea/cm²의 파일밀도를 가지는 러빙포에 대하여 지조직과 파일의 건조율을 다르게 한 다음, 수용성 지지체를 지조직의 후면으로부터 코팅하여 건조율에 따른 수용성 지지체의 침투도를 다르게 하였다.

Figure 2의 SEM 이미지에서 볼 수 있듯이 지조직의 코팅층의 건조율이 낮을수록 파일에 흡수되는 지지체의 정도가 감소됨으로써 지지체의 전체 코팅 두께가 75, 90, 125 μm로 점점 증가됨을 알 수 있다.

두 번째는 지지체 층의 두께를 75 μm로 일정하게 하고 지조직의 밀도와 파일의 직경을 다르게 하여 파일밀도가 32000, 40000, 47000과 53000 ea/cm²인 러빙포를 제작하였다. 32000과 40000 ea/cm²에 사용된 파일은 2.55 denier, 그리고 47000과 53000 ea/cm²에 사용된 파일은 2.31 denier였는데, SEM 이미지 측정결과 파일의 직경은 각각의 경우 19와 15 μm로 나타났고 위에서 제작한 4개의 러빙포의 파일밀도가 제대로 구현되었음을 확인했다(Figure 3).

러빙 시 러빙포의 파일이 받는 압력이 파일에 어떠한 영향을 주는지 확인하기 위하여 파일에 일정한 압력(6.125 kPa)을 가한 후 파일이 압축된 정도를 압축 전·후의 파일의 길이를 통하여 조사하였다. 다른 파일밀도를 가지는 러빙포의 경우(Figure 4 참조), 압축 전의 러빙포의 전체 파일의 길이는 모두 1.80 mm로 동일하였는데, 6.125 kPa의 압력이 가해진 후의 파일이 압축된 정도, 즉 파일이 줄어든 길이는 파일밀도가 감소할수록 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 러빙포의 파일밀도가 증가할수록 힘에 외부 압력에 대응하는 파일의 수가 많아짐으로써 파일당 받는 압력이 줄어들기 때문이다.

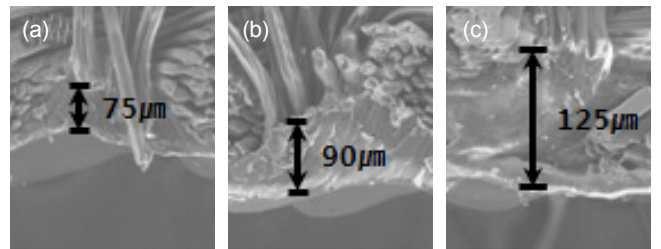


Figure 2. Coating thickness of a back supporting layer for piles with (a) high; (b) medium; (c) low dryness.

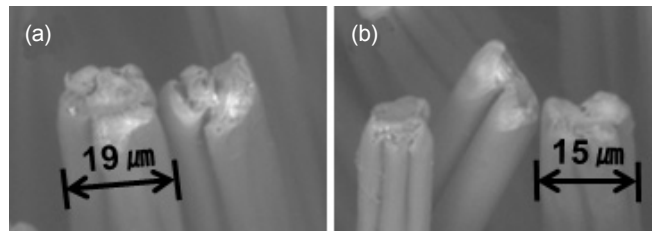


Figure 3. Pile diameter of rubbing cloths with (a) 2.55 denier (32000 ea/cm², 40000 ea/cm²); (b) 2.31 denier (47000 ea/cm², 53000 ea/cm²).

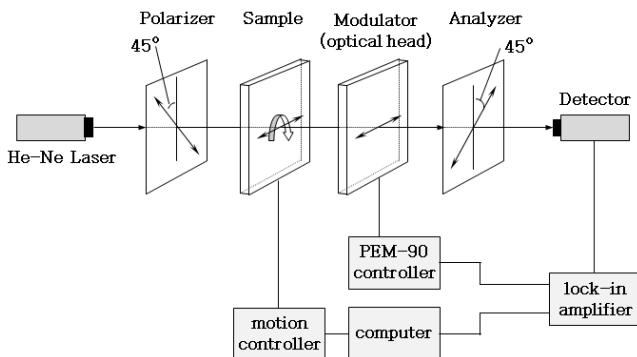


Figure 1. Schematic setup of a photoelastic modulator(PEM) system used for measurement of phase retardation.

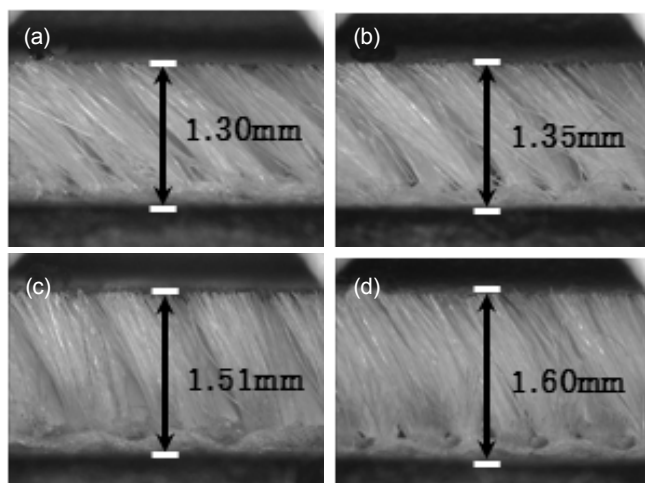


Figure 4. Pile length after applying a constant pressure of 6.125 kPa for rubbing cloths with pile density of (a) 32000 ea/cm²; (b) 40000 ea/cm²; (c) 47000 ea/cm²; (d) 53000 ea/cm².

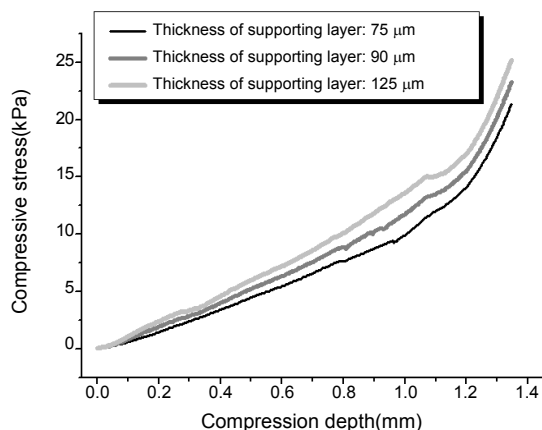


Figure 5. Compressive strain–stress curves for rubbing cloths with various thicknesses of the back supporting layer.

지지체의 코팅 두께가 다른 러빙포의 경우에는, 코팅된 지지체의 두께가 증가할수록 입력에 의해 파일이 압축되는 정도가 감소하였는데, 이것은 지지체 층이 두꺼워질수록 파일의 강직도가 증가된 것에 의한 것으로 볼 수 있다. Figure 5에 나타난 압축 모드에서의 strain–stress 결과에서도 지지체 층이 두꺼워질수록 파일의 강직도가 증가한다는 것을 재확인할 수 있다.

러빙포 물성에 따른 배향막의 특성 변화. 러빙 시, 러빙포 파일의 shear 응력(stress)에 의해 고분자 배향막의 분자가 또는 주사슬이 러빙 방향으로 배향(orientation)하게 되고 이에 따라 러빙된 배향막은 미세한 이방성을 띠게 된다

Table 1은 상이한 물성을 가지는 러빙포에 의하여 러빙된 폴리이미드 배향막의 이러한 이방성을 PEM 장치를 이용하여 광학적으로 정밀하게 측정하여 복굴절(birefringence)로 나타낸 결과이다. 러빙포의 파일밀도와 파일의 강직도가 증가할수록 러빙에 의해 발생된 배향막의 복굴절률이 커진다. 이것은 파일의 밀도와 강직도가 증가할수록 러빙된 정도가 커져서 배향막의 분자가 러빙 방향으로 배향되는 비율이 증가한다는 것을 나타낸다.

Table 1. Birefringence of SE-1691 Layer Rubbed by Various Rubbing Cloths

Property of rubbing cloth		Birefringence
Pile density (ea/cm ²)	Thickness of back supporting layer (μm)	
32000	75	0.0040
40000	75	0.0055
47000	75	0.0062
53000	75	0.0075
40000	75	0.0055
40000	90	0.0068
40000	125	0.0112

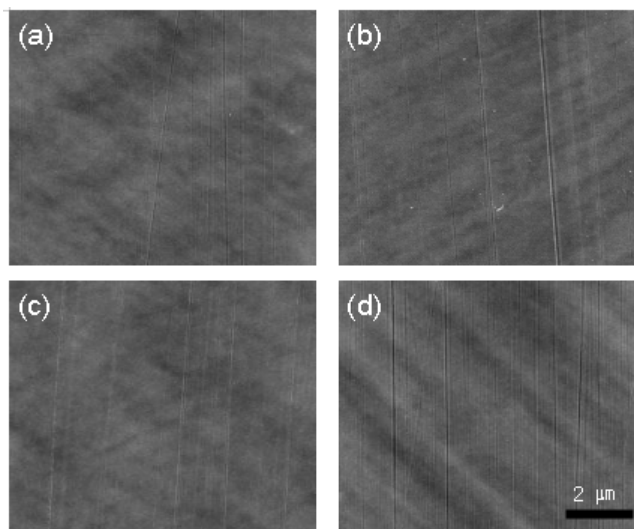


Figure 6. AFM surface topography of SE-1691 layer rubbed by rubbing cloths with pile density of (a) 32000 ea/cm²; (b) 40000 ea/cm²; (c) 47000 ea/cm²; (d) 53000 ea/cm².

Table 2. AFM Surface Roughness of SE-1691 Layer Rubbed by Various Rubbing Cloths

Property of rubbing cloth		RMS surface roughness (nm)
Pile density (ea/cm ²)	Thickness of back supporting layer (μm)	
32000	75	0.735
40000	75	0.758
47000	75	0.761
53000	75	0.770
40000	75	0.758
40000	90	0.809
40000	125	0.897

Figure 6에 나타난 러빙된 배향막의 표면의 AFM topography 결과에서 볼 수 있듯이, 파일밀도가 증가할수록 러빙 시 pile에 의해 배향막 표면에 (작은) groove들의 상대적으로 더 균일하고 촘촘하게 형성되는 경향이 있으나 groove의 깊이와 표면조도에는 큰 차이가 나타나지 않았다 (Table 2 참조).

한편, 파일의 강직도에 따라서는 groove의 수와 간격에는 별다른 차이가 나타나지 않았지만 파일의 강직도가 커질수록 groove의 깊이가 증

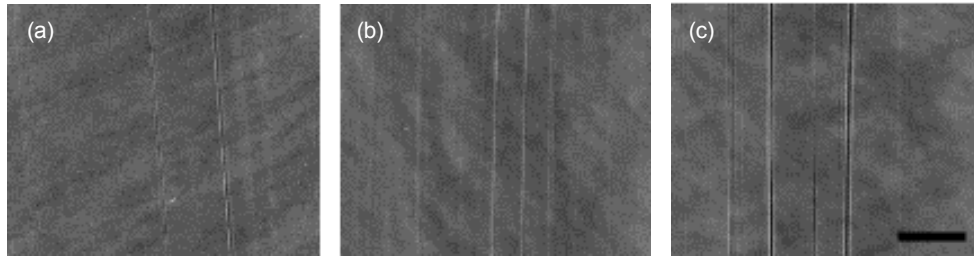


Figure 7. AFM surface topography of SE-1691 layers rubbed by rubbing cloths with (a) 75 μm -thick; (b) 100 μm -thick; (c) 125 μm -thick, back supporting layers.

가하여(Figure 7 참조), 이에 따라 Table 2에서 볼 수 있듯이 표면조도가 파일밀도의 경우보다는 상대적으로 큰 차이를 나타냈다.

러빙포 물성과 러빙효과(정도)의 상관관계. 러빙이 된 정도(크기)는 러빙된 길이 또는 면적에 비례하는 러빙밀도(rubbing density)와 러빙의 강도/세기에 비례하는 러빙력(rubbing force)에 의하여 정해질 수 있다. 러빙밀도는 러빙이 많이 되었느냐 또는 적게 되었느냐를 나타내며, 러빙력은 러빙이 강하게 되었느냐 또는 약하게 되었느냐의 관점을 대변한다.

러빙포의 물성이 변함에 따라 러빙밀도와 러빙력 모두가 영향을 받겠지만, 그 정도는 러빙포의 각 물성의 특성에 따라 차이가 있을 것으로 여겨진다. 러빙포의 파일밀도는 러빙에 관여하는 파일의 수와 관련된 것이므로 러빙하는 길이 또는 면적에 주로 영향을 미치게 된다. 따라서, 러빙밀도는 러빙력 보다는 주로 러빙밀도에 영향을 주는 요소라 할 수 있다. 반면에, 러빙포의 강직도는 러빙밀도보다는 러빙력과 보다 밀접하게 관련이 있다고 볼 수 있다. 파일의 강직도가 커지게 되면, 러빙 시 배향막 표면에 미치는 shear 응력이 증가함으로써 러빙에 의해 영향을 받는 표면의 깊이/두께가 증가하게 되며, 이에 따라 배향막 표면의 거칠기와 groove의 깊이가 커지게 된다.

러빙포의 파일밀도가 큰 러빙포는 상대적으로 많은 수의 파일이 배향막 표면을 쓸고 지나감으로써 배향막과 러빙포 파일의 접촉 면적이 증가하게 되고 이에 따라 러빙되는 배향막 표면의 면적이 증가하게 된다. 한편, 파일의 강직도가 증가하게 되면, 러빙에 의해 영향을 받는 배향막 표면의 두께가 커지게 된다. 즉, 배향막 표면 영역에서 러빙 방향으로 배향되는 분자 또는 사슬이 많아지게 된다. 러빙포의 파일밀도가 증가하거나 파일의 강직도가 커지거나 모두 러빙의 정도/크기를 증가시키고 이에 따라 배향막의 이방성과 표면조도가 커지는 결과를 초래하지만, 이들 러빙포의 물성이 러빙에 미치는 세부적인 영향은 위에서 언급하였듯이 다소 차이가 있다. 앞에서 나타난 러빙된 배향막의 특성 분석의 결과들도 이와 맥락을 같이한다.

러빙포의 파일밀도와 파일의 강직도에 따른 러빙효과를 보다 정량적으로 이해하기 위하여 러빙 시 러빙 롤러에 걸리는 과부하를 토크(torque)로 환산하여 러빙 횟수에 따라 어떻게 변하는지 측정하였다. 예상된 바와 같이 파일밀도와 파일의 강직도가 증가함에 따라 러빙 토크도 증가하는 것으로 나타났다(Table 3 참조). 동일한 러빙 횟수에 대하여, 파일밀도가 증가하면 파일의 접촉면적, 즉 러빙면적이 증가하여 마찰력의 증가로 이어져 이에 따라 러빙 토크가 증가하게 된다. 한편, 파일의 강직도가 커지면, 파일의 접촉면적은 크게 영향을 받지 않지만 러빙력(rubbing force)이 커지게 되어 그 결과로 토크가 증가하게 된다.

Table 3의 결과에서 주목할 부분은 러빙 횟수가 증가함에 따라 러

Table 3. Change in Rubbing Torque (units: Nm) with the Number of Rubbings for Various Properties of Rubbing Cloth

Number of rubbings	Pile density (ea/cm ²)			Thickness of back supporting layer (μm)		
	32000	40000	53000	75	90	125
1	8.5	10.5	13.5	10.5	11.0	12.0
2	7.5	9.3	10.0	9.3	9.3	9.0
3	7.5	8.8	9.0	8.8	8.7	8.3
4	7.0	8.4	8.5	8.4	8.3	8.0
5	7.0	8.3	8.5	8.3	8.3	8.0
6	6.5	8.3	8.5	8.3	8.3	8.0
7	6.5	8.3	8.5	8.3	8.3	8.0
8	6.0	8.3	8.5	8.3	8.3	8.0
9	6.0	8.3	8.5	8.3	8.3	8.0
10	6.0	8.3	8.5	8.3	8.3	8.0

빙 토크의 값이 감소하며 그 값이 일정한 값으로 유지되는 시점에서의 러빙 횟수가 차이가 있다는 점이다. 러빙의 횟수가 증가해도 러빙 토크가 일정한 값이 유지되고 변화가 없다는 것은 배향막 표면에서 더 이상의 (추가) 러빙이 일어나지 않는다는 것을, 즉 배향막의 모든 표면이 더 이상 러빙포 파일의 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 파일밀도가 증가할수록 러빙 횟수에 따른 러빙 토크의 초기 감소율이 크게 나타났고, 일정한 토크 값에 도달하는 러빙 횟수도 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 러빙포의 파일밀도가 증가할수록 배향막 표면이 상대적으로 많이 그리고 고르게 러빙된다는 것을 잘 대변해 주는 결과이다. 한편, 파일의 강직도에 따라서는 이러한 경향이 나타나지 않고 강직도와 상관없이 거의 동일한 러빙 횟수(5번) 이후에 러빙 토크가 일정하게 유지되었다. 이는 파일의 강직도는 러빙밀도에 영향을 거의 주지 않는다는 것을 보여준다.

결 론

본 연구에서는 두 가지 다른 물성(파일 밀도, 파일 강직도)을 가지는 러빙포의 러빙에 따른 러빙효과(정도)에 대하여 조사하였으며, 이러한 러빙된 정도(크기)를 러빙 시 러빙 롤러에 걸리는 토크의 변화를 통하여 정량적으로 고찰하여 보았다.

러빙포의 파일 밀도가 높을수록 파일과 배향막간의 러빙 면적/길이가 증가하여 배향막(폴리이미드) 분자들의 배향성(이방성)과 러빙 균일도가 향상시켰으며, 파일 강직도는 커질수록 배향막(폴리이미드) 분자의 배향성(이방성) 향상과 강한 러빙력을 보였다.

이러한 러빙포 물성들에 따른 러빙효과들을 러빙시 발생하는 토크치

와 러빙 횟수에 따른 변화를 통해서 더욱 정확한 정량적 수치로 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. S. H. Paek, *J. Ind. Eng.*, **7**, 316 (2001).
2. K. Takatoh, M. Hasegawa, M. Koden, N. Itoh, R. Hasegawa, and M. Sakamoto, "Alignment technologies and applications of liquid crystal devices", in *Liquid Crystals*, G. W. Gray, J. W. Goodby, and A. Fukuda, Editors, Taylor & Francis, New York, pp 7-54 (2005).
3. G. P. Sinha, B. Wen, and C. Rosenblatt, *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 2543 (2001).
4. D. S. Seo, S. Kobayashi, and M. Nishikawa, *Appl. Phys. Lett.*, **61**, 2392 (1992).
5. B. S. Ban and Y. B. Kim, *Appl. Phys. Chem. B*, **103**, 3869 (1999).
6. M. Yamahara, M. Nakamura, N. Koide, and T. Sasaki, *Liq. Cryst.*, **34**, 381 (2007).
7. Y. B. Kim, H. Olin, S. Y. Park, J. W. Choi, L. Komitov, M. Matuszczyk, and S. T. Lagerwall, *Appl. Phys. Lett.*, **66**, 2218 (1995).
8. T. Uchida, M. Hirano, and H. Sakai, *Liq. Cryst.*, **5**, 1127 (1989).
9. N. A. J. M. van Aerle, M. Barmantlo, and R. W. J. Hollering, *J. Appl. Phys.*, **74**, 3111 (1993).