



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](#)

공 학 박 사 학 위 논 문

폴리카보네이트 필름의 오프셋
인쇄적성에 관한 연구



2019년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

인 쇄 공 학 과

이 세 현

공 학 박 사 학 위 논 문

폴리카보네이트 필름의 오프셋
인쇄적성에 관한 연구

지도교수 윤 중 태

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함.

2019년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

인쇄공학과

이 세 현

이세현의 공학박사 학위 논문을 인준함.

2019년 8월 23일



위 원 장	공학박사	구 철 회	(인)
위 원	공학박사	최 송 아	(인)
위 원	공학박사	이 광 석	(인)
위 원	공학박사	정 지 은	(인)
위 원	공학박사	윤 중 태	(인)

목 차

목차	i
List of Figures	iii
List of Tables	vi
Abstract	vii
I. 서론	1
II. 이론	3
1. 폴리카보네이트 필름 제조방법	3
1-1. 폴리카보네이트 필름 압출	5
1-2. 박막화 방법	8
1-3. 공압출 필름	10
1-4. 패턴화방법에 의한 필름 제조	11
2. 카드의 기계감응 요소	12
2-1. 특별한 물리적, 광학적 특성	12
2-2. 위변조 방지 구조	13
2-3. 필름제조 기술	17
2-4. 보안카드용 소재로서 폴리카보네이트의 장점	20
3. 폴리카보네이트 표면에너지 모델	20
3-1. 정적법	20
3-2. JKR 모델	22

3-3. 거칠기 돌기의 상호작용 모델	23
3-4. 표면거칠기와 잉크 피복률	25
3-5. 플라스틱의 인쇄적성	27
 III. 실험	30
1. 실험재료	30
2. 실험방법	31
2-1. 표면처리	31
2-2. 표면조도의 측정	33
2-3. 표면장력의 측정	35
2-4. 가열신축률 측정	36
3. 인쇄적성 평가	36
 IV. 결과 및 고찰	38
1. 표면조도에 따른 인쇄적성	38
2. 온도 및 시간에 따른 표면특성	43
3. 온도 및 시간에 따른 표면장력 특성	46
4. 가열신축률 측정결과	50
5. 인쇄적성 평가	52
 V. 결론	58
 참고 문헌	60

List of Figures

Figure 1. Solvent casting process diagram.	4
Figure 2. Type of solvent casting.	5
Figure 3. Schematic diagram of extrusion line.	6
Figure 4. Chill roll process.	9
Figure 5. Calender roll process.	9
Figure 6. Composition of coextrusion equipment.	11
Figure 7. Polycarbonate type e-passport.	13
Figure 8. ID card layer formation.	14
Figure 9. Chemical structure of polycarbonate.	18
Figure 10. Laser marking and pigment printing.	20
Figure 11. Contact angle between sessile drop and substrate in the equilibrium state.	21
Figure 12. Meniscus formation at the interface for a sphere in contact and non-contact with a plane surface.	23
Figure 13. Contact of a rough surface with a rigid flat plane considering interaction	24
Figure 14. The ink transfer mechanism of the solid printing.	26
Figure 15. The calculation of Tollenaar's.	27
Figure 16. Contact angle of various homogeneous materials of Zismann.	29
Figure 17. Extruder collin e25p.	30
Figure 18. Corona treatment system.	31
Figure 19. Atmospheric plasma treatment system.	32
Figure 20. The Scheme of improve surface tension.	32
Figure 21. Surface shape measuring instrument.	33
Figure 22. Ten point average calculation(Rz) and (bottom) center line	

maximum height average calculation method.(Ra)	35
Figure 23. Surface tension measuring agent.	35
Figure 24. Burkle smartlam lamination system.	36
Figure 25. IGT C1 Printability tester.	37
Figure 26. The effect of surface roughness of PC sheet in off-set printability.	38
Figure 27. The result of control sample ink transfer value.	39
Figure 28. The effect of surface roughness of PC sheet in off-set printability.	40
Figure 29. The result of experiment sample ink transfer value.	41
Figure 30. The result of printability ink transfer value.	41
Figure 31. The result of adhesion experiment.	42
Figure 32. The result of printability experiment.	43
Figure 33. The results of surface tension change at 25°C.	44
Figure 34. The results of surface tension change at 40°C.	45
Figure 35. The results of surface tension change at 60°C.	46
Figure 36. The results of surface tension change at 46 dyne/cm.	47
Figure 37. The results of surface tension change at 52 dyne/cm.	49
Figure 38. The results of surface tension change at 58 dyne/cm.	49
Figure 39. The thickness reduction rate after lamination	52
Figure 40. The effect of surface tension of control sample in off-set printability	53
Figure 41. The result of control sample ink transfer value.	54
Figure 42. The result of experiment sample ink transfer value.	54
Figure 43. The result of control sample ink transfer value.	55
Figure 44. The result of adhesion experiment.	56
Figure 45. The effect of surface tension of experiment sample in off-set printability.	57

List of Tables

Table 1. Characteristics of Experimental Materials	31
Table 2. Thickness Reduction Ratio before Surface Roughness Improvement	50
Table 3. Thickness Reduction Ratio after Surface Roughness Improvement	51



A Study on the Offset Printability of Polycarbonate Film

Se Hyun Lee

Department of Graphic Arts Engineering, Graduate school,
Pukyong National University

Abstract

For centuries, papers have been widely used as materials for fabrication of the Identity documents(IDs). However, since the 1970s, plastics have attracted considerable attentions as materials due to their high quality printing and durability. Among the various plastics, polycarbonate(PC) has been used as materials with advanced technologies for the IDs over the last three decades and became a best suitable materials for IDs. In 1989, polycarbonate based IDs were firstly used in application of the driver's license in Finland and have became the most dominant materials for electronic IDs. This is due to its excellent optical and physical properties, and no delamination. Also, the IDs were prepared by using the polycarbonate multi-layered combination process. The personal informations can be laser-engraving by the security element. The security element

provides the high-leveled securities containing the effects of color conversion ink(OVI) by the screen printing, holograms and computer generated hologram(DOVIDs). It is suitable for chip or chipless IDs due to its high durability with a lifetime of 10 years. For enhancing the security, the personal information formed by the forming a lenticular and laser-engraving function can be applied to the CLI/MLI. Based on these advantages of polycarbonate, polycarbonate based IDs such as NIDs of 50 countries, passports of 50 countries, driver's licenses, and medical insurance cards are spreading from Europe to world. As a result, the optimized ranges of surface roughness and surface tension were determined. In this paper, the development of products for card manufacturing process by controlling the surface roughness and surface tension of polycarbonate sheets were demonstrated.

I. 서 론

수세기 동안 종이는 신분증(identity document)에 선택된 재료였다. 그러나 1970년대 이후부터는 플라스틱이 점차 그 자리를 차지하게 되면서 종이에 적용된 동일한 인쇄품질을 설정하게 되고 보다 내구성을 높이는 장점을 부각시켜 실용적으로 사용하게 되었다^[1-3]. 그 중에서 폴리카보네이트(polycarbonate)는 현재 30년 이상 동안 신분증에 사용되고 있으며, 그동안의 경험과 노하우로 ID 카드에 가장 적합한 플라스틱으로 자리 잡게 되었다. 세계 최초의 폴리카보네이트 신분증은 1989년 핀란드 운전면허증에 사용된 이후로 폴리카보네이트는 전자 신분증에 가장 적합한 소재로 자리 잡아왔다. 그것은 뛰어난 광학 및 물리적 특성과 디라미네이션(delamination)되지 않는 장점을 가지고 있기 때문이다. 다른 플라스틱과 함께 혼합되지 않은 순수한 형태로 사용되고 폴리카보네이트 각각의 레이어들의 조합으로 카드 형태를 만들게 된다^[4,5].

보안요소는 개인화 정보를 레이저 인그레이빙(laser engraving) 할 수 있는 기능을 부여할 수 있으며, 스크린인쇄를 통하여 색변환잉크(optical variable ink) 효과와 홀로그램 및 광가변이미지(DOVIDs) 등의 높은 레벨의 보안기능을 지원할 수 있다는 것이다. 또한 렌티큘러의 형성과 레이저 인그레이빙 기능을 통하여 개인정보를 레이저 변환 이미지(changable laser image/multi laser image)등으로 적용하여 보안성을 높일 수 있다. 또한 10년 이상 지속될 수 있는 높은 내구성으로 칩을 포함하거나 칩리스의 신분증에 적합하다. 이러한 폴리카보네이트의 많은 장점으로 전 세계적으로 신분증 50여 개국, 여권 50여 개국, 운전면허증, 의료보험카드 등 폴리카보네이트의 채택은 유럽을 기반으로 전 세계에 확산되고 있는 추세이다^[1,6-7].

본 논문에서는 폴리카보네이트 시트의 표면 거칠기와 표면장력의 제어를 통해 카드 제조공정에 적합한 제품을 개발하는데 목적을 두었으며, 그 결과 최적의 표면 거칠기와 표면장력의 범위를 설정할 수 있었다.



II. 이론

1. 폴리카보네이트 필름 제조방법

폴리카보네이트는 우수한 내열성, 내충격성, 투명성의 특징과 박막화의 용이성 때문에 사용량이 점점 늘어나고 있는 추세이다. 폴리카보네이트를 연속적인 롤 형태로 필름화하는 방법은 현재 압출을 이용한 방법과 용액캐스팅을 이용하는 방법이 있다. 일반적으로 폴리카보네이트 필름과 시트를 구분하는 두께는 0.4 mm 이하의 두께는 필름으로 하고 있으며 그 이상의 두께는 시트로 표현한다. 하지만 이는 소재 종류 및 업체마다 다르다. 다른 필름과 마찬가지로 폴리카보네이트 필름 제조 방법은 용매에 의한 캐스팅(solution casting) 방법과 압출법을 이용한 방법이 있을 수 있다^[15,30,31].

용매를 이용한 용매캐스팅(혹은 용액캐스팅)방법은 Figure 1과 같다. 용매 캐스팅법은 캐스팅 서포트, 캐스팅 기계, 다이(캐스터), 건조기, 용매 회수장치 등으로 크게 나눌 수 있다. 19세기 말부터 박판필름의 제조 기술의 개발은 당대의 영화 및 사진용 필름과 밀접한 관계를 가지고 있었으며 Kodak에 의해 200 피트 길이의 유리판에 의해 단속식으로 생산되었다. 그 이후 단속식 제조법은 생산성 등의 효율, 재현성 등의 문제 때문에 지금은 대부분의 회사들이 연속식 방법을 채용하고 있다. 기본적으로 용액캐스팅법이 적용되기 위해서는 플라스틱은 반드시 물을 포함하여 휘발성 용매에 녹아야 하고, 안정한 용액이 되기 위해서는 적당한 농도와 점도를 가져야 하며, 특히 용매가 휘발되면서도 균일한 용액이 되어야 하고 캐스팅 서포트로부터 이형이 잘 되어야 한다.

특히 공정상 발생될 수 있는 많은 문제점을 해결하기 위해, 공용매(cosolvent), 용해 시 가압, 특수한 분자량분포나 공중합체 사용 및 기타

가소제나 이형제 등의 첨가제를 사용한다. 용액캐스팅법의 큰 차이점은 캐스팅 서포트에 있으며 이는 고분자, 제조사의 종류에 따라 다르다.

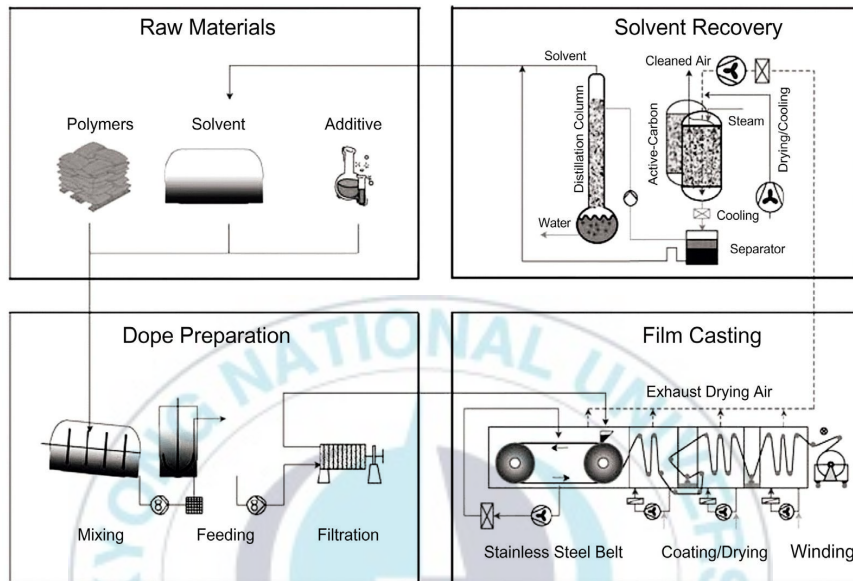


Figure 1. Solvent casting process diagram.

Figure 2의 용매캐스팅의 장점으로서는 균일한 두께분포, 우수한 광학적 성질(투과율, 헤이즈), 우수한 광학적 순도 및 무결점 필름, 장애물이 매우 낮은 등방성, 평탄한 필름, 기계적으로나 열적으로 예민한 소재에 쉽게 적용이 가능하며 내열성고분자라 하더라도 용매에 녹기만 하면 적용이 가능하다. 단점으로는 용매의 확산 속도에 의존하기 때문에 생산성이 낮고 용매를 회수하는 거대한 장치 및 에너지가 필요하며 용매를 취급하기 때문에 사고시 화재나 환경유해성이 높은 제조 방법이다.

특히 디스플레이의 광학용 필름인 TAC 필름 등과 같이 고온의 유리전이온도나 용융온도에서 분해가 일어나 압출가공이 불가능한 경우에 적용되며 폴리카보네이트와 같이 광탄성계수가 커서 압출가공 중 불균일한

스트레스나 압력전달에 의해 광학적 이방성이 쉽게 발생하는 경우 용매 캐스팅법을 사용한다^[32,34].

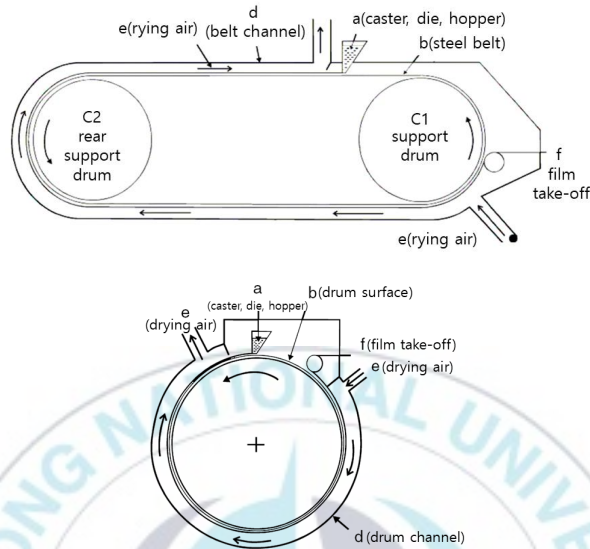


Figure 2. Type of solvent casting.

1-1. 폴리카보네이트 필름 압출

보통 압출이라 함은 열과 압력을 이용해서 수지에 흐름성을 부여하여 단면 형상이 일정한 다이를 통해서 나온 용융수지가 냉각장치를 통해서 단면적이 일정한 고화된 형태의 제품이 만들어지는 공정을 이른다. 일반적인 폴리카보네이트용 압출라인의 구성은 다른 소재의 압출기와 마찬가지로이지만 기본적인 시스템은 Figure 3과 같이 이루어진다.

원료 탱크를 포함하여 원료를 이송하는 이송시스템(resintransfer system), 원료를 제습 건조하는 제습기(dehumidifier or dryer), 원료에 열과 압력을 통해서 흐름성을 부여하는 압출기(extruder), 용융 수지내에 포함된 기포 및 수분을 제거하는 진공장치(venting system), 용융수지 내에 포함된 내외부 이물, 미용융물을 거르고 후단의 기계를 보호하기 위한 스

크린 체인저(screen changer), 용융수지를 다이쪽으로 정량으로 보내주는 기어펌프(gear pump), 용융수지의 필름형상을 만들어주는 T-다이(T-die), 다이에서 나온 용융수지를 냉각시켜 원하는 두께로 필름화 시켜주는 냉각롤(cooling roll unit), 냉각된 필름의 표면보호를 위해 보호필름을 입히는 보호필름 합지 시스템(masking system), 보호필름 합지 후 양쪽 끝을 잘라주는 트리밍 장치(trimming unit), 최종 필름으로 감는 와인더(winder)로 구성된다.

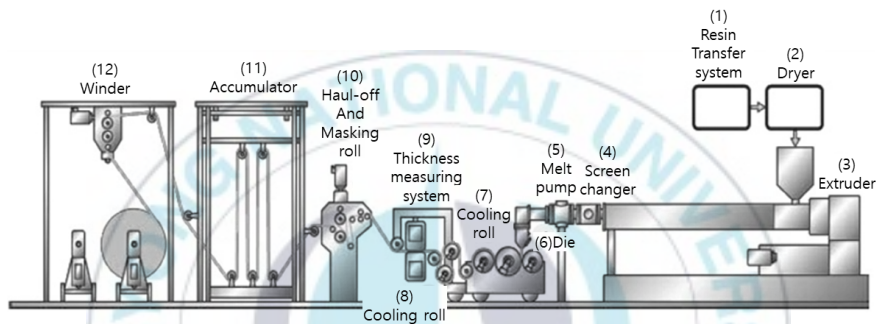


Figure 3. Schematic diagram of extrusion line.

그러나, 최근의 폴리카보네이트 필름의 경쟁력을 가지려면 다음과 같은 설비를 추가적으로 설치한다.

박판 폴리카보네이트 필름의 경우 외부이물 및 외부 온습도 등의 환경 변화에 의한 공정불량을 해결하기 위해 압출설비를 항온항습 조절이 되는 크린룸에 설치, 원료의 제습 건조 시 운송 중 미세 분말이나 기형의 펠렛 등이 제거가 되나 최종 압출기로 펠렛이 들어가기 전에 압출기 바렐과 스크루 사이의 간격 보다 작은 경우에는 미용융물의 형태로 제품의 결점으로 작용이 되는데 이러한 분진을 제거해주는 분진제거기를 설치, 제품의 첨가제를 첨가하거나 칼라를 구현하기 위한 마스터배치 투입장치인 사이드 피더 설치, 폴리카보네이트 블렌드의 경우 각 수지와의 비열

차이에 따른 용융시간 차이, 각 블렌드 수지의 내열도 차이에 따른 피딩존에서의 용융수지 점착현상에 의한 서징의 형태로 나타나기 때문에 피딩존의 온도를 강제 냉각시킬 수 있는 스크루 냉각장치나 각 수지에 맞는 전용 스크루를 구비, 용융수지의 고온에서 장시간의 열이력에 의한 미세한 켈, 탄화물 등을 제거하기 위한 추가적인 필터링 시스템 적용 및 설치, 기어펌프에서 나온 수지의 내부와 외부 수지 온도의 편차를 최소화하기 위한 교반장치설치, 다이의 위치에 따른 두께조절 용이성과 미세조절을 용이하게 하기 위해 두께측정기와 다이볼트의 위치를 결합하여 다이볼트의 가열 및 냉각에 따른 볼트의 팽창 및 냉각에 따른 다이 립간격을 조절 할 수 있는 자동다이 설치, 다이에서 나온 용융수지가 냉각롤 사이에서 बैं크를 생성할 때 위치에 따른 बैं크의 온도를 적외선 센서로 측정해서 बैं크의 사이즈를 유추하며 두께편차나 스트레스를 단시간 내에 최소화시킬 수 있는 बैं크 크기 측정 시스템(bank monitoring system), 압출기를 장시간 사용하게 되면 다이에서 나온 가스(첨가제, 모노머, 올리고머, 고온공정에 의한 고분자 분해물질 등)에 의해 냉각 롤에 응축이 되어 제품에 표면품질이나 헤이즈 등의 광학적 성질 저하를 유발시키는데 이들 가스를 생성 즉시 제거하는 가스 제거 장치(fume removal system), 제조된 필름의 품질관리를 위한 인라인 두께 측정기(thickness measuring system)와 이물검사기(flaw inspection system)를 설치한다^[34].

그러나, 압출제품의 품질향상은 상기 내용의 설비를 준비한다고 해서 모든 것이 해결되지는 않으며 경험적인 노하우 및 끊임없는 공정개선 작업이 필요하다. 고전적인 의미의 압출제품은 불특정 다수의 고객을 위해 필름이나 시트를 제조해서 보호필름을 합지 후 필름이나 시트의 형태로 제조를 하거나 일부 고객을 위해서는 치수의 변경이나 색상부여를 한 것

에 불과했다. 그러한 시장은 부가가치가 높지 않으며 부가가치를 부여하기 위한 노력이 많아지고 있다. 압출필름 및 시트의 최근의 경향을 종합해 보면 최근 다른 분야의 기술트렌드와 마찬가지로 기술의 박막화, 복합화, 융복합화로 표현할 수 있다.

1-2. 박막화 방법

박막의 폴리카보네이트 필름을 제조하는 압출방법은 냉각 롤의 역할 및 메커니즘에 따라 Figure 4의 냉각 롤 타입과 Figure 5의 캘린더 롤 타입으로 구분한다. 또한, 냉각 롤 타입은 캐스팅 타입이라고도 하며 캘린더 타입은 폴리쉬 타입이라고 한다. 캐스팅 타입은 한 개의 냉각 롤을 사용하여 필름을 형성하기 때문에 제품에 스트레스가 발생하지 않으나 보통 20 ~ 200 μm 두께의 필름 생산에 적합하다. 냉각 롤 접촉면과 접촉하지 않은 면의 조도차이가 발생할 수 있다.

반면, 칼렌더링 타입은 2개의 냉각 롤을 사용하기 때문에 제품의 표면이 우수한 평탄도를 가지나 스트레스에 의한 이방성의 제품이 얻어질 가능성이 크며 캐스팅방법 보다는 두꺼운 70 μm 부터 수 mm까지 생산이 가능하다. 제품의 유연학적 특성, 두께, 단층 혹은 다층 필름이냐에 따라 냉각 롤의 배열 방법이 다를 수 있다.

주로 등방성의 광학용 필름에 적용되는 방법은 칼렌더링 타입의 양면 폴리쉬 타입이 적용되나 100 μm 이하의 제품에 적용 시 냉각 롤, 하우징, 베어링 등에 걸리는 압력이 상대적으로 커서 롤의 휨 변형에 의한 강도문제, 롤의 도금 및 연마 가공 정밀도, 베어링의 정밀도 등에 의해 롤과 롤이 부딪히는 현상 및 품질 문제를 발생시킬 수 있다.

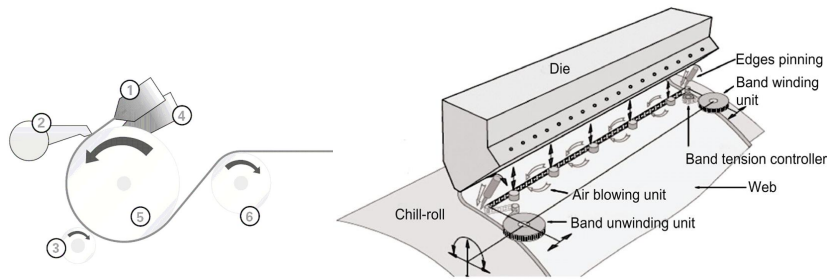


Figure 4. Chill Roll process

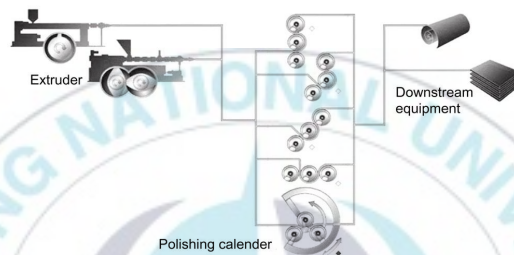


Figure 5. Calender Roll process.

즉, 박막 필름용 압출기는 냉각 롤 시스템의 구동부의 정밀도와 밀접한 관계를 가지고 있다. 또한, 양질의 폴리카보네이트 박막 필름을 얻기 위해서는 박막 전용 특수 다이가 필요하며 박판의 경우 라인스피드가 매우 빠르기 때문에 인라인 두께 측정기와 다이의 다이볼트와의 신호에 의한 두께 조절이 필요하며 다이볼트의 다이 립(die lip) 열림과 닫힘은 메커니즘에 따라 생산성, 재현성 등이 결정된다.

박막 제품의 경우 다이에서 토출되어 나오는 수지의 양이 균일해야 하며 롤 사이에서의 용융수지 뱅크가 매우 작기 때문에 롤 장치 및 기어웸프에서 발생하는 여러 종류의 진동에 민감하기 때문에 정밀도가 높은 소재의 사용이 필요하다.

롤 갭 간격도 매우 중요하기 때문에 롤 갭 조절 장치의 메커니즘도 고려를 해야 하며 마찬가지로 정밀도가 높아야 한다.

보통 박막의 용도는 일반 두께감소에 의한 원가절감에 의한 1) 인쇄용, 2) 휴대폰 키패드의 도파로, 3) 포인트나 신용카드의 보호층, 인쇄, 레이저 잉그레이빙 필름에 적용되며, 4) 연신방법에 의해 제조된 수 μm 의 필름의 경우는 필름 캐퍼시터 용에 적용된다^[15,44].

1-3. 공압출 필름

1960년대 공압출 기본이론이 확립되었고 시장의 물성 요구가 복잡화되어 단일 수지로는 대응하기 어려워졌고, 1979년 Cloeren사가 피드 블록을 시장에 내놓은 이후로, 새로운 장치와 재료의 개발에 의해 비교적 간단하게 조작이 가능하여짐에 따라, 공압출 제품의 시장은 수년간 급상승하게 된다. 1970년대에 상업생산이 시작되고, 1980년대 개화기를 맞이한 공압출은 1990년대는 공압출의 이상을 실현하는 기간에 해당한다고 볼 수 있다.

마찬가지로 폴리카보네이트 박판필름의 경우도 폴리카보네이트의 장점과 다른 소재의 장점을 부가하는 “1+1”의 물성을 요구하고 있으며 보통 후판의 전자재 시트에서 요청하는 물성을 박판에도 요청하고 있다. 그러나, 불행히도 대부분의 고분자 쌍들은 상용성이 없어 “1+1-a”의 물성을 감수 할 수 밖에 없으며 대표적인 물성감소 부분이 광학적인 성질 즉 투명성이 저하된다는 것이다. 이를 극복할 수 있는 방법이 공압출을 이용하는 방법이 있다.

Figure 6에서와 같이 피드 블록 타입은 피드 블록을 통해 다층의 고분자 용융수지가 다이로 들어가기 전에 미리 합쳐진 후 다이를 통해 수지가 나오는 것이며 멀티 매니폴드는 다층이 가능한 유로가 다이 내부에

만들어져서 수지가 나오는 것이다.

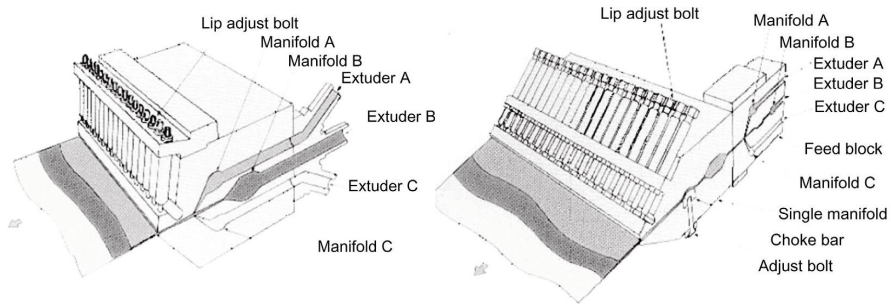


Figure 6. Composition of coextrusion equipment.

폴리카보네이트의 장점인 내열성과 내충격성에 폴리카보네이트의 단점인 표면경도와 내후성을 보강해주는 방법으로 주로 휴대폰과 같은 모바일 기기의 키패드나 윈도우, 도로교통 표지판용 필름 등으로 사용이 된다. 그러나, 단순히 공압출기만 가지고 있다고 해서 해결되는 부분이 아니고 폴리카보네이트와 PMMA의 계면에서의 상분리 현상 때문에 혼탁도가 높아질 우려가 있어 각 층 소재의 유변학적 성질, 상용성을 위한 첨가제 조절이 필요한 기술이다^[36,37].

1-4. 패턴화방법에 의한 필름 제조

일반적으로 압출제품의 패턴화와 관련하여 가장 일반적인 패턴은 폴리카보네이트필름의 표면의 엠보화이다. 엠보화를 하게 되면 스크래치와 폴리카보네이트 필름 면의 마찰을 최소화하여 폴리카보네이트인 단점인 표면 스크래치를 개선하고 보호필름을 없애서 원가절감에 기여할 수 있고 또한 외관상 무광효과를 주어 고급스런 느낌을 주게 한다. 또한, 롤 표면에 인위적인 스크래치를 부여하여 헤어라인과 같은 수려한 무늬나

프리즘 필름이나 렌티큘러 필름과 같이 일정한 패턴을 롤에 부여하여 압출하게 되면 광학필름도 제조가 가능하게 된다. 그러나, 일반 코팅방법에 의해 형성되는 패턴과는 달리 압출공정은 고온 및 고압에 의해 필름이 성형되기 때문에 전사율을 높이기 위한 원료의 유변학적 조절, 롤 구조, 압출속도 등을 고려해야 한다^[38].

2. 카드의 기계감응 요소

2-1. 특별한 물리적, 광학적 특성

폴리카보네이트는 열가소성 특성의 우수한 몰딩 및 가열성형 특성을 가지고 있으며, 소재의 특성이 매우 견고하기 때문에 방탄유리재료에 사용되기도 한다. 광학적 특성으로는 두께와 상관없이 광투과율이 일반적인 유리 보다 높은 90 % 정도로 다양한 목적으로 사용되면 안경 및 DVD 표면 보호를 위하여 채택하고 있다. 특히 신분증 측면에서 폴리카보네이트는 여러 가지 특성을 활용하여 레이저 변환 이미지 효과, 엠보싱 효과 등의 보안기능을 추가할 수 있다^[8,9].

폴리카보네이트 고유의 특성으로 적층된 각각의 소재를 접착제가 아닌 온도와 압력으로 견고한 카드를 제조할 수 있어 Figure 7과 같이 카드형 여권 형태로 만들거나 각 레이어의 구성으로 보안기능을 추가하고 배치가 용이하게 응용할 수 있고 그 중에서 레이저 감응층은 카본블랙 등의 레이저 감응 물질을 분산시켜 개인화된 정보를 레이저로 반응시켜 영구적인 기록이 가능하게 할 수 있는 기능을 부여하는 것이다. 또한 -100℃ 또는 135℃에서 물리적, 광학적 특성의 보존성을 가지고 있다^[7,10,11].



Figure 7. PC type e-passport.

2-2. 위변조 방지 구조

신분증 카드 제조에 있어 각 레이어층의 특성을 다르게 하여 접착제 없이 고온고압으로 견고하고 위변조가 불가능한 카드를 제조할 수 있으며 카드를 제조하기 위해서는 다음 Figure 8과 같은 폴리카보네이트 레이어 구성이 필요하다.

일반적인 층의 구성으로 코어층은 일반적으로 불투명하거나 흰색 층으로 안테나 인레이 및 칩을 부착하는 기능을 한다.

인쇄층은 일반적으로 흰색층으로 광학적으로 백색도가 높거나 내광특성이 우수하여야 하며, 옵셋 인쇄 또는 스크린 등 인쇄적성(잉크의 번짐, 잉크의 전이성, 건조 및 접착력, 인쇄물의 내구성 등)과 작업적성(필름의 정전기, 가공성, 온라인 처리 적성) 등이 고려되어야 하는데 필름제조 사양면에 매트가공을 실시하는데 있어 적정 조도를 유지하는 적용 롤 가공이 필요하다. 적절하지 못한 조도로 제조하였을 경우 시트와 시트사이

에 공기가 방출되기 어려워 기포가 카드내 잔존하는 문제점이 발생하기 때문이다.

또한 잉크와 레이저 감응층의 밀착성이 좋아야 가공 후 디라미네이션 및 기포 발생이 없다. 인쇄층의 열화성을 억제하기 위해서는 산화 방지제 또는 착색 방지제를 함유하여 가공 후 열화방지가 필요하다.

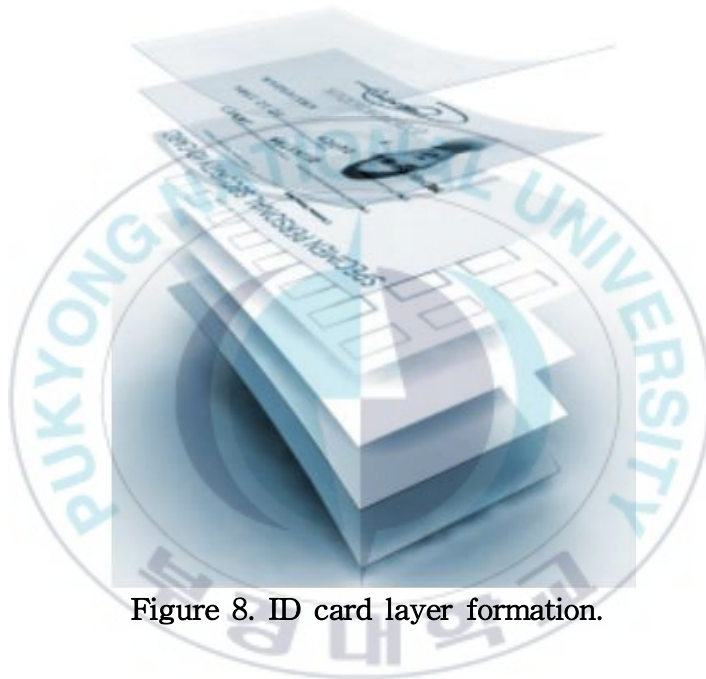


Figure 8. ID card layer formation.

레이저층은 일반적으로 어느 정도 투명성을 유지하여야 한다. 레이저 인그레이빙이 가능하도록 하기 위해 에너지 흡수체를 함유하도록 하는데 카본블랙, 금속 산화물, 금속 황화물, 탄산염 및 금속 규산염 등이 선택될 수 있으며 평균입자는 10 - 90 nm이고, 디부틸프탈레이트(dibutyl phthalate) 흡유량이 60 - 70 mL/100 g인 카본블랙이 바람직하다. 흰색층으로 안테나 인레이 및 칩을 부착하는 기능을 한다.

보호층은 투명성이 높아야 하며 렌티큘러 가공성 및 레이저의 투과성에

영향을 주지 않아야 한다. 또한 가열 프레스시 경면판에 융착되지 않도록 적절한 윤활제의 선택이 필요하다.

윤활제의 경우 테레프탈산(terephthalic acid) 단위를 주로 하는 디카르복실산 단위와 에틸렌글리콜(ethylene glycol) 단위 및 1,4-시클로헥산디메탄올(cyclo hexane dimethanol) 단위를 주로 하는 글리콜 단위로 이루어지는 폴리에스테르를 선택하여 사용할 수 있다^[12].

카드 제조에 있어 위와 같은 각 레이어를 적층하여 고온고압으로 성형된 폴리카보네이트 카드는 어떠한 물리화학적 변형에도 선명한 자국을 남김으로 신분증의 위변조가 불가능하다 할 수 있다.

추가적으로 보안요소를 통합할 수 있으며 적층구조는 여러층의 폴리카보네이트를 융합하여 폴리카보네이트 신분증이 만들어지며 각 층에는 특정 역할을 가지고 있다.

인쇄층(중앙층)에는 일반적으로 불투명하고 흰색이며 전자 칩의 비접촉식 판독을 가능하게 하는 RFID 안테나를 포함 할 수 있다. 레이저 감응층(중간층)에는 보안 인쇄와 홀로그램, 스크린 인쇄된 색변환 잉크와 같은 보안 기능으로 카본이 풍부한 레이저 감응층(중간층)은 레이저 개인화를 지원한다. 보호층(표면)은 돌출문자(tactile embossing)와 레이저 이미지 변환 기능을 부여한다.

폴리카보네이트 전자 신분증 카드는 접촉식 또는 비접촉식 모드로 접촉, 비접촉의 듀얼 인터페이스 기능을 수행 할 수 있으며 듀얼 인터페이스 카드에는 단일 공유 마이크로프로세서 또는 각 인터페이스마다 하나의 마이크로프로세서가 있을 수 있다. 폴리카보네이트 ID 문서에 레이저 인그레이빙을 하면 영구적인 블랙마킹을 생성하고 이 마크는 명확하고 가역적이지 않게 된다. 이 기술은 소유자의 정보와 소유자의 사진을 사용하여 공백 문서를 개인화 하는데 사용하게 된다. 글자와 사진은 짙은

검정색이며 독특한 질감을 부여하고 사진은 흑백이며 회색 음영과 높은 명암 대비를 줄 수 있다. 개인화 인그레이빙은 단단한 폴리카보네이트 카드 본체 프레임 내부에 만들어짐으로 되돌릴 수 없게 된다. 투명창을 포함 할 수 있으며 이것은 단단한 카드 본체를 통과하는 투명창으로 눈으로 확인가능하며 특별한 조명을 필요하지 않는다^[12,13].

폴리카보네이트의 내구성은 10년 이상 지속될 수 있는 긴 수명의 신분증을 생산한다. 폴리카보네이트는 카드 제조에 사용되는 정교한 PVC 소재 또는 PVC 복합재의 수명을 훨씬 능가 한다.

폴리카보네이트의 환경 영향은 중립적이다. 신중하게 제어되는 화학 첨가물과 에너지 투입을 통해 탄화수소로부터 만들어진다. 현재의 생산 공정에서는 위험한 잔류물을 발생시키지 않으며 폴리카보네이트 제품의 사용이 끝나면 연소로 인해 제조과정에서 사용되는 대부분의 에너지가 방출된다. 폴리카보네이트의 연소는 이산화탄소와 물을 만들고 독성 가스는 발생하지 않는다^[8,14,15].

폴리카보네이트의 공급은 몇 몇의 대형 업체들에 의해 주도되고 있는데, 이 중에서 코베스트로社(이전에는 Bayer material science)가 메인 업체 중 하나이다. Makrofol社의 최신 버전인 Makrofol ID superlaser는 투명 폴리카보네이트 필름이며 레이저 인그레이빙으로 카드의 내부를 빠르고 부드럽게 그리고 높은 콘트라스트로 개인화 할 수 있으며, 얇은 디자인에서도 매우 높은 레이저 반응성을 나타내어 인그레이빙 성능 및 가공 신뢰성이 우수한 필름이다^[16,17].

필름의 높은 레이저 반응성 덕분에 높은 콘트라스트를 얻기 위해서 콘트라스트를 강조하는 코어 필름이 추가로 필요하지 않다. 이렇게 하면 카드 구조가 단순해지고 비용이 절감되며, 카드 디자인에 더 많은 자유를 제공하게 된다. 투명층은 더 얇아지고 새로운 필름 오버레이 패키지를

의 어느 위치에나 배치 할 수 있게 된다. 그 이유는 어떤 위치와 관계없이 카드 소지자의 서명, 사진 또는 필수적인 통계와 같은 데이터를 높은 콘트라스트로 개인화 할 수 있으며, 투명하고 레이저 비감응 필름 위에 위치할 수 있다. 필름의 높은 레이저 광 흡수로 인해 형광요소, 홀로그램과 같은 카드의 다른 보안요소가 레이저 잉그레이빙 과정에서 열 스트레스를 덜 받게 된다. 또한 발급 과정에서 탈기현상(degassing)이나 기포가 거의 발생하지 않아 불량을 최소화 할 수 있다. 과거에는 이러한 두 가지 가공 불량을 필름을 두껍게 하거나 여러 층의 레이저 감응 필름을 사용하여 막을 수 있었다. 레이저 감응 필름은 일반적인 표준 필름보다 비싸기 때문에 재료비에 상당한 영향을 미쳤다^[1,12].

2-3. 필름제조 기술

폴리카보네이트는 1950년대 초반 Bayer 및 Sabic(구 GE Plastics)이 상업적 생산이 시작된 이래 Teijin, Idemitsu, Mitsubishi, Dow 등에서 상업 생산되고 있다. Figure 9의 폴리카보네이트(polycarbonate, PC)는 범용 엔지니어링 플라스틱 중 유일하게 투명성을 지니고 있으며, 내충격성, 내열성, 타 수지와의 상용성 등의 우수한 특성을 지녔다. 이 때문에 ID 카드용 자재분 뿐만 아니라, 전기·전자분야, 광학기기분야, 자동차분야, 건축분야, 의료분야, 식품용기 및 기타 생활소재 등 광범위한 분야에 사용된다. 일반명으로는 BPA(bisphenol A) 타입의 폴리카보네이트로 명명하며 IUPAC 명으로는 poly(oxycarbonyloxy1,4- phenyleneisopropylidene-1,4-phenylene)이다.

초기 폴리카보네이트가 개발된 것은 1890년대에 히드로퀴논(hydroquinone)이나 레조르시놀(resorcinol)과 포스젠과의 반응에 의해 개발되었으나, 높은 용융온도, 용매의 불용성 및 낮은 분자량 때문에 가공성 및 특성결정

에 어려움이 있어 더 이상 진행되지 못하였다. 1940년대에 알리파틱(aliphatic) 폴리카보네이트의 개발이 이루어져 안경 렌즈 소재로 현재 많이 사용되고 있는 CR-39라는 소재가 개발되었다. 그러나, 알리파틱 폴리카보네이트는 낮은 용융온도 및 내열성 등이 취약하여 소재로서의 상업화가 되지 못했다. 현재에는 일반적으로 폴리카보네이트라 하면 주사슬에 BPA 타입의 폴리카보네이트를 통칭한다^[8,15].

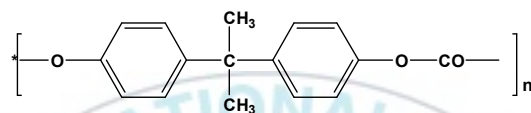


Figure 9. Chemical structure of polycarbonate.

폴리카보네이트의 장점으로는 두께와 크게 상관없이 550 nm 파장에서 90% 이상의 높은 광투과율과 레이저 인그레이빙이 가능한 장점을 가지고 있다. 내구성 측면에서는 충격성이 우수하고 파열 등의 우려가 적고 내열성이 우수하여 전기 및 가전제품에 많이 사용되고 있다. 또한, 자기 소화성 및 전기적 특성이 우수하여 전기전자 제품의 절연소재로 사용하고 있으며 우수한 치수안정성 등의 특성을 가지고 있다.

폴리카보네이트는 0.1 mm 이하의 제품 두께에서부터 수십 mm까지의 제품 성형이 가능한 장점을 가지고 있어 다양한 산업에 활용되고 있는 추세이다.

폴리카보네이트의 단점으로는 일반 아세톤, 톨루엔, 벤젠 등 유기용제에 대해 내약품성이 떨어지며 유동성이 나빠 고온성형이 필요하며 자외선에 의한 내광성이 떨어지고 표면경도가 낮아 내스크래치성이 떨어지는 특성이 있다^[8].

폴리카보네이트의 단점을 개선하기 위해 서로 다른 물리적 및 화학적

프로파일을 가진 재료를 결합함으로써 제조된 복합 솔루션은 보다 내구성이 강하고 조작식별이 가능한 문서를 제조할 수 있게 한다^[1,12].

G&D社は 여권 데이터 페이지를 위한 특별한 재료인 Pecsec를 개발하였다. Pecsec은 공압출 폴리카보네이트와 폴리에틸렌테레프탈레이트글리콜(PETG) 필름으로 제조된 라미네이트 필름이다. 몇 가지 다른 층이 함께 융합되어 탄력 있고 내구성 높은 합성물을 형성한다^[16,17,18].

Agfa Gevaert社の PETix PETF 제품은 결정성 이축 배향 필름이다. 외부 층과 PVC 또는 내부 층으로 된 다른 재료로 구성된 새로운 카드로 직접 인쇄(특수 잉크가 필요 없음) 및 컬러 레이저 개인화가 가능하다^[16].

HID Global HID Global社の 새로운 데이터 페이지는 업계에서 가장 얇은 제품 중 하나로, 전자여권 두께를 줄이고 유연성을 높이며 필요한 추가 공간을 제공한다. ICAO 표준을 준수하면서 중복을 방지하기 위해 데이터 페이지의 양쪽에 보안요소를 추가하였다^[16].

Trub/Gemalto Trub社(2019년 이후 Thales 사업부)는 칩 모듈이 통합된 초박형 폴리카보네이트 데이터 페이지를 출시하였다. 비접촉 칩 모듈과 동선 안테나는 카드 본체에 통합되어 있으며, 이는 우수한 성능을 가져오고 전자 부품을 기계적으로 보호한다^[16].

Istituto Poligrafico IPZS는 매우 얇은(300 μm) 폴리카보네이트 데이터 페이지와 획기적인 구조를 갖춘 새로운 전자여권 책자를 개발하여 시장에서 현재 사용 가능한 기술의 핵심 사항을 극복하였다^[16].

3M 폴리카보네이트 보안 필름은 라미네이션 되기 전에 폴리카보네이트 용 인쇄기와 잉크로 인쇄되도록 설계되었다^[16].

2-4. 보안 카드용 소재로서 폴리카보네이트의 장점

신분증으로 폴리카보네이트 사용에 있어 가장 큰 장점은 레이저마킹이 가능하다는 점이다. 레이저 마킹은 인쇄판은 물론 염료, 안료 등이 요구되지 않으며 레이저 모듈을 이용해 빠르고 정교한 인쇄가 가능하다는 장점이 있다. Figure 10의 비교와 같이 레이저 마킹은 인쇄층이 표면에 형성되는 일반 인쇄와 달리 소재 내부로 직접 각인되기 때문에 기존의 인쇄제품에 사용되는 용제 등을 이용한 변조 수법이 불가능하다. 또한 돌출문자, 레이저변환이미지, 미세문자 등의 보안요소 적용이 가능하다^[17].

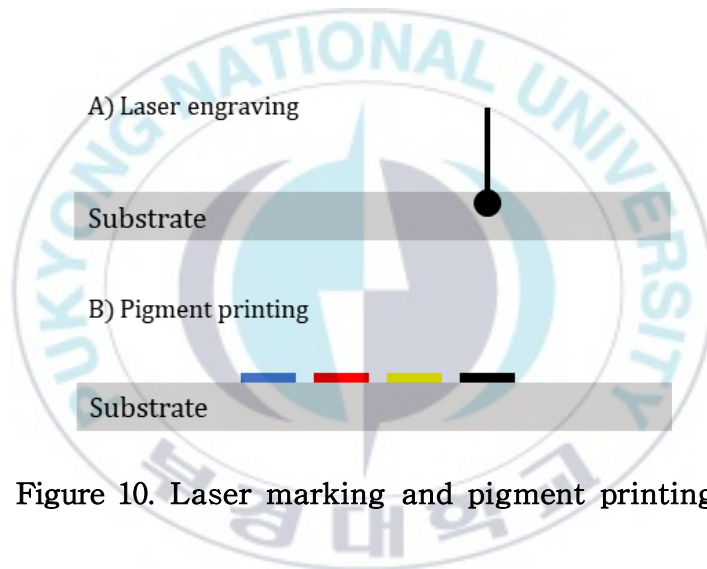


Figure 10. Laser marking and pigment printing.

3. 폴리카보네이트 표면에너지 모델

3-1. 정적법

표면에너지를 구하기 위한 일반적인 모델은 Sessile drop 방식을 이용한 접촉각 측정 모델이다. 접촉각은 Figure 21과 같이 정의되며 Young's equation인 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다^[19,20].

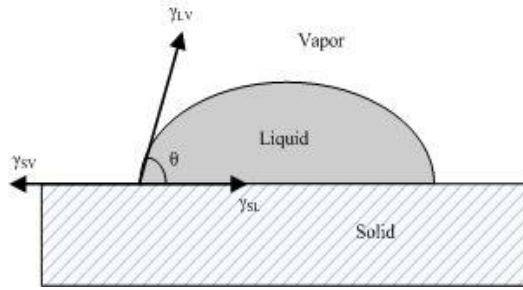


Figure 11. Contact angle between sessile drop and substrate in the equilibrium state.

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

공기의 흡착력이 미약하다고 가정하면,

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dupre equation에 의한 work of adhesion은 다음과 같다.

$$W_{SL}^a = \gamma_S + \gamma_L - \gamma_{SL} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Young-Dupre equation은 식 (2)를 식 (3)에 대입하면 식 (4)와 같이 주어진다.

$$W_{SL}^a = \gamma_L (1 + \cos \theta) \quad \dots\dots\dots (4)$$

고체 표면에 작용하는 힘을 극성 성분과 비극성 성분으로 분해하여 나타낼 수 있으며, 각 성분의 합은 전체 고체 표면에 작용하는 힘으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \gamma^P + \gamma^d \quad \dots\dots\dots (5)$$

Geometrical mean method를 통하여 고체와 액체 사이의 응착에너지는 다음과 같이 주어진다.

$$W_{SL}^a = 2\sqrt{\gamma_L^P \gamma_S^P} + 2\sqrt{\gamma_L^d \gamma_S^d} \quad \dots\dots\dots (6)$$

식 (5)를 식 (6)에 대입하면 고체 표면에 작용하는 극성 성분의 힘과 비극성 성분의 힘 그리고 고체와 액체의 흡착력으로 인해 형성되는 접촉각과의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}\gamma_L(1 + \cos\theta) = 2\sqrt{\gamma_L^P\gamma_s^P} + 2\sqrt{\gamma_L^d\gamma_s^d} \dots\dots\dots (7)$$

고체 표면의 극성 성분의 힘과 비극성 성분의 힘을 구하기 위하여 표면 에너지 값을 알고 있는 두 종류의 액체를 이용하여 접촉각을 측정하여 연립방정식을 계산하면 된다. 또한 고체 표면에 작용하는 표면장력은 Lewis acid base method를 이용하여 Lifshitz van der Walls 성분과 Lewis acid base 성분으로 나눌 수 있으며 식 (8)과 같이 선형 조합으로 이루어진다.

$$\gamma = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \dots\dots\dots (8)$$

이를 통한 work of adhesion은 다음과 같이 표현 된다.

$$W_{SL}^a = W_{SL}^{a,LW} + W_{SL}^{a,AB} = \gamma_L(1 + \cos\theta) \dots\dots\dots (9)$$

$$W_{SL}^a = 2(\sqrt{\gamma_s^{LW}\gamma_L^P} + \sqrt{\gamma_s^+\gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_s^-\gamma_L^+} \dots\dots\dots (10)$$

따라서 고체 표면의 에너지를 구하기 위해서는 표면 장력 값을 알고 있는 세 종류의 서로 다른 용액에 대한 고체 표면의 접촉각을 측정하여, 이를 식 (10)에 대입하여 해를 얻을 수 있다^[40].

3-2. JKR 모델

Johnson, Kendall 그리고 Roberts는 두 개의 표면이 접촉하지 않은 상태에서는 어떠한 힘이 없고 접촉상태에서는 접촉면적 내부에서 작은 범위의 인력이 작용하여 잉크가 인력을 받는다는 가정을 통해 Figure 12와

같은 JKR 모델을 제시하였다.

$$P = \frac{Ka^3}{R} - \sqrt{6\pi\Delta\gamma ka^3} \dots\dots\dots (11)$$

$$P_{pull-off} = 2\pi\Delta\gamma R \dots\dots\dots (12)$$

$$a_{JKR}^3 = \frac{R}{K}[P + 3\pi\Delta\gamma R + 6\pi\Delta\gamma RP + (3\pi\Delta R)^2] \dots\dots\dots (13)$$

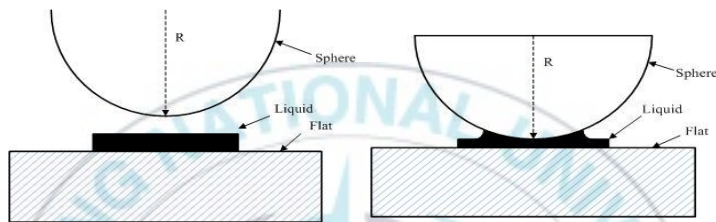


Figure 12. Meniscus formation at the interface for a sphere in contact and non-contact with a plane surface.

여기서, P 는 작용하중, Δg 는 응착일, a 는 접촉 반지름, R 은 접촉하는 입자의 반지름, K 는 접촉하는 두 물체에 대한 탄성 등가 계수이다. JKR 이론에서의 두 탄성체 2접촉에 대한 기하학적 내용들이 헤르츠 이론에 제한되지 않는 최초의 모델로서 작은 강성을 갖고 큰 곡률 반경을 갖는 응착력이 큰 시스템에서는 잘 적용되는 장점을 가지고 있다. 그러나 식 (11 ~ 13)에서 볼 수 있듯이, 각각의 인자들에 대한 규명이 명확하지 않고, 단순 접촉에 대한 힘만 규명되어 있다는 한계성을 가지고 있다^[19,20].

3-3. 거칠기 돌기의 상호작용 모델

Greenwood와 Williamson은 대면적을 가지는 소재는 거칠기를 가지고 있으며, 정점 높이 혹은 거칠기 최고점은 평균 정점 평면에 불규칙하게

분포하고 있고 이는 표준 편차를 가진 Gaussian 분포로 되어 있다고 가정하며 Figure 13에서와 같이 거칠기 돌기의 정점은 원에 가깝다고 가정한다.

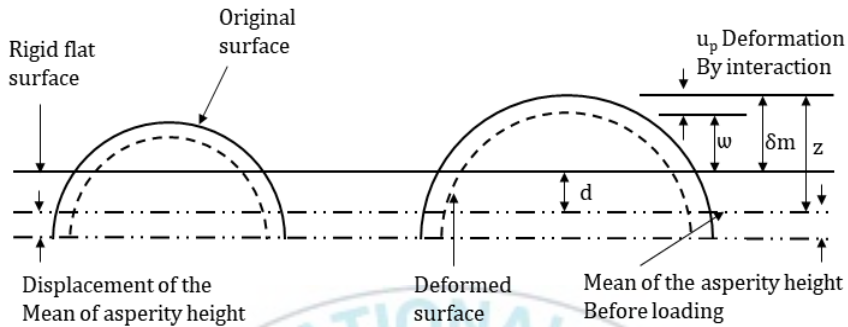


Figure 13. Contact of a rough surface with a rigid flat plane considering interaction.

여기서 U_m 은 거칠기 돌기 높이의 평균값의 변위, z 는 하중으로 인해 변하기 전의 거칠기 높이의 평균값으로부터 측정된 선택된 임의의 거칠기 돌기의 높이, δ_a 는 매끈한 평면의 접촉으로 인해 거칠기 돌기가 눌리는 간섭으로 인한 간섭량이다. 이러한 가정을 기초로 하여 거칠기 돌기의 변위(w)를 한 개의 거칠기에 작용하는 접촉 하중(P_s)과 표면에 대한 전체 평균 접촉 압력(P_g)을 이용하여 변형하여 다음과 같이 정의하였다.

$$w = z - d + 1.12 \frac{\sqrt{P_s \cdot P_g}}{E} \dots\dots\dots (14)$$

Greenwood와 Williamson의 거칠기 돌기에 대한 상호 접촉 모델의 경우 접촉 하중에 대한 명확한 규명 방법이 불가능 하고, 접촉 하중과 접촉 압력을 통하여 얻어진 거칠기 돌기의 변위가 탄성체의 응착력에 어떠한 영향을 일으키는가에 따른 결과가 거칠기 돌기의 변형이 탄성변형과

소성 변형에 따라 크게 다른 차이점으로 인하여 직접적인 적용이 어렵다는 한계점을 가지고 있다. 그러므로 접촉 하중과 접촉 압력에 따른 실제 거칠기 돌기의 높이 변형 값이 아닌 표면 거칠기만을 고려하여야 한다는 것을 확인 하였다^[19,20].

3-4 표면거칠기와 잉크 피복률

Walker와 Fetsko의 잉크 전이 방정식에서는 표현되어 있지 않지만, 앞에서 기술한 거칠기 돌기의 상호작용 모델에서 기술한 바와 같이 모든 소재들은 자체의 거칠기를 가지고 있다.

Walker-Fetsko 전이 방정식은 아래와 같은 세 가지의 개념에 의해서 만들어졌다^[19,20].

(가정 1) 용지의 피복 면적 비 (k 값)

(가정 2) 고정 잉크의 개념 (b 값)

(가정 3) 자유 잉크의 분열 (f 값)

이와 같이 (1),(2),(3)의 세 가지 개념을 종합하여 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$y = F(x)[b\phi(x) + fx - b\phi(x)] \dots\dots\dots (15)$$

그런데, 여기서 NPIRI의 실험 결과에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F(x) = 1 - e^{-kx} \dots\dots\dots (16)$$

$$\phi(x) = 1 - e^{-x/b} \dots\dots\dots (17)$$

따라서 다시 쓰면 다음과 같다.

$$y = (1 - e^{-kx})[b(1 - e^{-x/b}) + fx - b(1 - e^{-x/b})] \dots\dots\dots (18)$$

Walker-Fetsko의 방정식 이후에 여러 가지 식이 제안되었다. 즉,

(가) Rupp-Rieche의 전이 방정식

$$F(x) = 1 - e^{-(kx)^2} \dots\dots\dots (19)$$

(나) Wulfsch-Schubert의 전이 방정식

$$F(x) = 1 - e^{-(kx)^{1.5}} \dots\dots\dots (20)$$

(다) Laignou의 전이 방정식

$$F(x) = \frac{x^2}{x^2 + k^2} \dots\dots\dots (21)$$

플라스틱 필름의 경우, 분말 상태의 원료를 용융하여 뽑아내는 제조과정을 거치므로 표면의 돌기들이 미약하지만 존재하게 된다. 그러므로 잉크 전이 모델에서의 표면 거칠기 인자는 포함되어야 한다. Figure 14에서는 솔리드 인쇄의 인쇄 전이 메커니즘을 보여주고 있다.

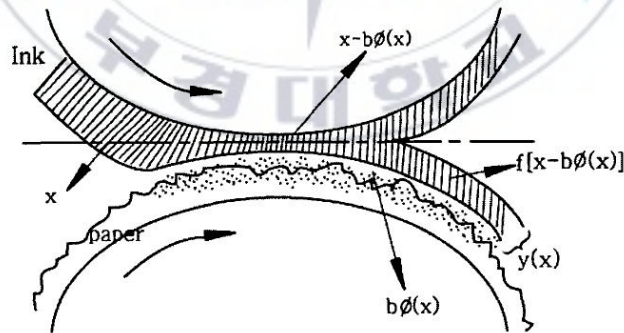


Figure 14. The ink transfer mechanism of the solid printing.

잉크 피복률 경우에는 기존의 잉크 전이 방정식들의 대부분은 펄프 기반의 종이 인쇄를 표현 하였다. 이 경우 펄프의 모세관 현상과 흡수 현

상이 발생하므로 피복률에 대한 인자가 첨가된다. 그러나 플라스틱 필름의 인쇄와 같이 피 인쇄체 자체의 흡수성을 가지지 않고 인쇄체에 잉크량이 많은 경우(기준 : 5 g/m²) 대부분의 인쇄면에서 잉크와의 접촉으로 인하여 전이가 발생하므로 최대 잉크 피복률 값을 가지게 되며 Figure 15와 같은 결과를 보이게 된다^[50].

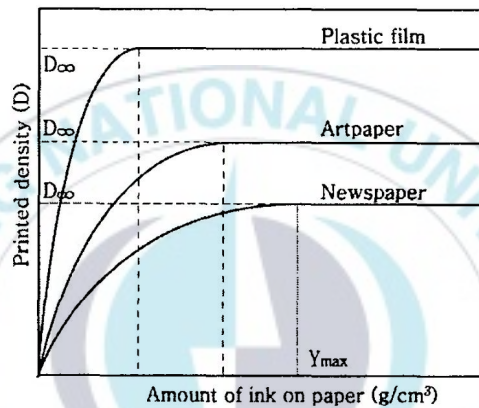


Figure 15. The calculation of Tollenaar's.

3-5. 플라스틱의 인쇄적성

Fowkes, Zismann, Young 등 많은 과학자들은 비흡수 표면의 계면 현상에 관해 연구하였으며, 이 이론들은 주로 Young의 식에 의해 기초를 두고 있다.

Young의 식은 고체에 대한 액체의 접촉각을 다음과 같이 설명한다.

지금, γ_{LV} 는 기체-액체의 표면장력, γ_{SV} 는 기체-고체의 표면 장력, 그리

고 γ_{SL} 는 고체-액체의 계면 장력이며, 다음과 같은 정량적인 관계식이

성립된다.

$$\gamma_{SL} - \gamma_{SV} + \gamma_{LV} \cos \Theta = 0 \dots\dots\dots (22)$$

$$\gamma_{LV} \cos \Theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \dots\dots\dots (23)$$

이 식은 1805년 Young에 의해 유도되었으므로, Young의 식이라고 한다.

Zismann은 고체 표면 위에서 액체의 거동에 관해 언급하였는데, 그 식은 고체 위에 액체의 접착력에 관한 식이었다. 이 식에 기초를 두고 저에너지 표면(플라스틱)에서 고에너지 표면(즉, 금속이나 유리면 등)까지 연구하였으며, 그의 이론은 임계 표면 장력(critical surface tension)이라는 것이었다.

임계 표면 장력은 액체의 표면 장력과 고체에 대한 액체의 접촉각 사이의 관계를 측정한 것에 기초를 두고 있다.

균일한 단일 성분의 액체를 가지고 접촉각을 재보면 접촉각이 zero가 되므로 cos을 하면 = 1이 되고, 이 때의 값을 임계 표면 장력이라고 한다.

이와 같은 Zismann의 이론에 의해 Strobech는 다음과 같은 인쇄 적성에 관한 이론을 제시하였다.

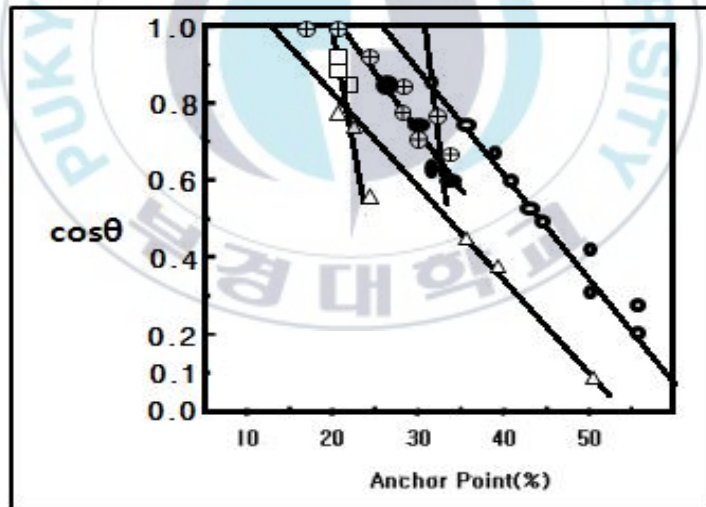
피인쇄체의 임계표면장력은 잉크의 표면장력보다 높거나 같아야 하며 접착에 관한 최선의 열역학적인 조건은 피인쇄체의 용해도 계수와 잉크 중 바인더의 상호관계에 따라 얻어질 수 있다. 또한 임계표면장력이 높을수록 접착은 더 잘되며 접착력과 임계표면장력은 비례한다.

표면 장력과 내부의 분자들 사이의 장력을 계산하는 방법들이 몇 가지 발표되어 있다. 주로 이것들은 플라스틱 필름의 극성(polarity)을 이용하는 것이다. 즉, 표면 장력 곡선(surface tension curve, 표면장력-접촉각의 관계곡선, CST, CA-ST 곡선이라고도 쉽게 부를 수 있음)을 주로 사

용해 왔는데, Zismann은 이 선이 직선이 된다고 말했고 다른 몇몇의 연구자들은 직선이 안 된다고 말한 사람들도 있다.

이런 계산 방법들은 Zismann의 임계 표면 장력이 인쇄 적성과 접착력을 설명하는데 충분하지 않다는 것을 나타낸다. 이런 상황은 몇 가지 경우에서 나타난다. 예를 들면, Zismann의 이론에 의하면 인쇄 적성이 향상될 것이라는 이론적인 예측 결과와 상의한 잉크와 플라스틱 필름과의 인쇄 적성은 더 불량해지는 결과를 보였다.

인쇄 적성의 값을 구하기 위하여 앞서 말한 표면 장력 곡선을 이용하면 Figure 16과 같은 실험을 통해 플라스틱 필름과 잉크 사이의 인쇄 적성을 예측할 수 있고, 인쇄 적성을 향상시키기 위한 연구에 활용 할 수 있다^[19,20].



(Teflon : ○ n-alkanes : ● dialkyl ethers : □ siloxanes : △ alkylbenzene : ⊕ RX : ⊖)

Figure 16. Contact angle of various homogeneous materials of Zismann.

III. 실험

1. 실험재료

본 실험에 사용된 폴리카보네이트 필름은 코베스트로사 폴리카보네이트 MakrofolID 인쇄시트로 두께 100 μm , 표면장력 42 dyne/cm의 기준시료로 적용하였으며, 인쇄적성을 향상시키기 위해 실험 조건 22 ± 3 $^{\circ}\text{C}$, 습도 50 ± 3 %의 조건 하에서 Figure 17의 필름 압출기(Collin, extruder e25o)를 통해 폴리카보네이트 필름을 두께 100 μm 로 제조하였고 시료의 표면조도 0.5 - 3.8 μm 범위로 칼렌더 롤의 표면을 가공하고 압력을 조절하여 폴리카보네이트 필름의 시료를 제조하였다.



Figure 17. Extruder collin e25p.

실험을 위해 준비된 폴리카보네이트 필름의 재료는 Table 1과 같이 표면처리 특성에 변화를 준 기준시료와 시험시료를 사용하였다.

Table 1. Characteristics of Experimental Materials

Sample No. Component	Control sample	Experiment sample
Thickness, μm	100	100
Roughness, μm	0.5 1, 2, 3, 3.8	0.5 1, 2, 3, 3.6
Surface tension, dyne/cm	42	42, 46, 52, 58

2. 실험방법

2-1. 표면처리

표면장력의 변화를 위해 Figure 18의 코로나 방전 처리기를 통해 출력 (Corona treater, cotrex)을 100 watt에서 1 - 5초간 처리하였고 Figure 29의 대기압 플라즈마 처리장치(App, ilp-500)에서 50 watt, 5 - 10초간 표면처리를 통해 시료를 제작하였다.

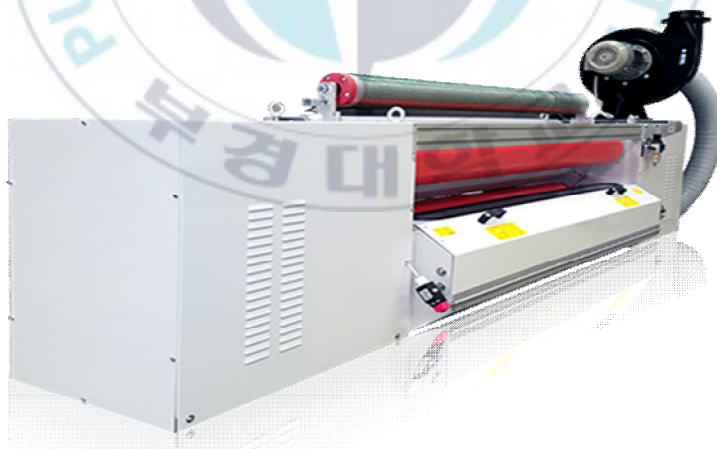


Figure 18. Corona treatment system.



Figure 19. Atmospheric plasma treatment system.

본 연구에서는 Figure 20에 보이는 것과 같이 표면장력은 변화는 폴리카보네이트 시트의 친수기를 조절하는 것으로, 폴리카보네이트 시험시료의 표면장력을 조절하여 제작하였으며 36 ~ 58 dyne/cm의 범위에서의 인쇄적성 평가를 실시하였다.

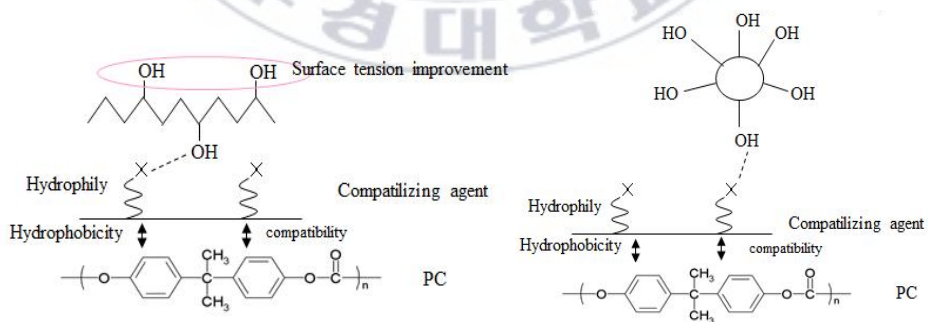


Figure 20. The Scheme of improve surface tension.

2-2. 표면조도의 측정

시료의 표면조도는 Figure 21의 표면형상측정기(Mitutoyo, CS-300를 이용하여 측정하였다. 표면거칠기의 대표적인 종류로 중심선 평균 산출법(R_a), 최대 높이 산출법(R_s), 십점 평균 산출법(R_z)가 있다. 그중에서 R_a 는 물체 표면의 일부를 샘플로 채택하여 저주파와 고주파 파형을 그리게 된다.



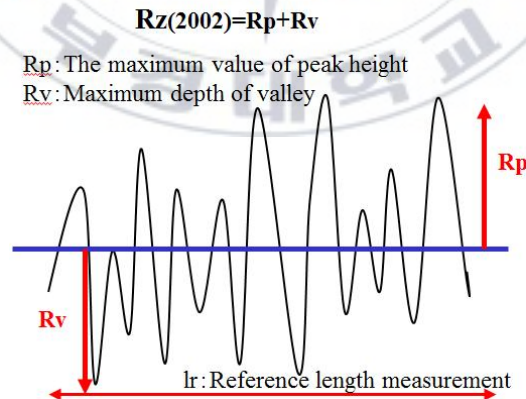
Figure 21. Surface shape measuring instrument.

필요에 따라서 컷오프(cut-off)라고 해서 저주파 파형을 생각하지 않고 고주파 영역에 대한 거칠기만을 생각하기도 한다. 임의로 표면을 측정하고 여기에 중심선을 정하고 아래 영역을 중심선에 대해서 모두 대칭으로 위쪽 영역으로 옮긴다. 이렇게 하는 이유는 적분을 할 경우 아래쪽 영역은 음의 값이 나오기 때문이다. 모두 양의 값으로 바꾸어 주어야 평균을 산출할 때 상쇄되는 영역이 없어지게 되며 아래와 같은 식을 사용한다.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \dots\dots\dots (24)$$

이 식의 의미는 중심선 위쪽의 그래프를 적분한 값을 샘플 구간으로 나누어 주어서 샘플 구간에서 거칠기 없이 평평하다고 가정하였을 때의 평균 높이를 의미한다. 최대 높이 산출법(R_s)는 샘플구간을 정하고 그 중심선을 찾은 후에 중심선으로부터 떨어진 곳의 거칠기를 말한다.

Figure 22에서 제시한 것과 같이 십점 평균 산출법(R_z)는 샘플구간의 중심선으로부터 위쪽으로 가장 멀리 떨어진 5곳의 거리의 합(절대값)과, 아래쪽으로 가장 멀리 떨어진 5곳의 거리의 합(절대값)을 더해서 5로 나뉜다. 절대값으로 하는 이유는 R_a 에서와 마찬가지로 상쇄되지 않게하기 위함이고, 평균을 내기 위해 5로 나뉜다. 기존 측정방법인 최대높이(R_p) + 최대깊이(R_v)의 평균인 0.25 mm cut-off value 측정방법에서 중심선에서 최대높이 평균값의 8.0 mm cut-off value로 변경하여 표면조도 측정값을 하였다^[51].



Ra(2002): Center line average surface roughness

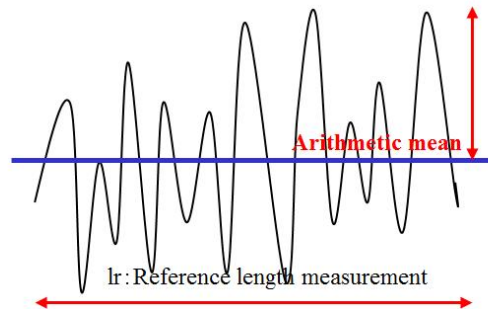


Figure 22. (Top) Ten point average calculation(R_z) and (bottom) center line maximum height average calculation method(R_a).

2-3. 표면장력 측정

폴리카보네이트 시료의 표면장력은 Figure 23과 같이 표면장력 시약법 (ASTM D2578)으로 적재상태(close)에서 측정하고 필름보관온도를 25 °C, 40 °C, 60 °C와 1, 5, 15, 25, 35일 간격으로 시간변화에 따른 경시안정성을 측정하였다.



Figure 23. Surface tension measuring agent.

2-4. 가열신축률 측정

본 실험에 준비된 폴리카보네이트 시트는 ISO/IEC 7810의 카드규격 조건을 충족하기 위해 보호층, 레이저층, 인쇄층, 코어층을 조합하여 900 μm 구성하였고 Figure 24의 Burkle smartlam lamination system을 통하여 열압착 온도 185 $^{\circ}\text{C}$, 압력 조건 180 bar 조건에서 라미네이팅한 카드를 제조하여 가열신축률을 측정하였다. 필름은 연신 조건에 따라, 필름은 길이 및 수직 방향으로 동시에 수축될 수 있으며(이축 연신필름) 길이 방향으로 수축될 수 있다(단축 연신필름). 그러므로 수축률 R은 필름을 수축시키려는 온도로 열처리할 때 줄어드는 시료의 길이이며, 최초 시료의 길이에 대한 퍼센트 값으로 표시하였다.



Figure 24. Burkle smartlam lamination system.

3. 인쇄적성 평가

인쇄적성을 평가하기 위한 항목으로는 Figure 25의 IGT 인쇄 적성 시험기 C1으로 실험 조건 22 ± 3 $^{\circ}\text{C}$, 습도 50 ± 3 %의 조건 하에서 잉크

공급량을 0.6 cc, 인쇄 속도 1 m/sec, 압력 100N으로 전색 실험하였고
잉크 농도법에 의한 객관적인 인쇄물 평가를 위하여 반사 농도계
(X-Rite 550)를 사용하였다.



Figure 25. IGT C1 Printability tester.

측정항목은 인쇄농도, 잉크 부착성, 접착력을 설정하였으며 각 항목별
결과를 종합하여 최종 결과를 도출하였으며, 항목별 평가방법은 인쇄농
도(ink density)를 측정하기 위해 단색격자 무늬 인쇄물의 육안분석 하였
으며 잉크번짐(ink fixable) 상태인 인쇄물의 잉크방울 번짐 형태 육안
분석하고 잉크접착성(ink adhesion)을 위해 테이프를 이용한 접착력 시
험을 진행하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 표면조도에 따른 인쇄적성

표면조도에 따른 폴리카보네이트 기준시료의 인쇄적성 시험결과 Figure 26에서 보는 것과 같이 인쇄농도는 표면조도 $1\mu\text{m}$ 에서 잉크 농도 및 잉크 번짐 적성이 우수한 결과를 나타낸 것을 확인 할 수 있었다. 표면조도 $3\mu\text{m}$ 범위에서는 잉크 접착력은 우수하지만 잉크 농도 및 잉크 번짐 적성이 상대적으로 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 폴리카보네이트 시트는 시험결과 표면조도 $1\mu\text{m}$ 범위에서 우수한 인쇄적성을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

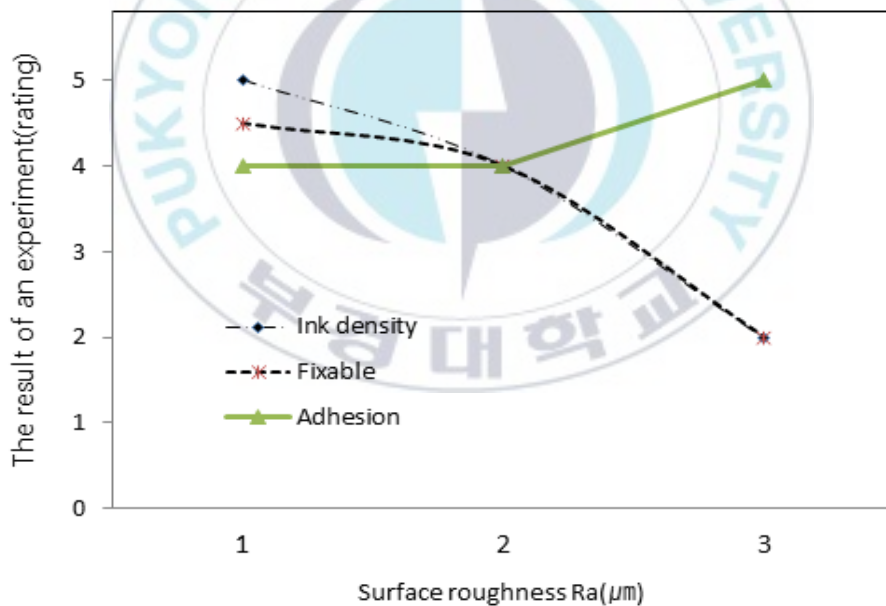


Figure 26. The effect of surface roughness of PC sheet in off-set printability.

표면조도에 따른 폴리카보네이트 기준시료의 잉크 전이 시험결과 Figure 27에서 보는 것과 같이 인쇄농도는 표면조도 1 μm 에서 optical density 1.65로 높은 결과를 나타낸 것을 확인 할 수 있었다. 표면조도가 높아짐에 따라 인쇄농도가 저하됨을 알 수 있었다.

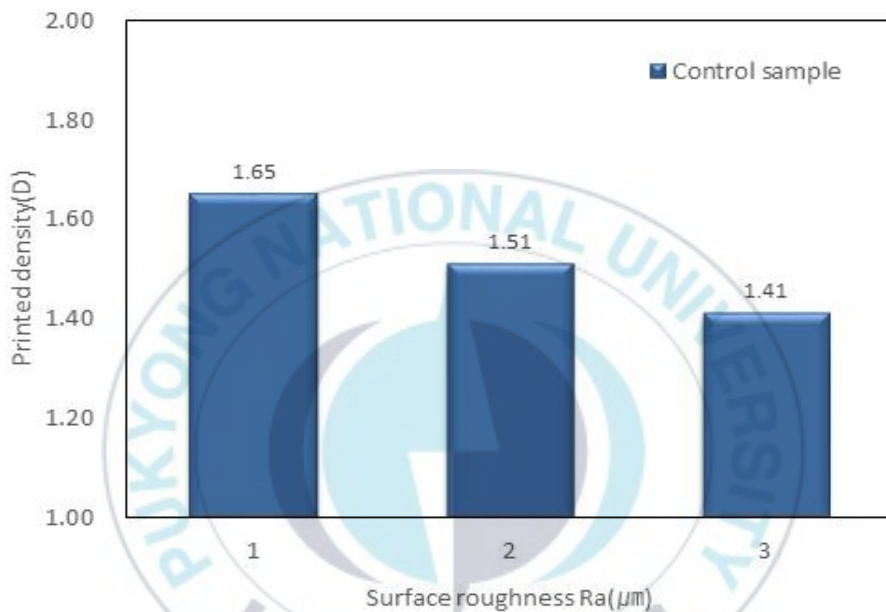


Figure 27. The results of ink transfer value.(control sample)

코로나 및 플라즈마 처리되고 표면조도 변화를 준 폴리카보네이트 시험시료의 인쇄적성 시험결과 Figure 28에서 보는 것과 같이 인쇄농도는 표면조도 1 μm 이하에서 우수한 특성을 보이고 있으나 인쇄 농도, 잉크 번짐 특성과 잉크접착성 등 표면조도 2 μm 범위에서 가장 우수한 특성을 확인하였다. 폴리카보네이트 기준 샘플의 경우 표면조도가 증가할수록 잉크 접착성은 우수해지나 잉크 농도 및 잉크 번짐 특성이 낮아지는 결과를 확인 할 수 있었다.

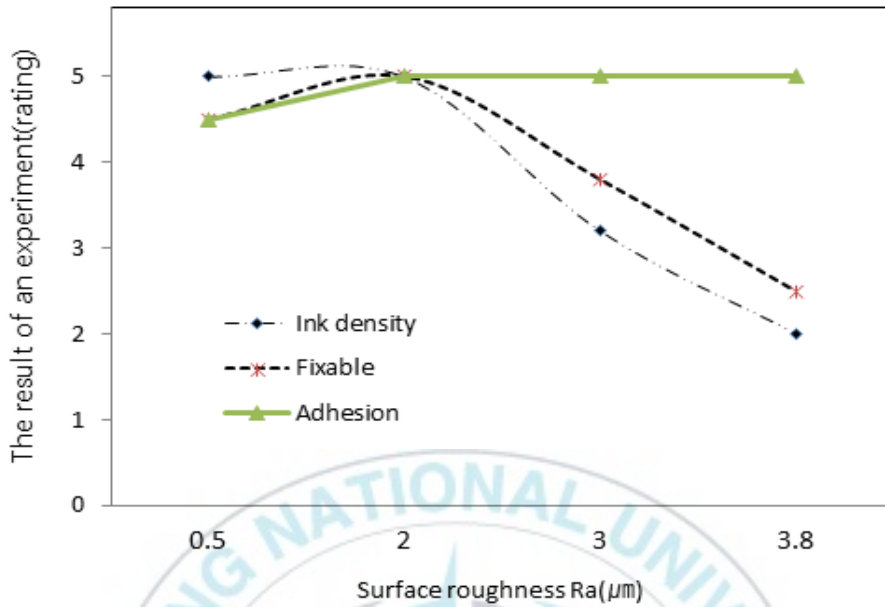


Figure 28. The effect of surface roughness of PC sheet in off-set printability.

표면조도에 따른 폴리카보네이트 시험시료의 잉크 전이 시험결과 Figure 29에서 보는 것과 같이 인쇄농도는 표면조도 2 μm 에서 잉크 농도 값이 1.73으로 높은 결과를 나타낸 것을 확인 할 수 있었다. 표면조도가 높아짐에 따라 인쇄농도가 저하됨을 확인 할 수 있었다.

Figure 30과 같이 코로나 및 플라즈마 표면처리에 따른 시험샘플의 표면조도 2 μm 에서 잉크 농도 값이 1.78으로 인쇄적성이 가장 우수한 결과를 나타낸 것을 확인 할 수 있었다. 코로나 처리된 기준시료의 경우 표면조도가 증가할수록 잉크 농도 및 잉크 번짐 특성은 다소 떨어지는 것을 확인 하였다.

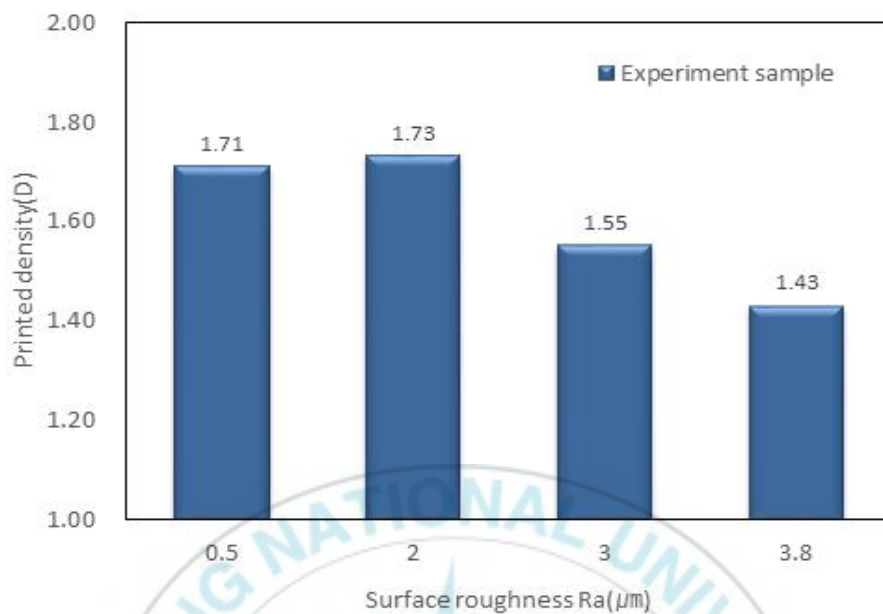


Figure 29. The result of experiment sample ink transfer value.

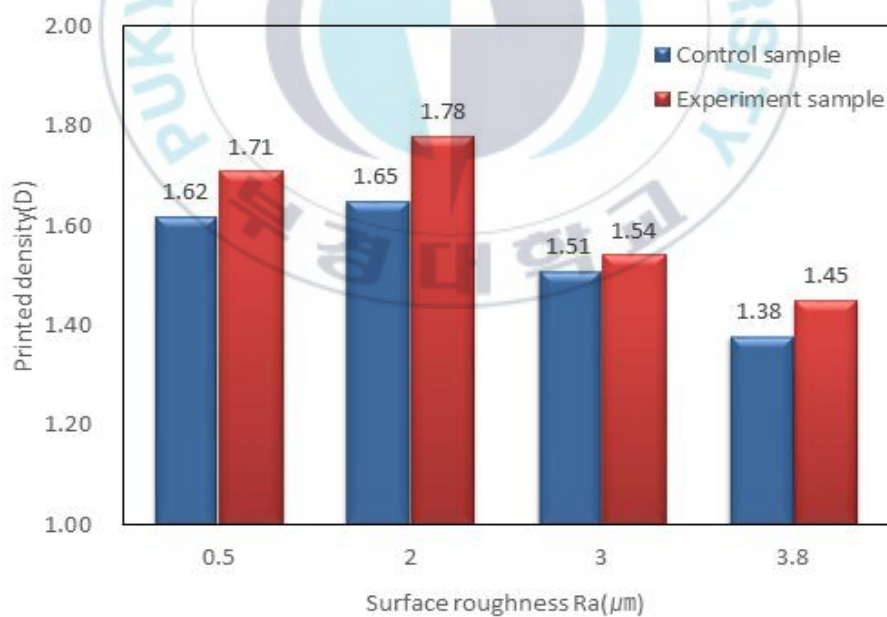


Figure 30. The result of printability ink transfer value.

Figure 31과 같이 표면조도가 증가함에 따라 접착 특성이 상승하는 것을 알 수 있었으며, 코로나 및 플라즈마 처리 된 시트의 경우 코로나 처리된 시료보다 접착강도가 더 우수하며 표면조도 3.5 μm 에서 525 N/cm^2 으로 높은 접착력을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

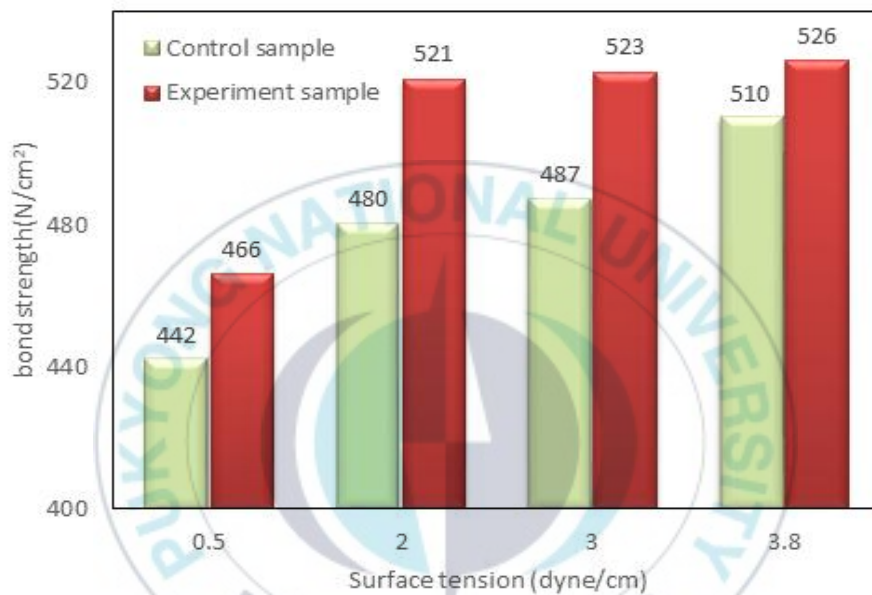


Figure 31. The result of adhesion experiment.

Figure 32와 같이 기준시료와 시험시료의 인쇄적성 비교 시험결과 표면조도 1 ~ 2 μm 범위에서 코로나 처리된 기준시료 보다 코로나 및 플라즈마 표면 처리된 시험시료의 시트가 상대적으로 우수한 인쇄적성 특성을 보이고 있다.

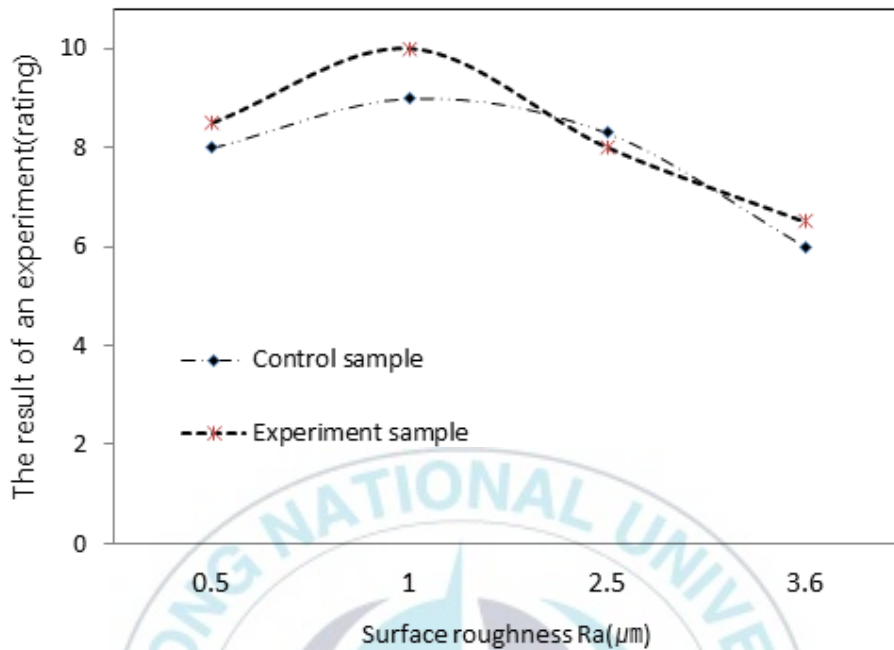


Figure 32. The result of printability ink transfer value.

2. 온도 및 시간에 따른 표면특성

Figure 33과 같이 표면장력 42 dyne/cm의 기준시료와 시험시료의 표면장력의 변화를 25 °C 유지된 상태에서 각각 1, 5, 15, 25, 35일 측정한 결과 기준시료의 경우 5일 이후 15일이 지난 상태에서 표면장력의 변화가 시작되었으며 시험시료의 경우 15일 이후 25일이 경과한 상태에서 2 dyne/cm 변화가 나타나는 것을 확인하였다.

기준시료의 경우 코로나 처리만을 하였고 시험시료의 경우 코로나 처리 및 플라즈마 처리를 함으로서 상대적으로 표면변화가 느리게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

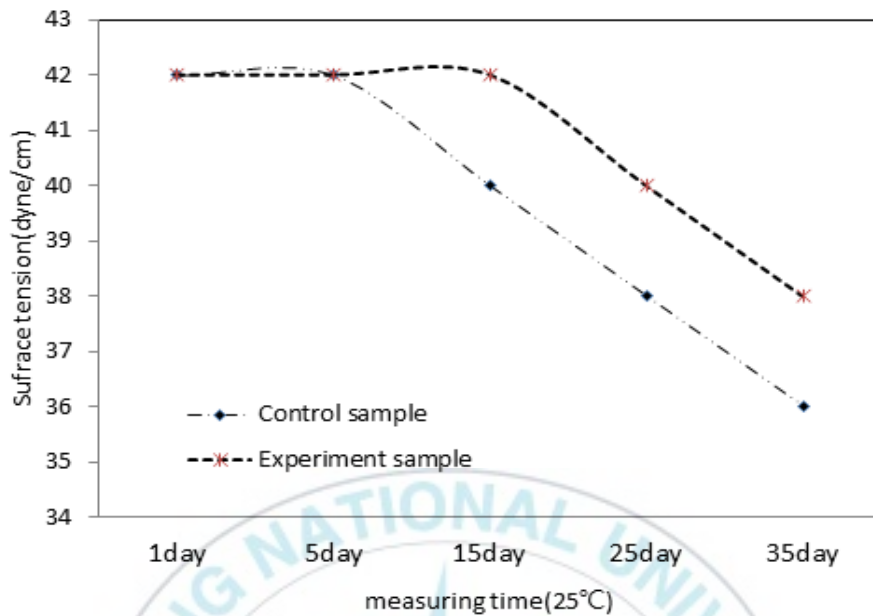


Figure 33. The results of surface tension change at 25°C.

Figure 34와 같이 표면장력 42dyne/cm의 기준시료와 시험시료의 표면장력의 변화를 40°C 유지된 상태에서 각각 1, 5, 15, 25, 35일 측정한 결과 기준시료의 경우 1일 이후 5일이 지난 상태에서 표면장력의 변화가 시작되었으며 시험시료의 경우 5일 이후 15일이 경과한 상태에서 2 dyne/cm 변화가 나타나는 것을 확인하였다.

보관하는 온도가 높을수록 기준시료와 시험시료는 25 °C에서 보다 빠른 표면장력의 저하가 나타나는 것을 확일 할 수 있었다. 그러나 시간이 지날수록 35일에서는 변화가 일어나지 않거나 느리게 변화하는 것이 알 수 있었다.

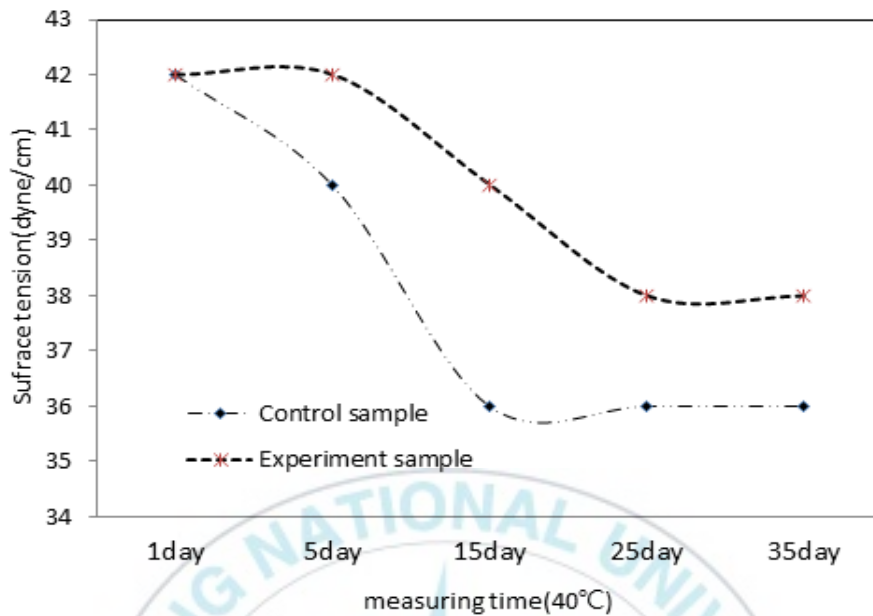


Figure 34. The results of surface tension change at 40°C.

Figure 35와 같이 표면장력 42 dyne/cm의 기준시료와 시험시료의 표면장력의 변화를 60 °C 유지된 상태에서 각각 1, 5, 15, 25, 35일 측정한 결과 기준시료의 경우 1일 이후 표면장력의 변화가 시작되었으며 시험시료의 경우 1일 이후 5일이 경과한 상태에서 2 dyne/cm 변화가 나타나는 것을 확인하였다.

보관하는 온도(60 °C)가 높을수록 기준시료와 시험시료는 25 °C, 40 °C에서 보다 빠른 표면장력의 저하가 나타나는 것을 확일 할 수 있었다. 그러나 시간이 지날수록 35일에서는 변화가 일어나지 않거나 느리게 변화하는 것이 알 수 있었다.

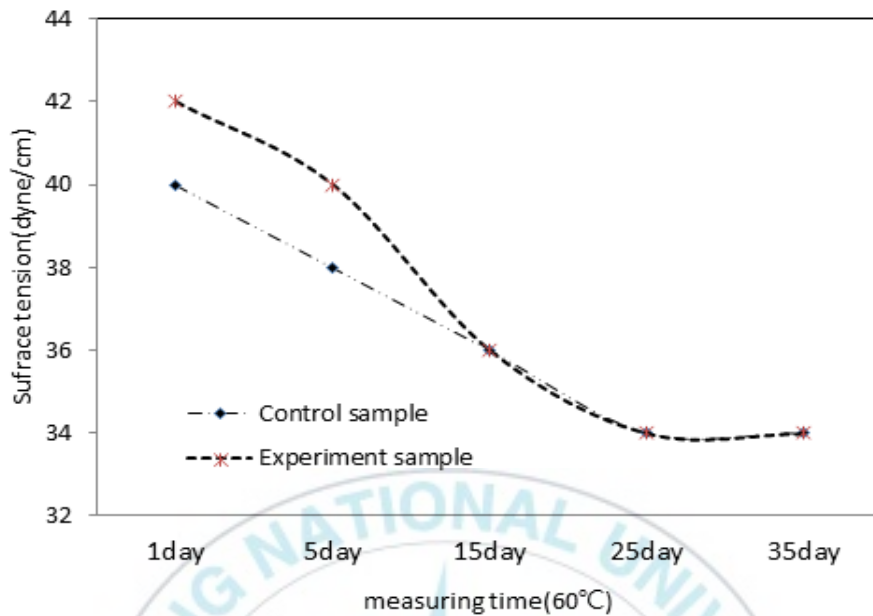


Figure 35. The results of surface tension change at 60°C.

3. 온도 및 시간에 따른 표면장력 특성

Figure 36과 같이 초기 표면장력 46 dyne/cm 제작된 시험시료의 표면장력의 변화를 25 °C 유지된 상태에서 각각 1 ~ 320일 동안 측정한 결과 코로나 처리된 제품의 경우 시간이 지남에 따라 8 dyne/cm까지 떨어지는 변화를 볼 수 있었으나 플라즈마 처리에 의한 폴리카보네이트 시트의 표면장력은 4 dyne/cm 변화로 경시안정성이 상대적으로 우수함을 알 수 있었다. 그 원인으로는 플라즈마 처리가 시트의 깊은 부분까지 영향을 미치기 때문이라고 생각할 수 있다.

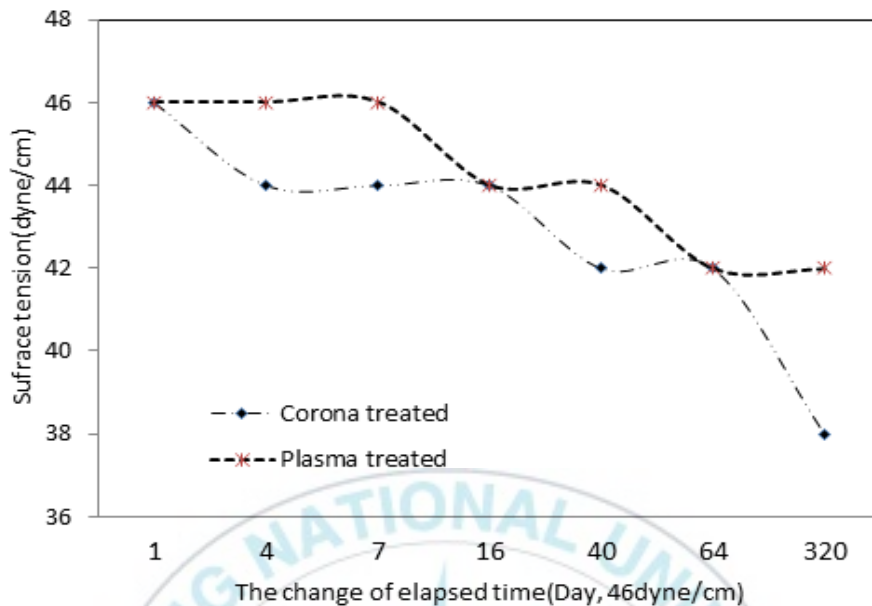


Figure 36. The results of surface tension change at 46 dyne/cm.

Figure 37과 같이 초기 표면장력 52 dyne/cm 제작된 시험시료의 표면장력의 변화를 25 °C 유지된 상태에서 각각 1 ~ 320일 동안 측정한 결과 코로나 처리된 제품의 경우 시간이 지남에 따라 12 dyne/cm까지 떨어지는 변화를 볼 수 있었으나 플라즈마 처리에 의한 폴리카보네이트 시트의 표면장력은 8 dyne/cm 변화로 경시안정성이 상대적으로 우수함을 알 수 있었으며 높은 표면장력으로 제작된 시료의 경우 경시안정성이 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

Figure 38과 같이 초기 표면장력 58 dyne/cm 제작된 시험시료의 표면장력의 변화를 25 °C 유지된 상태에서 각각 1 ~ 320일 동안 측정한 결과 코로나 처리된 제품의 경우 시간이 지남에 따라 14 dyne/cm까지 떨어지는 변화를 볼 수 있었으나 플라즈마 처리에 의한 폴리카보네이트 시

트의 표면장력은 8 dyne/cm 변화로 경시안정성이 우수함을 알 수 있었으며 높은 표면장력으로 제작된 시료의 경우 경시안정성이 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

폴리카보네이트 시트에 있어서 인쇄적성(표면장력)을 높이기 위해 코로나 방전처리 및 플라스마 처리를 진행하였을 경우 경시변화를 볼 수 있었다. 코로나 처리된 제품의 경우 비교적 안정적인 경시 안정성을 보이고 있으나 플라스마 처리에 의한 폴리카보네이트 시트의 표면장력 특성 조절성과 경시안정성이 상대적으로 우수함을 알 수 있었다. 그 원인으로는 플라스마 처리가 시트의 깊은 부분까지 영향을 미치기 때문이라고 생각할 수 있다

그러나 폴리카보네이트 표면 처리에 따른 가공성 및 인쇄적성 등에 장점이 많은 반면 불필요한 비용 상승과 표면물성 변화에 따른 내구성 감소 및 생산성 저하의 문제점 등을 예측할 수 있으므로 향후 별도의 검토와 신중한 접근이 필요하다.

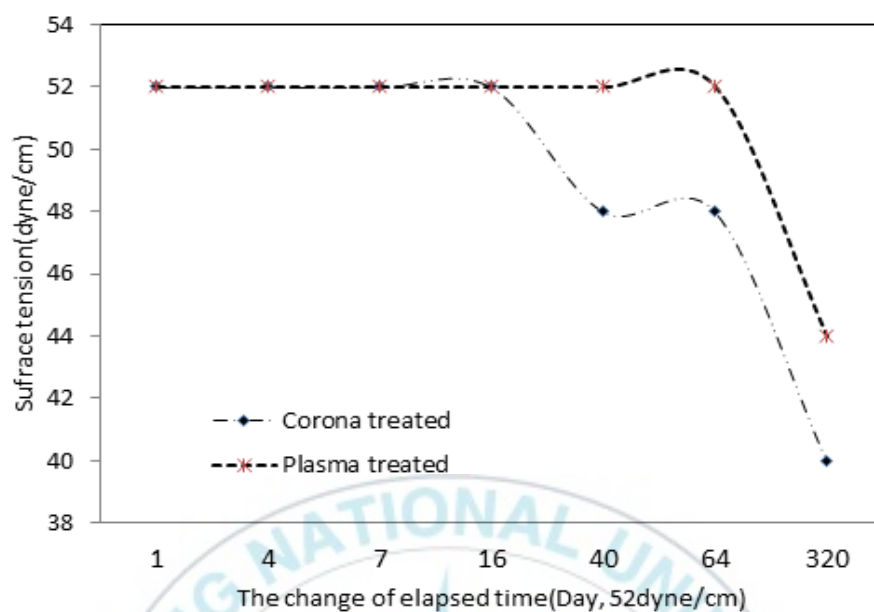


Figure 37. The results of surface tension change at 52 dyne/cm.

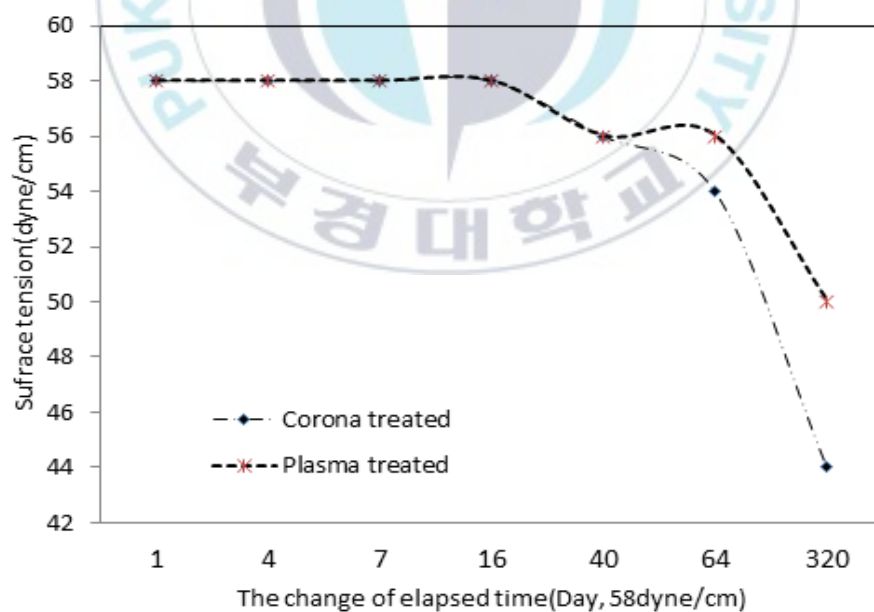


Figure 38. The results of surface tension change at 58 dyne/cm.

4. 가열신축률 측정결과

폴리카보네이트 시트는 필름 연신 조건에 따라, 필름은 길이 및 수직 방향으로 동시에 수축될 수 있으며(이축 연신필름) 길이 방향으로 수축될 수 있으며, ID카드를 제조하기 위해서는 시트별(보호층, 레이저 감응층, 인쇄층 등) 적층과 함께 고온·고압의 가공처리를 하게 된다. 아래 표와 같이 RF카드 제조를 위해서는 사전열압착(pre-lamination)과정을 거치면서 소재 및 필름 공급사, 열압착 조건에 따라 X, Y, Z축 방향으로 열변형이 발생되며 가공 공정을 고려하여 신축률 데이터를 고려하여 카드 제조가 이루어져야 한다.

Table 1. Thickness Reduction Ratio before Surface Roughness Improvement

Type	Thickness (μm)	Measured Thickness(μm)	Roughness(μm)	
			Top side	Bottom side
Over layer	100	98.1	1.30	3.30
Laser layer	100	96.5	1.40	3.30
Print layer	100	105.2	1.40	3.00
Core layer	150	152.1	1.10	2.00
Core layer	150	152.1	1.10	2.00
Print layer	100	105.2	1.40	3.00
Laser layer	100	96.5	1.40	3.30
Over layer	100	98.1	1.30	3.30
Total	900	903.8		
Lamination		778.4		
Reduction rate		13.9(%)		

Table 2와 같이 표면조도 평균 $1.3 \mu\text{m}$, 이면조도 $2.9 \mu\text{m}$, 앞, 뒷면 평균 조도 $2.1 \mu\text{m}$ 의 기준시료를 조합하여 열압착 후 카드 두께감소율은 13.9 %정도의 감소율을 확인 할 수 있었다.

그러나 Table 3과 같이 표면조도 평균 $0.73 \mu\text{m}$, 이면조도 $1.55 \mu\text{m}$, 앞,

뒷면 평균 조도 1.14 μm 의 시트를 조합하여 열압착 후 카드 두께감소율은 6.6 %수준으로 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

Table 2. Thickness Reduction Ratio after Surface Roughness Improvement

Type	Thickness (μm)	Measured Thickness(μm)	Roughness(μm)	
			Top side	Bottom side
Over layer	100	101.7	0.74	1.51
Laser layer	100	102.3	0.73	1.36
Print layer	100	103.5	0.71	1.57
Core layer	150	155.7	0.75	1.75
Core layer	150	155.7	0.75	1.75
Print layer	100	103.5	0.71	1.57
Laser layer	100	102.3	0.73	1.36
Over layer	100	101.7	0.74	1.51
Total	900	926.4		
Lamination		865.4		
Reduction rate		6.6(%)		

실험결과 동일한 압력과 온도조건에서 Figure 39와 같이 앞, 뒷면 평균 조도 2.1 μm 의 기준시료는 13.9 %의 신축률을 나타냈으며, 앞, 뒷면 평균 조도 1.14 μm 시험시료의 가열신축은 6.6 %의 신축률을 보여 2배 정도의 가열신축률의 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

폴리카보네이트의 카드 제품을 만드는데 있어서 표면조도의 변화에 따라 수축율의 변화가 발생되는데 가공적성과 인쇄적성을 고려한 표면조도의 범위가 필요하다는 것을 알 수 있었으며 우수한 품질의 제품을 만들기 위해서는 적절한 표면조도의 선택이 필요하다.

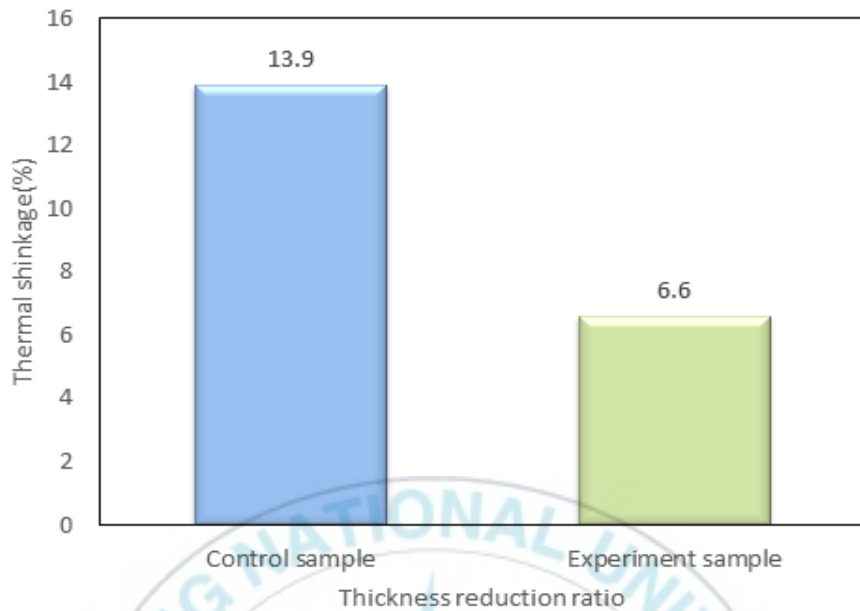


Figure 39. The thickness reduction rate after lamination.

Z축의 두께변화율도 적층구성을 고려하여 소재 및 공급제품에 따라 두께감소율의 변화량을 계산하여야 한다. 본 실험에서는 표면조도에 따라 적층 두께와 열압착 가공 후 변화율의 차이가 크게 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러므로 고품질의 폴리카보네이트의 물리적 특성을 여러 가지 가공공정에서 발생하는 문제점을 파악하여 적용해야 함을 알 수 있었다.

5. 인쇄적성 평가

폴리카보네이트의 필름에 코로나 및 플라즈마 표면처리에 따른 시험샘플의 잉크농도, 잉크번짐, 접착성 등의 인쇄적성 실험을 진행하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

표면장력에 따른 폴리카보네이트 시트의 인쇄적성 시험결과 Figure 40에서 보는 것과 같이 표면장력 42 dyne/cm에서 잉크 농도 및 잉크 번짐

접착성 등 인쇄적성이 가장 우수한 결과를 나타낸 것을 확인 할 수 있었다. 표면장력이 증가할수록 잉크접착력은 증가하나 잉크 농도 및 잉크 번짐 특성은 다소 떨어지는 것을 확인하였다.

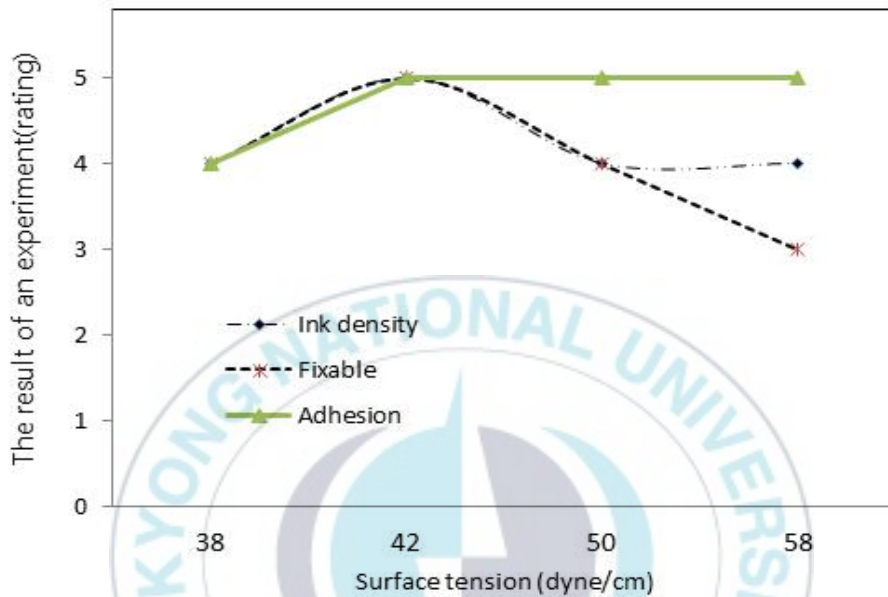


Figure 40. The effect of surface tension of control sample in off-set printability.

표면장력에 따른 폴리카보네이트 기준시료의 잉크 전이 시험결과 Figure 41에서 보는 것과 같이 인쇄농도는 표면장력 42 dyne/cm에서 optical density 1.78로 높은 결과를 나타낸 것을 확인 할 수 있었다. 표면조도가 높아짐에 따라 인쇄농도가 저하됨을 알 수 있었다.

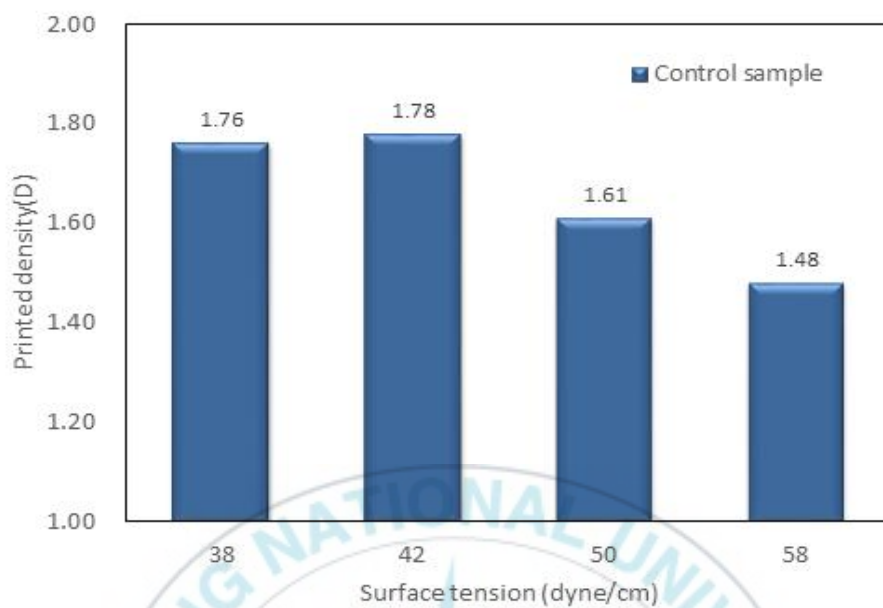


Figure 41. The results of ink transfer value(control sample).

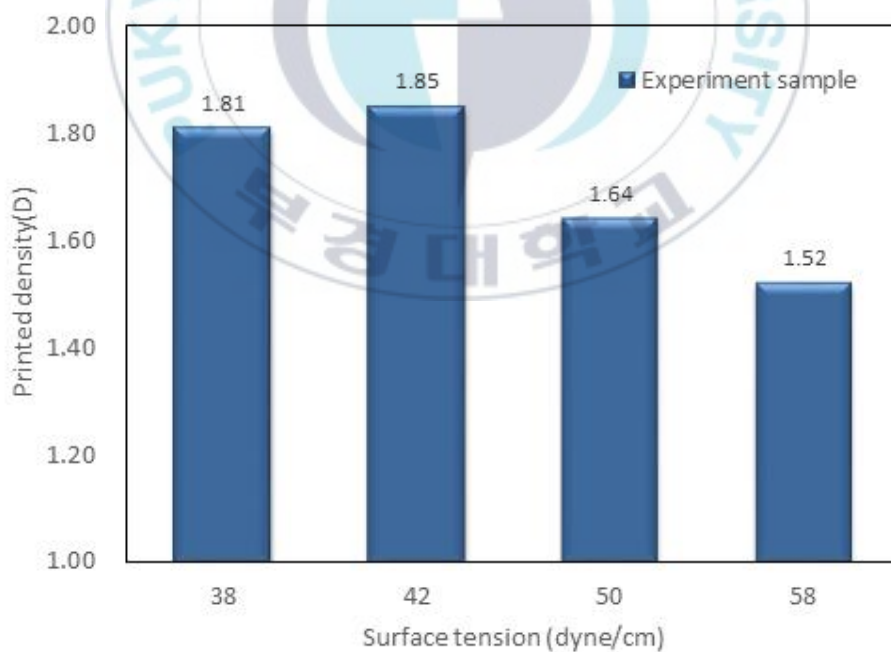


Figure 42. The results of ink transfer value.(experiment sample)

코로나 및 플라즈마 표면처리에 따른 시험샘플의 인쇄적성 시험결과 Figure 43에서 보는 것과 같이 표면장력 42 dyne/cm에서 잉크 농도 1.85로 가장 높은 값을 나타내며 기준시료보다 시험시료의 잉크 농도 특성이 가장 우수한 결과를 나타낸 것을 확인 할 수 있었다. 코로나 및 플라즈마 처리된 시험시료의 경우 표면장력이 증가할수록 잉크 농도 및 잉크 번짐 특성은 다소 떨어지는 것을 확인하였다.

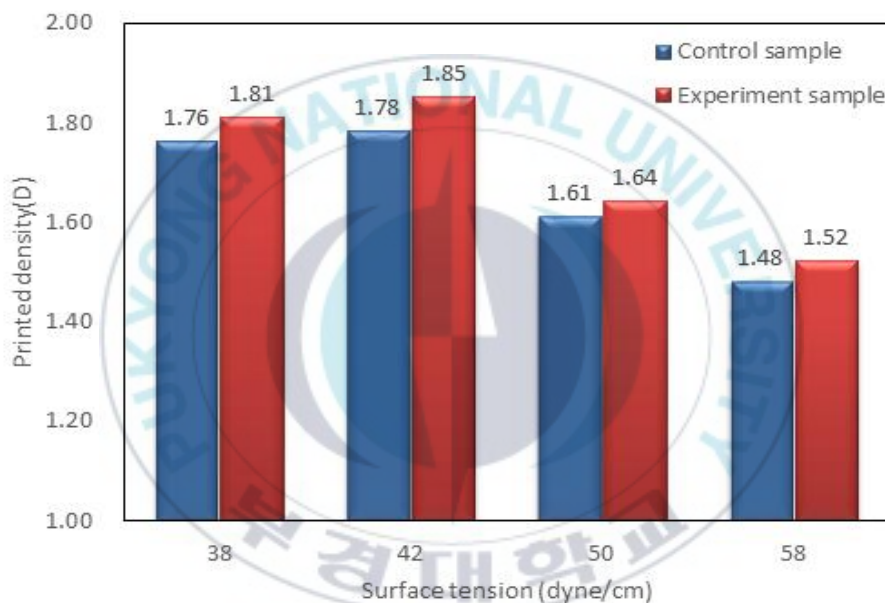


Figure 43. The results of ink transfer value.(printability)

Figure 44와 같이 표면장력이 증가함에 따라 접착 특성이 좋아 지는 것을 알 수 있었으며, 코로나 및 플라즈마 처리 된 시트의 경우 접착력이 우수함을 확인 할 수 있었다.

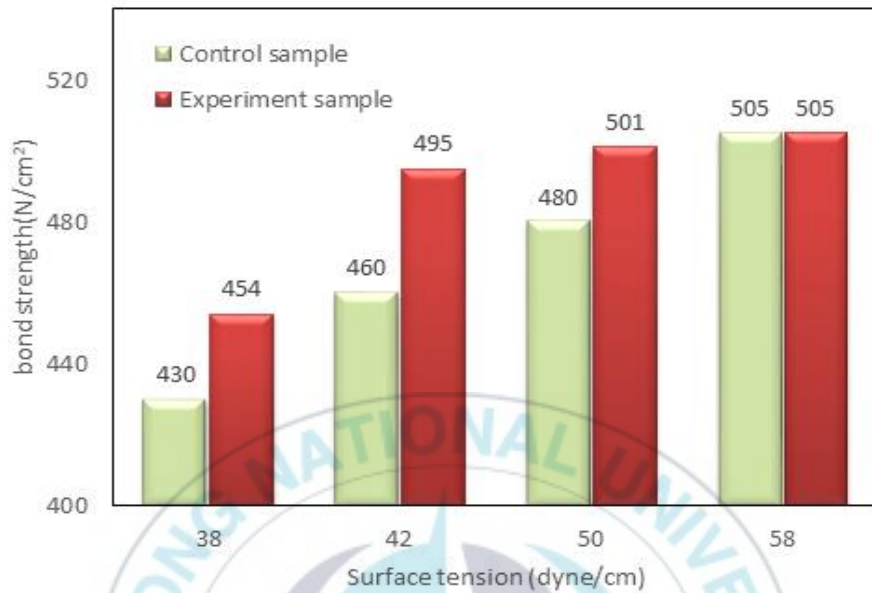


Figure 44. The result of an experiment.(adhesion)

Figure 45와 같이 코로나 및 플라즈마 표면처리에 따른 시험샘플의 인쇄적성 비교 시험결과 표면장력 42 dyne/cm에서는 인쇄적성 가장 우수한 결과를 보이고 있으며 높거나 떨어질 경우 잉크번짐과 접착성은 다소 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 시험결과 표면처리에서 표면장력 42 dyne/cm 이 가장 우수한 인쇄적성을 보이고 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

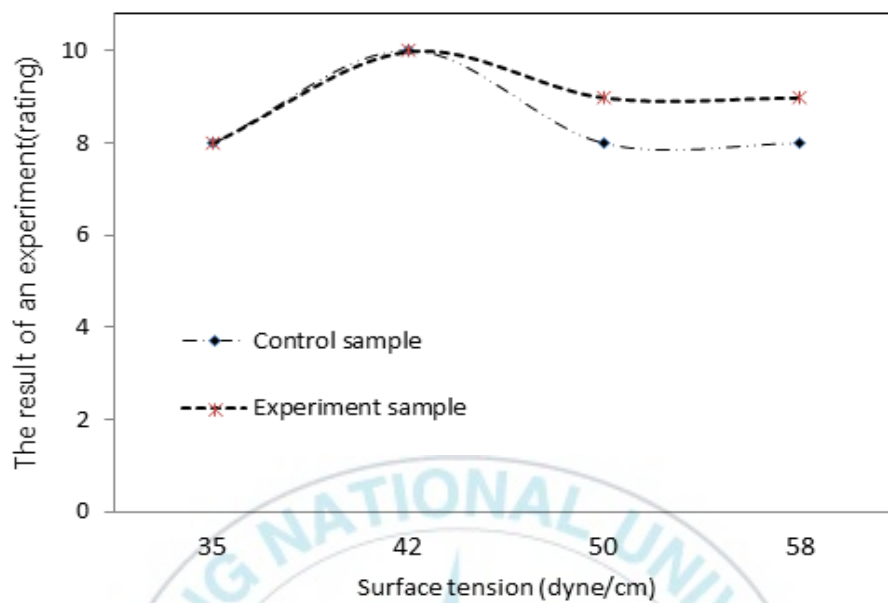


Figure 45. The effect of surface tension of experiment sample in off-set printability.

V. 결 론

본 논문은 폴리카보네이트 필름으로 코로나 및 플라즈마 표면처리 방법을 통하여 폴리카보네이트의 표면에 표면장력의 변화와 필름 제조시 표면조도를 변화시켜 오프셋 인쇄에서 최적의 인쇄적성 범위를 갖는 표면처리 범위를 찾고자 하였다. 그 결과 아래와 같은 폴리카보네이트 필름의 오프셋 인쇄적성을 위한 최적의 표면처리 결과를 확인 하였다.

1. 표면조도에 따른 폴리카보네이트 필름의 인쇄적성 시험결과는 표면 조도 $1\ \mu\text{m}$ 범위에서 우수한 인쇄적성을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.
2. 동일한 압력과 온도조건에서 폴리카보네이트 가공을 위한 평균 조도 $1.14\ \mu\text{m}$ 의 시험시료는 가열신축률은 6.6 %로 열압착 가공 시 두께감소율이 낮아져 가공적성에 우수한 특성을 나타내는 것을 알 수 있었다.
3. 표면처리는 코로나 처리한 시료와 코로나 및 플라즈마 표면처리를 통한 표면장력은 42 dyne/cm에서 가장 우수한 인쇄적성이 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.
4. 코로나 및 플라즈마 처리 된 시료의 경우 코로나 처리된 시료보다 접착강도가 더 우수하며 표면조도 $3.5\ \mu\text{m}$ 에서 $525\ \text{N/cm}^2$ 으로 높은 접착력을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다..
5. 폴리카보네이트의 표면의 경시안정성은 시간이 지남에 표면특성이 저하되며 온도가 높을수록 가속화는 것을 확인하였다. 표면에 코로나 처리된 시료 보다 코로나 및 플라즈마 표면 처리된 시험시료가 우수

한 특성을 가지고 있는 것을 확인하였다. 계획된 표면 특성은 표면 처리 후 15일 이후 변화가 발생하는 것을 확인하였고 균일한 품질의 가공을 위해서는 저온에서 보관하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 표면조도 및 표면처리 등 다양한 표면처리를 통하여 폴리카보네이트의 잉크 농도, 잉크 번짐, 접착성 등 인쇄적성 향상에 대한 효과와 폴리카보네이트 표면처리에 따른 경시안정성에 대하여 분석하였다. 폴리카보네이트 제조 공정에서 코로나 및 플라즈마 처리는 초기 표면장력이 42 dyne/cm 일 때 넓은 범위에서 우수한 인쇄적성과 경시안정성을 보여줄 수 있었으며 필름 제조 시 효율적인 표면처리가 필요하다는 것을 알 수 있었으며 저온에서 보관할수록 가공 및 인쇄적성이 유리함을 알 수 있었다. 또한, 폴리카보네이트의 표면조도는 1 ~ 2 μm 범위에서 제조하게 되면 가공 및 인쇄적성이 우수한 특성을 보였다.

참고 문헌

- 1) W. Rankl, W. Effing, Smart Card Handbook, John Wiley & Sons Ltd (2003).
- 2) A. Heichlinger, P. Gallego, A new e-ID card and online authentication in Spain, Identity in the Information Society, 3, 43-64 (2010).
- 3) A. Shamir, Identity-based cryptosystems and signature schemes, Advances in Cryptology - CRYPTO 1984, 47-53 (1984).
- 4) T. Rissanen, Electronic identity in Finland: ID cards vs. bank IDs, Identity in the Information Society, 3, 175-194 (2010).
- 5) P. Munzert, C. Praefke, U. Schulz, N. Kaiser, Adhesion of vacuum deposited optical coatings on PMMA and polycarbonate, Journal of Adhesion Science and Technology, 26, 2269-2276 (2012).
- 6) J. M. Leon-Coca, D. G. Reina, S. L. Toral, F. Barrero, N. Bessis, Authentication systems using ID Cards over NFC links: the Spanish experience using DNIE, Procedia Computer Science, 21, 91-98 (2013).
- 7) F. Kappe, M. Schumacher, K. Schäfer, M. Hillebrand, M. Hennemeyer-Schwenkner, D. Fischer, Facets of color laser marking in high-security ID documents, Proceedings of SPIE, 5615, 130-136 (2004).
- 8) J. A. Brydson, Plastics Materials, Elsevier Ltd (2017).
- 9) K. Bosworth, M. G. Gonzalez Lee, S. Jaweed, T. Wright, Entities, identities, identifiers and credentials - what does it all mean?, BT

- Technology Journal, 23, 25-36 (2005).
- 10) M. Mutlugün, O. Adalier, Turkish National Electronic Identity Card, SIN '09 Proceedings of the 2nd international conference on Security of information and networks, 14-18 (2009).
 - 11) Technologies for ID Verification, 2010 International Conference on Digital Printing Technologies, 587-590 (2010).
 - 12) K. Mayes, K. Markantonakis, Smart Cards, Tokens, Security and Applications, Springer International Publishing AG (2017).
 - 13) J. Marques, B. Pahl, C. Kallmayer, Thermoplastic Packaging and Embedding Technology for ID-cards, 2013 European Microelectronics Packaging Conference (2013).
 - 14) O. Olabisi, Handbook of Thermoplastics, Marcel Dekker, Inc., New York (1997).
 - 15) 이기호, 김인선, 황희남, Polycarbonate 필름 제조 기술 동향, Polymer Science and Technology, 20, 16-29 (2009).
 - 16) Smithers pira market report, Ten-Year Forecast of Disruptive Technologies in Security Printing and Brand Protection to 2026 Disruptive technologies in security printing (2018).
 - 17) Smithers pira market report, The Future of Personal ID 2023 (2018).
 - 18) Smithers pira market report, The Future of Transactional Cards to 2019 (2014).
 - 19) J. T. Youn, Introduction of printability, hyomin D&P (2013).
 - 20) J. T. Youn, Introduction of printing science, Pukyong National University (2013).

- 21) A. Hodgson, Use, Characterization, and Measurement of the Gloss Effects from Pigmented Ink Jet Inks for Security Printing, *Journal of Imaging Science and Technology*, 50, 537-543 (2006).
- 22) A. Hodgson, The Fading of Dye Based Inkjet Images - Colorimetric Issues, Archiving Conference, Archiving 2005 Final Program and Proceedings, 54-59 (2005).
- 23) Muth et al., Method for producing a polycarbonate layered composite, patent, US 8,636,862 B2.
- 24) Honam Petrochemical Corporation, Presentation data in 23rd SPE Korea (2008).
- 25) V. Shah, *Handbook of Plastics Testing Technology*, John Wiley & Sons (1984).
- 26) M. D. Zipper, G. P. Simon, P. Cherry, A. J. Hill, The effect of crystallinity on chain mobility and free volume in the amorphous regions of a miscible polycarbonate/polyester blend, *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 32, 1237-1247 (1994).
- 27) S. N. Li, B. Li, Z. M. Li, Q. Fu, K. Z. Shen, Morphological manipulation of carbon nanotube/polycarbonate/polyethylene composites by dynamic injection packing molding, *Polymer*, 47, 4497-4500 (2006).
- 28) R. Greco, A. Sorrentino, Polycarbonate/ABS blends: A literature review, *Advances in Polymer Technology*, 13, 249-258 (1994).
- 29) S. V. Levchik, E. D. Weil, Overview of recent developments in the flame retardancy of polycarbonates, *Polymer International*, 54, 981-998 (2005).

- 30) E. Y. Choi, J. Y. Kim, C. K. Kim, Fabrication and properties of polycarbonate composites with polycarbonate grafted multi-walled carbon nanotubes by reactive extrusion, *Polymer*, 60, 18-25 (2015).
- 31) P. Hacıoğlu, L. Toppare, L. Yılmaz, Effect of preparation parameters on performance of dense homogeneous polycarbonate gas separation membranes, *Journal of Applied Polymer Science*, 90, 776-785 (2003).
- 32) U. Siemann, Solvent cast technology – a versatile tool for thin film production, 130, 1-14 (2005).
- 33) T. Hanada, T. Negishi, I. Shiroishi, T. Shiro, Plastic substrate with gas barrier layer and transparent conductive oxide thin film for flexible displays, *Thin Solid Films*, 518, 3089-3092 (2010).
- 34) C. Rauwendaal, *Polymer extrusion*, Hanser Publication (2014).
- 35) C. Hopmann, C. Höfs, W. K. Schomburg, J. Kosloh, J. Sackmann, Development of thermoplastic films for ultrasonic manufacturing of printed circuit boards, *Advanced Polymer Technology*, 37, 3460-3473 (2018).
- 36) K. Arabeche et al., Study of the cooperativity at the glass transition temperature in PC/PMMA multilayered films: Influence of thickness reduction from macro- to nanoscale, *Polymer*, 53, 1355-1361 (2012).
- 37) E. M. Ivan'kova, M. Krumova, G. H. Michler, P. P. Koets, Morphology and toughness of coextruded PS/PMMA multilayers, *Colloid Polymer Science*, 282, 203-208 (2004).

- 38) C. Y. Chang, M. H. Tsai, Development of a continuous roll-to-roll processing system for mass production of plastic optical film, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 25, 125014(1-10) (2015).
- 39) Y. Yuan, T. R. Lee, *Surface Science Techniques*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2013).
- 40) S. El-Sherbiny, S. Elsayas, review of printing ink transfer equations, *PrinWhiz.com Technical Journal*, 1, 1-16 (2004).
- 41) B. Bhushan, *Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques*, CRC Press (2001).
- 42) ASTM D2578: Test Method for Wetting Tension of Polyethylene and Polypropylene Films.
- 43) ASTM D5725: Standard Test Method for Surface Wettability and Absorbency of Sheeted Materials Using an Automated Contact Angle Tester.
- 44) D. W. van Krevelen, K. te Nijenhuis, *Properties of polymers*, Elsevier (2009).
- 45) K. L. Johnson, *Contact Mechanics*, Cambridge University Press (1985).
- 46) B. N. J. Persson, Contact mechanics for randomly rough surfaces, *Surface Science Reports*, 61, 201 - 227 (2006).