

광기능성시트 보호용 천연고무계 점착제의 점착 물성

박영준¹ · 임동혁¹ · 김현중^{1,†} · 송현석^{1,2} · 권혁진²

¹서울대학교 농업생명과학대학 환경재료과학전공 바이오복합재료 및 접착과학 연구실

²삼지산업(주)

(2007년 6월 4일 접수, 2007년 6월 15일 채택)

Adhesion Performance of Natural Rubber-based Pressure-Sensitive Adhesives for Protecting of Opto-functionalized Sheet

Young-Jun Park¹, Dong-Hyuk Lim¹, Hyun-Joong Kim^{1,†}, Hyun-Suk Song², and Hyuk-Jin Kwon²

¹Lab. of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science, Seoul National University

²Samji Industry, Co., Ltd., Shinwang-Ri 777, Yanggam-Myun, Hwasung-City, Kyungki-Do

(Received June 4, 2007; Accepted June 15, 2007)

요약: 광기능성시트 보호용 점착제를 제조하기 위하여 천연고무와 DCPD계 점착부여수지, 세 종류의 지방족 점착부여수지를 이용하여 천연고무계 점착제를 제조하였다. 또한, 천연고무의 낮은 응집력을 대체하기 위하여 점착부여수지의 함량이 고정된 상태에서 SIS 블록공중합체를 함량비에 따라 첨가하여 점착제를 제조하였다. 제조한 점착제의 점착물성을 초기점착력과 박리강도로써 평가하였다. 천연고무/점착부여수지의 초기점착력은 점착부여수지의 함량이 증가함에 따라 증가하다 최대값을 보이고 감소하였다. 또한, 지방족계 점착부여수지의 연화점이 증가함에 따라 초기점착력이 다소 증가하였다. 점착부여수지의 함량이 50 wt%까지는 박리강도가 증가하였으나 그 이상의 함량에서는 혼합파괴 현상을 보였다. SIS가 블렌드된 점착제의 초기점착력은 지방족계 점착부여수지의 함량이 20~40 wt%에서 최대값을 보였으나 20 wt%에서 fibrillation 현상을 나타내었고 박리강도는 40 wt%에서 최대값을 나타내었다.

Abstract: To prepare a natural rubber-based pressure-sensitive adhesive (PSA) for protection film of opto-functionalized sheet, natural rubber (NR) was blended with a DCPD type tackifier and three types of aliphatic hydrocarbon resins, respectively. Also, to supply low cohesion strength of NR, in the fixed ratio of tackifier, synthetic rubber, styrene-isoprene-styrene (SIS) block copolymer was blended with NR as a function of SIS contents. PSA performance of prepared PSAs was evaluated using probe tack and peel strength. Probe tack of NR/tackifier blends was increased with increasing tackifier contents, and showed maximum peak. In addition, probe tack of NR/tackifier blends slightly increased with increasing softening point of aliphatic hydrocarbon resins. Their peel strength increased up to 50 wt% of tackifier contents, but in the over contents of tackifier, they showed stick-slip failure mode. Finally, probe tack of NR/SIS/tackifier blends showed the maximum values at 20~40 wt% of tackifier contents, but at 20 wt% of tackifier contents, they showed fibrillation. For this reason, peel strength showed maximum values at 40 wt% of tackifier contents.

Keywords: natural rubber, pressure-sensitive adhesive, tackifier, SIS, probe tack, peel strength

1. 서 론

최근 디스플레이 산업의 발달과 더불어 다양한 종류의 점착제품의 사용이 증가하고 있다. LCD (Liquid

Crystal Display) 디스플레이에서 광원 역할을 하는 대표적인 부품인 Back Light Unit (BLU)은 LCD 패널 방향으로 화면 전체를 균일한 밝기로 유지해 주면서 다양한 색상 정보를 표현하기에 효과적인 구조로 제작되어 있는데, 크기와 용도에 따라 다소 차이는 있으나, 일반적으로 프리즘시트, 확산시트(또는 확산판), 도

[†]Corresponding author: e-mail: hjokim@snu.ac.kr

광시트, 반사시트로 구성되어 있다[1,2].

프리즘시트의 재질은 일반적으로 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET) 기재 위에 UV 아크릴레이트 올리고머(acrylate oligomer)를 조사시켜 입힌 것이고, 확산시트는 PET에 아크릴 비드(acrylic bead)를 입힌 것이 대부분이다. 이러한 광기능성 시트를 보호하기 위해 사용하는 보호필름용 점착제 형태를 아크릴레이트로 적용하게 되면 고분자 내의 -COOH기 및 -OH기의 극성기와의 2차적인 결합을 유도하여 상당한 후기 경시변화를 일으키게 하고, 점착력의 경시변화 폭이 점차 커지면서 전사를 유발시키기도 한다. 따라서 광기능성 시트를 보호하기 위한 점착제로는 비극성의 고무계 점착제를 사용해야 한다[3].

점착제는 작은 압력으로 짧은 시간에 강하게 점착할 수 있는 점탄성적 특성을 지닌 물질이다. 점착제는 전기·전자산업, 자동차산업, 보호필름 산업, 목질복합재료 및 가구산업, 토목·건축산업, 코팅소재 등에서 다양하게 사용되고 있고, 최근 산업의 발달과 더불어 점착제의 이용 및 중요성이 다방면에서 부각되고 있다[4]. 특히 부품 및 완제품의 표면 보호를 위한 보호필름용 점착제 산업은 합성고무계와 아크릴계 점착제가 주를 이루고 있고 수입의존성이 큰 산업분야이다.

점착제를 원료에 따라 분류하면 고무계, 핫멜트계, 아크릴계, 실리콘계 등으로 나눌 수 있다. 이러한 점착제 중, 고무계 점착제에 사용되는 원료는 크게 천연고무와 합성고무로 나뉘어 사용되고 있다. 고무는 탄성의 성질을 지니므로 자체만으로는 점착 특성을 발현하기 어렵기 때문에 점착부여수지를 섞어주어야 한다[5-8].

점착제에 사용되는 천연고무는 수목의 줄기에서 라텍스 형태로 채취되지만, 이로부터 얻어지는 생고무는 스모크트 시트(smoked sheet)와 페일 크레이프(pale crape)의 2종류가 있다. 스모크트 시트형의 고무는 라텍스 산으로 응고시켜 물에 세척 후 연실(smoking) 속에서 장시간 건조시킨 것이고, 페일 크레이프는 라텍스에 소량의 아황산수소나트륨을 첨가한 뒤 다시 초산이나 포름산을 첨가하여 응고시킨 것이다. 천연고무의 주성분은 cis-1,4-polyisoprene으로 고무계 나무의 종류와 산지에 따라 품질이 불균일하고 천연물 특유의 복잡함을 지니고 있어서 수 %의 불순물을 함유하고 있다. 천연고무는 그 종류에 상관없이 주 사슬 중에 불포화 이중결합을 가지고 있으므로 산소와 빛의 존재하에서 열화하기 쉽고 내후성이 약하다는 단점을 지니고 있지만, 각종 점착부여수지와 상용성이 좋고, 점착성, 내 콜드 플로우(cold flow resistance)성, 응집성 등이 뛰어나기 때문에 용제형으로만 사용되는 단점을 안고 있음에도 불구하고 포장용 테이프(셀로판

테이프, 크라프트 테이프, OPP 테이프, PVC 테이프), 내열 마스킹 테이프, 표면보호 테이프, 전기절연용 내경화성 테이프, 결속 고정용 테이프, 의료용 테이프에 대량으로 사용되고 폐타이어를 탈황 처리한 재생고무는 점착성과 내구성이 양호하여, 방식 테이프, 양면 테이프, 직물 테이프 등에 이용되고 있다. 하지만, 천연고무의 경우에는 분자량이 매우 커서 점도가 매우 높아 가공성이 나빠 배합공정과 용제에 용해과정을 수월하게 하기 위해 별도의 가공 공정을 거치게 된다. 즉, 소련(mastication)과정을 거쳐 천연고무의 과도한 분자량을 낮추어 점도를 낮춤으로써 가공성을 향상시킨다[9,10].

이 때 점착성능을 부여하기 위한 점착부여수지는 분자량이 수백에서 수천의 무정형 올리고머로서, 상온에서 액상 또는 고형의 열가소성 수지이다. 자체로는 점착성을 갖고 있지 않으나 첨가되는 점착부여수지의 작용에 의해 유동성을 부여하여 고무계 점착제가 초기점착력, 박리력, 유지력이 조절되므로 점착부여수지의 효과가 가장 중요하고 고무의 특성에 맞는 점착부여수지를 선택하여야 한다. 사용되는 점착부여수지의 종류, 분자량, 고무와의 상용성에 의해 점착성능이 다르게 나타난다[11]. 로진(rosin)계는 주성분이 abietic acid와 그 이성체로 공역화된 이중결합을 가지고 있어서 산화하기 쉽기 때문에 안정성이 낮다. 따라서 이를 개량하기 위해서 수소화반응, 불균등반응, 이량체 등으로 안정화 변성 로진으로 사용되고 있다. 테르펜 수지는 소나무로부터 얻어지는 테르펜유를 원료로 하여 루이스 산 촉매로 중합하여 테르펜 수지를 얻는다. 이것은 이소프렌 중합체이므로 상용성이 뛰어나고 넓은 수지농도범위로 점착특성의 균형을 얻기 쉽고 점착제의 개발 설계가 용이하며 저온에서의 점착 부여 효과가 현저하다. 합성수지계로는 지방족계(C5), 방향족계(C9)가 주로 사용되고 있다. 지방족계는 고무계 점착제의 점착부여수지로 사용되어 균형이 좋은 점착 특성을 발현하고 안정된 수치를 나타내기 때문에 크라프트 테이프 등에 대량으로 사용된다. 하지만 방향족계는 고무계 점착제와 상용성이 떨어지므로 주로 지방족계와 공중합된 형태로 사용된다[12-15].

2. 실험

2.1. 실험 재료

본 연구에서 사용된 천연고무는 소련축진제 Struktol A 82 (Struktol Company of America)를 이용하여 소련 작업을 통해 가공하여 사용하였고 소련가공된 천연고무에 점착성능을 발현하기 위하여 4종류의 점착부여수지를 각각 사용하였다. 점착부여수지의 특성은 Table

Table 1. Classification and softening point of tackifier

Commercial name	Type	Softening point (°C)	Company
A1100	Aliphatic hydrocarbon resin	94~102	Kolon Industries, Inc.
SU-100	DCPD hydrocarbon resin ¹⁾	100~109	Kolon Industries, Inc.
C-100W	Aliphatic hydrocarbon resin	100	Eastman
C-115R	Aliphatic hydrocarbon resin	115	Eastman

¹⁾ DCPD : Dicyclopentadiene

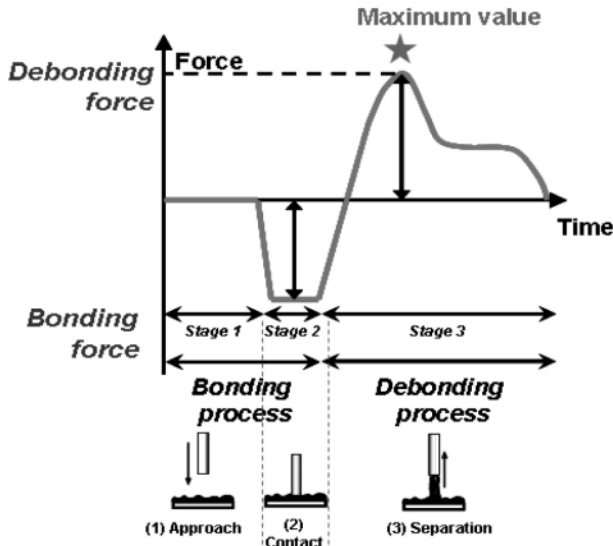


Figure 1. Schematic diagram of probe tack.

1에 나타내었다. 또한, 일정량의 천연고무를 대체하기 위하여 합성고무로써 스타이렌 함량이 15 wt%, 다이블록함량 15 wt%인 스타이렌계 블록공중합체 Kraton D 1107 (SIS, Kraton Polymer, Houston, TX, USA)을 사용하였다. 천연고무, 합성고무, 점착부여수지를 용해하기 위한 용제로써 시클로헥산(Junsei Chemical Co., Ltd.), 톨루엔(Samchun Pure Chemical Co., Ltd.)을 정제과정 없이 그대로 사용하였다.

2.2. 점착제 제조

천연고무에 5 phr의 Struktol A 82를 벤버리믹서에서 20분 동안 혼합한 후 롤밀로 이동시켜 20분 동안 소련공정을 거친 후 시클로헥산과 톨루엔의 혼합용제에 용해시켜 고형분 20%의 천연고무용액을 제조하였다. 또한, 동일한 혼합용제를 이용하여 4종의 점착부여수지와 합성고무를 각각 동일한 고형분으로 용해시켰다. 천연고무용액과 점착부여수지 용액을 배합비를 달리 블렌드하여 천연고무계 점착제를 제조하였고 점착부여수지용액의 함량을 고정하고 천연고무용액의 함량과 합성고무용액의 함량을 달리 블렌드하여 점착제를 제조하였다.

상기 제조된 점착제를 이용하여 폴리프로필렌 필름에 50 μm로 코팅하고 코팅된 필름을 100°C 건조오븐에서 10분간 건조하여 광기능성시트 보호용 점착테이프를 제조하였다.

2.3. 점착물성 측정

2.4.1. 초기점착력(Probe tack)

제조된 광기능성시트 보호용 점착테이프의 초기점착력은 ASTM D 2979에 의거 Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro Systems Ltd, UK)를 이용하여 probe tack 시험법으로 20°C, 50% RH에서 측정하였다. 5 mm 직경의 스테인리스 스틸 프로브(probe)를 이용하여 프로브가 점착필름 표면에 접근한 후 100 g/cm²의 압력으로 1 sec 동안 압력을 가하고 10 mm/min의 속도로 떼어낼 때의 힘을 초기점착력으로서 측정하였다. Figure 1에 초기점착력 측정에 따른 결과의 모식도를 나타내었다.

2.4.2. 박리강도(Peel strength)

아세톤을 이용하여 깨끗이 세척, 건조된 스테인리스 스틸(SUS-304) 시험판에 25 mm 너비의 광기능성시트 보호용 점착테이프의 점착면을 아래로 해서 2 kg 고무롤러로 2회 왕복 부착시킨다. 부착 후 2 h이 경과한 뒤에 300 mm/min의 측정 속도로 20°C, 50% RH에서 Texture Analyzer (TA-XT2i, Stable Micro Systems Ltd, UK)를 사용하여 점착력을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 천연고무/점착부여수지 블렌드

3.1.1. 초기점착력

점착제는 점착 3물성이라 불리는 초기점착력, 박리강도, 유지력, 세 가지 주요 특성의 균형이 요구된다. 그러나, 천연고무는 그 자체로는 매우 낮은 초기점착력과 박리강도값을 지니기 때문에 저분자량의 점착부여수지와 블렌드를 필요로 한다[16,17]. 일반적으로 천연고무는 지방족계 점착부여수지 및 DCPD계 점착부여수지와 상용성이 더 좋은 것으로 알려져 있다[18].

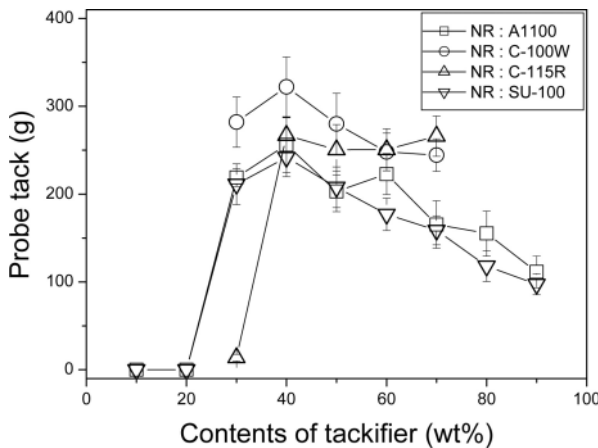


Figure 2. Probe tack of natural rubber-based pressure-sensitive adhesives blended with various tackifiers.

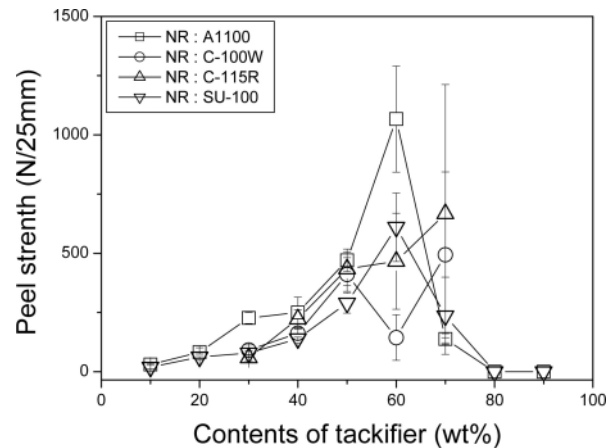


Figure 4. Peel strength of natural rubber-based pressure-sensitive adhesives blended with various tackifiers.

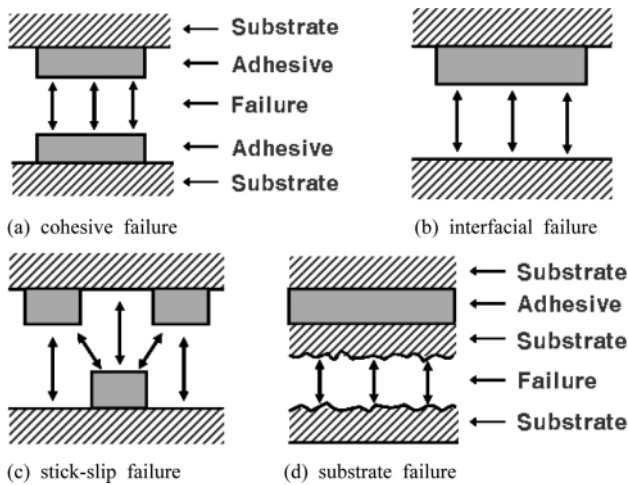


Figure 3. Classification of adhesion failure mode.

다양한 연화점을 가진 점착부여수지 중에서 본 연구에서 사용된 천연고무와 적합한 점착부여수지를 선정하기 위하여 천연고무와 각각의 점착부여수지를 배합비에 따라 배합하여 점착제를 제조하였다.

Figure 2는 천연고무와 연화점이 각기 다른 4종의 점착부여수지와 함량비에 따른 블렌드를 통해 제조된 천연고무계 점착필름의 초기점착력을 나타낸다. 상기 언급한 바와 같이 낮은 점착부여수지의 함량에서는 천연고무의 특성만을 나타내어 매우 낮은 초기점착력을 보였지만, 점착부여수지의 함량이 증가함에 따라 초기점착력이 증가하였다. Fujita 등[19]은 천연고무와 연화점이 각기 다른 점착부여수지와 상용성에 관한 연구를 통해 방향족(C9)계 점착부여수지는 천연고무와 비상용성을 나타내지만 지방족(C5)계 점착부여수지는 Lower Critical Solution Temperature (LCST) 거동을 나타낸다고 보고하였다. 본 연구에서도 초기점착력 실험이 행해진 상온상태에서는 천연고무와 점착부

여수지 블렌드가 거시적으로는 상용성을 나타내었고 이에 따라 점착부여수지의 함량이 증가함에 따라 초기점착력이 증가하며 최대값을 보이고 유리전이온도 (glass transition temperature, T_g)가 높은 점착부여수지가 고함량이 될수록 제조한 점착제의 유리전이온도 증가와 더불어 점착제의 저장탄성률이 높아져 초기점착력이 감소하는 결과를 보였다[20].

본 연구에서 사용된 DCPD계 점착부여수지의 경우 가장 낮은 초기점착력을 나타내었지만 지방족계 점착부여수지의 경우 모두 DCPD계 점착부여수지보다 높은 초기점착력을 나타내었다. 또한, 점착부여수지의 연화점이 증가함에 따라 초기점착력은 증가하였다. 특히, 연화점이 115°C인 점착부여수지 C-115R의 경우 점착부여수지의 함량이 30 wt%에서는 매우 낮은 초기점착력을 나타내었으나 40~70 wt%까지는 가장 높은 초기점착력을 나타내었다.

3.1.2. 박리강도

점착제의 박리강도 시험은 점착 필름을 피착제에 부착시킨 후 일정 온도, 습도 조건에서 일정 속도로 필름을 떼어낼 때의 강도를 측정하는 방법으로써 떼어내는 각도와 박리 속도 등에 따라서 달라진다. 또한 박리 후 점착제의 파괴 양상에 따라서 Figure 3에 나타내었듯이 응집파괴(cohesive failure), 계면파괴(interfacial failure), 응집파괴와 계면파괴의 혼합파괴(stick-slip failure), 피착제파괴(substrate failure)로 나눌 수 있다.

Figure 4는 천연고무와 각기 다른 연화점을 가진 점착부여수지 블렌드의 박리강도를 나타낸다. 앞서 초기점착력에서와 마찬가지로 점착부여수지의 함량이 낮을 때는 천연고무 자체만으로 점착력을 발현할 수 없기 때문에 극히 낮은 박리강도를 나타내었다. 점착부여수지의 함량이 증가함에 따라 점착제의 끈적임(tacky)이

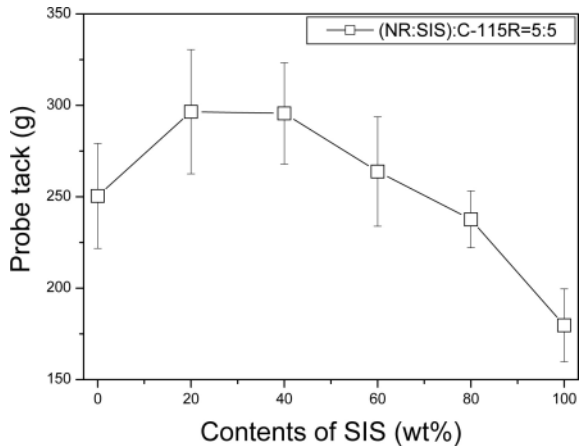


Figure 5. Probe tack of natural rubber-synthetic rubber-based pressure-sensitive adhesives blended with a tackifier, C-115R.

증가되어 점착부여수지의 함량이 50 wt%까지는 박리강도는 증가함을 보였다. 점착부여수지의 함량이 60~70 wt%에서는 점착제의 점착력이 높아 기재로 사용된 필름이 신장되거나 파괴모드가 혼합파괴로 나타나는 현상이 나타났다. 또한, 점착부여수지의 함량이 80 wt% 이상에서는 점착제의 tacky함이 사라지고 저장탄성률이 증가하기 때문에 점착제의 박리강도가 매우 낮은 값을 나타내었다. 상기의 결과는 아크릴계 점착제와 점착부여수지의 상용성인 블랜드에서도 확인할 수 있다[21]. 상용성인 계에서 점착부여수지의 함량이 증가함에 따라 박리강도가 증가하고 최대값을 보인 후 감소한다. 또한, Fujita 등[22]은 박리속도에 따른 박리강도의 결과에서 상용성 또는 LCST 거동을 나타내는 점착제의 박리강도의 최대값 피크 위치가 낮은 속도 방향으로 이동된다고 보고하였다.

박리강도 시험에서 점착부여수지의 연화점에 따른 경향성은 나타나지 않았지만, 천연고무와 점착부여수지 C-115R의 블랜드는 거시적인 상용성이 우수하게 나타났고 파괴모드 또한 변화폭이 가장 작아 본 시스템의 최적 점착부여수지로 선정하였다.

3.2. 천연고무/합성고무/점착부여수지 블랜드

천연고무와 점착부여수지 C-115R의 블랜드에서 초기점착력은 40~70 wt%까지 모두 유사한 결과를 나타내었고, 박리강도에서는 점착부여수지의 함량이 50 wt%까지는 박리강도가 증가하다가 60~70 wt%에서 혼합파괴모드를 보였다. 또한, 천연고무는 불포화기를 함유하는 것으로 알려져 있다[16]. 그러므로 본 장에서는 점착부여수지의 함량을 50 wt%로 고정하고 천연고무를 이소프렌 함량이 높은 합성고무인 SIS로 대체하여 천연고무와 합성고무의 함량을 변화해가며 블랜드 하였다.

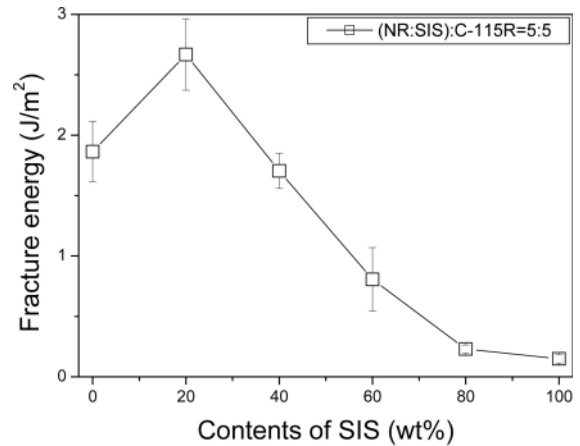


Figure 6. Fracture energy of natural rubber-synthetic rubber-based pressure-sensitive adhesives blended with a tackifier.

3.2.1. 초기점착력

Figure 5는 천연고무와 점착부여수지의 블랜드에 SIS의 함량이 증가함에 따라 점착제의 초기점착력 변화를 보여주고 있다. SIS의 함량이 증가함에 따라 제조한 점착제의 초기점착력은 다소 증가하는 경향을 나타내다가 20~40 wt%의 SIS 함량에서 최대값을 나타내고 점차 감소하였다. 이는 합성고무의 함량이 높아지면서 상대적으로 소련가공 처리된 천연고무의 함량이 낮아지게 되고 고분자량인 SIS의 함량이 증가하면서 상대적으로 점착제 내에 스타이렌 함량이 높아지면서 점착제의 저장탄성률이 높아지게 되고 점착제의 응집력이 점차 증가하기 때문으로 해석할 수 있다[11].

일반적으로 점착제의 초기점착력은 응력-변형 곡선의 최대값으로써 표기한다. 그러나 점착제의 점착거동 현상에 대해 살펴볼 필요가 있다. Figure 6은 천연고무/합성고무/점착부여수지 블랜드의 초기점착력 시험시 파괴에너지 변화를 나타낸다. Figure 5에서 합성고무의 함량이 20~40 wt%일 때, 초기점착력은 최대값을 나타내었으나 이것을 파괴에너지 측면에서 관찰해보면 합성고무의 함량이 20 wt%일 때가 40 wt%일 때보다 더 높은 파괴에너지 값을 보인다. 즉, 응력-변형 곡선의 최대값은 비슷하지만 40 wt%일 때가 변형부분이 더 높아 전체적인 파괴에너지 값은 40 wt%일 때가 더 낮게 나타난다. 이것은 SIS의 함량이 20 wt%일 때는 점착제의 응집력이 40 wt%일 때보다 낮기 때문에 초기점착력 시험시 스테인리스 스틸 프로브가 점착제 표면에 접촉한 뒤 박리할 때 점착제의 일부분이 스테인리스 스틸 프로브에 묻어나서 얇은 실과 같은 형태(fibrillation)로 전사되기 때문으로 해석할 수 있다.

3.2.2. 박리강도

Figure 7은 천연고무/SIS/점착부여수지 블랜드의 박

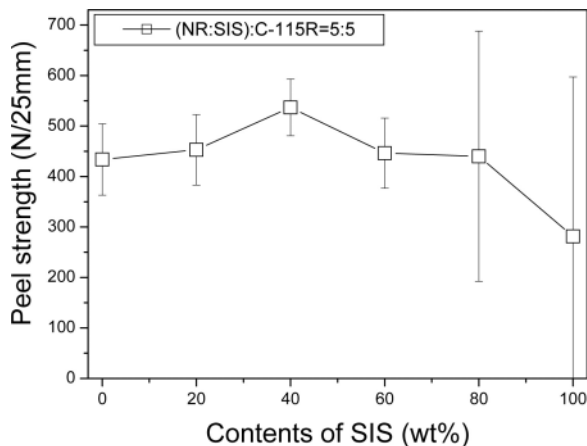


Figure 7. Peel strength of natural rubber-synthetic rubber-based pressure-sensitive adhesives blended with a tackifier, C-115R.

리강도 시험 결과를 나타낸다. SIS의 함량이 증가함에 따라 박리강도는 40 wt%에서 최대값을 보이고 다시 감소하기 시작한다. 또한, 80 wt% 이상의 SIS 함량에서는 혼합과피 현상을 나타내었다. 초기점착력 및 과피에너지 결과에서 설명하였듯이, 천연고무/점착부여수지 블랜드에 SIS의 함량이 증가함에 따라 점착제의 응집력이 증가하게 되어 40 wt%에서 다소 높은 박리강도를 나타내었다. 그러나 SIS의 함량이 60 wt%까지는 SIS 함량의 변화가 제조한 점착제의 박리강도에 미치는 영향은 다소 작지만 SIS의 첨가는 점착제의 응집력에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

천연고무와 DCPD계 점착부여수지, 지방족계 점착부여수지를 이용하여 배합비율에 따라 천연고무계 점착제를 제조하였다. 제조된 점착제는 거시적 측면에서 상분리가 일어나지 않아 상용성을 나타냄을 확인하였고, 초기점착력과 박리강도 측정결과 천연고무와 C-115R의 블랜드가 우수한 물성을 나타냄을 확인하였다.

천연고무의 고유한 특성 때문에 점착물성을 일정하게 조절하기가 어렵고 천연고무계 점착제가 fibrillation 현상이 발생하는 문제가 있어 점착부여수지의 함량을 고정하고 천연고무와 SIS의 함량을 변화해가며 점착제를 제조하였다. SIS 함량이 20~40 wt%에서 높은 초기점착력을 나타내었으나 20 wt%에서는 fibrillation 현상이 나타났고, 40 wt%에서는 fibrillation 현상이 사라지고 박리강도도 최대값을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. K. F. Gazeley and W. C. Wake, in Handbook of Adhesives, I. Skeist Ed., pp. 698-704, Van Nostrand Reinhold, New York (1990).
2. Y. Masahiro, in Display Asia 200610, pp. 66-76, (주)기술정보, 서울 (2006).
3. H. Matsuoka, Technical Report of Hitachi Chemical, **38**, 7 (2002).
4. A. V. Pocius, in Adhesion and Adhesives Technology, Hanser, Ohio (2002).
5. 김현중, 김대준, 조길원, 점착·점착의 화학과 응용, 한국 점착 및 계면학회, 서울 (2002).
6. J. Johnston, Pressure Sensitive Adhesive Tapes, Pressure Sensitive Tape Council, Illinois (2003).
7. H. -J. Kim and H. Mizumachi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **57**, 175 (1995).
8. M. Fujita, M. Kajiyama, A. Takemura, H. Ono, and H. Mizumachi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **64**, 2191 (1997).
9. K. F. Gazeley and W. C. Wake, in Handbook of Adhesives, I. Skeist Ed., pp. 167-184, Van Nostrand Reinhold, New York (1990).
10. G. L. Butler, in Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, D. Satas Ed., pp. 261-287, Satas & Associates, Rhode Island (1999).
11. Y. J. Park and H. -J. Kim, in Pressure-Sensitive Design and Formulation, Application, I. Benedek Ed., VSP, Netherlands (2006).
12. J. A. Schlademan, in Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, D. Satas Ed., pp. 609-631, Satas & Associates, Rhode Island (1999).
13. I. Benedek, in Development and Manufacture of Pressure-Sensitive Products, Marcel Dekker, New York (1998).
14. D. J. Kim, H. -J. Kim, and G. H. Yoon, *Int. J. Adhesion Adhesives*, **25**, 288 (2005).
15. D. J. Kim, H. -J. Kim, and G. H. Yoon, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **20**, 1367 (2006).
16. G. L. Butler, in Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology, D. Satas Ed., pp. 261-287, Satas & Associates, Rhode Island (1999).
17. J. B. Class and S. G. Chu, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 815 (1985).
18. J. B. Class and S. G. Chu, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 825 (1985).
19. M. Fujita, M. Kajiyama, A. Takemura, H. Ono, and H. Mizumachi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **67**, 221 (1998).

20. D. W. Aubrey and M. Sherriff, *J. Polym. Sci.: Polym. Chem. Ed.*, **16**, 2631 (1978).
21. H. -J. Kim and H. Mizumachi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **56**, 201 (1995).
22. M. Fujita, M. Kajiyama, A. Takemura, H. Ono, H. Mizumachi, and S. Hayashi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **70**, 777 (1998).