

피혁 폐기물을 재활용한 재생가죽의 내노화특성 연구

A Study on Anti-Aging Properties of Recycled Leather Using Shaving Scrap by Applying Antioxidant

*Corresponding author

Eun Young Park
(pey8054@kiflt.re.kr)

서은호, 임성욱, 이윤섭¹, 김원주², 박은영*

한국신발피혁연구원, ¹(주)무진, ²(주)ENR

Eun Ho Seo, Sung Wook Lim, Yun Seob Lee¹, Won Joo Kim²,
and Eun Young Park*

Korea Institute of Footwear and Leather Technology, Busan, Korea

¹MUJIN, Yangsan, Korea

²ENR Corp. Co., Ltd., Busan, Korea

Received_August 31, 2023
Revised_September 20, 2023
Accepted_September 22, 2023

Textile Coloration and Finishing

TCF 35-3/2023-09/151-158

© 2023 The Korean Society of
Dyers and Finishers

Abstract In this study, we investigated the durability properties of the recycled leather using shaving scrap with antioxidant. Recycled leather sheets were manufactured by mixing shaving scrap and NB latex as a binder. HALS(Hindered Amine Light Stabilizer) and UVA(UV absorbers) were used as antioxidant. Mechanical properties such as hardness, tensile strength, elongation, tear strength and abrasion resistance were measured. Light aging resistance was evaluated using UV lamp and the degree of discoloration of the recycled leather sheets using a gray scale. In addition, to evaluate heat aging and UV aging, the degree of discoloration of the recycled leather sheets over time was measured using colorimeter. Washing fastness was evaluated on the degree of dyeing of recycled leather sheets for six type of multi-fiber woven fabrics (Acetate, Cotton, Nylon-66, Polyester, Acryl, Wool). To determine whether hazardous substances were detected in recycled leather sheets, the contents of arylamine and Cr 6⁺ were evaluated. As a result, when used in combination with antioxidant, the heat aging and light aging of recycled leather were improved and hazardous substance were not detected.

Keywords shaving scrap, recycled leather, antioxidant, hals, UV absorber

1. 서 론

최근 산업전반적으로 탄소 중립(Carbon neutral), 친환경(Eco-friendly), 자원 재활용(Recycling of resources)과 같이 환경 문제와 관련된 친환경 소재와 공정 개발이 메가트렌드로 자리잡고 있다. 특히 자동차 내장 시트의 경우 플라스틱의 인조 피혁을 대체하여 천연 피혁을 사용하고는 있지만 동물성 가죽을 얻기 위해서는 살아있는 소를 도축하며 이러한 과정에서

가죽을 키울 때 발생하는 온실가스로 인해 지구온난화의 주요 원인이 되고 있다. 또한 가죽 산업에서 발생하는 가죽폐기물인 Shaving scrap은 전세계적으로 연간 약 80만톤 이상이 발생하는 것으로 추정되며 이를 처리하기 위해서 매립, 소각, 열분해와 같은 방법을 사용하고 있지만 대기나 토양오염 등 2차 환경오염을 야기하고 있는 상황이다¹⁻³⁾. 따라서 이러한 가죽 폐기물을 처리하기 위해서 친환경적인 방법에 관한 연구가 지속적으로 연구되고 있다^{4,5)}.

가죽의 조성 성분은 수분 64%, 지방질 2%, 기타 성분 1%와

33%의 단백질로 구성되어 있으며 단백질을 세분화하면 콜라겐 29%, 케라틴 2%, 결합조직 1.7%, 엘라스틴 0.3% 순으로 구성되어 있다. 가죽을 제조하는 공정은 원료를 수급하여 준비공정(Beamhouse process), 탄닝(Tanning), 염색(Dyeing), 가지공정(Fatliquoring), 도장공정(Finishing)을 거쳐 가죽이 완성되며 대부분의 과정이 습식으로 이루어지며 다량의 물이 사용된다. 공정 중 탄닝 공정이 중요한데 탄닝을 거친 가죽의 경우 부패하지 않으며 건조되어도 유연성을 유지할 수 있게 한다. 하지만 탄닝공정 후에는 Shaving scrap이 다량 발생하는 문제점이 있다.

Shaving scrap은 수분, 무기물, Cr_2O_3 , 지방 및 질소로 구성되어 있으며 크롬 가교 단백질 콜라겐이다. 주로 신발, 가방 및 생활잡화에 적용되고 있으며 현재 자동차 시트에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다^{6,7)}. Shaving scrap은 콜라겐 섬유를 포함한 파우더 형태이기 때문에 단독으로는 사용이 어려워 라텍스와 같은 바인더와 첨가제를 혼합하여 시트 형태로 사용되고 있다. 자동차 시트로 사용될 경우 반복적인 하중 및 접촉이 가해지면 바인더인 라텍스 부분에서 바인더층이 무너져 내구성이 떨어지며 특히 햇빛에 의한 노출이 지속될 시 재생가죽이 변색되어 제품에 큰 영향을 주는 문제점이 있다⁸⁾.

한편 라텍스의 노화 원인은 산소, 오존, 열, 빛(UV), 기계적 응력이 있으며 대부분 햇빛이나 열화에 의해 고분자 사슬이 끊어지면서 노화가 발생하고 특히 가공 중 미반응 라디칼이나 폴리머 주쇄의 이중결합, 기존의 가교결합이 깨지면서 발생하는 자유 라디칼에 의해 산화가 발생하여 고무의 물리적 특성이 저하된다⁹⁾.

고무의 노화방지를 위해서는 산화방지제(Antioxidant), 오존방지제, 광안정제와 같은 첨가제가 처방될 수 있고 단독으로 사용하는 것보다 병용하여 사용할 경우 효과가 우수한 것으로 알려져 있다. 산화방지제는 1차 산화방지제(페놀계, 아민계)와 2차 산화방지제(인계, Thio계)로 분류된다. 1차 산화방지제는 폴리머 대신 라디칼을 생성하여 안정화하며 연쇄 금지제 역할을 하며 2차 산화방지제는 이미 산화된 폴리머의 산소원자를 제거하여 안정화시키며 Hydroperoxide가 다른 종류의 라디칼로 확산되는 것을 방지한다¹⁰⁾. 광안정제는 폴리머가 자외선에 노출되어 분해되지 않도록 보호해주는 역할을 하며 플라스틱 산업에서는 아민계 광안정제인 HALS(Hindered Amine Light Stabilizers)가 주로 사용된다¹¹⁾.

HALS는 UV에 의해 활성화된 chromophore 혹은 산소와 결합한 radical을 제거하여 degradation 반응을 억제하는 역할을 하며 라디칼 포착제와 과산화물 분해제 두 가지의 기능을 수행한다. UV 흡수제(UVA, UV absorber)는 자외선으로부터 에너지를 흡수하여 광안정제와 함께 사용할 경우 변색의 정도가 낮아지는 특징이 있다. 자외선 흡수의 메커니즘은 폴리머에 첨가된 UV 흡수제는 빛을 받게 되면 280~390nm 영역의 파장을 흡수하여 바닥 상태에서 양성자가 들뜨게 된 상태로 된다. 양성자가 들뜬 상태에서 자외선 흡수제 내에서 양성자의 전이 현상이 일어나게 되는데 이를 ES IPT(Excited State Intramolecular Proton Transfer)라고 한다. 이 과정이 빠르고 쉽게 일어나는지가 UV 흡수제의 UV 안정성과 직결된다¹²⁻¹⁴⁾.

이에 본 연구에서는 Shaving scrap을 라텍스 바인더와 혼합하여 산화방지제, 아민계 광안정제 및 UVA를 적용한 차량용 재생가죽시트의 기계적 물성인 경도, 인장강도, 신장률, 인열강도 및 내마모 특성과 내노화특성, UV에 의한 변색 특성, 세탁 견뢰도 및 중금속 검출에 관해 연구하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에서는 피혁 폐기물인 Shaving scrap을 Niagara beater로 분쇄하여 사용하였고 바인더인 NB(Nitir-Butadiene) Latex로는 NL105(Total solid content : 45%, $1225 \pm 125 \text{ \AA}$, LG Chem, Korea)을 사용하였다. 중화제 $NaHCO_3$ (DUKSAN, Korea), 소포제(BIZ DF-820, BizChem, Korea)를 사용하였고 Latex의 응집을 위해 응집제로는 Aluminum sulfate(Samchun, Korea)를 사용하였다. 노화방지제로는 아민계 광안정제(STAB UV40, Hindered Amine Light Stabilizers, SONGWON, Korea)와 UV 흡수제(Tinuvin 326, UVA, BASF, Korea)를 사용하여 실험을 진행하였다.

2.2 Shaving scrap 재생가죽 시트 제조

Figure 1과 같이 Shaving scrap 재생가죽 시트를 제조하기 위해서 먼저 Shaving scrap을 미분쇄하기 위해 Niagara beater(Yasuda Seiki, Japan)를 사용하여 60분간 분쇄한 후 증류수와 혼합하여 교반하였다(1). 그 후 $NaHCO_3$, 산화방지제 및 HAL, UVA, 안정화제와 소포제를 투입하여 믹싱하였고(2) Aluminum sulfate를 첨가하여 응집시켰다(3). 응집된 배합물을 Sheet forming machine에서 1차 진공 탈수를 거친 후 진공건조기를 이용해 70°C에서 5분간 진공 압착과 탈수를 진행하였다(4). 2차 진공 탈수를 끝낸 시트를 50°C에서 4시간 건조시킨 후(5) 재생가죽시트(6)를 제조하였고 12시간 상온에서 숙성 후 물리적 특성을 평가하였다. 산화방지제 및 광안정제/UV흡수제에 따른 재생가죽시트의 내광노화특성을 평가하기 위해 산화방지제는 10%로 고정하였고 HALS와 UVA는 Table 1 배합표와 같이 함량을 설정하여 실험을 진행하였다.

2.3 기계적 강도

재생가죽시트의 물리적 특성을 평가하기 위해서 자동차 시트에 적용되는 MS 규격에 준하여 기계적 강도를 평가하였다. 유연성(Softness)은 KS M ISO 17235 규격에 준하여 가죽 영역이 중복되지 않게 최소 5회 측정후 평균 값을 확인하였다. 경도는 ASTM D 2240 규격에 준하여 Shore A type으로 5회 측정 후 평균값을 계산하였다. 인장강도 및 신장률은 KS M ISO 3376 규격을 참고하여 재생가죽시트의 가로 및 세로 방향으로 시편을 각각 3개씩 취하여 측정을 하였고, 인열강도는 KS M ISO 34-1 규격에 준하여 측정하였다.

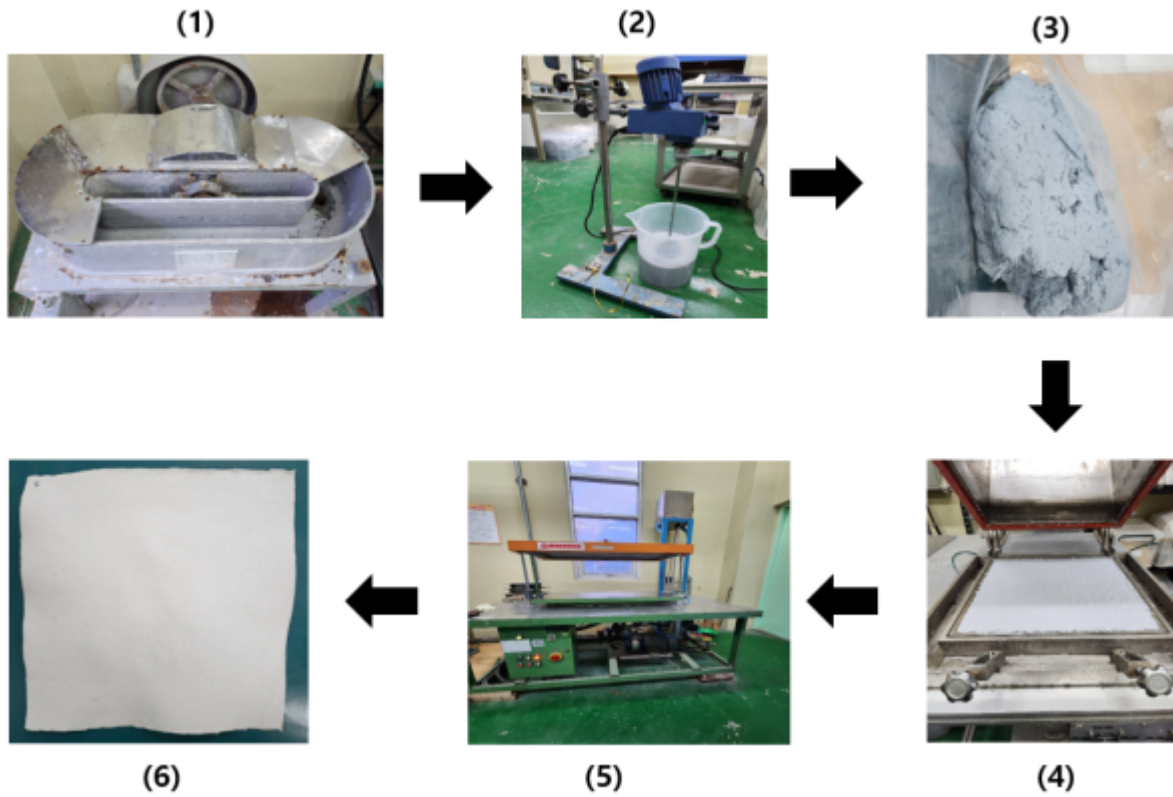


Figure 1. Process of recycled leather sheet.

Table 1. Formulation of recycled leather sheet

	SN0/0	SN5/0	SN0/5	SN5/5	SN10/10	SN15/15	SN20/20
Shaving scrap (*phr)				100			
NB Latex (phr)				40			
Water (phr)				4000			
NaHCO ₃ (phr)				1.6			
HALS (phr)	-	5	-	5	10	15	20
UVA (phr)	-	-	5	5	10	15	20
Stabilizer (phr)				8			
Antifoamer (phr)				0.5			
Al ₂ (SO ₄) ₃ (phr)				10			

*phr: Parts per hundred shaving scrap

재생가죽시트의 내마모 특성은 KS M ISO 17076 Taber 마모 장비를 사용하여 500g의 하중으로 1000회 실시 후 마모 상태를 Gray scale을 사용하여 마모 상태를 등급으로 평가하였다.

2.4 내광노화성 (내광견뢰도)

내광노화성 평가를 위해 KS M ISO 4892 규격으로 제논 블랙패널 온도는 89±3°C, 42 MJ/m²와 84 MJ/m²으로 조사한 후 UV 노출 전후의 변색의 정도를 Gray scale로 각각 평가하였으며 조사면을 180°로 구부러 잔금 및 깨어짐의 유무를 확인하고 변/퇴색, 백화, 균열, 박리, 끈적거림 및 뺏뺏해지는 경향을 확인하였다.

2.5 변색 특성

재생가죽의 가열노화 및 UV 노출에 따른 변색 특성을 평가하기 위해 가열 노화 조건은 100°C에서 7일간 하였으며 UV 노화는 내광노화성과 동일한 조건에서 7일간의 변화를 측정하였다. 색차계의 광원은 D65를 사용하였고 노화 전과 후의 ΔE* (색차)를 측정하여 시간에 따른 변색 특성을 확인하였다.

2.6 세탁견뢰도

재생가죽의 세탁견뢰도 평가를 위해 KS K ISO 105-C06 규격에 준하여 평가를 진행하였다. AATCC 1993 표준세제를 사용하여 재생가죽과 다섬 교직포(Acetate, Cotton, Nylon-66, Polyester, Acryl, Wool)를 한쪽 변을 부착하였고 스테인리스 구슬이 담긴 용기에 넣은 후 40°C, 30분 동안 시험을 진행하였다. 시험이 끝난 후 6개의 섬유 변색 정도를 Gray scale로 판정하여 결과를 확인하였다.

2.7 중금속 및 유해물질 검출 테스트

재생가죽시트의 유해물질 검출 여부를 확인하기 위하여 아릴

아민(Aryl amine)과 6가 크롬(Chromium VI) 함량을 평가하였으며 각각 ISO 17075, ISO 17234 규격에 준하여 평가를 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기계적 강도

Figure 2 ~ Figure 7에 광안정제 및 UVA 함량에 따른 재생가죽시트의 기계적 강도인 유연성, 경도, 인장강도, 신장률, 인열강도 및 마모특성 결과를 나타내었다. HALS와 UVA의 첨가되는 함량이 증가할수록 유연성은 높아지는 반면 경도는 소폭 낮아지는 결과를 확인하였다. 또한 인장강도와 신장률, 인열강도는 소폭 감소하는 경향을 확인하였다. 재생가죽의 기계적 강도는 Shaving scrap내 collagen fiber의 protein간의 결합력(공유결합 및 protein 말단의 극성기와의 수소결합), 바인더와의 응집력과 같은 Chemical bonding이 추가적으로 형성되어야 높아지지만 HALS와 UVA는 이러한 Chemical bonding에 참여하지 않고 재생가죽내 미반응 잔여물로 남아있기 때문에 기계적 강도는 소폭 낮아지는 결과를 보이는 것으로 판단된다¹⁵⁾.

3.2 내광노화성

광안정제 및 UVA 적용에 따른 재생가죽시트의 내광노화특성을 평가하였고 Figure 8 ~ Figure 9에 나타내었다. 빛에 의한 자외선은 높은 에너지를 가지며 자외선에 노출된 폴리머의 경우 탄소-탄소 결합이 끊어지게 되며 변색이 일어나게 된다. 자외선 흡수제인 UVA는 이러한 유해광을 흡수하여 열에너지로 바꿔주는 역할을 하는데 폴리머의 변색을 방지하며 고유의 특

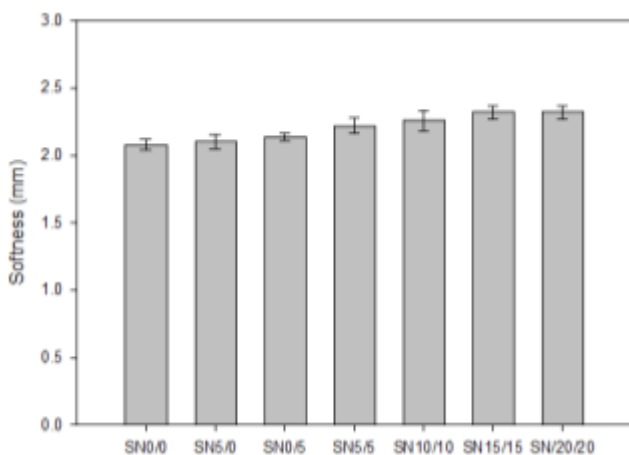


Figure 2. Softness of recycled leather sheet.

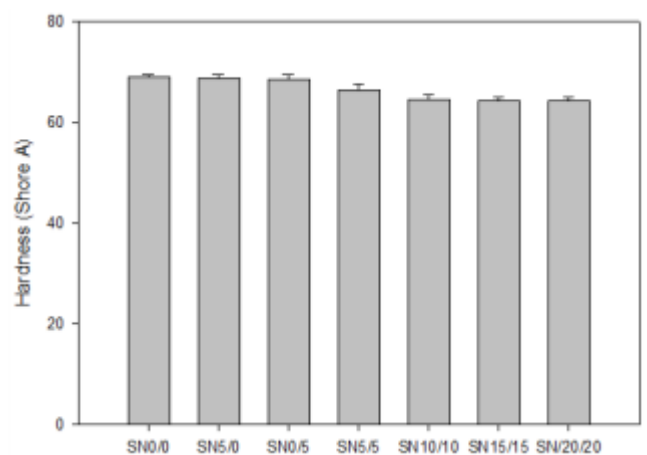


Figure 3. Hardness of recycled leather sheet.

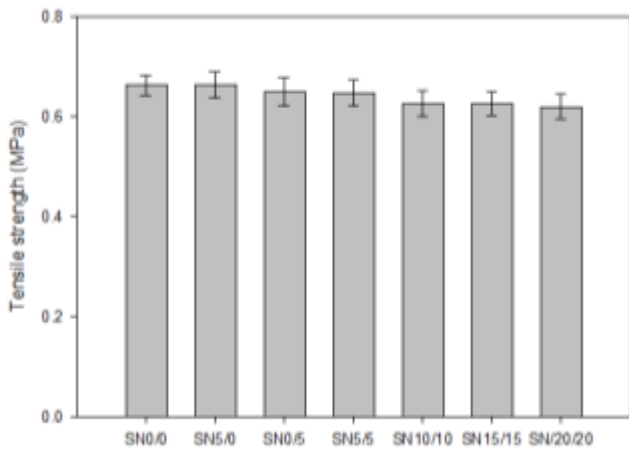


Figure 4. Tensile strength of recycled leather sheet.

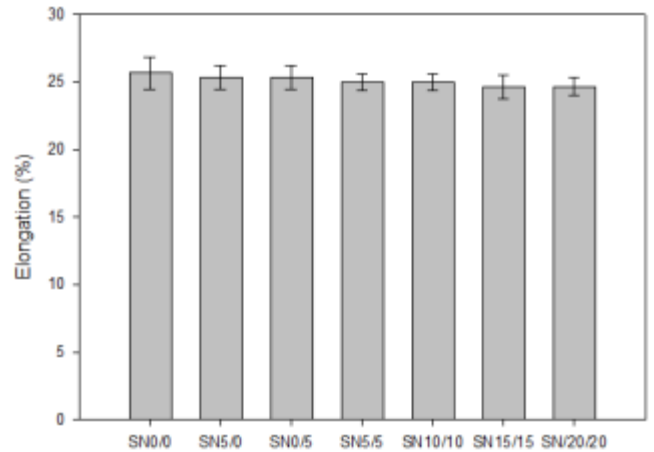


Figure 5. Elongation of recycled leather sheet.

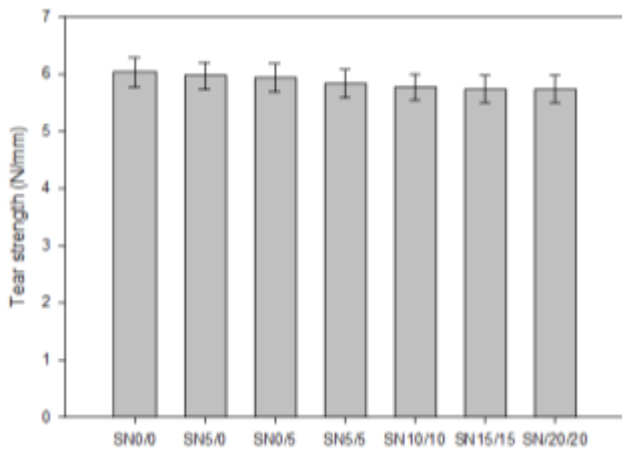


Figure 6. Tear strength of recycled leather sheet.

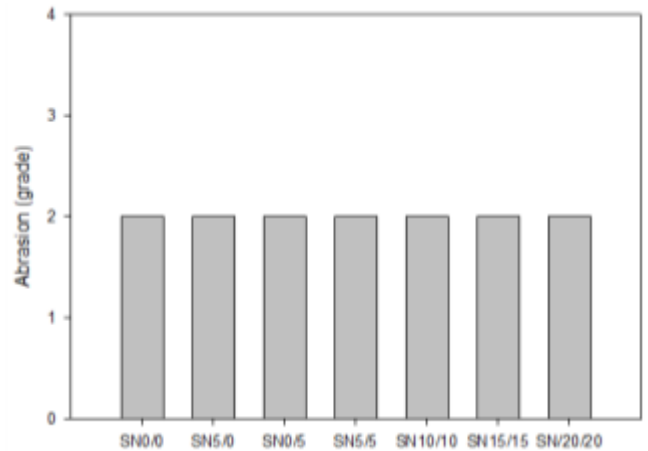


Figure 7. Abrasion properties of recycled leather sheet.

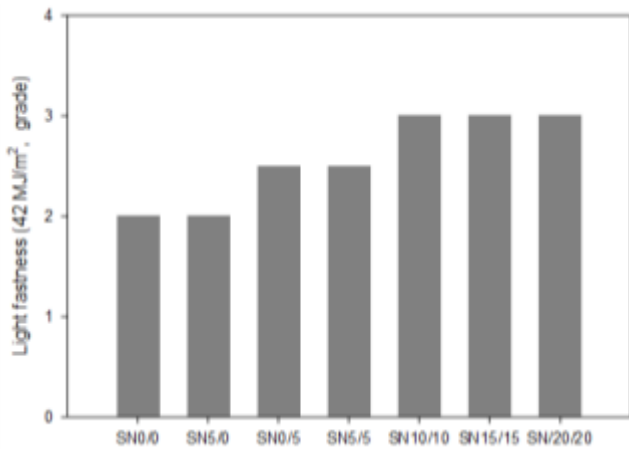


Figure 8. Light fastness of recycled leather sheet(42 MJ/m²).

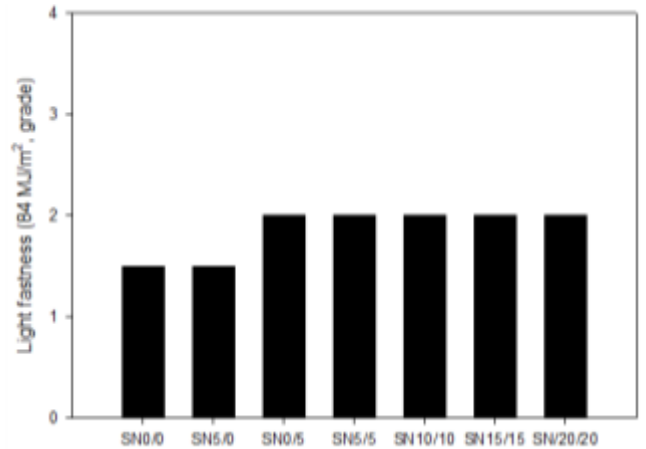


Figure 9. Light fastness of recycled leather sheet(84 MJ/m²).

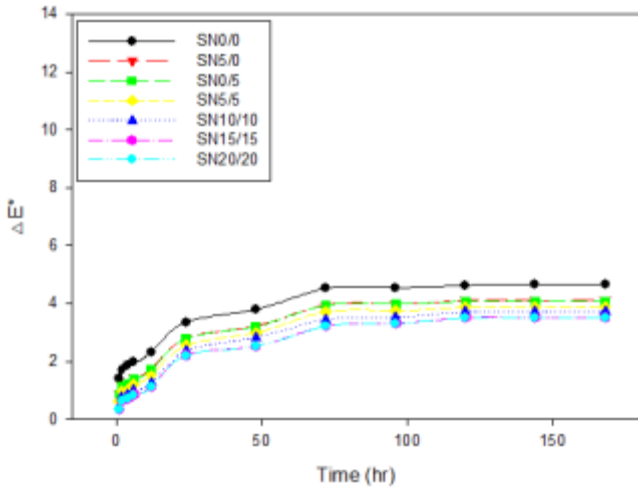


Figure 10. Color difference of recycled leather sheet. after heat aging.

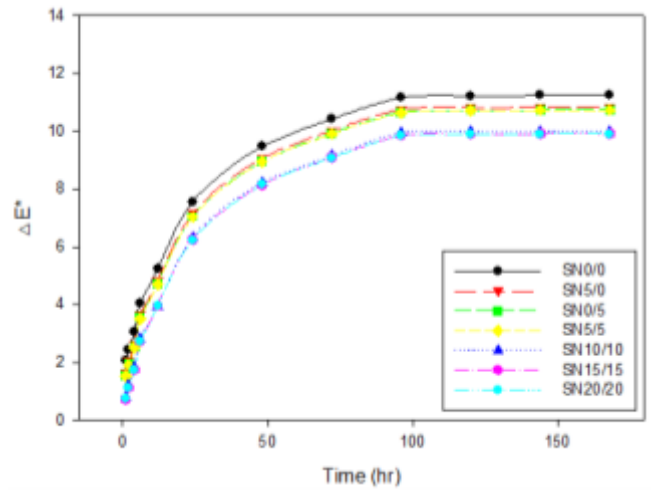


Figure 11. Color difference of recycled leather sheet. after light aging.

성을 유지할 수 있게 한다. 또한 광안정제는 Radical scavenger로서 자외선에 의해 생성된 자유라디칼(RO·)를 제거하여 연쇄 반응을 차단시킴으로서 폴리머의 광분해 반응을 억제하는 역할을 하며 자유라디칼을 제거하고 없어지지 않으므로 착색에 대한 부작용이 없다¹⁶⁻¹⁸⁾.

광안정제와 UVA가 첨가된 재생가죽시트의 경우 UV에 의한 변색이 1등급가량 차이가 났으며 HALS 15%, UVA 15%일 경우 42 MJ/m²에서 3급, 84 MJ/m²에서는 2급으로 나왔으며 함량이 더 증가해도 유사한 결과를 확인할 수 있었다. HALS와 UVA가 20% 이상 첨가될 경우 재생가죽 제조 공정중 탈수 과정에서 물과 함께 빠져나오거나 미반응 잔류물로 남아 더 이상의 내광노화성의 개선은 없는 것으로 예상된다. 또한 광안정제

단독으로 사용하는 것 보다 UVA와 병용하여 사용할 경우 효과가 더 우수하였으며 시너지효과가 나타난 것으로 판단된다.

3.3 변색 특성

Figure 10~Figure 11에 재생가죽시트의 가열노화 및 UV노화에 따른 변색 특성을 나타내었다. 재생가죽시트의 변색이 되는 주된 부분은 Shaving scrap을 멩치게 하는 바인더에서 발생한다. 본 실험에서 사용한 바인더는 NB 라텍스이며 구조는 Nitirile-Butadiene의 공중합체이고 열이나 UV에 노출될 시 주로 부타디엔 영역에서 분해 반응이 발생된다. 시간에 따른 가열 및 광노화 후 색차 변화에서 광안정제와 UVA 적용 시 변색의 정도가 낮아지는 결과를 확인 할 수 있었다. 또한 광안정

Table 2. Color fastness of recycled leather sheet

	SN0/0	SN5/0	SN0/5	SN10/10	SN15/15	SN20/20
Polyester	5	5	5	5	5	5
Acryl	5	5	5	5	5	5
Wool	5	5	5	5	5	5
Acetate	5	5	5	5	5	5
Cotton	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Nylon-66	4	4	4	4	4	4

Table 3. Content of aryl amine and chromium VI for recycled leather sheet

	SN0/0	SN5/0	SN0/5	SN5/5	SN10/10	SN15/15	SN20/20
Aryl amine (mg/kg)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Chromium VI (mg/kg)	0.5 <	0.5 <	0.5 <	0.5 <	0.5 <	0.5 <	0.5 <

제와 UVA 단독보다 병용하여 사용할 경우 변색이 적었으며 광안정제와 UVA의 함량이 각각 15% 이상일 때는 유사한 수준임을 확인하였다. 광안정제와 UVA 병용으로 사용한 재생가죽시트의 경우 열이나 UV에 의해 발생한 자유라디칼은 HALS에 의해 제거되고 UV는 UVA에 의해 차단되어 결과적으로 변색이 적어지는 결과를 확인할 수 있었다.

3.4 세탁견뢰도

Table 2에 광안정제 및 UVA 적용에 따른 재생가죽시트의 세탁견뢰도 결과를 나타내었다. 광안정제와 UVA 유무와 상관없이 재생가죽시트는 동일한 세탁견뢰도 등급을 확인할 수 있었으며 재생가죽 특성상 Cotton과 Nylon-66 섬유에서는 낮은 세탁견뢰도 등급을 나타내었고 광안정제와 UVA는 세탁과 같은 특정 환경에서 누출되진 않는 것으로 판단된다.

3.5 유해물질 검출 테스트

Table 3에 재생가죽시트의 유해물질 검출 테스트를 위해 Aryl amine과 크롬 6가 성분의 검출 함량을 평가하였다. Aryl amine과 6가 크롬은 광안정제 및 UVA 함량과 관계없이 유사한 검출량을 보였으며 차량용 시트로 충분히 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

UV를 차단하여 변색의 정도가 낮아진 걸로 판단된다. 노화방지제 적용 유무와는 관계없이 세탁견뢰도의 등급은 유사하였으며 유해물질인 Aryl amine은 0.8 mg/kg, 6가 크롬은 검출되지 않은 결과를 보였다. 이러한 연구결과는 차량용 재생가죽시트를 개발하는데 기초 데이터로 활용 가능하며 내구성 및 품질 향상에 기여할 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Shaving scrap을 이용하여 NB 라텍스를 기반으로한 재생가죽시트에 노화방지제인 광안정제와 UVA를 적용하여 기계적 강도 및 노화특성을 평가하였다. 그 결과 노화방지제 첨가 시 유연성은 증가하였고 경도, 인장강도, 신장률 및 인열강도는 소폭 감소하는 경향을 보였지만 내마모 특성은 유사한 수준임을 확인하였다. 또한 광안정제와 UVA 적용 시 열과 UV에 의한 변색의 정도가 개선되었으며 광안정제나 UVA 단독으로 사용하는 것 보다 병용하여 사용할 경우 내구 특성이 우수한 결과를 확인할 수 있었다. 이는 광안정제가 UV에 의해 생성된 자유라디칼을 효과적으로 제공하면서 동시에 UVA가

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 자동차산업기술개발사업(과제번호:20020768)으로 수행된 연구결과입니다.

References

1. M. G. Sangeeth, M. P. Saravanakumar, and P. Porchelvan, Pollution Potential of Chrome Shaving Generated in Tanning Process, *Appl. Sci. Environ. Sanit.*, **11**, 11(2009).
2. CSA(Central Statistical Authority), Report on Livestock and Livestock Characteristics in Dendi, District, 2016.
3. T. Kenea, Review on Hide and Skin Value Chain in Ethiopia, *American Research Journal of Agriculture*, **5**(1), 1(2019).
4. V. J. Sundar, A. Gnanamani, C. Muralidharan, N. K. Chandrababu, and A. B. Mandal, Recovery and Utilization of Chromium-tanned Proteinous Wastes of Leather Making: A Review, *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, **10**, 151(2011).
5. M. Bosnic, J. Buljan, and R. P. Daniels, Pollutants in Tannery Rffl Uents, Defi Nitions and Rnvironmental Impact, Limits for Fischarge into Water Bodies and Sewers, UNIDO Regional Programme for Pollution Control in the Tanning Industry in South-East Asi., pp.1-14, 2009.
6. J. R. Rao, P. Thanikaivelan, K. J. Sreeram, and B. U. Nair,

- Green Route for the Utilization of Chrome Shavings (chromium-containing solid waste) in Tanning Industry, *Environ. Sci. Technol.*, **36**, 1372(2002).
7. L. F. Cabeza, M. M. Taylor, G. L. DiMaio, E. M. Brown, W. N. Marmer, R. C. Crrio, P. J. Celma, and J. Cot, Processing of Leather, *Waste-management*, **1**, 211(1998).
 8. C. Ding, M. Zhang, L. Dai, Y. Qi, R. Shi, and J. Yang, Fabrication and Haracterization of Regenerated Leather Using Chrome Shavings as Raw Materials, *J. of American Leather Chemists Association*, **112**(5), 145(2017).
 9. J. F. Rabek, "Polymer Photodegradation", Chapman and Hall, London, 1995.
 10. S. Oh and J. Sim, Photostabilizer, *Polymer Science and Technology*, **6**, 108(1995).
 11. K. T. Kang and P. W. Lee, Effects of UV Absorber and HALS (Hindered Amine Light Stabilizer) Addition in Water-soluble Acrylic Resin on Discoloration of Larix leptolepis (S. et Z.) Gordon, *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, **24**(4), 47(1996).
 12. S. I. Goldstein, E. F. Eur. Labrie, Pat. Appl., 430023, 050 Jun, 1991.
 13. H. Yang, CN 104672107, Jun 3, 2015.
 14. R. K. Alan, K. N. Satheesh, M. W. Rachel, and M. H. Steven, Synthesis of 3,3-Diarylpiperidines from Diaryl ketones, *ARKIVOC*, **V**, 9(2003).
 15. D. C. Antony, Modern Tanning Chemistry, *Chem. Soc. Rev.*, **26**, 111(1997).
 16. J. F. Rabek, "Polymer Photodegradation: Mechanisms and Experimental Methods", Chapman and Hall, London, 1995.
 17. S. R. Hong, "Naturally Dyed Functional Latex Foam and Method for Producing Same", Patent WO 2012148116 A2(2012).
 18. J. K. Kurian, N. Baran, K. Mary, and B. Kuriakose, Effect of Vulcanization Systems and Antioxidants on Discoloration and Degradation of Natural Rubber Latex Thread under UV Radiation, *J. Appl. Polym. Sci.*, **78**, 304(2000).

Authors

- 서은호** 한국신발피혁연구원 선임연구원
임성욱 한국신발피혁연구원 수석연구원
이윤섭 (주)무진 상무
김원주 (주)ENR 연구소장
박은영 한국신발피혁연구원 수석연구원